

HISTORICAL REVIEW ON ANCIENT DAMS

REVUE HISTORIQUE DES ANCIENS BARRAGES

Bulletin 143

HISTORICAL REVIEW ON ANCIENT DAMS
REVUE HISTORIQUE DES ANCIENS BARRAGES



2013

Cover/Couverture :

Cover illustration: Amir dam (Iran), 15 m height and 104 m long, built nearly 1000 years ago /

Illustration en couverture : Barrage Amir (Iran), haut de 15 m, long de 104 m, construit il y a environ 1 000 ans

AVERTISSEMENT – EXONÉRATION DE RESPONSABILITÉ :

Les informations, analyses et conclusions contenues dans cet ouvrage n'ont pas force de Loi et ne doivent pas être considérées comme un substitut aux réglementations officielles imposées par la Loi. Elles sont uniquement destinées à un public de Professionnels Avertis, seuls aptes à en apprécier et à en déterminer la valeur et la portée.

Malgré tout le soin apporté à la rédaction de cet ouvrage, compte tenu de l'évolution des techniques et de la science, nous ne pouvons en garantir l'exhaustivité.

Nous déclinons expressément toute responsabilité quant à l'interprétation et l'application éventuelles (y compris les dommages éventuels en résultant ou liés) du contenu de cet ouvrage.

En poursuivant la lecture de cet ouvrage, vous acceptez de façon expresse cette condition.

NOTICE – DISCLAIMER:

The information, analyses and conclusions in this document have no legal force and must not be considered as substituting for legally-enforceable official regulations. They are intended for the use of experienced professionals who are alone equipped to judge their pertinence and applicability.

This document has been drafted with the greatest care but, in view of the pace of change in science and technology, we cannot guarantee that it covers all aspects of the topics discussed.

We decline all responsibility whatsoever for how the information herein is interpreted and used and will accept no liability for any loss or damage arising therefrom.

Do not read on unless you accept this disclaimer without reservation.

Original text in English
French translation by P. Le Delliou (France)
Layout by Nathalie Schauner

Texte original en anglais
Traduction en français par P. Le Delliou (France)
Mise en page par Nathalie Schauner

HISTORICAL REVIEW ON ANCIENT DAMS

REVUE HISTORIQUE DES ANCIENS BARRAGES

Commission Internationale des Grands Barrages - 61, avenue Kléber, 75116 Paris
Tél. : (33-1) 47 04 17 80 - Fax : (33-1) 53 75 18 22
E-mail : secretaire.general@icold-cigb.org
Site : www.icold-cigb.net

AD HOC COMMITTEE ON SMALL DAMS
COMITÉ AD HOC DES PETITS BARRAGES

Chairman/Président

Brazil/Brésil J.F.A. SILVEIRA

Members/Membres

Bulgaria/Bulgarie C. B. ABADJIEV
Canada G. VERZENI
China/Chine J. SHENG
Czech Republic/Rép. Tchèque J. POLACEK
France P. ROYET
India/Inde G. N. MATHUR
Iran J. ATTARI (1)
A. SOROUSH (2)
Japan/Japon Y. MATSUURA
Lebanon/Liban A. MEOUCHY (3)
Morocco/Maroc A. LABRAIMI (4)
Nigeria OLA, SAMUEL
Pakistan I. B. SHAIKH (5)
Russia/Russie S. A. SHMANENKOV
South Africa/Afrique du Sud D. BADENHORST
United States/États-Unis D. MILLER
United Kingdom/Royaume-Uni A. HUGHES
Australia (corresp. member)/
Australie (membre corresp.) P. CUMMINS

(1) Member until June 2007

(2) Member since Jan 2008

(3) Member since June 2008

(4) Member since June 2006

(5) Member since June 2006

SOMMAIRE

REVUE HISTORIQUE DES BARRAGES ANCIENS

1. ANCIENS BARRAGES
EN AUSTRALIE
2. ANCIENS BARRAGES
EN AUTRICHE
3. ANCIENS BARRAGES
AU BRÉSIL
4. ANCIENS BARRAGES
AU CAMBODGE
5. ANCIENS BARRAGES
EN CHINE
6. ANCIENS BARRAGES
À CHYPRE
7. ANCIENS BARRAGES
EN RÉP. TCHÈQUE
8. ANCIENS BARRAGES
EN FRANCE
9. ANCIENS BARRAGES
EN ALLEMAGNE
10. ANCIENS BARRAGES
EN INDE
11. ANCIENS BARRAGES
EN IRAN
12. ANCIENS BARRAGES
EN ITALIE
13. ANCIENS BARRAGES
AU JAPON
14. ANCIENS BARRAGES
EN CORÉE DU SUD
15. ANCIENS BARRAGES
EN LYBIE
16. ANCIENS BARRAGES
AU MEXIQUE ET EN
AMÉRIQUE CENTRALE
17. ANCIENS BARRAGES
AU PORTUGAL
18. ANCIENS BARRAGES
EN SLOVÉNIE
19. ANCIENS BARRAGES
EN ESPAGNE
20. ANCIENS BARRAGES
EN TURQUIE
21. ANCIENS BARRAGES
AUX ÉTATS-UNIS
22. RÉFÉRENCES

CONTENTS

HISTORICAL REVIEW ON ANCIENT DAMS

1. ANCIENT DAMS
IN AUSTRALIA
 2. ANCIENT DAMS IN ÁUSTRIA
 3. ANCIENT DAMS IN BRAZIL
 4. ANCIENT DAMS
IN CAMBODIA
 5. ANCIENT DAMS IN CHINA
 6. ANCIENT DAMS AT CYPRUS
 7. ANCIENT DAMS IN CZECH
REPUBLIC
 8. ANCIENT DAMS IN FRANCE
 9. ANCIENT DAMS
IN GERMANY
 10. ANCIENT DAMS IN INDIA
 11. ANCIENT DAMS IN IRAN
 12. ANCIENT DAMS IN ITALY
 13. ANCIENT DAMS IN JAPAN
 14. ANCIENT DAMS
IN SOUTH KOREA
 15. ANCIENT DAMS IN LYBIA
 16. ANCIENT DAMS IN MEXICO
AND MESOAMERICA
 17. ANCIENT DAMS
IN PORTUGAL
 18. ANCIENT DAMS IN SLOVENIA
 19. ANCIENT DAMS IN SPAIN
 20. ANCIENT DAMS IN TURKEY
 21. ANCIENT DAMS IN UNITED
STATES
 22. REFERENCES
-

TABLE DES MATIÈRES

REVUE HISTORIQUE DES BARRAGES ANCIENS.....	22
Introduction	22
1. ANCIENS BARRAGES EN AUSTRALIE.....	30
1.1. Barrages aborigènes	30
1.2. Barrages du Norfolk Island	30
1.3. Barrages de Nouvelle Galles du Sud.....	32
1.3.1. L'alimentation en eau de Sydney	32
1.3.2. Le moulin à eau du gouvernement à Parramatta - 1806	32
1.3.3. Le moulin de Marsden - 1812.....	34
1.3.4. Le barrage de la ville de Parramatta - 1818.....	34
1.3.5. Moulins à marée de Nouvelle Galles du Sud - 1818, 1819 et 1830	36
1.3.6. Moulin de Howell sur la rivière Parramatta - 1828	38
1.3.7. Barrage de l'usine des femmes, rivière Parramatta - 1831	38
1.3.8. Barrage-voûte du lac Parramatta - 1856	40
1.4. Barrages en Tasmanie.....	40
1.4.1. Le ruisseau de Hobart.....	40
1.4.2. Schéma gouvernemental d'alimentation en eau - 1831.....	40
1.4.3. Le moulin Degraives - 1834.....	40
1.4.4. Autres moulins en Tasmanie.....	42
1.4.5. Début de l'irrigation en Tasmanie.....	42
1.4.6. Le barrage du lac Tooms - 1840.....	42
1.4.7. Le barrage de Long Marsh - 1844.....	44
1.5. Barrages de l'État de Victoria.....	46
1.5.1. Melbourne	46
1.6. Conclusion	48
2. ANCIENS BARRAGES EN AUTRICHE.....	50
3. ANCIENS BARRAGES AU BRÉSIL.....	54
4. ANCIENS BARRAGES AU CAMBODGE.....	58
5. ANCIENS BARRAGES EN CHINE	62
6. ANCIENS BARRAGES À CHYPRE.....	68
6.1. Introduction.....	68
6.2. Barrages en maçonnerie de Chypre	68
6.2.1. Yialias - Projet amont et aval de Lythrodhondas	78

TABLE OF CONTENTS

HISTORICAL REVIEW ON ANCIENT DAMS	23
Introduction	23
1. ANCIENT DAMS IN AUSTRALIA	31
1.1. Aboriginal Dams	31
1.2. Dams on Norfolk Island	31
1.3. Dams in New South Wales	33
1.3.1. Sydney's Water Supply	33
1.3.2. The Government Water-mill at Parramatta - 1806	33
1.3.3. Marsden's Water-mill - c1812.....	35
1.3.4. The Parramatta Town Dam - 1818	35
1.3.5. Tidal Water-mills in NSW - 1818, 1819 and 1830	37
1.3.6. Howell's Water-mill on the Parramatta River - 1828.....	39
1.3.7. Female Factory Dam, Parramatta River - 1831	39
1.3.8. Lake Parramatta Arch Dam - 1856	41
1.4. Dams in Tasmania	41
1.4.1. The Hobart Rivulet	41
1.4.2. Government Water Supply Scheme - 1831.....	41
1.4.3. Degraes Water-mill Complex - 1834	41
1.4.4. Other Water-mills in Tasmania	43
1.4.5. Early Farm Irrigation in Tasmania.....	43
1.4.6. Tooms Lake Dam - 1840.....	43
1.4.7. The Long Marsh Dam - 1844	45
1.5. Dams in Victoria.....	47
1.5.1. Melbourne	47
1.6. Conclusion	49
2. ANCIENT DAMS IN AUSTRIA.....	51
3. ANCIENT DAMS IN BRAZIL.....	55
4. ANCIENT DAMS IN CAMBODIA	59
5. ANCIENT DAMS IN CHINA	63
6. ANCIENT DAMS AT CYPRUS.....	69
6.1. Introduction.....	69
6.2. Masonry dams in Cyprus	69
6.2.1. Yialias – Lythrodhondas Downstream and upstream Projects	79

7. ANCIENS BARRAGES EN RÉPUBLIQUE TCHÈQUE	84
8. ANCIENS BARRAGES EN FRANCE	88
9. ANCIENS BARRAGES EN ALLEMAGNE	94
9.1. Bassins destinés à la pêche	94
9.2. Bassins destinés aux moulins.....	96
9.3. Augmentation de la hauteur des barrages - « limites de l'ingénierie »	98
10. ANCIENS BARRAGES EN INDE	102
11. ANCIENS BARRAGES EN IRAN	110
11.1. Barrage de Bahman.....	110
11.2. Pont barrage de Shadorvan	110
11.3. Barrage de Sheshteraz	112
11.4. Barrage Amir	112
11.5. Barrage Akhlemad	114
12. ANCIENS BARRAGES EN ITALIE	118
13. ANCIENS BARRAGES AU JAPON	122
13.1. Mannoh-ike (Préfecture de Kagawa).....	122
13.2. Situation actuelle des petits barrages, de leur réhabilitation et de leur maintenance	126
13.3. Questions relatives aux petits barrages.....	128
14. ANCIENS BARRAGES EN CORÉE DU SUD	132
15. ANCIENS BARRAGES EN LYBIE	136
15.1. Barrages romains de l'oued Megenin.....	136
15.2. Barrage amont de Megenin.....	136
15.3. Barrage romain de l'oued Libda.....	138
16. ANCIENS BARRAGES AU MEXIQUE ET EN AMÉRIQUE CENTRALE	140
16.1. Période primitive	140
16.2. Les grandes civilisations.....	142
17. ANCIENS BARRAGES AU PORTUGAL	146
18. ANCIENS BARRAGES EN SLOVÉNIE	152
19. ANCIENS BARRAGES EN ESPAGNE.....	156
19.1. Introduction.....	156
19.2. Les origines : la période romaine.....	156
19.2.1. Les barrages du bassin de l'Ebre	162
19.2.2. Les barrages des bassins du Tage et de la Guadiana.....	168
19.2.3. Barrages mineurs	178

7. ANCIENT DAMS IN CZECH REPUBLIC.....	85
8. ANCIENT DAMS IN FRANCE.....	89
9. ANCIENT DAMS IN GERMANY.....	95
9.1. Fish Ponds Origin.....	95
9.2. Mill Ponds.....	97
9.3. Raising the Dam Height – “Limits of Engineering”.....	98
10. ANCIENT DAMS IN INDIA.....	103
11. ANCIENT DAMS IN IRAN.....	111
11.1. Bahman Dam.....	111
11.2. Shadorvan Dam-Bridge.....	111
11.3. Sheshteraz Dam.....	113
11.4. Amir Dam.....	113
11.5. Akhlemad Dam.....	114
12. ANCIENT DAMS IN ITALY.....	119
13. ANCIENT DAMS IN JAPAN.....	123
13.1. Mannoh-ike (Kagawa prefecture).....	123
13.2. Present Situation of Small Dams and their Rehabilitation and Maintenance.....	127
13.3. Issues Concerning Small Dams.....	129
14. ANCIENT DAMS IN SOUTH KOREA.....	133
15. ANCIENT DAMS IN LIBYA.....	137
15.1. Wadi Megenin Roman Dams.....	137
15.2. US Megenin Roman Dam.....	137
15.3. Wadi Libda Roman Dam.....	139
16. ANCIENT DAMS IN MEXICO AND MESOAMERICA.....	141
16.1. Formative Period.....	141
16.2. The High Civilizations.....	143
17. ANCIENT DAMS IN PORTUGAL.....	147
18. ANCIENT DAMS IN SLOVENIA.....	153
19. ANCIENT DAMS IN SPAIN.....	157
19.1. Introduction.....	157
19.2. Origins: The Roman era.....	157
19.2.1. The dams of the Ebro Basin.....	163
19.2.2. The dams of the Tajo and Guadiana Basins.....	169
19.2.3. Minor Dams.....	179

19.3. Le Moyen-âge	178
19.4. Les XVI ^e , XVII ^e et XVIII ^e siècles	184
20. ANCIENS BARRAGES EN TURQUIE	190
20.1. Introduction	190
20.2. Barrages historiques de la période hittite en Anatolie Centrale	190
20.2.1. Barrage de Karakuyu à Uzunyayla	190
20.2.2. Barrage d'Eflatunpinar près de Beysehir	194
20.2.3. Barrage de Koylutolu près d'Ilgın	196
20.2.4. Bassin Yalburt près d'Ilgın	196
20.2.5. Barrage de Golpinar près de Corum	196
20.2.6. Barrage de Guneykale à Bogazkale	196
20.3. Période Urartu	196
20.3.1. Barrages du lac de Kesis	196
20.3.2. Barrages sur le ruisseau Doni	198
20.3.3. Barrage près de Muradiye	200
20.3.4. Barrage près d'Adilcevaz	200
20.4. Périodes byzantines	200
20.4.1. Barrage de Cevlik près d'Antakya	200
20.4.2. Barrage de Çavdarhisar près de Kutahya	202
20.4.3. Barrage d'Orukaya près de Çorum	202
20.4.4. Barrage de Boget près de Nigde	202
20.4.5. Barrage d'Ildir près de Çesme	204
20.4.6. Barrages de Dara près de Mardin	204
20.4.7. Barrage de Lostugun près d'Amasya	206
20.4.8. Barrage de Sihke près de Van	206
20.4.9. Barrage Sultan près de Van	206
20.4.10. Barrage de Faruk près de Van	206
21. ANCIENS BARRAGES AUX ÉTATS-UNIS	210
22. RÉFÉRENCES	216

19.3. The Middle Ages	179
19.4. The 16th, 17th and 18th centuries.....	185
20. ANCIENT DAMS IN TURKEY	191
20.1. Introduction.....	191
20.2. Historical Dams in Central Anatolia in The Hittite Period.....	191
20.2.1. Karakuyu Dam in Uzunyayla.....	191
20.2.2. Eflatunpınar Dam near Beyşehir.....	195
20.2.3. Koylutolu Dam near Ilgin.....	197
20.2.4. Yalburt Pond near Ilgin	197
20.2.5. Golpınar Dam near Corum	197
20.2.6. Güneykale Dam at Bogazkale	197
20.3. Urartu Period	197
20.3.1. Dams at Kesis Lake	197
20.3.2. Dam on Doni Creek	199
20.3.3. Dam near Muradiye	201
20.3.4. Dam near Adilcevaz.....	201
20.4. Byzantine Periods.....	201
20.4.1. Cevlik Dam near Antakya.....	201
20.4.2. Çavdarhisar Dam near Kutahya	203
20.4.3. Orukaya Dam near Çorum.....	203
20.4.4. Boğat Dam near Nigde	203
20.4.5. Ildir Dam near Çesme.....	205
20.4.6. Dara Dams near Mardin.....	205
20.4.7. Lostuğun Dam near Amasya	207
20.4.8. Sihke Dam near Van	207
20.4.9. Sultan Dam near Van.....	207
20.4.10. Faruk Dam near Van	207
21. ANCIENT DAMS IN THE UNITED STATES.....	211
22. REFERENCES	216

TABLEAUX / FIGURES

TABLEAUX

Tableau 1	Liste chronologique d'anciens barrages	24
Tableau 2	Barrages en béton ou maçonnerie.....	74
Tableau 3	Barrages en remblai du sud de l'Inde datant du Moyen-Age.....	106
Tableau 4	Caractéristiques de quelques anciens barrages iraniens.....	116
Tableau 5	Principaux petits barrages construits avant le XVIII ^e siècle et encore en exploitation	122
Tableau 6	Histoire de Mannoh-ike.....	126
Tableau 7	Classification chronologique des petits barrages.....	126
Tableau 8	Classification chronologique des petits barrages : registre des bassins d'irrigation, MAFP, 1966.....	128
Tableau 9	Petits barrages romains construits au Portugal et dont les dimensions sont connues	146
Tableau 10	Petits barrages romains construits en Espagne et de dimensions connues	158
Tableau 11	Principaux barrages et seuils espagnols du XVI ^e au XVIII ^e siècles	186
Tableau 12	Histoire des premiers petits barrages aux USA	214

FIGURES

Fig. 1	Vue depuis la rive gauche du site du barrage de Kafara.....	22
Fig. 2	Coupe du barrage de Kafara	22
Fig. 3	Épaisseur de barrages romains de type poids ou à contreforts en fonction de leur hauteur.....	26
Fig. 4	Le barrage de la ville de Parramatta en 1887	36
Fig. 5	FC Terry – Moulin à eau et moulin à vent de George Howell sur la rivière Parramatta.....	38
Fig. 6	Barrage en rondins de l'archiduc Jean en Autriche.....	52
Fig. 7	Étang d'Apipucos, un des premiers du Brésil. Plans récents des environs d'Apipucos (à gauche), carte hollandaise du XVII ^e siècle (à droite) et une vue actuelle de l'étang (x)	54
Fig. 8	Carte des bassins autour d'Angkor au nord du Cambodge	58
Fig. 9	Remblai du réservoir de Anfengtang construit de 598 à 591 avant J.C. de 24,3 km de longueur et un volume de retenue d'environ 100 hm ³	62

TABLES / FIGURES

TABLES

Table 1	Chronological list of ancient dams.....	25
Table 2	Masonry – Concrete Dams – Design Data	75
Table 3	Medieval embankments in southern India	107
Table 4	Features of Some Ancient Small Dams in Iran.....	117
Table 5	Principal small dams first constructed before 18th century and still used	123
Table 6	History of Mannoh-ike.....	127
Table 7	Chronological Classification of small dams.....	127
Table 8	Chronological classification of small dams: Irrigation Ponds Ledger, MAFF, 1966.....	129
Table 9	Roman small dams built in Portugal of which the dimensions are known	147
Table 10	Roman small dams built in Spain of which the dimensions are known	159
Table 11	Main Spanish dams and weirs 16th to 18th centuries.....	187
Table 12	History of Early Small Dams in the U.S.A.....	215

FIGURES

Fig. 1	View of Kafara dam site from the left bank	23
Fig. 2	Cross section of Kafara dam.....	23
Fig. 3	Width of Roman gravity and buttress dam walls in function of their height	27
Fig. 4	The Parramatta Town Dam in 1887.....	37
Fig. 5	FC Terry – George Howell’s combined Wind and Water-mill on the Parramatta River.....	39
Fig. 6	Archduke-Johann log dam in Austria	53
Fig. 7	Apipucos pond, one of the first ponds to be built in Brazil. Recent plant of the Apipucos neighborhood (left), Dutch map from XVII century (right) and a present view of the pond (x)	55
Fig. 8	Map of the basins near Angkor, in northern Cambodia	59
Fig. 9	Anfengtang Reservoir Embankment built in 598~591 B.C., with a length of 24.3 km and a storage capacity of about 100 hm ³	63

Fig. 10 Remblai du lac Dongqian construit en 744, de 45 km de long	64
Fig. 11 Digue de Tongjiyan construite de 502 à 519, première voûte connue...	64
Fig. 12 Digue de Lingqu construite en 214 avant J.C.....	64
Fig. 13 Digue de Gaojiayan construite pendant la dynastie Ming (1578) et aujourd'hui appelée remblai de Hogzehu, hauteur de 5,12 m, longueur de 67,25 km et volume stocké de 13 000 hm ³	66
Fig.14 Le barrage en maçonnerie de Kophinou.....	70
Fig. 15 Réservoir en maçonnerie et canal de prise	76
Fig. 16 Le barrage aval de Lythrodondas	80
Fig. 17 Petits barrages en République Tchèque Hauteur en fonction de la date de construction	84
Fig. 18 Barrage en terre de l'étang de Vavrinec de 1480 8,0 m de haut et 380 m de long	86
Fig. 19 Barrage de l'étang Regent construit en 1479 5,5 m de haut et 340 m de long	86
Fig. 20 Barrage Stebensky construit en 1720, 7,6 m de haut et 180 m de long..	86
Fig. 21 Vue de la retenue de Metelsky pendant une crue majeure en août 2002 (barrage endommagé)	86
Fig. 22 Barrage de Lampy construit en 1792.....	90
Fig. 23 Torcy-Vieux : parement amont	90
Fig. 24 Torcy-Vieux : parement aval après le renforcement de 2000.....	90
Fig. 25 Barrage de Saloup : coupe au droit du conduit de vidange	90
Fig. 26 Barrage de Saloup : parement amont.....	90
Fig. 27 Section transversale de barrage et protection des parements d'après Dubravius	96
Fig. 28 Surélévations possibles de barrage	98
Fig. 29 Barrages dans la région de Freiberg	100
Fig. 30 Barrages dans le Haut Harz.....	100
Fig. 31 Barrages autour de Schemnitz.....	100
Fig. 32 Sections transversales de trois barrages en remblai du sud de l'Inde....	106
Fig. 33 Barrage de Bahmandam, haut de 8 m, long de 117 m, construit il y a environ 2 000 ans	110
Fig. 34 Pont-barrage iranien de Shadorvan, 10 m de haut, construit il y a 1 700 ans.....	112
Fig. 35 Barrage de Sheshteraz construit il y a 1 000 à 1 200 ans.....	112

Fig. 10 Dongqian Lake Embankment built in 744 A.D., with a length of 45 km	65
Fig. 11 Tongjiyan Dike built in 502~519 A.D., first arch dam known.....	65
Fig. 12 Lingqu Dike completed in 214 B.C.....	65
Fig. 13 Gaojiayan Dike completed in Ming Dynasty (1578 A.D.) and now called Hongzehu embankment, with a height of 5.12 m, a length of 67.25 km and a storage capacity of about 13.000 hm ³	67
Fig. 14 The Kophinou masonry dam	71
Fig. 15 Masonry reservoir and intake channel	77
Fig. 16 The Lythrodhondas downstream dam.....	81
Fig. 17 Small dams in Czech Republic Height versus date of construction	85
Fig. 18 Vavrinec pond earth dam built in 1480, with 8,0 m height and 380 m long	87
Fig. 19 Regent pond dam built in 1479, with 5,5 m height and 340 m long.....	87
Fig. 20 Stebensky pond dam built in 1720, with 7,6 m height and 180 m long ..	87
Fig. 21 Metelsky pond plane view during catastrophic flood at 08/2002 (dam was damaged)	87
Fig. 22 Lampy dam built in 1792.....	91
Fig. 23 Torcy-Vieux dam : upstream face	91
Fig. 24 Torcy-Vieux dam : downstream face after year 2000 reinforcement....	91
Fig. 25 Saloup Dam : cross section over the outlet outlet conduit.....	91
Fig. 26 Saloup Dam: upstream facing.....	91
Fig. 27 Dam cross-sections and slope protection according to Dubravious.....	97
Fig. 28 Dam raising possibilities.....	99
Fig. 29 Dams in the district of Freiberg	101
Fig. 30 Dams in the Upper Harz.....	101
Fig. 31 Dams around Schemnitz	101
Fig. 32 Cross sections of three South-Indian embankment dams.....	107
Fig. 33 Bahman dam 8 m high and 117 m long built ~2000 years ago	111
Fig. 34 Shadorvan dam-bridge, in Iran, with 10 m height built nearly 1700 years ago.....	113
Fig. 35 Sheshteraz dam built from 1000 to 1200 years ago	113

Fig. 36 Barrage Amir, haut de 15 m, long de 104 m, construit il y a environ 1 000 ans	114
Fig. 37 Barrage Akhlemad de 15 m de haut, 225 m de long, construit il y a 300 à 400 ans.....	114
Fig. 38 Barrage-voûte de Ponte Alto, sur le Fersina (Province de Trente).....	120
Fig. 39 Barrage-voûte de Madruzzo, sur le Fersina (Province de Trente).....	120
Fig. 40 Vue aérienne de Mannoh-ike : District d'aménagement foncier de Mannoh-ike (préfecture de Kagawa)	124
Fig. 41 Histoire des réhabilitations de Mannoh-ike : magazine trimestriel « Web Obayashi N° 40 »	124
Fig. 42 Vue du réservoir et du talus.....	132
Fig. 43 Barrage de Byeoggolje et prise d'eau, Corée	134
Fig. 44 Vue générale depuis la rive droite dans l'axe du barrage romain amont de Megenin	136
Fig. 45 Vue générale du barrage aval de Megenin	136
Fig. 46 Vue aval du barrage aval de Megenin avec ses contreforts et ses gradins.....	136
Fig. 47 Vue générale du vieux barrage de Libda depuis la rive gauche, avec une hauteur maximale de 5 m et 200 m de long	138
Fig. 48 Coupe transversale du barrage de Purron au Mexique avec ses différentes phases de construction	140
Fig. 49 Carte du lac Texcoco à Mexico avec ses anciens barrages et digues, d'après Palerm/73.....	144
Fig. 50 Vue générale du barrage de Fontes pendant sa construction en 1937 ..	148
Fig. 51 Première phase de compactage de la terre dans le chenal en rivière	148
Fig. 52 Excavation des tranchées de drainage et d'étanchéité	150
Fig. 53 Détail de l'excavation des tranchées de drainage, à l'aval de l'étanchéité	150
Fig. 54 Vue aval du barrage de Belcne, construit en 1769.....	152
Fig. 55 Détail interne de la galerie d'accès entre la crête et le pertuis de fond du barrage de Belcne.....	154
Fig. 56 Vue aval du barrage de Putrihave, 15 m de haut, construit en 1779.....	154
Fig. 57 Barrages romains en Espagne	158
Fig. 58 Le barrage romain d'Almonacid depuis l'aval	162
Fig. 59 Barrage d'Almonacid – coupe transversale	164
Fig. 60 Le barrage romain de Muel depuis l'aval avec l'hermitage du XVIII ^e siècle construit sur sa crête	166

Fig. 36 Amir dam with 15 m height and 104 m long built nearly 1000 years ago.....	115
Fig. 37 Akhlemad dam with 15 m height and 225 m long, built from 400 to 300 years ago.....	115
Fig. 38 Ponte Alto Arch Dam (Trento Province).....	121
Fig. 39 Madruzzo arch dam on the Fersina creek (Trento Province).....	121
Fig. 40 Overview of Mannoh-ike: Mannoh-ike Land Improvement District (Kagawa Prefecture)	125
Fig. 41 Historical Rehabilitations of Mannoh-ike: Quarterly Magazine “Web Obayashi No 40”	125
Fig. 42 View of reservoir and dam slope, in Korea	133
Fig. 43 Dam itself and water gate of Byeoggolje, Korea	135
Fig. 44 General view from the right abutment along the axis of the Megenin US Roman	137
Fig. 45 General view of the DS Megenin dam	137
Fig. 46 DS Megenin dam downstream view of buttresses and steps	137
Fig. 47 General view of Old Libda dam from the left abutment, with 5 m of maximum height and 200 m long.....	139
Fig. 48 Cross section of the Purron dam in Mexico with its various constructions stages	141
Fig. 49 Map of Lake Texcoco in Mexico with its ancient dams and dikes, after Palerm/73	145
Fig. 50 General view of the Fontes dam during its construction, in 1937	149
Fig. 51 First stage of the earthfill compaction at the river chanel.....	149
Fig. 52 Excavation of the drainage and cutoff trenches.....	151
Fig. 53 Detail of the drainage trenches excavation, downstream the cutoff.....	151
Fig. 54 Downstream view of the Belcne dam, built in 1769.....	153
Fig. 55 Interior detail of the access gallery between the crest and the bottom outlet, at the Belcne dam.....	155
Fig. 56 Downstream view of the Putrihave dam, 15 m height, built in 1779	155
Fig. 57 Roman dams in Spain.....	159
Fig. 58 The Roman Dam of Almonacid from downstream.....	163
Fig. 59 Almonacid dam: Cross section	165
Fig. 60 The Roman Dam of Muel from downstream with the 18th-century hermitage constructed on top.....	167

Fig. 61 Le barrage romain de Proserpina depuis l'amont en 1992.....	170
Fig. 62 Barrage romain de Proserpina (Mérida) : détail d'un contrefort.....	172
Fig. 63 Barrage romain de Proserpina (Mérida) : détail d'un contrefort.....	174
Fig. 64 Sections transversales : barrages de Cornalvo, Proserpina et Alcantarilla	176
Fig. 65 Barrage romain de Consuegra - Tolède	178
Fig. 66 Ruines de l'appui rive droite du barrage de Malpasillo XIV ^e siècle.....	180
Fig. 67 Barrage El Galindo (XV ^e siècle) à Blesa – Zaragoza.....	182
Fig. 68 Barrage de Tibi (XVI ^e siècle) depuis l'aval.....	188
Fig. 69 Dessin du barrage de 8 m de haut de Karakuyu à Uzunyayla, avec une longueur totale de crête de 400 m, du XIII ^e siècle avant J.C..	190
Fig. 70 Vue aval du barrage de Karakuyu	192
Fig. 71 Ruines de l'ouvrage de fond du barrage de Karakuyu avant les fouilles	192
Fig. 72 Évacuateur du barrage d'Eflatunpinar.....	194
Fig. 73 Monument aux sources d'Eflatunpinar	194
Fig. 74 Le barrage nord de 5,4 m du lac Kesis, à l'amont du barrage initial et évacuation inférieure.....	198
Fig. 75 Barrage amont sur le ruisseau Doni	198
Fig. 76 Section du barrage Boget de 4 m de haut près de Nigde, d'une longueur de crête de 300 m	202
Fig. 77 Barrage de Boget de 4 m de haut, datant du II ^e siècle ; longueur de crête = 300 m.....	204
Fig. 78 Vue aval du barrage de Faruk de 12 m de haut pour 30 m de long	208
Fig. 79 Barrage de Faruk après l'effondrement de la rive gauche.....	208
Fig. 80 Barrage et réservoir Anasazi (ancien peuple américain).....	210
Fig. 81 Exemples de barrages en bois construits au nord-est des États-Unis, à l'origine pour alimenter en énergie des moulins et pour la navigation fluviale	212
Fig. 82 Barrage d'irrigation d'Old Mission près de San Diego, Californie, USA, en maçonnerie et mortier datant de 1770 dans la mission jésuite de San Diego	214

Fig. 61 The Roman Dam of Proserpina from upstream in 1992	171
Fig. 62 Proserpina Roman Dam (Mérida): Detail of a buttress.....	173
Fig. 63 The Roman Dam of Cornalvo (Mérida) reconstructed at the beginning of the 20th century	175
Fig. 64 Cross sections: Cornalvo, Proserpina and Alcantarilla dams.....	177
Fig. 65 Consuegra Roman Dam - Toledo	179
Fig. 66 Remains of the right abutment of the Malpasillo Dam - 14th century..	181
Fig. 67 El Galindo Dam (15th century) in Blesa – Zaragoza	183
Fig. 68 Tibi Dam (16th century) from downstream.....	189
Fig. 69 Layout of the 8 m high Karakuyu dam in Uzunyayla, with a total crest length of 400 m, from 13 century B.C.	191
Fig. 70 Downstream view of the Karakuyu dam.....	193
Fig. 71 Remains of the bottom outlet of Karakuyu dam before excavations	193
Fig. 72 Spillway of the dam at Eflatunpinar	195
Fig. 73 Monument at Eflatunpinar springs.....	195
Fig. 74 The 5.4 high northern dam at Kesis lake, upstream of the initial dam site, and discharge from the bottom outlet.....	199
Fig. 75 Upstream dam on Doni creek	199
Fig. 76 Cross section of the 4 m high Boget dam near Nigde, with 300 m crest length	203
Fig. 77 The 4 m high Boget dam, from 2 century A.D. ; with a crest length of 300 m	205
Fig. 78 Downstream view of the 12 m high Faruk dam, with 30 m crest length	209
Fig. 79 Faruk dam, after the collapse of the left abutment half	209
Fig. 80 Anasazi (ancient Native American) dam and reservoir.....	211
Fig. 81 Examples of timber crib dams used in the northeastern U.S.A., primarily for water power to run mills and for river navigation.....	213
Fig. 82 Old Mission Dam near San Diego, California, U.S.A., an irrigation diversion dam constructed of masonry and mortar in 1770 for the San Diego Jesuit Mission	215

AVANT-PROPOS

La CIGB – Commission Internationale des Grands Barrages – a décidé de préparer un bulletin sur les petits barrages au vu du grand nombre de ce type de barrages, qui représentent environ 90 % du nombre total de barrages construits dans le monde, et du fait que les ouvrages professionnels existant se concentrent essentiellement sur les grands barrages.

Il y a des preuves claires de la construction des premiers petits barrages il y a environ 5 000 ans en Jordanie, il y a 4 600 ans en Égypte et au Balûchistân, de 3 500 à 3 250 années en Turquie, au Yémen et en Grèce. Les Romains ont entrepris des œuvres majeures assez tôt et ont construit plusieurs barrages il y a environ 2 000 ans, en Italie et dans la plupart des pays méditerranéens qui composaient l'empire romain à l'époque. En Espagne, les barrages de Proserpina et Cornalbo, construits par les Romains il y a environ 2 000 ans, sont toujours exploités, après que des travaux de renforcement et de réhabilitation ont été faits au cours des années.

La plupart des barrages anciens construits par les romains étaient de petits barrages de 3 à 10 mètres de haut. Un barrage en terre construit en 504 avant JC à Ceylan faisait 17,7 km de long, 21 m de haut et comprenait quelque 13 000 000 m³ de remblai. Aujourd'hui comme hier, le barrage en terre reste le type de barrage le plus commun, principalement parce que sa construction repose sur l'utilisation de matériaux naturels, sans beaucoup de traitement.

Les contributions de l'Autriche, de Chypre, de l'Allemagne, de l'Espagne et de la Turquie ont été accessibles grâce à la Bibliothèque du Comité Brésilien des Barrages. Ces pays avaient préparé des publications spéciales à l'occasion de la réunion de la CIGB qui se tenait chez eux, dans lesquelles on trouvait une section consacrée à la construction et à l'histoire de leurs anciens barrages.

L'information sur les petits barrages situés au Mexique et au Cambodge vient de l'ouvrage « Une Histoire des Barrages », écrit par M. Schnitter en 1994, une publication remarquable et une véritable mine pour l'histoire mondiale de l'ingénierie des barrages.

Nous avons consenti des efforts spéciaux pour élaborer l'histoire des anciens barrages, du fait de leur intérêt historique, mais aussi pour mieux comprendre comment la construction des barrages s'est développée et améliorée avec les années. Il est très intéressant de noter que les aborigènes australiens et les indiens d'Amérique du Nord ont construit des petits barrages pour satisfaire leurs besoins en eau pendant les saisons sèches. Certains de ces barrages furent probablement construits avant 3 000 av JC, approximativement la date à laquelle on fait remonter les plus vieilles ruines de barrages.

João F. A. SILVEIRA
Président
Comité Ad Hoc des Petits Barrages

FOREWORD

The ICOLD – International Commission on Large Dams decided to prepare a bulletin on small dams in consideration to the great number of this type of dams, that represents about 90% of all dams, as an average in the world, and the fact that the available professional literature focused essentially on large dams.

There are clear evidences of the construction of the first small dams about 5000 years ago in Jordan, about 4600 years ago in Egypt and Baluchistan, and from 3250 to 3500 in Turkey, Yemen and Greece. The Romans undertook major works quite early and constructed several dams about 2000 years ago in Italy and in most of the countries around the Mediterranean Sea, which integrated the Roman Empire at that time. In Spain we have until our days the dams of Proserpina and Cornalbo, built by the Romans about 2000 years ago and yet in operation, after some strengthen and rehabilitation works done along the time.

Most of the ancient dams built by the Romans were small dams with 3 to 10 meters high. An earthfill completed in Ceylon in 504 B.C. was 17.7 km long, 21 m high, and contained about 13 000 000 m³ of embankment. Today, as in the past, the earthfill dam continues to be the most common type of dam, mainly because its construction involves using material in their natural state with little processing.

The contributions from Austria, Cyprus, Germany, Spain and Turkey were made accessible by the Brazilian Committee on Dams Library. These countries had prepared special publications for the ICOLD meeting that took place in each one of these countries, in which special issues about the construction and history of their ancient dams have been presented.

The information on small dams located in Mexico and Cambodia were extracted from the work “A History of Dams”, elaborated by Mr. Schnitter, 1994, which is an outstanding publication and truly global history of dam engineering.

We dedicated special effort in the elaboration of the “History of the Ancient Dams”, because of their historical interest and to better understand how the construction of dams have developed and improved along the time. It was very interesting to know that the aborigines, in Australia, and the Indians, in North America, constructed some small dams for their water need during the dry periods. Probably, some of those dams were built before 3000 BC, when the oldest ruins of dams made by the modern civilization are dated of, according to official data.

João F. A. SILVEIRA
Chairman
Ad Hoc Committee on Small Dams

REMERCIEMENT

Le comité ad hoc des petits barrages et l'Exécutif de la CIGB tiennent tout d'abord à saluer avec reconnaissance la suggestion de M. C.V.J. Varma de créer ce comité, pendant la 72^e réunion annuelle, à Séoul en 2004, quand il était Président de la CIGB. Ils saluent aussi M. C.B. Viotti, le président suivant de la CIGB, pour sa création à la 73^e réunion annuelle à Téhéran, en 2005.

Dans l'élaboration de « l'histoire des anciens barrages », c'est juste le volume 1 de notre comité ; nous avons reçu une collaboration particulière de la part des membres suivants : M. Mathur, d'Inde, M. Matsuura, du Japon, Mme Miller, des États-Unis, de M. Polacek, de la République Tchèque, de M. Royet, de France, M. Sheng, de Chine, M. Attari, d'Iran, et M. Yong-Nam, de Corée.

Nous avons également envoyé un e-mail demandant la collaboration de tous les pays entourant la mer méditerranée, qui ont participé à l'empire romain il y a 2000 ans, et nous avons reçu d'importantes et excellentes contributions d'Italie, de Libye et du Portugal. Nous remercions spécialement Messieurs Angellucci, Omar et Silva Gomes. Durant la dernière réunion de la CIGB nous avons eu l'opportunité de demander des contributions personnelles, et nous remercions en particulièrement M. Landon-Jones d'Australie et M. Sirca de Slovénie.

La contribution du Brésil a été préparée avec la collaboration de Monsieur Cavalcanti, de CHESF – San Francisco Hydro Electricity Company.

ACKNOWLEDGEMENT

The Ad Hoc Committee on Small Dams and the ICOLD Executive gratefully acknowledge, initially, the suggestion of Mr. C.V.J. Varma to create this committee, during the 72nd Annual ICOLD Meeting, in Seoul, 2004, when he was the ICOLD President, and also to Mr. C.B. Viotti, the next ICOLD President, for its creation at the 73rd Annual ICOLD Meeting, in Tehran, 2005.

In the elaboration of the “Historical Review on Ancient Dams”, that is just the Volume I of our ICOLD Committee, we received the special collaboration from the following members: Mr. Mathur, from India, Mr. Matsuura, from Japan, Mrs. Miller, from The United States, Mr. Polacek, from Czech Republic, Mr. Royet, from France, Mr. Sheng, from China, Mr. Attari, from Iran, and Mr. Yong-Nam, from Korea.

We had also sent e-mail asking for the collaboration of all the countries around the Mediterranean Sea, which had taken part of the Roman Empire about 2000 years ago, and received in such way important and excellent contributions from Italy, Libya and Portugal. Then, special thanks to Mr. Angelucci, Mr. Omar, and Mr. Silva Gomes, respectively. During the last ICOLD meeting we had the opportunity to ask some personal contributions, and that from Australia we thank particularly Mr. Landon-Jones, and that from Slovenia we thank Mr. Sirca.

The contribution from Brazil was prepared with the collaboration of Mr. Cavalcanti, from CHESF – San Francisco Hydro Electricity Company.

REVUE HISTORIQUE DES BARRAGES ANCIENS

INTRODUCTION

Les premiers barrages au monde ont été construits par des castors sur des rivières et des lacs de l'hémisphère nord. Dans la province de Yukon au Canada, on a récemment découvert des traces d'un ancien barrage de castor qui semble avoir été renforcé par des os de mammouth. Les couches de sédiments autour du barrage indiquent qu'il daterait de 100 000 à 125 000 ans. Pour la suite, on n'évoquera que les barrages construits par l'homme depuis 5 000 ans environ.

Les ruines d'un vrai barrage de retenue d'eau, au sens moderne du terme, ont été découvertes il y a un peu plus de cent ans dans la ravine de Garawy en face de Memphis en Égypte (Fig. 1). Ce barrage a été construit vers 2600 ans avant J.C., c'est-à-dire au début de la période des pyramides. De ce fait, ses dimensions de 14 m de haut et 113 m de long étaient considérables. C'est, au monde, le plus vieux barrage connu de cette dimension. Son réservoir d'une capacité de 500 000 m³ était destiné à stocker les crues rares mais violentes de cette ravine (Schnitter/94).



Fig. 1
Vue depuis la rive gauche du site du barrage de Kafara (Schnitter/94)

Sa coupe transversale est très proche de celle d'un barrage en enrochements avec un noyau central imperméable en sable silteux et graviers épaulé par deux recharges en enrochements comme indiqué sur la Fig. 2.

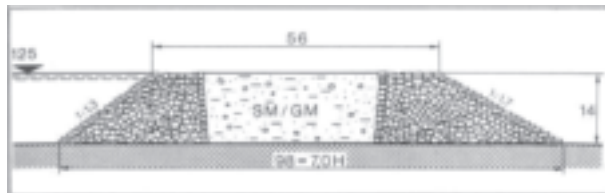


Fig. 2
Coupe du barrage de Kafara (Garbrecht/85)

HISTORICAL REVIEW ON ANCIENT DAMS

INTRODUCTION

The first dams in the world had been constructed by the beaver across freshwater streams and lakes of the northern hemisphere. In Yukon, Canada, there are some recent evidences of an ancient beaver dam that seem to have used some mammoth bone to help stabilize it, and the sediment layers surrounding the dam indicated that it is likely 100 000 to 125 000 years old. But in this item we are going to talk about the ancient dams constructed by the Man, the first one about 5 000 years ago.

The ruins of a real water retaining dam in the modern sense were discovered over one hundred years ago in the Garawy ravine facing Memphis, in Egypt (Fig. 1). This dam was built around 2600 BC, i.e. at the beginning of the Pyramid Age. Accordingly, its dimensions of 14 m in height and 113 m in length were considerable. It is the oldest dam of such size known so far in the world. Purpose of the reservoir of half a million m³ capacity was the retention of the rare but violent floods in the ravine (Schnitter/94).



Fig. 1
View of Kafara dam site from the left bank (Schnitter/94)

Its cross section is not far from a rockfill dam with a central impervious core of silty sand and gravel between the two shells of rockfill, as can be seen in Fig. 2.

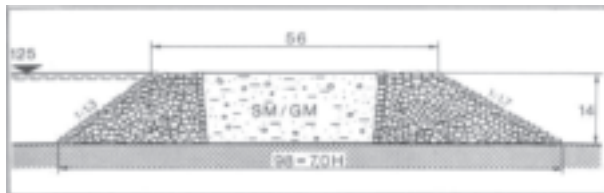


Fig. 2
Cross section of Kafara dam (Garbrecht/85)

Le volume total de remblai atteignait 87 000 m³ et on estime que la construction a duré de 8 à 10 ans. Comme relevé par Schnitter, la préparation et la mise en place soignées des 17 000 blocs de revêtement des deux parements extérieurs du barrage, chacun pesant près de 300 kg, a dû constituer un long travail.

Une liste de la construction des barrages dans différentes régions du monde est présentée, par ordre chronologique, dans le Tableau 1.

Tableau 1
Liste chronologique d'anciens barrages (Schnitter/94)

Année de construction	Pays	Nom du barrage	Type	Fonction	But
3000 avant J.C.	Jordanie	Jawa	Poids	Réservoir	Alimentation en eau
2600 avant J.C.	Égypte	Kafara	Remblai	Réservoir	Contrôle des crues
2500 avant J.C.	Bélouchistan	Gabarbands	Poids	Réservoir	Conserv.
1500 avant J.C.	Yémen	Marib	Remblai	Dérivation	Irrigation
1260 avant J.C.	Grèce	Kofini	Remblai	Réservoir	Contrôle des crues
~1250 avant J.C.	Turquie	Karakuyu	Remblai	Réservoir	Alimentation en eau
950 avant J.C.	Israël	Shiloah	?	Réservoir	Alimentation en eau
703 avant J.C.	Irak	Kisiri	Poids	Dérivation	Irrigation
700 avant J.C.	Mexique	Purron	Remblai	Réservoir	Irrigation
581 avant J.C.	Chine	Anfengtang	Remblai	Réservoir	Irrigation
370 avant J.C.	Sri Lanka	Panda	Remblai	Réservoir	Irrigation
275 avant J.C.	Soudan	Musawwarat	Remblai	Réservoir	Alimentation en eau

Les caractéristiques structurales des anciens barrages sont très variées et on ne peut distinguer de préférence régionale. Ils ont cependant en commun de résister à la poussée de l'eau par le simple effet du poids des matériaux utilisés sans utiliser leur résistance propre.

Sans doute inspirés par leurs voisins Étrusques au nord, dont l'ingénierie hydraulique était remarquable, les Romains ont entrepris assez rapidement la réalisation d'ouvrages hydrauliques majeurs (Schnitter/94). Ainsi, au début du 5^e siècle avant J.C. ils assurent l'assainissement du centre de Rome, du Forum, grâce à l'égout de la Coaca Maxima ainsi que d'autres régions aux alentours.

Lorsque les Romains commencèrent à construire des barrages, ils possédaient des techniques de construction élaborées mais faisant appel à des outils simples tels que leviers, piques, pelles déjà utilisés par les civilisations anciennes. Pour les anciennes constructions privées, les ouvriers étaient des esclaves ; pour les ouvrages publics comme les systèmes hydrauliques, très souvent c'étaient des soldats non

The total volume of fill thus reached 87 000 m³ and the construction period had been estimated from eight to ten years. As pointed out by Schnitter/94, the preparation and the careful placement of the 17 000 revetment blocks on both outer faces of the dam, each weighing 300 kg, must have particularly time consuming.

A listing of the dam construction in several different regions of the world, in chronological order, is presented in Table 1.

Table 1
Chronological list of ancient dams (Schnitter/94)

Year completed	Country	Name of dam	Type	Function	Purpose
3000 BC	Jordan	Jawa	Gravity	Reservoir	Water sup.
2600 BC	Egypt	Kafara	Embankment	Reservoir	Flood contr.
2500 BC	Baluchistan	Gabarbands	Gravity	Reservoir	Conserv.
1500 BC	Yemen	Marib	Embankment	Diversion	Irrigation
1260 BC	Greece	Kofini	Embankment	Reservoir	Flood contr.
~1250 BC	Turkey	Karakuyu	Embankment	Reservoir	Water sup.
950 BC	Israel	Shiloah	?	Reservoir	Water sup.
703 BC	Iraq	Kisiri	Gravity	Diversion	Irrigation
700 BC	Mexico	Purron	Embankment	Reservoir	Irrigation
581 BC	China	Anfengtang	Embankment	Reservoir	Irrigation
370 BC	Sri Lanka	Panda	Embankment	Reservoir	Irrigation
275 BC	Sudan	Musawwarat	Embankment	Reservoir	Water sup.

As varied as their origins, were the structural characteristics of the ancient dams, for which no regional preference are discernible. They had one aspect in common however, to resist the water pressure only the weight of the construction material was used, but not its strength itself.

Possibly inspired by their northern Etruscan neighbors who were proficient hydraulic engineers, the Romans undertook major hydraulic works quite early, as emphasized by Schnitter/94. Thus, at the beginning of the fifth century BC they drained the centre of Rome, the Forum, with the Cloaca Maxima sewer, and other important regions nearby.

When the Romans began to build dams they possessed fully developed construction techniques, which were based on manual labour with simple tools, such as levers, picks and shovels, like in the other ancient civilizations. The labour force consisted of slaves of private ancient contractors or, in public works such as hydraulic schemes, very often of idle troops. All Roman dams in principle were

simple walls of constant width which, were founded on rock and, when of moderate height, overflowed by floods. Rarely one or both faces of a dam were inclined, because it was only in the 19th century when engineers realized, that the optimum cross section would be a triangle corresponding to the increase of the water pressure in the reservoir from top to bottom.

Whenever the Roman engineers judged the stability of a dam wall to be insufficient, they backed it up by irregular spaced buttresses (Fig. 3) or, especially at higher dams, by embankment on the downstream side.

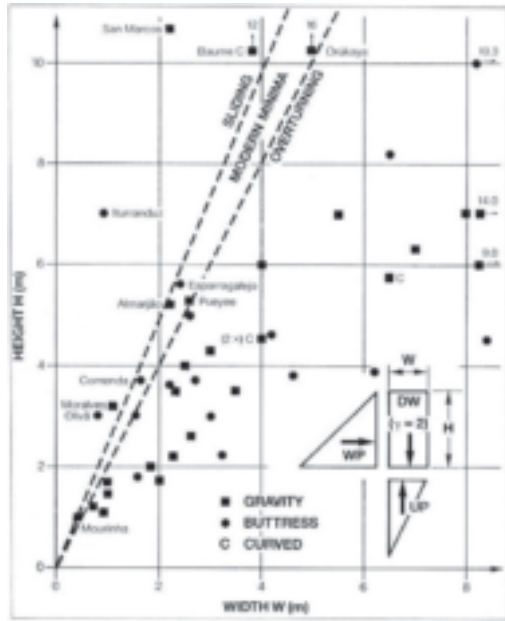


Fig. 3

Width of Roman gravity and buttress dam walls in function of their height; DW=dead weight; UP=uplift, WP=water pressure; critical dams identified by name (Schnitter/94)

In the following pages are presented the contributions sent by various countries to our Small Dams ICOLD Committee, in which it is possible to follow up the construction of several ancient dams in different places and time along the world.

The first provinces which the Romans acquired outside of Italy were the Carthaginian territories, along the eastern and southern coasts of the Iberian Peninsula, around 200 BC. Although the Romans started to built dams there only towards the end of the first century they were responsible for the construction of ancient dams in practically all the countries along the Mediterranean coast, by instance. Then, in our ICOLD Committee it was decided to send e-mail to most countries along the Mediterranean coast, asking for some contribution about their ancient dams. Libya, by instance, sent some very interesting material showing the ruins of Menegin and Old Libda dams, built during the Roman Empire about 2000 years ago.

L'Iran a transmis des éléments intéressants ainsi que des photos des barrages Bahman, Shadorvan, Sheshteraz, Amir, Akhlemad et Gargar qui continuent de retenir de l'eau malgré la forte sédimentation de la retenue. Ces barrages ont été construits entre l'an zéro et notre ère et l'an 1700.

Nous avons reçu quelques jolies photos du barrage coréen de Byeoggolje, toujours en service, construit en 330 après J.C., de 5,1 m de haut pour 3 240 m de long.

Au Moyen-âge, la raison fréquente de stocker de l'eau était liée au besoin de produire suffisamment de poissons compte tenu des règles religieuses strictes en matière de jeûne. La technique habituelle était de construire des petits murs de retenue en terre autour de dépressions à fond plat, loin des circulations d'eau. Les vrais précurseurs des barrages d'aujourd'hui sont des barrages en rondins construits pour le flottage du bois nouvellement coupé dans les montagnes aux forêts inaccessibles de plusieurs pays d'Europe. Ces barrages en rondins, dont on trouve des traces au moins au 13^e siècle, étaient utilisés quand le courant était insuffisant pour le flottage. On trouvera des exemples de ce type d'ouvrages dans les contributions de l'Autriche, la Slovénie, la République Tchèque et l'Allemagne.

Aux États-Unis, on note que les premiers petits barrages ont été construits il y a plus de mille ans par les ancêtres Pueblos appelés Anasazi ou « anciens » par les indiens Navajos. Quelques exemples intéressants de barrages en bois utilisés au nord-ouest des États-Unis pour fournir l'énergie aux moulins sont également présentés.

La contribution du Brésil montre que les premiers barrages y ont probablement été construits pendant le 16^e siècle surtout afin d'alimenter en énergie les moulins pour la canne à sucre. Il s'agissait de barrages en maçonnerie de 3 à 5 m de haut utilisant des techniques de construction voisines de celles en usage aujourd'hui.

Le Portugal a signalé un exemple très intéressant d'un petit barrage construit au début du 20^e siècle, les illustrations montrent l'usage d'un des premiers rouleaux compacteurs à pied de moutons, parallèlement au travail de très nombreux ouvriers, comme c'était le cas à cette époque.

Iran sent some nice material and photos about Bahman, Shadorvan, Sheshteraz, Amir, Akhlemad and Gargar dams, which is still retaining water in spite of the high sedimentation at the reservoir. These dams had been built from 2000 to 300 years ago.

From Korea is it possible to see some nice photos from Byeoggolje dam, built 330 AD, with 5,1 m high and 3,240 m long, which is still in operation.

One frequent reason for impounding water in the Middle Ages was the creation of fish in order to provide the supply of fish, needed to observe what were then strict religious rules for fasting. The usual technique was to build low retaining walls of earth around flat-bottomed depressions well away from the main waterways. The more direct precursors of today's dams are the logging dams built to float the newly cut timber through the inaccessible forested mountains, in several countries of Europe. These logging dams which can be traced back to at least the 13th century, were built where the stream had too little flow to float the logs unaided. Example of these types of Middle Age small dams we can see at the contributions from Austria, Slovenia, Czech Republic and Germany.

In the United States it is possible to see that the first small dams were built over a thousand years ago by ancestral Puebloan people, referred as Anasazi or "ancient ones" by Native American Navajos. Some interesting examples of timber dams used in the northwestern USA, for water power to run mills and for river navigation is still presented.

The contribution from Brazil showed that the first dams probably had been built during the 16th Century, primarily for water power to run the sugar cane mills. There were stone masonry dams with 3 to 5 m height using similar construction procedures that is until in use.

Portugal sent a very interesting example, of a small dam built in the beginning of the last century, with very nice photos showing the utilization of one the first sheepsfoot compaction roller, together with the employment of intensive labor workers, as was usual at that time.

1. ANCIENS BARRAGES EN AUSTRALIE

Des barrages ont été construits dès le début des colonies australiennes. Cependant il ne s'agissait que de petits ouvrages, rarement de plus de 3 m de hauteur, généralement associés à des moulins. Les barrages réalisés pour l'approvisionnement en eau des villes ont été construits par la suite, même si dans certains états ils figurent parmi les premières constructions publiques. La période couverte par les données ci-dessous a été arbitrairement arrêtée à 1850.

Comme l'agriculture prenait de l'importance, de petits barrages d'irrigation par dérivation ou par stockage apparurent. Les constructeurs de ces barrages étaient des ouvriers, souvent des forçats ou d'anciens forçats avec un peu ou pas du tout d'expérience de construction de barrages dans leur pays d'origine. On commit des erreurs mais les progrès continuèrent. Plus tard apparurent des techniciens chevronnés. Il n'existait pas de conception comme on la connaît aujourd'hui, et pas de vérification par le calcul parce que les principes de base n'existaient pas. En fait, les progrès de la technique sont seulement nés de l'expérience des ruptures antérieures ou des erreurs.

Cependant les barrages de la colonisation n'étaient pas les premiers barrages en Australie. Les premiers explorateurs rapportent de leurs expéditions l'existence de barrages aborigènes. Bien que leur âge n'ait pas été déterminé, ils sont probablement antérieurs à l'immigration européenne.

1.1. BARRAGES ABORIGÈNES

En 1847, Ludwig Leichardt découvrit pendant son exploration du golfe de Carpentaria dans le Queensland du Nord, un petit barrage en remblai construit par les aborigènes sur une rivière à sa jonction avec l'estuaire – probablement la rivière Foe. Trois autres ouvrages ont été découverts en 1889 par Ernest Giles dans le Grand Désert Victoria au sud de l'Australie et à l'ouest de l'Australie. Le plus grand était situé à environ 110 km au sud-est de Maralinga. Il était de forme circulaire avec 18 m de longueur pour 1,5 m de hauteur. Un deuxième se trouvait à 140 km au nord-est de Maralinga et un troisième plus à l'ouest de l'Australie. Depuis, plusieurs autres ont été trouvés au sud de l'Australie.

Le plus grand barrage aborigène a été découvert en 1960 sur Pindari Downs Station dans la Nouvelle Galles du Sud, à 80 km au nord-est de Milparinka dans la zone de débordement de la rivière Bulloo. Le barrage aujourd'hui rompu avait une hauteur maximale de 1,8 m et 100 m de longueur de crête.

1.2. BARRAGES DU NORFOLK ISLAND

La colonisation de Norfolk Island commença en mars 1788, six semaines seulement après la première colonie installée en Australie à Port Jackson ; elle fut une colonie annexe de la Nouvelle Galles du Sud.

1. ANCIENT DAMS IN AUSTRALIA

Dams were constructed from the early days of the Australian colonies. However they were only small, rarely greater than three metres in height and commonly associated with water mills. Town water supply dams followed although in some states they were among the first public works constructed. The period covered by this paper has been arbitrarily set as before 1850.

As agriculture expanded small irrigation diversion dams and storage dams appeared. The builders of these dams were practical men, often convicts or time-expired convicts, with some or no experience in dam building in the mother country. Mistakes were made but the art continued. Trained engineers came late upon the scene. Design, as we know it today, was unknown and there were no calculations as the principles of dam engineering did not exist. In fact it was only because of experience gained in earlier failures or mishaps that the art developed at all.

However, colonial dams were not the first dams in Australia. Early explorers came across Aboriginal dams in some of their travels. Although the age of these dams has not been determined, they probably pre-date European settlement.

1.1. ABORIGINAL DAMS

In 1847 Ludwig Leichardt, during his exploration of the Gulf of Carpentaria in Northern Queensland, came across a small earth embankment, built by aborigines, on a creek at the point where it runs into a tidal estuary – probably the Foe River. Three others were found by Ernest Giles in the Great Victoria Desert of South Australia and Western Australia in 1889. The largest was located about 110 km southeast of Maralinga. It was about 18 m in length and 1.5 m high and was circular in shape. Another dam was situated 140 km northeast of Maralinga and the other 270 km further west in WA. Several others have since been found in South Australia.

The largest Aboriginal dam yet found is on Pindari Downs Station in NSW, 80 km north-east of Milparinka in the Bulloo River overflow area. It was found c 1960. The dam has a maximum height of 1.8 m, is 100 m long and has been breached.

1.2. DAMS ON NORFOLK ISLAND

Norfolk Island was first settled in March 1788 only six weeks after Australia's first settlement at Port Jackson and was a sub-colony of New South Wales.

Le premier commandant de l'île, le lieutenant de marine Phillip Gidley King, poursuivit activement la construction d'un moulin qui fut achevé en 1795 avec son barrage attenant dans le vallon d'Arthur (maintenant le ruisseau Watermill) juste au nord de l'installation principale de Sydney (renommé Kingston en 1825).

Le moulin et le barrage ont été construits par Nathaniel Lucas, ancien forçat devenu maître charpentier de Norfolk Island où il était arrivé parmi les premiers.

En 1825 l'île fut réaffectée par la Nouvelle Galles du Sud comme établissement pénitentiaire pour délinquants secondaires et le moulin fut reconstruit. Cependant, vers 1830, le barrage connaît des fuites importantes ; en 1833 il est déclaré irréparable et incapable de retenir suffisamment d'eau pour faire fonctionner le moulin. Il est réparé en 1837 par un revêtement en maçonnerie de calcaire. Malgré cela, les fuites restèrent à un niveau tel que le moulin ne pouvait fonctionner qu'en périodes de hautes eaux.

En 1839, le lieutenant Luggard des Ingénieurs du Roi construit un second barrage quelques centaines de mètres en amont de l'ancien barrage. En 1908, le nouveau barrage est envasé et certaines parties du barrage sont affouillées. Il a été restauré en 1960 par le Département des Territoires du Commonwealth et existe toujours aujourd'hui.

1.3. BARRAGES DE NOUVELLE GALLES DU SUD

1.3.1. L'alimentation en eau de Sydney

Port Jackson (qui devint plus tard Sydney), première colonisation de Nouvelle Galles du Sud était situé à Sydney Cove. Cependant, la plupart des premiers barrages de Nouvelle Galles du Sud ont été construits dans ou autour de Parramatta, à l'ouest de Sydney, dans une zone favorable à l'agriculture, contrairement à celle de Sydney Cove.

1.3.2. Le moulin à eau du gouvernement à Parramatta - 1806

Le Gouverneur de Nouvelle Galles du Sud, Philip King, avait confié à Nathaniel Lucas et Alexander Dollis, forçat et architecte maritime de l'île de Norfolk, la construction d'un moulin à eau et des barrages associés à Parramatta en 1804. Le révérend Samuel Marsden, pasteur et juge de la police de Parramatta, était le responsable des travaux auprès du gouvernement.

Finalement en 1804, le moulin fut en voie d'achèvement.

Très peu de temps après, en avril 1804, la rivière grossit et le barrage de diversion commença à se rompre. King donna l'ordre de creuser un chenal de contournement pour diminuer la poussée sur le barrage mais, en présence du gouverneur, le sol sableux dans lequel était creusé le chenal s'éroda en emportant également des arbres. Ce fut le premier désastre écologique d'Australie ! Le bassin du moulin ne se comporta pas mieux. Il s'effondra deux fois. George Cayley, botaniste gouvernemental et voisin (mais pas ami) de Marsden, qui possédait la

The island's first Commandant, marine Lt. Phillip Gidley King, actively pursued the construction of a water-mill, which was completed in 1795 along with its millpond dam, in Arthur's Vale (now Watermill Creek) just north of the major settlement of Sydney (later renamed Kingston in 1825).

The mill and dam was constructed by Nathaniel Lucas, as ex-convict who had been elevated to the position of Master Carpenter at Norfolk Island after arriving in the first contingent.

In 1825 the island was re-settled by NSW as a convict penal settlement for secondary offenders and the mill was re-built. However by 1830 the dam was leaking badly and in 1833 was described as irreparable and incapable of containing sufficient water to keep the mill at work. However in 1837 it was repaired with a sandstone masonry lining. Despite this, it continued to leak so badly that it was only at high river levels that the mill could be termed effective.

In 1839 Lt Luggard of the Royal Engineers constructed a second dam a few hundred metres above the old dam. By 1908 the new dam was silted up and parts of the dam were undermined. It was restored in 1960 by the Commonwealth Department of Territories and still stands today.

1.3. DAMS IN NEW SOUTH WALES

1.3.1. Sydney's Water Supply

New South Wales' first settlement of Port Jackson (later to become Sydney) was sited at Sydney Cove. Most of NSW's early dams, however, were built in and around Parramatta to the west of Sydney, an area fit for agriculture unlike the area around Sydney Cove.

1.3.2. The Government Water-mill at Parramatta - 1806

The Governor of NSW, Philip King, had Nathaniel Lucas and Alexander Dollis, the convict Master Boat Builder at Norfolk Island, construct a water-mill and associated dams at Parramatta in 1804. The Reverend Samuel Marsden, rector and police magistrate at Parramatta, was Government Superintendent of the work.

Finally in 1804, the mill appeared near to completion.

Very soon after, in April 1804, the river rose and the diversion dam began to crack. King ordered a channel to be dug around the dam to relieve pressure on it but in the presence of the Governor, the light sandy soil of the channel eroded, taking with it the adjacent trees as well. It was Australia's first environmental disaster! The mill pond did not fare better. It failed twice. George Cayley the Government Botanist and neighbour (but no friend) of Marsden, who owned the

propriété adjacente au moulin, en rejeta la responsabilité sur King, Marsden, Lucas, Dollis et tous les détenus en général, pour incompétence.

Le barrage de dérivation était constitué de rondins et de terre simplement entassés sans le moindre soin. Le barrage du moulin était, à l'origine, constitué d'un remblai en argile corroyée mais, après des pluies importantes, le talus amont glissa dans le bassin. L'ouvrage fut réparé en déversant de la terre dans le bassin et le moulin fut mis en service en février 1805.

Une petite fuite du barrage du moulin apparut un vendredi mais n'avait pas été stoppée quand l'équipe de forçats termina son travail. Or, un décret du gouvernement ne permettait pas le travail des forçats le samedi et le dimanche ; le lundi, le barrage était affecté d'une large brèche. Un mur en pierre fut construit pour remplacer le remblai. Le mur faisait jusqu'à 6 m de hauteur et seulement 2,4 m d'épaisseur avec des parements en pierre de 30 cm d'épaisseur et une partie centrale en argile corroyée. Il s'effondra rapidement.

Caley proposa un meilleur site dans lequel les rives du barrage de diversion, le barrage de retenue et le moulin pourraient être fondés sur du rocher et non sur un sol sableux.

1.3.3. Le moulin de Marsden - 1812

Entre 1810 et 1812, Samuel Marsden construisit son moulin sur l'emplacement suggéré par Caley. Le moulin et le barrage sont bien réalisés et sont en exploitation jusqu'en 1866. Alors que, comme magistrat, il avait sévèrement fait respecter la règle qu'aucun travail ne devait être fait au moulin gouvernemental le dimanche, il semble que son propre moulin continuait à moudre chaque jour de la semaine. Le moulin fut surnommé « le moulin qui ne connaît aucun Sabbat ».

1.3.4. Le barrage de la ville de Parramatta - 1818

Jusqu'en 1818, les citoyens de Parramatta utilisaient l'eau prélevée dans la rivière Parramatta à l'aval du moulin ; suite à des sécheresses tarissant la rivière, le gouverneur Macquarie entreprit la construction d'un barrage de stockage d'eau. Celui-ci fut construit en 1818 au pied de la rue Marsden, approximativement au point de rencontre de l'eau douce et de l'eau salée.

Le barrage avait environ 90 m de long, une hauteur de 2,5 m et retenait 140 000 m³ d'eau. Il était fondé sur un grès à stratification quasi-horizontale et il comportait un noyau amont en argile corroyée, de 3 m d'épaisseur au sommet, supporté par un platelage en bois à joints soignés, faiblement incliné sur l'horizontal. Celui-ci était enfin supporté par des cadres triangulaires, espacés de 6 m, et des poutres horizontales en bois équarri. Les cadres étaient encastrés dans des engravures creusées dans le rocher. Une lisse en bois équarri courait le long de la crête de l'évacuateur et les espaces entre les cadres étaient remplis de blocs en grès à joints lâches (Fig. 4).

property adjacent to the mill condemned King, Marsden, Lucas, Dollis and the convicts generally for incompetency.

The diversion dam apparently consisted of logs and earth heaped together “without any taste for neatness”. The mill pond dam originally consisted of a puddled clay embankment but when filled by heavy rain the upstream face slipped into the pond. The work was repaired by tipping loose earth into the pond and the mill started working in February 1805.

A small leak appeared in the mill-pond dam one Friday but had not been stopped when the convict workforce finished work. However convicts were not allowed to work on Saturday or Sunday by government decree and by Monday there was a large breach in the dam. A stone wall was now built to replace the mill pond embankment. The wall was up to 6m high and only 2.4m wide in one hollow consisting of two leaves of stone with 0.3m thickness of puddled clay in the centre. It soon collapsed.

Cayley suggested a better site for the mill where the abutments for the diversion dam, the mill pond dam and the mill would be founded on rock instead of sandy soil!

1.3.3. Marsden’s Water-mill - c1812

Sometime between 1810 and 1812 Samuel Marsden completed his water-mill on the site suggested by Cayley. The mill and the dam were well built and continued operating until 1866. Whereas, as Magistrate, he had strictly enforced the rule that no work should be done at the Government Mill on Sundays, it appears that his own mill kept grinding every day of the week. The mill became known as “the mill which knows no Sabbath”.

1.3.4. The Parramatta Town Dam - 1818

Until 1818 the citizens of Parramatta obtained their water from the Parramatta River downstream of the water-mill and, as recurring droughts frequently depleted the flow, Governor Macquarie took steps to have a storage dam built. This was built in 1818 at the foot of Marsden Street approximately where the fresh water met salt water.

The dam was about 90 metres long with a height of about 2.5 metres holding about 140,000 m³ of water. The dam was founded on near-horizontally bedded sandstone rock and it consisted of an upstream core of puddled clay, 3 m wide at the top which was supported by closely jointed split timber slabs, sloping at a flat angle to the horizontal. These in turn were supported by triangular frames, spaced at 6 m centres, and horizontal stringers of heavy iron bark timber. The frames were anchored in chases cut in the rock. A hewn timber kerb ran along the spillway crest and the spaces between the timbers were filled with loosely jointed rectangular sandstone blocks, Fig. 4.



Fig. 4
Le barrage de la ville de Parramatta en 1887
(Bibliothèque Mitchell - Bibliothèque officielle de Nouvelle Galles du Sud)

Les pièces en bois du barrage se dégradèrent progressivement, nécessitant des réparations constantes. En 1870, une crue importante fit des dégâts considérables, au point qu'on dut étayer l'ouvrage par une maçonnerie. La crête et le parement aval furent recouverts de béton.

Le barrage existe toujours aujourd'hui, essentiellement pour des raisons paysagères et il n'est plus utilisé comme ressource en eau. Il s'agit du plus vieux barrage australien datant de la colonisation européenne et qui soit, malgré des modifications, toujours intact

1.3.5. Moulins à marée de Nouvelle Galles du Sud - 1818, 1819 et 1830

Trois moulins utilisant l'énergie des marées ont été construits en Nouvelle Galles du Sud.

Le premier moulin à marée a été érigé en 1818 à Wiseman's Ferry sur la rive sud de la Hawkesbury River. Le moulin a été reconstruit entre 1833-1834 et on pouvait encore voir en 1909 le moulin et sa retenue.

Le second moulin à marée date de 1819. D'après un croquis du moulin de 1830, le barrage était constitué de rondins soutenant probablement de l'argile corroyée.

Le troisième moulin à marée mis en service en 1830 avait un barrage en maçonnerie de pierre.



Fig. 4
The Parramatta Town Dam in 1887
(Mitchell Library, State Library of NSW)

The timberwork of the dam gradually decayed and constant repairs were necessary. A big flood in the 1870's did considerable damage following which the work was "underpinned with cement masonry". The crest and the downstream face were subsequently covered with concrete.

The dam still stands today although it remains more for aesthetic reasons and is not used for water supply. It is the oldest post-European settlement dam in Australia that is still intact, although somewhat modified.

1.3.5. Tidal Water-mills in NSW - 1818, 1819 and 1830

Three water-mills operated by tidal power were built in NSW.

The first tidal mill in NSW was built in 1818 at Wiseman's Ferry on the south bank of the Hawkesbury River. The mill was rebuilt in 1833-1834 and the remains of the mill and mill-pond could still be seen in 1909.

The second tidal water-mill was built in 1819. From an 1830 sketch of the mill, the dam is seen to consist of logs, probably backing puddled clay.

There was another tidal mill build in 1830 which had a stone masonry dam.

1.3.6. Moulin de Howell sur la rivière Parramatta - 1828

En 1828, George Howell (un ancien forçat) et son fils achevèrent un moulin à eau combiné à un moulin à vent sur la rivière Parramatta avec un barrage sur cette rivière formant la retenue du moulin.

Howell avait obtenu l'autorisation de construire le barrage de Samuel Marsden, qui était propriétaire du terrain, sur la rive nord mais son locataire John Raine qui possédait son propre moulin à vapeur s'y opposa. George Howell junior commença à construire le remblai du barrage depuis la rive sud avec l'intention de le terminer sur le terrain appartenant à Raine sur l'autre rive. Quand le remblai atteignit la rive, Raine fit démolir le barrage par ses hommes.



Fig. 5

FC Terry – Moulin à eau et moulin à vent de George Howell sur la rivière Parramatta (Bibliothèque Mitchell, Bibliothèque officielle de Nouvelle Galles du Sud)

La population se rangea au côté des Howell et participa à la reconstruction du barrage. Un journal écrit : « M. Raine apparut, armé d'un fusil, accompagné d'une milice privée qui était équipée de pioches afin de démolir le barrage au fur et à mesure de sa construction ».

Les Howell achevèrent leur moulin en novembre 1828. À son achèvement, le moulin devint un repère de Parramatta à cause de son moulin de 30 m de hauteur. Les moulins et le barrage ont été illustrés par des gravures de FC Terry (Fig. 5). La gravure montre que le remblai du barrage est renforcé par des traverses en rondins comme au barrage de la ville de Parramatta situé à l'amont.

1.3.7. Barrage de l'usine des femmes, rivière Parramatta - 1831

La qualité de l'eau dans la retenue du barrage de la ville de Parramatta ne fut jamais bonne parce que polluée par les rejets de l'hôpital et de la prison situés à l'amont et par les chevaux et le bétail amenés dans l'eau peu profonde pour être nettoyés.

1.3.6. Howell's Water-mill on the Parramatta River - 1828

In 1828 George Howell (an ex-convict) and his son completed a combined water-mill and windmill on the Parramatta River with a dam across the Parramatta River forming the mill-pond.

Howell had obtained permission to build the dam from Samuel Marsden who owned the land on the northern bank of the river but his lessee John Raine who owned his own steam operated mill objected. George Howell junior began building the dam embankment out from the southern bank intending to “land” it on Raine’s land on the other bank. When it eventually reached the bank Raine had his men destroy the dam.



Fig. 5

FC Terry – George Howell’s combined Wind and Water-mill on the Parramatta River
(Mitchell Library, State Library of NSW)

The townsfolk sided with the Howells and turned out in force to rebuild the dam. A newspaper reported, “Mr Raine appeared armed with a gun and accompanied by a private army equipped with pickaxes and this force dug as fast as the Parramattans built”.

The Howells completed their mill in November 1828. When completed the mill became a landmark in Parramatta because of its 30m high windmill. The windmill, water-mill and dam are captured in several engravings by FC Terry (Fig. 5). In the engraving it shows the dam embankment is strengthened by log struts as in the Parramatta Town Dam upstream.

1.3.7. Female Factory Dam, Parramatta River - 1831

The quality of water at the Parramatta Town Dam was never very good because it became polluted by drainage from the Hospital and the goal upstream, and from horses and stock being run into the shallow water to be washed.

Un nouveau barrage fut construit à proximité entre 1828 et 1831. Sa conception était similaire à celle du barrage de la ville, en portant sa capacité à 230 000 m³ soit 70 % de plus.

Vers les années 1890, le barrage fut emporté par une crue et remplacé par un barrage en béton. Il ne servait déjà plus pour l'alimentation en eau potable mais pour irriguer les parcs et les jardins.

1.3.8. Barrage-voûte du lac Parramatta - 1856

Les deux retenues d'alimentation en eau de Paramatta devinrent si polluées que certains citoyens fortunés faisaient venir l'eau depuis Sydney par bateaux à vapeur. Il y eut des manifestations pour demander une nouvelle alimentation en eau. Cela aboutit à l'achèvement en 1856 du barrage-voûte avant-gardiste de Paramatta de 9 m de haut.

1.4. BARRAGES EN TASMANIE

1.4.1. Le ruisseau de Hobart

La ville de Hobart (qui prit ce nom plus tard) a été fondée en 1805.

À l'origine, l'eau était puisée dans le ruisseau mais, progressivement, l'eau devint polluée à cause de l'accroissement de la population et de l'industrialisation le long de ses rives. Les premiers barrages de Tasmanie furent construits le long du ruisseau pour servir les moulins ; vers 1850, douze moulins étaient en service.

1.4.2. Schéma gouvernemental d'alimentation en eau - 1831

Pour éviter la pollution du ruisseau par les tanneries et par la scierie de Degraves, le gouvernement augmenta en 1831 la capacité du système d'alimentation en eau en construisant un barrage sur le ruisseau de Hobart à environ 200 m à l'amont du barrage Degraves et en dérivant le courant par un ponceau revêtu de briques, appelé tunnel de la ville, vers les habitations, les quais et la ville.

1.4.3. Le moulin Degraves - 1834

Le détournement du courant du ruisseau par le barrage du gouvernement réduisait l'activité de Degraves. Aussi celui-ci construisit-il, en 1834, un nouveau barrage sur sa propriété à environ 1,5 km à l'amont de son ancien barrage en amenant l'eau par un chenal à l'air libre à flanc de coteau vers un réservoir situé en hauteur et formé par un remblai en argile.

L'alimentation de la ville en fut naturellement réduit et les citoyens adressèrent au Gouvernement une pétition pour que des mesures soient prises contre Degraves, mais sans résultat.

L'année 1835 fut une année sèche et l'alimentation en eau de la ville diminua. Aussi, les citoyens furieux envoyèrent un groupe de miliciens afin de démolir le barrage.

A new dam was built adjacent to it. The dam was commenced in 1828 and completed in 1831. The design of the dam was similar to the town dam and it had a capacity of 230,000 m³, 70% greater than the Town Dam.

In the 1890s the dam was carried away by a flood and replaced with a concrete dam. It had already ceased to be used for water supply and has since been used for watering parks and gardens.

1.3.8. Lake Parramatta Arch Dam - 1856

The two water supply dams at Parramatta became so polluted that wealthy citizens had water brought by river steamer from Sydney. There was public agitation for a new water supply, resulting in the completion in 1856 of the pioneer 9m high Parramatta Arch Dam.

1.4. DAMS IN TASMANIA

1.4.1. The Hobart Rivulet

Hobart Town (later to be called Hobart) was first settled in 1805.

Water supplies were taken from the river at first but gradually the rivulet became polluted with the growth of population and industry along its banks. The first Tasmanian dams were built along the rivulet to serve water-mills and by 1850 there were twelve mills operating.

1.4.2. Government Water Supply Scheme - 1831

To avoid the pollution of the rivulet by tanneries and Degraives' sawmill upstream of the Sorrell mill, in 1831 the Government augmented the existing water supply system by constructing a dam on the Hobart Rivulet some 200 metres upstream of Degraives' dam and diverting the flow through a bricklined culvert, known as the Town Tunnel, to the barracks, wharves and town.

1.4.3. Degraives Water-mill Complex - 1834

The diversion of the Rivulet's flow by the government dam restricted Degraives' activities so, in 1834 he built a new dam on his property about 1.5 km upstream of his old dam and ran the water through an open channel along the contour to a high level reservoir, formed by a clay embankment.

The town water supply was naturally reduced and the citizens petitioned the Government to take action against Degraives, but to no avail.

It was a dry year in 1835 and the town water supply dwindled. As a result the irate citizens sent a party of constables to demolish the dam.

En 1844, le Gouvernement donna à Desgraves l'autorisation de dériver la totalité du débit venant de ses moulins dans un petit réservoir où il était filtré avant de rejoindre le système d'eau de la ville. Le réservoir avait un volume de 600 m³ et était formé d'un mur en bois étanché par de l'argile corroyée.

1.4.4. Autres moulins en Tasmanie

Il y avait au moins neuf autres moulins construits en Tasmanie avant 1850, sept d'entre eux servant également pour l'irrigation..

Le moulin de « Fenton Forest » a été construit en 1829. Le barrage de dérivation était fait de grands troncs d'arbre assemblés pour former un cadre rempli ensuite de grosses pierres. Les troncs d'arbre laissaient passer beaucoup d'eau mais le barrage était suffisamment étanche pour dériver 0,2 m³ d'eau vers le moulin.

Un barrage en rondins jointifs dérivait un petit ruisseau au moyen d'un bief dans un réservoir creusé dans la colline.

Le barrage retenait de l'eau jusqu'aux environs de 1990. À cette date, les propriétaires (les parcs nationaux et le service de la vie sauvage de Tasmanie) tentèrent d'augmenter le volume de stockage en approfondissant le réservoir au moyen d'un bulldozer. Apparemment le bulldozer entama une couche perméable et l'ouvrage n'a pas retenu de l'eau depuis

1.4.5. Début de l'irrigation en Tasmanie

En 1830, la ferme du Lieutenant Gouverneur Arthur, sur la rive sud de l'estuaire de Derwent fut entourée par un petit remblai en argile. L'eau servant à l'irrigation de la ferme y pénétrait par des vannes à marée haute.

À l'époque du départ d'Arthur de Tasmanie, le remblai fut endommagé par des crues et finalement le site revint dans son état naturel.

Vers 1850, environ 40 petites fermes étaient irriguées de façon conventionnelle par des barrages de dérivation et des canaux d'irrigation. Une ferme fut irriguée à Bushy Park dès les années 1820.

Au début des années 1840, une ferme située à « Sherwood » sur la rivière Clyde possédait un barrage-poids en maçonnerie de calcaire.

1.4.6. Le barrage du lac Tooms - 1840

En 1840, quinze propriétaires terriens le long de la rivière Macquarie demandèrent au Lieutenant Gouverneur Sir John Franklin à être autorisés, pour le bien public, à construire un barrage.

L'autorisation fut accordée à la condition que le coût des travaux soit pris en charge par les parties intéressées. Le travail démarra rapidement, le remblai de 4,2 m de haut étant achevé en quinze jours pour un coût d'environ 70 £! La section centrale de prise d'eau fut réalisée en rondins de bois. Elle ne résista pas longtemps et fut reconstruite quelques mois plus tard. La surface du lac était d'environ 4 km², et son volume de 10 millions de mètres cubes.

In 1844 Degraives was given Government approval to pass all the flow from his mills into a small filter reservoir and then into the town system. The reservoir was of 600 m³ capacity and was built with a timber wall backed by puddled clay.

1.4.4. Other Water-mills in Tasmania

There were at least nine other water-mills built in the rest of Tasmania before 1850, seven of them being used for irrigation as well.

The mill at “Fenton Forest” was built in 1829. The diversion dam was constructed with large tree trunks spiked together into a framework, which was then filled up with large stones. The tree trunks allowed much of the water to escape but the dam was sufficiently watertight to allow 0.2 m³ of water per second to pass down the mill-race.

A dam of logs spiked together diverted a local creek via mill-race into a reservoir excavated into the hill.

The dam held water until about 1990, when the owners, the National Parks and Wildlife Service of Tasmania, attempted to increase the dam’s storage by deepening the reservoir with a bulldozer. Apparently the bulldozer cut into a permeable stratum, with the result that the dam has not held water since.

1.4.5. Early Farm Irrigation in Tasmania

In 1830 Lt. Gov. Arthur’s low lying farm on the south bank of the Derwent Estuary was enclosed by a low clay embankment. Water to irrigate the farm was admitted through sluices at high tide.

At the time of Arthur’s departure from Tasmania, the embankment was damaged by floods and it finally reverted to nature.

By 1850 about fourteen small farms were conventionally irrigated by diversion dams and irrigation channels. One farm was irrigated as early as the late 1820s at Bushy Park.

In the early 1840s, one farm at “Sherwood” on the River Clyde had a gravity dam of sandstone masonry.

1.4.6. Tooms Lake Dam - 1840

In 1840 fifteen land owners along the Macquarie River petitioned Lt. Governor Sir John Franklin for the benefit of the public to enable them to construct a dam.

Permission was given on condition that all works would be carried out at the expense of the parties interested. Work was commenced promptly with the 4.2 m high embankment being completed in about a fortnight at an expense of about £70! The “central delivery” section was constructed with logs which did not last very long and was reconstructed a few months later. The lake’s surface area was about 4 km², holding about 10 million m³ of water.

Le lac était rempli en 1841 et il fut jugé nécessaire de renforcer et de surélever le barrage en remblai pour le porter à 4,5 m de haut. Des réparations importantes sont intervenues en 1842 et le barrage fut détruit par une « grande » crue en 1863.

En 1864-1865, il fut reconstruit pour un coût de 2000 £ et sa hauteur portée à 5,8 m.

Une partie du remblai s'effondra sur une largeur de brèche de 25 m et le barrage fut à nouveau réparé et surélevé jusqu'à atteindre une hauteur de 8 m. En 1900, des crues emportèrent le barrage sur une largeur de 30 m.

Le barrage continua de fuir de façon importante, ce qu'on attribua à des anguilles creusant l'ouvrage ! Cette attaque devait avoir cessé car, à part des réparations mineures vers 1950, le barrage est resté intact depuis.

La capacité du lac est actuellement de 25 millions de mètres cubes et sert à l'irrigation de seulement 400 hectares.

1.4.7. Le barrage de Long Marsh - 1844

En 1842, le même groupe de propriétaires terriens de la rivière Macquarie, encouragés par leur succès du lac Tooms, obtinrent du Lieutenant Gouverneur Franklin l'autorisation de construire un autre barrage destiné à l'irrigation à Long Marsh sur la branche nord de la rivière Macquarie et d'utiliser un groupe de prisonniers en liberté surveillée pour sa construction. Selon le système de liberté surveillée, les prisonniers devaient d'abord rester prisonniers pendant deux ans pendant lesquels ils ne pouvaient être employés qu'à des travaux publics. Ils étaient ensuite en liberté surveillée. Les propriétaires terriens furent obligés de construire des baraquements pour les forçats et de fournir le salaire et la nourriture du super intendant du gouvernement – trois shillings et six pence par jour et la nourriture identique à celle fournie par le gouvernement pour les forçats. Ils furent également contraints d'obtenir la permission écrite des propriétaires de tous les terrains concernés par les travaux – une pratique qui avait été négligée pour les précédents barrages en Nouvelle Galles du Sud et en Tasmanie.

Un barrage en remblai (en argile) de 24 m de haut fut proposé en comparaison duquel les précédents barrages australiens paraissaient petits. Le Secrétaire en chef de la Tasmanie exigea que les travaux soient confiés à quelqu'un de qualifié qui devait lui présenter un rapport et un dessin des travaux projetés.

La première page du rapport précise qu'on ne devait pas avoir de difficultés à trouver assez d'argile et préconisait des puits de reconnaissance superficiels. L'argile serait amenée jusqu'au barrage par des wagons tirés par un système à contrepoids (?).

La deuxième page définit la taille du réservoir (18 millions de mètres cubes), un chenal d'évacuation de col et le volume du remblai (70 000 m³). Les remblais du barrage devaient être pentés à 2 en vertical pour 3 en horizontal.

La troisième page évalue la durée des travaux. Quarante ouvriers employés au lac Tooms, équipés de chars à bœufs, mettaient en place 3,8 m³ d'argile par jour. On attendait le même rendement à Long Marsch (y compris l'excavation, le transport et le compactage) avec 200 forçats, soit une durée de construction de 3 mois et demi.

The lake filled in September 1841 and it was considered necessary to raise and strengthen the embankment to 4.5 m high. Major repairs were carried out in 1842 and the dam was destroyed by a “great” flood in 1863.

In 1864-65 it was remade at a cost of £2000 being raised to 5.8 m.

Part of the embankment collapsed over a width of 25 metres and the dam was then again repaired and raised to 8 metres high. In 1900 floods washed away 30 m of the dam.

The dam continued to leak badly attributed to burrowing by eels! The burrowing must have ceased because apart from minor repairs in the 1950s, the dam has remained intact since.

The lake’s capacity is now 25 million m³, only irrigating 400 hectares.

1.4.7. The Long Marsh Dam - 1844

In 1842 the same group of Macquarie River landowners, buoyed up with their success at Tooms Lake, obtained permission from Lt. Governor Franklin to construct another irrigation dam at Long Marsh on the northern branch of the Macquarie River and to use a probation party of convicts for its construction. Under the probation system convicts were kept imprisoned for two years during which they were only allowed to be employed on public works. They were then released on probation. The landowners were required to erect the barracks for the convicts and to provide wages and rations for the Government Superintendent – three shillings and sixpence a day and the rations to be the same as the government rations provided for the convicts. They were also required to obtain written permission from the owners of all properties on which the work was to be carried out – a practice which had been neglected on previous dams in NSW and Tasmania.

A 24 m high earth (ie clay) embankment was proposed beside which previous Australian dams paled into insignificance. The Tasmanian Chief Secretary required a qualified man to be in charge of the work who had to provide him with a report and a sketch of the work proposed.

On page one he states that finding sufficient clay was not expected to be a problem and some shallow test pits had been dug. Clay would be brought to the dam in railed wagons which would be drawn up onto the dam by a counterweight system (?).

The second page deals with the size of the storage (18 million m³), a saddle spillway channel and the volume of the embankment (70 000 m³). The dam’s side slopes were to be 1 vertical on 1 ½ horizontal.

The third page calculates the time required to construct the dam. Forty men employed at Tooms Lake, working with bullocks carts, placed 3.8 m³ of clay per day. He expected the same rate to be maintained at Long Marsh (including excavation, transport and compaction) with 200 convicts employed, giving the time for

En ajoutant le creusement des fondations, la durée totale du chantier était de 5 mois.

Enfin, il indiquait que les travaux devaient être entrepris sans délai et qu'il fallait prendre toute mesure permettant de les accélérer puisqu'on ne pouvait rien faire pour assurer la sécurité du remblai en construction tant qu'il n'avait pas atteint une hauteur suffisante pour permettre à l'eau en excès d'être évacuée (par l'évacuateur de crues).

Début 1844, les travaux de fondations et de dérivation étaient terminés et une petite longueur de remblai réalisée sur chaque rive. Cependant, en janvier, sur instruction reçue de Londres, la main d'œuvre fut retirée par le Gouvernement au motif que les travaux ne pouvaient être assurés par des prisonniers au bénéfice de propriétaires privés, à moins que ces propriétaires n'en prennent la totalité de la charge financière.

Aujourd'hui, le site est revenu dans son état naturel avec des eucalyptus centenaires poussant sur le sol de fondation.

Il est aussi possible que le barrage ait été abandonné parce que les pentes envisagées pour les talus étaient trop raides et que le barrage aurait menacé de se rompre dès lors que l'argile aurait été détrempeée après le remplissage.

Il fallut attendre 22 ans pour qu'un barrage plus haut que celui de Long Marsch soit construit en Australie. Il s'agit du barrage d'Enoggera réalisé dans le Queensland en 1866.

1.5. BARRAGES DE L'ÉTAT DE VICTORIA

1.5.1. Melbourne

Melbourne a été fondé de façon non officielle en 1835.

Dès 1839, la construction d'un barrage, d'une conception similaire à celui de Parramatta, fut entrepris, mais les crues d'hiver le balayèrent.

Quelques mois plus tard, on dessina les plans d'un barrage résistant aux crues sous la forme d'une structure incurvée en maçonnerie. Cependant, l'ouvrage finalement retenu s'avéra moins cher ; il était constitué d'argile « soigneusement » corroyée sans comporter de maçonnerie. Le barrage coûta 1000 £.

Le barrage a survécu à des crues très importantes en 1842, 1844, 1848 et 1849. Cependant les restes du barrage furent démolis pour la construction du pont du Queens entre 1884 et 1888.

Après la construction des barrages, la pollution de la rivière Yarra devient bientôt un problème avec un nombre significatif de morts à la suite d'épidémie de choléra. Pour fournir de l'eau potable, non contaminée, le barrage de Yan Yean, de 12 m de haut, fut achevé en 1857 en prenant l'eau sur la rivière Plenty et en l'amenant par un réseau de tuyaux jusqu'à la ville sur 30 km.

construction of the embankment of 3 ½ months. Including the excavation of the foundations the time was 5 months.

Finally he pointed out that the work should be prosecuted without delay and “every measure must be adopted that can accelerate the works as nothing can be done to secure the bank while under construction till it is of such a height as to allow superfluous water escaping (over the spillway)”.

By the start of 1844, the foundations and the diversion works had been stripped and a small length of embankment had been completed at each abutment. However in January, on receipt of instructions from London, the workforce was withdrawn by the Government, as the work could not be carried out by convicts which benefited private individuals unless those individuals bore the complete cost.

Today the site has reverted to nature with century old eucalypts growing from the foundations.

It was just as well that the dam was abandoned because the proposed dam side slopes were too steep and the dam would certainly have failed when the clay became saturated after filling.

It was not for another 22 years that a dam as high or higher than the Long March Dam was constructed anywhere in Australia – the 28 m high Enoggera Dam in Queensland in 1866.

1.5. DAMS IN VICTORIA

1.5.1. Melbourne

Melbourne was first settled unofficially in 1835.

Early in 1839, a dam just above the Falls was begun, using a design similar to the Parramatta Town Dam, but winter floods swept the dam away.

A few months later plans for a “flood proof” dam consisting of a curved masonry structure were drawn up. However the dam chosen was a cheaper version consisting of “well” puddled clay supported without any masonry work. The dam was completed at a cost of £1000.

The dam survived massive floods in 1842, 1844, 1848 and 1849. However remnants of the dam were finally blown up when the Queens Bridge was built between 1884 and 1888.

After the dams construction, pollution of the Yarra soon became a problem with a significant number of deaths from cholera outbreaks. To provide an uncontaminated water supply the 12 metre high Yan Yean Dam was completed in 1857 taking its water from the Plenty River 30 km from the city. From Yan Yean the water supply was piped to the city.

1.6. CONCLUSION

Aux origines de l'industrie australienne, les moulins à eau, associés à un barrage, ont constitué une ressource importante d'énergie. Les barrages construits pour les moulins, ou pour l'alimentation en eau potable étaient, pour la plupart, constitués de remblai en argile corroyée mais on a aussi construit des barrages en terre et enrochements et des barrages-poids en maçonnerie.

Les barrages de dérivation pour l'irrigation ou de stockage commencèrent à être construits, en culminant au barrage inachevé de Long March en Tasmanie qui était en avance sur son temps.

Enfin, le barrage-voûte du lac Parramatta, l'un des premiers au monde, fut achevé en 1856.

Toutefois, tous ces développements avaient été précédés par les barrages aborigènes.

1.6. CONCLUSION

In the early days of Australian industry water-mills provided an important source of energy with a dam as an essential component in the majority of cases. Dams for water-mills and for water supply were mostly earth embankments of puddled clay but earth-rockfill dams and masonry gravity dams were also constructed.

Irrigation diversion dams and storage dams began to be constructed culminating in the high, unfinished Long March Dam in Tasmania which can be said to have been before its time.

Finally 1856 saw the completion of the Lake Parramatta Arch Dam one of the world's first arch dam.

However, all these developments were pre-dated by Aboriginal dams.

2. ANCIENS BARRAGES EN AUTRICHE

Dans les régions arides ou semi-arides, avec des pluies faibles ou irrégulières, la construction de barrières en travers de la vallée pour retenir l'eau avait commencé dès le III^e siècle.

On n'a pas trouvé, sur le territoire actuel de l'Autriche, de traces de structures similaires aux barrages bien connus des régions arides du Moyen Orient. Compte tenu des conditions climatiques plus tempérées de l'Europe Centrale, il n'y avait pas le même besoin de stocker, dans des retenues, de grandes quantités d'eau pour faire face aux longs mois de sécheresse. Les sources et les puits étaient partout abondants et, dans la partie orientale des Alpes, le maximum des précipitations se produit pendant la période de croissance de la végétation.

Même dans les vallées alpines au cœur des hautes chaînes de montagnes où l'irrigation était traditionnellement pratiquée, on n'avait pas besoin de retenues puisque les débits des rivières alimentées par l'eau stockée dans les glaciers étaient maximaux pendant les chauds mois d'été; aussi les fermiers utilisaient-ils des systèmes complexes de canaux à l'air libre et qui devaient tenir compte du terrain rocheux. De la même manière, dans les vallées larges et plates et dans les plaines, le niveau de la nappe était généralement si haut que le drainage était plus important que l'irrigation. Ce n'est qu'avec la mise en service généralisée d'ouvrage de régulation et la diminution des débits de charriage de la plupart des rivières que la situation s'est, dans certaines régions, récemment inversée.

En ce qui concerne l'eau potable, l'Autriche a toujours été en mesure d'avoir une alimentation en provenance de sources ou d'eau souterraine, sans avoir besoin de recourir à des eaux de surface. Par exemple, l'eau de source de montagne de Vienne qui est réputée pour son excellente qualité (consommation annuelle en 1988 : 147 hm³), est amenée par des tuyaux presque exclusivement depuis des sources karstiques des massifs pratiquement inhabités de Rax-Schneeberg et de Hochschwab.

D'un autre côté, une raison fréquente pour stocker l'eau au Moyen-âge était la création de réserve de pêche, ceci afin de fournir assez de poissons pour respecter ce qui relevait alors de règles religieuses strictes. La technique habituelle consistait à réaliser de petits murs de retenue en terre autour de zone à fond plat hors de l'écoulement principal. Un des plus célèbres de ces anciens bassins fut construit en 1460 par le duc du Tyrol Sigismond le Riche et qui était formé d'un remblai en terre de 8 m de haut, 250 m de long près de Tarrenz dans la vallée de Gurgl, et dont on pouvait encore voir les ruines en 1960.

Les précurseurs les plus directs des barrages actuels en Autriche sont les barrages en rondins destinés au flottage du bois coupé dans les forêts inaccessibles en montagne. Ces barrages en rondins dont on trouve la trace au moins jusqu'au XIII^e siècle étaient construits quand le courant était trop faible pour assurer le flottage naturel. L'eau était retenue avant d'être relâchée brutalement de façon à créer une vague capable de transporter le bois jusqu'à la fin du tronçon de flottage où il était arrêté par une structure en bois et hissé hors de l'eau.

2. ANCIENT DAMS IN AUSTRIA

In arid or semiarid regions with low or greatly varying amounts of rainfall, the creation of water storage reservoirs by building a barrier across a valley had already started 3rd.

There have been no finds of ancient dam structures on the territory of modern Austria of the type with which we are familiar in the arid regions of the Middle East. In view of the more moderate climatic conditions of central Europe, there was no need to store large volumes of water in reservoirs for use during long months of drought. Springs and wells were abundant everywhere, and in the Eastern Alps the period of maximum precipitation coincides with the growth period of vegetation.

Even in those Alpine valleys in the lee of the high mountain chains where irrigation was traditionally practised, there was no need to build reservoirs, as the streams fed by the waters stored in the glaciers would be fullest in the hot summer months, and the farmers built systems of open channels, which were often complex and negotiated difficult rocky terrain. And in the wide flat valleys and lowland plains, the ground water level was usually so high that drainage was more important than irrigation. It is only with the widespread implementation of river control works and the reduction in bedload of most rivers that this situation has been reversed for some regions in recent years.

With regard to drinking water, Austria has so far been able to maintain supplies from springs and ground water, without the need to fall back on surface water. Vienna's mountain spring water, for example, which is famous for its excellent quality (annual consumption in 1988: 147 hm³), is piped almost exclusively from karstic springs located in the practically uninhabited massifs of Rax-Schneeberg and Hochschwab mountains.

One frequent reason for impounding water in the Middle Ages, on the other hand, was to create fish ponds to provide the supply of edible fish needed to observe what were then strict religious rules. The usual technique was to build low retaining walls of earth around flat-bottomed depressions well away from the main waterways. One of the most famous of these old fish ponds was built in 1460 by the Tyrolean Duke Sigismund the Rich, who had an 8 m high and 250 m long earth embankment built near Tarrenz in the Gurgl Valley, remnants of which could still be seen in 1960.

The more direct precursors of today's dams in Austria are the logging dams built to float the newly cut timber through the inaccessible forested mountains. These logging dams which can be traced back to at least the 13th century, were built where the stream had too little flow to float the logs unaided. The water was repeatedly impounded and suddenly released to produce a flood wave, which would carry the logs down to the end of the logway section, where they would be stopped by a wooden rack and hauled ashore.

À l'origine, ces ouvrages étaient en bois, comme dans le cas du barrage de l'archiduc Jean dans le Tyrol, de 12 m de hauteur et qui pouvait relâcher une retenue totale de 230 000 m³ en une heure (Fig. 6). De nos jours, les forêts sont desservies par leur propre réseau de pistes forestières de sorte que le flottage du bois est plus ou moins abandonné. Quelques vieux barrages en rondins ont été conservés compte tenu de leur intérêt historique, alors que d'autres ont été convertis à d'autres usages comme celui de Preszeny sur la rivière Salza en Styrie avec un réservoir de 0,65 hm³ et qui maintenant alimente une petite centrale.



Fig. 6
Barrage en rondins de l'archiduc Jean en Autriche

Un certain nombre de barrage ont également été construits relativement tôt afin de former des bassins de rétention des crues. Les plus dangereuses des crues éclairs de cette époque étaient provoquées par la rupture imprévisible d'importants lacs glaciaires qui se formaient – à une époque de glaciation généralement plus extensive – quand l'écoulement était arrêté dans les parties hautes des vallées par une barrière de glace créée par un glacier se déplaçant latéralement. Ces lacs se vidaient, sans signe avant-coureur, quand l'eau pénétrait finalement dans la glace. Après une série de crues éclairs catastrophiques, l'administration austro-hongroise en charge de l'eau construisit à Zufallboden dans le sud du Tyrol (aujourd'hui en Italie) un barrage en maçonnerie de 332 m de longueur capable de retenir 0,72 hm³.

En Autriche, l'utilisation préindustrielle de l'énergie hydraulique, par exemple pour faire tourner les moulins et dont on peut trouver des traces remontant au VIII^e siècle, n'imposait pas la construction de barrages importants. L'utilisation de l'énergie de l'eau, seule source d'énergie non fournie par l'homme ou les animaux domestiques, fut généralisée très tôt.

Originally these logging dams were timber structures, as in the case of the 12 m high Archduke Johann Dam in Tyrol, which could discharge a total poundage of 230 000 m³ within an hour (Fig. 6). Today, with the forests now served by their own forestry track networks, log floating has become more or less extinct. A few of the old logging dams have been preserved for their historical interest, while others have been converted to other uses, such as the Preszeny logging dam on the Salza in Styria with a storage reservoir of 0.65 hm³, which is now utilized by a small power station.

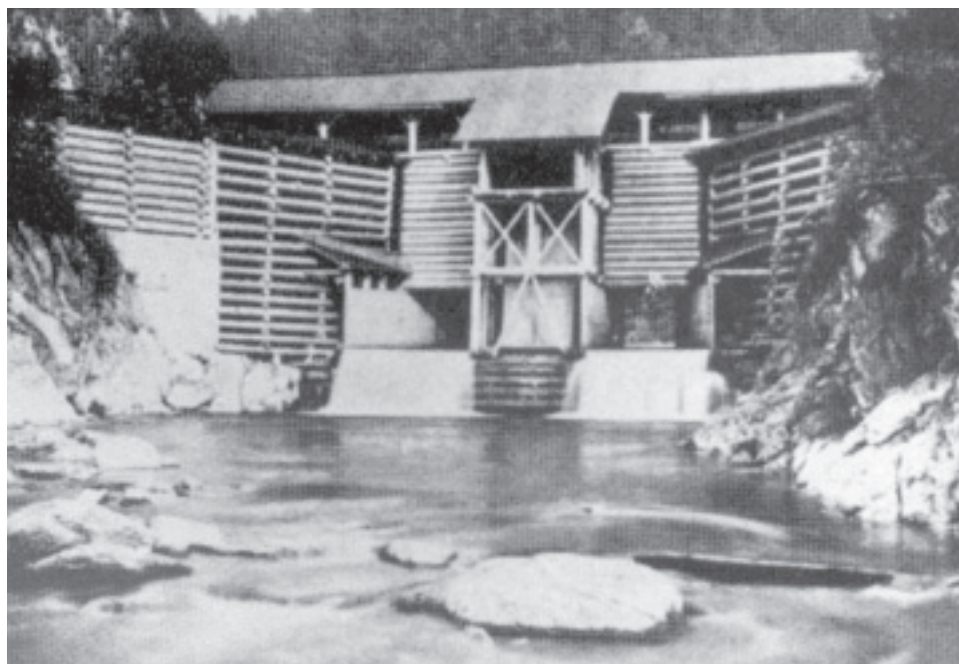


Fig. 6
Archduke-Johann log dam in Austria

A number of dams were also built at a relatively early date to form flood retention basins. The most dangerous of the flash floods of that time were caused by the unpredictable discharge of a number of notorious glacier lakes which formed – at a time of generally more extensive glaciation – wherever the runoff from a high-level valley was blocked by a barrier of ice formed by a glacier advancing from the side and were emptied without warning when the waters finally penetrated the ice. Following a sequence of such catastrophic flash floods, the Austro-Hungarian waterway authority built a 332 m long masonry dam at Zufallboden in South Tyrol (now Italy), which had a retention capacity of 0.72 hm³.

Pre-industrial hydropower utilization in Austria, such as the use of watermills, which can be traced back to the 8th century, did not involve the construction of major dams. The use of water power, as the only source of energy that was independent of man and his animals, early became very widespread.

3. ANCIENS BARRAGES AU BRÉSIL

Nous n'avons pas d'information sur la construction de retenues au Brésil avant 1500, époque de sa découverte par les Portugais. À cette époque, des indigènes sud-américains du Brésil habitaient généralement le long des 8 500 km de côtes ou le long des grands fleuves et de leurs affluents, depuis la région amazonienne au nord jusqu'à l'extrême sud. Du fait du grand nombre de rivières et du régime hydrométrique assurant des pluies pendant la majeure partie de l'année, les populations indigènes n'avaient pas besoin de retenues pour assurer l'alimentation en eau.

Un plan de la ville de Recife (État du Nord-Est du Brésil) et de ses environs, publié dans le « Mémoire pour la conception d'un canal de dérivation des eaux de la rivière Capibaribe », écrit en 1870 par l'ingénieur José T. P. de Magalhães, montre le bassin de Monteiro. Une carte hollandaise du XVII^e siècle avait indiqué ce réservoir comme on peut le voir sur la Fig. 7.

Les premiers barrages brésiliens furent construits dans la région du Nord-Est pour alimenter en énergie les moulins destinés à la canne à sucre. D'après des documents trouvés à Olinda (cité de l'État de Pernambuco), le moulin à canne à sucre de São Pantaleão, plus tard connu sous le nom de moulin de Monteiro, fut vendu le 5 décembre 1577. Par la suite, le moulin à canne à sucre d'Apipucos fut construit sur une parcelle du moulin de Monteiro sur laquelle il y avait un étang connu sous le nom d'étang d'Apipucos. On pense que cet étang existait probablement avant l'occupation hollandaise, peut-être à la fin du XVI^e siècle.

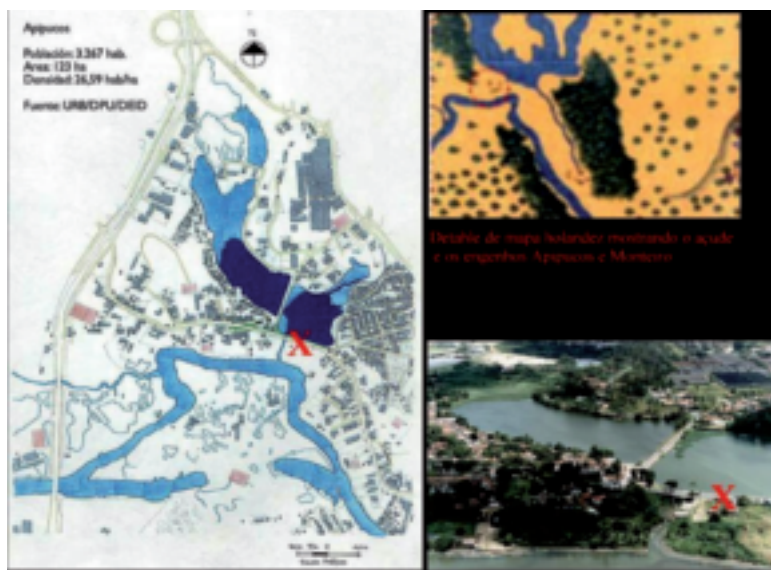


Fig. 7

Étang d'Apipucos, un des premiers du Brésil.

Plans récents des environs d'Apipucos (à gauche), carte hollandaise du XVII^e siècle (à droite) et une vue actuelle de l'étang (x)

3. ANCIENT DAMS IN BRAZIL

There is no information about the pond construction in Brazil before 1500, when it was discovered by the Portuguese. By that time, the Native South-Americans inhabited Brazil, generally along the 8 500 km of sea coast and near the main rivers and their tributaries, from the Amazon region in the north until the south extremity. As a consequence of the great amount of rivers and the pluvial regimen that practically assured rains during most part of the year, the aborigines did not need to use ponds for the water supply.

A plant of the city of Recife (Brazilian State located in the northeast area) and its outskirts, published in the “Memory on the Design of a Diversion Canal from the Waters of the Capibaribe River”, elaborated by the engineer Jose T. P. de Magalhães, in 1870, showed the Monteiro pond. A Dutch map from the XVII century had shown this pond, as can be observed in Fig. 7.

The first dams in Brazil were built, therefore, in the northeast region of the country, for the power production at the sugar cane mills. According to documents found in Olinda (a city located in the State of Pernambuco), the São Pantaleão sugar cane mill, which later on was known as Monteiro mill, was sold in December 5th of 1577. Subsequently, the Apipucos sugar cane mill was built in a piece of land of the Monteiro mill, where there was a pond, currently known as Apipucos pond. There is information that this pond was probably built before the Dutch occupation, possibly at the end of XVI century.

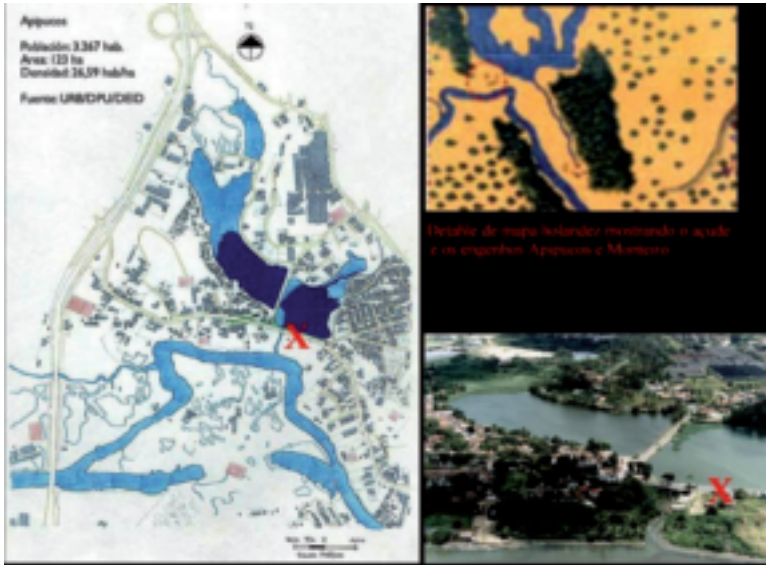


Fig. 7

Apipucos pond, one of the first ponds to be built in Brazil.
Recent plant of the Apipucos (left), Dutch map from XVII century (right)
and a present view of the pond (x)

Il existe des informations sur la construction de la digue d'Afogados sur un bras de la rivière Capibaribe (appelée rivière Afogados) pour permettre de relier le fort de Cinco Pontas à celui du Prince William (fort Afogados) dans l'état de Recife pendant l'occupation hollandaise – qui commença en 1630 et concernait la région nord-est du Brésil. La digue d'Afogados avait environ 3 m de haut, et de l'ordre de 2 000 m de long. La construction de la digue s'est terminée le 3 décembre 1644.

La levée représentait un ouvrage de très grande ampleur pour cette époque en fournissant un accès facile au fort Afogados. Il fallait drainer la zone marécageuse existante, au moyen d'un canal creusé parallèlement à la levée sur plus de 2 km.

Sa construction s'acheva peu après le départ de Mauricio de Nassau, et par conséquent il figure parmi les nombreux ouvrages d'intérêt public attribués à ce noble allemand qui était gouverneur du Brésil hollandais. En 1650, une crue importante créa une brèche dans la digue et le pont d'Afogados. On sait que la force des eaux produisit plusieurs brèches rendant l'ouvrage indisponible pendant un certain temps.

There is information on the construction of the Afogados levee on a branch of the Capibaribe river (called Afogados river), to allow access from the Cinco Pontas fort to the Prince Wilhelm (Afogados) fort, located in Recife, during the Dutch occupation – which began in 1630 and that involved the occupation of the northeast region of Brazil. The Afogados levee has about 3 meters height and approximately 2000 meters of extension. The levee had its construction finished in December 3th, 1644.

The levee was a really great workmanship for that time, providing easy access to the Afogados fort. There has been the need of draining the existing swamp area, by means of a canal that was excavated parallel to the levee, throughout an extension of more than two kilometers.

Its construction was finished little after the departure of Maurício de Nassau, and it is, therefore, one of the many public works that are attributed to this German noble that was the governor of the Dutch Brazil. In 1650 a flood of great intensity breached the levee and the bridge of the Afogados. It is known that the force of waters during the flood produced several breaches along the pond, in such way to disable its use for some time.

4. ANCIENS BARRAGES DU CAMBODGE

Situé entre l'Inde et la Chine, le Cambodge participa, dès le premier millénaire, à l'augmentation du commerce interrégional et le pays devint par conséquent assez rapidement imprégné de la culture indienne. Ainsi les Cambodgiens connurent très vraisemblablement les anciens réservoirs destinés à l'irrigation au Sri Lanka. À cette époque, ou peut-être même avant, ils entouraient souvent leurs villes du nord du Cambodge et de la Thaïlande voisine de multiples fossés circulaires remplis d'eau. Ceux-ci n'étaient pas seulement destinés à protéger les populations et les temples, physiquement et spirituellement, mais aussi à fournir de l'eau potable et à irriguer pendant la saison sèche comme indiqué par Schnitter (1994).

Pendant l'époque des dieux-rois Khmer, à partir du IX^e siècle, ces fossés étaient rectangulaires et précisément orientés nord-sud et est-ouest, projetant ainsi le ciel sur la terre selon la cosmologie indienne. En leur centre, la colline sacrée était le siège du roi divin, entouré par les quartiers d'un clergé nombreux et de ses assistants. Les fossés étaient complétés par de grands bassins rectangulaires comme ceux qu'on trouve autour de la fameuse capitale d'Angkor, à 210 km au nord-ouest de Phnom-Penh (Fig. 8). Ils avaient une surface allant jusqu'à 17 km², une profondeur de 3 à 5 m et pouvaient contenir jusqu'à 70 millions de mètres cubes d'eau. Les matériaux excavés n'étaient pas seulement utilisés pour les digues en terre autour des bassins, mais ils servaient également à ériger les collines mentionnées ci-dessus. Les bassins n'avaient pas d'exutoire et n'alimentaient pas des systèmes de distribution d'eau. Par conséquent leur contribution à l'irrigation n'était que très marginale.



Fig. 8

Carte des bassins autour d'Angkor au nord du Cambodge (d'après Moore 1989)

4. ANCIENT DAMS IN CAMBODIA

Situated between India and China, Cambodia became involved in the increasing inter-regional trade early in the first millennium AD and the country was thereby quickly indianized. In this process the Cambodians undoubtedly became aware of the ancient irrigation reservoirs in Sri Lanka. At the time, or perhaps even before, they surrounded their cities in northern Cambodia and adjoining Thailand often with multiple, circular moats filled with water. These not only protected the settlements and their temples physically and spiritually but they were also used for water supply and irrigation during the dry season, as pointed out by Schinitter (1994).

Under the Khmer god-kings, from the ninth century onwards, these moats were arranged rectangularly and strictly oriented in north-south as well, as east-west directions, thus projecting heaven onto earth, according to the Indian cosmology. In their centre was the sacred mount as seat of the divine king surrounded by the quarters of a large priesthood and its assistants. The moats were complemented by huge rectangular basins, in analogy to those near the still famous capital city of Angkor, 210 km northwest of Phnom Penh (Fig. 8). They covered up to 17 km², were 3 to 5 m deep and capable of storing up to 70 million m³ of water. The excavated material was not only used in the earth dikes around the basins, but also to build the above mentioned temple mounts. The basins neither had outlets nor did they feed any water distribution systems. Consequently they had only marginal significance for irrigation.



Fig. 8
Map of the basins near Angkor, in northern Cambodia (after Moore 1989)

Pour une régulation sommaire des crues entrant dans les bassins, une vingtaine de barrages de rétention furent construits dans la partie supérieure de la rivière Siemrap, à 30 km au nord-est d'Angkor. Ils étaient alignés nord-sud ou est-ouest ; il s'agissait de barrages en remblai homogène avec des talus amont et aval à 1,5 pour 1. Leurs exutoires n'étaient pas vannés et les volumes totaux retenus étaient d'environ 4 millions de mètres cubes c'est-à-dire une petite partie du volume des bassins. Un vrai réservoir avait été construit pour alimenter les fossés et les temples de l'ancienne capitale Isanapura, à 130 km au sud-est d'Angkor. Il y avait aussi à proximité un bassin de rétention des crues. Après le XVI^e siècle, la société théocratique Khmer s'effondra alors que la civilisation profane de la société cambodgienne se maintenait, en faisant perdurer jusqu'à nos jours beaucoup de technologies traditionnelles. Dans les années 1960, quand l'immense bassin ouest du XI^e siècle d'Angkor fut équipé d'un système de prise d'eau et de distribution, pas une seule goutte d'eau ne servit à irriguer les rizières de la région.

For a crude regulation of the flow into the basins, some 20 flood retention dams were erected on the headwaters of the Siemrap river, 30 km northeast of Angkor. They were also aligned either north-south or east-west and consisted of homogeneous embankments with 1:5 slopes on both faces. Their outlets had no gates and their reservoir volumes of approximately 4 million m³ added up to only a small fraction of the content of the basins. A true reservoir had been built for the supply of the moats and temples of the former capital city of Isanapura, 130 km southeast of Angkor. There was also a flood retention dam nearby. After the 16th century, the theocratic superstructure of the Khmer largely collapsed although the profane basic structures of the Cambodian society continued to exist, thus perpetuating many traditional technologies to the present day. In the 1960's, when the huge 11th century basin west of Angkor was equipped with outlets and a distribution system, not a single drop of water was used to irrigate the paddy fields of the project area.

5. ANCIENS BARRAGES EN CHINE

Il y a environ 5 000 ans, les Chinois commencèrent à construire des digues en terre et des remblais pour se protéger contre les inondations ainsi que le montrent les investigations archéologiques. Parallèlement, des retenues étaient construites pour l'irrigation. Il était alors difficile de distinguer les digues et les remblais.

Les premiers projets de stockage retenaient l'eau au moyen de digues formant de grands réservoirs de plaine. Ils avaient toujours de grandes longueurs, des formes irrégulières, avec une hauteur et une largeur en crête faible. L'exemple typique en est le Shaobei (maintenant appelé réservoir d'Anfengtang, Fig. 9) situé dans le comté de Shou, province d'Anhui avec une longue histoire de 2 600 ans. Il a été construit entre 598 et 591 avant J.C. Avant la dynastie Song (960~1279), ce type de remblai était assez répandu sur le fleuve Jaune, la rivière Huaihe, la rivière Haihe River et la partie aval du fleuve Yangtze ; parmi les plus célèbres, on peut citer Shuimentang (maintenant dans le comté de Huoqiu, province d'Anhui, Hongxibei (aujourd'hui dans la ville de Xinyang, province du Henan), Liumenbei (aujourd'hui dans la ville de Nanyang, province du Henan), Lac Jian (aujourd'hui la ville de Shaoxing, province de Zhejiang), Lac Lian (aujourd'hui dans la ville de Danyang, province de Jiangsu). Il y avait de nombreuses descriptions de tels réservoirs dans le fameux livre historique sur la géographie et les bassins versants.

Un réservoir de plaine est caractérisé par une grande surface de retenue, des travaux de construction gigantesques, et des difficultés pour la gestion et la maintenance. C'est pourquoi, à partir de la dynastie Song, les retenues de plaines disparurent presque totalement avec l'augmentation de la population. Les retenues de plaines furent remplacées par des retenues de montagne et qui, utilisant des vallées ou des dépressions pour stocker l'eau, facilitaient la construction, la gestion et la maintenance. Naturellement, leur longueur était très supérieure à leur largeur et leur hauteur. Les plus célèbres étaient Marenbei (aujourd'hui dans le comté de Biyang, province du Henan), Chengongtang (ville de Yizheng, province de Jiangsu) et le lac Dongqian (comté de Jinxian, province de Zhejiang). Marenbei et le lac Dongqian (Fig. 10) sont toujours en service

La majorité des barrages historiques chinois sont des barrages en rivière. L'appellation « Yan » désigne le barrage lui-même et non son réservoir.

Selon les sources disponibles, le premier, construit en 453 avant J.C., fut celui de Zhiboqu (ville de Taiyuan, province de Shanxi), puis les 12 canaux de Yin Zhang

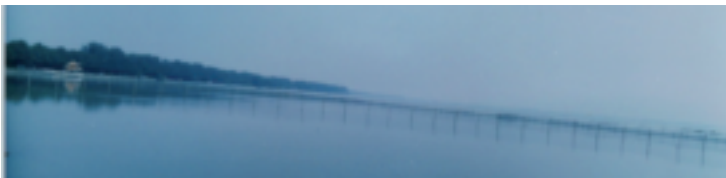


Fig. 9

Remblai du réservoir de Anfengtang construit en 598 à 591 avant J.C. de 24,3 km de longueur et un volume de retenue d'environ 100 hm³

5. ANCIENT DAMS IN CHINA

About 5 000 years ago, Chinese people started to build earth dikes and embankments for flood prevention. Such ancient water works were improved by the archaeological investigation. Then, water storage structures were used to irrigate the farmland. It was difficult to distinguish the dikes and the embankments at that time.

The early water storage projects retained the water by building the dikes so as to form large plain reservoirs. It always had large length, irregular shape, but small in width and height. The typical example is the Shaobei (now called Anfengtang Reservoir, Fig. 9) located in Shou County, Anhui Province with a long history of 2600 years. It was built in 598~591 B.C. Before Song Dynasty (960~1279 A.D.), this type of embankments was rather popular on the Yellow River, Huaihe River, Haihe River and the downstream of Yangtze River, some well-known ones were Shuimentang (now in Huoqiu County, Anhui Province, Hongxibei (now in Xinyang City, Henan Province), Liumenbei (now in Nanyang City, Henan Province.), Jian Lake (now in Shaoxing City, Zhejiang Province), Lian Lake (now in Danyang City, Jiangsu Province), etc. There were a great deal of records and descriptions on the plain reservoirs in the famous historical book on ancient geography and river basin.

The plain reservoir characters in large submerged area, huge construction works, inconvenience for the management and maintenance. Thus, from the Song Dynasty, the plain reservoirs almost disappeared with the increase of population. Replacing the plain reservoir to the mountain reservoir by using valley or depression to store water, could reduce the construction and make the management and maintenance relatively convenient. Naturally, the length was rather longer than its width and height in early mountain reservoirs. The famous ones in history were Marenbei (now in Biyang County, Henan Province), Chengongtang (Yizheng City, Jiangsu Province) and Dongqian Lake (now in Jinxian County, Zhejiang Province). Among them, Marenbei and is Dongqian Lake (Fig. 10) still in use nowadays.

It was the backwater dam that was constructed mostly in the Chinese history. It didn't from the reservoir and so called "Yan".

According to the available records, the earliest one was Zhiboqu dam built in 453 B.C. (in Taiyuan City, Shanxi Province), from then on, the Yinzhang 12 canals

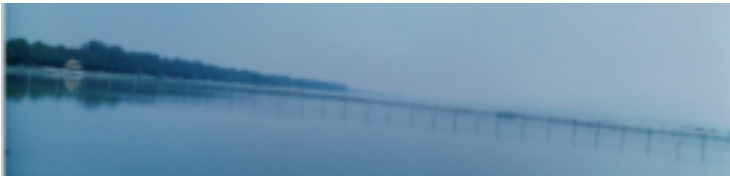


Fig. 9
Anfengtang Reservoir Embankment built in 598~591 B.C., with a length of 24.3 km
and a storage capacity of about 100 hm³

(comté de Handan, province de Hebei), le canal de Lingqu (comté de Xingan, région autonome de Guangxi Zhuang), Tongjiyan (ville de Lishui, province de Zhejiang Fig. 11), et Lilingyan (près de Pékin). Pendant 2 000 ans jusqu'à nos jours, de tels ouvrages ont été construits presque partout, principalement pour l'irrigation agricole, l'alimentation en eau des villes et la navigation. Le barrage de Lingqu (Fig. 12), toujours en service aujourd'hui, est le plus célèbre d'entre eux.

Dans la Chine ancienne, de très nombreux remblais ou digues ont été construits avec des dimensions très variées. Les plus grands ouvrages étaient celui de Fushanyan construit pendant la dynastie du Sud et du Nord (420 à 581) et celui de Gaojiayan terminé pendant la dynastie Ming et aujourd'hui connu sous le nom de Hogzehu (Fig. 13).



Fig. 10
Remblai du lac Dongqian construit en 744, de 45 km de long



Fig. 11
Digue de Tongjiyan construite de 502 à 519, première voûte connue



Fig. 12
Digue de Lingqu construite en 214 avant J.C.

(in Handan County, Hebei Province), Lingqu Canal (in Xingan County, Guangxi Zhuang Autonomous Region), Tongjiyan (in Lishui City, Zhejiang Province Fig. 11), and Lilingyan (near Beijing City) successively appeared. For the past 2000 years, such projects were built almost everywhere and principally applied to the agricultural irrigation, water supply to the city and navigation. Among them the most famous is Lingqu (Fig. 12), still in use nowadays.

In ancient China, so many dikes and embankments were built with various scales. The largest one was Fushanyan built in South and North Dynasty (420~581 A.D.) and Gaojiayan completed in Ming Dynasty and now called Hongzehu embankment (Fig. 13).



Fig. 10
Dongqian Lake Embankment built in 744 A.D., with a length of 45 km



Fig. 11
Tongjiyan Dike built in 502~519 A.D., first arch dam known.



Fig. 12
Lingqu Dike completed in 214 B.C.



Fig. 13

Digue de Gaojiayan construite pendant la dynastie Ming (1578) et aujourd'hui appelée remblai de Hogzehu, hauteur de 5,12 m, longueur de 67,25 km et volume stocké de 13 000 hm³



Fig. 13

Gaojiayan Dike completed in Ming Dynasty (1578 A.D.) and now called Hongzehu embankment, with a height of 5.12m, a length of 67.25 km and a storage capacity of about 13.000 hm³

6. ANCIENS BARRAGES À CHYPRE

6.1. INTRODUCTION

Chypre est une île dont l'histoire remonte à plusieurs milliers d'années avant J.C. Sa civilisation, dont on trouve de très abondantes traces sur toute l'île, fut une des plus importantes du monde pendant des siècles avant et après notre ère. L'eau a, depuis toujours, été utilisée pour les usages domestiques et pour l'irrigation ; il y a des cas où cela se faisait après transport sur de longues distances, par des canaux et des aqueducs à partir de sources éloignées des cités, comme dans celui de la vieille cité de Salamis alimentée en eau depuis la source de Kythrea située à 35 km.

Malheureusement, Chypre n'a pas de rivière pérenne tout au long de l'année. La plupart des rivières ne coulent que pendant les mois d'hiver et de printemps de telle sorte qu'elles ne peuvent fournir une alimentation fiable sans stockage. Quant aux ressources souterraines, elles sont la plupart du temps à de grandes profondeurs, ce qui les rendait autrefois inexploitable faute de moyens mécaniques pour les atteindre. Compte tenu de ces difficultés pour développer alors les eaux de surface et les eaux souterraines, il était naturel que l'eau des sources fût la première utilisée. L'utilisation des eaux de surface grâce à la construction de bassins de stockage présente de nombreux problèmes techniques et économiques tels qu'une topographie défavorable et une géologie complexe. Par conséquent, la construction de barrages avant l'apparition de machines et de techniques modernes de construction était particulièrement difficile. Alors que dans d'autres pays, avec une civilisation équivalente ou moins développée, des conditions favorables du point de vue de la topographie et de la géologie, rendaient possible très tôt la construction de barrages, ceci ne devint possible à Chypre que récemment, pour les raisons indiquées ci-avant.

6.2. BARRAGES EN MAÇONNERIE DE CHYPRE

Sur l'île de Chypre, la pierre a été, jusqu'à la fin des années 1950, le matériau de base pour toutes les constructions. Depuis l'antiquité jusqu'à aujourd'hui, les grès, les calcaires, les roches ignées et parfois le marbre ont été massivement utilisés.

Dans les anciens bâtiments comme les temples grecs (environ 400 ans avant J.C.) on utilisait également du marbre. Du fait de la rareté du marbre à Chypre qui devait donc être importé, de nombreux temples sont essentiellement en pierre.

Des parties de ces constructions sont toujours bien conservées, donnant ainsi un bon exemple de la durabilité de la pierre.

Des aqueducs romains (vers 300 ans après J.C.) ont été construits en pierre et un petit nombre d'entre eux sont encore dans un bon état de conservation. Mais les constructions en maçonnerie les plus intéressantes datent du Moyen-âge (1100-1600).

6. ANCIENT DAMS AT CYPRUS

6.1. INTRODUCTION

Cyprus is an Island with a long history dating back several thousands of years before Christ. Its civilization, examples of which are abundantly manifest throughout the Island, has been one of the world's most dominant for hundreds of years before and after Christ. Water has ever since been utilized both for domestic and irrigation purposes and there are cases of lengthy conveyors made up of canals and aqueducts conveying water from distant springs to cities, such as the case of the ancient city of Salamis which was supplied with water from the Kythrea Spring, lying at a distance of about 35 km.

Unfortunately, Cyprus has no rivers of perennial flow. Most rivers flow only during the winter and spring months, so that no dependable supplies can be obtained from them without storage. In the case of groundwater, it is found at relatively big depths in most parts of the Island which made it difficult to be developed in the older days when mechanical means were not available. With these problems in the ground and surface water development in the old days, it was natural that water coming from springs was the one primarily used. The possibility for surface water development through the construction of storage reservoirs presents many technical and economic problems such as poor topography and geology. Consequently, the construction of dams in days before the development of modern machinery and dam techniques was a tough proposition. Although in other countries of similar or even less civilization, favourable topographic and geologic conditions made possible the construction of dams very early in history, in Cyprus, for the reasons mentioned, this has not become possible until recent times.

6.2. MASONRY DAMS IN CYPRUS

In Cyprus stone had been, until the end of the 1950's, the main building material for all types of building. From ancient times up the present time sandstones, limestones, igneous rocks and sometimes marble have been extensively used for building works.

In ancient buildings such as Greek temples (about 400 B.C.) marble was also used due to the fact that marble is rarely found in Cyprus and had to be imported, a lot of the temples were built chiefly in stone.

Parts of these buildings are still well preserved, thus giving a fine example of the durability of stone.

Roman aqueducts (about 300 A.D.) were built in stone and quite a few of them are still preserved in good condition. But the most striking examples of masonry in Cyprus are the medieval buildings (1100-1600 A.D.).



Fig. 14
Le barrage en maçonnerie de Kophinou

Malgré le développement récent du béton et de l'acier (à partir de 1900), les architectes et les ingénieurs ont privilégié, jusqu'à une époque très récente l'usage de la pierre comme matériau de construction. Parfois, quand l'utilisation du béton s'impose, il est recouvert de maçonnerie appareillée.

Du fait de cette prédominance de la pierre comme matériau de construction traditionnel, les premiers seuils, chenaux, barrages, réservoirs et autres structures liées à l'alimentation en eau et à l'irrigation ont été construits en maçonnerie. Un certain nombre de petits barrages, essentiellement destinés à dériver l'eau, ont été construits à partir de 1940.

La plupart du temps, on utilisait des pierres non taillées ou sommairement, avec de larges joints alors que le meilleur travail faisait appel à des pierres de taille, soigneusement dressés et à joints étroits. En montagne, où le rocher était abondant, les villageois utilisaient, pour la construction de leurs réservoirs d'irrigation, leurs canaux et autres constructions, des pierres brutes trouvées sur place ou dans des carrières proches. De même, dans les terres basses, quand les carrières étaient abondantes, les maçonneries utilisaient du grès.

Construire en grès est généralement plus onéreux que la construction en roches ignées qui sont, la plupart du temps, utilisées en pierres brutes alors que le grès nécessite un travail de taille des pierres. De même, l'achat et le transport des blocs de grès, extraits de carrières spéciales, sont souvent plus chers que pour les roches ignées trouvées localement.

L'utilisation généralisée de la maçonnerie à Chypre imposait le recours à des bons ouvriers dans la mesure où la construction en maçonnerie nécessite des artisans bien plus qualifiés que celle en béton.



Fig. 14
The Kophinou masonry dam

In spite of the development of concrete and steel in modern times (about 1900 A.D.), the Architect and Engineer have until recently used predominantly stone as the main building material. Sometimes when it was found that it was more suitable to use concrete, this would be faced with nicely dressed masonry.

Because of the stone building tradition prevailing, the first diversion weirs, channels, dams, reservoirs, and other water supply and irrigation structures were built in masonry. A number of small dams mainly for diverting water have been built starting with the decade of 1940.

A lot of work has been done in rubble using stones which are not dressed or are roughly dressed having wide joints, whilst better work was done in ashlar with stones carefully dressed and pointed with narrow joints. On the highlands where rock is in abundance the villagers used to build their irrigation reservoirs, channels and other building works in rubble which they obtained from the site or nearby quarries. Also in the lowlands, where quarries are plenty, reservoirs and tanks have been built in sandstone.

Building in sandstone is usually more expensive than building with igneous rocks which are mostly used in rubble work whilst sandstones are used for ashlar work. Also the purchase and transport of sandstone costs usually more than igneous rock, which is obtained locally whilst sandstone is usually bought from special quarries.

The general use of masonry in Cyprus necessitated the development of good artisans in building, as masonry requires much more skilled artisans than the use of concrete does.

En choisissant un matériau de construction, l'ingénieur doit prendre en compte son adaptation à l'usage qui dépend de toutes ou partie des propriétés suivantes : résistance à la compression, porosité, durabilité, gélivité, efflorescence, dureté, masse volumique, aptitude à être taillé, aspect et coût.

On trouvera ci-dessous une comparaison entre le béton et divers types de pierres utilisées à Chypre.

i) Résistance à la compression

La résistance à la compression n'est pas le facteur déterminant dans le choix des pierres destinées à la construction d'un barrage. Dans une structure résistant à la poussée de l'eau, la résistance au basculement peut être accrue en augmentant l'épaisseur du mur et elle est indépendante de la résistance à la compression. Mais il y a des cas où les murs doivent supporter des charges et la résistance à la compression est alors d'une grande importance.

On donne ci-dessous les valeurs des résistances à la compression des grès, des calcaires et des roches ignées :

Résistance à la compression des grès	jusqu'à 14 MPa
Résistance à la compression des calcaires	jusqu'à 35 MPa
Résistance à la compression des roches ignées	jusqu'à 200 MPa

ii) Porosité

La porosité est le pourcentage des vides dans la pierre. C'est un paramètre très important pour la construction des barrages et des ouvrages hydrauliques en général parce que cela conditionne les propriétés de perméabilité et d'absorption du matériau. Plus l'indice des vides est grand, plus l'est aussi la perméabilité et moins le matériau est apte à la construction des ouvrages hydrauliques. Le tableau suivant donne le pourcentage d'absorption en tant qu'indicateur de la porosité :

Porosité des grès	10 – 30 %
Porosité des calcaires	5 – 30 %
Porosité des roches ignées	0,5 – 10 %

iii) Durabilité

Comme indiqué précédemment, il existe à Chypre des constructions en maçonnerie depuis au moins 4 000 ans et leur durabilité est très bonne. Les murs de maçonnerie sont mieux conservés quand leur face intérieure est recouverte de plâtre et plus encore si on interpose une couche imperméable.

iv) Gélivité

Dans ce cas également, plus la pierre est poreuse ou feuilletée, moins elle résiste au gel. Ceci est dû à l'absorption de l'eau dans les pores ou les lits de la pierre et qui se dilate en gelant, ce qui conduit à la destruction de la pierre. À Chypre, ceci se produit seulement dans les montagnes où la plupart des constructions sont en roches ignées qui sont relativement imperméables.

In choosing a building material the Engineer has to consider the suitability of the material for the required use, which depends on some or on all of the following properties: Crushing strength, porosity, durability, resistance to frost action, efflorescence, hardness, weight, workability, appearance and cost.

A comparison between concrete and the various types of stones used in Cyprus follows.

i) Crushing strength

Crushing strength is not the chief factor in choosing a stone for the building of a dam. In a water retaining structure the moment of resistance can be increased by increasing the thickness of the wall and is independent of the crushing strength. But there are cases where the walls are required to bear load and in such cases the crushing strength is of great importance.

Values of the crushing strength of sandstones, limestones and igneous rocks are as follows:

Crushing strength of sandstones	up to 14 MPa
Crushing strength of limestones	up to 35 MPa
Crushing strength of igneous rocks	up to 200 MPa

ii) Porosity

Porosity is the percentage of air voids in the material. This is very important in the construction of dams and waterworks in general, because it governs the permeability or absorption properties of the material. The more air voids in the material, the more the permeability and the worse the material for use in waterworks. The water absorption percent being an indication of the porosity is as follow:

Sandstone porosity	10 – 30%
Limestone porosity	5 – 30%
Igneous Rock porosity	0.5 – 10%

iii) Durability

As previously stated, masonry buildings in Cyprus exist since at least 4000 years and their durability is very good. Retaining walls in masonry are better preserved when plastered inside, and more so if before plastering an impermeable coating is applied.

iv) Resistance to frost action

In this case also the more porous or laminated a material is, the worse it suffers from frost. This happens due to the absorption of water which expands in the pore spaces and bedding planes when it becomes frozen and thus disintegration of the stone occurs. In Cyprus this occurs only on the mountains where, most of the work in built with igneous rock which is quite impermeable.

Tableau 2 - Barrages en béton ou maçonnerie

Barrage	Type de barrage	Type de fondation	Matériau			Résistance au glissement Tan. θ	
			Description	Masse volumique (Kg/cm ³)	Résistance à la compression (MPa)	Avec Séisme (0.1 g)	Sans séisme
Lythrodondas (aval)	Contreforts en maçonnerie	Pillow Lava	Lave vésiculaire à grains moyens	2 480	46	1,12	1,00
Lythrodondas (amont)	Poids en maçonnerie	Pillow Lava	Lave très vésiculaire	2 480-2 550	56-63	0,77	0,64
Petra (aval)	Poids en maçonnerie	Pillow Lava	Lave vésiculaire à grains moyens	2 300	27-50	0,63	0,51
Petra (amont)	Poids en maçonnerie	Pillow Lava	Lave vésiculaire à grains moyens	2 480-2 600	27-50	0,71	0,58
Galini	Poids en maçonnerie	Diabase	Diabase à grains fins à moyens	2 730	30-190	0,68	0,56
Kafizes	Poids en maçonnerie	Diabase	Diabase à grains fins à moyens	2 620-2 790	160-184	0,68	0,56
Kalokhorio	Poids en maçonnerie	Pillow Lava	Lave vésiculaire à grains fins à moyens	2 500-2 850	40-60	0,93	0,80
Kandou	Poids en maçonnerie	Calcaire	Grès à grains fins à moyens	1 930	12-38	0,81	0,68
Perapedhi	Poids en maçonnerie	Diabase	Grès à grains fins à moyens	2 770	89	0,78	0,66
Trimiklini	Poids en béton	Diabase	Béton	2 380-2 430	20-40	0,68	0,56
Pyrgos	Poids en béton	Diabase	Béton	2 380-2 430	20-40	0,70	0,57
Lefka	Poids en béton	Basalte	Béton	2 380-2 430	20-40	0,68	0,55
Palekhori	Poids en béton	Diabase	Béton	2 380-2 430	20-40	0,78	0,66

Table 2 - Masonry – Concrete Dams – Design Data

Dam	Type of Dam	Type of rock foundation	Building Material			Resistance to sliding $\tan. \phi$	
			Type description	Weight (Kg/cm ³)	Crushing strength (MPa)	With earthquake (0.1 g)	Without earthquake
Lythrodondas (D/S)	Masonry Buttress	Pillow Lava	Medium grained vesicular lava	2480	46	1.12	1.00
Lythrodondas (U/S)	Masonry Gravity	Pillow Lava	Highly vesicular lava	2480-2550	56-63	0.77	0.64
Petra (D/S)	Masonry Gravity	Pillow Lava	Medium grained vesicular lava	2300	27-50	0.63	0.51
Petra (U/S)	Masonry Gravity	Pillow Lava	Medium grained vesicular lava	2480-2600	27-50	0.71	0.58
Galini	Masonry Gravity	Diabase	Fine to medium grained diabase	2730	30-190	0.68	0.56
Kaifizes	Masonry Gravity	Diabase	Fine to medium grained diabase	2620-2790	160-184	0.68	0.56
Kalokhorio	Masonry Gravity	Pillow Lava	Fine to Medium grained vesicular	2500-2850	40-60	0.93	0.80
Kandou	Masonry Gravity	Limestone	Fine to medium grained calcareous sandstone	1930	12-38	0.81	0.68
Perapedhi	Masonry Gravity	Diabase	Fine to medium grained calcareous sandstone	2770	89	0.78	0.66
Trimiklini	Concrete Gravity	Diabase	Concrete	2380-2430	20-40	0.68	0.56
Pygos	Concrete Gravity	Diabase	Concrete	2380-2430	20-40	0.70	0.57
Lefka	Concrete Gravity	Basalt	Concrete	2380-2430	20-40	0.68	0.55
Palekhori	Concrete Gravity	Diabase	Concrete	2380-2430	20-40	0.78	0.66



Fig. 15
Réservoir en maçonnerie et canal de prise

v) *Résistance à l'efflorescence*

Les sels dans le ciment et les mortiers à la chaux peuvent être absorbés par la pierre et leur cristallisation peut provoquer un vieillissement de la pierre ou des efflorescences sur sa surface. Ces défauts se produisent généralement quand le matériau des joints est un mortier riche en ciment et imperméable, de sorte que l'eau est absorbée par la pierre et non par le mortier.

Quand l'eau sèche à la surface de la pierre, les sels soit sont attirés à la surface en créant une efflorescence, soit cristallisent dans les pores immédiatement sous la surface. Par conséquent, plus une pierre est poreuse, plus elle peut être soumise au phénomène d'efflorescence. Pour réduire cet effet autant que possible dans la maçonnerie, les parements amont des murs sont recouverts d'un mortier de chaux, ou d'asphalte, cette deuxième solution étant la plus efficace du fait de l'étanchéité de l'asphalte et parce qu'elle n'engendre pas le risque de voir le mortier de couverture pénétrer dans la pierre. À cause de l'influence des sels sur l'efflorescence, les pierres sont plus susceptibles d'être attaquées en bord de mer.

vi) *Dureté*

La dureté est importante pour l'opération de taille de la pierre. Plus la pierre est dure, plus ce travail est difficile. D'un autre côté, les pierres dures sont généralement plus imperméables.

Les roches ignées sont habituellement les plus dures. Les calcaires peuvent l'être également. Les grès sont généralement les roches les plus tendres.



Fig. 15
Masonry reservoir and intake channel

v) *Resistance to efflorescence*

The salts in cement and lime mortars may be absorbed by the stone and crystallization of the salts may occur setting up a decay of the stone or causing efflorescence on the surface. Such defects usually occur if the jointing material is a rich impermeable cement mortar, as water will be absorbed by the stone and not by the mortar.

As the water dries out from the stone surface, the salts are either brought to the outer surface of the stone causing efflorescence or they crystallize in the pores immediately behind it. Thus, the more porous a stone is, the more liable it is to be attacked by efflorescence. To reduce efflorescence as much as possible in masonry the interior of the reservoir walls is either covered with lime mortar or asphalt, the latter being preferable as it is waterproof and prevents the backing mortar penetrating the stone. Because of the influence of salts on efflorescence, stones are more liable to attack in seaside places.

vi) *Hardness*

Hardness is of importance in ashlar work when the stones require dressing. The hardest a stone, the more difficult is to dress and build it. Also hard stones are more impermeable.

Igneous rocks are usually the hardest. Limestones are in many cases as hard as igneous. Sandstones are usually the softest rocks.

vii) *Masse volumique*

La masse volumique des matériaux pour barrages ou structures retenant l'eau est très importante parce qu'elle conditionne la résistance de la structure. Le tableau suivant fournit les masses volumiques de quelques matériaux :

Grès	1900 – 2300 kg/m ³
Calcaires	1900 – 2700 kg/m ³
Roches ignées	2400 – 2800 kg/m ³

viii) *Aptitude à la taille*

Dans la maçonnerie, si les murs sont construits en pierre de taille, cela entraîne beaucoup de travail, notamment pour le dressage des pierres. Avec du grès comme celui utilisé pour les murs des grands réservoirs de Nicosie et de Famagusta, un bon maçon peut tailler environ 30 pierres par jour (pour des pierres de 50 cm de long, 30 cm de haut et profondes de 18 à 30 cm et pour 8 h de travail par jour).

Les pierres sont ensuite assisées soigneusement et enfin rejointoyées au ciment pour leur donner un bel aspect. Côté intérieur, les murs sont recouverts d'une couche d'asphalte puis enduits de plâtre (plâtre 1:3).

Dans la construction des barrages, des bassins et des réservoirs, les coins et les joints font l'objet de soins particuliers pour éviter les fuites au travers de joints de mauvaise qualité.

ix) *Aspect*

L'aspect requis dépend largement des abords et du caractère architectural environnant. À part cela, on peut donner au béton comme à la maçonnerie un aspect satisfaisant. La construction en pierre donne aux structures un aspect plus massif, imposant et minéral.

6.2.1. Yialias - Projet amont et aval de Lythrodhondas

- **Utilisation**

Les deux barrages de Lythrodhondas ont été construits pour stocker les crues d'hiver du Koutsos, affluent de la rivière Yialias pour assurer l'irrigation, au printemps et pendant les mois d'été, des cultures de légumes. Le barrage aval fut construit en premier en 1944. Il a été surélevé en 1950 pour augmenter sa capacité et un nouveau barrage a été réalisé à l'amont pour augmenter encore la quantité d'eau à fournir au système d'irrigation.

- **Situation**

Les deux barrages furent construits à 1,5 km l'un de l'autre, le barrage aval à 500 m du village de Lythrodhondas et à l'altitude de 414 m et le barrage amont à 2 km du village à l'altitude 450 m.

vii) *Weight*

The weight of the building material in dams and other retaining walls is of importance because it increases the resistance of the structure. The following are the weights:

Sandstones	1900 – 2300 kg/m ³
Limestones	1900 – 2700 kg/m ³
Igneous Rocks	2400 – 2800 kg/m ³

viii) *Workability*

In masonry, if walls are built in ashlar they entail a lot of work which includes dressing of stones. For an average sandstone like that used for the walls of the big reservoirs of Nicosia and Famagusta, a good mason can dress about 30 stones a day (each stone about 50 cm long, 30 cm high and 18 to 30 cm thick. A day's work is 8 hours).

The stones are then carefully built in courses and finally pointed with cement in the joints to give them a nice appearance. Inside, the walls are covered with a layer of asphalt and then plastered (Plaster 1:3).

In building dams, reservoirs and tanks in masonry, care must be taken at corners and other joints because of danger of leakage through weak joints.

ix) *Appearance*

The appearance required depends largely on the surroundings and on the architectural character of the environment. Otherwise, both stone and concrete can be made to have a nice appearance. Building in stone gives the structure a more massive, impressive and soil appearance.

6.2.1. Yialias – Lythrodhondas Downstream and upstream Projects

- Purpose

The two dams at Lythrodhondas were built in order to store winter of the spate flows of the Koutsos tributary of the Yialias river to ensure an adequate supply of water during early spring and summer months for the irrigation of vegetables. First the downstream dam was built in 1944. It had to be raised in 1950 to yield more water and a new dam was built upstream to give even more water to the same system of irrigation.

- Location

The two dams were built 1.5 km apart, the downstream one being at a distance of 0.5 km from Lythrodhondas village and at an elevation of about el. 414 m, whilst the upstream dam is at a distance of 2 km from the village and at an elevation of about el. 450 m.

- Géologie

i) Barrage aval

Le barrage est construit sur des séries de Pillow Lava Inférieures. Elles apparaissent comme des roches vésiculaires à grains fins, à reflets métalliques et inclusions de diabase foncée. Les roches sont fortement bréchiformes et érodées tandis que la structure en coussins sur le site du barrage est cachée par la fracturation et les brèches. Compte tenu de cela, leur résistance est très faible.

ii) Barrage amont

Ce petit barrage est également construit sur des séries de Pillow Lava Inférieures. Cependant les inclusions de basalte sont prédominantes. Elles sont plus dures, d'un brun foncé, avec des reflets métalliques et de plus petites vésicules.

- Principales caractéristiques

Les deux barrages et leur système commun de distribution ont été conçus et construits par le département du développement hydrique.

a) Barrages

Ce sont des barrages-poids en maçonnerie utilisant des roches ignées provenant de carrières voisines. Le parement amont est vertical et le fruit du parement aval est de 0,75 et 0,67 respectivement pour les barrages aval et amont.

Des galeries et des conduites forcées équipent également les deux barrages. Pour le barrage amont, un ensemble de tubes a été foré depuis la galerie dans la fondation et la maçonnerie pour assurer le drainage en utilisant la galerie.



Fig. 16

Le barrage aval de Lythrodhondas

b) Système de distribution

Il est commun aux deux ouvrages ; plus de la moitié est non revêtue et le reste est en maçonnerie.

- Construction

Les pierres utilisées pour la construction des barrages sont gabbros gris et durs. Ces roches venaient d'un site entre les villages d'Analiondas et Lythrodhondas, à 3 km du barrage. Certaines pierres provenaient du site même. Des craies furent également utilisées ; elles provenaient des environs du village de Lymbia.

- Geology

i) Downstream Dam

The dam is built on the Lower Pillow Lava series. They appear as iron stained fine grained vesicular rocks cut by darker diabasic intrusives. The rocks are highly brecciated and weathered whilst the pillow structure at the dam site area is obscure because of the very high fracturing and brecciation. Due to the above limitations their strength is considerably lowered.

ii) Upstream Dam

This small dam is also built on the Lower Pillow Lava series. However, the basaltic intrusives are predominant. They are harder, of dark brown colour, and iron stained with smaller vesicles.

- Main Features

Both dams and their common distribution system were designed and constructed by the WDD.

a) Dams

They are mass masonry gravity dams built of igneous rocks from nearby quarries. The upstream faces are vertical whilst the downstream are 1:0.75 and 1:0.67 for the downstream and upstream dams respectively.

Sluicing galleries and operating penstocks are also provided for both dams. In case of the upstream dam a system of perforated pipes was laid in the foundation and the masonry structure for drainage purpose which ere extended to discharge into the gallery.



Fig. 16

The Lythrodhondas downstream dam

b) Distribution System

This is common to both dams and more than half of it is unlined, the remaining being built in masonry.

- Construction

The rocks used for the building of the dams are grey hard and few gabbros. These rocks were brought from a site between Analiondas and Lythrodhondas village, 2 miles away from damsite. Rocks from the site were also used. Chalks were also used for the construction. These were brought from Lymbia village area.

- Données

i) *Réservoir*

Chiffres clés	Barrage aval	Barrage amont
Surface	1,5 ha	1 ha
Capacité	39 600 m ³	29 800 m ³
Capacité utile	32 000 m ³	29 000 m ³
Longueur	355 m	275 m

ii) *Corps du barrage*

Chiffres clés	Barrage aval	Barrage amont
Hauteur sur fondation (m)	10,50	12,20
Hauteur sur terrain naturel (m)	9,26	10,98
Hauteur d'eau (m)	8,44	10,28
Revanche (m)	0,76	0,70
Longueur de crête (m)	42,25	21
Épaisseur en crête(m)	0,9	1,2
Épaisseur à la base (m)	6,30	8,40
Fruit amont	Vertical	Vertical
Fruit aval	1:0,75	1:0,67
Volume de la maçonnerie du barrage(m ³)	2 500	2 000
Volume du béton de fondation (m ³)	400	330

- Data

i) Reservoir

Main Features	Downstream Dam	Upstream Dam
Area	1.5 ha	1 ha
Capacity	39,600 m ³	29,800 m ³
Live storage	32,000 m ³	29,000 m ³
Length	355 m	275 m

ii) Dambody

Main Features	Downstream Dam	Upstream Dam
Structural height (m)	10.50	12.20
Height above ground level (m)	9.26	10.98
Hydraulic height (m)	8.44	10.28
Freeboard (m)	0.76	0,70
Crest length (m)	42.25	21
Top thickness (m)	0,9	1.2
Base thickness (m)	6,30	8.40
Upstream slope	Vertical	Vertical
Downstream slope	1:0,75	1:0.67
Total volume of masonry fill of dambody (m ³)	2,500	2,000
Total volume of concrete foundation fill (m ³)	400	330

7. ANCIENS BARRAGES EN RÉPUBLIQUE TCHÈQUE

Il y a plus de 20 000 petits barrages en République Tchèque. La plupart correspondent à des étangs réalisés au 16^e siècle. Beaucoup de ces étangs existaient auparavant (dès le 13^e siècle). On pense qu'il en existait encore plus tôt. Ces étangs servaient principalement à des pêcheries industrielles (principalement des carpes de Bohême). La majorité des étangs de la République Tchèque se trouvaient en Bohême du sud. Ils servaient aussi à stocker l'eau, à lutter contre les crues et à fournir de l'eau potable. En ce qui concerne la protection contre les crues, les plus grands étangs étaient très efficaces (nous l'avons vérifié lors d'une crue catastrophique en août 2002).

Les étangs comportaient des barrages en terre. Il est très difficile de faire rapidement une liste de petits barrages, selon les critères de la CIGB, en République Tchèque. Les barrages sont divisés en 4 catégories du point de vue de la sécurité et de l'importance des conséquences en cas de rupture. Les grands barrages relèvent pour 25 d'entre eux de la 1^{re} catégorie et pour 64 de la 2^e. Il y a 254 barrages dans la 3^e catégorie – 143 d'une certaine importance complétés par des barrages plus mineurs, des seuils, des digues, des stériles miniers. Les autres petits barrages, au nombre de 20 000, sont dans la 4^e catégorie. Plusieurs centaines d'entre eux sont des grands barrages au sens de la CIGB. Des statistiques incomplètes (grand nombre de propriétaires de petits barrages) indiquent que plus de 800 petits barrages ont une capacité supérieure à 100 000 m³. On estime qu'au moins 1 500 barrages ont une hauteur supérieure à 5 m. On voit donc qu'il était impossible d'en établir pour le présent bulletin une liste exhaustive. Par conséquent, on a retenu une sélection de plusieurs dizaines de petits barrages, tous en terre, majoritairement destinés à la pêche :

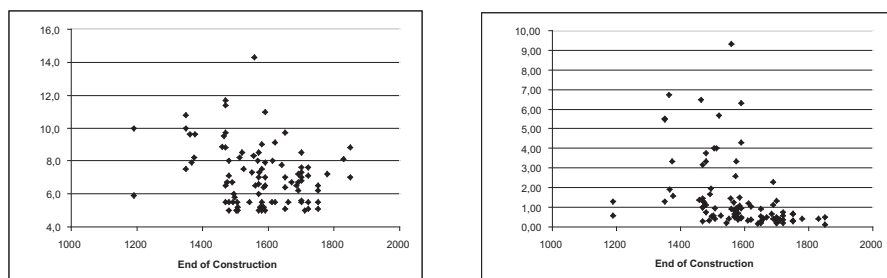


Fig 17
Petits barrages en République Tchèque - Hauteur en fonction de la date de construction

Tous ces petits barrages anciens sont en service. La plupart d'entre eux ont été reconstruits dans les dernières décennies. Les plus grandes retenues jouent un rôle très important dans le système national de protection contre les crues (Rozmberk, Svet, Spolsky...).

7. ANCIENS DAMS IN CZECH REPUBLIC

There are approximately more than 20 thousand small dams in Czech Republic. Mostly of them are historical ponds constructed in 16th century. Many of these ponds were established earlier (since 13th century). There are some uncertain information about still earlier establishment of ponds. Talking about “ponds”, their main purpose was an industrial fishery (mainly bohemian carps). Main concentration of ponds in Czech Republic has been in southern Bohemia. Other purposes in such conditions were water retaining in the landscape, flood protection and water supply. Mainly at flood protection the largest ponds are very efficient (we have new positive experience since a catastrophic flood in August 2002).

Ponds have earth dams from local sources. It is very difficult to prepare a complete list of small dams with ICOLD parameters in Czech Republic in very short time. All dams in Czech Republic are divided to 4 categories from the Safety view and large of damage under the dam in case dam break. Large Dams belong to 1st (25) and 2nd (64) categories. In 3rd category are totally 254 dams - beside of various not so important large dams, weirs, dikes and tailing dams also 143 most significant small dams. The rest of small dams, ca. 20 thousand, belong to 4th category. Many hundred of these dams have ICOLD parameters. According to our not complete statistics (many owners of small dams) we know that more than 800 small dams have storage capacity more than 0.1 hm³ (100 hundred m³). It is estimated that at least 1500 small dams are higher than 5 m. It is possible to see that a preparation of the complete list to this Historical Review is quite impossible, therefore, it was added some selection of several tens examples of small dams (all of them are earth dams with main purpose for fishery):

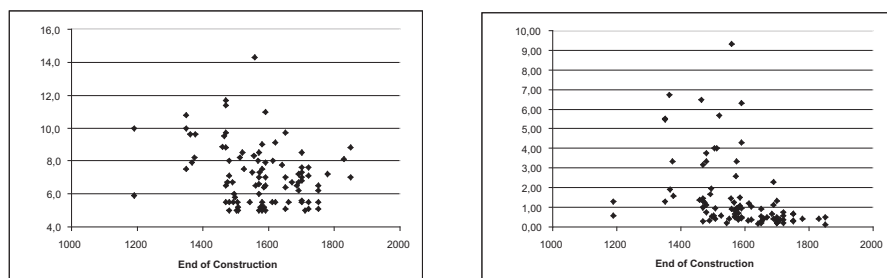


Fig. 17
Small dams in Czech Republic – Height versus date of construction

All of these small historical dams are in good function. Mostly of them were reconstructed in last several ten years. The largest ponds are very important in a national system of the flood protection (Rozmberk, Svet, Spolsky etc.).



Fig. 18
Barrage en terre de l'étang Vavrinec
de 1480 - 8,0 m de haut et 380 m de long



Fig. 19
Barrage de l'étang Regent construit
en 1479 - 5,5 m de haut et 340 m de long



Fig. 20
Barrage Stebensky construit en 1720,
7,6 m de haut et 180 m de long



Fig. 21
Vue de la retenue de Metelsky
pendant une crue majeure en août 2002
(barrage endommagé)



Fig. 18
Vavrinec pond earth dam built in
1480, with 8,0 m height and 380 m long



Fig. 19
Regent pond dam built in 1479, with
5,5 m height and 340 m long



Fig. 20
Stebensky pond dam built in 1720,
with 7,6 m height and 180 m long



Fig. 21
Metelsky pond plane view during
catastrophic flood at 08/2002
(dam was damaged)

8. ANCIENS BARRAGES EN FRANCE

Comme dans la plupart des autres pays, la construction des petits barrages en France remonte à de nombreux siècles. À l'origine, ce sont l'alimentation en eau des cités et les besoins en énergie pour les moulins qui expliquent la construction des petits barrages de quelques mètres de hauteur, construit en remblai et/ou en maçonnerie.

La plupart a disparu aujourd'hui, comme le plus vieux barrage-voûte connu en France, celui de *Glanum* près de Saint Rémy de Provence, datant de l'ère romaine (hauteur de 13 m, épaisseur constante d'environ 1,5 m) construit pour alimenter en eau les bains publics. Dans la même lignée, mais quelques siècles plus tard, on trouve le vieux barrage-poids voûte de *Saint Saturnin d'Apt* (1835 – hauteur 10 m – épaisseur à la base 3 m) désaffecté au vu des conclusions de la vérification de sa stabilité suite à la rupture du barrage de *Bouzey* en 1895, le barrage étant noyé dans le réservoir créé par un nouveau barrage-poids construit juste à l'aval en 1900 (hauteur 16,4 m).

Quelques barrages anciens existent encore comme celui de *Jugon les Lacs* qui remonterait au 13^e siècle et construit à la fois pour défendre un château, alimenter deux moulins et produire du poisson ; c'est un barrage en remblai de 8 m de haut avec un parement amont en maçonnerie.

De 1650 à 1850, le développement de la navigation intérieure, la construction de canaux et le début de l'industrialisation furent accompagnés par la construction de dizaine de barrages, de taille plus importante, aussi bien en maçonnerie qu'en pierre ou les deux à la fois.

Inspiré des vieux barrages espagnols en maçonnerie d'*Alcantarilla* et de *Proserpina*, le plus vieux grand barrage français encore en service, Saint-Ferréol, a été réalisé en 1672 pour alimenter en eau le Canal du Midi. C'est un barrage de 35 m de haut constitué d'un mur central épais en maçonnerie (épaisseur maximale à la base de 5,5 m) consolidé par une large recharge aval et par une recharge amont pour assurer la stabilité pendant les vidanges.

Paty (1766, hauteur 17,3 m et surélevé à 21,5 m en 1773), *Lampy* (1782, hauteur 17 m), *Saint-Denis* (1840, hauteur 11,8m, portée à 14 m en 1855) sont des barrages en maçonnerie typiques de cette génération [Schniter 1994 (pg129-130); Royet, 2003]. Ils sont généralement assez massifs et munis de contreforts, notamment quand leur tracé en plan n'est pas courbe. Des désordres importants se manifestant par des fissures sur les parements et des mouvements d'ensemble (décimétriques) ont généralement imposé un renforcement par des contreforts aval peu après le premier remplissage ou à l'occasion d'une surélévation du barrage.

8. ANCIENT DAMS IN FRANCE

As in most of other countries, the construction of small dams in France goes back to many centuries. At the origin it was water supply for cities and power supply of mills that justified the construction of small dams of a few meters height, combining fill and/or masonry.

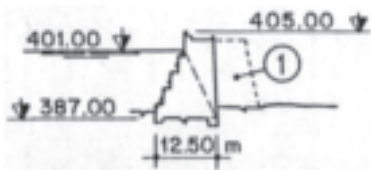
The majority disappeared today, like the oldest arch dam known in France, *Glanum*, near Saint Rémy de Provence, dating from Roman times (height 13 m, uniform thickness 1.5 m approx.) and built for water supply of public bathes. Of the same lineage, but centuries after, is the old *Saint Saturnin d'Apt* arch gravity dam (1835, height 10 m, base thickness 3 m); decommissioned in conclusion of its reassessment following the *Bouzey* dam rupture in 1895, this dam disappeared in the reservoir of a new gravity dam just downstream of it, built in 1900 (height 16.4 m).

Some ancient dams remained, like the dam of *Jugon les Lacs* attested at the beginning of the 13th century and built in a triple purpose of defence of a castle, power supply for two mills and production of fish; it is an 8 m high embankment with an upstream facing in masonry.

From 1650 to 1850, the development of the inland navigation, the construction of channels and the first industrialisation were accompanied by the construction of some tens of dams, more important in size, as well in masonry, in fill or mixed.

Inspired from old Spanish masonry dams from Alcantarilla and Proserpina, the oldest French dam in operation, *Saint-Ferréol*, was built in 1672 to feed water to the South Canal (Canal du Midi). It's a 35 m high dam, made of a central thick masonry wall (maximal thickness 5.5 m at the base) consolidated with a large upstream refill and a downstream refill to ensure stability during emptying.

Paty (1766, height 16,5 m, raised to 20 m in 1870), *Lampy* (1782, height 17 m), *Saint-Denis* (1840, height 11,8 m, raised 14m in 1855) are typical masonry dams of this generation [Royet, 2003]. They are usually quite massive, and buttressed, especially when not arched. Major distress such as cracked faces and generalised movement (measured in decimetres) usually prompted structural strengthening by adding downstream buttresses soon after first filling of the reservoir or taking the opportunity of a heightening.



Contreforts / Butresses

Fig. 22
Barrage de Lampy construit en 1792

Un exemple typique des barrages en terre de cette génération est celui de *Torcy-Vieux*. Construit vers 1800, c'est un barrage en terre homogène, haut de 12,7 m avec un parement amont en maçonnerie à gradins (Fig. 23). Il a connu plusieurs phases de construction, interrompues par des incidents (tassements, glissement de surface) et des réparations (renforcement de la partie amont du remblai par des voûtes en maçonnerie noyées dans le remblai). Il n'y avait, à l'origine, aucun système de drainage et, du fait d'une piézométrie élevée dans le remblai, le barrage a été conforté récemment (1987 et 2000) au moyen d'un rechargement aval, posé sur une couche drainante, jusqu'à la crête (Fig. 24).



Fig. 23
Torcy-Vieux : parement amont



Fig. 24
Torcy-Vieux : parement aval après le renforcement de 2000

Le barrage de *Saloup* (vers 1810, hauteur 13,8 m) est un exemple intéressant d'un barrage mixte avec une partie amont en maçonnerie et un épaulement aval en remblai [Bordes, 2005]. Cette conception allie l'étanchéité de la maçonnerie et la stabilité apportée par le poids du remblai en permettant de réduire le volume de maçonnerie qui est le matériau le plus cher.

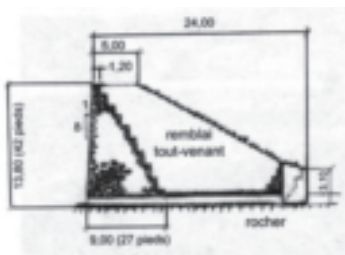
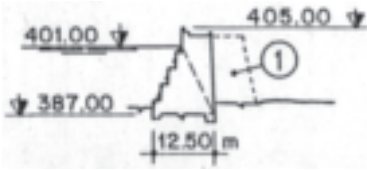


Fig. 25
Barrage de Saloup : coupe au droit du conduit de vidange



Fig. 26
Barrage de Saloup : parement amont



Contreforts / Buttresses

Fig. 22
Lamy dam built in 1792

A typical example of earth fill dams of this generation is *Torcy-Vieux* dam. Built around 1800, it is a homogeneous earth fill dam, 12,7 m in height, with a stepped upstream facing in masonry (Fig. 23). There were several phases of construction interrupted by incidents (settlements, surface sidings) and repairs (reinforcement of upstream part of the embankment by means of masonry arches inside the dam). No drainage system has been designed at the origin and, following to high piezometric levels in the embankment, the dam was reinforced recently (1987 and 2000) by a downstream shoulder on a drainage layer, up to the crest (Fig. 24).



Fig. 23
Torcy-Vieux dam : upstream face



Fig. 24
Torcy-Vieux dam :
downstream face after year 2000 reinforcement

Saloupe dam (about 1810, height 13,8 m) is an interesting example of a mixed dam, with an upstream part in masonry and a downstream fill [Bordes, 2005]. This design combines the watertightness of the masonry and the stabilising mass of the embankment, allowing reducing the volume of masonry, the more expensive material.

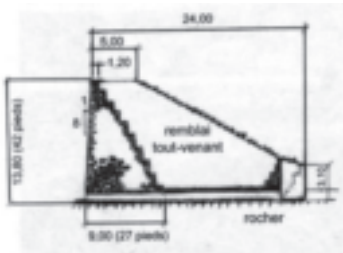


Fig. 25
Saloupe Dam : cross section
over the outlet outlet conduit



Fig. 26
Saloupe Dam: upstream facing

Pendant tout le 19^e siècle et au début du 20^e, l'alimentation en eau des agglomérations puis la production d'électricité furent à l'origine de la construction de davantage de barrages, de dimensions plus importantes et de tous types et qui sortent du cadre de ce bulletin.

La seconde moitié du 20^e siècle a vu l'explosion du nombre des petits barrages destinés à l'irrigation, plusieurs dizaines de milliers entre 5 et 10 m de hauteur. La très grande majorité d'entre eux sont des barrages en terre semi-homogène, avec un drain horizontal au contact avec la fondation sur le tiers aval du remblai. Les plus hauts (entre 10 et 15 m) sont aussi munis d'un drain vertical obtenu en creusant une tranchée verticale toutes les 5 ou 6 couches de remblai compacté (c'est-à-dire sur une épaisseur de 1,5 à 2 m) et en remplissant la tranchée avec du sable.

Aujourd'hui, le nombre de petits barrages en construction a sensiblement diminué, la majorité d'entre eux servant à l'irrigation ou à la production de neige artificielle

Les barrages écrêteurs de crues sont, dans la plupart des cas, en terre ou en enrochements avec masque amont. Grâce à des conduits ouverts en pied de barrage, leur retenue est vide en dehors des périodes de crues ; ces conduits sont dimensionnés pour autoriser un débit compatible avec les capacités hydrauliques de la rivière dans les zones urbanisées situées à l'aval. Les crues dépassant ce débit sont réduites à l'aval par le laminage créé par le remplissage temporaire de la retenue. Un évacuateur de surface garantit la sécurité de l'ouvrage lors des crues extrêmes.

Les barrages servant à la production de neige artificielle sont situés en montagne avec des conditions difficiles de fondation. Ceci conduit à étancher le barrage et la totalité du réservoir au moyen d'une géomembrane en traitant soigneusement la question du drainage air/eau sous la membrane, souvent au moyen de dispositions redondantes. La protection de la géomembrane contre l'action de la glace fait débat ; différentes solutions sont testées (y compris l'absence de protection) ; le retour d'expérience est aujourd'hui insuffisant pour en tirer des conclusions.

During all 19th and the beginning of the 20th centuries, water supply of the cities and then the hydroelectric production were at the origin of the construction of much more dams, even larger and of all types, which are out of the scope of this bulletin.

Second half of 20th century saw the explosion of the number of small dams for irrigation, which are nowadays up to the number of tens of thousands in the range of 5 to 10 m in height. The huge majority of those dams are semi-homogeneous earth fill, with a horizontal drain at the contact between foundation and the D/S third of the embankment. The highest ones (about 10 to 15 m) are also equipped with a vertical drain which is obtained by digging a vertical trench every 5 to 6 compacted layers (that means 1,5 to 2 m depth), this trench being filled with sand.

Nowadays the number of small dams under construction has significantly decreased, the majority been for flood mitigation or production of artificial snow.

Dams for flood control are, in most cases, earth fill dams or rock fill dams with a U/S facing. Due to an open outlet conduit at the bottom of the dam, their reservoir is empty except during floods; this conduit is designed to allow a discharge consistent with the hydraulic capacity of the river in the urban area downstream. A flood overstepping this discharge is reduced downstream, due to the temporary filling of the reservoir. A surface spillway is designed to guaranty the safety of the dam up to extreme floods.

Dams for production of artificial snow are in a mountain context, with difficult conditions of foundation. That leads to watertight the embankment and the whole reservoir with a geomembrane. Special care has to be put on the drainage of water and air under the membrane, often with redundant devices. Protection of the geomembrane against action of ice is a discussed question, with different solutions tested (including no protection); return of experience on that topic is too short to conclude this debate.

9. ANCIENS BARRAGES EN ALLEMAGNE

Le résumé ci-dessous de l'expérience allemande concernant les anciens barrages a été préparé à partir du document « Barrages et techniques de construction des barrages dans les états allemands avant 1890 » de M. Schmidt indiqué en référence [4].

9.1. BASSINS DESTINÉS A LA PÊCHE

En Allemagne, la construction moderne de barrages a commencé avec les barrages d'Intze vers la fin du 19^e siècle. Bien que l'histoire de ces structures remonte à plus de 1 100 ans, les régions germaniques ont commencé plutôt plus tard que dans d'autres régions du monde, comme les régions arides ou semi-arides. Du fait de l'existence d'un climat relativement tempéré, il n'y avait pas besoin de réservoirs pour stocker l'eau. Il y avait cependant des besoins en matière de pêche et d'énergie hydraulique.

Les constructions réalisées dans ce but étaient dès l'origine et pendant une longue période, de dimensions assez modestes et discrètes. Jusqu'au 19^e siècle et un peu au-delà, elles sont appelés « bassins », le même mot étant utilisé à la fois pour désigner la retenue et la structure qui crée cette retenue. C'est pourquoi, les descriptions qui suivent ne se limitent pas qu'aux structures de 5 m ou plus au-dessus du terrain naturel et des capacités de stockage de plus de 100 000 m³ - correspondant au critère habituel de classement des barrages en Allemagne mais traitent aussi de structures plus modestes et avec de plus petits volumes de retenue. Ces petits ouvrages sont aussi caractérisés par des problèmes classiques en construction de barrages.

On peut montrer que le développement des bassins destinés à la pêche s'est produit avant la seconde moitié du 8^e siècle. Ces bassins étaient situés sur les terres des monastères ou les grandes propriétés des souverains locaux. Les ordres chrétiens étaient en particulier de très actifs constructeurs de ces bassins puisqu'ils devaient se fournir en poisson pour les périodes de jeûnes.

Au fil de siècles, la pisciculture et donc la construction des bassins prospérèrent, notamment parce que le poisson était devenu un luxe pour l'aristocratie et les riches marchands. Vers la fin du 16^e siècle, plusieurs dizaines de milliers de ces bassins avaient été construits dans les états germaniques. Ces bassins avaient un niveau d'eau plus ou moins constant et ils représentaient, à une petite échelle, un seul type de construction de barrage. On trouvait des étangs pour la pêche partout dans les régions où il y avait des conditions favorables et un marché pour écouler la production.

Dès lors il n'est pas étonnant que ce qui est considéré comme le premier livre sur les bassins de pisciculture vienne de Bohême. Il a été écrit en latin par Jan Dubravius, évêque d'Olmütz. Le livre traite de toutes les questions essentielles en matière de construction de barrage : corps du barrage, noyau et masque, fondation, système de drainage, évacuateur et, grâce à des expériences malheureuses, les précautions à

9. ANCIENT DAMS IN GERMANY

The following summary about the Germany experience on ancient dams were prepared following the “Dams and Dam Construction Techniques in the German States Prior to 1890”, prepared by Schmidt, M. and presented in reference [4].

9.1. FISH PONDS ORIGIN

In Germany, modern dam construction began with the Intze dams towards the end of the 19th century. Although the history of these structures goes back more than 1100 years, the German regions were rather “later starters” compared with other parts of the world, like in the arid and semi-arid regions. Due to the relatively well balanced climate in Germany, there was no need for storage reservoirs of this kind. However, there was a need for pisciculture facilities and for water power generation.

The structures built for this purpose were initially, and over a long period, quite modest in size and unobtrusive. Until the 19th century and some time beyond, they were referred to as “ponds”, with the same word being used both for the basin and the impounding structure. Therefore, the following descriptions are not restricted to structures with heights of 5 m or more above ground level and storage capacities of more than 100 000 m³ – corresponding to the current classification criteria for dams in Germany – but also deal with lower structures and smaller storage capacities. These lower structures are likewise characterized by problems typical in dam construction.

The fish pond development that can be shown to have existed date back to the second half of the 8th century. They were located either in the grounds of monasteries or in the large estates of the regional rulers. The Christian orders, in particular, were very active fish pond builders since they required fish for the fasting periods.

Over the centuries, pisciculture and thus pond construction were thriving more and more, also because fish became a luxury food of the aristocracy and of rich merchants. By the end of the 16th century, several tens of thousands of fish ponds of every kind had been built in the German States. These ponds had a more or less constant water level and represented, on a small scale, a simple type of dam construction. Fish ponds were found everywhere, in areas with favorable conditions and a good market for selling the fish.

Therefore it is not surprising that what is presumed to be the first book on fish ponds stems from Bohemia. It was written in Latin by Jan Dubravius, bishop of Olmutz. The book deals with all the basic questions of dam construction: supporting mass, core and facing, foundation, drainage systems, spillways and – from bitter experience – the special measures necessary for the first filling of the pond.

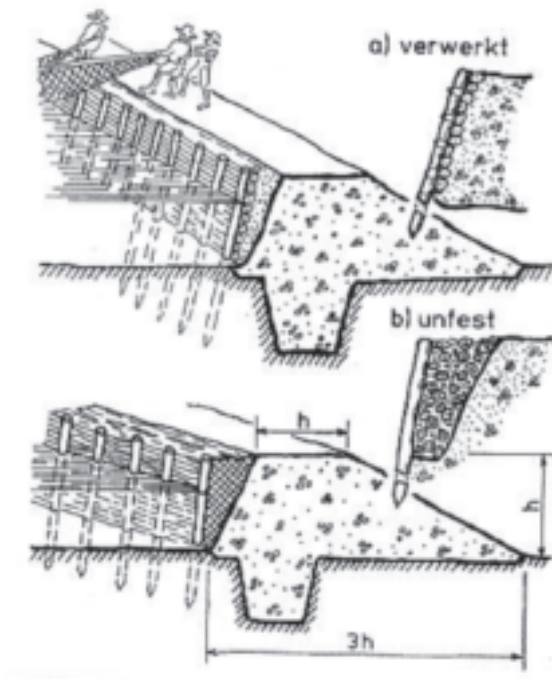


Fig. 27
Section transversale de barrage et protection des parements
d'après Dubravius [4]

prendre pour la première mise en eau du réservoir. Dubravius recommande même une section transversale et une fondation type qu'on peut voir sur la Fig. 27 qui montre également la protection du parement amont.

Les étangs destinés à la pêche atteignirent leur apogée au début du 17^e siècle. Après cela, ils connurent un certain déclin, mais sans toutefois disparaître, dans la mesure où les possibilités d'approvisionnement en nourriture avaient changé. Ces innombrables bassins de différents types et de différentes tailles, qui avaient pratiquement un niveau constant, par exemple grâce à des seuils fixes, représentaient de grandes surfaces et avaient donc un effet de rétention considérable. Par conséquent, ils contribuaient, indirectement mais largement, à la protection

contre les crues. Ceci était particulièrement vrai dans la partie haute de l'Elbe et de ses affluents.

9.2. BASSINS DESTINÉS AUX MOULINS

L'énergie constituait une autre raison pour réaliser des bassins. Il était naturel d'utiliser le même réservoir pour la pêche et pour alimenter les moulins, dans la mesure où le barrage devait seulement maintenir la hauteur nécessaire de chute pour faire tourner la roue du moulin au fil de l'eau. Ceci a été pratiqué très tôt dans l'histoire des étangs pour la pêche. Cependant les étangs pouvaient aussi être conçus pour stocker l'eau pendant la nuit de manière à fournir plus d'énergie dans la journée. Un niveau d'eau variable imposait aux ouvrages des protections de talus plus complexes et des prises d'eau. Cela nécessitait également une plus grande capacité de stockage. Des moines expérimentés et habiles et des religieux furent sans doute les premiers à construire des barrages pour accroître la capacité des étangs. Ce fut la première étape permettant de passer des étangs aux réservoirs que nous connaissons aujourd'hui.

Pendant des siècles, il n'y a pas eu de développement significatif dans les barrages associés à des moulins ou utilisés pour la pêche, hormis des adaptations imposées par des dimensions plus importantes. Ces structures demeurèrent les

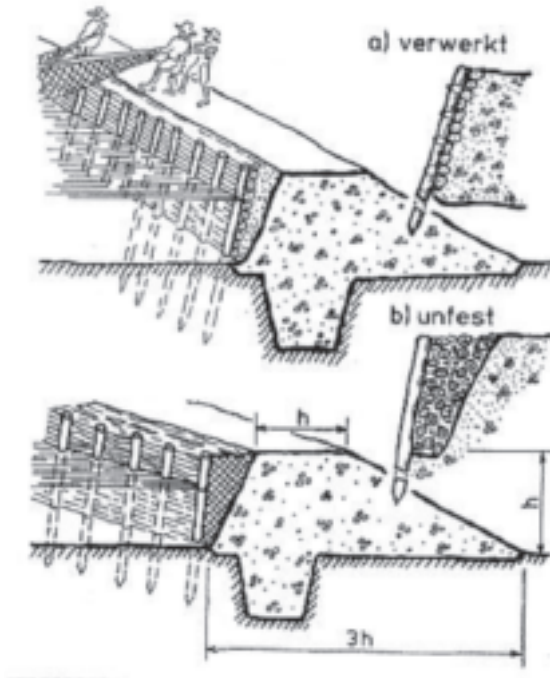


Fig. 27
Dam cross-sections and slope protection
according to Dubravious [4]

Dubravious even recommends a typical dam cross-section and foundation, which may have looked, together with the upstream slope protection, similar to the system depicted in Fig. 27.

Fish pond construction reached its peak around the turn to the 17th century. Thereafter it steadily declined, but without disappearing altogether, since the food supply possibilities had changed. These innumerable fish ponds of various types and sizes – which virtually always had a constant water level, i.e. fixed overfalls – spread across huge areas of land and therefore had a considerable water retention effect. Consequently, they also provided a large measure of flood protection as a “side effect”. This was

particularly true in the upper regions of the river Elbe and its tributaries.

9.2. MILL PONDS

Power generation was another reason for the construction of ponds. It was easy to use the fish ponds for operating mills at the same time, if the dam merely had to maintain the necessary water level difference so that the water wheel was only driven by overflowing water. This system was practiced very early on in the history of fish ponds. However, the ponds could also be designed to store water during the night which would then greater drive power during the day. In view of the fluctuating water level, the structures required more complex slope protection and intake works. Quite often, this necessitated a greater storage capacity. Experience and skilled monks and estate stewards were presumably the first to raise the mill dams in order to increase the volume of ponds, This was the first step from (fish) ponds to reservoirs as we know them today.

For many centuries there were no significant new developments to be recorded for fish pond or mill pond dams, apart from adaptations to larger dimensions. These structures remained the forerunners of modern dam engineering. The development

précurseurs des barrages modernes. Le développement des grands barrages ne débuta que lorsque la disponibilité de l'eau ne devint importante pour le bien-être et même la survie des êtres humains, comme cela avait été souvent le cas dans les régions arides ou semi-arides des milliers d'années plus tôt. Dans les états germaniques, l'impulsion vint des régions minières dans lesquelles on avait besoin d'énergie pour soulever des charges et, plus encore, pour pomper continuellement l'eau dans les puits et les galeries. Sans cela, le travail dans les mines aurait été beaucoup plus difficile, voire impossible.

Assécher les mines constituait donc une question de survie dans les régions minières. Afin de garantir l'approvisionnement en eau pendant les périodes sèches, et aussi en hiver, la création de capacités de stockage, comme des lacs artificiels, était très développée dans ces communautés. On trouve, dans les livres imprimés au 18^e siècle et traitant de l'ingénierie hydraulique, très peu de choses sur les barrages alors qu'on en trouve beaucoup dans les livres consacrés aux mines et à leur surveillance.

9.3. AUGMENTATION DE LA HAUTEUR DES BARRAGES - « LIMITES DE L'INGÉNIERIE »

Si on étudie les nombreux premiers étangs et les barrages miniers, on constate rapidement que les hauteurs actuelles ne sont probablement pas celles de l'origine. Il y a de nombreuses indications selon lesquelles un grand nombre de ces barrages ont

été surélevés. Une augmentation progressive correspondait aussi aux besoins des mines, puisqu'on ne pouvait jamais être sûr, en ouvrant une nouvelle mine, de pouvoir rentabiliser un nouveau lac artificiel et un nouveau barrage. Il était fréquent de commencer à une petite échelle en l'augmentant en fonction des besoins. Assez souvent, ceci impliquait plusieurs étapes d'agrandissement.

Malgré ces efforts, les barrages en remblai dépassaient rarement une hauteur de 10 à 15 m et très peu atteignaient 20 m. Ces « limites de l'ingénierie » pouvaient, dans une certaine mesure, être repoussées en creusant des fossés pour fournir davantage d'eau qui, sans cela, se serait écoulee à l'aval et n'aurait pas été stockée dans les réservoirs. La Fig. 28 montre les possibilités de surélévations de barrages proposées par Schmidt.

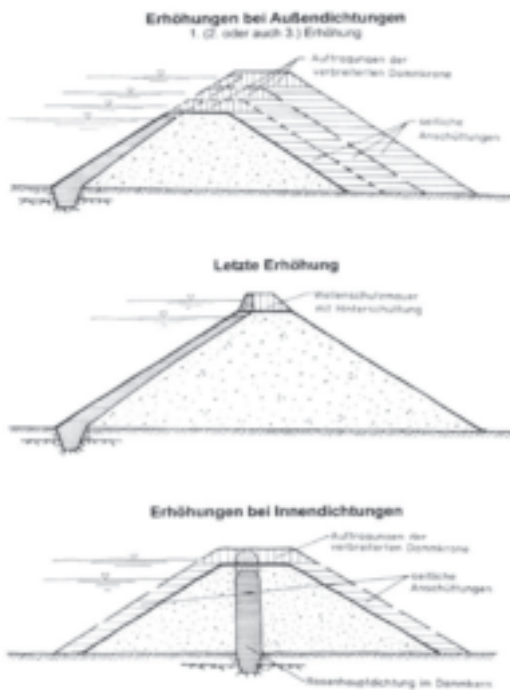


Fig. 28
Surélévations possibles de barrage [2]

of pond structures to large dams only began when the availability of water affected the livelihood, or even the survival of human beings, as had often been the case in arid or semiarid regions thousands of years before. In the German states, the momentum for change originated in the mining districts, in which the power was needed for lifting weights, but above all it was essential for continually pumping out water that seeped into the shafts and tunnels. Otherwise the work in the mines would have been much more difficult or even impossible.

Therefore, keeping the mines dry was a matter of survival in the mines districts. In order to guarantee enough water even during dry periods, which also included the winter season, the investment in water storage facilities, i.e. artificial lakes, was quite extensive in these communities. Early literature on dam construction printed as form the 18th century is hardly found in textbooks on hydraulic engineering; instead it is contained in books about mining and mine surveying.

9.3. RAISING THE DAM HEIGHT – “LIMITS OF ENGINEERING”

If one studies the numerous early pond and mining dams, it soon transpires that the present levels are probably not the original ones. There are many indications that a large number of these dams were only raised to the existing heights at a later time.

A gradual increase of the storage capacity also corresponded to the needs of the mining organizations, since one could never be sure when developing a new mine if the expenditure for an artificial lake and na impounding dam would be justified. It was usual to start on a small scale and expand as required. Quite often this involved several stages of expansion.

Despite these efforts, the embankment dams were rarely higher than 10 to 15 m, only very few rose up to 20 m. These “limits of engineering” could be stretched to a certain extend by building ditches to supply additional water which would otherwise have flowed away through areas further down from the storage basins. In Fig. 28 are presented the dam raising possibilities presented by Schmidt.

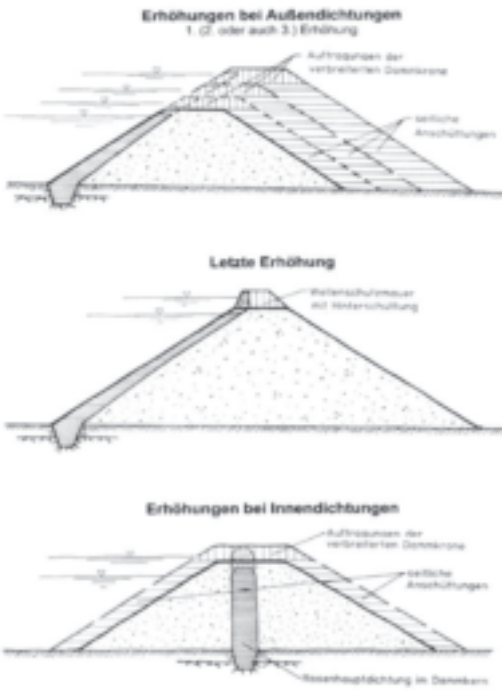


Fig. 28
Dam raising possibilities [2]

Les Fig. 29 à 31 représentent les hauteurs maximales des barrages allemands aux environs de Freiberg, Haut Harz et Schemnitz ; on constate que les grands barrages, de plus de 15 m de hauteur n'ont été construits qu'après 1700.

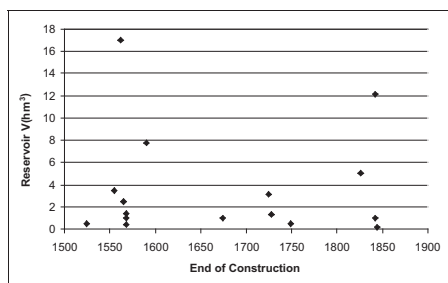
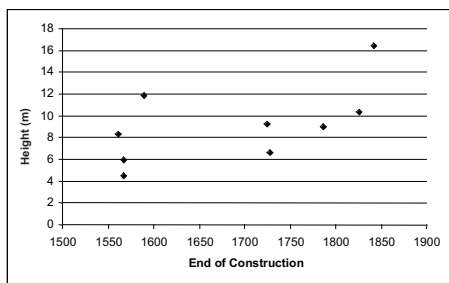


Fig. 29
Barrages dans la région de Freiberg

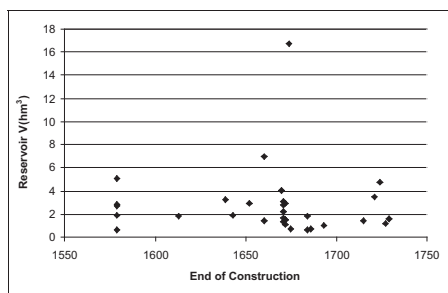
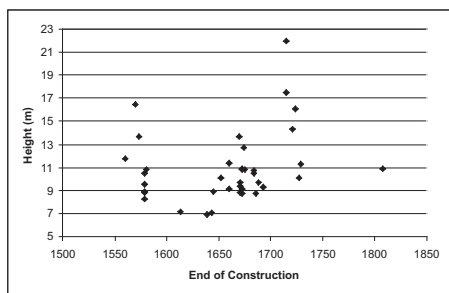


Fig. 30
Barrages dans le Haut Harz

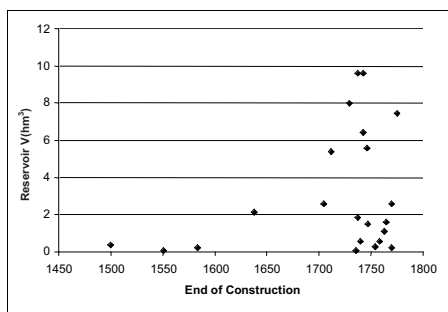
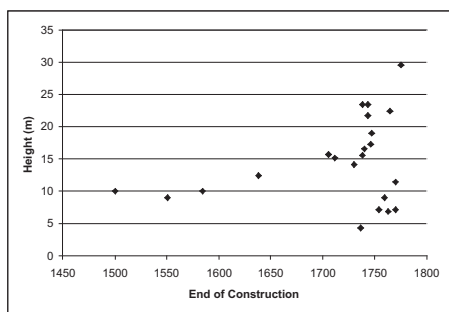


Fig. 31
Barrages autour de Schemnitz

In Fig. 29 to 31 are presented the maximum height of the dams in Germany around Freiberg, Upper Harz and Schemnitz, where is possible to observe that the large dam, with more than 15 m height, stated generally to be built after 1700.

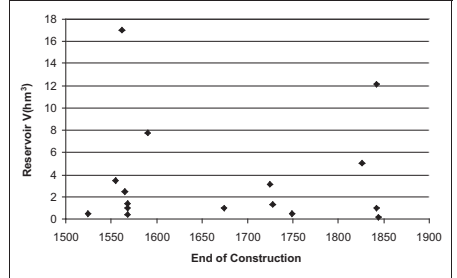
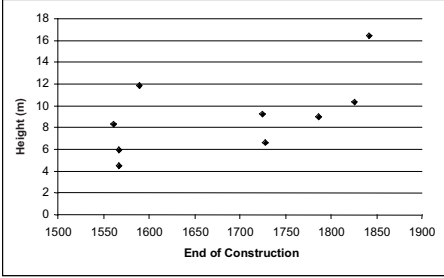
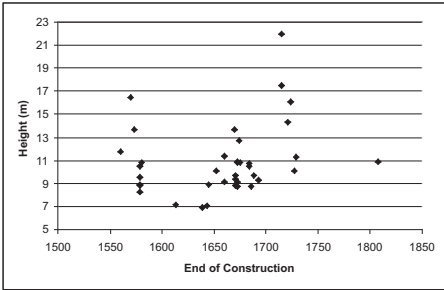


Fig. 29
Dams in the district of Freiberg



10. ANCIENS BARRAGES EN INDE

La construction des barrages en Inde a sa propre histoire. Dans les Vedas, le premier livre sacré des Aryens, on fait mention de puits, de canaux et de barrages. Manu, le premier juge, écrit dans son livre qu'un roi qui veut vaincre son ennemi doit d'abord détruire tous les barrages de son territoire. Vishnugupta Kautalaya (3^e siècle avant J.C.), premier ministre de Chandragupta Maurya, dans son Arthasastra ou livre sur la politique, donne le conseil suivant : « pendant la guerre, les voies de communication du territoire de l'ennemi doivent être inondées en détruisant les lacs, les barrages et les remblais ». Rishi Narada, un grand écrivain politique, arriva un jour à la cour de l'Empereur Yudhishtira (3150 avant J.C.) et enquêta sur le bien-être dans son pays. Une de ses questions était : « Est-ce que les fermiers sont vigoureux et prospères ? Il y a-t-il des barrages pleins d'eau, assez grands et répartis dans toutes les régions du royaume, et l'agriculture ne dépend-elle pas que des pluies ? ». Huit feuillets d'un traité sur l'eau par le sage Garga sont encore conservés dans la bibliothèque de Nepal Darbar. Ce manuscrit est daté de 1070. Il démontre clairement l'importance donnée en Inde à la construction des barrages au moins depuis 3150 avant J.C. Quelques détails sont fournis ci-après sur les anciens barrages.

Seize anciens barrages sont connus grâce à des recherches archéologiques conduites entre 1998 et 2001 sur une zone d'environ 750 km², autour de Sanchi, un site du patrimoine mondial de l'UNESCO, connu pour ses liens avec l'histoire du bouddhisme. Sanchi est un important centre bouddhiste au centre de l'Asie. Les barrages comprennent une couverture en terre avec des pierres sur le parement amont ; leur hauteur varie de 1 à 6 m et leur longueur de 80 à 1 400 m. Le volume du réservoir varie de 0,03 à 4,7 hm³. Malgré les différences, ils paraissent avoir été construits avec une hauteur suffisante pour créer un réservoir dont le volume correspond au ruissellement du bassin versant de chaque site. En premier lieu, on pourrait dater les ouvrages entre le 1^{er} siècle avant J.C. et le 5^e siècle d'après les sculptures en forme de najas sur ou près de certains remblais. D'autres repères de datation sont fournis par des facteurs morphologiques comme l'appareillage des pierres et des dates associées à des peuplements et à des sites bouddhistes. Ces barrages étaient construits à des fins d'irrigation, principalement pour le riz. Quelques barrages montrent des éléments d'évacuateurs et de vannes.

Les rois hindous du sud de l'Inde montrèrent beaucoup d'intérêt pour la construction des barrages pour créer des réservoirs et utiliser leur eau pour l'irrigation. Un lac nommé Sudarsana fut ainsi créé par un barrage pendant le règne de Maurya Chandragupta pour irriguer. Sans réparation majeure, le lac et le barrage existèrent pendant 400 ans : ils furent détruits par une tempête en l'an 150 durant le règne de Rudradaman I.

Le Grand Anicut est parmi les plus vieux barrages au monde encore debout. Il est situé sur la rivière Cauvery et il est aussi connu sous le nom de Kallanai. Il est attribué au roi Chola Karikalan et date du 2^e siècle. Kallanai est un barrage massif en maçonnerie, de 329 m de longueur et 20 m de large sur le bras principal de la

10. ANCIENT DAMS IN INDIA

The construction of dams in India has its own history. In the Vedas, the earliest sacred books of the Aryans, mention is made of wells, canals and dams. Manu, the earliest law giver writes in his book that a king who wishes to conquer his enemy should first of all destroy the dams in his territory. Vishnugupta Kautalaya (3rd century B.C), the Prime Minister of Chandragupta Maurya, in his Arthasastra or book on Polity, gives the advice saying, 'that when on war, the tracts of land of the enemy should be flooded with water by breaking the lakes, dams and embankments. Rishi Narada, a great writer on polity, once came to the court of Emperor Yudhishtira (3150 B.C) and enquired about the welfare of his state. One of his questions was: "Are the farmers sturdy and prosperous? Are there dams full of water and big enough and distributed in different parts of the kingdom, and does agriculture not dependent on rains only?". Eight leaves of a treatise on water by the sage Garga are even now preserved in the library of Nepal Darbar .This manuscript is dated 1070 A.D. This clearly brings out the importance which was given to dam construction in India in the past as early as 3150 B.C. Brief details of some of the ancient dams are given below:

Sixteen ancient dams were documented while carrying out archaeological survey work between 1998 and 2001 over approximately 750 km², around Sanchi, a UNESCO World Heritage site famous for its proximity to history of Buddhism. Sanchi is a major Buddhist hilltop complex in Central Asia. The dam consists of earthen cover with stone facing on the upstream side and vary in height from 1 to 6 m and in length from 80 to 1400 m. having reservoir volume varying from 0.03 to 4.7 million m³. In spite of their variety, they appear to have been constructed to a height sufficient to ensure that the reservoir volume would be in accordance with the volume of the runoff from the upstream catchment of each site. Preliminary terminus ante quem dates of between 1st century B.C and 5th century A.D were provided by naga (serpent) sculptures located on or near some of the embankments. Other chronological pointers were provided by morphological factors such as stone facing type and dates associated settlements and Buddhist sites. These dams were built to provide irrigation principally for rice. Some of these dams show evidence of spillways and sluice gates.

The Hindu kings of South India evinced keen interest in construction of dams for the purpose of creating reservoirs and utilising their water for irrigation. A lake with the name Sudarsana was constructed during the reign of the Maurya Chandragupta by damming it for the purpose of irrigation. Without any major repairs, this lake or dam continued approximately for 400 years. This lake was destroyed by a storm during the reign of Rudradaman I in A.D 150.

Grand Anicut is amongst the oldest surviving and standing dam in the world. It is situated on the river Cauvery and is also known by the name of Kallanai.. It is attributed to the Chola king Karikalan and dates back to 2nd century. The Kallanai is a massive stone masonry dam, 329 m long and 20 m wide across the main stream

rivière Cauvery. Le but du barrage était de dériver les eaux de la Cauvery à travers un delta fertile pour irriguer, grâce à des canaux, une surface de 280 km².

Près de Bhopal, le barrage Mudduk Maur demeura le plus haut barrage en terre pendant trois siècles après sa construction en 1500.

Le barrage à voûtes multiples de Meer Allum (Mir Alam) fut achevé vers 1804 avec une capacité de stockage de 10 millions de mètres cubes destinés à l'alimentation en eau de Hyderabad et il est toujours en service. Il est formé de 21 voûtes semi-circulaires, de portées comprises entre 21,3 et 44,8 m.

Au centre de l'Inde, le barrage de Veeranam, datant du 11^{ème} siècle, s'étendait sur 16 km. Deux barrages en dalles sculptées, datant de la même époque, forment un lac dans l'état de M.P. au centre de l'Inde. Le grand réservoir de Veeranam se remplissait non seulement par les apports de son bassin versant naturel de 427 km² mais aussi par un canal de dérivation de la rivière Coleroon au sud. Ce canal, ainsi que celui qui se trouvait à la sortie du réservoir étaient en outre utilisés pour la navigation intérieure en permettant de relier la côte à la ville de Tiruchirapalli, située à 300 km au sud-ouest de Madras.

Des données concernant quelques barrages sont résumées dans le Tableau 3. Le plus vieux d'entre eux à des caractéristiques particulières, c'est-à-dire une hauteur modérée et une très grande longueur de crête.

Les remblais du sud de l'Inde avaient des talus extérieurs très raides, grâce aux matériaux graveleux utilisés pour leur construction. Un exemple extrême est constitué par le barrage de Motitalav au nord de la ville de Mysore, avec plus de 24 m de hauteur, le plus grand de tous les autres. Ses faces amont sont protégées par des pierres de taille et elles ont des pentes de 1,5 pour 1 alors que le talus aval est à 1 pour 1 (Fig. 32). Afin d'obtenir un poids suffisant pour résister à la poussée de l'eau, la largeur de la crête est supérieure à la hauteur du barrage. On trouve la même conception dans deux barrages de 26 et 12 m de haut, respectivement 92 et 460 m de longueur. Ils retiennent le gigantesque lac Bhojpur près de Bhopal, à environ 600 km au sud de New Delhi. Cependant, le plus grand de ces deux barrages se rompit seulement trois siècles plus tard et la surface du réservoir de 650 km² fut récupérée pour l'agriculture. Le dernier barrage avec une crête de plus de 20 m de large est le barrage de 18 m de Cumbum construit au 14^e siècle.

of Cauvery. The purpose of the dam was to divert the waters of Cauvery across the fertile delta region for irrigation via canals to an area of 280 km².

Near Bhopal, the Mudduk Maur dam was the highest earthfill embankment dam for three centuries after its construction in 1500.

The multiple arch Meer Allum (Mir Alam) dam was completed around 1804 with a 10 Million m³ water storage capacity to supply water to Hyderabad and it is still in use. It consists of 21 semi circular vertical arches with span ranging from 21.3 to 44.8 m.

In Central India, the 11th century Veeranam dam once stretched over a full 16 km. Two carved rock slab dams from the same era created a lake in the central Indian state of M.P. The large Veeranam reservoir was filled not only by the runoff from the natural catchment basin of 427 km², but was fed also by a diversion canal from the Coleroon river to the south. This canal as well as the one emanating from the reservoir was additionally used for inland navigation, linking the coast and the city of Tiruchirapalli, 300 km southwest of Madras.

The data of some of the known dams built are summarized in Table 3. The oldest one showed a special characteristic i.e. a moderate height and a very long crest.

The embankments in southern India had considerably steeper outer slopes because the soils used in their construction were mostly gravelly. An extreme example was the Motitalav dam north of the city of Mysore, with over 24 m the highest of them all. Its upstream face was protected by ashlar blocks and had a 1:1.5 slope, whereas its downstream face sloped 1:1 (Fig. 32). In order to obtain sufficient mass to resist the water pressure, its crest width exceeded the dam's height. Such a design was applied in the same period for two dams of 26 and 12 m height as well as 92 and 460 m length respectively. They contained the enormous Bhojpur lake near Bhopal, some 600 km south of Delhi. However, the higher of the two dams was breached only three centuries later and the reservoir area of 650 km² reclaimed for cultivation. The last dam with an excessive crest width of 20 m was the 18 m high Cumbum embankment built in the 14th century.

Tableau 3
Barrages en remblai du sud de l'Inde datant du Moyen-Age

Année d'achèvement	Nom du barrage	Distance de Madras (km)	Hauteur (m)	Longueur (m)	Pentes		Capacité du réservoir (millions m ³)
					Amont	Aval	
1037	Veeranam	210 S	9,1	16 100	1:1,5	1:1,5	51
11 ^e	Malkapur	490 NW	11,6	3 780	1:2,0	1:3,0	?
11 ^e	Motitalav	370 W	24,4	4 023	1:1,5	1:1,0	22
1213	Lakhnawaram	560 N	15,2	610	1:2,5	1:2,5	59
1213	Pakhal	540 N	19,2	1 220	1:2,5	1:2,0	96
1213	Ramappa	570 N	17,1	610	1:2,5	1:2,0	153
1369	Anantha	190 NW	14,3	?	1:2,0	1:3,0	21
1369	Anantharaja (Porumamilla)	230 NW	11,0	1 370 ¹	1:1,5	1:2,0	20
14 ^e	Chembarambakam	26 SW	9,8	8 850	1:1,75	1:2,0	88
14 ^e	Cumbum	310 NW	18,3 ²	296 ²	1:1,5	1:2,0	105 ²
14 ^e	Rasool	?	12,8	1 280	1:1,5	1:2,0	?
1400	Kaveripakkam	90 W	12,1	7 240	1:1,5	1:2,0	40
15 ^e	Kesari	?	12,2	1 520	1:2,0	1:2,0	?
1520	Peddatippa	200 W	16,0	1 265	1:2,0	1:3,0	12
16 ^e	Ibrahimpatan	490 W	15,2	2 410	1:3,0	1:2,0	?

¹ en trois sections séparant quatre collines.

² d'après un panneau sur le site.

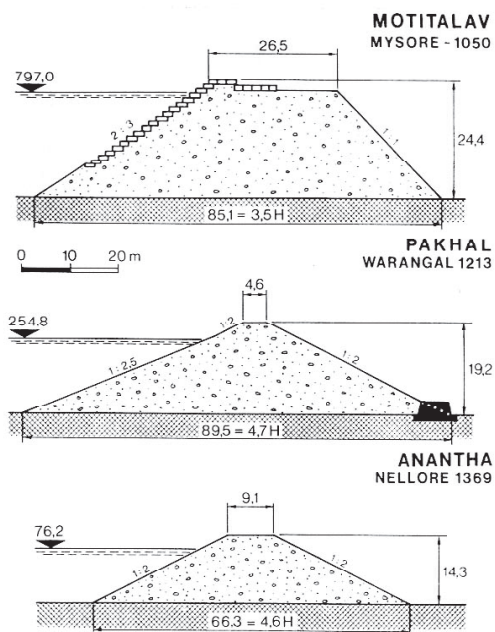


Fig. 32
Sections transversales de trois barrages en remblai du sud de l'Inde
(D'après Rao 1961)

Table 3
Medieval embankments in southern India

Year of completion	Name of dam	Distance from Madras (Km)	Height (m)	Length (m)	Slopes		Reservoir capacity (million m ³)
					Upstream	Down-stream	
1037	Veeranam	210 S	9.1	16100	1:1.5	1:1.5	51
11th cent.	Malkapur	490 NW	11.6	3780	1:2.0	1:3.0	?
11th cent.	Motitalav	370 W	24.4	4023	1:1.5	1:1.0	22
1213	Lakhnawaram	560 N	15.2	610	1:2.5	1:2.5	59
1213	Pakhal	540 N	19.2	1220	1:2.5	1:2.0	96
1213	Ramappa	570 N	17.1	610	1:2.5	1:2.0	153
1369	Anantha	190 NW	14.3	?	1:2.0	1:3.0	21
1369	Anantharaja (Porumamilla)	230 NW	11.0	1370 ¹	1:1.5	1:2.0	20
14th cent.	Chembarambakam	26 SW	9.8	8850	1:1.75	1:2.0	88
14th cent.	Cumbum	310 NW	18.3 ²	296 ²	1:1.5	1:2.0	105 ²
14th cent.	Rasool	?	12.8	1280	1:1.5	1:2.0	?
1400	Kaveripakkam	90 W	12.1	7240	1:1.5	1:2.0	40
15th cent.	Kesari	?	12.2	1520	1:2.0	1:2.0	?
1520	Peddattippa	200 W	16.0	1265	1:2.0	1:3.0	12
16th cent.	Ibrahimpatan	490 W	15.2	2410	1:3.0	1:2.0	?

¹ Three sections between four hills.

² Data from placard on site.

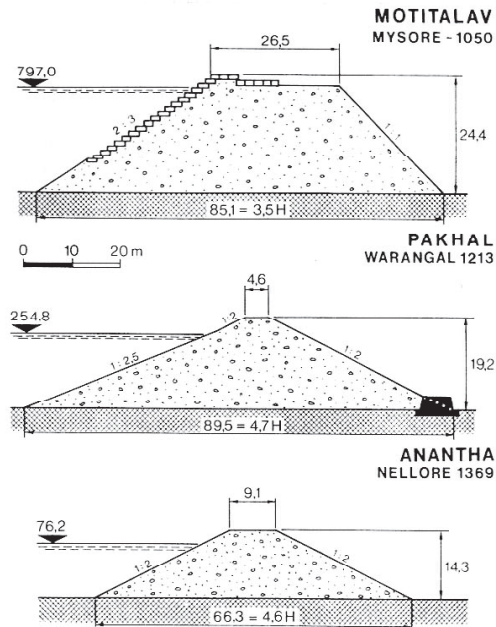


Fig. 32
Cross sections of three South-Indian embankment dams (after Rao 1961)

Des coupes transversales similaires à des sections actuelles furent adoptées dès 1213 pour les barrages de Lakhnawaram, Pakhal (Fig. 32) et Ramappa à l'est de Warangal, à environ 550 Km au nord de Madras. Près du barrage de Anantharaja (ou Porumamilla), plus au sud, une inscription datée de 1369 énumère les douze conditions essentielles – et toujours valides – pour la construction d'une bonne retenue (Vadera 1965) :

1. Un roi (ou un propriétaire, un client) vertueux, riche, heureux et désireux de connaître la renommée ;
2. Une personne compétente en hydrologie ;
3. Un fond de réservoir sur du sol dur ;
4. Une rivière où s'écoule de l'eau douce depuis environ 40 km ;
5. Deux collines près de la rivière ;
6. Entre ces deux collines, un barrage construit de pierres compactes, pas trop long mais solide ;
7. Les deux extrémités des collines dépourvus de terre arable (notamment de l'humus) ;
8. Le fond du réservoir étendu et profond ;
9. Une carrière avec des pierres droites et longues ;
10. Une zone fertile et basse (irrigable) à proximité ;
11. Un cours d'eau avec beaucoup de remous dans la montagne ;
12. Une équipe d'hommes compétents dans l'art de construire un barrage.

L'inscription ajoute six erreurs à éviter :

1. Relargage d'eau chargée en limons ;
2. Sol salin ;
3. Site à la frontière entre deux royaumes ;
4. Sol élevé au milieu du réservoir ;
5. Apports insuffisants et surface à irriguer étendue ;
6. Trop peu de terres à irriguer et trop d'apports.

Enfin, l'inscription indiquait que 1 000 personnes et 100 bœufs travaillèrent pendant deux ans à la construction du barrage d'Anantharaja.

Le 16^e siècle connu la fin de l'état Hindu du Vijayanagara et l'arrivée des premiers européens qui s'installèrent à différents endroits sur les deux côtes. Dès 1520, l'un des derniers rois Vijayanagara prit les conseils d'un ingénieur portugais, João de la Ponta, pour la construction d'un réservoir dans sa nouvelle ville de Nagapura. Ceci marqua le début du transfert de la technologie européenne en construction de barrage vers l'Inde. Des ingénieurs anglais construisirent sur le sol indien quelques uns des plus avant-gardistes barrages et canaux du monde. Après l'indépendance de 1947, l'Inde a construit un grand nombre d'importants barrages comme les 4 barrages du projet de la vallée de Damodar à l'ouest du Bengale, le projet Hirakud à Orissa, le barrage de Bhakra sur la rivière Sutlej, le barrage de Pong sur la rivière Beas. L'Inde est parmi les pays les plus actifs dans le domaine de la construction des barrages.

Quite modern looking cross sections were adopted already around 1213 for the Lakhawaram, Pakhal (Fig. 32) and Ramappa dams east of Warangal, some 550 Km north of Madras. And near the Anantharaja (or Porumamilla) dam, farther south, an inscription dated 1369 enumerates the following – still valid – twelve essential requisites for the construction of a good reservoir (Vadera 1965):

1. A king (i.e. owner or client) endowed with righteousness, rich, happy and desirous of acquiring fame;
2. A person well versed in hydrology;
3. A reservoir bed or hard soil;
4. A river conveying sweet water from a distance of about 40 km;
5. Two projecting portions of hills in contact with the river;
6. Between these protecting portions of hills a dam built of compact stone, not too long but firm;
7. The two extremities of the hills to be devoid of fruit-bearing land (i.e. humus);
8. The bed of the reservoir to be extensive and deep;
9. A quarry containing straight and long stones;
10. Fertile low and level (i.e. irrigable) area in the neighbourhood;
11. A watercourse having strong eddies in the mountain region; and
12. A group of men skilled in the art of dam construction.

The inscription also enjoined that the following six faults should be avoided:

1. Oozing of water from the dam;
2. Saline soil;
3. Site at the boundary of two kingdoms;
4. High ground in the middle of the reservoir;
5. Scanty water supply and an extensive area to be irrigated; and
6. Too little land to be irrigated and excessive supply of water.

Finally the inscription stated that 1000 people with 100 carts worked for two years on the construction of the Anantharaja dam.

The 16th century saw the end of the Hindu state of Vijayanagara and the arrival of the first European who installed themselves at various points on both coasts. As early as around 1520, one of the last Vijayanagara kings sought the advice of the Portuguese engineer João de la Ponta in the construction of a reservoir for his new city of Nagalpura. Thus began the transfer of European dam technology to India, British engineers constructed some of the most advanced dams and canals in the world on Indian soil. After independence in 1947, India built number of important dams such as four dams Damodar Valley Project in West Bengal, Hirakud project in Orissa, Bhakra dam on river Sutlej, Pong Dam on river Beas etc. India remains one of the most active dam building countries.

11. ANCIENS BARRAGES EN IRAN

En Iran, il existe encore aujourd'hui plusieurs anciens barrages construits il y a 2 000 à 3 000 ans, comme le montrent les paragraphes suivants.

11.1. BARRAGE DE BAHMAN

Avec plus de 2 000 ans, le barrage de Bahman, situé à 59 km au sud de Shiraz dans la province Fars, est un des plus vieux d'Iran. L'ouvrage est construit sur la formation Razak (limon, marne rouge à verdâtre avec des inclusions de calcaire sableux) et des couches de marne dure. C'est un barrage-poids, équipé d'un évacuateur en crête, fait de pierres brutes et de mortiers de chaux.

Le barrage de Bahman sur la rivière Qara Agaj a 8 m de hauteur et 117 m de longueur ; son épaisseur varie de 5 à 10 m. Un de ces usages, qui existe encore aujourd'hui, était d'irriguer, via un canal principal, plus de 5 000 ha de terres à l'aval.



Fig. 33

Barrage de Bahmandam, haut de 8 m, long de 117 m, construit il y a environ 2000 ans

11.2. PONT BARRAGE DE SHADORVAN

Le pont-barrage de Shadorvan est un monument historique majeur de Shoshtar et un des plus importants barrages de l'histoire de l'Iran et du monde. Il est situé sur le Shatit, affluent de la rivière Karon, au nord-ouest de la cité de Shoshtar dans la province de Khozestan. Il a environ 500 m de longueur. Sur les 40 vannes d'origine, ne demeurent aujourd'hui que 8 vannes au nord et 15 au sud.

Le barrage fait 6 m de largeur, 10 m de hauteur et il est fait de pierres brutes et de mortier de chaux. La structure a été construite pendant l'époque des Sassanides.

11. ANCIENT DAMS IN IRAN

In Iran there are several ancient dams which were built from 2000 to 3000 years ago and that still exist as can be seen in the following items.

11.1. BAHMAN DAM

With a precedence of more than 2000 years, Bahman dam is one of the oldest of Iran, lying on a distance of 59 Km at the south of Shiraz in Fars Province. This structure was built on the Razak formation (silt, greenish red marl with sandy limestone intercalations) and layers of hard marl stone. It is a gravity dam with spillway over the crest, made of rubble stone and lime mortar.

Bahman dam that spans Qara Agaj River is 8 m height and 117 m long, with thickness varying between 5 to 10 m. One of the targets of the dam, which is still being met, is irrigation of more than 5000 ha of lands downstream via a main Canal.



Fig. 33
Bahman dam 8 m high and 117 m long built ~2000 years ago

11.2. SHADORVAN DAM-BRIDGE

The Shadorvan Dam-Bridge is an outstanding historical remain of Shoshtar and one of the important historical dams of Iran and of the world. It is located on Shatit Branch of Karon River, Northwest of Shoshtar city in Khozestan Province. It is about 500 m long with 40 original gates. But only 8 gates in the northern section and 15 gates in the Southern section remain at the present time.

This dam is 6 m wide and 10 m height, and is made of rubble stone and lime mortar. This structure was built during Sassanids Era.



Fig. 34

Pont-barrage iranien de Shadorvan, 10 m de haut, construit il y a 1 700 ans

11.3. BARRAGE DE SHESHTERAZ

Le barrage de Sheshteraz est situé à 25 km à l'ouest de Kashmar dans la province de Khorasan. D'après les documents existants, sa construction remonte à 1000 à 1200 ans. Il est fait de pierres concassées de rivière et de mortier de chaux. La conception de la prise d'eau est complexe avec la présence de deux tours de prise juxtaposées, dans le barrage, l'eau pénétrant par une tour, traversant des galeries horizontales pour entrer dans la deuxième tour avant d'être évacuée. Le réservoir d'environ 2 hm³ est maintenant rempli de limon et de sédiments.



Fig. 35

Barrage de Sheshteraz construit il y a 1000 à 1200 ans

11.4. BARRAGE AMIR

Le barrage Amir est un barrage à usages multiples situé sur la rivière Kur à 37 km au nord-est de Shiraz dans la province Fars. L'ouvrage a 104 m de long, 5 m de large et 15 m de haut et sa construction remonte à 1000 ans.



Fig. 34

Shadorvan dam-bridge, in Iran, with 10 m height built nearly 1700 years ago

11.3. SHESHTERAZ DAM

The Sheshteraz dam is located 25 Km west of Kashmar, in Khorasan Province. According to the existing documents its construction dates back to 1000 to 1200 years ago. It is made of crushed river stones and lime mortar. The design of the water intake structure is rather complicated as there are two intake towers near each other and situated in the dam, where the water used to flow through an intake, passing through some horizontal galleries and finally enters the adjacent tower before the discharge. The reservoir volume is about 2 hm^3 , it is now filled with silt and sediments.



Fig. 35

Sheshteraz dam built from 1000 to 1200 years ago

11.4. AMIR DAM

The Amir Dam is a multi purpose dam located on the Kur River, 37 Km northeast of Shiraz in Fars Province. The structure is 104 m long with, 5 m wide and 15 m high and its construction dates back to 1000 years ago.

Le barrage est fait de pierres et de mortier de chaux. Il a été réalisé dans trois buts principaux :

- permettre le franchissement de la rivière comme un pont ;
- dériver l'eau dans des canaux d'irrigation ;
- fournir de l'énergie pour faire tourner un moulin.

Le pied du barrage a une forme arrondie pour créer un bassin d'amortissement limitant l'érosion du lit de la rivière.



Fig. 36

Barrage Amir, haut de 15 m, long de 104 m, construit il y a environ 1000 ans

11.5. BARRAGE AKHLEMAD

Le barrage Akhlemad est situé à 17 km au sud-ouest de Chenaran, dans la province de Khorasan, sur la rivière du même nom. Il a été construit il y a 300 à 400 ans pendant le règne d'Abbass II de la dynastie Safavid.

Il est fondé sur un calcaire massif et il est constitué de maçonnerie grossière, de briques, et de plâtre de chaux et de cendres. Il a 225 m de longueur et une hauteur de 15 m. Son épaisseur varie de 14 m en crête à 13,5 m à la base.



Fig. 37

Barrage Akhlemad de 15 m de haut, 225 m de long, construit il y a 300 à 400 ans

The dam is made of rubble stone and lime mortar, the three major aims of implementing this project included :

- Spanning the river as a bridge.
- Diverting water into irrigation canals.
- Running the water mills with the energy of river water.

Dam toe is built in the shape of a pillow forming a stilling basin to mitigate river- bed erosion.



Fig. 36

Amir dam with 15 m height and 104 m long built nearly 1000 years ago

11.5. AKHLEMAD DAM

The Akhlemad dam is located 17 Km southwest of Chenaran, in Khorasan Province, on a river with the same name. it was constructed between 300 to 400 years ago during King Abbass the II of the Safavid dynasty.

It is founded on limestone rockmass and made of rubble masonry, bricks and plaster of lime and ashes. It is 225 m long and 15 m high. The thickness changes from 14 m at the crest level, to 13.5 m at the base.



Fig. 37

Akhlemad dam with 15 m height and 225 m long, built from 400 to 300 years ago

Tableau 4
Caractéristiques de quelques anciens barrages iraniens

Nom du barrage	Situation	Age (années)	Hauteur (m)	Épaisseur (m)	Longueur de crête (m)	Type de matériaux	Volume de retenue (m ³)	Utilisations
Amir	Shiraz, Province de Fars	1 000	15	5	104	Moellons et mortier de chaux	-	<ul style="list-style-type: none"> - Former un pont - Dériver l'eau pour l'irrigation - Faire tourner les moulins
Sheshteraz	Kashmar, Province de Khorasan	1 000-1 200	15	13-14	46	Galets concassés et mortier de chaux	2 000 000	Agriculture
Akhleamad	Chenaran, Province de Khorasan	300-400	12	11-13,5	225	Maçonnerie grossière et mortier de chaux	3 000 000	Irrigation
Bahman	Shiraz, Province de Fars	2 000	8	5 à 10	117	Moellons et mortier de chaux	-	Irrigation (5 000 ha)
Mizan	Soshtar, Province de Khozestan	Epoque Sassanide (1700)	5	26	205	Moellons et mortier de chaux	-	Réguler les écoulements et permettre les communications
Shadorvan	Soshtar, Province de Khozestan	Epoque Sassanide (1700)	10	6	500	Moellons et mortier de chaux	-	Relier les villes de Shoshtar et Persepolis pendant la période achéménite et élever le niveau de l'eau
Gargar	Soshtar, Province de Khozestan	Epoque Sassanide (1700)	10	-	50	Moellons et mortier de chaux	-	Agriculture et alimentation des moulins

Table 4
Features of Some Ancient Small Dams in Iran

Name of Dam	Location	Age (year)	Height (m)	Width (m)	Length of Crest (m)	Type of Materials	Storage Capacity (m ³)	Objectives
Amir	Shiraz, Fars Province	1000	15	5	104	Rubble stone & lime mortar	-	<ul style="list-style-type: none"> - Spanning the river as a bridge - Diverting water for irrigation - Running the water mills
Sheshteraz	Kashmar, Khorasan Province	1000-1200	15	13-14	46	Crushed river stone & lime mortar	2,000,000	Agriculture
Akhleamad	Chenaran, Khorasan Province	300-400	12	11-13.5	225	Rubble masonry & lime mortar	3,000,000	Irrigation
Bahman	Shiraz, Fars Province	2000	8	5 à 10	117	Rubble stone & lime mortar	-	Irrigation (5000 ha)
Mizan	Soshtar, Khozestan Province	Sassanids era (1700)	5	26	205	Rubble stone & lime mortar	-	Regulating water & going back and forth
Shadorvan	Soshtar, Khozestan Province	Sassanids era (1700)	10	6	500	Rubble stone & lime mortar	-	Connecting the city of Shoshtar and Persepolis during Achaemenian & Raising water level
Gargar	Soshtar, Khozestan Province	Sassanids era (1700)	10	-	50	Rubble stone & lime mortar	-	Agriculture & running the water mills

12. ANCIENS BARRAGES EN ITALIE

GÉNÉRALITÉS SUR L'ÉVOLUTION DES BARRAGES

Le tableau des situations hydrologiques italiennes, a mis en évidence l'importance et les aspects du problème de l'aménagement des eaux en Italie. Cette importance a été d'ailleurs reconnue dès la plus haute antiquité et les vestiges des ouvrages réalisés au cours des siècles passés en sont le témoignage.

Les seuls barrages qui soient encore en service de nos jours dans ce domaine se bornent toutefois à quelques modestes ouvrages destinés à l'irrigation ou à l'amélioration du régime des cours d'eau ; ces ouvrages sont tous postérieurs au XV^e siècle.

Le barrage à crête déversante de Cento, près de Cesena (province de Ravenne), construit sur le Savio aux environs de 1450 par Domenico Malatesta, surnommé « Novello », jouit parmi ces ouvrages d'une certaine notoriété.

C'est un barrage-poids de 8 m environ de hauteur, dont la longueur en crête atteint approximativement 60 m ; réalisé en maçonnerie de briques à la chaux, renforcée par une charpente de poutres et pieux de chêne, il était primitivement destiné à dériver l'eau pour l'alimentation d'un canal desservant quelques moulins et ateliers du voisinage, remplacés au début de notre siècle par deux petites centrales hydroélectriques encore en service à l'heure actuelle.

Le barrage de Ponte Alto, sur le Fersina – affluent de l'Adige – au voisinage de la ville de Trente, allie à sa valeur historique un certain intérêt technique. Construit en 1611 dans un ravin d'abord coupé par un barrage d'autre type, réalisé dès 1597, mais emporté par les crues, il fait partie d'un système de 4 barrages créés pour protéger la ville contre les crues du Fersina et reconstruits à plusieurs reprises au cours de trois siècles. Sa hauteur initiale atteignait 5 mètres à peine, mais il a été plusieurs fois surélevé comme l'indique la Fig. 38.

En 1883, à l'occasion de la dernière surélévation, un autre ouvrage, du type voûte, fut construit un peu en aval : c'est le barrage de Madruzza, d'une quarantaine de mètres de hauteur.

Les retenues créées par ces ouvrages sont complètement envasées, mais ils ne s'en acquittent pas moins encore de leur rôle de régularisation de la pente du lit du Fersina.

Parmi les barrages en terre italiens, il en est un qui remonte à plusieurs siècles : c'est celui du lac de Ternavasso, sur le Stellone (province de Turin). Ce modeste ouvrage de 7 m de haut, construit aux environs de l'an 1600, crée encore de nos jours une retenue de 300 000 m³, destinée à l'irrigation. Deux autres barrages en terre, de la première moitié du XIX^e siècle, tous deux situés dans la province de Turin (bassin du Banna), ont encore des capacités de retenue remarquables (1 million et demi de mètres cubes chacun) : ce sont les barrages du lac de la Spina, sur le Rio Torto, construit aux environs de 1830 et atteignant une hauteur de 18,02 m, et du lac d'Arignano (7,25 m de haut, réalisé en 1840).

(1) Texte du Comité de Rédaction, sur la base des notes sommaires de MM. Carlo SEMENZA et Angelo TESTA.

12. ANCIENT DAMS IN ITALY

GENERAL ASPECTS ON THE EVOLUTION OF DAMS

The scenario of the Italian hydrological situations placed in evidence the importance and the aspects of the water management problem in Italy. This importance has been acknowledged since earliest antiquity, as witnessed by the traces of the works that have been carried out over the course of centuries.

The only dams of this type that are still in operation nowadays are restricted to some small works for irrigation or for the improvement of the flow of the water courses; all works built after the 15th century.

The Cento overflow dam, close to Cesena (province of Ravenna), built on the Savio river around the year 1450 by Domenico Malatesta, called « Novello », enjoys a particular reputation among these works.

It is a gravity dam about 8 m high, with a crest approximately 60 m in length, built in brick masonry with lime cement, reinforced by a framing of oak beams and piles. It was originally aimed to divert water to supply a channel for some mills and factories in the vicinity, and replaced at the beginning of this century by two small hydropower plants that are still in operation at present.

The Ponte Alto dam, on the Fersina creek - tributary to the Adige river - in the vicinity of the town of Trento, allies to its historical value a certain technical interest. It was built in 1611 in a ravine already crossed by a dam of another type, constructed in 1597, but carried away by floods, forming part of four dams erected in order to protect the town against the Fersina's floods and rebuilt in several stages over three centuries. Its initial height was only 5 m, but it was raised several times, as shown in Fig. 38.

In 1883, when raised for the last time, another structure of the arch type was constructed a little downstream: this is the Madruzzo dam, with a height of about 40 m.

The reservoirs impounded by these dams are completely filled by sediments, however they have not yet lost their role of regularization of the bed slope of the Fersina creek.

Among the Italian earthfill dams, there is one that goes back several centuries: it is the Ternavasso dam on the Stellone stream (Turin province). This small work, 7 m high, built around 1600, still impounds a reservoir of 300 000 m³ for irrigation. Two more earthfill dams from the first half of the 19th century, both located in the Turin province (Banna's basin), still maintain significant reservoir capacities (1.5 million m³ each): they are the lake Spina dam, on the Torto river, built around 1830 and attaining a height of 18.02 m, and the Arignano lake dam (7.25 m high, built in 1840).

(1) Text by the Editing Commission, based on the brief notes by Carlo SEMENZA and Angelo TESTA.

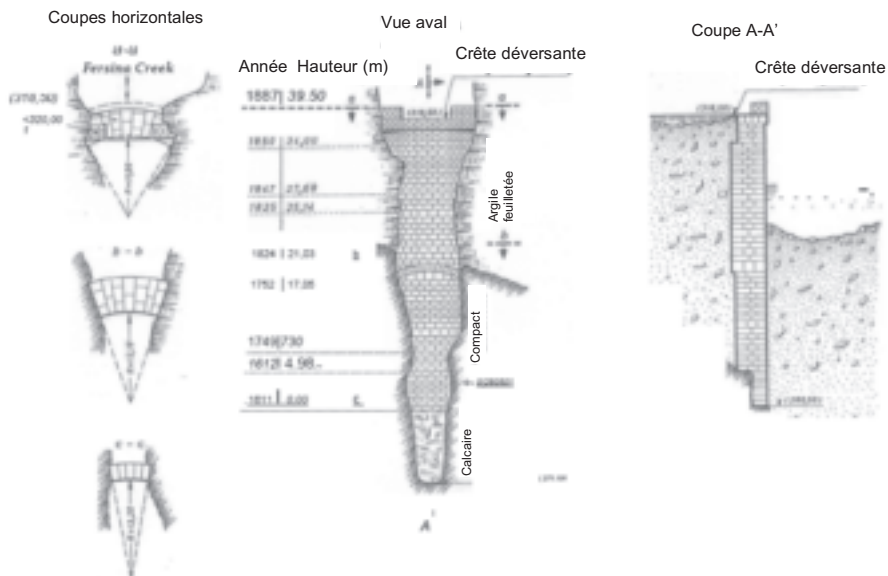


Fig. 38
Barrage-voûte de Ponte Alto, sur le Fersina (Province de Trente).
Ce barrage, dont la construction fut entreprise en 1611 en vue de l'aménagement du lit du Fersina (affluent de l'Adige), résulte d'une série de surélévations indiquées par la figure et imposées par l'envasement progressif de la retenue.

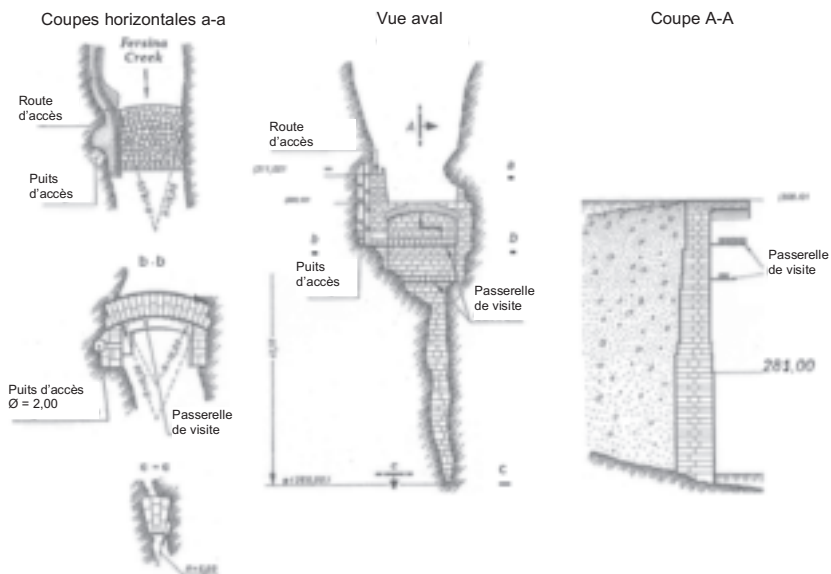


Fig. 39
Barrage-voûte de Madruzzo, sur le Fersina (Province de Trente).
Barrage réalisé en 1883, soixante-dix mètres en aval de l'ouvrage de Ponte Alto, en vue de l'aménagement du torrent.

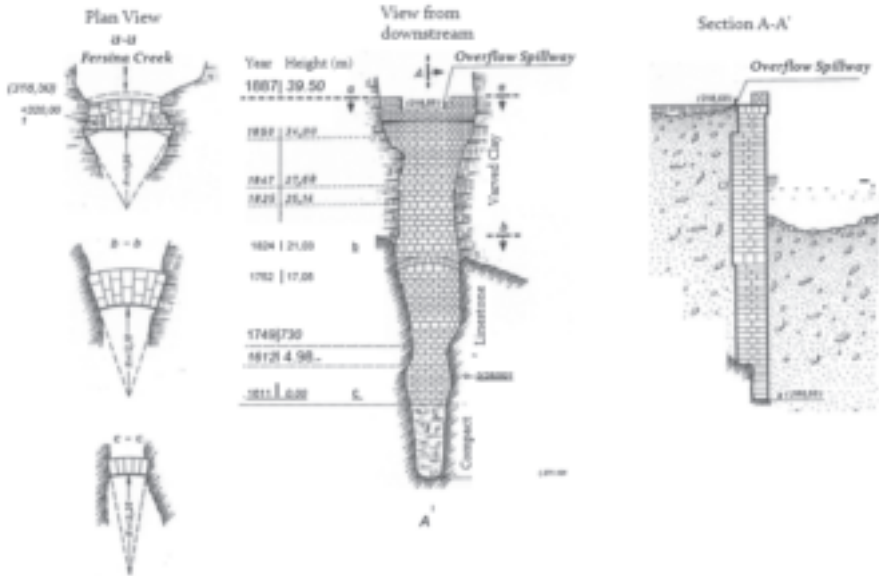


Fig. 38

Ponte Alto Arch Dam on the Fersina Creek (Trento Province)

The construction of this dam started in 1611 for the purpose of the control of the bed of the Fersina creek (a tributary of the Adige). The present dam is the result of several heightenings, shown in the figure, caused by the gradual sedimentation of the reservoir

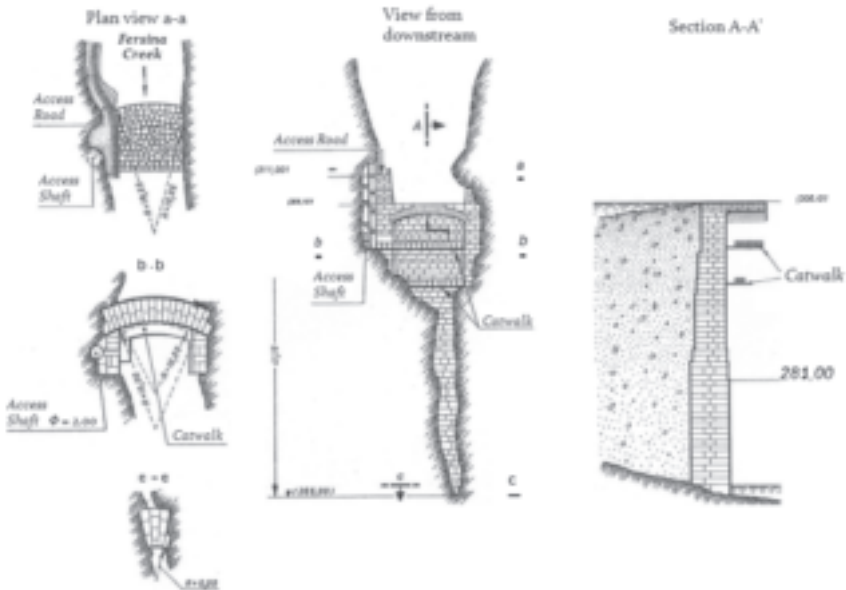


Fig. 39

Madruzzo Arch Dam on the Fersina Creek (Trento Province)

This dam was built in 1883, seventy meters downstream from the Ponte Alto dam, for the purpose of stream training

13. ANCIENS BARRAGES AU JAPON

Au Japon, il y a environ 210 000 petits barrages (bassin d'irrigation, TAMEIKE en Japonais). Presque tous sont dans le domaine agricole. Ils sont concentrés dans les régions de Kinki dans la province nord de Kyushu dans la mer intérieure où les précipitations annuelles sont relativement faibles. Beaucoup d'entre eux ont été construits il y a très longtemps, même pendant la période du Tumulus (3^e-7^e siècles) et ils sont toujours utilisés pour l'irrigation.

Le riz constitue l'alimentation de base des japonais. On pense que la culture du riz a débuté vers le 2^e ou 3^e siècle avant J.C. en utilisant l'écoulement naturel des rivières ou l'eau de pluie. Puis les petits barrages ont été construits pour accroître les possibilités d'irrigation en supprimant les contraintes liées aux manques temporaires d'eau.

Les principaux petits barrages existants, les premiers construits avant le 18^e siècle et toujours en exploitation, sont listés dans le Tableau 5.

Tableau 5
Principaux petits barrages construits avant le 18^e siècle et encore en exploitation

Année de construction	Nom du barrage	Hauteur initiale (m)	Hauteur actuelle (m)	Capacité actuelle (1 000 m ³)
Début 7 ^e siècle	Sayama-ike	8,0	11,0	207
704	Mannoh-ike	10,0	32,0	15 400
Début 11 ^e siècle	Nagaiku-ike	10,0	8,1	200
1128	Daimon-ike	18,0	20,0	110
Début 16 ^e siècle	Iwanabe-ike	13,0	14,8	366
1592	Iwase-ike	12,0	17,6	1 016
1601	Deguchi-ike	16,0	14,8	310
1760	Sakura-ike	24,0	16,0	566

Réf. Registre des bassins d'irrigation, Ministère de l'agriculture, de la forêt et des pêcheries – MAFF, 1996

Tous les principaux barrages du Tableau 5 ont été construits il y a plusieurs centaines, voire un millier d'années mais ont continué à être utilisés grâce à un entretien continu et des travaux de réparation réalisés par les fermiers (et les associations d'irrigation, les autorités locales...). Certains ont été reconstruits ou lourdement réhabilités, plusieurs fois au cours de l'histoire, et leur hauteur et leur volume ont été augmentés pour répondre aux besoins croissants des agriculteurs.

13.1. MANNOH-IKE (PREFECTURE DE KAGAWA)

Parmi les petits barrages du Tableau 5, Mannoh-ike, qui a, avec Tameike, la plus grande capacité, fut construit pour la première fois en 704, puis se rompit et fut reconstruit, réhabilité, rénové plusieurs fois au cours des 1 300 ans de son histoire et il est toujours en exploitation aujourd'hui.

13. ANCIENT DAMS IN JAPAN

There are about 210 000 small dams (irrigation ponds, TAMEIKE in Japanese) all over Japan. They, almost all, belong to the agricultural sector. They are concentrated in areas from Kinki to Northern Kyushu province through the Inland Sea Area, where annual precipitation is relatively small in Japan. Many of them were built long time ago, even in the period of the Tumulus (3rd~7th century A.D.), and they are now still used for irrigation.

Rice is staple food for Japanese people. It is said that the rice cultivation has begun around 2nd or 3rd century B.C. using a natural flow of a stream and rainfall. Then small dams have been built and used mainly as supplemental irrigation facilities, for removing constraints of low water discharge intake.

Existing principal small dams, first constructed before 18th century and have still been used, are shown in the Table 5.

Table 5
Principal small dams first constructed before 18th century and still used

Years of first construction	Names of Dams	Initial Height (m)	Present Height (m)	Present Storage Volume (1000 m ³)
Early 600's A.D.	Sayama-ike	8.0	11.0	207
704 A.D.	Mannoh-ike	10.0	32.0	15,400
Early 1000's A.D.	Nagaiku-ike	10.0	8.1	200
1128 A.D.	Daimon-ike	18.0	20.0	110
Early 1500's A.D.	Iwanabe-ike	13.0	14.8	366
1592 A.D.	Iwase-ike	12.0	17.6	1,016
1601 A.D.	Deguchi-ike	16.0	14.8	310
1760 A.D.	Sakura-ike	24.0	16.0	566

Ref. Irrigation Ponds Ledger, the Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries – MAFF, 1996

All of the principal small dams shown in the Table 5 were built several hundreds to a thousand years ago, but have been still used by the continuous maintenance and rehabilitation works by the farmers (and irrigators association, local governments, etc.). Some of them have been rebuilt or improved drastically, several times in the course of the history, and the height and dam volume have been increased in order to meet increasing demand for water of farmers.

13.1. MANNOH-IKE (KAGAWA PREFECTURE)

Among the small dams listed in Table 5, Mannoh-ike, which has the largest reservoir capacity as Tameike, was first constructed in 704 A.D, since when it has failed, then been reconstructed, rehabilitated and renovated several times over its 1,300-year history, and it is still used now.

On trouvera un vue générale de Mannoh-ike, l’histoire de ses réparations, et l’ensemble de son histoire respectivement dans Fig. 40, Fig. 41 et Tableau 6.



Fig. 40

Vue aérienne de Mannoh-ike: District d'aménagement foncier de Mannoh-ike (préfecture de Kagawa)
(Plus grand « petit barrage » du Japon – hauteur de 32 m, volume de retenue de 15,4 hm³).

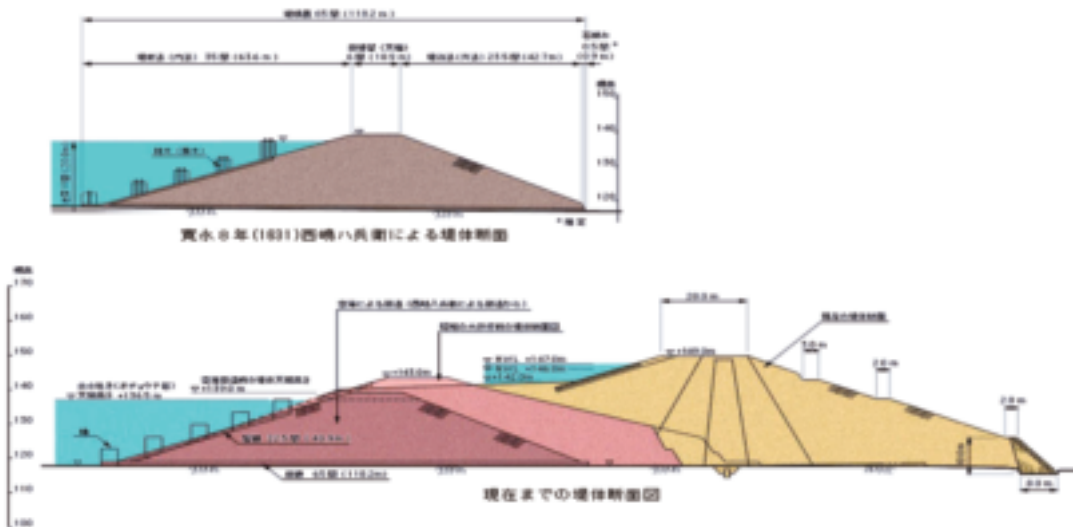


Fig. 41

Histoire des réhabilitations de Mannoh-ike : magazine trimestriel « Web Obayashi N° 40 ».

A general view of Mannoh-ike, the historical rehabilitations of Mannoh-ike, and the history of Mannoh-ike are shown in Fig. 40, Fig. 41 and Table 6. respectively.



Fig. 40
 Overview of Mannoh-ike: Mannoh-ike Land Improvement District (Kagawa Prefecture)
 (Largest Tameike in Japan, Dam height 32 m, Reservoir volume 15 400 000 m³)

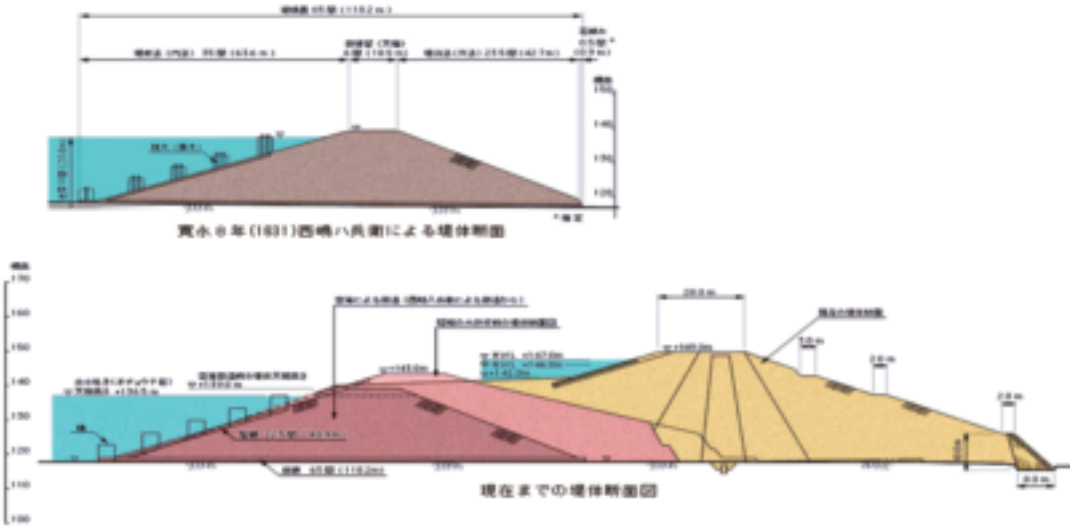


Fig. 41
 Historical Rehabilitations of Mannoh-ike: Quarterly Magazine “Web Obayashi No 40”.

Tableau 6
Histoire de Mannoh-ike

701–704	Construction initiale
818	Emporté par une crue
821	Reconstruit
851	Endommagé par une crue
852–853	Réparé
1184	Emporté par une crue sans réparation pendant 450 ans
1628–1631	Reconstruit
1849–1853	Matériaux en bois de la prise d'eau remplacés par de la pierre
1854	Effondré après un fort séisme
1869–1870	Reconstruit
1898	Réhabilitation de la prise d'eau
1905–1906	Première surélévation (0,87 m) et rénovation de l'évacuateur
1914	Construction du système de distribution d'eau
1927–1930	Deuxième phase de surélévation par décision préfectorale
1940–1959	Troisième surélévation du barrage après une sévère sécheresse
1953–1969	Réhabilitation du système d'irrigation par décision préfectorale

13.2. SITUATION ACTUELLE DES PETITS BARRAGES, DE LEUR RÉHABILITATION ET DE LEUR MAINTENANCE

Selon le registre pour les bassins d'irrigation (base de données) établi par le ministère de l'agriculture, de la forêt et de la pêche en 1996, il y a actuellement 210 769 bassins au Japon. 63 500 d'entre eux irriguent plus de 2 ha. Ils sont classés en cinq catégories d'âge dans le Tableau 7.

Tableau 7
Classification chronologique de petits barrages

Année de 1 ^{re} construction	Nombre de petits barrages	Superficie irriguée (ha)	Volume total retenu (1 000 m ³)
Avant 1867	16 702	220 862	708 360
1868-1911	10 211	118 993	279 460
1912-1924	2 381	43 927	83 351
1925-1944	3 290	89 777	200 672
1945-1996	14 868	606 739	1 441 394
Inconnu	16 139	145 587	286 475
Total	63 591	1 225 885	2 999 712

Ref. Histoire de Mannoh-ike : ville de Mannoh, comté de Naka-Tado, préfecture de Kagawa

Table 6
History of Mannoh-ike

701-704	Initial dam was constructed
818	Collapsed by flood
821	Reconstructed
851	Damaged by flood
852-853	Rehabilitated
1184	Collapsed by flood. No rehabilitation done for another 450 years
1628-1631	Reconstructed
1849-1853	Wood materials of water intake replaced by stone
1854	Collapsed by a strong earthquake
1869-1870	Reconstructed
1898	Water intake was rehabilitated
1905-1906	First raising work of dam height (0.87m), and spillway was renovated
1914	Water distribution facility was constructed
1927-1930	Second raising work of dam under prefectural operation
1940-1959	Third raising work of dam after a severe drought
1953-1969	Irrigation system was rehabilitated under prefectural operation

13.2. PRESENT SITUATION OF SMALL DAMS AND THEIR REHABILITATION AND MAINTENANCE

According to the Irrigation Ponds Ledger (Database) compiled by the Min. of Agriculture, Forestry and Fisheries in 1996, there are currently 210 769 irrigation ponds in Japan. Among them, about 63 500 irrigation ponds are covering beneficiary areas more than 2 ha. They are classified in five chronological categories shown in the Table 7.

Table 7
Chronological Classification of small dams

Years of first construction	Number of small dams	Beneficiary areas (ha)	Total Effective Storage Volume (1000 m ³)
Before 1867	16 702	220 862	708 360
1868-1911	10 211	118 993	279 460
1912-1924	2 381	43 927	83 351
1925-1944	3 290	89 777	200 672
1945-1996	14 868	606 739	1 441 394
Unknown	16 139	145 587	286 475
Total	63 591	1 225 885	2 999 712

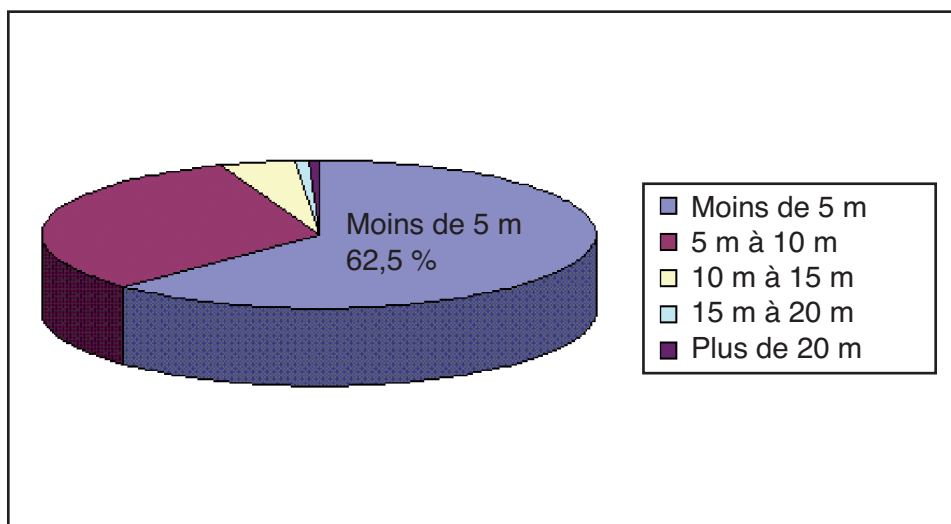
Ref. Histoire de Mannoh-ike: ville de Mannoh, comté de Naka-Tado, préfecture de Kagawa

13.3. QUESTIONS RELATIVES AUX PETITS BARRAGES

Comme indiqué précédemment, de nombreux petits barrages ont été construits il y a des centaines d'années et la plupart sont des barrages en terre de moins de 10 m de hauteur (Tableau 8).

Tableau 8
Classification chronologiques des petits barrages : registre des bassins d'irrigation, MAFP, 1966

Hauteur	Nombre
Moins de 5 m	69 553
5 m à 10 m	35 330
10 m à 15 m	5 101
15 m à 20 m	950
Plus de 20 m	594
Total	111 528



Bien que les petits barrages soient, jusqu'à présent, maintenus en bon état par l'action constante des associations d'irrigants, ils ont été construits il y a longtemps à une époque où l'ingénierie et les critères modernes de conception des barrages n'existaient pas.

D'un autre côté, le Japon qui connaît des pluies fortes et qui est frappé par les typhons, subit assez souvent de forts séismes ; l'urbanisation et l'expansion des villes provoquent des conflits entre les barrages et les résidents.

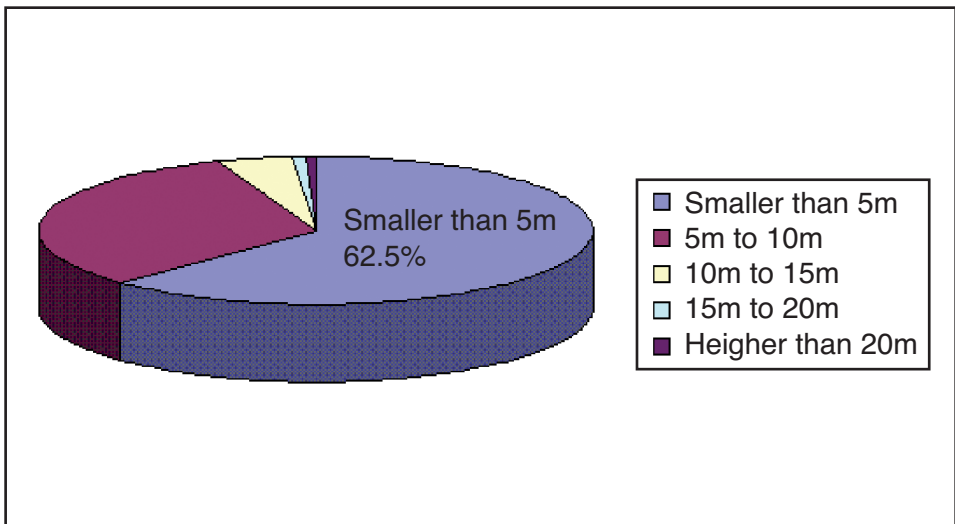
Pour ces raisons, le ministre de l'agriculture, de la forêt et de la pêche a récemment édicté de nouveaux critères pour la réhabilitation des petits barrages et

13.3. ISSUES CONCERNING SMALL DAMS

As stated earlier, a lot of small dams were built several hundred years ago and majority of them are earth-filling dams with height less than 10 m (Table 8).

Table 8
Chronological classification of small dams: Irrigation Ponds Ledger, MAFF, 1966

Height	Numbers
Smaller than 5 m	69 553
5 m to 10 m	35 330
10 m to 15 m	5 101
15 m to 20 m	950
Higher than 20 m	594
Total	111 528



Though small dams are well maintained by the continuous activities of irrigators associations until now, they were first built a long time ago, when a modern dam engineering and design criteria had not yet been developed.

Besides, Japan is a country where heavy rainfalls and typhoons always hit, strong earthquakes happen quite often, and modern urbanization and expansion of cities have caused conflicts between dams and residential people.

In this regards, the Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries newly released the rehabilitation design criteria for small dams and irrigation ponds aiming

des bassins d'irrigation afin de les rénover et de les renforcer. Simultanément, le ministère a lancé les « Études et plans de réhabilitation d'urgence des petits barrages » qui fixent des priorités de travaux de réhabilitation de chaque petit barrage en tenant compte des bassins versants, des données historiques, de l'âge, de la hauteur de la revanche, des conditions d'évacuation des crues et de circonstances particulières comme les infrastructures, les zones résidentielles.

Aujourd'hui, il est demandé, à chaque gouvernement local, de formuler des plans annuels pour la réhabilitation des petits barrages et de mettre en œuvre des travaux correspondants de réhabilitation le plus tôt possible, afin d'éviter l'effondrement de petits barrages et des dommages secondaires sur les terrains agricoles, les installations, les vies humaines et les propriétés.

at renovating and reinforcing them. Also, the Ministry has started the “Urgent study and urgent rehabilitation plan for small dams”, which prioritize the necessity of rehabilitation work for each small dam from the emergency point of view, by reviewing catchments ratio, historic data, age, height of freeboard, spillway conditions, adjacent circumstances, e.g. public facilities, residential areas, etc.

Now it is requested to formulate yearly plans for rehabilitation of small dams and implement rehabilitation works accordingly by each local government as soon as possible, in order to prevent collapse of small dams and secondary damages to agricultural lands and facilities, human lives and properties caused by them.

14. ANCIENS BARRAGES EN CORÉE DU SUD

Les vestiges montrent que la culture du riz avait débuté au 4^e ou 3^e siècle avant J.C. et, pour permettre l'agriculture, il y eut la construction de nombreux barrages et systèmes d'irrigation.

Des éléments concernant les barrages et les réservoirs construits par les royaumes de Silla et Baekje se trouvent dans l'histoire des Trois Royaumes, Samguksagi ; Le livre Gosagi de l'histoire du Japon indique que la technologie de l'irrigation de Baekje avait été propagée au Japon à la fin du 4^e siècle.

Byeoggolje, le plus vieux barrage coréen, a été construit en 330 (Fig. 42 et 43). Il a été plusieurs fois réparé entre sa construction et 1925. Selon l'inscription figurant sur le monument en pierre érigé en 1415, le barrage avec une longueur de 3 240 m et un périmètre de la retenue de 140 km, peut irriguer 10 000 ha. Avec une épaisseur à la base de 21,2 m, une épaisseur en crête de 9,1 m et une hauteur de 5,15 m, les pentes amont et aval sont de 1/1,2. Ceci implique que le barrage n'est pas stable et donc que des études ultérieures s'imposent.



Fig. 42
Vue du réservoir et du talus

De plus, il apparaît qu'une technique précise de surveillance a été utilisée pour construire ce barrage il y a environ 1 700 ans. Aujourd'hui, seuls demeurent un barrage de 2 500 m de longueur et les cadres de deux vannes comme le montre la Fig. 43. Chaque vanne a deux piliers espacés de 4,20 m. Chaque pilier rocheux est

14. ANCIENT DAMS IN SOUTH KOREA

The remains of ancient give the evidence that rice farming in Korea had been started at B.C. 4th - 3rd century, and for the safety of farming system, there were a number of constructions of dams and irrigation systems.

The records about dams and reservoirs built by kingdoms of Silla and Baekje are found in the history of the Three Kingdom, Samguksagi and there is the record that irrigation technology of Baekje had been propagated to Japan at the end of AD 4th century in Japanese history book, Gosagi.

Byeoggolje, the oldest dam in Korea was constructed in A.D. 330 (Fig. 42 and 43). It has been repaired numerous times from the construction to the year 1925. According to the inscription on the stone monument installed in 1415, the dam, with a length of 3 240 m and reservoir perimeter of 140 km had an irrigation capacity of 10 000 ha. Considering that the base width of this dam was 21.2 m, with a crest width of 9.1 m and a height of 5.15 m, and assuming that the upstream and downstream slopes of the dam were the same, the slopes at both sides might have been 1:1.2. This fact implies that the dam was not in stable condition, and thus, further studies are still required.



Fig. 42
View of reservoir and dam slope, in Korea

In addition, it appears that a precision surveying technique was used to built the 3 240 m long dam, about 1700 years ago. At presently only about a 2 500 m long dam and frames of two water gates remain at the site as shown in Fig. 43. Each water gate has two pillars, which stand at an interval of 420 cm. The rock pillar is 550 cm in

haut de 5,50 m, large de 7,50 m et épais de 50 à 60 cm. Du côté intérieur du pilier rocheux, il y a des fentes de 20 cm de large et 12 cm de profondeur. Des planches en bois, ajustées dans les fentes servaient à contrôler le débit et de grosses pierres rectangulaires placées sur le seuil des vannes permettaient de limiter l'érosion.



Fig. 43
Barrage de Byeoggolje et prise d'eau, Corée

height, 750 cm in width and 50 to 60 cm in thickness. Inside of rock pillar there are slots with 20 cm wide and 12 cm deep. It appears that wood planks, fitted into the slots had controlled outflow and rectangular shaped rock mass placed at the water gate bottom forming gate sill that had prevented the bottom erosion.



Fig. 43
Dam itself and water gate of Byeoggolje, Korea

15. ANCIENS BARRAGES EN LYBIE

15.1. BARRAGES ROMAINS DE L'OUED MEGENIN

Deux barrages sont identifiés sur l'oued. Le site est situé à environ 50 km au sud de Tripoli, la capitale de la Libye. Le barrage a été construit pendant l'Empire Romain établi il y a 2 000 ans. À cet endroit, deux structures ont été réalisées et sont appelées site amont et site aval. Elles sont situées à 100 m l'une de l'autre. Le barrage amont est le mieux conservé et donc seules ses caractéristiques seront détaillées.

15.2. BARRAGE AMONT DE MEGENIN

Le barrage pourrait avoir servi pour l'alimentation domestique, pour le bétail et pour l'irrigation. Le corps du barrage est constitué de pierres de 50 cm liées au mortier de chaux. Le barrage s'apparente à un barrage-poids à contreforts. La plus grande hauteur sur fondation est d'environ 5 m, et sa longueur 240 m. L'évacuateur, implanté sur la rive droite, a une largeur de 15 m et est divisé en 3 passes. Le volume de la retenue est estimé à environ 0,15 hm³.



Fig. 44

Vue générale depuis la rive droite dans l'axe du barrage romain amont de Megenin



Fig. 45

Vue générale du barrage aval de Megenin



Fig. 46

Vue aval du barrage aval de Megenin avec ses contreforts et ses gradins

15. ANCIENT DAMS IN LIBYA

15.1. WADI MEGENIN ROMAN DAMS

Two dams can be identified along the Wadi, The site is located about 50 Km south of Tripoli, the capital city of Libya. The dam was built during the Roman Empire which was established 2000 years ago. At this place two structures had been developed, and are called up-stream site US and down-stream site DS. They are located about 100 m apart one from the other. The US dam is still in a better condition, therefore, technical features will be given only for this site.

15.2. US MEGENIN ROMAN DAM

The dam could have been used to supply water for domestic use, live stock and irrigation. The dam body consists of rocks of about 50 cm in size, pasted together by lime mortar. The dam type is similar to a gravity/buttress dam. The maximum height above foundation is about 5 m with a total length of about 240 m. The spillway is located at the right abutment with a total width of 15 m, divided in three equal parts. Reservoir volume is estimated about 0.150 hm³.



Fig. 44
General view from the right abutment
along the axis of the Megenin US Roman



Fig. 45
General view of the DS Megenin dam



Fig. 46
DS Megenin dam downstream view of buttresses
and steps

15.3. BARRAGE ROMAIN DE L'OUED LIBDA

Le barrage est situé à environ 1 km au sud de Leptis Magna, une des plus fameuses anciennes cités libyennes de Tripolitaine. Le barrage a été construit pendant l'Empire Romain qui s'est créé il y a 2 000 ans. Le barrage pourrait avoir été utilisé pour fournir de l'eau à usage domestique, pour abreuver le bétail, pour irriguer et écrêter les crues. Un canal de dérivation a été creusé de la rive gauche vers un oued voisin dans la direction de l'ouest ; c'était bien évidemment destiné à protéger des crues la ville et le port. Le corps du barrage est constitué de blocs de rochers d'environ 50 cm liés entre eux par un mortier à la chaux. Le barrage ressemble à un barrage-poids à contreforts. La hauteur maximale au-dessus des fondations est d'environ 5 m avec une longueur totale de 200 m. L'évacuateur de crues est sur la rive gauche de façon à évacuer l'eau plus vers l'ouest pour protéger la population à l'aval. Le volume du réservoir est estimé à environ 0,5 hm³.



Fig. 47

Vue générale du vieux barrage de Libda depuis la rive gauche, avec une hauteur maximale de 5 m et 200 m de long

15.3. WADI LIBDA ROMAN DAM

This dam is located about 1 km south of Leptis Magna, one of the most famous Libyan ancient cities in Tripolitania. The dam was built during the Roman Empire which was established 2000 years ago. The dam could have been used to supply water for domestic use, live stock, irrigation and flood mitigation. A diversion channel was excavated from the left abutment to a nearby wadi in the western direction; this is probably a very clear evidence of what had been done to save the city and its harbour. The dam body consists of block of rocks of about 50 cm in size pasted together by lime mortar. The dam type is like a gravity/buttness dam. The maximum height above foundation is about 5 m with a total length of about 200 m. The spillway is located at the left abutment where the spilled water could be diverted further west, to protect the inhabitants downstream. Reservoir volume is estimated to be about 0.500 hm³.



Fig. 47
General view of Old Libda dam from the left abutment,
with 5 m of maximum height and 200 m long

16. ANCIENS BARRAGES AU MEXIQUE ET EN AMÉRIQUE CENTRALE

16.1. PÉRIODE PRIMITIVE

Le climat de l'Amérique Centrale est généralement aride sur les plateaux mais humide et tropical le long des côtes. Cependant, dans les deux cas, les pluies et le ruissellement ne sont pas réguliers pendant l'année. C'est pourquoi, les premières communautés d'agriculteurs qui précédèrent les fameuses civilisations des Zapotèques, Toltèques, Mayas, Anasazis et Aztèques, construisirent déjà des barrages pour stocker l'eau des saisons humides pour l'utiliser pendant les saisons sèches comme l'indique Schnitter (1994).

Le plus vieil ouvrage de ce type découvert à nos jours est le barrage en terre de Purron près de San José Tilapa au sud de la vallée de Tehuacan, à 260 km au sud-est de Mexico. Depuis que le torrent de Lencho Diego a retrouvé son lit après la rupture du barrage, la structure de celui-ci est désormais apparente (Fig. 48). La première phase de construction de 3 m de haut est datée d'environ 700 ans avant J.C. Son modeste réservoir fut envasé assez rapidement de telle sorte que, un siècle plus tard, le barrage dû être surélevé d'environ 4 m. Ceci fut réalisé par des enceintes en maçonnerie de pierres sèches remplies de sols sableux compactés. Du côté amont se trouve un solide mur de retenue alors que la pente du parement aval est recouverte de pierres. Le barrage a aujourd'hui 400 m de longueur et retient 1,4 million de mètres cubes d'eau. La largeur de sa base qui repose sur les dépôts de limon de la première phase de construction était largement surdimensionnée. Cependant ceci permettait une surélévation ultérieure avec seulement un faible élargissement.

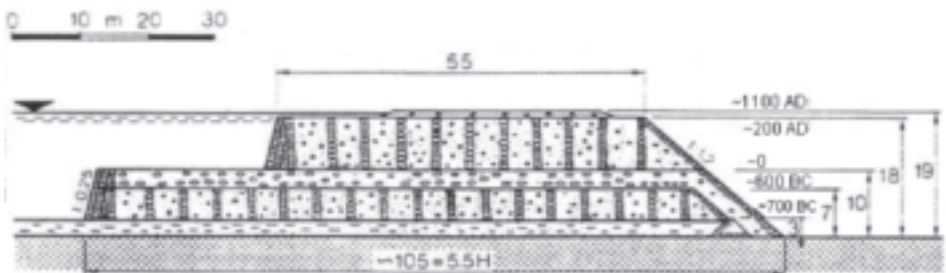


Fig. 48
Coupe transversale du barrage de Purron au Mexique
avec ses différentes phases de construction (Schnitter/94)

Aux environs de l'an 200, le barrage de Purron atteignait une hauteur de 18 m, un volume de 370 000 m³ et une capacité de 5,1 millions de mètres cubes (Fig. 48). La petite surélévation intervenue en 1100 est vraisemblablement liée à une construction religieuse (pyramide) plutôt qu'à une utilisation ultérieure du réservoir. Cette configuration dura plus d'un millénaire. L'eau était prélevée dans

16. ANCIENS ANCIENT DAMS IN MEXICO AND MESOAMERICA

16.1. FORMATIVE PERIOD

The climate of Mesoamerica is mostly arid in the central highlands but humid and tropical along the coasts. In both cases however, rainfall and runoff are unevenly distributed over the year. Therefore, the early farming communities, which came into being long before the famous civilizations of the Zapotecs, Toltecs, Maya, Anasazi and Aztecs, already built dams to store water in the rainy seasons for use during the dry periods, as pointed out by Schnitter (1994).

The oldest such structures found so far, is the Purron earth dam near San José Tilapa at the southern end of the Tehuacan valley, 260 km southeast of Mexico-City. Since the Lencho Diego torrent, which had been impounded, has broken through the dam, its internal structure is now visible (Fig. 48). The first 3 m high construction stage is dated to around 700 BC. Its modest reservoir was silted up relatively fast so that the dam had to be heightened by 4 m about one century later. The addition consisted of dry masonry cells, which were filled with compacted sandy soil. On the upstream side there was a strong retaining wall, while the sloping downstream face was covered with stones. The dam was now 400 m long and impounded 1.4 million m³ of water. The with of its base which rested on the silt deposits behind the first construction stage, was grossly overdesigned. However, this allowed further heightening with only marginal widening.

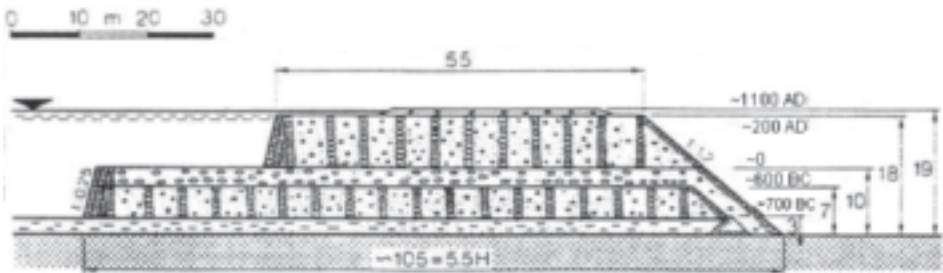


Fig. 48

Cross section of the Purron dam in Mexico with its various constructions stages (Schnitter/94)

Around 200 AD the Purron dam attained a height of 18 m, a volume of 370 000 m³ and a storage capacity of 5.1 million m³ (Fig. 48). In all probability the small heightening occurred about 1 100 AD rather in connection with a religious construction (pyramid) than a further utilization of the reservoir. But even so the latter extended over more than one millennium. Thereby water was withdrawn

deux rigoles en rive droite du barrage et ces rigoles étaient obturées par des troncs, des blocs et de la terre. Ces rigoles servaient aussi à évacuer les crues. Un petit canal les reliait aux champs à l'aval du barrage. Un autre détail remarquable est la digue de 5 m de haut construite à l'amont du barrage principal pendant la première surélévation pour servir de batardeau ou pour retenir les sédiments. Par la suite, la digue ne fut pas surélevée parallèlement à l'augmentation de hauteur du barrage principal.

Un barrage plus petit datant du 5^e siècle avant J.C. a été trouvé près de Xoxocotlan, au sud-ouest d'Oaxaca et à 370 km au sud-est de Mexico. Il est constitué de deux murs de 10 m de haut, 40 m de long et de 40 m d'épaisseur en blocs de pierre et mortier de chaux. La crête submersible était recouverte de blocs de calcaire appareillés. En plan, les deux sections du barrage forment un « V » dont la pointe tournée vers l'amont reçoit la prise d'eau d'un canal.

16.2. LES GRANDES CIVILISATIONS

Cependant, le périmètre irrigué par le barrage de Xoxocotlan ne contribuait pas à l'alimentation du très récent centre Zapotèque au voisinage de Monte Alban. Outre de célèbres constructions administratives et religieuses, Monte Alban était le lieu d'un ingénieux système de collecte et de stockage des eaux de pluies pour fournir de l'eau potable. À son apogée (de 250 à 650), Monte Alban était peuplé de 15 000 à 30 000 âmes. Le système de fourniture d'eau comprenait des canaux couverts en maçonnerie, de multiples réservoirs de décantation et de petits barrages de retenue dans les ravines sur les flancs de la montagne. Ces derniers étaient également pourvus de barrages de contrôle et de terrasses cultivées.

Les réservoirs construits par les Mayas au Yucatan étaient initialement destinés à satisfaire les besoins en eau des populations plutôt qu'à l'irrigation, rarement nécessaire sous des climats tropicaux. La plus grande concentration de tels réservoirs se trouve au Tikal au Guatemala qui était prospère entre 600 et 900. Si certains réservoirs étaient creusés, d'autres étaient obtenus grâce à des barrages dans de petites ravines, comme le réservoir Palace de 50 000 m³. Son remblai de 14 m de hauteur et de 83 m de longueur a une section transversale d'apparence assez moderne. Le volume de remblai atteint 16 000 m³.

Parallèlement aux civilisations Zapotèques et Mayas, celle des Toltèques était florissante entre 500 et 1 100. Son centre religieux et administratif était Teotihuacan, à 45 km au nord-est de Mexico. Les ruines de trois petits systèmes d'irrigation avec des réservoirs, construits pendant la dernière partie de la civilisation Toltèque, se trouvent dans les montagnes à l'ouest de Teotihuacan. Le système plus important de Maravilla comprenait un remblai de 11 m de haut et 530 m de long, un barrage en rivière 200 m à l'aval, un seuil de dérivation encore 600 m plus loin et un canal de 1,5 m de large partant juste à l'amont du seuil. Les trous restant dans le rocher montrent que le seuil était constitué de deux rangées de pieux de 25 m de long traversant la rivière en diagonal. Les pieux de chaque rangée étaient espacés de 1,2 m et décalés par rapport à ceux de l'autre rangée. Chaque rangée supportait un treillis de branches et l'espace de 1,6 m entre les rangées était rempli de terre et de pierres.

through two ditches at the right end of the dam which were closed with trunks, blocks and earth. These ditches also served to spill floods. A short canal connected them with the fields below the dam. Another remarkable detail is the 5 m high dike built upstream of the main dam during its first heightening, intended either as a cofferdam to protect the construction site or to retain the sediments. The dike was later not heightened in parallel to the main dam.

A smaller dam from the fifth century BC was found near Xoxocotlan, southwest of Oaxaca or 370 km southeast of Mexico-City. It consisted of two 10 m high, 40 m long and 40 m thick walls of boulders set in lime mortar. The overflow crest was covered with cut limestone blocks. In plan the two sections of the dam formed a "V", the apex of which pointed upstream and contained the intake to a canal.

16.2. THE HIGH CIVILIZATIONS

However, the irrigation perimeter by the Xoxocotlan dam did not contribute to the food supply of the considerably younger Zapotec centre on nearby Monte Alban. Besides the famous religious and administrative structures, Monte Alban was the site of an ingenious system to collect and store precipitations as drinking water. As the time of its prime (from about 250-650 AD) Monte Alban counted a population of 15 000 to 30 000 souls. The water supply system in part comprised covered channels of masonry, multiple settling tanks and small storage-dams in the gullies on the sides of the mountain. The latter were also provided with check dams and terraces for cultivation.

The reservoirs built by the Mayas in Yucatan were primarily intended to satisfy the population's water requirements rather than serving irrigation, hardly necessary in the tropical climate. The highest concentration of such reservoirs occurred in Tikal in Guatemala, which flourished about 600-900 AD. While some reservoirs were excavated, other were impounded by dams in small gullies, like the 50 000 m³ – Palace reservoir. Its 14 m high and 83 m long embankment had a cross-section which appears quite modern. The volume of the fill required amounted to 16 000 m³.

In parallel to the Zapotec and Maya civilizations the one of the Toltecs flourished between 500 to 1100 AD approximately. Its religious and administrative centre was Teotihuacan, 45 km northeast a of Mexico-City. The remains of three small irrigation systems with reservoirs which were built during the final phase of the Toltec civilization were located in the mountains west of Teotihuacan. The largest Maravilla system included a 11 m high and 530 m long storage embankment, a river training dam 200 m downstream, a diversion weir some additional 600 m downstream and a 1.5 m wide canal starting just above the weir. The holes preserved in the bedrock show that weir consisted of two 25 m long rows of post, which crossed the river diagonally. The post in each row were about 1.2 m apart and offset against those of the other row. Each row supported a lattice work of branches and the 1.6 m wide intermediate space was filled with earth and stones.

Quelques siècles avant l'arrivée des conquistadors espagnols en 1518, les Aztèques acquirent la suprématie sur le Mexique. Ils établirent leur capitale Tenochtitlan, au centre de la ville actuelle de Mexico. À l'époque, c'était sur la rive ouest du lac Texcoco, un lac qui couvrait alors presque toute la vallée de Mexico (Fig. 49). Dans les parties est les plus profondes, les eaux étaient nitreuses et nocives pour l'agriculture sur des îles artificielles faites de boue et de plantes aquatiques – les fameux jardins flottants, qu'on voit toujours à Xochimilco au sud de Mexico – qui fournissaient la nourriture à Tenochtitlan.



Fig. 49

Carte du lac Texcoco à Mexico avec ses anciens barrages et digues, d'après Palerm/73 (Schnitter/94)

Pour y remédier, le roi Aztèque Itzcoatl (1428-1440) fit construire des digues de 9 et 6 km depuis Tenochtitlan respectivement vers le sud et vers le nord comme le montre Schnitter (1994). Ces digues isolaient la partie ouest du lac Texcoco et, grâce à une digue dirigée vers l'ouest, constituaient une route pour accéder à la ville. Sous le roi Montezuma I (1440-1469), un grand barrage de 16 km fut ajouté plus à l'est. Pour sa construction, Nezahualcoyotl (1418-1472), roi de Texcoco sur la rive est du lac collabora comme expert en hydraulique. Le barrage prit ainsi son nom. Comme le barrage de dérivation de Maravilla décrit ci-dessus, il est constitué de deux rangées de pieux entre lesquelles furent placées de grosses pierres. Pendant la conquête de Tenochtitlan par les Espagnols en 1521, ces digues et ce barrage furent le lieu d'intenses combats.

A few centuries before the arrival of the Spanish conquerors in 1518 AD the Aztecs attained supremacy in Mexico. They started out from their capital Tenochtitlan in the centre of today's Mexico-City. In those days this was in the west part of Lake Texcoco, a lake which then covered most of the valley of Mexico-City (Fig. 49). In the deeper eastern parts its waters were nitrous and endangered the cultivation on artificial islands of mud and aquatic plants – the famous “floating gardens”, still to be seen in Xochimilco south of Mexico-City – which supplied the food to Tenochtitlan.



Fig. 49

Map of Lake Texcoco in Mexico with its ancient dams and dikes, after Palerm/73 (Schnitter/94)

As a remedy, the Aztec king Itzcoatl (1428-1440) had 9 and 6 km dikes built from Tenochtitlan to the south and north respectively, as pointed out by Schnitter (1994). These isolated the western part of Lake Texcoco and, together with a bifurcating western dike, provided road access to the city. Under king Montezuma I (1440-1469) a 16 km long dam farther east was added. For its construction Nezahualcoyotl (1418-1472), king of Texcoco on the eastern shore of the lake, collaborated as hydraulic expert. The dam was therefore named after him. Like the Maravilla diversion dam, described above, it consisted of two rows of posts, between which large rocks were placed. During the Spanish conquest of Tenochtitlan in 1521 these dikes and dam were heavily fought over.

17. ANCIENS BARRAGES AU PORTUGAL

Les premières provinces que les Romains occupèrent en dehors de l'Italie furent les territoires carthaginois le long des côtes est et sud de la péninsule ibérique aux environs 200 avant J.C. Bien que les Romains ne commencèrent à y construire des barrages que vers la fin du premier siècle, on les décrit parce qu'ils sont les plus nombreux et les plus étudiés. Le Tableau 9 présente les barrages construits au Portugal dont la hauteur est supérieure à 3 m.

Tableau 9
Petits barrages romains construits au Portugal et dont les dimensions sont connues (Schnitter/94)

Cité voisine	Nom du barrage	Type	Hauteur (m)	Longueur (m)	Épaisseur à la base(m)	Utilisation
Beja	Alamo	Contreforts	3,0	50	3,0 ²	Irr./ Eau potable
	Fonte Coberta	Poids	2,6	75	2,6	Irr./ Eau potable
	Santa Rita	Contreforts	2,2	50	3,2 ²	Irrigation
Evora Nord	Almarjão	Poids	5,2	55	2,2	Irr./ Eau potable
	Gavião	Contreforts	10,0	78	10,3	Irr./ Eau potable
	Moralves	Poids	3,2	161	1,1	Irrigation
	Muro	Contreforts	4,6	174	4,2 ²	Irr./ Eau potable
	Olivã	Contreforts	3,0	45	0,8 ²	Irrigation
Evora Sud	Monte Novo	Voûte	5,7	52	6,5	Énergie
	Mouros	Contreforts	3,0	130	1,5 ²	Irrigation
	Pisões	Poids	4,3	58	3,0	Irr./ Eau potable
	Prega	Contreforts	3,9	62	6,2 ²	Irr./ Eau potable
Lisbonne	Comenda	Contreforts	3,7	13	1,6 ²	Irr./ Eau potable
	Olisipo	Contreforts	8,2	52	6,5 ²	Eau potable

Plus récemment, le barrage de Fontes a été construit pour l'irrigation, de mai à septembre 1937, avec 13 m de haut et un volume total de 25 000 m³ de remblais en terre, avec une section transversale uniforme. Des nombreuses photographies prises lors de sa construction illustrent (Fig. 50 à 53) les techniques et le matériel utilisés pour la première fois.

Il fut novateur pour son époque avec l'emploi de personnel spécialisé comme d'équipements et de dispositifs de laboratoire. Parmi ceux-ci, on peut particulièrement citer l'aiguille permettant au laboratoire de déterminer l'indice de plasticité d'un sol ou encore un compacteur à pieds de mouton utilisé sur le chantier. Ce compacteur de 3,3 t avait 20 cylindres de 5 pieds chacun; il était tiré par un tracteur de 20 CV. Les pieds étaient faits de barres métalliques de 5 cm de diamètre munies de têtes forgées.

17. ANCIENT DAMS IN PORTUGAL

The first provinces which the Romans acquired outside of Italy were the Carthaginian territories along the eastern and southern coast of the Iberian Peninsula around 200 BC. Although the Romans started to build dams there only towards the end of the first century AD shall begin by describing because they are the most numerous and best researched. Table 9 presents the dams with height more there 3 m, built in Portugal.

Table 9
Roman small dams built in Portugal of which the dimensions are known (Schmitter/94)

Nearest city	Name of Dam	Type	Height (m)	Length (m)	Base width (m)	Purpose
Beja	Alamo	Buttress	3.0	50	3.0 ²	Irr./ Water s.
	Fonte Coberta	Gravity	2.6	75	2.6	Irr./ Water s.
	Santa Rita	Buttress	2.2	50	3.2 ²	Irrigation
Evora North	Almarjão	Gravity	5.2	55	2.2	Irr./ Water s.
	Gavião ¹	Buttress	10.0	78	10.3	Irr./ Water s.
	Moralves	Gravity	3.2	161	1.1	Irrigation
	Muro	Buttress	4.6	174	4.2 ²	Irr./ Water s.
	Olivã	Buttress	3.0	45	0.8 ²	Irrigation
Evora South	Monte Novo ¹	Arch	5.7	52	6.5	Power
	Mouros	Buttress	3.0	130	1.5 ²	Irrigation
	Pisões	Gravity	4.3	58	3.0	Irr./ Water s.
	Prega	Buttress	3.9	62	6.2 ²	Irr./ Water s.
Lisbon	Comenda	Buttress	3.7	13	1.6 ²	Irr./ Water s.
	Olisipo	Buttress	8.2	52	6.5 ²	Water supply

Concerned more recent experience there is Fontes dam, which was built for irrigation purpose, from May to September 1937, with 13 m high and a total volume of 25 000 m³ of earthfill embankment, with a uniform cross section. With an excellent photographic material about its construction, as illustrates in the Fig. 50 to 53, which used techniques and equipment applied for the first time.

It is a pioneer realization for that time, in which specialized personnel was applied as well as new equipment and lab devices. Among those we highlight a needle, which permitted to determine the plasticity index of the soil in laboratory, as well as a sheepsfoot compaction roller at the site. This roller weighing 3.300 kgf had 20 courses with 5 paws each, which was towed by a 20 HP tractor. The paws were made in steel rods with Ø2” and with forged head.

Comme le montrent les photos suivantes, l'équipement mécanique utilisé pour la construction des remblais en terre était encore une innovation à cette époque et l'essentiel des travaux de fondation, de préparation des fouilles, d'évacuation des déblais rocheux étaient effectués au moyen de wagons tirés par des animaux (des ânes). On utilisait largement la main d'œuvre locale, pas seulement pour les opérations de déblais mais aussi pour le compactage des remblais à l'intérieur des fosses et des endroits où il était difficile de faire travailler le compacteur à pieds de mouton.



Fig. 50
Vue générale du barrage de Fontes pendant sa construction en 1937 [1]



Fig. 51
Première phase de compactage de la terre dans le chenal en rivière [1]

As it can be seen in the following pictures, the mechanical equipment used in the construction of earthfill embankments were still incipient at that time, and most of the foundation cleaning and soil and digged rock removal works were done by wagons pulled by animals (donkeys). There was an intense use of local labor hand, not only in the digging operations, but also in the soil compaction in the interior of the ditches and places which were difficult to be reached by sheepfoot compaction roller.



Fig. 50
General view of the Fontes dam during its construction, in 1937. [1]



Fig. 51
First stage of the earthfill compaction at the river channel [1]



Fig. 52
Excavation des tranchées de drainage et d'étanchéité [1]



Fig. 53
Détail de l'excavation des tranchées de drainage, à l'aval de l'étanchéité [1]



Fig. 52
Excavation of the drainage and cutoff trenches [1]



Fig. 53
Detail of the drainage trenches excavation, downstream the cutoff [1]

18. ANCIENS BARRAGES EN SLOVÉNIE

Entre les années 1767 et 1812, cinq barrages-poids en maçonnerie ont été construits dans les collines au-dessus de la mine de mercure d'Idrija en Slovénie. Ces barrages ont été en service pendant 157 ans et quatre d'entre eux existent encore. Le barrage en bois et enrochements de Kobile construit en 1596, de plus de 10 m de haut, a été exploité pendant 352 ans. Les meilleures normes techniques et organisationnelles, la capacité financière du propriétaire, un très bon entretien, une bonne conception de la fondation et de la structure contribuèrent à la longévité de l'exploitation fiable de ces barrages.

Le vieux barrage de Belcne a été construit il y a plus de 200 ans. Son usage unique était d'amener du bois jusqu'à la célèbre mine de mercure d'Idrija dont les accès étaient par ailleurs compliqués. Avec quatre autres barrages, il a été utilisé pendant 150 ans puis abandonné lorsque d'autres moyens de transport du bois devinrent disponibles. Ils ont plus tard été restaurés et sont maintenant protégés en temps que monuments techniques et culturels.

La Fig. 54 montre une vue aval du barrage de Belcne datant de 1769. Il a une hauteur maximale de 18 m, une longueur de couronnement de 35 m et il est fondé au rocher. Ses deux conduits ont une hauteur de 5,1 m pour une largeur de 3,7 m. La coupe transversale de la maçonnerie du barrage est trapézoïdale avec un parement amont vertical, une largeur en crête de 6,8 m pour une largeur en pied de 12,4 m soit 68 % de la hauteur.



Fig. 54
Vue aval du barrage de Belcne, construit en 1769

18. ANCIENT DAMS IN SLOVENIA

Between the years 1767 and 1812 five masonry gravity dams were built among the hills above Idrija Mercury Mine in Slovenia. These dams were in operation for 157 years, and four of them are still in existence today. The rock-filled timber “Kobile” dam built in 1596, which was over 10 m high, operated for 352 years. The very high technical and organizational standards, financial capacity of the owner, a very good maintenance, their good design foundation and superstructure, contributed to the long period of reliable exploitation of these dams.

The oldest Belcne dam has been built more than 200 years ago. Its sole purpose was to transport timber for the famous mercury mine in Idrije from the surrounding, which were otherwise difficult to access. Together with the others four dams, they were operational for about 150 years, and were abandoned when other means of timber transportation were available. Later, they have been partially restored and are now protected as cultural and technical national monuments.

Belcne dam, built in 1769, can be seen in Fig. 54 from the downstream side. It has 18 m of maximum height and 35 m along the crown, and foundation in rock. Its two outlets were even 5.1 m high and has a width of 3.7 m. The dam’s cross section of solid masonry, was trapezoidal, with a vertical upstream face, a 6.8 m wide crest and a base width of 12.4 m or 68% of the height.



Fig. 54
Downstream view of the Belcne dam, built in 1769

La principale caractéristique du barrage de Belcne et de tous les autres barrages est de ne pas avoir d'évacuateur de crues au sens classique du terme (ou alors de dimension très réduite) mais d'être muni d'important organe de vidange. Quand il était ouvert brusquement, une forte vague était créée à l'aval du barrage, emportant le bois vers l'aval jusqu'à Idrija où il était attrapé par des crochets spéciaux. La Fig. 55 montre en détail l'accès de la crête au parement amont et au pertuis de fond.



Fig. 55

Détail interne de la galerie d'accès entre la crête et le pertuis de fond du barrage de Belcne



Fig. 56

Vue aval du barrage de Putrihave, 15 m de haut, construit en 1779

La Fig. 56 présente une vue aval du barrage de Putrihave construit en 1779. Il faisait 15 m de haut, 44 m de long et la fondation rocheuse aval était excavée à la même pente que le parement aval sur une hauteur de 7 m donnant ainsi au barrage une grande hauteur apparente.

The main characteristic of Belcne dam and all other dams is that they do not have spillways in the classical sense or they are extremely small), but large bottom outlets. When these were opened instantaneously, an intense surge wave was created downstream the dam, flooding the timber downstream to Idrija, where it was intercepted with special hooks. In Fig. 55 a detail of the access from the crown to the upstream face and the bottom outlet.



Fig. 55

Interior detail of the access gallery between the crest and the bottom outlet, at the Belcne dam



Fig. 56

Downstream view of the Putrihave dam, 15 m height, built in 1779.

In Fig. 56 are presented a view of the Putrihove dam, built in 1779 from the downstream face. They are 15 m high, 44 m long, and the rock foundation was cut under the same angle as the downstream dam face, further 7 m below the dam toe, which gives the dam its appearance of great height.

19. ANCIENS BARRAGES EN ESPAGNE

19.1. INTRODUCTION

Les conditions hydrologiques qui prévalent en Espagne (caractérisées par des précipitations faibles et inégalement distribuées aussi bien dans le temps que dans l'espace) ont, depuis l'antiquité, imposé de gérer le système hydrique espagnol afin d'augmenter la faible régulation naturelle du débit des rivières. Avec les données actuelles, la régulation naturelle atteint seulement 9 % des écoulements de surface. Aussi, et dès l'occupation de la péninsule ibérique par les Romains, il a été nécessaire de recourir à la construction de barrages et de réservoirs.

Il en résulte aussi que l'accroissement nécessaire de la disponibilité des ressources en eau a été surtout obtenu par ces ouvrages plutôt que par les autres moyens comme des dérivations de rivière, des puits, des galeries de capture des nappes souterraines ou des citernes pour le stockage des eaux de pluie.

Depuis, le rythme de la construction des barrages a suivi celui de l'augmentation de la population et donc des besoins en eau. Néanmoins et logiquement, des raisons historiques ont marqué le développement plus ou moins grand de ce type d'intervention dans la gestion de l'eau. Il y eut une période initiale d'intense activité pendant l'ère romaine, suivie, au Moyen-âge par une époque marquée par des opérations nombreuses mais de moindre importance. Une relance des opérations de grandes ampleurs sur le réseau hydrique débuta au 16^e siècle avec une expansion importante vers la fin du 18^e siècle et surtout à partir de la seconde moitié du 20^e siècle pour aboutir à la situation actuelle.

Les principaux barrages réalisés au cours de ces époques sont décrits dans les paragraphes suivants. On insiste plus particulièrement sur les plus anciens tout en décrivant les plus caractéristiques de chacune des périodes.

19.2. LES ORIGINES : LA PÉRIODE ROMAINE

Les premiers grands barrages construits en Espagne, dont il reste des éléments significatifs, parfois en très bon état, datent de la période romaine. J.C. Castillo a identifié 72 barrages et seuils datant de cette période, construits en Espagne entre le 1^{er} et le 4^e siècle. Cinquante de ces ouvrages ont été localisés et sont connus avec suffisamment de précision (Fig. 57). Les 22 autres, bien que localisés, sont moins bien connus. Dans certains cas, c'est parce qu'il ne reste plus que des ruines en mauvais état, dans d'autres parce que des réparations ou des reconstructions postérieures à l'époque romaine masquent l'ouvrage d'origine. Le Tableau 10 fournit les principales caractéristiques de 16 d'entre eux. N'y figurent pas les barrages de dérivation associés à des mines et qui étaient particulièrement nombreux dans les zones d'extraction minière et notamment aurifère au nord-est, datant de l'époque romaine et voire avant.

19. ANCIENT DAMS IN SPAIN

19.1. INTRODUCTION

The hydrological conditions pertaining to Spain (determined by generally low and poorly distributed precipitation, both in space and time) have, since ancient times, driven the need to manage the Spanish river system with the goal of increasing the low natural regulation of the flow of our watercourses. With current data, this natural regulation reaches figures of the order of around only nine percent of total average surface runoff. As a consequence of this, and going back to times close to the definitive occupation of the Iberian Peninsula by the Romans, it has been necessary to resort to the construction of dams and reservoirs.

As a result, the necessary increase in the availability of water resources was obtained, over and above that gained by other means: derived directly from rivers, wells and groundwater capture galleries and cisterns for the storage of rainwater.

Since then, the construction of dams in Spain has grown in step with the progressive increase in population and the consequent growth of water demand. Nevertheless, and logically, historical reasons have marked the greater or lesser development of this type of intervention in water management. There was an initial period of great activity - the Roman era, followed by a later period of numerous operations thought of a lesser order - the Middle Ages. A renaissance of large-scale interventions in the river network began in the 16th century with clear expansion towards the end of the 18th century and, above all, from the second half of the 20th century, taking us to the present situation.

The main dams constructed in these periods are treated in the following sections. Greater attention is given to the most ancient dams, while for each era the most characteristic structures within the groups to which they belong are highlighted.

19.2. ORIGINS: THE ROMAN ERA

The first large dams constructed in Spain of which significant remains still exist (in very good conditions in some cases) correspond to the Roman era. J.C. Castillo has identified 72 dams and weirs of this period, constructed in Spain between the 1st and 4th century. Fifty of these works have been localized and characterized with sufficient detail (Fig. 57). The other twenty-two, although located on the ground, have not been adequately characterized. This is due in some cases to the fact that they are ruins in a state of advanced deterioration and in others to repairs and rebuilding subsequent to the Roman era which mask the original structures. On the Table 10 are presented the main characteristics of the 16 of these dams. Among these works, diversion dams connected to mining have not been taken into account and are particularly numerous around ancient mineral extraction areas dedicated to gold in the Northeast, dating from the Roman and earlier periods.



Fig. 57
Barrages romains en Espagne (Arenillas/2006)

Tableau 10
Petits barrages romains construits en Espagne et de dimensions connues (Schnitter/94)

Ville la plus proche	Nom du barrage	Type	Hauteur (m)	Longueur (m)	Épaisseur à la base (m)	Usage
Grenade	Barcinas	Poids	4,5	40	4,0	Irrigation
	Deifontes	Poids	4,5	15	4,0	Irrigation
Merida	Araya	Contreforts	3,7	139	2,7	Irr./ Alim. en eau
	Cornalbo (*)	Remblai	24,0	220	~ 90	Alim. en eau
	Esparragalejo	Multi-voûtes	5,6	320	2,4	Irrigation
	Proserpina (*)	Remblai	21,6	426	~ 70	Alim. en eau
	Santa Maria	Contreforts	3,6	98	2,2	Irrigation
	Tomas	Remblai	3,0	95	?	Irr./ Alim. en eau
Pampelune	Iturranduz	Contreforts	7,0	102	0,9	Alim. en eau
Toledo	Alcantarilla (*)	Remblai	17,0	557	~ 60	Alim. en eau
	Consuegra	Remblai	5,8	700	?	Alim. en eau
	Melque I	Poids	5,0	60	5,8	Énerg./Alim. en eau
	Melque II	Poids	2,2	57	2,3	Énerg./Alim. en eau
	Melque IV	Poids	9,0	60	14,0	Énerg./Alim. en eau
	Melque V	Poids	6,0	40	4,0	Énerg./Alim. en eau
	Moracanta	Poids	2,0	40	1,8	Irr./Alim. en eau

(*) Grands barrages



Fig. 57
Roman dams in Spain (Arenillas/2006).

Table 10
Roman small dams built in Spain of which the dimensions are known (Schnitter/94)

Nearest city	Name of Dam	Type	Height (m)	Length (m)	Base width (m)	Purpose
Granada	Barcinas	Gravity	4.5	40	4.0	Irrigation
	Deifontes	Gravity	4.5	15	4.0	Irrigation
Merida	Araya	Buttress	3.7	139	2.7	Irr./ Water s.
	Cornalbo (*)	Embankment	24.0	220	~ 90	Water supply
	Esparraglejo	Mult. Arch	5.6	320	2.4	Irrigation
	Proserpina (*)	Embankment	21.6	426	~ 70	Water supply
	Santa Maria	Buttress	3.6	98	2.2	Irrigation
	Tomas	Embankment	3.0	95	?	Irr./ Water s.
Pamplona	Iturranduz	Buttress	7.0	102	0.9	Water supply
Toledo	Alcantarilla (*)	Embankment	17.0	557	~ 60	Water supply
	Consuegra	Embankment	5.8	700	?	Water supply
	Melque I	Gravity	5.0	60	5.8	Power/ Water s.
	Melque II	Gravity	2.2	57	2.3	Power/ Water s.
	Melque IV	Gravity	9.0	60	14.0	Power/ Water s.
	Melque V	Gravity	6.0	40	4.0	Power/ Water s.
	Moracanta	Gravity	2.0	40	1.8	Irr./ Water s.

(*) Large dams

La majorité des barrages recensés, notamment les plus importants, sont concentrés dans trois régions d'Espagne : le bassin de l'Ebre, en particulier la rive droite, spécialement centré sur Saragosse (*Caesaraugusta*) ; les environs de Mérida (*Augusta Emerita*) dans le bassin de la Guadiana et la rive gauche du Tage (*Tagus*) près de Tolède (*Toletum*).

Pour le choix de l'implantation de ces travaux - et, sans qu'on sache exactement pourquoi - les Romains appliquaient des critères très différents d'une région à l'autre, ce qui les conduisait à des solutions conceptuellement très différentes. Ainsi, alors que dans le bassin de l'Ebre les grands barrages romains (Almonacid et Muel par exemple) sont systématiquement situés au milieu de rivières d'une certaine importance, dans le centre-ouest de la péninsule, ils sont localisés d'une part haute du bassin versant (Alcantarilla) ou dans de petites ravines (Proserpina ou Cornalvo), et donc avec un bassin versant propre limité. Dans le premier cas, on a des réservoirs de régulation, au sens moderne du terme mais avec beaucoup de nuances. Alors que les derniers grands barrages étaient réellement construits pour former des réserves significatives en tête de leur système hydrique, dans les réservoirs de la dernière zone (Alcantarilla, Cornalvo et Proserpina), les Romains ajoutèrent des dérivations des bassins adjacents afin d'augmenter les écoulements faibles et parfois insuffisants de leurs bassins versants propres ; selon un schéma bien établi, les solutions adoptées dans ces trois cas sont pratiquement identiques : des barrages de dérivation sont construits sur les cours d'eau de bassins adjacents de façon à alimenter les réservoirs principaux grâce à des canaux d'alimentation.

Cette disparité pour le choix de l'implantation explique probablement les types d'ouvrages employés dans chaque cas. Dans le bassin de l'Ebre, tous les grands barrages encore existants (et connus) sont en maçonnerie, ce qui est évidemment logique pour des ouvrages réalisés à cette époque sur des rivières avec des niveaux d'eau importants et surtout alors que les critères d'écrêtement des crues n'étaient pas parfaitement établis. Un exemple de ce type est le barrage d'Almonacid qui est le seul barrage espagnol de cette époque avec un évacuateur de surface. Compte tenu des données hydrologiques actuelles, sans doute très différentes de ce qu'elles devaient être à l'époque romaine, l'efficacité de l'évacuateur paraît faible, sa débitance, ajoutée à celle des autres organes d'évacuation, permettant uniquement d'évacuer des crues moins que vingtennales sans déverser sur la crête. À l'inverse des solutions adoptées sur l'Ebre, dans les bassins du Tage et de la Guadiana, les Romains optèrent pour des solutions radicalement différentes pour la construction des trois plus grands barrages de ces régions avec un remblai complété par un mur amont imperméable.

Dans la majorité des barrages construits en Espagne par les Romains, on trouve, presque systématiquement, un élément de base : un mur de soutènement avec un noyau imperméable permettant la mise en eau de l'ouvrage. Ce mur était complété par d'autres éléments pour assurer ou renforcer la stabilité d'ensemble : divers types de maçonnerie ou de remblai en terre. Ce mur de soutènement adopté par les Romains était d'une conception simple : un noyau en béton de chaux (opus caementicium) encadré par deux murs qui étaient habituellement en maçonnerie ou en pierres de taille. Parfois, ces murs qui servaient simplement de coffrages permanents étaient liaisonnés à d'autres plus à l'extérieur avec de meilleures caractéristiques. Dans ces structures, le plus important était le noyau en opus caementicium puisque c'est lui qui était chargé de la fonction d'étanchéité.

The majority of the dams catalogued – and particularly, the most important – are concentrated in three areas of Spain: The Ebro basin, particularly the right bank, with a focus which may be centred on Zaragoza (*Caesaraugusta*); the surroundings of Mérida (*Augusta Emerita*) in the Guadiana basin and the left bank of the Tajo (*Tagus*) at points close to Toledo (*Toletum*).

In the choice of location for these works - and for the moment without the availability of a reasonable explanation in this respect - the Romans applied very different criteria from one area to another which led to conceptually very different solutions. Hence, while in the Ebro basin large Roman dams (Almonacid and Muel, for example) are situated as a rule in the middle sections of somewhat important rivers, in the centre-west of the peninsula they are located close to river heads (Alcantarilla) or in small ravines (Proserpina or Cornalvo), with consequently small basin. That is to say, the first case deals with true regulation reservoirs in the modern sense of the phrase - with the many nuances which may entail. While the latter large dams were really built to form significant deposits at the head of their respective systems. In fact, in the large reservoirs of the latter area (Alcantarilla, Cornalvo and Proserpina), the Romans laid out diversions from adjacent areas with the goal of increasing the reduced and sometimes insufficient runoff from their own basins; this with planning which must have been very well established as the solutions adopted in the three cases are practically identical: diversion dams were constructed on the watercourses of adjacent basins and from them feeder channels to the respective reservoirs.

This disparity in the criteria for the choice of location probably led to the different structural typologies employed in each case. In the Ebro, all of the large dams conserved (and known) are of stonework, which may be considered logical for this era being works located on rivers with high in levels and, more importantly, when it is shown that the criteria to alleviate such flooding must not then have been entirely established. An example in this context is the dam of Almonacid which is, in Spain, the only one of these Roman structures retaining a surface spillway. According to current hydrological data - which must not be very different to that of Roman times - the efficiency of this spillway appears to be greatly reduced as its capacity, added to that of the other drainage elements of the dam, only permits the drainage of floods with a frequency period of less than twenty years without discharging over the crest. In contrast to the structural solutions adopted in the Ebro, in the basins of the Tajo and Guadiana the Romans, in the construction of the three highest dams conserved in these areas, resorted to a radically different typology: an embankment with an impermeable upstream wall.

In the majority of the dams constructed by the Romans in Spain there is a basic building element, which is almost systematically repeated: a retaining wall with an impervious core, with which the ponding for the structure was achieved. To this wall other elements are often added which ensured or completed the stability of the system: various types of stonework or banks of earth. This Roman retaining wall is a very simple concept: a lime concrete core (*opus caementicium*), framed by two facings, which were usually of masonry or ashlar. On occasions these panels, which merely served as permanent formworks, were attached to others whose characteristics improved towards the exterior. Within this grouping of structures, the most important element was the core of *opus caementicium* as it was charged with the goal of impeding the passage of water. Nevertheless, in some cases, especially in

Cependant dans quelques cas, et notamment pour des ouvrages d'importance mineure, le barrage se réduisait à un seul mur en maçonnerie ou en pierres de taille hourdé à la chaux.

19.2.1. Les barrages du bassin de l'Ebre

Parmi les ouvrages de l'époque romaine, le principal barrage de la vallée de l'Ebre est celui d'Almonacid de la Cuba, près du village du même nom, dans la province de Saragosse. C'est au monde le plus haut (34 m) de tous les barrages existants depuis cette période. Il est situé sur la rivière Aguasvivas, affluent de la rive droite de l'Ebre avec un bassin versant d'environ 1 000 km². La structure qui demeure aujourd'hui – en assez bon état – correspond à la reconstruction d'un ouvrage préexistant datant également des Romains mais avec une structure totalement différente (Fig. 58).



Fig. 58

Le barrage romain d'Almonacid depuis l'aval (Arenillas/2006)

On a déduit, des nombreuses investigations réalisées, que le premier barrage devait être formé de trois voûtes, une voûte centrale au point le plus étroit de la vallée et deux voûtes-contreforts s'appuyant sur l'arche centrale. Cette structure a dû se rompre très rapidement, peut-être même en cours de construction et elle a dû être reconstruite immédiatement en modifiant la structure sous la forme d'un barrage-poids rectiligne. Cependant, on conserva quelques éléments de la structure d'origine.

La première activité sur le site d'Almonacid a été datée grâce à des analyses au carbone 14 sur des échantillons de bois prélevés dans des forages jusqu'au niveau des fondations. Elles situent les travaux de construction au cours du règne

minor works, the retaining wall was simplified and reduced to a single panel of masonry or ashlar laid with lime mortar.

19.2.1. The dams of the Ebro Basin

Among the works of the Roman era, the principal dam in the valley of the Ebro is that of Almonacid de la Cuba, close to the village of the same name, in the province of Zaragoza. It has the greatest height (34 m) of any dam of this period conserved in the world and is situated on the river Aguasvivas, tributary of the Ebro on its right bank, with a catchment basin of around 1000 km². The structure which remains today - in fairly good condition - corresponds to the significant rebuilding of an earlier structure which was also Roman but of a completely different typology (Fig. 58).



Fig. 58
The Roman Dam of Almonacid from downstream (Arenillas/2006)

The first dam - according to deductions made from the numerous explorations undertaken, must have been that of a dam formed by three arches: one central situated at the narrowest and supported by the land and two large buttresses which interlinked with the central arch. This structure must have broken fairly early, perhaps even prior to the final stages of its construction and must also have been immediately rebuilt, substantially modifying its structure, which became that of a straight gravity dam. However, in the rebuilding some elements of the original works were retained.

The first activity at the site of Almonacid has been dated by C14 applied to samples of wood obtained from boreholes corresponding to levels close to the foundations. The calibrated age of the samples situates the construction of the

d'Auguste, plus précisément dans les premières années du premier siècle. Il s'en suit que le deuxième barrage – toujours existant – doit probablement dater des premières décades du même siècle, peut-être au cours du règne du même Auguste. Le barrage final d'Almonacid incorpore un noyau imperméable très renforcé et un plot plus court et plus étroit sur la gauche où se trouve l'évacuateur de crues. Ceci correspond aux ruines conservées du premier barrage avec des réparations ultérieures (de l'époque romaine). La structure principale concerne la partie la plus profonde de la ravine et elle possède une coupe transversale rectangulaire et deux parements en escaliers. À l'aval, les marches d'escaliers sont deux fois plus importantes. D'après les sondages, le noyau imperméable a une épaisseur de 10 à 12 m (Fig. 59). Ce mur correspond au premier barrage et avait peut-être un parement en pierres de taille comme semble l'indiquer les sondages. Pour la reconstruction, l'étanchéité fut significativement renforcée, notamment à l'aval avec un nouveau mur en maçonnerie recouvert d'un parement en opus vittatum (pièces calcaires en assises horizontales), et auquel on ajouta une large plinthe en escaliers. Au cours d'une réparation postérieure, ce renforcement fut repris avec une nouvelle plinthe sur chacune des rives. Puis le barrage fut agrandi, probablement pendant le règne de Trajan (98-117) afin de réduire les effets de l'alluvionnement qui devaient devenir importants.

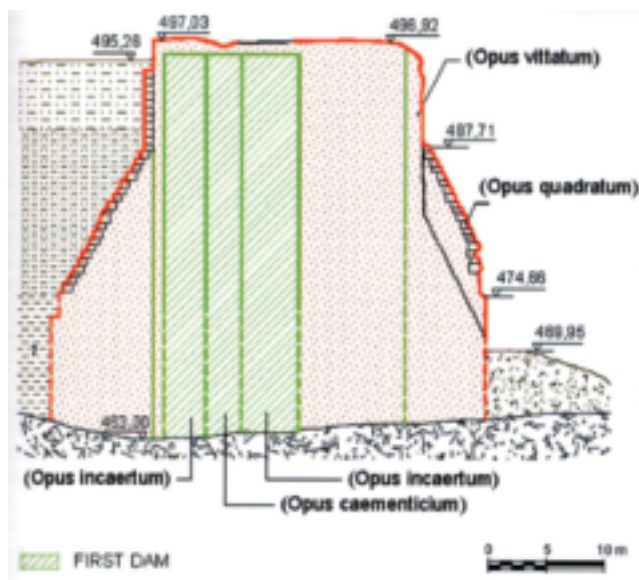


Fig. 59
Barrage d'Almonacid – coupe transversale
(Arenillas/2006).

Un autre barrage important du bassin de l'Ebre est celui de Muel (Saragosse) qui présente l'intérêt d'être à la tête de trois (peut-être quatre) systèmes d'alimentation construits par les Romains pour *Caesaraugusta*. La retenue sur la rivière Huerva (affluent rive droite de l'Ebre) est totalement ensasée. Cependant, on peut voir que le parement aval est en maçonnerie soigneusement réalisée en

works in the era of Augustus and, specifically in the early years of the first century. As a result, the second dam – that which is still conserved – must with some degree of certainty correspond to the first decades of the same century and possibly to the same era of Augustus. The definitive dam of Almonacid has a heavily reinforced impervious core in the body of the dam and a shorter, slender block to the left where the spillway is located; this corresponds to the remains conserved from the first dam, with some later repairs (largely from the Roman era). The main area of the structure encloses the deepest part of the ravine and in cross-section is formed by a rectangular central body and two stepped faces; downstream the stepping is double. The impervious core, according to the data obtained from boreholes, reaches between ten and twelve meters in thickness (Fig. 59). This wall corresponds to the first dam and perhaps possessed a facing of ashlar as may be deduced from the samples extracted from boreholes. On reconstruction, the cutoff wall was significantly reinforced, especially downstream, where a new masonry wall was constructed and faced with a panel of *opus vittatum* (pieces of limestone laid in horizontal bands), to which a large stepped skirt was added, the lower of the two which are conserved on this side. In a later repair the reinforcing was increased with two new stepped skirts, one on each side. At this moment, which probably corresponds to the era of Trajan (98-117), the dam was enlarged in order to alleviate to some extent the effects of silting of the reservoir, which must have then been significant.

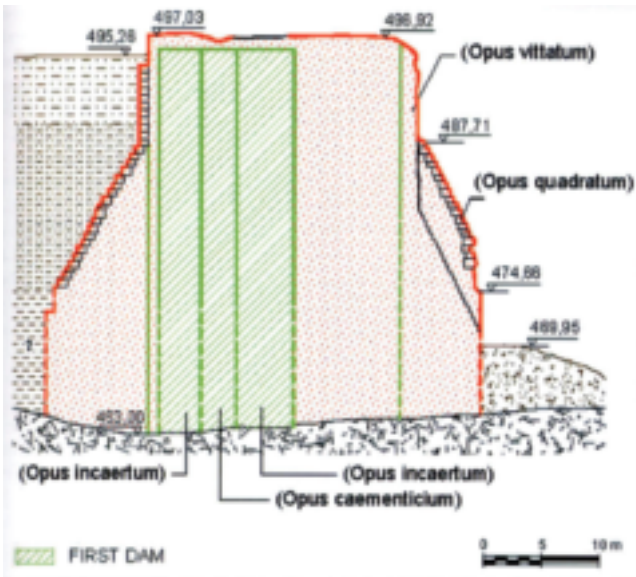


Fig. 59
Almonacid dam: Cross section
(Arenillas/2006)

Another notable dam in the Ebro basin is that of Muel (Zaragoza), of great interest as the head of one of the three (or perhaps four) Roman supply systems for *Caesaraugusta*. The reservoir which it formed in the river Huerva (a tributary of the Ebro on the right bank) is completely silted up. Nevertheless, it may be observed that all the stonework of the downstream face is that of cushioned ashlar with

pierres de taille avec des alternances – bien que sans logique évidente – de pose en boutisses et parements. En étant relié au système d'alimentation pour *Caesaraugusta*, ce barrage devrait avoir été construit pendant le règne d'Auguste (27 avant J.C. - 14) et peut-être même plus tôt, soit au moment de la création de *Caesaraugusta* généralement située entre 24 et 14 avant J.C.

Une étude récente sur le barrage, au cours de laquelle des investigations géophysiques et des forages ont été réalisés, a permis de connaître la structure avec une bonne précision. Le barrage est formé de deux murs en pierres de taille calcaires avec un remplissage intermédiaire en béton de chaux. Le mur aval dont les parements visibles sont décrits ci-dessus a une épaisseur d'environ 1,5 m et il est légèrement incliné vers l'amont (Fig. 60). L'autre mur, totalement masqué par les sédiments est vertical en partie supérieure et incliné vers l'amont (avec des marches d'escalier) en partie inférieure. Il est également constitué de pierres de taille. Ainsi, la structure a une épaisseur totale de 5 m en crête, 16 m à la base et sa hauteur sur fondations est de 13 m.



Fig. 60
Le barrage romain de Muel depuis l'aval avec l'hermitage du 18^e siècle construit sur sa crête (Arenillas/2006)

alternating courses - although without a clear sequence - pieces laid as stretchers alongside others laid as headers. Being related to the water supply for *Caesaraugusta*, this dam may easily have been constructed during the era of Augustus (27 BC-14 AD) and perhaps at an early date in this period as the foundation *Caesaraugusta* is usually situated between the years 24 and 14 BC.

A recent study on the dam, during which geophysical investigations and mechanical boreholes were undertaken, has enable the structural characterization of the works with a good degree of precision. The dam is formed by two limestone ashlar walls with an intermediate fill of lime concrete. The downstream wall, whose visible faces have already been described, is approximately one and a half meters thick and is lightly inclined from the vertical towards upstream (Fig. 60). The other wall, completely hidden below the sediment of the reservoir, is vertical in the upper section and inclined (and stepped) towards upstream in the lower section. It is also composed of large ashlar, as may be deduced from the boreholes and geophysical inspections. In this manner, a structure may be defined of 5 m thickness at the crest, 16 m at the base and 13 m height to the foundations.



Fig. 60
The Roman Dam of Muel from downstream with the 18th-century hermitage constructed on top (Arenillas/2006)

Le barrage de Ermita del Pilar, proche de Monforte de Moyuela (Teruel), est implanté sur la rivière Santa Maria, un affluent de Aguasvivas. C'est un grand barrage-poids formé par un mur complexe construit en deux étapes. Seule la partie haute de la rive gauche est conservée ; elle montre une succession hétérogène de maçonneries correspondant à la construction en deux phases ainsi que l'élargissement final de la structure. Cependant, l'épaisseur totale du barrage n'est que de 6,9 m pour une hauteur de 16 m ; il était donc clairement instable. Le barrage s'est effectivement rompu mais pas immédiatement comme le montrent les niveaux des sédiments visibles à l'amont.

Le barrage peut-être le plus conforme à ce modèle type est connu sous le nom de La Pared de los Moros. Il est situé près de Muniesa (Teruel), sur un cours d'eau secondaire – le Farlán, affluent rive droite de la rivière Aguasvivas. Il formait à l'origine un réservoir d'une capacité de 150 000 m³. Il a aujourd'hui une large brèche centrale à l'endroit le plus haut de la vallée. Les caractéristiques de la maçonnerie, généralement en moellons calcaires de mauvaise qualité et sa conception quelque peu déficiente laissent à penser qu'il s'agit d'un ouvrage romain agricole et d'une époque tardive. La structure a presque 8,5 m de hauteur maximale avec une longueur de crête d'environ 70 m. Son type est celui déjà décrit plusieurs fois : le corps de l'ouvrage de presque 3 m d'épaisseur est constitué de deux murs en maçonnerie au mortier encadrant un noyau en béton de chaux. Les murs ont 1,1 m d'épaisseur et sont faits de moellons grossièrement taillés en calcaire. Le noyau atteint une épaisseur de 70 cm. Le défaut majeur de l'ouvrage est son extrême minceur. Avec une telle géométrie, on aurait pu avoir un épaulement aval en remblai. Cependant, rien ne montre qu'un tel remblai ait jamais existé. Ceci explique la rupture certaine du barrage de La Pared de los Moros, probablement assez rapidement en ne laissant pas aux sédiments le temps de se déposer.

19.2.2. Les barrages des bassins du Tage et de la Guadiana

Dans les grands barrages en terre du centre-ouest de la Péninsule Ibérique, l'élément fondamental pour assurer l'étanchéité est constitué aussi par un mur amont. Dans deux cas (Alcantarilla et Proserpina), cela correspond strictement à la conception. Dans un autre (Cornalvo), on a utilisé une conception plus complexe décrite ci-après.

Le premier de ces trois barrages doit être celui d'Alcantarilla, ruiné depuis longtemps, probablement depuis l'ère romaine ; il a été possible d'analyser les causes de sa rupture à partir des nombreuses traces disponibles et compte tenu de sa similitude avec le barrage de Proserpina. L'ouvrage est situé sur la rivière Guajaraz qui est un affluent rive gauche du Tage, dans la partie haute de son cours. Il est à la tête du système romain d'alimentation de Tolède. Le barrage est constitué d'un grand remblai, aujourd'hui très détérioré, et d'un mur amont dont on trouve des sections presque intactes avec quelques blocs éparpillés sur le sol. La longueur totale du barrage devait être supérieure à 800 m et sa hauteur maximum est estimée entre 15 et 20 m. Le mur de retenue est constitué d'un noyau en béton de chaux de 60 cm d'épaisseur entre deux panneaux en maçonnerie ; la largeur totale à la base est de l'ordre de 4 mètres. Le parement amont devait être revêtu, sur toute sa surface de pierres de taille, et dont on trouve plusieurs rangs dans le bloc toujours

The Ermita del Pilar dam, close to Monforte de Moyuela (Teruel), is located on the river Santa María, a tributary of the Aguasvivas. It is a large gravity dam formed by a complex wall which is constructed in two stages. Only the part of the structure which is situated at the highest area of the left side is conserved, where a heterogeneous succession of stonework may be observed explaining the construction in two phases and also the final enlargement of the structure. However, the total thickness of the dam is only 6.9 m, which for its maximum height of 16.6 m leads to a clear situation of instability. The dam did in fact break, though not particularly early as the sediments of the reservoir reach significant levels, as observed on the slope upstream of the works.

The dam which possibly best conforms to the strict model of retaining wall is that known as La Pared de los Moros. It is located close to Muniesa (Teruel), in a secondary watercourse – the Farlán, a tributary on the right bank of the river Aguasvivas. It initially formed a reservoir of some 150,000 cubic meters of capacity. It presently has a large breach in the central section, coinciding with the deepest point of the site. The characteristics of the stonework, generally of poor quality, and its somewhat sinuous layout, lead one to think of a later Roman construction of a rural nature. The structure is almost eight and a half meters at its maximum height, with a crest length in the order of seventy meters. Its typology is that already indicated: A single wall of almost three meters thickness, composed of two panels of masonry laid with mortar and a core of lime concrete. The faces are each of 1.1 m thickness and constructed with lightly worked rough limestone masonry. The core reaches a thickness of 70 centimeters. The basic defect of the structure is its extreme thinness. With such risky geometry it would be reasonable to expect an embankment downstream. However, no remains testifying to this are in existence. As a result, the Pared de los Moros doubtlessly broke; and probably quite early as the level of sediment in the reservoir is not well developed.

19.2.2. The dams of the Tajo and Guadiana Basins

In the large earthfill dams of the centre-west of the peninsula the upstream wall was also resorted to as the fundamental element to retain water. In two cases (Alcantarilla and Proserpina) this solution was applied with strict design criteria; in the other (Cornalvo) a more complex variant, to be explained later, was resorted to.

The first of these three dams must have been that of Alcantarilla, which has been in ruins since ancient times, probably since the Roman era. It has been possible to analyze the causes of this breakage with the numerous remains available and owing to its similarity to the Proserpina dam. The works are situated on the river Guajaraz, a tributary of the Tajo on the left bank, in a high point on its course. It was the head of the Roman water supply to Toledo. The dam is composed of a large embankment, very deteriorated today, and an upstream wall, of which some sections remain almost intact with some blocks strewn across the ground. The total length of the dam must have been greater than 800 meters and its maximum height may be estimated as between 15 and 20 meters. The retaining wall is composed of a lime concrete core of around 60 cm thickness and two masonry panels with a total dimension at the base in the order of four meters. The upstream face must have been lined throughout its extent with ashlar, of which various courses are conserved

debout de la rive gauche. Ce sont des pierres soigneusement assisées, d'environ 50 cm de haut, 60 cm d'épaisseur et dont la longueur pouvait dépasser 1 m.

Le principal problème, bien compris aujourd'hui, est que la stabilité du barrage avec ces caractéristiques n'était pas assurée quand le réservoir était vide : un mur aussi mince que celui d'Alcantarilla a du mal à résister à la poussée du remblai dans cette situation, encore moins quand ce remblai est saturé, ce qui peut arriver, entre autres, quand le mur n'est pas étanche. Le barrage s'est effectivement rompu sous la poussée du remblai et le mur amont s'est effondré vers le réservoir dans la partie centrale totalement ruinée du barrage. La conception défectueuse du mur imperméable a été améliorée dans les barrages de Proserpina et de Cornalvo. Il en résulte qu'Alcantarilla est le plus vieux des trois grands barrages romains conservés au centre-ouest de la péninsule ibérique. D'après les données archéologiques, sa date de construction est située au premier siècle, probablement après le premier quart du siècle.

Le barrage de Proserpina est beaucoup mieux connu que les barrages précédents dans la mesure où il est toujours en activité (bien qu'il ait d'autres usages que ceux prévus par les Romains). Il est situé sur le petit fleuve de Las Pardillas, un sous-affluent rive droite de la Guadiana et il résulte, en réalité, de la surélévation d'un étang naturel qui était situé à quelques kilomètres au nord de Mérida (Fig. 61).



Fig. 61
Le barrage romain de Proserpina depuis l'amont en 1992 (Arenillas/2006)

Le barrage, d'une structure similaire à celle d'Alcantarilla, est composé d'un grand remblai et d'un mur de retenue amont, lui-même composé de deux pans de maçonnerie de granite - pierre de taille et maçonnerie et d'un remplissage en béton de chaux. La hauteur maximale du mur est de 21,6 m. La face amont du mur est verticale sur les 6,6 m inférieurs et inclinées au-dessus grâce à des décalages des rangées de pierres de taille. Neuf contreforts complètent l'amont, irrégulièrement

in the block which is still standing on the left edge. They are finely worked pieces, some 50 cm in height, 60 cm thick and with lengths which may reach over one meter.

The principal problem - well understood today, is that a dam of these characteristics is unstable when the reservoir is empty: a wall as thin as that of Alcantarilla has difficulty in resisting the push of the embankment in this situation, still less when it is saturated which may occur, among other circumstances, when filtration occurs through the wall. The dam did in fact break and due to the push of the earthwork embankment, as the upstream wall is collapsed toward the reservoir in the entire ruined central section. This deficient typology of the impervious wall is improved in the dams of Proserpina and Cornalvo. As a result, it is very probable that Alcantarilla is the oldest of the three large Roman dams which are conserved in the centre-west large Roman dams which are conserved in the centre-west of the peninsula. From archaeological data, its date of construction has been situated within the 1st century, but probably later than the first quarter.

The Proserpina dam is a much better known work than that mentioned above as it still remains in service (although dedicated to other uses than those foreseen by the Romans). It is located on the course of the small stream of Las Pardillas, a sub-tributary of the Guadiana on its right bank and is, in reality a heightening from the enclosure of a natural pond which is situated a few kilometers to the north of Mérida (Fig. 61).



Fig. 61
The Roman Dam of Proserpina from upstream in 1992 (Arenillas/2006)

The dam, with a structure similar to that of Alcantarilla, is composed of a large embankment and an upstream retaining wall composed of two panels of granite stonework – ashlar, dressed stone and masonry with a fill of lime concrete. The maximum height of this wall is of 21.6 m. The upstream face of the retaining wall is vertical in the lower 6.6 m and inclined in the rest which is achieved through the successive stepping of the ashlar courses of which it is formed. Nine buttresses

répartis dans la partie centrale de l'ouvrage ; huit d'entre eux sont adossés à la maçonnerie basse et un seul, le plus proche de l'appui rive droite, est en dehors de la partie centrale. Les huit premiers contreforts sont verticaux dans la partie inférieure correspondant à la maçonnerie la plus ancienne, la partie supérieure jusqu'à la crête ayant une pente légèrement plus douce que celle du mur en décalant légèrement les pierres à chaque lit. En partie basse, les 8 contreforts ont une section semi-circulaire sur 4,5 m de hauteur et rectangulaire dans la partie supérieure en escalier (Fig. 62).



Fig. 62

Barrage romain de Proserpina (Mérida) : détail d'un contrefort (Arenillas/2006)

Le parement aval du mur est caché par un remblai atteignant presque la crête. Cependant, des tranchées et des forages ont montré qu'il est, par endroits, vertical et c'est probablement une caractéristique générale sur l'ensemble de l'ouvrage. Ces investigations ont mis aussi à jour l'existence de six contreforts dans la partie centrale du barrage, liés au mur et à son aval. Ce sont des éléments de maçonnerie de 1,4 m de large, 3 m de long, et espacés de 6 m d'axe en axe ; tous ces contreforts se terminent à 2 m sous la crête. D'après les forages horizontaux, l'épaisseur maximale du mur amont est de 5,9 m.

Les tours de prise de ce barrage sont intéressantes ; liées à la face aval du mur étanche et donc incorporées dans le remblai, elles en dépassent d'une hauteur juste suffisante pour accéder à l'intérieur. La tour principale est située dans le profil de

emerge from this face, distributed irregularly along the length of the central section of the dam; eight originate from the lower stonework and only one, that closest to the right hand abutment, is outside the central area. The first eight are vertical in the section which corresponds to the oldest stonework and from this point extend to the crest with a somewhat smoother slope than that of the wall, which is also achieved by setting back the successive courses. In the lower section the eight buttresses finish off with a semicircular cross-section of some four and a half meters at the face; in the upper stepped section, all of the buttresses are rectangular in cross-section (Fig. 62).



Fig. 62
Proserpina Roman Dam (Mérida): Detail of a buttress (Arenillas/2006)

The downstream face is covered by an embankment reaching almost to the crest. Nevertheless, using boreholes and cuts it has been possible to prove its verticality in different points, which probably is a general characteristic throughout the structure. The above mentioned investigations have also enable the detection of sixteen buttresses in the central section of the dam, attached to this wall and directed downstream. These are vertical elements of masonry, 1.4 m wide and 3 m long, with a separation of 6 m between axes; all of these buttresses finish off two meters below the crest. The horizontal boreholes drilled in the upstream wall have enable a maximum thickness of 5.9 m to be established.

The intake towers of this dam are of interest, attached to the impervious wall on the downstream face, therefore incorporated into the embankment, from which they emerge at a strict height to enable access to the interior. The main tower is

plus grande hauteur ; sa section est irrégulière bien que sensiblement carrée et de 5 à 6 m de côté extérieur. Il y avait à l'origine deux séries de prises. La prise inférieure est de l'époque romaine ; elle comporte deux tubes de plomb de 22 cm de diamètre intérieur situés à 3 m au-dessus du niveau des fondations. Environ 4 m au-dessus il y a une autre prise ouverte dans une pierre carrée probablement au 17^e siècle alors que le niveau d'alluvionnement avait rendu inopérante la prise inférieure. L'autre tour est implantée en rive gauche, à environ 10 m au-dessus du lit de la rivière. Elle a aussi une section presque carrée de 7 m de côté extérieur. La prise supérieure commence dans cette tour, environ 10 m au-dessus de la prise inférieure. Elle est également d'origine romaine mais, en 1940, elle a été remplacée par un tube en fonte qui existe encore aujourd'hui.

Il a été possible de dater le barrage de Proserpina grâce à un morceau de bois extrait au cours d'un forage horizontal de la section inférieure de la maçonnerie. Une datation au carbone 14 situe la construction de ces ouvrages à l'époque de Trajan (98-117).

Le barrage romain de Cornalvo est implanté sur la rivière Albarregas, affluent rive droite de la Guadiana, à environ 15 km de Mérida. Il a été construit pour améliorer le système précédent d'alimentation en eau de la ville qui était constitué d'une série de galeries sous-fluviales creusées dans les dépôts alluvionnaires de la rivière Albarregas dans la zone du futur réservoir. Ces galeries convergeaient pour amener ensuite l'eau vers Mérida. Quand le débit fourni par ces galeries devint insuffisant pour les besoins de la ville, on dut construire le barrage ; une tour de prise fut élevée à l'ancien point de convergence des galeries, contre le barrage mais à l'intérieur de la retenue. Ainsi, la tour de prise de Cornalvo est le seul élément des barrages érigés en Espagne par les Romains qui est isolé, situé à l'amont du barrage et avec un accès depuis la crête au moyen d'un pont qui demeure aujourd'hui (Fig. 63).



Fig. 63
Barrage romain de Cornalvo (Mérida) reconstruit
au début du 20^e siècle (Arenalles/2006)

located in the deepest section of the site; it is of irregular cross-section, although almost square of between five and six meters on the exterior side. Two series of intakes originate in this tower. The lower intake is Roman and is composed of two lead tubes of 22 cm interior diameter emplaced three meters above the level of the foundations. Almost four meters higher up there is another intake worked in a stone flag which must have been opened probably in the 17th century, when the silting of the reservoir had made the lower intakes useless. The other tower is situated on the left-hand side, some ten meters above the watercourse. It is also fairly square in cross-section, of some seven meters on the exterior side. The upper intake begins in this tower, which is emplaced some ten meters above in the lower. It was also Roman in origin, but in the 1940s it was substituted for a cast iron pipe which still exists today.

Absolute dating is available for the dam of Proserpina, obtained from a sample of wood which was extracted from the lower section of the stonework using a horizontal borehole. Analyzed by C14 dating, it has a calibrated age which situates the construction of these works in the era of Trajan (98-117).

The Roman dam of Cornalvo is situated on the river Albarregas, a tributary of the Guadiana on its right bank, some fifteen kilometers from Mérida. It was constructed to improve the previous water supply to this city which had its origins in a series of below riverbed capture galleries excavated in the alluvial deposits of the river Albarregas, in the area which later became covered by the reservoir. These galleries converged at a point where their journey towards Mérida began. When the water from these galleries became insufficient for the city the dam must have been constructed; an intake tower was raised at the point where the old galleries joined, close to the dam but within the reservoir. In this manner the intake tower of Cornalvo constitutes a unique element in the dams of the Roman era built in Spain, being a freestanding work, situated upstream of the dam with access from the crest via a bridge whose remains are still in existence today (Fig. 63).



Fig. 63
The Roman Dam of Cornalvo (Mérida) reconstructed
at the beginning of the 20th century (Arenalles/2006)

La conception générale du barrage de Cornalvo est identique au modèle d'Alcantarilla et Proserpina : un grand remblai en terre protégé à l'amont par un élément structurel mais qui, dans le cas présent, n'est pas un simple mur de retenue. D'après ce que l'on sait aujourd'hui, on en déduit que la structure était composée d'un maillage de trois murs longitudinaux (parallèles à la direction du barrage) et de vingt-deux murs perpendiculaires aux précédents. Les trois murs longitudinaux étaient de hauteurs croissantes depuis l'amont jusqu'à atteindre la hauteur du barrage pour le dernier. Les murs transversaux étaient de hauteur variable. Les espaces entre les murs étaient remplis de terre en partie inférieure puis de béton de chaux. De grandes pierres de taille en granit terminaient ce remplissage donnant un profil en escaliers au parement amont du barrage. Il semble que ces pierres de taille (aujourd'hui disparues de leur emplacement d'origine) aient été ensuite plusieurs fois réutilisées dans des travaux de construction à proximité du barrage. Au début du 20^e siècle, le barrage fut réhabilité de façon importante notamment en reconstruisant la totalité du parement amont avec différents types de matériaux rocheux (pierres de taille, maçonnerie et pavés) en gardant approximativement le profil romain d'origine. Ces travaux aboutirent à la structure qu'on peut voir aujourd'hui (Fig. 64)

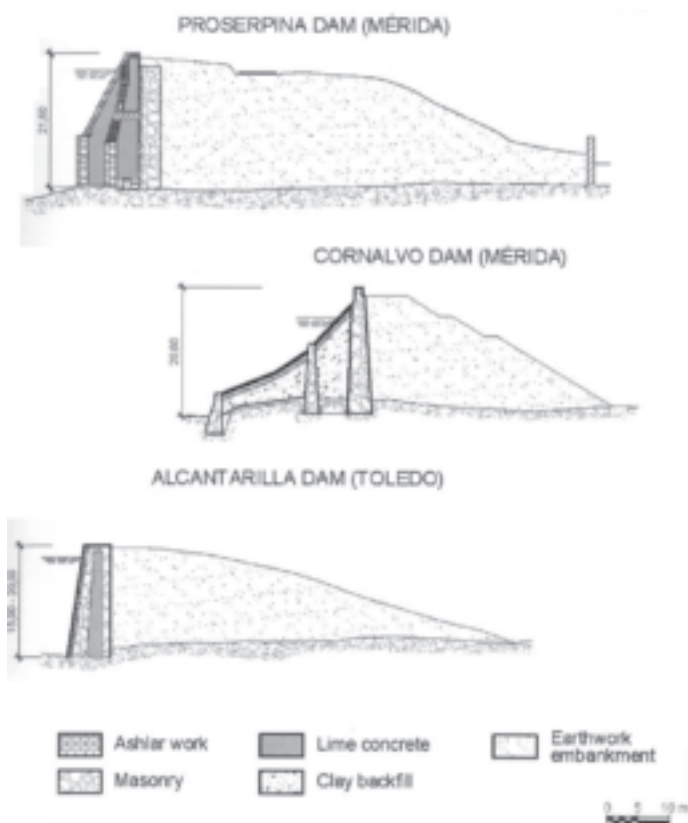


Fig. 64

Sections transversales : barrages de Cornalvo, Proserpina et Alcantarilla (Arenillas/2006)

The Cornalvo dam follows, in principle outline, the model of Alcantarilla and Proserpina: a large earthwork embankment protected upstream by a structural element, which in this case is not merely a retaining wall. From the data available up to now it is inferred that this structure was composed of a mesh of three longitudinal walls (parallel to the direction of the dam) and twenty-two perpendiculars to the former. The three longitudinal walls were successively higher from that closest to the reservoir, reaching the maximum height of the dam in the last of these. The transversal walls were of variable height. The enclosures formed by this mesh of walls were filled with earth at the lower levels and with lime concrete at higher levels. Large granite ashlars were laid as stretchers on this fill, giving a stepped profile to the upstream face of the dam. It seems that these ashlar (today absent from their original position) have been subsequently reused in different building works around the dam. At the beginning of the 20th century the dam was subjected to an important process of refurbishment which basically consisted in reconstructing the whole upstream face with different types of rock materials (ashlars, masonry and cobbles), approximately maintaining the original Roman profile. The result of this operation is the structure which we may observe today (Fig. 64).

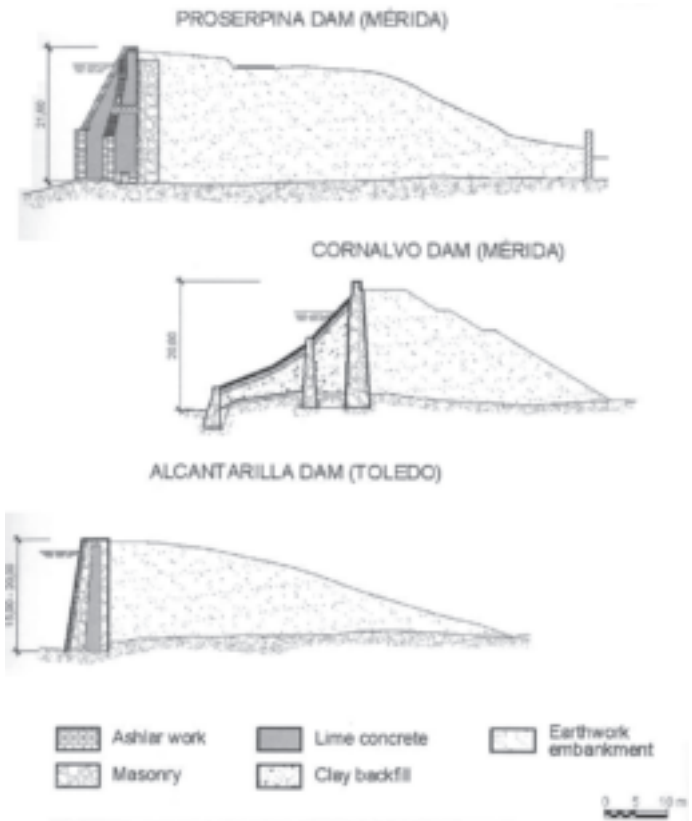


Fig. 64
Cross sections: Cornalvo, Proserpina and Alcantarilla dams (Arenillas/2006)

19.2.3. Barrages mineurs

En plus des grands barrages dont il a été question dans les paragraphes précédents, des ouvrages plus mineurs – petits barrages et ouvrages de dérivation – sont aussi d'un grand intérêt. Dans certain cas, c'est parce qu'ils sont à la tête de grands systèmes hydrauliques, dans d'autres, parce qu'ils ont été à l'origine de l'introduction de nouveaux types d'ouvrages dans ce pays et d'une manière générale parce qu'ils représentent les premières interventions systématiques sur les cours d'eau espagnols. Parmi les barrages à contreforts les plus connus, on peut notamment citer celui de Consuegra (Tolède), de plus de 600 m de long malgré une hauteur réduite (4,8 m) (Fig. 65), et celui d'Araya, à proximité de Mérida. Les barrages à voûtes multiples sont, entre autres, ceux d'Esparragalejo, également à Mérida et de Villafranca, à Teruel, de 150 m de longueur. Le barrage de Puy Foradado à la tête du système hydraulique important de Los Bañales (Uncastillo, Saragosse), seulement 3 m de haut, est probablement le plus original de ces petits barrages comme seul exemple connu en Espagne d'un barrage-poids courbe. Les seules ruines visibles sont celles du parement aval (la retenue est pleine de sédiments) composé de 4 rangées de pierres de taille de 56 m.



Fig. 65
Barrage romain de Consuegra - Tolède (Arenillas/2006)

19.3. LE MOYEN-ÂGE

Durant le Moyen-âge, et surtout pendant les heures sombres du début du Moyen-âge, les circonstances historiques ne pouvaient pas favoriser des travaux majeurs sur les rivières d'Espagne. On trouve cependant à cette époque de nombreux moulins, foulons et autres ouvrages hydrauliques. L'énergie utilisée par ces machines hydrauliques était fournie par l'eau des rivières et des ruisseaux (parfois des sources) dérivée grâce à des seuils et des barrages. De ces ouvrages (généralement de petites dimensions), il reste beaucoup de traces partout en

19.2.3. Minor Dams

In addition to the large dams, to which reference has been made in the previous paragraphs, more minor works - small dams and diversion dams, are also of unquestionable interest. In some cases, as a result of being situated at the head of great hydraulic systems, in others because they served as an introduction to new typologies in this country and on the whole as a result of the first systematic interventions in Spanish watercourses. Among the best known buttress dams it is important to highlight those of Consuegra (Toledo), more than 600 meters long though of reduced height (4.8 m) (Fig. 65), and that of Araya, in the vicinity of Mérida. The multiple arch dams are, among others, those of Esparragalejo, equally in Mérida and Villafranca, in Teruel, of 150 m in length. The dam of Puy Foradado at the head of the significant hydraulic system of Los Bañales (Uncastillo, Zaragoza), only three meters in height, is probably the most original of these small dams as it is the only known example in Spain of a curved gravity dam. The only presently visible remains are those of the downstream face (the reservoir is silted up), composed of four courses of ashlars of some 56 meters.



Fig. 65
Consuegra Roman Dam - Toledo (Arenillas/2006)

19.3. THE MIDDLE AGES

During the Middle Ages and, above all in the “dark years” of the Early Middle Ages, historical circumstances must not have favoured major intervention in Spanish rivers. Nevertheless, numerous mentions are known from this era about watermills, fulling mills and other hydraulic works. The energy to move these hydraulic engines came from water taken from nearby rivers and streams (sometimes from springs), from which they were diverted through the use of corresponding weirs and dams. Of these works (generally small-scale), abundant

Espagne. On doit attendre le 14^e siècle pour trouver la référence à la construction d'un grand barrage dont les ruines ont été, peut-être, identifiées à proximité du barrage romain d'Almonacid. Les professeurs Sesma, Utrilla et Laliena ont découvert un document de 1393 dans lequel la future reine d'Aragon, María de Luna, autorisait la construction d'un barrage sur la rivière Aguasvivas, à quelques kilomètres à l'aval du barrage d'Almonacid. C'est actuellement le plus vieux document de ce type trouvé en Espagne et d'après les indications qu'il contient, l'ouvrage doit correspondre aux ruines trouvées dans un léger rétrécissement de la rivière Aguasvivas (barrage de Malpasillo). Les ruines permettent de définir une structure courbe en béton de chaux, de plus de 20 m de haut dont il reste un bloc de 4 m d'épaisseur à la base sur l'appui rive droite, et d'autres vestiges sur l'appui rive gauche (Fig. 66).



Fig. 66
Ruines de l'appui rive droite du barrage de Malpasillo 14^e siècle (Arenalles/2006).

C'est au début du Moyen-âge (an 934) que l'usage du mot « presa » (barrage) apparaît en espagnol bien qu'avec toujours l'idée de détourner l'eau d'une rivière par une structure de dérivation. Le terme sera utilisé plus tard pour désigner seulement la partie principale des travaux, c'est-à-dire le mur de fermeture (le barrage au sens courant du terme). Les barrages destinés à l'usage industriel

remains still exist throughout Spain. One has to wait until the 14th century to find a concrete reference to the construction of a large dam, whose remains we have identified - or so we believe - not far from the Roman dam of Almonacid. The teachers Sesma, Utrilla and Laliena have located a document from 1393 by which the future Queen of Aragón, María de Luna, authorized the construction of a dam on the river Aguasvivas, a few kilometers downstream from the dam of Almonacid. It presently is the oldest document of its kind found in Spain and according to the references contained within this work must correspond to the remains found in the mouth of a small narrowing of the river Aguasvivas (the dam of Malpasillo). The remains enable us to define a curved structure of lime concrete of more than 20 m in height of which the right-hand abutment remains standing, with a thickness at the base of around 4 m and remnants of the other section of the left-hand abutment (Fig. 66).



Fig. 66
Remains of the right abutment of the Malpasillo Dam - 14th century (Arenalles/2006)

It is in the Early Middle Ages (year 934), that the first use of the word presa (dam), is documented in Spanish, although still in the sense of the capture of water from a river by means of a diversion structure. The term would subsequently be used to denominate solely the principle section of the works, that is, the enclosing wall (or dam in the current sense). Dams for industrial use began to proliferate in

commencèrent à se développer à la fin du Moyen-âge. Ce sont encore de petits barrages mais plus importants que de simples seuils de dérivation. Ces barrages généralement d'une hauteur réduite, sont parfois équipés de vidange et ont toujours une prise d'eau haute pour dériver, au moyen d'un canal, l'eau vers un moulin généralement proche de l'ouvrage.

Sur la rivière Aguasvivas, dans une région aux précipitations faibles et irrégulières, nous avons étudié quelques unes de ces constructions dont on peut montrer que leur type commence à changer par rapport à ceux de l'époque romaine avec des faces aval verticales, en maçonnerie de pierres de taille, liées à des blocs de béton de chaux d'une certaine dimension et la plupart du temps avec un courbure en plan. Les conditions climatiques (et géologiques) du bassin de la rivière Aguasvivas ont imposé que, au moins depuis l'époque romaine, de nombreux barrages (grands et petits) ont été construits de la même manière. Hormis ceux de l'époque romaine déjà cités, cinq autres ouvrages du Moyen-âge existent encore : Malpasillo (1393), El Hocino (probablement construit sur un barrage de l'époque romaine avec une hauteur de près de 18 m), El Vado (daté au carbone 14 entre 1420 et 1480 et de seulement 4 m de hauteur), l'ancien barrage de Moneva (de plus de 5 m) et El Galindo (avec une partie visible de 6,7 m). La série est complétée par le grand barrage d'Almochuel (19^e siècle) et par le nouveau barrage de Moneva (1929). C'est donc une région d'un très grand intérêt avec plus de 10 barrages (ceux mentionnés et d'autres plus petits) concentrés sur une surface de 1 000 km². Ils couvrent une période de plus de 2000 ans et peuvent servir d'exemple de tout ce qui a dû être fait en Espagne pour permettre d'utiliser efficacement l'eau transportée par les rivières (Fig. 67).



Fig. 67

Barrage El Galindo (15^e siècle) à Blesa – Zaragoza (Arenillas/2006).

Spain during the later Middle Ages. They were still small, but more significant than simple diversion weirs. These dams are, in general, of reduced height, sometimes with outlet drains and always with a high intake by which the water is diverted through a channel towards the water mill generally situated close to the dam.

On the river Aguasvivas, in an area of scarce and irregular precipitation, we have studied some of these in which it may be shown that their typologies begin to diverge from those usual in the Roman era, with appreciably vertical downstream faces, of masonry or ashlar, attached to lime concrete blocks of significant size and curved lines in almost all cases. The climatic (and geological) conditions of the basin of the river Aguasvivas have dictated that, at least since Roman times, numerous dams (both large and small) have been constructed in an almost systematic manner. Besides the three of the Roman era already mentioned, five from the Middle Ages also remain: Malpasillo (1393), El Hocino (probably constructed on top of another from the Roman era and with a significant height of some 18 m), El Vado (dated by C 14 between 1420 and 1480 and only 4 m in height), the ancient dam of Moneva (of more than 5 m) and El Galindo dam (with 6.7 m currently visible). The series is completed with the large dams of Almochuel (19th century) and the new dam of Moneva (1929). It is, therefore, an area of great interest as more than ten dams (those mentioned and other smaller) are concentrated in an area of 1000 km². They cover a period of more than 2000 years and may serve as an example of how much has needed to be done in Spain to enable the efficient use of the flows transported by our river (Fig. 67).



Fig. 67
El Galindo Dam (15th century) in Blesa – Zaragoza (Arenillas/2006)

Les Arabes occupèrent plusieurs contrées de la péninsule ibérique pendant huit siècles et, pendant cette période, ils construisirent de nombreux grands barrages dans plusieurs régions. Cependant, d'après les données disponibles et les vestiges existants, ils se limitèrent à la construction de nombreux barrages de dérivation – en particulier près de la côte méditerranéenne au sud de l'Espagne – en réutilisant dans beaucoup de cas les infrastructures préexistantes de l'époque romaine. Dans la plupart des cas, il s'agit de petits barrages-poids de section transversale trapézoïdale avec des parements maçonnés protégeant parfois un noyau en béton de chaux. Le plus intéressant est probablement celui de Azud de Murcia (ou Contraparada) : un petit barrage sur la rivière Segura au sud de la péninsule, constituant, à l'époque romaine, l'ouvrage de tête d'un important système d'irrigation, réutilisé et agrandi par les Arabes. Ils construisirent un barrage légèrement à l'aval de l'ouvrage romain en le connectant aux deux canaux principaux d'irrigation, un sur chaque rive – selon un principe déjà adopté par les Romains. Les canaux d'irrigation, et donc l'ensemble du dispositif ont été rattachés à cette époque grâce à une citation de l'écrivain arabe Al-Himyari (14^e siècle) qui les attribue aux « anciens » qui était le terme utilisé systématiquement par les écrivains arabes pour désigner les Romains. L'intérêt majeur de ces ouvrages tient surtout au fait qu'ils sont toujours en activité, bien que rénovés et réparés à de multiples reprises depuis au moins 1294 quand le roi Sancho de Castille autorisa la reconstruction du barrage.

19.4. LES 16^e, 17^e ET 18^e SIÈCLES

Un saut qualitatif majeur pour la construction en rivière fut fait au 16^e siècle quand, vers les années 1500 fut construit le barrage d'El Castellar près de Zafra (Badajoz). Les 19 m de hauteur de l'ouvrage étaient du même ordre de grandeur que la plus grande hauteur de quelque uns des plus hauts barrages romains. Il est cependant plus petit que les 34 m d'Almonacid de la Cuba, qui ne furent pas dépassés avant 1594 avec la construction du barrage de Tibi, le plus haut d'Europe (46 m) pendant 200 ans. Entre ces deux dates, les barrages de Valdajos (1530) et d'El Embocador (1534) furent autorisés par Charles V et construits sur le Tage au sud de Madrid. Bien que de hauteurs limités, ils constituent les premiers travaux sur une des principales rivières de la Péninsule Ibérique. Ils alimentaient d'importantes zones irriguées et ils sont toujours en service. Dans les deux cas, il s'agit de grands blocs trapézoïdaux de béton de chaux, avec des parements maçonnés non verticaux et des fondations reposant, au moins en partie, sur de nombreux pieux en bois foncés au travers des dépôts fluviaux gravillonnaires.

Les grands barrages des 16^e au 18^e siècles figurent dans le Tableau 11 où, en plus des barrages de dérivation, déjà cités, figure un autre petit barrage remarquable, celui Otíngola, situé près d'Aranjuez à 40 km au sud de Madrid.

The Muslims occupied several areas of the Iberian Peninsula during eight centuries and in this period built numerous large dams in various territories. However, in Spain, according to the available data and preserved remains, they limited themselves to the construction of numerous diversion dams – in particular near the Mediterranean coast and in the South, reusing in many cases the pre-existing infrastructure of the Roman era. In almost all cases they consist of small gravity dams of trapezoidal cross-section, with masonry faces which sometimes protected a lime concrete core. Among these activities, that of greatest interest is probably the Azud de Murcia (or Contraparada): a small dam on the river Segura in the southeast of the peninsula, the head of an important originally Roman irrigation system, adopted and enlarged by the Muslims. They constructed a dam slightly downstream from the original Roman structure connecting to it the two principle irrigation channels – each on one side – that had also originally been constructed by the Romans. The irrigation channels, and as a result the system, have been assigned to this age according to a quote from the Muslim writer Al-Himyari (14th century) who refers to them, attributing them to “the ancients”, using a term that Arab writers systematically used to refer to the Romans. The interest in these works is based, above all, on the fact that it is a dam which is still in use, though renovated and refurbished on numerous occasions since at least 1294, when King Sancho de Castilla authorized the reconstruction of “the water dam”.

19.4. THE 16TH, 17TH AND 18TH CENTURIES

The significant qualitative leap forward in interventions in Spanish watercourses was made in the 16th century, when around the year 1500 the dam el Castellar was constructed, close to Zafra (Badajoz). The 19 m height of this work was of the same order as the maximum dimension of some of the large Roman dams. It is, however, somewhat below the 34 m of Almonacid de la Cuba, which would not be exceeded until 1594 when the Tibi dam was constructed, the highest in Europe (46 m) during a period of 200 years. Between these two dates the dams of Valdajos (1530) and El Embocador (1534) were authorized by Carlos V and constructed on the Tajo, to the south of Madrid which, although low in height, constituted the first hydraulic interventions on one of the main rivers of the Iberian Peninsula. Important irrigation areas were served by these works which are still in service. In both cases, large trapezoidal blocks of lime concrete were constructed and faced with masonry, in a sloping profile with the foundations laid, at least in part, on numerous wooden piles driven into the fluvial gravel.

The large dams from the 16th to the 18th century figure in Table 11, where, besides the diversion dams mentioned, another notable small dam has been included, that of Otíngola, situated close to Aranjuez, 40 Km to the south of Madrid.

Tableau 11
Principaux barrages et seuils espagnols du 16^e au 18^e siècle

Date	Nom	Rivière	Hauteur (m)
1500 (?)	Castellar	Rivera de Alconera (Guadiana)	19,0
1530	El Embocador	Tajo	4,2
1530	Valdajos	Tajo	5,0
1572	Ontígola	Ontígola (Tajo)	7,0
1577	Albuera de Trujillo	Albuera (Tajo)	15,0
1586	Almansa	Belén-Grande (Júcar)	23,0
1594	Tibi	Monegre (Júcar)	46,0
1640	Elche	Vinalopó (Júcar)	23,0
1648	Puentes I	Guadalentín (Segura)	22,5
1660	Granjilla	Aulencia (Tajo)	13,5
1693	Albuera de Casabaya	Casabaya (Guadiana)	16,8
1704	Arguís	Isuela (Ebro)	23,0
1728	Mezalocha	Huerta (Ebro)	45,0
1747	Albuera de Feria	Feria (Guadiana)	23,5
1776	Relleu	Amadorio (Júcar)	29,0
1788	Puentes II	Guadalentín (Segura)	50,0
1799	El Gasco	Guadarrama (Tajo)	90,0

Le plus grand barrage espagnol – du moins de par ses dimensions – du 16^e siècle est incontestablement celui de Tibi (Alicante) sur la rivière Monnegre, un petit cours d'eau mais avec des crues significatives comme la majorité des rivières espagnoles de la zone méditerranéenne. Le barrage fut autorisé par Felipe II pour faire suite, dans ce cas, à la proposition de la municipalité de Tibi (Fig. 68). Il est également destiné à l'irrigation comme les barrages d'El Embocador et de Valdajos mentionnés ci-dessus. Les 46 m de hauteur de l'ouvrage dépassent la plus grande hauteur des barrages romains (34 m à Almonacid) et ne furent dépassés que 200 ans plus tard.

Le barrage est courbe, du type barrage poids-voûte, avec un rayon moyen d'environ 80 m, une épaisseur de 34 m à la base et de 20 m en crête. Il est situé dans un ravin creusé par la rivière dans le calcaire tertiaire, le profil en long très pentu de la rivière expliquant la faible capacité de la retenue (environ 5 hm³) malgré la hauteur du barrage. Le parement amont est presque vertical. Le corps du barrage est en maçonnerie hordée à la chaux et il est recouvert, sur les deux parements, de pierres de taille. Le barrage a un ouvrage de prise composé d'un large puits semi circulaire, également en maçonnerie et pierres de taille, lié à la face amont produisirent en 1697 et la réparation fut achevée en partie centrale et équipé de trous débouchant sur la partie extérieure pour permettre le passage de l'eau de la retenue. À la partie inférieure du mur, une galerie traverse le barrage; elle est fermée par une vanne à glissière, à l'origine en bronze. De plus, il est équipé d'un grand pertuis inférieur formé par une galerie de 15 m² de section moyenne et

Table 11
Main Spanish dams and weirs 16th to 18th century

Date	Name	River	Height (m)
1500 (?)	Castellar	Rivera de Alconera (Guadiana)	19.0
1530	El Embocador	Tajo	4.2
1530	Valdajos	Tajo	5.0
1572	Ontígola	Ontígola (Tajo)	7.0
1577	Albuera de Trujillo	Albuera (Tajo)	15.0
1586	Almansa	Belén-Grande (Júcar)	23.0
1594	Tibi	Monegre (Júcar)	46.0
1640	Elche	Vinalopó (Júcar)	23.0
1648	Puentes I	Guadalentín (Segura)	22.5
1660	Granjilla	Aulencia (Tajo)	13.5
1693	Albuera de Casabaya	Casabaya (Guadiana)	16.8
1704	Arguís	Isuela (Ebro)	23.0
1728	Mezalocha	Huerva (Ebro)	45.0
1747	Albuera de Feria	Feria (Guadiana)	23.5
1776	Relleu	Amadorio (Júcar)	29.0
1788	Puentes II	Guadalentín (Segura)	50.0
1799	El Gasco	Guadarrama (Tajo)	90.0

The most important Spanish dam – at least in terms of dimensions – of the 16th century is, undoubtedly, the dam of Tibi (Alicante) on the river Monnegre, a minor watercourse but with significant flooding as in the majority of the Spanish rivers in the Mediterranean area. It is a dam authorized by Felipe II according to the proposal, in this case, of the municipality of Tibi (Fig. 68). It is also dedicated to irrigation as are the diversion dams of El Embocador and Valdajos, mentioned above. The 46 m height of this structure exceeds the maximum dimensions reached by the Romans (34 m in Almonacid) and at the same time, was not exceeded in Spain until 200 years later.

The dam is curved, arch-gravity dam, with an average radius of some 80 m, 34 m thick at the base and 20 m thick at the crest. It is situated in a ravine opened by the river in tertiary limestone, where the watercourse has a strong slope leading to a low capacity reservoir (some 5 hm³) despite the height of the dam. The upstream face is almost vertical and somewhat more sloped and stepped than the downstream face. The stonework is masonry laid with lime mortar and covered with pieces of ashlar on both faces. The dam has an intake composed of a large semicircular well – also of masonry and ashlar work – attached to the upstream face in the central area, on whose exterior surface elongated holes exist to allow the passage of water from the reservoir. In the lower part of the wall a gallery opens which goes through the body of the dam and is regulated by a sluice gate, originally of bronze. In addition, a large outlet drain was constructed, composed of a large gallery (some 15 m² as an average value) which enlarged from the upstream point to the

s'élargissant de l'amont vers l'aval. La vanne était à l'origine, constituée de grandes pièces en bois. Les travaux furent achevés en 1594; des désordres significatifs apparurent en 1601 et ils furent réparés rapidement. Des désordres majeurs apparurent en 1697 et furent réparés complètement en 1738. C'est à ce moment que fut réalisé l'évacuateur de surface sur la rive droite.



Fig. 68
Barrage de Tibi (16^e siècle) depuis l'aval (Arenalles/2006)

downstream point. The original sluice gate, in this case, was composed of large pieces of wood. The works finished in 1594, there was a significant fault in 1601 which was repaired with some speed and a major fault in 1697 whose repair was completed in 1738. It is then that the surface spillway must have been constructed on the right abutment.



Fig. 68
Tibi Dam (16th century) from downstream (Arenalles/2006)

20. ANCIENS BARRAGES EN TURQUIE

20.1. INTRODUCTION

Les ouvrages hydrauliques, réalisés pendant près de quatre mille ans, au carrefour de nombreuses civilisations, principalement en Anatolie, ont fait de la Turquie un des plus riches et des plus intéressants musées en plein air du monde, du point de vue de l'histoire des structures hydrauliques.

Il y a des traces de nombreuses structures hydrauliques construites en Anatolie Centrale pendant la période hittite environ 2000 ans avant J.C., dans l'est de l'Anatolie, pendant les époques grecques, romaines et byzantines entre 500 avant J.C. et le 5^e siècle après J.C. et pendant les périodes seldjoukides et ottomanes après le 10^e siècle.

20.2. BARRAGES HISTORIQUES DE LA PÉRIODE HITTITE EN ANATOLIE CENTRALE

20.2.1. Barrage de Karakuyu à Uzunyayla

Les Hittites ont construits plusieurs barrages en Anatolie Centrale, d'abord à des fins d'irrigation, compte tenu de périodes estivales relativement sèches dans les zones centrales de la Turquie. On considère que le plus vieux barrage d'Anatolie est celui de Karakuyu, construit par les Hittites pendant le règne de Tudhalia IV dans la seconde moitié du 13^e siècle avant J.C. pour l'irrigation d'Uzunyayla (Fig. 69).



Fig. 69

Dessin du barrage de 8 m de haut de Karakuyu à Uzunyayla, avec une longueur totale de crête de 400 m, du 13^e siècle avant J.C.

20. ANCIENT DAMS IN TURKEY

20.1. INTRODUCTION

The hydraulic engineering works executed for almost four thousand years at the intersection of many civilizations, namely Anatolia, has made Turkey one of most richest and interesting open air museums in the world from the historical water structures point of view.

There are remains of many hydraulics structures built in the Central Anatolia during the Hittite period about two thousand years B.C.; in the Eastern Anatolia during the Hellenistic, Roman and Byzantine periods between 500th year B.C. and 5th century A.C.; and during Seljukian and Ottoman periods after the tenth century A.C.

20.2. HISTORICAL DAMS IN CENTRAL ANATOLIA IN THE HITTITE PERIOD

20.2.1. Karakuyu Dam in Uzunyayla

The Hittites have constructed several dams in Central Anatolia, primarily for irrigation purposes, with regard to quite dry summer period in the central parts of Turkey. It is believed that the most ancient dam in Anatolia is the Karakuyu dam, constructed by Hittites during the reign of Tudhalia IV, second half of 13, century B.C., for irrigation in Uzunyayla (Fig. 69).



Fig. 69
Layout of the 8 m high Karakuyu dam in Uzunyayla, with a total crest length of 400 m,
from 13 century B.C.

La crête du barrage en forme de U a une longueur totale de 400 m avec une partie centrale de 200 m; le parement amont du barrage semble recouvert d'un pavage en pierre. Le remblai de 8 m de hauteur du barrage de Karakuyu s'effondra probablement au cours des premières années de son existence (Fig. 70) à cause de fuites le long du conduit de vidange constitué d'une galerie en maçonnerie située au point le plus bas de l'ouvrage (Fig. 71).



Fig. 70
Vue aval du barrage de Karakuyu



Fig. 71
Ruines de l'ouvrage de fond du barrage de Karakuyu avant les fouilles

The U-shaped crest of the dam has a total length of 400 m, the central part being 200 m long; the upstream slope of the dam appears to be covered with a stone pavement. The embankment of the 8 m high Karakuyu dam was probably collapsed in early years (Fig. 70) due to seepage along the bottom outlet in form of a masonry gallery, located at the deepest point of the cross-section (Fig. 71).



Fig. 70
Downstream view of the Karakuyu dam



Fig. 71
Remains of the bottom outlet of Karakuyu dam before excavations

20.2.2. Barrage d'Eflatunpinar près de Beysehir

La levée formant un petit bassin à Eflatunpinar près de Beysehir, à 6 km au nord-est du lac Beysehi, est également considérée comme datant de la période hittite, notamment à cause de la technique de gravage du seuil de l'évacuateur (Fig. 72) et du monument à la source principale (Fig. 73), datant aussi de la seconde moitié du 13^e siècle avant J.C.



Fig. 72
Évacuateur du barrage d'Eflatunpinar



Fig. 73
Monument aux sources d'Eflatunpinar

20.2.2. Eflatunpinar Dam near Beysehir

The levee-like dam forming a small pond at Eflatunpinar near Beysehir, 6 Km to the north-east of Beysehi lake, is also regarded to date from the Hittite period, especially in view of the carving technique of the stone spillway sill (Fig. 72) as well as of the monument at the principal source of the spring (Fig. 73), dating also from the second half of 13 century B.C.



Fig. 72
Spillway of the dam at Eflatunpinar



Fig. 73
Monument at Eflatunpinar springs

20.2.3. Barrage de Koylutolu près d'Ilgin

Le barrage Koylutolu, un remblai de 900 m de long et de 20 à 30 m de haut, situé à mi-chemin entre Ilgin et Kadinhan, daterait du règne de Tudhalia IV, selon une inscription hiéroglyphique découverte à proximité.

20.2.4. Bassin Yalburt près d'Ilgin

Les eaux de source de Yalburt, à environ 20 km au nord-est d'Ilgin sont collectées dans un petit bassin rectangulaire de 12,7 m par 8,3 m et entouré de murs en maçonnerie de pierres de taille. Ce bassin est également associé au règne de Tudhalia IV (2^e moitié du 13^e siècle avant J.C.), d'après les inscriptions découvertes près des sources ainsi que sur les hiéroglyphes gravées en relief sur les parois intérieures des murs en pierres.

20.2.5. Barrage de Golpinar près de Corum

Le barrage Golpinar près d'Alacahoyuk, avec une crête de 110 m de long et une hauteur maximum de 8 m, paraît dater de l'époque hittite ; la coupe du barrage comporte un noyau en terre de 6,15 m d'épaisseur encadré des murs en pierres brutes de 4,5 m d'épaisseur à l'amont pour 3,8 m à l'aval.

20.2.6. Barrage de Guneykale à Bogazkale

Une étude récente a identifié un remblai de 2 m de haut pour 100 m de long près de la forteresse au sud de la capitale hittite, Hattusha, et qui est considéré comme un barrage créant un petit réservoir de dimensions 92 m par 65 m.

20.3. PÉRIODE URARTU

Les premiers petits barrages d'Anatolie, ont été construits pendant la période du royaume Urartu. Les Urartéens avaient développé des systèmes hydriques remarquables dans la région de Van et de l'est de l'Anatolie.

20.3.1. Barrages du lac de Kesis

Les Urartéens développèrent des systèmes hydriques très importants dans la première moitié du premier millénaire avant J.C. dans l'est de l'Anatolie, notamment dans la région de Van, principalement pour l'irrigation autour des capitales.

Le plus important ouvrage hydraulique de la période Urartu est le canal d'irrigation de Samram, long de 56 km, datant de 800 avant J.C., faisant transiter un débit de 2 à 3 m³/s depuis les sources d'Engil au sud de Van à la capitale Tushpa (Vankale) du royaume Urartu ; ce canal, avec des modifications mineures, participe toujours à un système irrigant environ 200 ha.

Pour subvenir aux besoins en eau de la dernière capitale urartéenne Rusahinili (Toprakkale) et de ses environs, la capacité de stockage du lac Rusa dut être augmentée en construisant deux barrages sur son pourtour. Le barrage principal au nord-ouest devait avoir une hauteur d'au moins 10 m, une longueur de 75 m complétée

20.2.3. Koylutolu Dam near Ilgin

The Koylutolu dam, an embankment of 900 m length and up to 25-30 m height, located halfway between Ilgin and Kadinhan, date apparently from the reign of Tudhalia IV, according to a hieroglyphic inscription discovered in its vicinity.

20.2.4. Yalburt Pond near Ilgin

The springwaters at Yalburt, about 20 Km north-east of Ilgin, were collected by a small rectangular pond of 12.7 m by 8.3 m area, formed by walls of ashlar masonry. This pond is also related to the reign of Tudhalia IV, the second half of 13 century B.C., in view of inscriptions discovered at the spring site, as well as hieroglyphic inscriptions carved in high relief on the water side of the pond's stone blocks.

20.2.5. Golpinar Dam near Corum

The Golpinar dam near Alacahoyuk, with a crest length of 110 m and a maximum height of 8 m, appear to date from the Hittite period; the cross-section of the dam consists of an earth core of 6.15 m thickness, between 4.5 m thick upstream and 3.8 m thick downstream rubble stone walls.

20.2.6. Guneykale Dam at Bogazkale

A recently survey identified 2 m high and 100 m long embankment at skirts of southern castle of the Hittite capital, Hattusha, is considered as a dam, creating a small reservoir of 92 m by 65 m surface area.

20.3. URARTU PERIOD

The first small size dams in Anatolia were constructed in the Urartu period. Urartus has developed remarkable water systems in the region of Van in the Eastern Anatolia.

20.3.1. Dams at Kesis Lake

The Urartians developed very important water systems during the first half of the I millennium B.C. in Eastern Anatolia, especially in Van area, primarily for irrigation in around their capital cities.

The most important water work of Urartu period is the 56 km long Samram irrigation canal, dating from 800 B.C. and conveying 2-3 m³/s water collected from the Engil creek springs, south of Van, to the capital city Tushpa (Vankale) of the Urartu kingdom; this canal is, with minor modifications, still in use as part of a system irrigating about 200 ha.

In order to supply water to the later urartian capital Rusahinili (toprakkale) and her environment, the volume of the Rusa lake has been increased through the construction of two dams around. The main dam to the north-west, which might have a height of at least 10 m and a length of 75 m, flanked by a low wing dam of

par un prolongement de 200 à 300 m. Il a été détruit et remplacé à 50 m à l'amont par un barrage de 5,4 m de haut, toujours en activité (Fig. 74), réalisé en pierres de tailles et maçonnerie brute avec des techniques similaires à celle de la période Urartu.

Le deuxième barrage, au sud-ouest ressemble au précédent en fermant un col vers le ruisseau Doni et empêchant l'eau de partir vers Tushpa, au lieu de se diriger vers Rusahinili. Ce barrage a 7 m de haut, une crête de 60 m de longueur environ et il est constitué d'un noyau en terre de 13 m de large encadré par deux murs en maçonnerie de 7 m de large chacun. Le conduit d'évacuation fait 0,7 m de large et 0,95 m de haut.



Fig. 74

Le barrage nord de 5,4 m du lac Kesis, à l'amont du barrage initial et évacuation inférieure

20.3.2. Barrages sur le ruisseau Doni

Deux des trois barrages, toujours en activité, sur le ruisseau Alaini (Doni) émissaire du lac Doni, datent probablement de l'époque Urartu.



Fig. 75

Barrage amont sur le ruisseau Doni

200-300 m, has been destroyed; and replaced by a 5.4 m high dam about 50 m upstream of it, being still in use (Fig. 74), constructed in ashla and rubble masonry techniques somewhat similar to that of Urartian.

The second dam, to the south-west, looks like an original one, closing the saddle towards Doni creek, preventing the waters to flow in the direction of Tushpa, instead of Rusahinili. This dam is up to 7 m high; has a crest length of about 60 m; consists of an earth core of 13 m, width, between two outer masonry walls of 7 m width each. Its bottom outlet is 0.7 m wide and 0.95 m high.



Fig. 74
The 5.4 high northern dam at Kesis lake, upstream of the initial dam site, and discharge from the bottom outlet

20.3.2. Dam on Doni Creek

Two of the three dams, still in use, at the outflowing creek Alaini (Doni) from Doni lake date most likely back to the Urartu period.



Fig. 75
Upstream dam on Doni creek

20.3.3. Barrage près de Muradiye

Un petit barrage de 5 m de hauteur, près de Muradiye est également considéré comme datant de la période Urartu, compte tenu de la méthode de construction similaire à celle du barrage de Kesis.

20.3.4. Barrage près d'Adilcevaz

On trouve les ruines d'un barrage de 57 m de longueur de crête, constitué de deux murs extérieurs en maçonnerie de 3 m de large, d'un mur central en maçonnerie de 3,5 m de large, et de deux noyaux en terre de 3 et 4,5 m de large de part et d'autre du mur central, à 60 km au nord-ouest d'Adilcevaz. Il n'est pas certain qu'il s'agisse de la conception d'origine ou que cela résulte de travaux ultérieurs de réparation.

20.4. PÉRIODES BYZANTINES

20.4.1. Barrage de Cevlik près d'Antakya

Les ruines de plusieurs systèmes de transport d'eau sur de longues distances qu'on trouve en Turquie, notamment de l'époque romaine, sont mondialement connues. Dans quelques cas, une même cité était alimentée par plusieurs systèmes importants de transport comme à Pergamon, Ephèse et Izmir.

Parmi eux, figurent le plus long système hydrique de l'ère romaine avec une longueur de 240 km de Pinarhisar à Istanbul, le siphon inversé en tuyau de plomb sous la plus grande pression au monde de la période hellénique (avec 195 m sur le tronçon de Madradag à Pergamon), le siphon inversé en pierre sous la plus grande pression au monde (avec 155 m sur le tronçon Karapinar à l'antique Smyrna (Izmir), le deuxième plus haut aqueduc de l'époque romaine de 40 m traversant Karkassos sur le trajet de Kaikos à Pergamon.

Le plus vieux barrage anatolien connu de cette période est celui de Çevlik, de 16 m de haut, 5 m de largeur en crête et 49 m de longueur de crête, détournant la rivière dans un réseau souterrain pour prévenir la sédimentation du vieux port de Seleuceia Pieria. La construction de ce système comportant le barrage, un court canal d'amenée, le premier tunnel, un petit canal intermédiaire, le deuxième tunnel et un long canal de fuite fut entreprise au premier siècle sous le règne de Vespasianus (69-79), se poursuivit sous celui de son fils Titus (79-81) et de plusieurs successeurs et se termina au deuxième siècle sous le règne d'un autre empereur romain Antonius Pius comme l'indique une pierre gravée dans le canal aval.

La débitance du tunnel est de 150 m³/s pour un coefficient de frottement $n = 0,050$ tenant compte du fait que le tunnel est au rocher. La comparaison de cette débitance avec les pointes de crues associées à un bassin versant de 13 km² et estimées par les méthodes modernes de l'hydrogramme unitaire montre que cela correspond à des crues de 1 200 ans de période de retour. La débitance des sections en canal ouvert est de 75 m³/s, correspondant à des crues de seulement 250 ans de période de retour.

20.3.3. Dam near Muradiye

A small dam of 5 m height near Muradiye is also considered to date from the Urartu period, with regard to the construction technique similar to that of Kesik dam.

20.3.4. Dam near Adilcevaz

The remains of a dam with 57 m crest length, consisting of two outer masonry walls of 3 m widths, a central masonry wall of 3.5 m width, and two earth cores of 3 m and 4.5 m on both sides of the central wall, exist 60 km north-west of Adilcevaz; It is not clear, whether this was the original concept of the dam, or due to a later repair work.

20.4. BYZANTINE PERIODS

20.4.1. Cevlik Dam near Antakya

Remains of several long- distance water conveyance systems in Turkey, especially from Roman times, are of universal importance. In some cases, a city was served by several noticeable conveyance systems, such as Pergamon, Ephesus, Izmir.

These systems include the longest water conveyance system of the Roman period, with 240 Km from Pinarhisar to Istanbul; the lead pipe inverted siphon under the largest pressure in the world of the Hellenistic period, with 195 m on the Madradag conveyance to Pergamon; the stone-pipe inverted siphon under the largest pressure in the world, with 155 m on the Karapinar water conveyance to ancient Smyrna (Izmir); the second highest aqueduct of Roman times, with 40 m crossing Karkassos on the Kaikos conveyance to Pergamon.

The earliest known dam of these period on Anatolian soil, is the Çevlik dam, of 16 m height, 5 m crest width and 49 m crest length, diverting the creek into a tunnel system in order to prevent the siltation of the antique harbour of Seleucia Pieria. The construction of this system, consisting of dam – short approach channel – tunnel I – short intermediary channel – tunnel II – long discharge channel, began in 1st century A.D. during the reign of Vespasianus (69-79 A.D.), continued under his son Titus (79-81 A.D.) and several successors, completed in 2nd century A.D. during the reign of another Roman emperor, Antonius Pius. A rock-carved inscription in the downstream channel that of Antonius.

The tunnel capacity is computed as 150 m³/s under the assumption of a friction factor of $n = 0,050$, taking into account that conduit is excavated in rock. The comparison of this capacity to flood peak discharges from the 13 km² drainage area, estimated by modern synthetic unit hydrograph methods, showed that it corresponds to a peak flood discharge with average recurrence interval of 1200 years. The capacity of the open channel section is computed as 75 m³/s, so that this corresponds to a peak flood discharge with average recurrence interval of only 250 years.

En plus de système souterrain de Çevlik, il existe en Turquie plusieurs systèmes très intéressants avec des conduits enterrés, comme celui des conduits jumeaux de Pergamon, l'un des plus grands de ce type au monde avec une section transversale en forme de fer à cheval de 7,5 m de haut pour 9 m de large, ou le conduit simple de Nysa près d'Ephèse de plus petite dimension.

20.4.2. Barrage de Çavdarhisar près de Kutahya

L'ancien barrage de Çavdarhisar près de Kutahya a vraisemblablement été construit pour protéger la cité voisine d'Aizanoi contre les crues ; il pourrait aussi avoir été utilisé pour l'irrigation. Il a une hauteur de 10 m, et sa crête de 80 m de longueur a un tracé légèrement courbe. Un barrage en remblai moderne a été construit juste à l'amont.

Comme les barrages romains traditionnels, le barrage de Çavdarhisar est constitué d'un remplissage en opus-caementitium, le béton des romains, de 5 m de large entre des murs amont et aval formés de blocs rectangulaires en calcaire d'un mètre de long et de section quasiment carrée de 0,6 à 0,7 m de côté.

20.4.3. Barrage d'Orukaya près de Çorum

L'ancien barrage d'Orukaya près de Çorum, d'une hauteur de 16 m et 40 m de longueur de crête était vraisemblablement destiné à l'irrigation. Le réservoir créé par le barrage, d'environ 400 000 m³, est totalement comblé par les sédiments et un nouveau petit barrage en remblai (Orukaya goleti) a été construit juste à l'amont. La construction d'Orukaya est tout à fait similaire à celui de Çavdarhisar avec un noyau en opus-caementitium entre deux murs en blocs calcaires ; de plus, il y a des indices d'une liaison des blocs de pierre par des ancrages en acier.

Les dimensions du barrage d'Orukaya, dont la section rectangulaire a 5 m de large pour 16 m de haut, apparaissent insuffisantes au regard des critères actuels de dimensionnement des barrages-poids. Le barrage a cependant résisté aux sollicitations extérieures sans se rompre depuis presque 2 000 ans, probablement du fait de la faible longueur de la crête et de l'augmentation de la résistance apportée par les appuis.

20.4.4. Barrage de Boget près de Nigde

Le barrage de Boget près de Nigde a été construit pour alimenter en eau la cité de Mustilla (Misli). Il est formé d'un seuil de 4 m de hauteur et de 300 m de longueur comme indiqué à la Fig. 76.

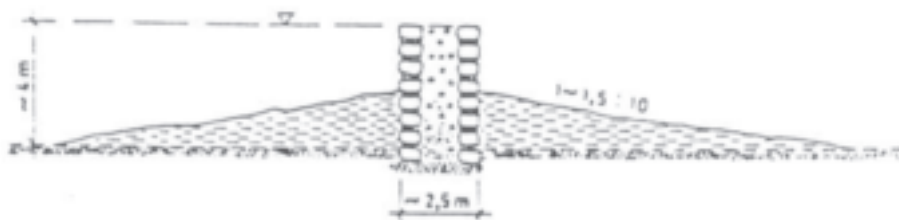


Fig. 76

Section du barrage Boget de 4 m de haut près de Nigde, d'une longueur de crête de 300 m

Beside the real tunnel system of Çevlik, there are very interesting tunnel-like conduits covering the creeks in Turkey, such as the twin-conduits of Pergamon, being the largest of its kind in the world, with simple horse-shoe cross-sections of 7.5 m height and 9 m width, and the single conduit in Nysa, as well as that near Ephesus, with lesser dimensions.

20.4.2. Çavdarhisar Dam near Kutahya

The ancient Çavdarhisar dam near Kutahya has been probably built to protect the nearby city Aizanoi from floods; it might have also served for irrigation, the dam has a height of 10 m and the 80 m long crest is slightly curved in layout. A modern embankment dam has been constructed just upstream of the ancient one.

Like typical Roman dams, Çavdarhisar is constructed by filling with opus-caementitium, the roman concrete, the roughly 5 m wide space between upstream and downstream walls, made of rectangular limestone blocks of about 1 m length and almost square cross-section with 0.6 - 0.7 m side lengths.

20.4.3. Orukaya Dam near Çorum

The ancient Orukaya dam near Çorum, with 16 m height and 40 m crest length, has been probably built for irrigation purpose. The reservoir of the ancient Orukaya dam, about 400 000 m³, is completely filled by sediment, and a new small embankment dam (Orukaya goleti) has been constructed just upstream of it. The construction of Orukaya is quite similar to that of Çavdarhisar, with an opus-caementitium core between two limestone walls; furthermore, there are indices that the stone blocks are tied to each other by iron anchors.

The dimensions of Orukaya dam, having a rectangular cross-section with about 5 m width and 16 m height, appears to be insufficient with regard to actual criteria for gravity dams. The dam has, however, withstood external forces without collapsing for almost two millennia, probably due to the relative short crest length enabling an increased resistance created at the abutments.

20.4.4. Boget Dam near Nigde

Boget dam near Nigde has been built for water supply to the city Mustilla (Misli) like a weir of 4 m height and 300 m crest length, as showed in Fig. 76.

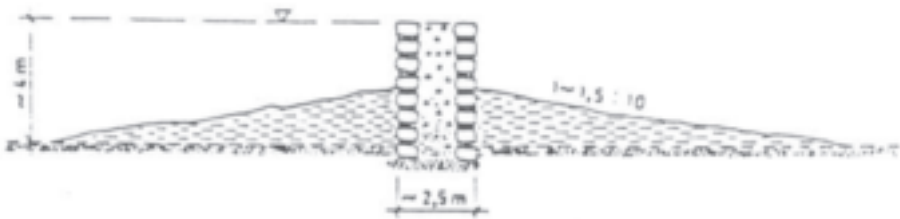


Fig. 76
Cross section of the 4 m high Boget dam near Nigde, with 300 m crest length



Fig. 77

Barrage de Boget de 4 m de haut, datant du II^e siècle; longueur de crête = 300 m

La structure, d'une largeur totale en crête de 2,5 m, est constituée d'un noyau en opus-caementitium entre deux murs en pierre, épaulés à l'amont et à l'aval par des remblais pentés à 1 – 1,5 pour 10. C'est le précurseur de tous ces barrages construits à l'époque romaine, notamment au premier et deuxième siècle de notre ère, bien que la datation de la construction ne soit pas précise.

20.4.5. Barrage d'Ildir près de Çesme

Les vestiges du mur partiellement détruit de la cité d'Erythrai près Çesme, largement recouvert de calcite sont parfois considérés comme ceux d'un barrage sur la source alimentant le ruisseau dans les parties basses de l'ancienne cité.

20.4.6. Barrages de Dara près de Mardin

Le premier des trois barrages de Dara près de Mardin, construit pendant le règne de Justinianus (527-565), serait considéré comme un des plus anciens barrages-voûtes du monde, si on s'en tient à la description par Procopius de la construction du barrage par les Chryses; cependant des investigations de terrain indiquent un tracé plutôt en ligne brisée que courbe.

Le barrage de Dara I, situé juste avant l'entrée de la rivière dans l'enceinte de la cité, devait avoir une hauteur comprise entre 4 et 5 m. Les ruines se trouvent vers la rive gauche (40 + 16 m) et la rive droite (31 + 38 m) et il manque la partie centrale de 60 à 70 m de long. Le barrage de Dara II, implanté 100 m à l'amont du premier, présente des caractéristiques identiques mais sa hauteur devait être limitée à 2 m à 2,5 m; il devait servir à l'irrigation alors que le premier servait, selon Procopius, à la



Fig. 77

The 4 m high Boget dam, from 2 century A.D.; with a crest length of 300 m

The Structure with a total crest width of 2.5 m consists of an opus-caementitium core between two stone walls, further supported both on the upstream and downstream sides by embankments of 1 - 1.5: 10 slope. It is anticipated that all these dams were built on the Roman period, especially in 1st and 2nd centuries A.D., although the timely sequence of their construction is still not clear.

20.4.5. Ildir Dam near Çesme

The remains of a partly destroyed of the city wall of Erythrai near Çesme heavily encrusted by calcium carbonate, is considered either as a dam on the water of the spring feeding this creek to the lower parts of the ancient city.

20.4.6. Dara Dams near Mardin

The first of the three Dara dams near Mardin, constructed during the reign of Justinianus (527-565), is considered as one of the most ancient arch dams of the world, with regard to the description of Procopius on the construction of the dam by Chryses; however, later field investigations indicated that the alignment might not be curved, but was rather a broken line.

The Dara I dam, located just before the creek enters the city walls; had probably a height of 4 - 5 m. The remains belong to the left (40 + 16 m) and right (31 + 38 m) abutments, whereas the central 60 - 70 m long section is missing. The Dara II dam, 100 m upstream of the first one, shows similar construction characteristics, but had probably a height of only 2 - 2.5 m; its purpose appear to be irrigation, whereas the first one was built for flood protection, as reported by

protection contre les crues. Il avait aussi un barrage de Dara III sur un petit ruisseau au nord-est de la cité avec une longueur de 66 m et une hauteur probablement supérieure à 5 m. Il devait permettre de se protéger contre les crues et fournir de l'eau pour des citernes construites à l'aval.

20.4.7. Barrage de Lostugun près d'Amasya

Le barrage en remblai de Lostugun près d'Amaseia, construit pour l'irrigation, comportant deux parties de 60 m et 70 m de longueur pour 12 m de hauteur et une largeur de crête de 20 m, daterait des périodes byzantines, voire ottomanes.

Les pentes amont et aval du remblai sont de l'ordre de 1 pour 2. Les deux parties du barrage sont séparées par un monticule calcaire au centre de la vallée. Un tunnel de 1 m² de section traverse ce rocher et semble avoir servi comme évacuateur de crues.

20.4.8. Barrage de Sihke près de Van

L'ancien barrage de Sihke, de 7,2 m de hauteur, formant le lac Sihke, alimenté également par un canal d'amenée à l'exutoire du lac Kesis daterait de la seconde moitié du premier millénaire, plutôt que de la période du royaume Urartu.

20.4.9. Barrage Sultan près de Van

Le premier barrage sur l'exutoire du lac Sultan semble dater de la même période.

20.4.10. Barrage de Faruk près de Van

Le barrage de Faruk près de Van, sur l'exutoire du lac Kesis avec une hauteur de 12 m et une crête de 30 m de longueur a été probablement construit pour l'irrigation des terres situées à l'aval (Fig. 78). Le barrage a un noyau en opus-caementitium entre deux murs en pierres. Les pierres du mur amont sont plus grandes et mieux taillées que celles du mur aval.

La moitié gauche du barrage s'effondra en 1988 (Fig. 79) en découvrant un grillage en branches d'arbres espacées de 0,75 m. Une datation du bois au carbone 14 fait remonter son origine entre 1760 et 1850.

La date de construction du barrage en maçonnerie de Faruk est parfois rattachée à la période Urartu mais son emplacement et sa composition indiquent une période plus récente ; l'hypothèse d'une construction dans la seconde moitié du premier millénaire, comme d'un type romain ou byzantin de la dernière période, paraît la plus vraisemblable. Il pourrait aussi dater des 10^e au 14^e siècles comme les barrages iraniens ; son classement comme barrage de la période ottomane des 18^e ou 19^e siècle est moins vraisemblable si on le compare aux autres barrages ottomans et le grillage en bois doit être considéré comme provenant d'une réparation à la période mentionnée ci-dessus.

Procopius. There is also a Dara III dam, on a small creek outside the north-western part of the city walls; with a crest length of 66 m and a probable height up to 5 m. The purpose might be flood protection and water supply for low lying cisterns.

20.4.7. Lostugun Dam near Amasya

Lostugun embankment dam near Amaseia, constructed for the purpose of irrigation, consisting of two parts of 60 m and 70 m crest lengths, with 12 m height and 20 m crest width, may date from Byzantine or even from Ottoman periods.

The upstream and downstream slopes of the embankment appear to be both in the order of 1:2. The two parts of the dam are separated by a limestone mound in the center of the valley; and a tunnel of about 1 m² cross-section through this rock, served as an apparently under designed spillway.

20.4.8. Sihke Dam near Van

The 7.2 m high ancient Sihke dam, forming the Sihke lake, fed also by a canal diverting water from the outflow of Kesis lake, appear to date from the second half of the 1st Millennium A.D., rather than the Urartu period.

20.4.9. Sultan Dam near Van

The first dam on the out flowing creek from Sultan lake appears also to date from the same period.

20.4.10. Faruk Dam near Van

Faruk dam near Van, on the out flowing creek from Kesis lake, with a height of 12 m and a crest length of 30 m, was probably built for irrigation of lower laying areas (Fig. 78). The dam has a core of opus-caementitium between two stone walls. The stones of the upstream wall are larger and better cut than those of the downstream wall.

The left half of the dam collapsed in 1988 (Fig. 79); and a wooden grid of tree branches, apparently laid with 0.75 m intervals has been revealed after the collapse. C-analysis of the wood resulted in a date of origin of 1760 to 1850.

The construction date of the masonry Faruk dam is sometimes assumed as the Urartu period, but its location and composition indicate a later period; the assumption of the second half of the 1st Millennium A.D., as a late Roman or Byzantine dam appears to be more likely; it might also date from the 10th to 14th centuries A.D. like the dams in Iran; the dating as an Ottoman dam of 18th - 19th centuries appears less likely, when compared to other Ottoman dams, and the wooden grid should be considered as a reinforcement measure at the period mentioned above.



Fig. 78
Vue aval du barrage de Faruk de 12 m de haut pour 30 m de long
(avec la moitié rive gauche, à la droite de la photo, effondrée en 1988) près de Van



Fig. 79
Barrage de Faruk après l'effondrement de la rive gauche



Fig. 78
Downstream view of the 12 m high Faruk dam, with 30 m crest length
(left abutment half of it, to the right-hand side of the picture, collapsed in 1988) near Van



Fig. 79
Faruk dam, after the collapse of the left abutment half

21. ANCIENS BARRAGES AUX ÉTATS-UNIS

Les premiers réservoirs connus de ce que sont aujourd'hui les États-Unis d'Amérique ont été construits il y a plus de mille ans par les anciens peuples Pueblo au sud-ouest des USA. Ces peuples étaient dénommés « les anciens » ou Anasazi par les indiens Navajos. Quatre réservoirs Anasazi, construits entre 750 et 1180, ont fait récemment l'objet de fouilles dans le parc national de Mesa Verde au sud du Colorado (Wright, 2003) [13]. Ces réservoirs ont, pendant plus de 400 ans, servi de captage de secours et de stockage d'eau pour alimenter une communauté prospère.

Les réservoirs Anasazi étaient à l'origine construits par creusement en fond de vallée ou sur des plateaux pour capter les faibles écoulements de surface après des épisodes de pluie ou de fonte de neige. Au fur et à mesure de leur remplissage par les sédiments, ils étaient partiellement curés, les produits de curage étant déposés sur le pourtour des bassins en créant ainsi de petits barrages élevant le niveau du réservoir au-dessus de celui des sédiments. Le barrage du réservoir de Far View (Fig. 80) fut surélevé par une double berme en terre aux parements recouverts de rochers à 2,5 m au-dessus du niveau des sédiments. Des fouilles archéologiques ont montré qu'un niveau ancien de sédiments du réservoir Morefield était 6,4 m plus haut que le niveau initial du fond de la retenue. On pense que le réservoir Morefield a été utilisé pendant 350 ans avant son abandon. Comme le niveau du fond du réservoir s'élevait à cause des sédiments, les ouvrages de dérivation devaient être modifiés et des canaux d'amenée réalisés en utilisant des digues.



Fig. 80
Barrage et réservoir Anasazi (ancien peuple américain)

21. ANCIENT DAMS IN THE UNITED STATES

The earliest known reservoirs in (what is now) the United States of America were built over a thousand years ago by ancestral Puebloan people of the southwestern U.S.A. These people are referred to as the Anasazi or “ancient ones” by Native American Navajos. Four Anasazi reservoirs, built between A.D. 750 and 1180, were recently explored and documented at Mesa Verde National Park in southern Colorado, U.S.A. (Wright, 2003) [13]. These reservoirs served as critical catchments and storage facilities for water that supported a thriving community in this semi-arid area for over 400 years.

The Anasazi reservoirs were initially constructed as excavated depressions across valley bottoms and on mesa tops to catch the sparse surface runoff from snowmelt and precipitation events. As the ponds filled with sediment, they would be partially dredged, with the spoil placed around the edges to create low dams and raise the reservoir elevations above the sediment levels. The dam at Far View Reservoir (Fig. 80) was raised as a double rock-walled earth berm that was maintained about 2.5 meters above the sediment elevation. Archeological investigations found that one remnant sediment mound, called Morefield Reservoir, was over 6.4 meters high above the original pond bottom elevation. Morefield Reservoir was estimated to have been in operation for over 350 years before it was abandoned. As the reservoir bottom elevations rose due to sediment accumulation, diversion structures would be relocated up-gradient in the drainages, and supply canals would be constructed using berms.



Fig. 80
Anasazi (ancient Native American) dam and reservoir

Les réservoirs Anasazi ont été construits entre 750 et 1180 pour fournir de l'eau à usage domestique dans un environnement semi-aride. Le bassin de Far View déjà cité comportait une digue en terre avec des murs en enrochement. D'autres réservoirs de cette région étaient constitués de retenues creusées, complétées par de petits barrages en terre. Les remblais étaient périodiquement surélevés par les sédiments dragués dans la retenue.

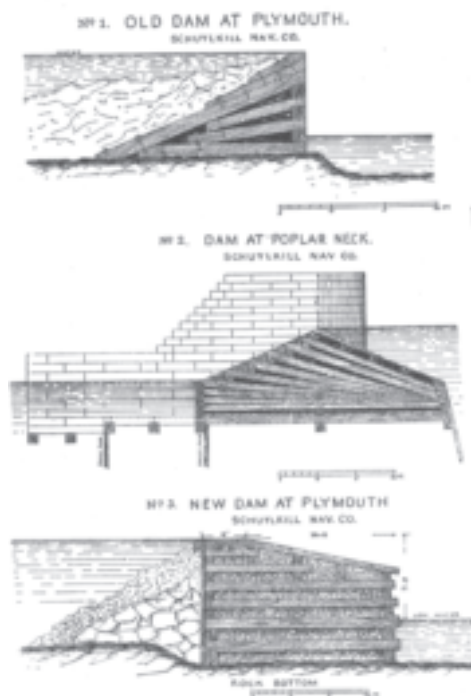


Fig. 81

Exemples de barrages en bois construits au nord-est des États-Unis, à l'origine pour alimenter en énergie des moulins et pour la navigation fluviale

Plusieurs techniques européennes de construction de barrages furent importées en Amérique après la découverte et la colonisation du Nouveau Monde. Des immigrants du nord de l'Europe construisirent des barrages pour fournir de l'énergie à des scieries et à des moulins à farine et pour faciliter la navigation. Les barrages en rondins étaient le mode habituel de construction entre le début du 17^{ème} siècle et le milieu du 19^{ème} siècle, comme le montrent les barrages de la Fig. 81.

Au dix-huitième siècle, la construction de barrages au sud-ouest des USA était majoritairement d'influence espagnole. Le but premier de ces ouvrages était de fournir de l'eau pour l'irrigation et l'usage domestique des missions jésuites dans les états de Californie, Texas, Arizona et Nouveau Mexique. De nombreux barrages jésuites étaient des barrages de dérivation, à contreforts, en maçonnerie et mortier. Le barrage d'Old Mission (Fig. 82) construit sur la rivière de San Diego en 1770 est représentatif de ces ouvrages de dérivation, typiquement de 2 à 5 mètres de haut.

Anasazi (ancient Native American) reservoirs were constructed between A.D. 750 and 1180 to provide domestic water supply in a semi-arid environment. Far View Reservoir (shown) was built using a double rock-walled earth berm. Other reservoirs in the area impounded surface water runoff using excavated depressions and low earth berms constructed across ephemeral drainages. The berms were periodically raised by dredge spoil from the accumulated sediments.

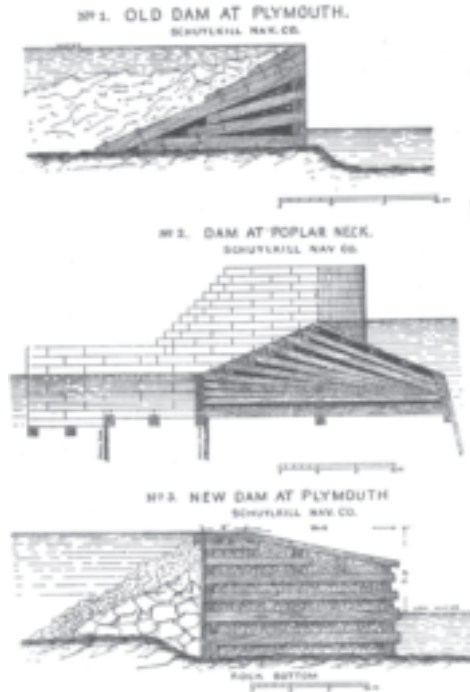


Fig. 81
Examples of timber crib dams used in the northeastern U.S.A., primarily for water power to run mills and for river navigation

Various European dam-building techniques were imported to the Americas following the discovery and colonization of the New World. Northern European immigrants in the northeastern U.S. built dams primarily for hydropower to run sawmills and grist mills, and to facilitate river navigation. Timber crib dams were the predominant construction type in the period between the early-17th and mid-19th centuries, such as the dams shown in Fig. 81.

Eighteenth-century dam building in the southwestern U.S.A. was dominantly Spanish influenced. The primary purpose of dams in the southwestern region at the time was to supply water for agricultural irrigation and domestic use for the Jesuit missions in the states of California, Texas, Arizona, and New Mexico. Many of the Jesuit dams were buttress-type diversion dams, constructed of masonry and mortar. The Old Mission Dam (Fig. 82) that was constructed across the San Diego River in 1770 is representative of these irrigation diversion structures, which were typically 2 to 5 meters high.



Fig. 82
Barrage d'irrigation d'Old Mission près de San Diego, Californie, USA,
en maçonnerie et mortier datant de 1770 dans la mission jésuite de San Diego

Le Tableau 12 donne les caractéristiques de quelques uns des plus vieux petits barrages construits aux USA.

Tableau 12
Histoire des premiers petits barrages aux USA [10], [11], [12]

Époques de construction	Nom du barrages/ Situation	Type de barrage	Utilisation	Hauteur (m)
750–1180	Anciens barrages pueblos de Mesa Verde/ Sud-Ouest des U.S.A.	3 remblais en sédiments dragués, 1 remblai en terre à revêtement en pierres	Usage domestique	2 – 6,5
1620–1630	Premiers barrages de Nouvelle Angleterre/ Nord-est des U.S.A.	Rondins de bois	Énergie pour des scieries et moulins à grains	3 – 4,5
1750–1770	Barrages de dérivation des missions jésuites/Sud-ouest des U.S.A. et cotes de la Californie	Maçonnerie	Irrigation et usage domestique	2 – 5
1819–1858	Barrages de la rivière Schuylkill/ Pennsylvanie	Rondins de bois/Terre/Rocher	Alimentation en eau et navigation	5 – 9
1830–1840	Barrage Croton / New York	Maçonnerie	Alimentation en eau de la ville de New York	15



Fig. 82

Old Mission Dam near San Diego, California, U.S.A.,
 an irrigation diversion dam constructed of masonry and mortar in 1770 for the San Diego Jesuit Mission

Table 12 summarizes some of the oldest known small dams built in the U.S.

Table 12
 History of Early Small Dams in the U.S.A. [10], [11], [12]

Years Built	Dam Names/Locations	Typical Dam Type	Purpose	Height (m)
750 –1180	Mesa Verde Ancient Puebloan Reservoirs/ Southwestern U.S.A.	3 dredged sediment earth berms and 1 stone walled-earth berm	Domestic water supply	2 – 6.5
1620's–1630's	New England early dams/ Northeastern U.S.A.	Timber crib	Water power for sawmills and grist mills	3 – 4.5
1750's–1770's	Jesuit mission diversion dams/ Southwestern U.S.A. and coastal California	Masonry	Irrigation and domestic water supply	2 – 5
1819–1858	Schuylkill River Dams/ Pennsylvania	Timber crib, earth/rock	Water supply and river navigation	5 – 9
1830's – 1840's	Croton Dam/ New York	Masonry	Water supply for New York City	15

22. RÉFÉRENCES / REFERENCES

- [1] BÉRINGER (1644) – “The Pernambuco Port and the City of Recife”, *Dag. Notule de 03/12/44, sit.*, p. 202.
- [2] BREZNIK, M. (1984) – “The Safety and Endurance of the Old Dams of Idrija”, *Proc. of the International Conference on Safety of Dams, Coimbra, Portugal*.
- [3] DUBRAVIUS, J. (1906) – “Buch von den Teichen und Fischen ... (lateinisch) Verlag Andreas Winker Breslau, 1547. Übersetzt u. bearbeit von A. Wustner + J. Jollmann, Verlag d.k.k. Österreich. Fischereigesellschaft Wien.
- [4] FRANKE, P. (2001) – “Dams in Germany”, Published by the German Committee on Large Dams, Verlag Gluckauf Gmgh, Dresden.
- [5] GONÇALVES DE MELLO, J.A. (1979) – “Flamengos’s Time”, 2nd edition, Recife, pp 98 e 99.
- [6] KINSTLER, F. (1998) – “Dams in Early Australia”, The Institution of Engineers, Proc. National Conference on Engineering Heritage, Ballarat, Victoria, Australia.
- [7] KNCLD (2004) – “History of Dam Construction”, Korea & Dams, Korea Water Resources Corporation, May/04.
- [8] PIRCHER, W. (1991) – “The History of Dam Construction in Austria”, Dams in Austria, Published by Austrian National Committee on Large Dams, Vienna.
- [9] QUINTELA, A.C., PINHEIRO, A.N., MIRANDA, J.C. (1993) – “Catálogo Anotado de Documentos Seleccionados”, Instituto da Água, Lisbon, Portugal.
- [10] SCHNITTER, N.J. (1994) – “A History of Dams – The Useful Pyramids”, A.A.Balkema, Rotterdam, Brookfield.
- [11] SCHUYLER, J. D. (1909) – “Reservoirs for Irrigation, Water Power and Domestic Water Supply”, J. Wiley & Sons, 2nd ed.
- [12] SMITH, N. (1921) - “A History of Dams,” The Chaucer Press, Peter Davies, London, U.K.
- [13] WEGMANN, E. (1927) – “The Design and Construction of Dams”, J. Wiley & Sons, 8th ed.
- [14] WRIGHT, K. R. (2003) – “Water for the Anasazi, How the Ancients of Mesa Verde Engineered Public Works”, *Essays in Public Works History Number 22*, Todd Shallat, Ed., Boise State University, Boise, ID 83725, USA.

Imprimerie de Montligeon
61400 St Hilaire le Châtel
Dépôt légal : Novembre 2012
N° 25925
ISSN 0534-8293



INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS
COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES
61, avenue Kléber, 75116 Paris
Téléphone : (33-1) 47 04 17 80 - Fax : (33-1) 53 75 18 22
<http://www.icold-cigb.org/>