

COMMISSION INTERNATIONALE
DES GRANDS BARRAGES

VINGT ET UNIÈME CONGRÈS
DES GRANDS BARRAGES
Montréal, juin 2003

OPTIMISATION DES BARRAGES EXISTANTS (*)

S. CHEVALIER

J. RAYSSIGUIER

Hydroplus International

FRANCE

1. INTRODUCTION

La construction de nouveaux barrages soulève de plus en plus d'interrogations au sein d'une partie de l'opinion publique. Les recommandations faites par la World Commission on Dams dans son rapport de novembre 2000, suite à l'enquête et aux études qu'elle a menées, donnent un aperçu des difficultés auxquelles va se heurter le lancement de la plupart des nouveaux projets, surtout si des financements multilatéraux sont recherchés.

Toute alternative qui n'aurait pas ou peu d'impact sur l'environnement, et qui n'entraînerait pas les contestations sociales et politiques que connaissent les nouveaux ouvrages, prend une valeur nouvelle dans le contexte actuel.

L'optimisation des barrages existants par le procédé des hausses fusibles, lorsqu'elle est techniquement réalisable, constitue une alternative intéressante à la construction de nouveaux ouvrages, car elle a un faible impact sur l'environnement et n'engendre pas de déplacements de populations locales.

En effet, cette alternative n'entraîne généralement pas de rehausse du niveau des Plus Hautes Eaux Exceptionnelles. La zone d'emprise du barrage et

(*) *Optimization of existing dams.*

de son réservoir reste donc inchangée, évitant ainsi tout bouleversement sévère de l'environnement local.

À ce titre, l'expérience menée par l'État du Gujarat en Inde est intéressante et exemplaire : la surélévation du niveau de retenue normale de 13 barrages au moyen d'un système de hausses fusibles lui a permis d'augmenter rapidement de 50 000 hectares son périmètre irrigué sans affecter l'environnement de ces ouvrages.

2. EXPÉRIENCE MENÉE PAR HYDROPLUS DANS L'ÉTAT DU GUJARAT

2.1. CONTEXTE LOCAL

Avec un territoire de 196 000 km², le Gujarat représente 6 % du territoire indien. Sa population, rurale à 63 %, est estimée à 52 millions d'habitants, soit 5 % de la population totale indienne. Les projections les plus optimistes font apparaître un accroissement de la démographie de l'ordre de 25 % sur les 10 prochaines années. Les besoins en eau des populations locales croissent à un rythme encore plus soutenu du fait principalement de nouveaux besoins industriels. D'autre part, bien que le Gujarat soit plus fortement industrialisé que les autres États indiens, l'agriculture représente encore près de 70 % de son PIB. L'économie de cet État reste donc très fortement liée aux performances de son agriculture et, par conséquent, aux caprices de la mousson. Dans un rapport intitulé « cultures et pénuries alimentaires », la FAO rapporte que 10 millions de personnes ont souffert de pénuries d'eau en 2000 au Gujarat.

Les barrages constituent la clef de voûte du système d'irrigation et d'approvisionnement en eau potable du Gujarat. Ils permettent de stocker une partie des pluies concentrées de juillet à septembre et de les redistribuer durant le reste de l'année. Avec un parc de 526 barrages enregistrés en 1998, dont 96 % à vocation d'irrigation, le Gujarat possède le 1^{er} parc de barrage indien par km² représentant un stockage total de 28 329 hm³. 412 barrages ont une capacité inférieure à 10 hm³. Ce parc se compose de 126 barrages inférieurs à 15 m, 360 barrages compris entre 15 et 30 m et 40 barrages de plus de 30 m. Plus de la moitié des barrages est équipée d'un évacuateur de crue libre.

Face à sa démographie galopante et à l'envasement des réservoirs existants, le Gujarat, pour accroître sa production agricole, doit stocker d'ici dix ans 708 hm³ supplémentaires s'il ne souhaite pas voir se dégrader encore la situation actuelle.

La construction de grosses infrastructures hydrauliques devient de plus en plus difficile à réaliser. Le gouvernement du Gujarat garde à l'esprit les

confrontations fortes avec les populations locales lors de la construction du barrage de Sardar Sarovar.

Il s'oriente donc aujourd'hui vers une gestion optimisée de son parc de barrages existants.

2.2. REHAUSSE DE 12 BARRAGES

Description technique

Les barrages de Chhaparwadi, Kakdiamba, Chopadvav, Sonmati, Dhatarwadi, Demi-1, Patadungr, Bangawadi, Karad, Sorthi, Edalwada et Machhanala, construits entre la fin des années cinquante et le début des années quatre-vingt, sont des barrage-poids en terre d'une vingtaine de mètres de hauteur et de plusieurs kilomètres de long. Un premier contrat entre HYDROPLUS et le Gouvernement du Gujarat pour la rehausse de 4 barrages a été exécuté à partir de juillet 1997. Les travaux ont été intégralement réalisés avant fin 1998. Fort de ce succès, un deuxième contrat pour la rehausse de 8 barrages supplémentaires a été signé en décembre 1998. Il est en cours d'achèvement.

Une expertise minutieuse a été réalisée à la suite du violent séisme (magnitude de 7,6 sur l'échelle de Richter) qui a frappé le nord-ouest du Gujarat en janvier 2001. Celle-ci a montré que les rehausses, installées sur quatre barrages situés à moins de 80 km de l'épicentre : Bhuj, n'ont subi aucun dommage. Ce bon comportement s'explique par le fait que les rehausses sont simplement posées sur les seuils des barrages.

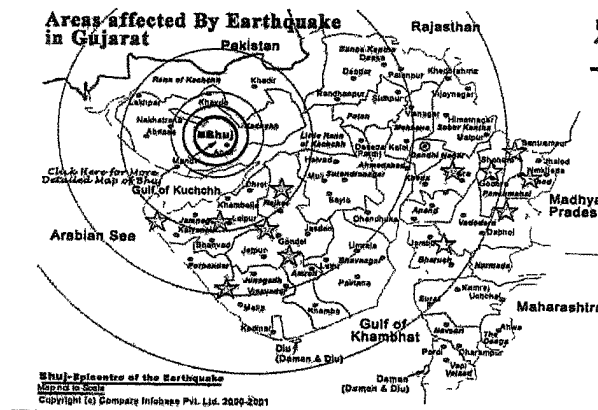


Fig. 1
Territoires affectés par le séisme de janvier 2001
Areas affected by the January 2001 earthquake

Les 12 barrages ont été équipés de :

- 252 hausses labyrinthes en acier galvanisé de 1,00 m, 1,10 m, fabriquées en France et acheminées par bateau,
- 66 hausses labyrinthes en acier de 2,00 m de hauteur recouvertes d'une protection anti-corrosion, et 502 hausses labyrinthes en béton de 1,00 m et 1,60 m construites localement.

Le gain de stockage fourni par ces rehausses est égal à 27 % du volume utile initial des réservoirs.



Fig. 2
Barrage de Sonmati équipé de hausses fusibles
Sonmati dam equipped with fusegates

Impacts sociaux et environnementaux

Ces projets ont recueilli le consentement des populations locales, des élus et des autorités gouvernementales. Celui-ci s'explique en grande partie par les efforts importants consentis pour introduire les projets auprès des chefs de villages et des élus locaux. Ces derniers se sont appropriés les projets et ont su les expliquer aux populations locales ainsi qu'aux représentants religieux.

L'installation des hausses HYDROPLUS a permis une augmentation de la capacité de stockage des réservoirs de ces 12 barrages d'environ 54,4 hm³ la faisant passer à 258,74 hm³. Elle permet ainsi de cultiver 8 826 ha supplémentaires, tout en augmentant la quantité d'eau disponible par hectare cultivé et en améliorant l'alimentation en eau potable de 144 villages. Les bonnes années, l'augmentation de la production agricole annuelle s'élève à 17 427 tonnes. Ce projet n'a impliqué aucun déplacement de population, le

niveau des plus hautes eaux restant inchangé avant et après mise en place des rehausses. Pour atteindre un résultat équivalent, la construction de 6 barrages moyens de 10 hm³ de volume utile chacun aurait été nécessaire.

Évaluation économique et financière

Les chiffres clefs de cette évaluation économique sont donnés dans le Tableau qui suit :

Barrage	Année de construction	Prix actualisé (base 1998) (k€)	Capacité de stockage initiale (hm ³)	Coût de la rehausse fusible (base 1998) (k€)	Capacité de stockage des barrages rehaussés (hm ³)	% de la tranche d'eau regagnée entre la RN et les PHEE
Sonmati	1982/1988	2 316	7,75	617	9,94	28 %
Chopadvav	1980/1985	6 169	5,77	462	7,82	41 %
Kakdiamba	1980/1984	5 932	3,28	412	4,63	35 %
Chhapparwadi	1972/1974	4 832	8,62	1 079	11,39	32 %
Karad	1954/1974	6 361	35,23	773	39,43	50 %
Sorthi	1969/1975	2 956	7,31	905	10,21	39 %
Edalwada	1978/1982	3 436	11,35	622	14,35	43 %
Dhatarwadi	1970/1976	4 150	26,79	1 760	34,29	24 %
Machhanala	1977/1986	12 691	37,00	1 197	47,00	38 %
Bangawadi	1983/1988	2 924	4,95	1 023	8,75	78 %
Patadungri	1954/1974	4 956	39,64	742	49,98	42 %
Demi-1	1956/1958	5 522	16,65	1 057	20,95	52 %
TOTAL	-	62 245	204,34	10 649	258,74	42 % moyen

La rehausse des 12 barrages a coûté 10 649 k€ (base 1998). Elle a permis d'augmenter de 27 % la capacité de stockage initiale des réservoirs pour un prix très nettement inférieur au m³ qu'à la construction sans induire de coûts environnementaux. Elle est donc économiquement beaucoup plus intéressante.

2.3. REHAUSSE DU BARRAGE DE WANAKBORI

Description technique

Construit à la fin des années 50, sur la rivière Mahi, le barrage de Wanakbori sert à irriguer une centaine de milliers d'hectares. Suite à la construction de plusieurs barrages écrêteurs en amont, la charge disponible dans le réservoir était devenue insuffisante pour assurer une bonne alimentation du canal d'irrigation. Une surface de 40 000 hectares n'était donc plus irriguée correctement.

La charge supplémentaire de 2,06 m nécessaire à la pleine utilisation du canal d'irrigation ne pouvait être obtenue par les moyens conventionnels : la rehausse de l'ensemble du barrage fut écartée car elle aurait augmenté de deux mètres le niveau des plus hautes eaux noyant de nombreux villages d'alentour ; l'installation de vannes sur une telle longueur de seuil (660 m) n'était techniquement et économiquement pas envisageable.

L'application du procédé HYDROPLUS a permis de résoudre le problème en installant sur le seuil 33 rehausses fusibles droites, en béton armé, à très fortes lames déversantes, de 2 m de haut et 20 m de large, après avoir rehaussé le seuil de 6 cm. La première hausse est conçue pour basculer pour une lame d'eau de 6 m correspondant à un débit de 20 000 m³/s et la dernière pour une lame de 7,25 m correspondant à un débit de 40 000 m³/s. Les travaux, d'une durée de 12 mois, se sont terminés en mai 1995.

L'application du procédé sur Wanakbori permet d'accroître la charge utile de la retenue, en regagnant 12,5 % de la tranche d'eau comprise entre la cote de retenue normale initiale et la cote des plus hautes eaux.



Fig. 3

Barrage de Wanakbori équipé de hausses fusibles - Moussoon 1996
Wanakbori dam equipped with fusegates – Monsoon 1996

Impacts sociaux et environnementaux

Le débit restitué par cet ouvrage est directement rejeté dans la mer d'Arabie. La rehausse fusible du niveau de retenue normale de 2,06 m du barrage de Wanakbori n'entraîne qu'une surélévation de quelques centimètres du niveau des plus hautes eaux exceptionnelles. Ce projet n'a impliqué aucun déplacement de population, les surfaces inondées en cas de crue majeure avant et après réalisation de la rehausse variant très peu. En outre, il a permis non

seulement l'irrigation d'une surface de 40 000 hectares supplémentaire située en bout de canal, mais aussi d'assurer la régularité de l'irrigation de 57 992 autres hectares. Ce projet, respectueux de l'environnement, s'est vu décerner le National Productivity Award en 1996.

On constate souvent que la disponibilité de la ressource crée le besoin. La rehausse d'un barrage entraîne le développement d'activités industrielles ou agricoles, la création de nouveaux pôles de vie sociale grâce à l'établissement de populations dont les besoins vont en augmentant. Cette assertion est particulièrement vraie dans le cas de Wanakbori où la rehausse fusible a permis un véritable essor régional et a joué un rôle important dans la satisfaction des besoins des populations.

Évaluation économique et financière

La rehausse a coûté 2,13 M€ en 1996 et permis l'irrigation de 40 000 ha. Dans l'État du Gujarat, le revenu net par hectare de terre cultivée et irriguée variait en 1996 entre 200 et 300 € selon le type de culture. La rehausse fusible de Wanakbori a été amortie en 1996 après une excellente mousson, une année seulement après la mise en service de la rehausse. La construction d'une vingtaine de barrages de taille moyenne aurait été nécessaire pour atteindre un résultat équivalent.

3. CONCLUSION

Le domaine d'application des rehausses fusibles est vaste. Les critères d'utilisation sont les suivants :

1. des évacuateurs libres,
2. une hydrologie adaptée (apports suffisants, période de retour de premier basculement suffisamment grande pour compenser la perte de la rehausse fusible),
3. une stabilité des ouvrages vérifiée avec rehausse,
4. une tranche d'eau récupérée suffisamment importante,
5. des conditions de restitution sans inconvénients pour les avalisants.

La nécessité d'alimenter en eau potable une population et une agriculture en situation de croissance alors même que, comme le souligne une récente étude de l'Office International de l'Eau (OIE) :

- le niveau des nappes décroît,
- la qualité de l'eau se dégrade,
- les limites liées aux prélèvements de surface augmentent,

- les sédiments diminuent inexorablement le volume utile des réservoirs,
- les sites de barrages techniquement attractifs ont déjà été aménagés,

placent l'amélioration de l'efficacité des barrages existants au cœur du développement durable de l'État du Gujarat.

Grâce à une politique volontaire et constante, le Gujarat a ainsi commencé à optimiser une partie de son parc de barrages existants.

La totalité des projets présentés dans ce rapport a été réalisée sans dépassement des coûts initiaux, sans retard dans les délais d'exécution, sans risque pour les populations autochtones, et en s'attachant à respecter les droits et les intérêts de tous les groupes concernés.

Ces quelques projets s'inscrivent dans une perspective de développement durable. Cette expérience laisse entrevoir le vaste champ d'application que constitue la gestion optimisée du parc de barrages réservoirs existants, en particulier dans un pays comme l'Inde qui possède le 3^{ème} parc de barrages mondial après la Chine et les États-Unis, avec 4 010 barrages recensés en 1998, dont plus de la moitié est équipée d'évacuateurs de surface libres.

D'autres États indiens s'apprêtent aujourd'hui à imiter l'exemple du Gujarat.

TABLEAU COMPARATIF DES RÉALISATIONS

Nom (Pays)	Type	Destination	Hauteur (m)	Capacité du Réservoir (10 ⁶ m ³)		Capacité maximale (m ³ /s)		ÉQUIPEMENT							CRITÈRES DE CHOIX DE LA SOLUTION OBSERVATIONS		
				Après modifications	Gain	Après modifications	Gain	Type	Déversoir principal (DP) ou auxiliaire (DA)	Débit spécifique (m ³ /s/m)	Nombre	Hauteur (m)	Largeur unitaire (m)	Caractères des hausses			
														Matériau		Crête et Puits	1 ^{er} pascullement (m ³ /s déversé)
Réhaussement du niveau normal d'exploitation de barrages existants														Économie de la solution. Sécurité de fonctionnement durant la mousson lorsque le barrage est isolé. Aucune autre alternative possible du fait de l'absence d'énergie électrique, de la longueur du seuil et de l'impossibilité de relever les PHE.			
Chihapanwadi ⁽¹⁾ (Inde)	TE	I	15	8,1	3,1	1 472	0	Haussees fusibles	DP	8,9	83	1,10	1,96		m	L, F	765
Chopadwaj ⁽¹⁾ (Inde)	TE	I	25	8,93	2,3	670	0	Haussees fusibles	DP	9,6	35	1,10	1,98		m	L, F	335
Kakdiamba ⁽¹⁾ (Inde)	TE	I	20	8,4	1,5	674	0	Haussees fusibles	DP	6,7	55	1,00	1,8		m	L, F	283
Sonmati ⁽¹⁾ (Inde)	TE	I	16	6,7	2,0	1 222	0	Haussees fusibles	DP	8,5	80	1,0	1,80		m	L, F	513
Wanakhon ⁽²⁾ Maht (Inde)	TE	I	25	84,0	42,1	46 978	0	Haussees fusibles	DP	71,2	33	2,00	20,0		c	D, F	20 000
Demi-1 ⁽³⁾ (Inde)	TE	I	17	20,95	4,3	1 104	0	Haussees fusibles	DP	4,5	135	1,00	1,80		c	L, F	20 000
Économie de la solution. Sécurité de fonctionnement durant la mousson lorsque le barrage est isolé. Pas d'autre alternative possible du fait de l'absence d'énergie électrique, de la longueur du seuil et de l'impossibilité de relever les PHE. Seule solution envisageable. Relèvement de 2 mètres de la charge à l'entrée du canal d'irrigation situé à l'amont du barrage. Sécurité de fonctionnement durant la mousson lorsque le barrage est isolé. Pas d'autre alternative possible du fait de l'absence d'énergie électrique, de la longueur du seuil et de l'impossibilité de relever les PHE.																	

BARRAGE		EVALUATEUR						CRITERES DE CHOIX DE LA SOLUTION OBSERVATIONS									
		Capacité du Réservoir (10 ⁶ m ³)		Capacité maximale (m ³ /s)		Type											
Nom (Pays)	Type	Destination	Hauteur (m)	Après modifications		Après modifications		Déversoir principal (DP) ou auxiliaire (DA)	Débit spécifique (m ³ /s/m)	Nombre	Hauteur (m)	Largeur unitaire (m)	Caractères des hausses				
				Gain	Après modifications	Gain	Après modifications						Matériau	Crête et Puits (m ³ /s déversé)			
Réhaussement du niveau normal d'exploitation de barrages existants																	
Pataclung ⁽¹⁾ (Inde)	TE	I	25	49,98	10,34	878	0	Hausses fusibles	DP	6,4	77	1,00	1,80	c	L, F	482	Économie de la solution Sûreté de fonctionnement durant la mousson lorsque le barrage est isolé Aucune autre alternative possible du fait de l'absence d'énergie électrique, de la longueur du seuil et de l'impossibilité de relever les PHE Idem Idem Idem Idem Idem Idem Idem
Dhulanwadi ⁽¹⁾ (Inde)	TE	I	28	34,29	7,5	4 338	0	Hausses fusibles	DP	18,2	66	2,00	3,60	m	L, F	2 382	
Bengawadi ⁽¹⁾ (Inde)	TE	I	18	8,75	3,8	2 159	0	Hausses fusibles	DP	10,8	63	1,60	2,88	c	L, F	1 062	
Karad ⁽¹⁾ (Inde)	TE	I	30	39,43	4,2	983	0	Hausses fusibles	DP	9,2	37	1,60	2,88	c	L, F	462	
Sorithi ⁽¹⁾ (Inde)	TE	I	30	10,21	2,9	2 503	0	Hausses fusibles	DP	15,9	54	1,60	2,88	c	L, F	1 418	
Mechhamala ⁽¹⁾ (Inde)	TE	I	25	47,00	10	4 510	0	Hausses fusibles	DP	17,34	17	1,60	2,88	c	L, F	2 519	
Edealwada ⁽¹⁾ (Inde)	TE	I	21	14,35	3	845	0	Hausses fusibles	DP	14,1	20	1,60	2,88	c	L, F	432	

Les symboles utilisés sont généralement ceux qui sont spécifiés dans le Registre Mondial des Barrages

Terre	Enrochement	Poids	Votée	Barrage	TE	Destination	Irrigation	Hydroélectrique	Défense contre les crues	Services de distribution	Buis récréatifs	I	H	C	S	R	Béton	Métal	Mixte béton acier	Maçonnerie	Matériaux de construction des hausses				Caractéristique des hausses fusibles			
					ER																PG	VA	m	cm	ma	A	L	D

RÉFÉRENCES

- [1] J. SIKORA, L. FERNS, F. BAILEY, M. GAVILLET. McClure dam spillway modifications with Fusegates. Proceedings of 1995 Annual Conference of the Association of State Dam Safety Officials, September 17-20, 1995. Atlanta, Georgia, USA.
- [2] O.T. GULATI. Increasing the capacity of the main canal at Mahi, India. Hydropower & Dams. Issue 2, 1996.
- [3] P. GARREC. Fusegates increase storage capacity at four dams in Gujarat. Hydropower & Dams. Issue 5, 1998.
- [4] B. COMTE, D. GOLLIARD, J.L. BOILLAT, S. CHEVALIER, R. BREMEN. Advances in spillway design using fusegates: application to the Montsalvens dam. International Commission on Large Dams. Twentieth Congress on Large Dams, Beijing, 19-22 September, 2000. Volume IV Q.79 - R.16.
- [5] K. KYROU, J. RAYSSIGUIER, Increase in storage capacity at Xyliatos Dam, Cyprus, Hydropower & Dams, Issue 4, September 2001.

RÉSUMÉ

La construction de nouveaux barrages se heurte à de plus en plus de difficultés. Toute alternative qui n'aurait pas ou peu d'impact sur l'environnement, et qui n'entraînerait pas de contestations sociales et politiques, prend une valeur nouvelle dans le contexte actuel.

La surélévation de barrages existants, lorsqu'elle est techniquement réalisable et ne s'accompagne pas d'une élévation du niveau des plus hautes eaux, constitue une alternative intéressante car elle a un faible impact sur l'environnement et n'engendre pas de déplacements de populations locales.

À ce titre, l'expérience menée par l'État du Gujarat, en Inde, est intéressante et exemplaire : la surélévation de 13 barrages au moyen du système HYDROPLUS lui a permis d'augmenter rapidement de 50 000 hectares son périmètre irrigué sans affecter l'environnement de ces ouvrages.

D'autres États en Inde s'approprient à imiter son exemple.