

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 104 (2012)
Heft: 3

Artikel: Surélévation du barrage-voûte de Cambambe, Angola
Autor: Wohnlich, Alexandre
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-941889>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 02.04.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Surélévation du barrage-voûte de Cambambe, Angola

Alexandre Wohnlich

Résumé

Depuis des décennies, l'ingénierie suisse des barrages est largement reconnue à l'étranger pour ses compétences et son sérieux, ainsi que pour sa grande expérience développée et acquise en Suisse au cours du 20^{ème} siècle. L'esprit d'innovation est également une caractéristique essentielle de cette ingénierie de pointe. Le projet de Cambambe dont il est question dans cet article est une illustration actuelle de ce savoir-faire. Ce projet très ambitieux consiste en la surélévation de 28 m du plan d'eau existant, d'un barrage-voûte déversant en permanence le surplus d'eau non exploité du fleuve dans un bassin de dissipation situé environ 60 m plus bas, au pied aval de l'ouvrage de retenue. Au-delà des défis techniques usuels tels que la résistance de l'ouvrage surélevé ou la conception de l'évacuation des crues extrêmes, ce chantier se distingue par une logistique de chantier très complexe puisque fortement dépendante des saisons et de l'hydrologie locale.

Zusammenfassung

Die in der Schweiz in den letzten 100 Jahren entwickelte Ingenieurskunst des Tal-sperrenbaus hat im Ausland einen exzellenten Ruf. Ein aktuelles Beispiel für den erfolgreichen Export des vorhandenen schweizerischen Know-how ist die Erhöhung einer Bogenmauer in Cambambe, Angola. Das aus verschiedensten Gründen äusserst ambitionierte Projekt bezweckt die Erhöhung des heutigen Stauziels um 28 m, bei praktisch ständigem Überfall. Neben den üblichen technischen Herausforderungen wie Stabilität der erhöhten Mauer und Hochwassersicherheit kommt eine aufgrund des Überfalls und der grossen Schwankungen in Regen- und Trockenzeiten äusserst komplexe Baulogistik dazu.

Le barrage et sa retenue ont une vocation énergétique. La centrale existante (en cours de réhabilitation) a une capacité actuelle de production de $4 \times 45 \text{ MW} = 180 \text{ MW}$. Toutefois, le potentiel hydro-électrique du site est loin d'être épuisé, puisque le déversoir à crête libre, situé 10 m sous le couronnement au centre du barrage, déverse d'une façon ininterrompue de l'eau dans un bassin de dissipation à l'aval. L'aménagement est exploité au fil de l'eau, la capacité de stockage de la retenue étant négligeable comparée aux apports.

Le bassin versant mesure $115\,500 \text{ km}^2$. La centrale turbinant un débit de $4 \times 65 \text{ m}^3/\text{s}$ (total $260 \text{ m}^3/\text{s}$) et le débit moyen annuel du fleuve étant de l'ordre de $750 \text{ m}^3/\text{s}$, le barrage a dès sa conception dans les années 1950 été prévu pour être surélevé ultérieurement; une deuxième centrale électrique a également d'emblée été conçue en parallèle à la centrale existante. Toutefois, pour différentes raisons historiques et politiques, ces travaux de surélévation et d'amplification de l'aménagement n'ont jamais vu le jour avant le début des années 2010.

Le barrage-voûte existant mesure 72 m de haut, pour une longueur de couronnement de 250 m. Son épaisseur à la

1. Aménagement existant

Le barrage-voûte de Cambambe est situé en Angola et a été construit entre les an-

nées 1959 et 1963 (mise en service) à 10 km au sud-est de la ville de Dondo, 180 km de la capitale Luanda, sur le fleuve Kuanza.

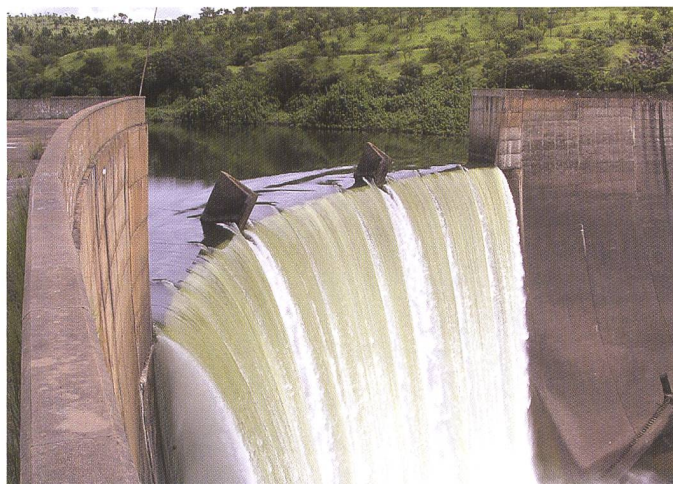


Figure 1. Barrage-voûte de Cambambe avant travaux de surélévation (2012-2014).

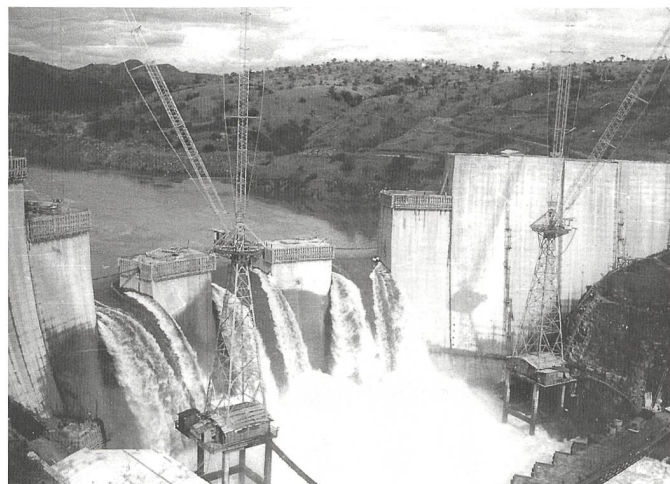


Figure 2. Construction du barrage de Cambambe, 1959-1963.

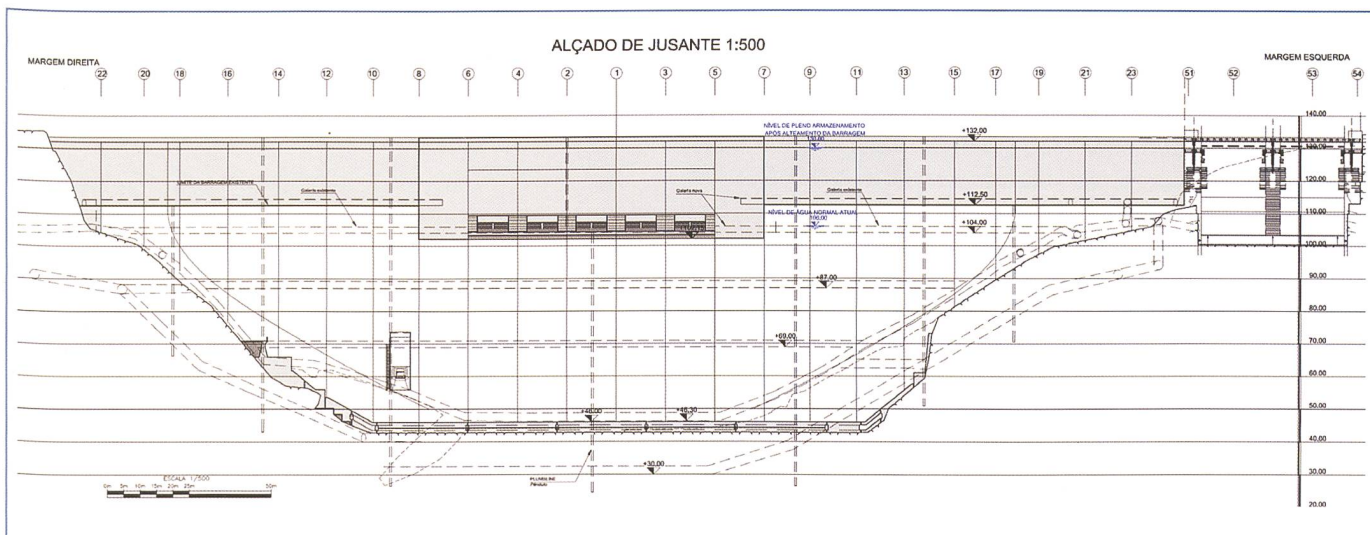


Figure 3. Projet de surélévation du barrage de Cambambe, vue développée en direction de l'amont.



Figure 4. Barrage de Cambambe, localisé à 10 km de Dondo et 180 km de la capitale Luanda.

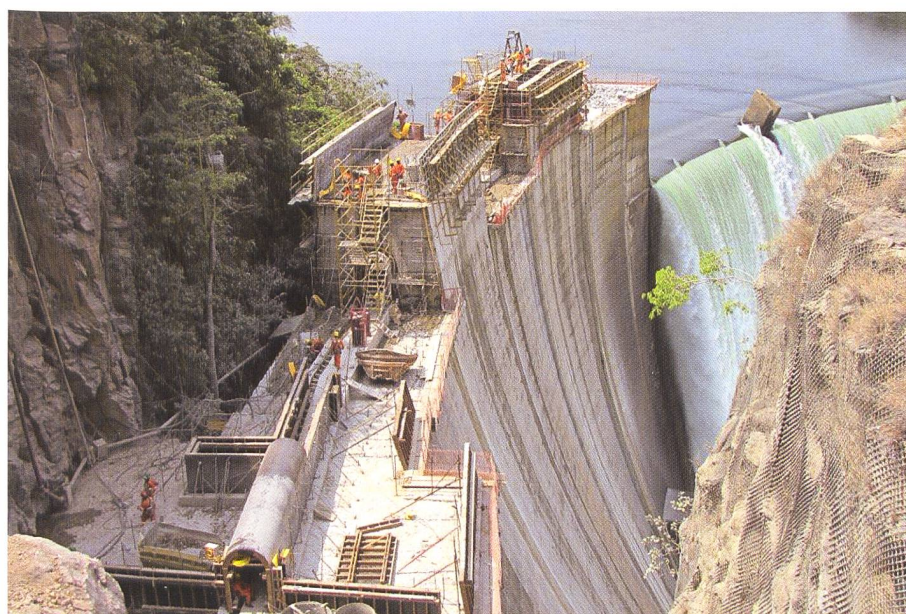


Figure 5. Cambambe, travaux de surélévation en cours sur la rive droite (août 2012).

base est de 13.3 m, et la largeur du couronnement actuel est de 5.9 m. Il s'agit d'un barrage-voûte à double courbure, conçu selon une définition géométrique de l'arc à trois cercles. Le barrage est muni de deux blocs d'appui sur la partie supérieure de ses deux rives. La surélévation du barrage prévue dès sa conception est de 20 m ($H_{\text{final}} = 92 \text{ m}$), conduisant à une surélévation du plan d'eau de la retenue de 28 m. La largeur du couronnement du barrage surélevé est de 3.0 m.

2. Surélévation du barrage

Les travaux de surélévation actuellement en cours s'inspirent du projet initial. Ces travaux se déroulent en parallèle à la réhabilitation et transformation de la centrale existante, âgée de 50 ans, et à la construction d'une nouvelle centrale en plein air, de capacité $4 \times 175 \text{ MW} = 700 \text{ MW}$. A l'achèvement des travaux d'amplification en cours (prévu en 2015), l'aménagement de Cambambe sera en mesure de produire $700 \text{ MW} + 4 \times 65 \text{ MW}$ (augmentation de la puissance de la centrale existante grâce à sa réhabilitation et à la surélévation du plan d'eau de la retenue), soit un total de 960 MW. Ceci représente plus de cinq fois le potentiel installé et en exploitation depuis sa construction dans les années 1960.

L'ouvrage est dimensionné pour une crue de projet de temps de retour 10000 ans, estimée à $9000 \text{ m}^3/\text{s}$. Le barrage surélevé se caractérise par l'incorporation dans ses cinq blocs centraux de cinq évacuateurs-orifices, de capacité $5 \times 900 \text{ m}^3/\text{s}$, soit $4500 \text{ m}^3/\text{s}$, le solde de la crue de projet s'écoulant par un évacuateur de crues latéral, disposé en rive gauche et composé de deux passes vannées, chacune de largeur 19.5 m.

3. Essais sur modèle hydraulique physique

Afin de valider le concept de l'évacuation des crues, des essais sur modèle physique ont été menés dans un laboratoire hydraulique à Curitiba au Brésil. Ces essais, qui ont duré environ 2 ans et ont été réalisés à l'échelle 1:75, ont permis d'affiner la définition du concept, avec notamment la réduction de sept évacuateurs-orifices à cinq. Le détail de certaines formes hydrauliques a également pu être optimisé à la suite des essais.

Une attention particulière a été donnée à deux sujets spécifiques:

- Les conditions d'affouillement à l'aval de l'évacuateur de crues de surface de la rive gauche ;
- Les conditions de pression et stabilité des dalles de revêtement du bassin amortisseur, situé dans la zone d'impact des jets des évacuateurs-orifices. La modification des conditions de pression sur les dalles du bassin, en équilibre depuis un demi-siècle, risque en effet d'engendrer des perturbations dans la fondation du bassin amortisseur, pouvant résulter en un endommagement de l'ouvrage de dissipation.

4. Travaux de surélévation en cours

Les travaux de réhabilitation de la centrale existante sont en cours depuis 2010. La construction de la nouvelle centrale a débuté en 2011; quant aux travaux de surélévation du barrage, ils débutent en 2012, et devraient être achevés en 2014.

La durée de travaux de surélévation est essentiellement conditionnée par la gestion du fleuve durant les travaux. L'hydrologie régionale annuelle est rythmée suivant deux saisons distinctes: la saison des pluies, conduisant à des débits élevés du fleuve Kuanza (plusieurs milliers de m^3/s), qui dure environ 7 mois par année; et la saison sèche, d'une durée d'environ 5 mois, durant lesquels le débit du fleuve est en général inférieur à $600 m^3/s$.

Durant la saison des pluies, et étant donné la capacité limitée de déviation de l'eau du fleuve par la vidange de fond et l'usine hydroélectrique existante, le barrage est déversant, et il n'est dans ces conditions pas possible d'entreprendre les travaux de surélévation dans la partie centrale du barrage existant. Durant cette période, les travaux se concentrent sur les parties latérales du barrage existant, qui ne sont pas submergées par les eaux du fleuve.



Figure 6. Cambambe, travaux de surélévation en cours sur la rive droite (août 2012).



Figure 7. Cambambe, essais sur modèle hydraulique physique, 2010–2012.

A l'opposé, durant la période dite sèche, il est possible de dériver la totalité des eaux du fleuve par la vidange de fond et l'usine hydroélectrique existante. Dans ces conditions, et durant les 5 mois à disposition, les travaux de surélévation des 7 blocs centraux existants (10 m plus bas que les parties latérales du barrage) peuvent être entrepris. Ces blocs centraux sont donc les blocs les plus critiques du chantier, puisqu'on ne peut y travailler que pendant 5 mois par année, qu'ils doivent être surélevés de 10 m supplémentaires par rapport aux autres parties du barrage, et que ce sont précisément dans ces blocs centraux que sont intégrés les évacuateurs-orifices équipés de vannes et batar-

deaux, entraînant forcément des travaux complexes, délicats et longs à réaliser.

Par ailleurs, la problématique du clavage des joints de contraction entre les blocs du barrage-voûte surélevé est également intimement liée au programme des travaux et à la méthodologie de construction en général. En effet, pour des questions de stabilité individuelle des blocs du barrage surélevé, il est indispensable de claver les joints du barrage à certaines élévations intermédiaires prédéfinies. Pour rappel, le barrage-voûte ne fonctionne comme tel, c'est-à-dire comme une structure monolithique tridimensionnelle, qu'une fois que les joints entre blocs ont été injectés, de sorte à pouvoir mobili-

ser un effort dans le sens transversal (rive gauche – rive droite), dit aussi effort d'arc.

Finalement, une problématique supplémentaire doit être intégrée dans la méthodologie constructive; il s'agit du refroidissement du béton de masse utilisé pour la construction des blocs du barrage surélevé. En effet, en faisant prise, le ciment dégage de la chaleur (réaction chimique exothermique) qui fait monter la température du béton jusqu'à des valeurs aussi élevées que 50°C. Par la suite, en se refroidissant, le béton se rétracte, et ceci risque de causer sa fissuration. Egalement, les joints de clavage ne peuvent être injectés qu'une fois le béton de masse refroidi et revenu dans un rythme thermique annuel dicté par la température ambiante locale. Il est par conséquent nécessaire de maîtriser le refroidissement du béton de barrage, de sorte à pouvoir

claver les joints à la température adéquate et à la saison de l'année la moins chaude. Dans le cas de Cambambe, les deux blocs d'appui latéraux, sensiblement plus épais que le barrage-voûte (environ 15 m, contre 3 m à 6 m pour le barrage-voûte), ne peuvent dissiper naturellement la chaleur d'hydratation du ciment qu'en une durée supérieure à deux ans. Une telle durée étant incompatible avec le programme des travaux, il est nécessaire de refroidir artificiellement le béton de masse des appuis latéraux du barrage au moyen d'eau glacée circulant dans des tubes-serpentins incorporés au sein-même du béton durant sa mise en place.

5. Conclusions

Pour conclure sur ce sujet, on notera qu'une telle méthodologie constructive, qui conduit à la submersion partielle des

blocs centraux en cours de construction lors des deux saisons des pluies affrontées pendant la durée des travaux, est particulièrement complexe et audacieuse, et exige des conditions et critères de sécurité très stricts. En particulier, un suivi renforcé du comportement du barrage existant est mis en œuvre durant les travaux de surélévation, de sorte à permettre la détection rapide de toute dérive de ses caractéristiques (mouvements de l'ouvrage existant ou de ses fondations, infiltrations, développement de sous-pressions).

Adresse l'auteur

Alexandre Wohnlich, STUCKY SA
Rue du Lac 33, CH-1020 Renens VD1
awohnlich@stucky.ch

Der **Lehrstuhl für Wasserbau und Wassermengenwirtschaft** des Instituts für Wasser- und Umweltsystemmodellierung (IWS) an der Universität Stuttgart sucht zum **1. Januar 2013** (oder nach Vereinbarung) eine kompetente, kreative, flexible und teamfähige Persönlichkeit für die Leitung der Arbeitsgruppe **Wasserbauwerke**. In dieser Arbeitsgruppe beschäftigen wir uns mit Fragen der Sicherheit, Überwachung und Risikountersuchung von Wasserbauwerken. Die angewendeten Werkzeuge liegen insbesondere in der numerischen Modellierung der Statik und Dynamik von Festkörpern sowie der Fluidodynamik aber auch in wasserbaulichen Versuchen.

Wissenschaftliche/-r Mitarbeiter/-in (100%) (A13/14)

Zu Ihrem Aufgabenbereich gehören die Akquise und die Leitung von Forschungsprojekten und Dienstleistungsaufgaben Dritter, das Verfassen wissenschaftlicher Publikationen und technischer Berichte. Zu den Dienstaufgaben gehört, dass Sie sich in Forschung und Lehre einbringen und Lehrveranstaltungen in deutschsprachigen (BAU, UMW) sowie englischsprachigen Studiengängen (WAREM, MIP) abhalten. Mit der Stelle ist mittelfristig die Vertretung der Lehrstuhlleitung vorgesehen. Die Erstellung einer Habilitationsschrift ist möglich.

Sie verfügen über einen Hochschulabschluss der Bau- oder Umweltingenieurwissenschaften (oder fachähnlich) sowie eine abgeschlossene Dissertation im Bereich des konstruktiven Wasserbaus. Idealerweise können Sie hinreichende Berufserfahrung oder entsprechende Publikationen in diesem Bereich nachweisen. Erfahrungen im fremdsprachigen Ausland sind erwünscht. Gute mündliche und schriftliche Kenntnisse in Deutsch und Englisch sind unverzichtbar.

Die Universität Stuttgart möchte den Anteil der Frauen im wissenschaftlichen Bereich erhöhen und ist deshalb an der Bewerbung von Frauen besonders interessiert. Schwerbehinderte werden bei gleicher Eignung vorrangig eingestellt.

Die Stelle ist zunächst auf drei Jahre befristet und kann nach Ablauf dieser Frist in ein unbefristetes Beamtenverhältnis umgewidmet werden. Ihre schriftliche Bewerbung mit den üblichen Unterlagen (gern in elektronischer Form) schicken Sie bitte bis zum 30.9.2012 an:



Prof. Dr.-Ing. Silke Wieprecht
Institut für Wasser- und Umweltsystemmodellierung
Pfaffenwaldring 61
D - 70569 Stuttgart
abt1_bewerbung@iws.uni-stuttgart.de



Universität
Stuttgart