cfms
COMITÉ FRANÇAIS DE MÉCANIQUE DES SOLS ET DE GÉOTECHNIQUE

LES TRAVAUX PUBLICS FÉDÉRATION NATIONALE

Ouvrages Fluviaux

Journée présentée par
Sylvie Bretelle, Pascal Aguado (CFMS) et Philippe Gotteland (FNTP)
À la Maison des Travaux Publics
Journée parrainée par HUESKER et NGE

HUESKER
Ideen. Ingenieure. Innovationen.

NGE

cfms
COMITÉ FRANÇAIS DE MÉCANIQUE DES SOLS ET DE GÉOTECHNIQUE

LES TRAVAUX PUBLICS FÉDÉRATION NATIONALE

Ouvrages Fluviaux

Projet hydroélectrique de Nachtigal (Cameroun): réutilisation des matériaux du site pour l'élaboration des remblais du canal d'amenée de l'aménagement.

NHPC
NACHTIGAL HYDRO POWER COMPANY

Dr. Denis MAGNAN et Benjamin GIRARD (EDF)

EDF

18 JANVIER 2023

Sommaire:

1. Présentation générale du projet.
2. Présentation générale du canal usinier.
3. Eléments de géologie et design retenus en études d'exécution.
4. Réemploi des matériaux.
5. Conclusion.

1.Présentation générale du projet

1.Présentation générale du projet

Localisation et principales caractéristiques

Un projet de priorité nationale pour l'Etat du Cameroun :

- Puissance de 420 MW et productible annuel de 2,9 TWh.
- Couvrira 30% des besoins en électricité du pays à sa mise en service en 2023/2024.
- Coût initial du projet de l'ordre de 1,2 Md€.

Un projet en PPP :

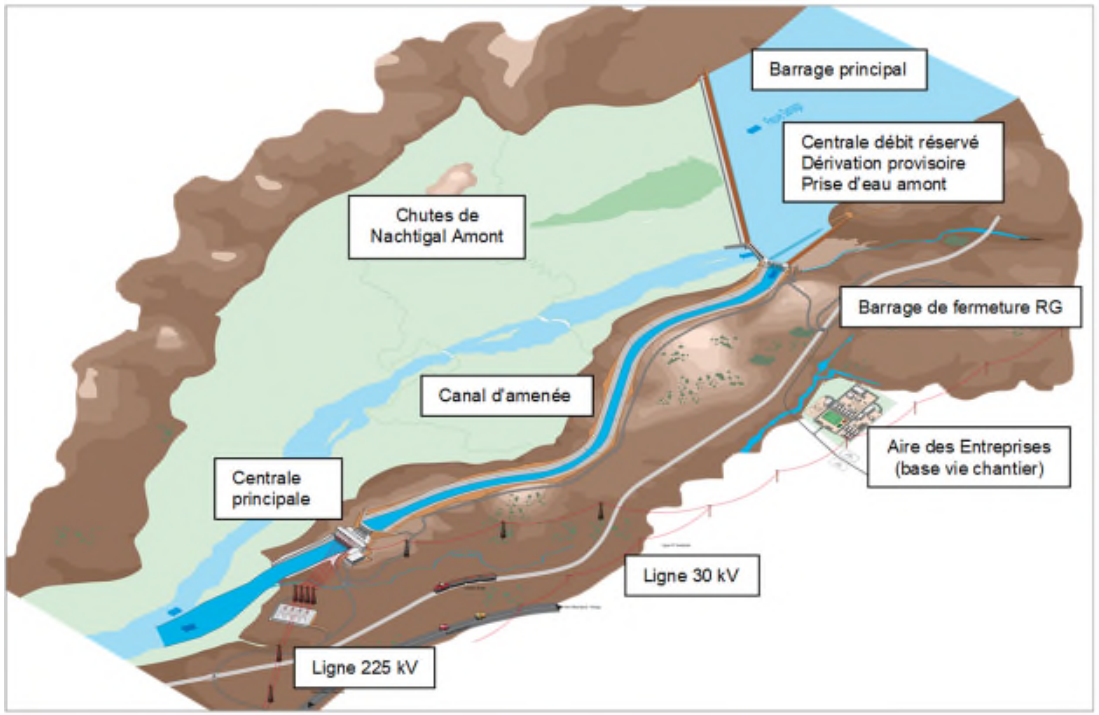
- Le MOA, NHPC, représente les actionnaires dont EDF fait partie (40%).
- 3 contrats dont celui de GC confié à l'entreprise CCN (NGE construction + SGTM + Besix).
- Environ 5 ans de travaux (démarrés début 2019).

EDF sur ce projet :

- Actionnaire majoritaire.
- Rôle d'AMOA auprès de NHPC (mission G4 notamment).

1.Présentation générale du projet

Caractéristiques de l'aménagement



La production :

- Puissance = 420 MW
- 7 turbines Francis de 60 MW
- $Q_{équipé}$ = 980m^3/s (garanti par la retenue de Lom Pangar)
- H_{brute} = 50m

Les ouvrages principaux de GC:

- Un barrage principal de 1400 m réalisé en BCR (14m de hauteur).
- Un barrage de fermeture en RG de 500 m, également en BCR.
- Un évacuateur de surface (seuil labyrinthe) et 2 passes vannées d'évacuation des crues.
- Un canal d'amenée de 3300 m de long venant se raccorder à l'usine par l'intermédiaires de barrages BCR (« ailes BCR ») de 27m de hauteur.
- Une usine de production (7 pertuis de prise, 7 conduites forcées de 6m de diamètre).

1.Présentation générale du projet

Quelques photographies

Les ouvrages de retenue

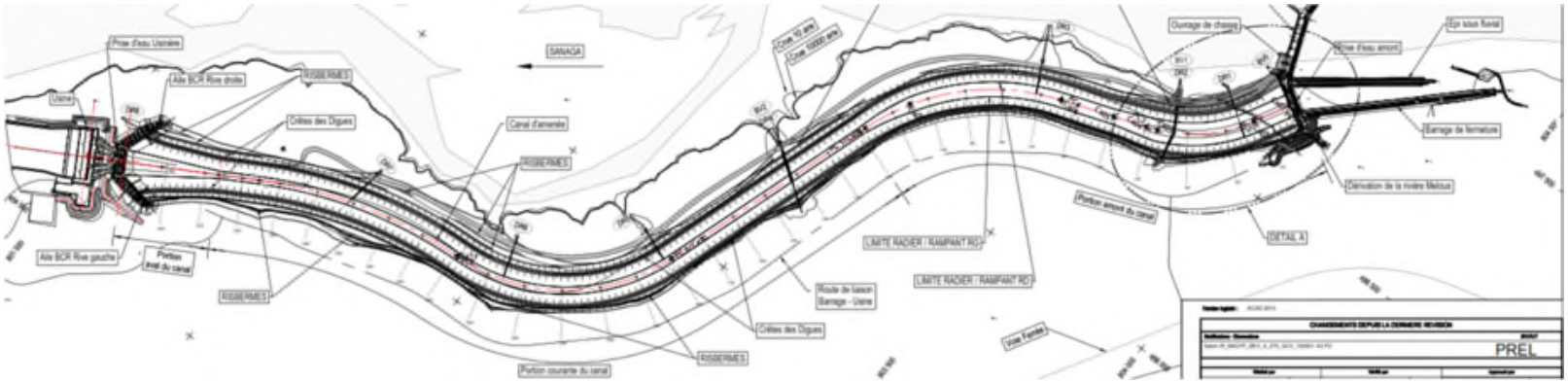
Le barrage en BCR

L'usine

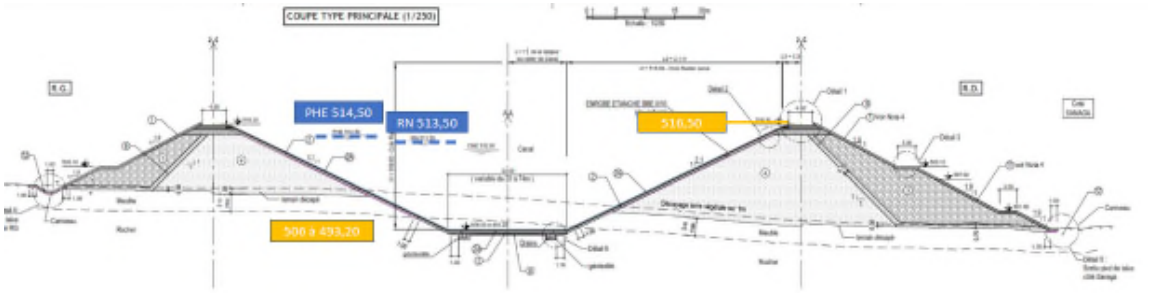
2.Présentation générale du canal usinier

2. Présentation générale du canal usinier

Eléments de conception générale



- Un ouvrage de **3300 m de long** de section trapézoïdale.
- Une section hydraulique de **20m de largeur en radier**, creusée dans les terrains en place : latérites, faciès d'altération du gneiss, gneiss.
- En fonction de la topographie et de la géologie initiales, **les remblais du canal présentent des hauteurs comprises entre 1m et 27m environ**.
- Les digues sont conçues conformément aux **Recommandations du CFBR** (2010). MCE retenu de 0,12g.
- L'étanchéité est assurée par un revêtement étanche constitué de béton bitumineux drainé en sous-face.



2. Présentation générale du canal usinier

2. Présentation générale du canal usinier

Mouvement des terres au niveau du canal usinier

- Un besoin en remblais de 1,1 millions de m^3 + 400 000 m^3 de matériaux élaborés (drains, filtres, rip-rap)
- Environ 1,1 millions de m^3 de déblais « meubles » (excavés au moto-scrapeur)
- Environ 700 000 m^3 de déblais « rocheux » (réalisés à l'explosif)

3. Eléments de géologie et design retenu en études d'exécution

3. Eléments de géologie et design retenu en études d'exécution

Les terrains en place

Terrains excavés au moto-scraper

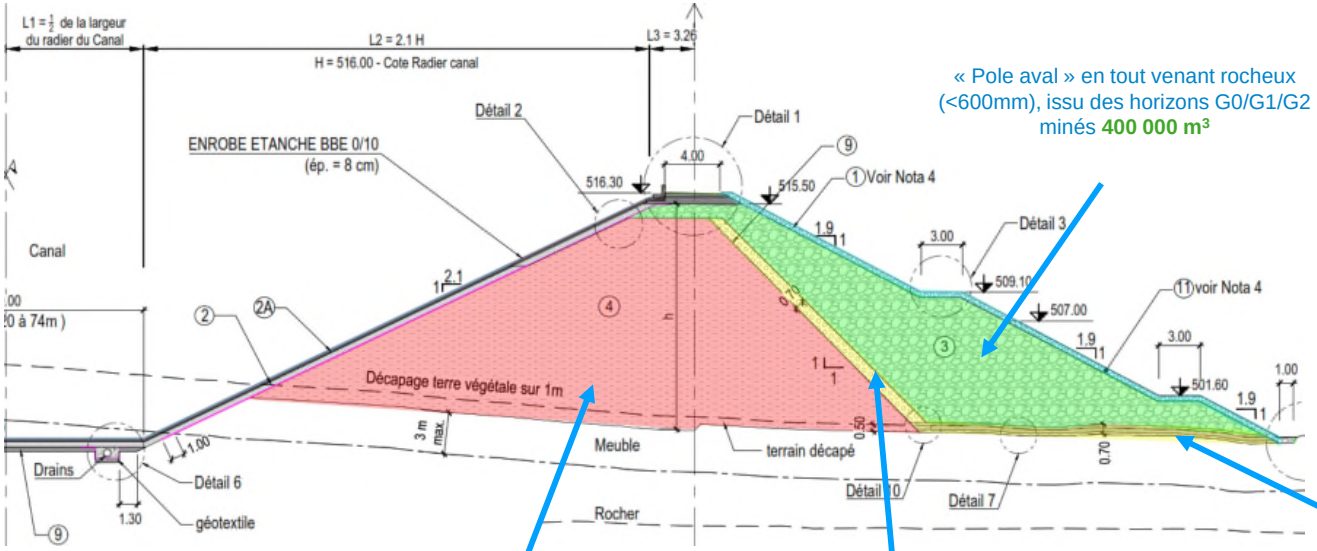
Terrains minés

Horizon 1 : Latérites, Gore
Horizon 2 : G0s, G0f et G0r
Horizon 3 : G1
Horizon 4 : G1/G2,
Horizon 5 : G2,
Horizon 6 : G2/G3
Horizon 7 : G3

- Un substratum rocheux principalement composé de **gneiss** (roche métamorphique).
- Des terrains de surface essentiellement composés de **latérites**.
- Entre les latérites et le gneiss sain, les différents niveaux d'altération de la roche mère.
- Profondeur des terrains rippables : de 1 à 7m environ.

3. Eléments de géologie et design retenu en études d'exécution

Le design retenu en études d'exécution



« Pole aval » en tout venant rocheux (<600mm), issu des horizons G0/G1/G2 minés **400 000 m³**

« Pole amont » argilo-sableux, mélange de trois horizons meubles de la fondation (latérite, gore, G0s) **675 000 m³**

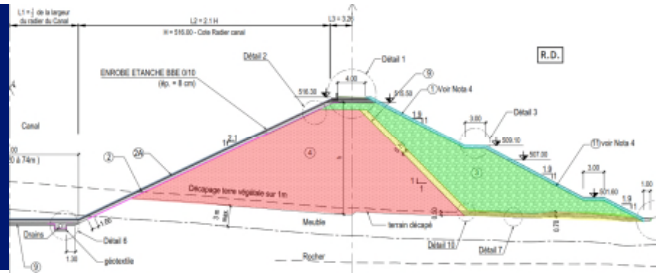
Filtre mélange d'un 2/16 STM et d'un sable Sanaga **80 000 m³**

Tapis drainant ajouté suite aux essais de perméabilité sur le filtre (bcp moins perméable que prévu au dimensionnement).

- **Hormis l'enveloppe, tout le design a été revu suite aux reconnaissances réalisées au démarrage du chantier (mouvement de terres)**
- Pour les hauteurs de remblais < 5m, remblai homogène en tout-venant rocheux (facilité de mise en œuvre en saison des pluies et équilibre des terres).

4. Réemploi des matériaux

4. Réemploi des matériaux



Elaboration du matériau du pôle amont

Etape 1: excavation par couches au moto-scraper.

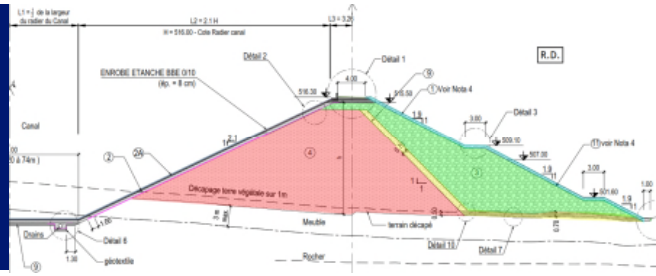
Etape 2: constitution de stocks primaires différentiés par faciès.

Etape 3 : étalement par couches réalisé au scraper sur une zone d'élaboration : 2 couches de G0s,1 couche de gore, 1 couche de latérite (1couche =10cm).

Etape 4 : mélange des couches avec une charrue à socs.

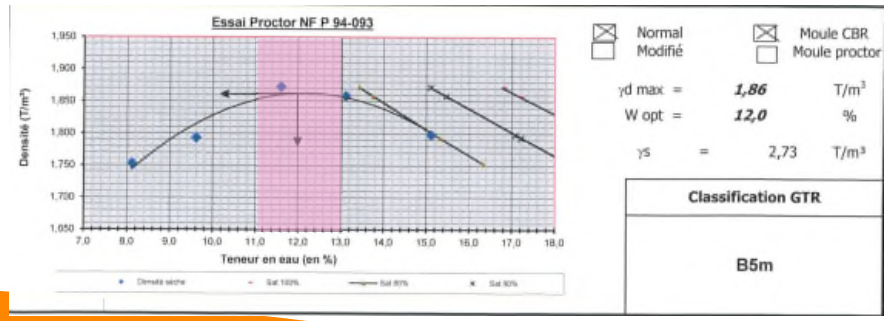
Etape 5 : qualification des stocks (Proctor de référence/5000 m³).

4. Réemploi des matériaux

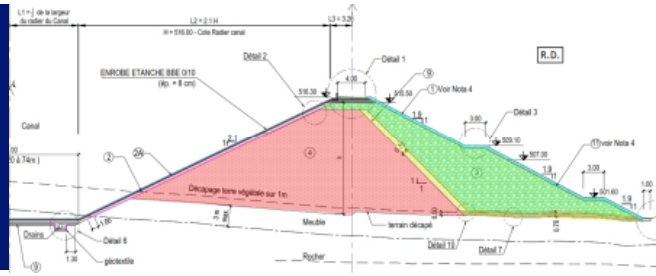


Mise en œuvre et contrôle du matériau du pôle amont

- **Matériaux de type B5/B6 ou A2/A3** (taux de fines de l'ordre de 35%, dont 20 à 25% de particules argileuses).
- Compactage par V5 de couches de 30cm (10 passes). **Objectif de compactage q3**.
- Teneur en eau et compacité au gamma densimètre pour le milieu de couche (1/300 m^3), densitomètre à membrane pour les fonds de couche (1/1000 m^3). **Objectif de densité sèche > 1,6 T/m^3**.
- Des essais de cisaillement à la boite de Casagrande (1/10 000 m^3). **Objectif φ'=30° et c'=5kPa**.



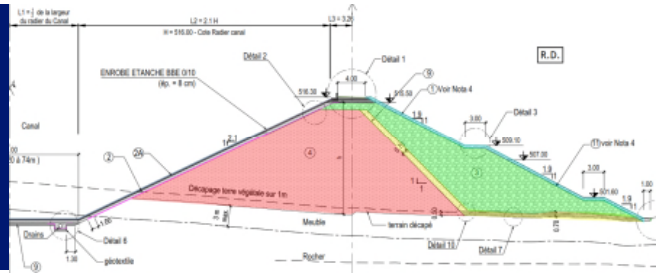
4. Réemploi des matériaux



Mise en œuvre et contrôle du matériau du pôle aval

- Matériaux de type R61/R62 (Dmax<600mm) **directement issu des déblais rocheux (minés), sans passage par un stock**.
- Compactage par V5 de couches de 90cm (10 à 14 passes). **Objectif de compactage intensif pour casser les blocs altérés**.
- Des essais de densité et de blocométrie réalisés tous les 5 000 et 10 000 m^3 mais les hypothèses prises en conception sont robustes (densité de 1,95 et φ'=35°),

4. Réemploi des matériaux



Les matériaux élaborés à la station de concassage

- **Le filtre cheminée** : constitué d'un mélange entre un sable de la Sanaga et d'un granulat 2/16 produit sur place.
- **Le drainant « 1-80 »** élaboré à la STM (mélange de coupures)
- **Le rip-rap**, conçu initialement comme un enrochement (« 5/40kg ») et auquel on a finalement préféré un 0/200mm issu du concasseur primaire (à mâchoires) de la STM.

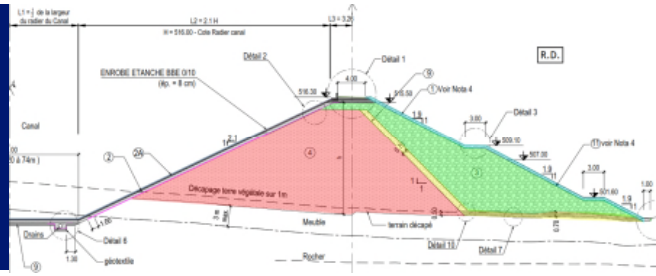
Filtre cheminée

Rip Rap

Drainant

5.Conclusion

5. Conclusion



Quelques enseignements

- **Un design général revu en urgence par l'Entreprise** suite à l'évaluation tardive du mouvement des terres.
- **Un pôle amont réalisé en mélangeant plusieurs faciès de terrains meubles :** matériau plus facile à mettre en œuvre qu'une latérite (moins plastique, plus éloigné de la saturation à wopn), homogénéisation du matériau global dans un contexte de grand linéaire (variabilité des terrains), solution trouvée à un équilibre des terres incertain.
- **Un pôle aval réalisé directement à partir des déblais rocheux :** solution trouvée à un équilibre des terres incertain, matériau peu sensible à l'eau (dans un contexte tropical, cela augmente grandement les rendements), évite des mises en stock.
- **Adaptation du rip-rap en cours de chantier.**
- **EDF avait imposé à l'Entreprise la présence d'un géologue/géotechnicien à temps plein sur le canal,** ceci combiné à la présence d'un géotechnicien EDF à temps plein + missions ponctuelles d'experts EDF et Tractebel (BE de l'Entreprise).

cfms
COMITÉ FRANÇAIS DE MÉCANIQUE DES SOLS ET DE GÉOTECHNIQUE

LES TRAVAUX PUBLICS FÉDÉRATION NATIONALE

Merci pour votre attention

EDF