

AMENAGEMENT HYDROELECTRIQUE DE KOUKOUTAMBA REPUBLIQUE DE GUINEE

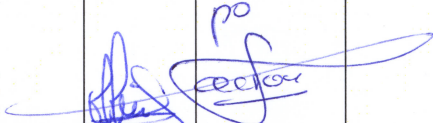
Phase II : Etude d'Avant-Projet Détaillé

Rapport d'étude d'avant-projet détaillé :

Volume A – Mémoire Descriptif

TRACTEBEL Engineering
GDF SVEZ



						
B	25/02/2013	Selon Atelier de Présentation (Bamako – Octobre 2012)	plusieurs	XMO	JLC	Définitif
A	27/06/2012	Première émission	plusieurs	BTC	JLC	
révision	date	Objet de la révision	Rédaction	Contrôle	Approbation	statut

KTB	-	II 0 2	GE	-	RP	001	-	B	P.001237.0001
projet		Tâche	ouvrage		Type	Numéro		Révision	N°affaire

SOMMAIRE GENERAL DU RAPPORT D'AVANT-PROJET DETAILLE

Le rapport d'Avant-Projet Détaillé de l'Aménagement Hydroélectrique de Koukoutamba est composé de cinq volumes suivants :

- **Volume A : Mémoire descriptif**
- **Volume B : Mémoire justificatif**
- **Volume C : Données de base**
- **Volume D : Estimation des coûts et échéancier**
- **Volume E : Cahier des plans**

SOMMAIRE DU VOLUME A

MEMOIRE TECHNIQUE

Chapitre A1 - Introduction et présentation générale de l'Aménagement

Chapitre A2 - Synthèse des données de base

Chapitre A3 - Travaux Préparatoires

Chapitre A4 - Descriptif de l'Aménagement – Génie civil

Chapitre A5 - Descriptif de l'Aménagement – Equipements Mécaniques

Chapitre A6 - Descriptif de l'Usine – Equipements Mécaniques et Electriques

Chapitre A7 - Descriptif de l'Usine – Auxiliaires Mécaniques et Electriques

Chapitre A8 - Descriptif de l'Usine et des Postes – Appareillages et Systèmes Electriques

Chapitre A9 - Evacuation de l'Energie – Postes Electriques

Chapitre A10 - Evacuation de l'Energie – Lignes Hautes Tension

Chapitre A11 - Manuel de Gestion de la Retenue

SOMMAIRE DU CHAPITRE A1

INTRODUCTION ET PRESENTATION GENERALE DE L'AMENAGEMENT	
A1.1. INTRODUCTION	1
A1.1.1 Généralités	1
A1.1.2 Historique du Projet	1
A1.1.3 Schéma de l'aménagement retenu	2
A1.2. FICHE SIGNALETIQUE DE L'AMENAGEMENT	3
A1.2.1 Description sommaire du projet	3
A1.2.2 Généralités	4
A1.2.3 Géologie	4
A1.2.4 Hydrologie	4
A1.2.5 Productible	5
A1.2.6 Dimensions principales des ouvrages	5
A1.2.7 Evacuation de l'énergie	7
A1.2.7.1 Postes électriques	7
A1.2.7.2 Lignes à haute tension	8
A1.2.8 Impact sur l'environnement	8
A1.3. COUT TOTAL DU PROJET	8
A1.4. PROGRAMME DE REALISATION DES TRAVAUX	10

Avant-Projet Détaillée
Chapitre A1– Introduction et présentation de l'Aménagement

LISTE DES TABLEAUX :

Figure A1. 1- Vue des chutes du Bafing à Koukoutamba 3

CHAPITRE A1

INTRODUCTION ET PRESENTATION GENERALE DE L'AMENAGEMENT

A1.1. INTRODUCTION

A1.1.1 Généralités

Dans le cadre de son Programme de Gestion Intégré de Ressources en Eau, L'Organisation pour le Mise en Valeur du fleuve Sénégal a entrepris des projets d'aménagement hydroélectrique parmi lesquels le projet d'Aménagement Hydroélectrique de Koukoutamba situé sur le fleuve Bafing en République de Guinée.

Tractebel Engineering a été consulté pour la réalisation des Etudes de Faisabilité/Avant Projet Sommaire, d'Avant Projet Détaillé/DAO de l'Aménagement Hydroélectrique, projet à vocation principal hydroélectrique.

La Phase II de ces études concerne les études d'Avant-Projet Détaillé (APD) et l'élaboration du Dossier d'appel d'Offres. Il est prévu dans cette phase :

- L'étude détaillée des ouvrages de génie civil
- L'étude détaillée des équipements électromécaniques et électriques
- L'étude détaillée de la route d'accès
- L'étude détaillée des coûts des ouvrages

A l'issue de ces études et de leur validation suivront l'élaboration des Dossiers d'Appels d'Offres (DAO) pour les travaux de l'aménagement.

Le présent rapport constitue le Rapport des études d'Avant-Projet Détaillées. Son volume A est dédié au Mémoire Technique décrivant l'Aménagement.

A1.1.2 Historique du Projet

L'aménagement hydroélectrique de KOUKOUTAMBA a fait l'objet de plusieurs études énumérées ci-dessous :

- 1950 : Electricité de France (EDF) recense six sites de barrages dans le bassin guinéen du Bafing, présentant un intérêt pour la production hydroélectrique dans son « inventaire des chutes d'eau »,

Avant-Projet Détaillée

Chapitre A1– Introduction générale et présentation de l'aménagement

- 1961 : Techno Export-Sofia décrit les « possibilités d'utilisation des ressources hydroélectriques du fleuve Bafing »,
- 1970 : Sénégal Consult fait l' «étude de préinvestissement pour la régularisation du fleuve Sénégal » et décrit le «projet d'un système de contrôle des débits dans le Bassin du Haut Sénégal »,
- 1976 : Energoprojekt réalise un « avant-projet détaillé de l'aménagement hydroélectrique de KOUKOUTAMBA »,
- 1981 : Polytechna-Prague classe l'aménagement de KOUKOUTAMBA parmi les aménagements à réaliser dans «un proche avenir» dans son «plan d'aménagement hydroélectrique de la Moyenne Guinée».

SENEGAL CONSULT avait examiné le site de KOUKOUTAMBA par rapport à sa contribution à la régularisation des débits du Fleuve Sénégal. Il est clair que d'autres sites comme Manantali, Galougo contrôlant des apports plus importants, se prêtent mieux à cet objectif.

Dans les études d'ENERGOPROJEKT et POLYTECHNA, la retenue de KOUKOUTAMBA est destinée essentiellement à la production énergétique pour la Guinée. Les projets auxquels ils aboutissent ne diffèrent que par la prise en compte, par POLYTECHNA, des données hydrologiques plus récentes (jusqu'en 1973).

A1.1.3 Schéma de l'aménagement retenu

L'aménagement hydroélectrique de KOUKOUTAMBA consiste en une retenue d'environ 4.3 milliards de m³ stockés et destinés à produire environ 888 GWh/an en moyenne d'énergie électrique avec une puissance installée de 294 MW.

Cet aménagement comprend :

- Un **barrage de 86 m de hauteur maximale** implanté en amont des chutes du Bafing à Koukoutamba, ayant une partie centrale en Béton Compacté au Rouleau (BCR) et des ailes en enrochement/remblais. Ce barrage permet de créer une **chute nette de 85m** environ.
- Un **évacuateur de crue à seuil libre** situé dans la partie centrale en BCR.
- Un **ouvrage de restitution** qui permet de relâcher à l'aval les débits nécessaires au fonctionnement de Manantali en période d'étiage, lorsque l'usine de Koukoutamba serait en arrêt de fonctionnement.
- Une **usine au pied du barrage constitué de 4 groupes de type Francis de puissance nominale unitaire 73,5 MW,**
- Un **poste électrique de départ** situé à l'aval immédiat de l'aménagement,
- Un **poste d'arrivée situé à Labé** permettant la connexion au réseau national Guinéen
- Une **extension du poste OMVS de Manantali** permettant le raccordement au réseau OMVS (RIMA)
- **Deux lignes aériennes 225 kV de 115 km et 250 km** respectivement pour alimenter les postes d'arrivée de Labé et Manantali.

Avant-Projet Détaillée

Chapitre A1– Introduction générale et présentation de l'aménagement

Une Cité du Maître d'Ouvrage est prévue pour héberger en phase de construction le personnel du Maître d'Ouvrage et du Maître d'œuvre, et en phase définitive accueillir le personnel d'exploitation de l'Aménagement.

La durée des travaux est de l'ordre de quatre ans, avant la mise en service complète de l'aménagement. Un démarrage des travaux en octobre 2013, permettrait d'envisager une mise en service du premier groupe dès juin 2017 et une mise en service complète de l'aménagement en janvier 2018.

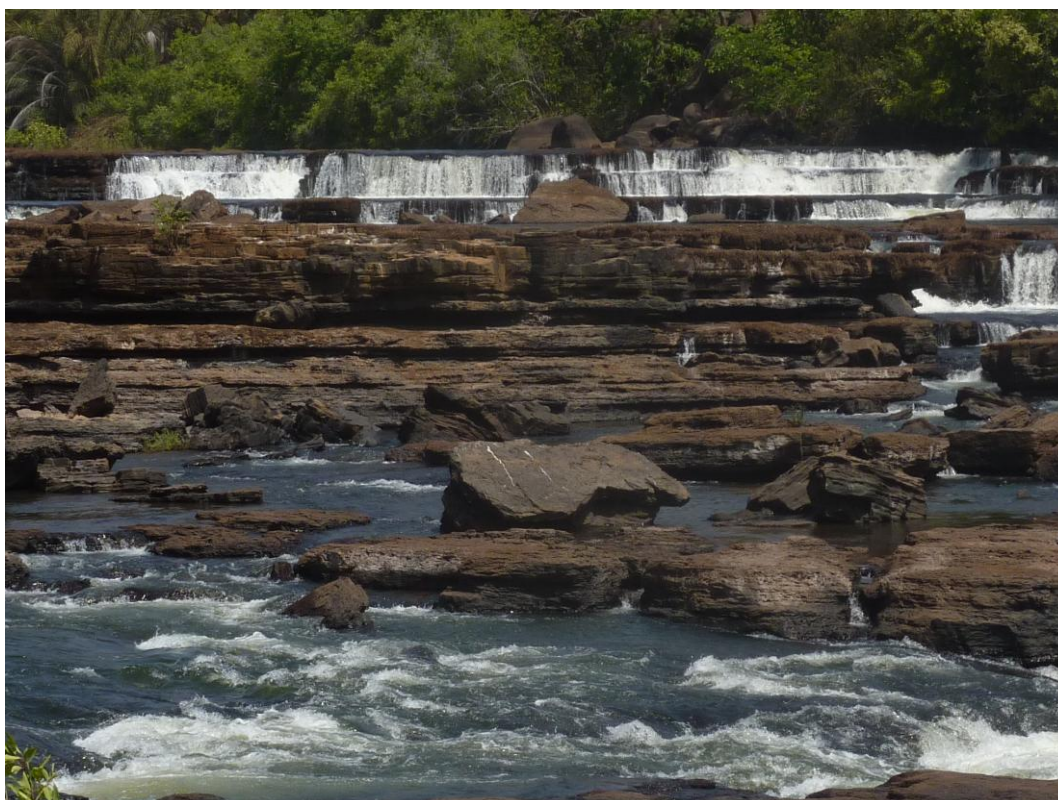


Figure A1. 1- Vue des chutes du Bafing à Koukoutamba

A1.2. FICHE SIGNALÉTIQUE DE L'AMENAGEMENT

La fiche signalétique présentée aux pages suivantes résume les caractéristiques principales de toutes les composantes de l'aménagement de KOUKOUTAMBA qui sont détaillées dans le présent dossier d'Avant-Projet Détaillé.

A1.2.1 Description sommaire du projet

Le Barrage est composé d'une partie centrale en béton compacté au rouleau (BCR) dans lequel se trouve l'évacuateur des crues à seuil libre et les autres ouvrages fonctionnels du barrage associé à des ailes latérales en enrochement/remblais. L'usine est située en rive droite au pied du barrage et le poste de départ est situé à 300 m à l'aval rive droite du barrage.

Avant-Projet Détaillée

Chapitre A1– Introduction générale et présentation de l'aménagement

Il permet de créer une chute de 85 m.

A partir du poste de départ de KOUKOUTAMBA, deux lignes 225 kV permettent d'alimenter les postes d'arrivée de Labé et de Manantali.

A1.2.2 Généralités

- Site en Moyenne Guinée, à 570 km au nord-est de la capitale Conakry, entre 11°23'O de longitude et 11°16'N de latitude
- Cote de retenue normale (RN) : 545,00 NGG (Nivellement Général de Guinée)
- Superficie de la retenue sous la RN : 220 km²
- Capacité de la retenue sous la RN : 4300 hm³

A1.2.3 Géologie

A l'emprise centrale du barrage et au droit de l'usine, la fondation est constituée majoritairement de grès. Une couverture latéritique recouvre les versants. Des reconnaissances par sondages, puits, essais in situ et essais de laboratoire ont été réalisées en 2011 et 2012.

A1.2.4 Hydrologie

- Bassin versant : 10 670 km²
- Apports moyens annuels (1951-2009) : 5 283 hm³/an
- Module (1951-2009) : 167 m³/s
- Qmax (retour 10 ans) : 1 530 m³/s
- Qmax (retour 100 ans) : 2 205 m³/s
- Qmax (retour 1 000 ans) : 2 917 m³/s
- Qmax (retour 10 000 ans) : 3 682 m³/s
- Qmax (CMP) : 4 331 m³/s
- Volume de crue sur 90 jours (retour 10 ans) : 4 750 hm³
- Volume de crue sur 90 jours (retour 100 ans) : 5 980 hm³
- Volume de crue sur 90 jours (retour 1 000 ans) : 6 880 hm³
- Volume de crue sur 90 jours (retour 10 000 ans) : 7 540 hm³

Avant-Projet Détaillée
Chapitre A1– Introduction générale et présentation de l'aménagement

A1.2.5 Productible

- Débit équipé :	400 m ³ /s
- Cote de retenue normale, RN :	545,00 NGG
- Cote de restitution pour le débit équipé :	460.80 NGG
- Chute brute pour le débit équipé :	84.20 m
- Chute nette pour le débit équipé :	83,70 m
- Puissance installée :	294 MW
- Puissance garantie à 95% :	81 MW
- Productible moyen annuel :	888 GWh/an

A1.2.6 Dimensions principales des ouvrages

Barrage

Type de barrage : Barrage mixte constitué d'un bloc central en béton compacté (BCR) et de digues en remblais et en enrochements en rive.

Longueur totale du barrage 1611 m

Barrage BCR

Cote de la crête	552,10 NGG (partie non déversante)
Hauteurs maximales :	
- au-dessus du terrain naturel	83 m
- au-dessus des fondations	86 m
Longueur en crête (y compris évacuateur)	366,2 m
Largeur en crête	7 m
Parements	
- - amont	Vertical
- - aval	0,80H/1V

Digue en enrochement rive droite

Cote de la crête	551.50 NGG
Hauteurs maximales :	
- au-dessus du terrain naturel	76 m
- au-dessus des fondations	86 m
Longueur en crête	351 m
Largeur en crête	10 m
Parements	
- amont	1.7 H/ 1V
- aval	1.7 H/ 1V

Digue en enrochement / remblai rive gauche

Avant-Projet Détaillée

Chapitre A1– Introduction générale et présentation de l'aménagement

Cote de la crête	551.50 NGG
Hauteur maximale	
- au-dessus du terrain naturel	88 m
- au-dessus des fondations	88 m
Longueur en crête	894 m
Largeur en crête	10 m
Parements	
- amont	1,7 à 3H/ 1V
- aval	1,7 à 2,5H/ 1V

Mur de soutènement rive gauche

Cote de la crête	551,50 NGG
Hauteurs maximales :	
- au-dessus du terrain naturel :	83 m
- au-dessus des fondations :	86 m
Longueur en crête :	11.70 m
Longueur à la base (amont / aval du barrage)	310 m
Largeur en crête	3 m
Parements :	
- rive droite	Vertical
- rive gauche	0,50H/ 1V

Evacuateur de crues

Type	Déversoir à seuil libre - coursier en marche d'escalier et dalle aval de protection
Localisation	Bloc central en béton
Cote de la crête	545 NGG
Cote de sortie de l'évacuateur	467,50 m
Parements	
- amont	Vertical
- aval	0,80H/1V
Largeur	160 m
Débit maximal (crue 10 000ans)	3 680 m ³ /s

Ouvrage de restitution aval

Type	Pertuis vanné dans bloc central en béton
Nombre de pertuis	1
Cote du radier à l'entonnement	468,50 m
Section du pertuis (L x H)	3.50m x 2.50m
Vannes	1 vanne sous carter et 1 vanne radiale
Débit maximal	200 m ³ /s sous RN 545,00 NGG

Prises d'eau usine

Nombre de prises d'eau	4
Cote du seuil	505,00 NGG
Débit unitaire	100 m ³ /s

Chaque prise est équipée de :

Avant-Projet Détaillée
Chapitre A1– Introduction générale et présentation de l'aménagement

- Grilles	9
- vanne batardeau (LxH)	6 m x 6 m
- vanne de garde (LxH)	6 m x 6 m

Conduites d'aménée usine

Nombre de conduites	4
Longueur conduite	110 m
Diamètre conduite	5.70 m

Usine hydroélectrique

Débit équipé	400 m ³ /s
Energie moyenne produite	888 GWh/an
Nombre turbines	4
Type	Francis
Puissance nominale	73,5 MW
Débit nominal	100 m ³ /s
Chutes nettes :	
- Chute nette maxi	84,70 m
- Chute nette mini	59.70 m

A1.2.7 Evacuation de l'énergie

A1.2.7.1 Postes électriques

Poste de départ de KOUKOUTAMBA

Equipements à haute tension

4 Travées arrivée groupe	issues des 4 transformateurs
2 Travées départ ligne 225kV	225kV
1 Travée départ transformateur	225 kV/30 kV de 16 MVA
2 Jeux de barres	225kV
1 Travée couplage barres	

Equipements à moyenne tension

1 Arrivée transformateur	16 MVA
3 Départs réseaux locaux	30 kV
2 Départs transformateur usine	2000 kVA
1 Départ transformateur poste	250 kVA
1 Jeux de barres	30 kV
7 Disjoncteurs	30 kV

Poste d'arrivée de Labé

Equipements à haute tension

1 Travée arrivée ligne 225 kV	225kV
2 travées départ transformateur	225 kV/30 kV de 19/25 MVA
1 Jeu de barres	1 jeu de barres 225kV
1 Travée de couplage	Futur

Avant-Projet Détaillée
Chapitre A1– Introduction générale et présentation de l'aménagement

Equipements à moyenne tension

2 Arrivées transformateur	19/25 MVA
6 Départs réseaux locaux	30 kV
2 départs transformateurs poste	200 kVA
2 Jeux de barres	30 kV
11 Disjoncteurs	30 kV

Poste d'arrivée de Manantali**Equipements à haute tension**

1 Travée arrivée ligne	225kV
2 Armoires	Contrôle-commande et protections

A1.2.7.2 Lignes à haute tension**Ligne 225 kV Koukoutamba – Labé**

Tension ligne HT	225 kV
Longueur ligne HT	115 km

Ligne 225 kV Koukoutamba – Manantali

Tension ligne HT	225 kV
Longueur ligne HT	250 km

A1.2.8 Impact sur l'environnement

Les principaux impacts sur l'environnement sont les suivants :

- Création d'une retenue de 235 km² aux plus hautes eaux avec ennoisement d'environ 64km² de forêts classés,
- Ennoisement de trois villages soit environ 7000 personnes estimées à déplacer
- Ennoisement d'environ 150 km² de terres agricoles et pastorales ; réinstallation possible dans la région,
- Création d'une route permettant le désenclavement des zones traversées,
- Développement d'opportunités économiques régionales

A1.3. COÛT TOTAL DU PROJET

Le coût global de réalisation de l'aménagement de KOUKOUTAMBA aux conditions économiques de juin 2012 s'élève à **574 000 000 €** selon le détail ci-après :

Avant-Projet Détaillée
Chapitre A1– Introduction générale et présentation de l'aménagement

COUT GLOBAL DE REALISATION DE L'AMENAGEMENT DE KOUKOUTAMBA		
Ouvrage	Item	COUT € H.T.
1. TRAVAUX PREPARATOIRES		
	1.1 ROUTE D'ACCES AU SITE	6 503 020
	1.2 PONT SUR LE BAFING	1 496 470
	1.3 CITE DU MAITRE D'OUVRAGE	10 337 000
Total 1.Travaux Préparatoires		18 336 490
2. BARRAGE GENIE CIVIL		
	2.1 DERIVATION PROVISoire	3 563 533
	2.2 ROUTES INTERNES AMENAGEMENT	553 875
	2.3 BARRAGE	159 261 670
	2.4 USINE et RESTITUTION AVAL	25 389 377
	2.5 LIASONS INTERSITES	162 470
Total 2. Barrage Génie civil		188 930 925
3. BARRAGE EQUIPEMENTS HYDRO et ELECTROMECHANIQUE		
	3.1 OUVRAGE DE RESTITUTION	1 770 290
	3.2 PRISE D'EAU ET CONDUITE FORCEES	11 055 345
	3.3 USINE	114 694 853
Total 3. Barrage Equipement HEM		127 520 488
4. OUVRAGES D'EVACUATION D'ENERGIE		
	4.1 POSTE DE KOUKOUTAMBA	15 088 000
	4.2 POSTE DE LABE	13 405 000
	4.3 POSTE DE MANANTALI	3 965 450
	4.4 LIGNES HAUTES TENSION	62 370 000
TOTAL 4. Ouvrage d'évacuation d'énergie		94 828 450
5. PLAN ENVIRONNEMENTAL		
TOTAL 5. Plan Environnemental		49 245 000
6. INGENIERIE ET MAITRISE D'OUVRAGE		
	Supervision des travaux	30 073 145
	Maîtrise d'Ouvrage	12 888 491
TOTAL 6. Ingénierie et Maîtrise d'Ouvrage		42 961 635
TOTAL GENERAL		521 822 988
ALEAS (10%)		52 182 299
TOTAL APPROXIME		574 000 000
Conditions économiques d'avril 2012		

A1.4. PROGRAMME DE RÉALISATION DES TRAVAUX

Les principales dates clés relatives au programme des travaux sont les suivantes :

- Début des travaux :
 - Route d'accès : Juillet Année 0
 - Pont : Octobre Année 0
 - Ouvrages de l'Aménagement Principal: Novembre Année 0
- Mise en eau du barrage : Mai Année 4
- Mise en service du premier groupe : Juin Année 4
- Mise en service du quatrième groupe : Décembre Année 4
- Achèvement des travaux : Janvier Année 5

SOMMAIRE DU CHAPITRE A2

SYNTHESE DES DONNEES DE BASE

A2.1	CONTEXTE	1
	A2.1.1	1
	Situation	
	A2.1.2	1
	Caractéristiques physiques du bassin versant	
	A2.1.2.1	1
	Hydrographie	
	A2.1.2.2	4
	Géomorphologie	
A2.2	BASES TOPOGRAPHIQUES	5
	A2.2.1	5
	Cartographie existante	
	A2.2.2	6
	Données satellitaires	
	A2.2.2.1	6
	Le SRTM	
	A2.2.2.2	6
	Le Spotdem	
	A2.2.2.3	7
	GPS de précision	
	A2.2.2.4	7
	LIDAR	
A2.3	RESUME DE L'HYDROLOGIE	11
	A2.3.1	11
	Généralités	
	A2.3.2	11
	Pluviométrie	
	A2.3.2.1	11
	Variations de la pluviométrie annuelle	
	A2.3.2.2	12
	Variations mensuelles de la pluviométrie	
	A2.3.3	14
	Les apports en eau	
	A2.3.4	16
	Régime des débits du Bafing à Koukoutamba	
	A2.3.4.1	16
	Débits annuels	
	A2.3.4.2	19
	Débits mensuels	
	A2.3.5	20
	Crues du Bafing à Koukoutamba	
	A2.3.5.1	20
	Régime des crues	
	A2.3.5.2	21
	Hydrogrammes de crues	
	A2.3.5.3	22
	Volumes de crues	
	A2.3.5.4	24
	Hydrogrammes de crues à Koukoutamba	
A2.4	GEOLOGIE	26

A2.4.1 Cadre géologique régional	26
A2.4.2 Géologie du site de l'aménagement	36
A2.4.2.1 Géomorphologie	40
A2.4.2.2 Structures géologiques	41
A2.4.3 Cadre sismique régional	44
A2.4.4 TRAVAUX DE RECONNAISSANCE	45
A2.4.4.1 Travaux de reconnaissance réalisées avant l'APD (1975/1976)	45
A2.4.4.2 Travaux de reconnaissance réalisées en phase d'APD (2011/2012)	47
A2.4.4.3 Investigations géophysiques	52
A2.4.4.4 Essais et analyses de laboratoire	57
A2.4.5 Hydrogéologie	63
A2.4.5.1 Mesures de la perméabilité du substratum	63
A2.4.6 Matériaux de construction	64
A2.4.6.1 Zone d'emprunt A	66
A2.4.6.2 Zone d'emprunt B	70
A2.4.6.3 Zone d'emprunt C	73
A2.4.6.4 Matériaux pour filtre et drain	76
A2.4.6.5 Matériaux pour agrégats à béton	76
A2.4.7 RELIEF, GÉOLOGIE ET PÉDOLOGIE DE LA ROUTE D'ACCÈS À KOUKOUTAMBA	77
A2.4.8 CONCLUSIONS	83
A2.5 QUALITE DES EAUX DU BAFING	86
A2.6 ESTIMATION DES APPORTS SOLIDES	86

LISTE DES FIGURES :

Figure A2. 1 - Réseau hydrographique, aménagements et stations hydrométriques sur le bassin du Sénégal.....	2
Figure A2. 2 - Profil en long de la rivière Bafing et de ses principaux affluents.....	3
Figure A2. 3 - Courbe hypsométrique du Bafing à Koukoutamba (10 670 km ²).....	4
Figure A2. 4 - Courbes Hauteur - Surface – Volume de la retenue issue du LIDAR.....	9
Figure A2. 5 - Pluie annuelle à Mamou (période 1922-2006, reconstitution en 2000).....	12
Figure A2. 6 - Pluies mensuelles moyennes sur 4 stations pluviométriques régionales.....	13
Figure A2. 7 - Débit moyen annuel à Koukoutamba (m ³ /s).....	17
Figure A2. 8 - Analyse fréquentielle des débits annuels à Koukoutamba (m ³ /s).....	18
Figure A2. 9 - Débits mensuels moyen, minimum et maximum à Koukoutamba (m ³ /s).....	19
Figure A2. 10 - Débits moyens mensuels classés à Koukoutamba (1951 - 2009).....	20
Figure A2. 11 - Echantillon d'hydrogrammes de crue au site de Koukoutamba.....	21
Figure A2. 12 - Histogrammes moyens normés – formes synthétiques.....	22
Figure A2. 13 - Volumes de crue en fonction de T - extrapolation des valeurs extrêmes.....	23
Figure A2. 14 - Trois hydrogrammes de la crue décennale à Koukoutamba.....	24
Figure A2. 15 - Hydrogrammes de crues à Koukoutamba.....	25
Figure A2. 16 - Principales unités structurales de l'Afrique occidentale (d'après Peucat et al., 2005, modifiée).....	27
Figure A2. 17 - Carte géologique régionale de la Guinée - Schéma tectonique (d'après Bouféev et al., Conakry-Mouscou, 2010).....	29
Figure A2. 18 - Affleurement de grès dans le lit du Bafing vers la rive droite.....	30
Figure A2. 19 - Bloc de dolérite en correspondance de la zone de carrière en RD.....	31
Figure A2. 20 - Série stratigraphique primaire de la Moyenne Guinée (Bassin versant du Bafing).....	32
Figure A2. 21 - Profil latéritique type (adapté de Millot – 1964).....	33
Figure A2. 22 - Horizon de cuirasse latéritique dans le sondage S6 en rive gauche à la profondeur de 2 m.....	34
Figure A2. 23 - Niveau d'argile tachetée dans le sondage S6 en rive gauche à la profondeur de 18m.....	35
Figure A2. 24 - Niveau saprolitique dans le sondage S6 en rive gauche à la profondeur de 28m.....	36
Figure A2. 25 - Extrait de la carte géologique au 1/200 000, feuille n°10-3 Tougué – Kéniéba, 2ème édition, 2004 (Vkn) :grès de la série de Kannta ; (μθ) : dolérites mésozoïques.....	37
Figure A2. 26 - Bloc de dolérite en état d'altération superficielle – Rive gauche (altération en blocs ronds et en pelures d'oignons).....	39
Figure A2. 27 - Sol latéritique avec bloc de cuirasse en surface – Rive droite.....	40
Figure A2. 28 - Orthophoto SPOT de la région du site de Koukoutamba interprétée (1/200 000ème).....	42
Figure A2. 29 - Orthophoto SPOT du site de Koukoutamba interprétée (1/5 000ème).....	43
Figure A2. 30 – Campagne de reconnaissances d'Energoprojekt – Repérage du sondage Kd 50.....	47
Figure A2. 31 – Campagne de reconnaissances de TRACTEBEL Engineering (2011-2012) – Perforation du sondage S1.....	49
Figure A2. 32 – Campagne de reconnaissances de TRACTEBEL Engineering (2011-2012) – Puits des zones d'emprunt.....	51
Figure A2. 33 - Zone de l'axe du barrage – Fuseaux granulométriques (profondeur échantillons de 6 à 27m).....	61
Figure A2. 34 – Zone d'emprunt A – Rive Droite – fuseaux granulométriques (profondeur des échantillons entre 0 et 5m).....	68
Figure A2. 35 - Zone d'emprunt A – Rive droite – Carte de plasticité (profondeur des échantillons entre 0 et 5m).....	69
Figure A2. 36 -Zone d'emprunt B – Rive droite – Fuseaux granulométriques (profondeur des échantillons entre 0 et 5m).....	71
Figure A2. 37 - Zone d'emprunt B – Rive droite – Carte de plasticité (profondeur des échantillons entre 0 et 5m).....	72

Figure A2. 38 - Zone d'emprunt C – Rive gauche – Fuseaux granulométriques (profondeur des échantillons entre 0 et 5m)	74
Figure A2. 39 - Zone d'emprunt C – Rive gauche – Carte de plasticité (profondeur des échantillons entre 0 et 5m)	75
Figure A2. 40 - Route d'accès – Sols de plateforme - Fuseaux granulométriques.....	80
Figure A2. 41 - Route d'accès – Zones d'emprunts latéritiques - Fuseaux granulométriques	81
Figure A2. 42 - Route d'accès – Sols de plateforme - Carte de plasticité	82

LISTE DES TABLEAUX :

Tableau A2. 1 - Caractéristiques géomorphologiques du Bafing à Koukoutamba	4
Tableau A2. 2 - Statistiques des pluies annuelles aux stations pluviométriques régionales	11
Tableau A2. 3- Moyennes des pluies mensuelles sur 4 stations pluviométriques régionales	13
Tableau A2. 4 - Apports mensuels et annuels estimés à Koukoutamba (hm ³).....	15
Tableau A2. 5 - Statistiques des apports (hm ³) à Koukoutamba	16
Tableau A2. 6 - Analyse fréquentielle des débits annuels à Koukoutamba (m ³ /s).....	18
Tableau A2. 8 - Statistiques des débits mensuels et annuels à Koukoutamba (m ³ /s).....	19
Tableau A2. 9 - Débits garantis (m ³ /s) à Koukoutamba (données de 1951 à 2009)	20
Tableau A2. 9 - Q(T) et Q'(T) à Koukoutamba (10 670 km ²) et les K(Fr) associés	21
Tableau A2. 10 - Résultats des ajustements statistiques de différentes lois à Koukoutamba.....	23
Tableau A2. 12 - Volume de la crue décennale à Koukoutamba selon les trois formes d'hydrogrammes.....	24
Tableau A2. 13 - Campagnes d'Energoprojekt – Sondages carottés (sélection sur issue des sondages Energoprojekt).....	46
Tableau A2. 14 - Campagne de reconnaissances de Tractebel Engineering (2011-2012) – Sondages carottés du site du barrage.....	50
Tableau A2. 15 - Campagne de reconnaissances de TRACTEBEL Engineering (2011-2012) – Puits de reconnaissance du site du barrage	50
Tableau A2. 16 - Campagne de reconnaissances de TRACTEBEL Engineering (2011-2012) – Puits en zones d'emprunt.....	52
Tableau A2. 17 - Campagne de reconnaissances de TRACTEBEL Engineering (2011-2012) – Investigations géophysiques	53
Tableau A2. 18 – Résultats des trainées électriques – profil 1	55
Tableau A2. 19 – Résultats des trainées électriques – profil 2.....	55
Tableau A2. 20 - Campagne de reconnaissances de TRACTEBEL Engineering (2011-2012) - Etude d'APD – Essais de laboratoire – Site du barrage.....	59
Tableau A2. 21 - Campagne de reconnaissances d'Energoprojekt – Essais Lugeons.....	64
Tableau A2. 22 - Campagne de reconnaissances de TRACTEBEL Engineering (2011-2012) – Essais Lugeon.....	64
Tableau A2. 23 – Caractéristiques géotechniques - Zones d'emprunt A, B et C.....	66
Tableau A2. 24 – Puits de reconnaissance de la route d'accès	78
Tableau A2. 25 – Zones d'emprunt et de carrière graveleuses le long la route d'accès	79
Tableau A2. 26 – Consistance des essais routiers réalisés.....	79

CHAPITRE A2

SYNTHESE DES DONNEES DE BASE

A2.1 CONTEXTE

A2.1.1 Situation

Le projet d'aménagement hydroélectrique de Koukoutamba est situé sur le Bafing, affluent principal du fleuve Sénégal. Il est localisé en amont du barrage de Manantali, et à environ 550 km de Conakry. Il est essentiellement destiné à la production énergétique pour les pays membres de l'OMVS (Organisation de Mise en Valeur du Fleuve Sénégal), mais devra également tenir compte des autres contraintes de gestion intégrée du bassin du Sénégal, notamment celles liées au barrage de Manantali (soutien d'étiage, AEP, soutien de la crue annuelle).

Les coordonnées géographiques du site sont :

Latitude : 11°16' Nord ;

Longitude : 11°23' Ouest ;

Altitude : 460 m.

A2.1.2 Caractéristiques physiques du bassin versant

A2.1.2.1 Hydrographie

La Figure A2. 1 présente le bassin versant du fleuve Sénégal et son réseau hydrographique. Le site du futur barrage de Koukoutamba a été représenté à l'aide d'un triangle. Les deux principaux aménagements déjà existants, à savoir Manantali et Diama, sont reportés. Les stations hydrométriques utilisées dans cette étude sont également localisées sur cette carte.



Figure A2. 1 - Réseau hydrographique, aménagements et stations hydrométriques sur le bassin du Sénégal

Le Bafing prend sa source à une altitude de 800 m à 16 km au nord-ouest de Mamou dans les montagnes du Fouta-Djallon. Il se dirige vers le nord-est, puis le nord. Il reçoit, après un parcours de 150 km, les eaux de la rivière Téné en rive gauche. La Téné prend sa source à 1 200 m d'altitude près de Dalaba. Elle se jette dans le Bafing après un parcours de 130 km et draine un bassin versant de 4 400 km², apportant au Bafing un débit presque égal à celui-ci au droit de la confluence. Environ 25 km après cette première confluence, le Bafing est rejoint en rive gauche par la Kioma. Elle prend sa source à environ 1000 m d'altitude près de Tougué et parcourt 93 km avant de rejoindre le Bafing. Le site de Koukoutamba se situe environ 5 km en aval de cette dernière confluence (Cf. Figure A2. 2).

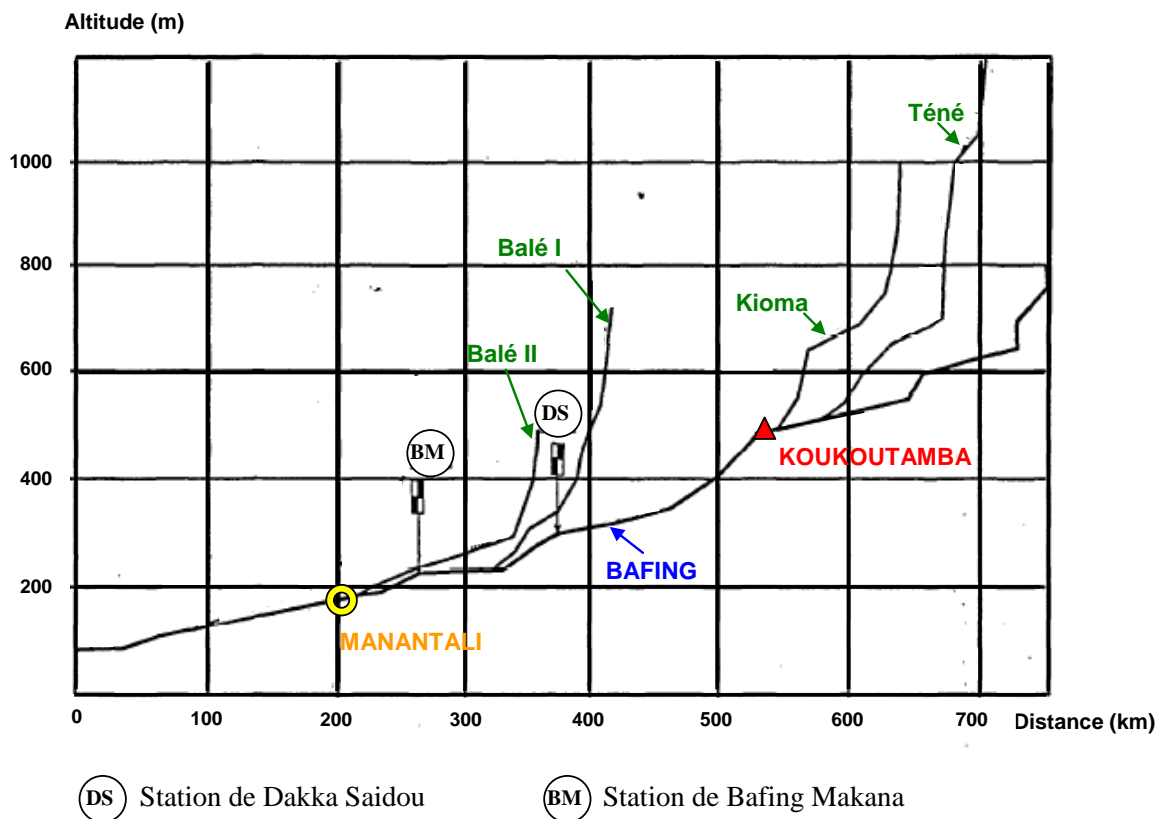


Figure A2. 2 - Profil en long de la rivière Bafing et de ses principaux affluents

En amont de Koukoutamba, le Bafing et ses affluents se fauillent donc dans les contreforts orientaux du Fouta Djallon. Son cours d'eau est très tourmenté et prend des orientations diverses.

Au-delà du site de Koukoutamba, le Bafing traverse une série de rapides et son cours devient accidenté avec une pente de 2 % jusqu'à la station de Dakka Saidou. Le Bafing traverse ensuite des reliefs peu accusés en décrivant de nombreux méandres. Il reçoit deux affluents en rive droite : le Balé I et le Balé II jusqu'à la station de Dibia. Il parcourt encore 750 km jusqu'à la station de Bafoulabé où il rejoint le Bakoye et forme ainsi le fleuve Sénégal. Le barrage de Manantali, situé à 90 km au sud-est de Bafoulabé, au Mali, barrage de 68 m de hauteur et d'une capacité d'environ 11 milliards de m³ se situe sur le Bafing, juste après sa confluence avec le Balé II.

A2.1.2.2 Géomorphologie

Une étude géo morphologique a été réalisée sur le bassin du Bafing à Koukoutamba. Les principales caractéristiques sont résumées dans le Tableau A2. 1. Les calculs ont été réalisés sur la base MNT de SRTM¹ (résolution 90 m x 90 m). La Figure A2. 3 représente la courbe hypsométrique.

Tableau A2. 1 - Caractéristiques géomorphologiques du Bafing à Koukoutamba

Superficie (km ²)	10 670
Périmètre (km)	590
Longueur du thalweg principal (km)	185
Altitude moyenne (m)	745
Altitude minimale (m)	463
Altitude maximale (m)	1 397
Pente moyenne (m/km)	5.1
Indice de compacité (²)	1.61

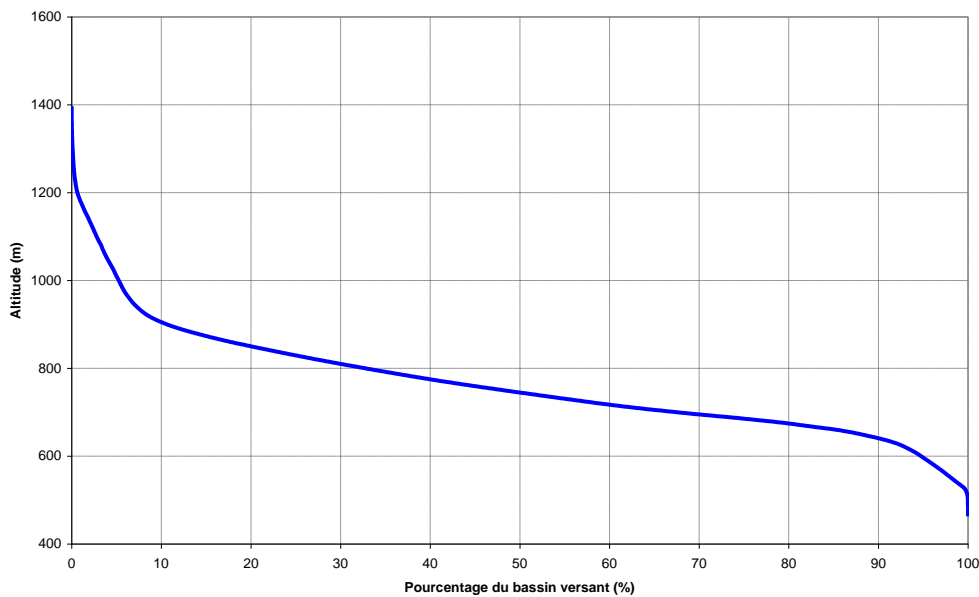


Figure A2. 3 - - Courbe hypsométrique du Bafing à Koukoutamba (10 670 km²)

⁽¹⁾ MNT signifie Modèle Numérique de Terrain. SRTM fait référence à Shuttle Radar Topography Mission qui est une mission qui a effectué des relevés altimétriques en utilisant l’interférométrie radar.

⁽²⁾ L’indice de compacité est calculé selon la formule de Gravelius suivante : $Indice = \frac{P}{2\sqrt{\pi \times S}}$. P

représente le périmètre du bassin versant (km) et S, sa superficie (km²).

A2.2 BASES TOPOGRAPHIQUES

A2.2.1 Cartographie existante

Les cartes existantes ayant permis de réaliser les études de faisabilité et d'avant-projet sommaire et d'Avant-Projet Détaillé sont :

- Carte au 1/200 000^{ème} de Dabola pour la Guinée,

- Carte photomosaïques en noir et blanc au 1/50 000e ci-dessous de la Guinée :
 - o Tougué 1c,
 - o Tougué 1d,
 - o Tougué 2c,
 - o Tougué 2d,
 - o Tougué 4a,
 - o Tougué 4b,
 - o Tougué 4d,
 - o Dinguiraye 3c,
 - o Kiénéba 2b,
 - o Bafing-Makana 1a.

- Cartes au 1/50 000e ci-dessous du Mali :
 - o Kiénéba 2b,
 - o Bafing-Makana 1a,
 - o Bafing-Makana 1c,
 - o Bafing-Makana 1d,
 - o Bafing-Makana 3a,
 - o Bafing-Makana 3b,
 - o Bafing-Makana 3d,
 - o Bafing-Makana 4c,
 - o Bafoulabé 2a.

Ces cartes ont permis de :

- déterminer la localisation générale du projet,

- réaliser l'étude de la problématique de transport (en complément avec le GPS de précision),
- réaliser le tracé des lignes Hautes Tension.

A2.2.2 Données satellitaires

Les bases de données satellitaires acquises sont le SRTM et le SPOTDEM.

A2.2.2.1 Le SRTM

Le Shuttle Radar Topography Mission fait référence à des fichiers matriciels et vectoriels topographiques fournis par deux agences américaines : la NASA et la NGA (ex-NIMA). Ces données altimétriques ont été recueillies au cours d'une mission de 11 jours en février 2000 par la navette spatiale Endeavour (STS-99) à une altitude de 233 km en utilisant l'interférométrie radar.

Les cartes topographiques au 1/50 000^{ième} couplées aux données satellitaires SRTM ont permis de déterminer le tracé du réseau haute tension. Elles ont par ailleurs permis d'avoir une délimitation plus précise de l'étendue du bassin versant et de réaliser l'étude préliminaire d'impact sur l'environnement.

La précision de ces données (+/- 90 m) est suffisante pour les études d'études d'impact et d'avant-projet des lignes Haute Tension. Elle nécessite cependant d'être complétée pour les phases ultérieures d'études détaillées par une reconnaissance topographique complémentaire.

A2.2.2.2 Le Spotdem

Les satellites Spot (Système probatoire d'observation de la Terre ou Satellite pour l'observation de la Terre) sont une série de satellites de télédétection civils d'observation du sol terrestre.

L'innovation de Spot-5 est l'introduction du Super-Mode qui permet la création d'une image à 2,5 mètres de résolution à partir de deux images à 5 mètres acquises simultanément avec un demi-pixel de décalage. Leur combinaison est réalisée par des techniques de traitement et de restauration d'image avancées.

SPOT DEM est un **modèle numérique d'élévation** (DEM en anglais) réalisé par corrélation automatique de couples stéréoscopiques acquis par l'instrument **HRS** (Haute Résolution Stéréoscopique) de Spot 5. A la différence du **MNT** qui décrit le relief du sol nu, le MNE prend également en compte le sursol.

La précision absolue des données SPOTDEM acquises pour les besoins du projet est de l'ordre de $\pm 15\text{m}$ en planimétrie et $\pm 10\text{m}$ en altimétrie.

Les données SPOT DEM acquises ont servi de base d'entrée des études hydrologiques et de régularisation à travers la délimitation de la cuvette et l'extraction de la courbe de capacité de la retenue. Elles ont aussi servi de base pour l'analyse régionale de la géologie, notamment à travers l'identification des failles potentielles à contrôler.

Les délimitations topographiques issues des cartographies SPOTDEM ont permis de préciser l'étendue de la mission de reconnaissance complémentaire par LIDAR.

A2.2.2.3 GPS de précision

Une importante campagne de reconnaissance avait été réalisée par Energoprojekt lors de leurs études dans les années 1970. L'étude d'Energoprojekt constituait une base d'information notamment géologique importante qui a permis de minimiser la consistance des reconnaissances géologiques et géotechniques à réaliser dans le cadre de la présente étude. Cependant l'étude d'Energoprojekt a été réalisée sur une base locale de système de coordonnées sans aucun rattachement géodésique connu.

Lors des visites sur site, a été réalisé un relevé au GPS de précision, des différents points de sondages Energoprojekt retrouvés in situ sur la base du système de coordonnées internationale UTM WGS84. Le calage de ces points dans un système de coordonnées connu a rendu possible leur utilisation et a permis ainsi d'implanter les nouveaux points de sondage dans le nouveau repère. Cet outil a ainsi permis en fin de sondage de relever les différents points sondés ainsi que le relevé des zones d'emprunt.

Le GPS de précision a aussi été la base du relevé d'état de la route Conakry Koukoutamba. Il a en outre servi de base d'implantation des nouveaux points de sondages géologiques.

La précision des points relevés par le GPS de précision, selon le nombre de satellites disponibles au moment du relevé est de l'ordre de ± 1 à 2 m pour la planimétrie et du tiers de la précision de planimétrie pour l'altimétrie.

A2.2.2.4 LIDAR

Une campagne de relevés topographiques par LIDAR a été réalisée dans le cadre des reconnaissances complémentaires du site.

La télédétection par laser ou LIDAR, acronyme de l'expression en langue anglaise « *Light Detection and Ranging* », désigne une technologie de télédétection ou de mesure optique basée sur l'analyse des propriétés d'une lumière laser renvoyée vers son émetteur. Les systèmes LIDAR aéroportés sont des télémètres laser à balayage transversal. Fixé à bord d'un avion ou d'un hélicoptère, le système calcule le temps d'aller-retour d'une impulsion laser entre l'instant de son émission au niveau de la tête laser et sa réflexion sur la surface terrestre.

Les données LIDAR permettent la génération de Modèles Numériques de Terrain automatique de nuages de points de qualité très importante. Ces MNT sont à la base de nombreuses applications thématiques en milieu urbain et naturel. La qualité des résultats de certaines approches automatiques dépend des paysages.

Lorsque les conditions de prises sont optimales les données LIDAR permettent d'obtenir après post traitement d'une précision de l'ordre de 0,4 m en planimétrie et 0,20 m en altimétrie.

Le LIDAR aéroporté est actuellement le meilleur moyen de réaliser un relevé de grande étendue en un temps très court, dans des conditions d'accessibilité difficiles et avec une aussi grande précision.

La mission LIDAR est couplée avec une topographie au sol à travers la réalisation des points de contrôle qui sont mesurés au sol et permet ainsi de bien caler les données acquises dans un système de coordonnées.

La limite principale du levé LIDAR réside dans le fait que les rayons laser sont réfléchis sur le plan d'eau et rendent ainsi impossible le levé de la partie du lit du fleuve recouverte d'eau.

Les données issues du traitement de la mission LIDAR qui nous ont été fournies sous forme de fichier Autocad, sont des nuages de points topographiques et des courbes de niveau.

Pour combler le manquement des données dans le lit mineur, les relevés LIDAR ont été complétés par des points topographiques issus des plans d'Energoprojekt.

La courbe de hauteur/surface/capacité issue des relevés LIDAR est donnée par la figure ci-après.

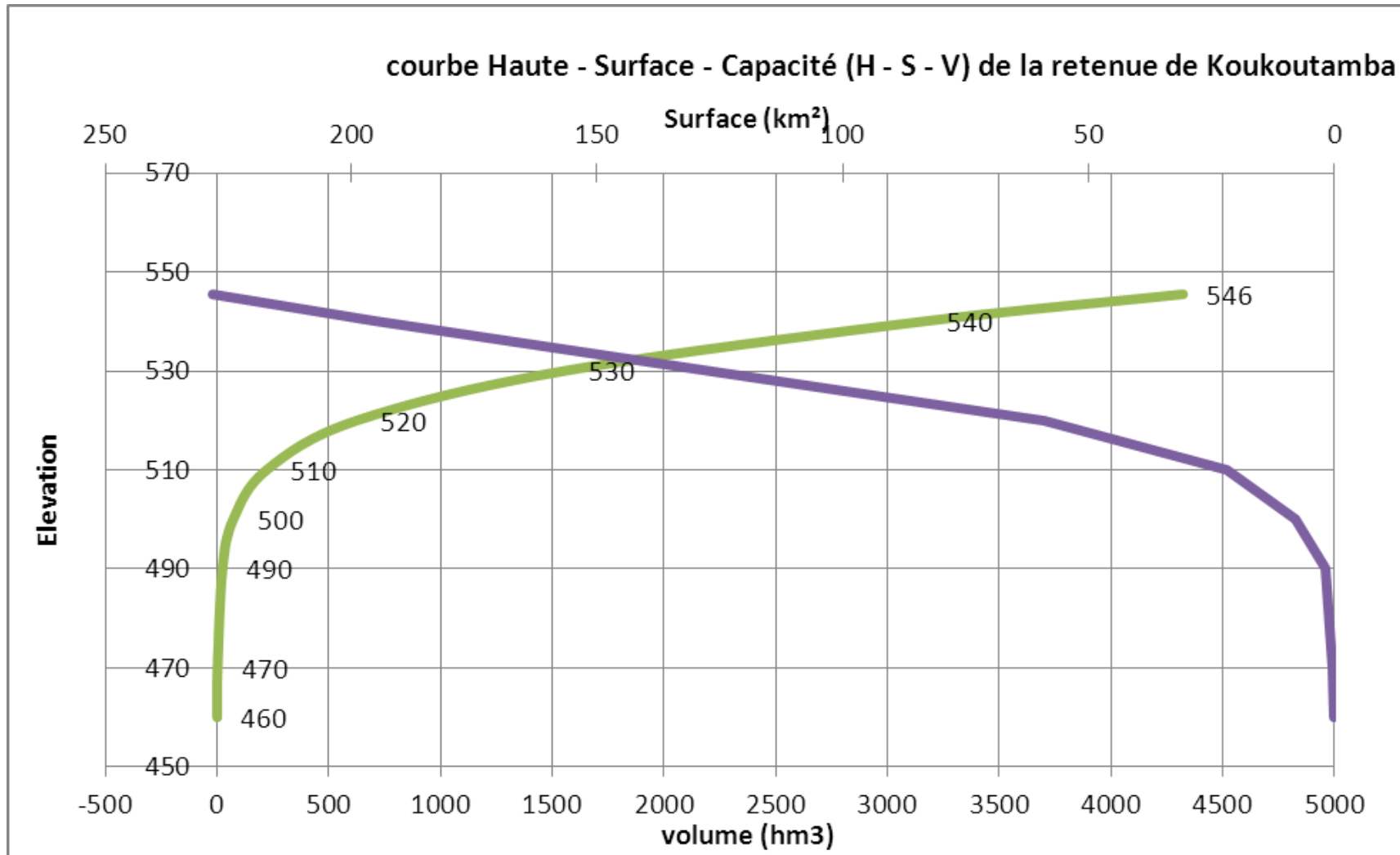


Figure A2. 4 - Courbes Hauteur - Surface – Volume de la retenue issue du LIDAR

Les données issues du LIDAR compte-tenu de leur précision et de l'expertise qui a conduit leur réalisation constituent la base topographique de référence des études détaillées du projet.

A2.3 RESUME DE L'HYDROLOGIE

A2.3.1 Généralités

Le rapport d'hydrologie réalisé dans le cadre du projet fait l'objet de la partie I du « *volume C – Données de Base* » du Rapport d'Avant-Projet Détaillé. Nous présentons ici les principaux résultats.

A2.3.2 Pluviométrie

A2.3.2.1 Variations de la pluviométrie annuelle

Les statistiques correspondantes aux données annuelles disponibles sur les neuf stations pluviométriques sont synthétisées dans le tableau ci-après. La plus longue série est disponible à la station de Mamou sur 84 années, avec une moyenne interannuelle de 1879 mm/an.

Tableau A2. 2 - Statistiques des pluies annuelles aux stations pluviométriques régionales

	Mamou	Dalaba	Pita	Labé	Dinguiraye	Dabola	Tougué	Bafing Makana	Falea
Nb	84	70	63	82	26	37	6	17	20
M	1879	1983	1724	1585	1427	1446	1304	1185	1379
E.T.	287	355	308	309	255	245	101	135	341
Cv	0.15	0.18	0.18	0.19	0.18	0.17	0.08	0.11	0.25
Min	1247	1189	1131	263	1000	636	1119	942	871
Med	1839	1958	1634	1544	1446	1437	1324	1172	1315
Max	2816	2673	2647	2159	1999	2168	1390	1413	2163

La pluviométrie à Mamou, directement au sud du bassin versant de Koukoutamba a été examinée en détail sur 84 années. Les cumuls annuels de cette station sont présentés à la Figure A2. 5 ci-après.

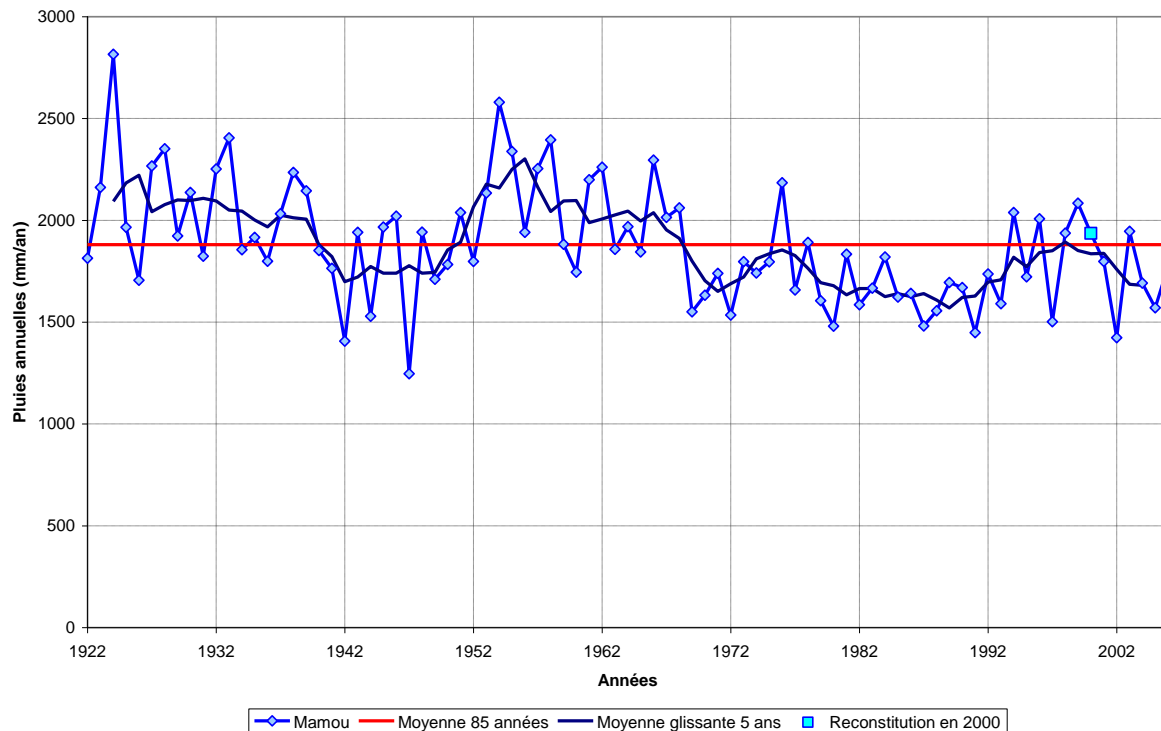


Figure A2. 5 - Pluie annuelle à Mamou (période 1922-2006, reconstitution en 2000)

A2.3.2.2 Variations mensuelles de la pluviométrie

Les données mensuelles sont disponibles sur les stations de Dabola, Tougué, Bafing Makana et Faléa.

L'évolution de la pluviométrie au cours de l'année pour ces quatre stations est précisée par les moyennes mensuelles présentées à la Figure A2. 6 et dans le Tableau A2. 3. La répartition des pluies mensuelles est caractéristique d'un régime tropical des pluies avec l'alternance de deux saisons bien distinctes :

Une saison des pluies de mai à octobre, avec de forts cumuls, plus particulièrement de juillet à septembre. Plus de 90 % de la pluie annuelle se produit pendant cette saison ;

Une saison sèche de novembre à avril, avec des cumuls très faibles, voire quasiment nuls de décembre à février.

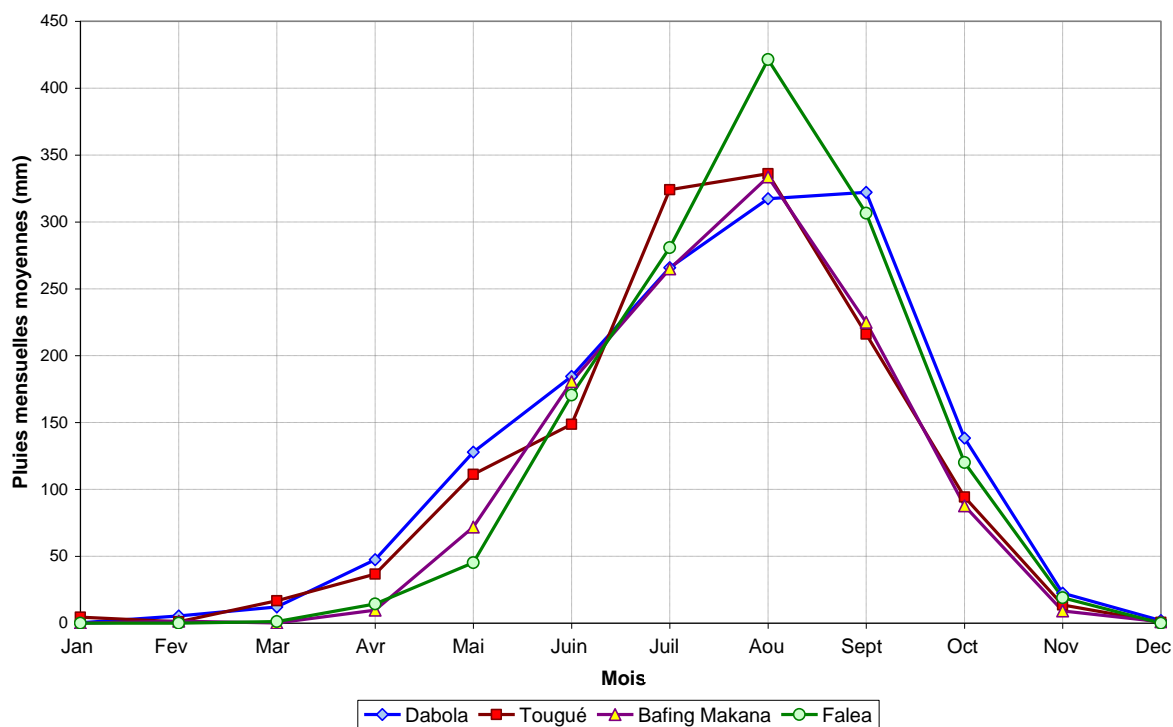


Figure A2. 6 - Pluies mensuelles moyennes sur 4 stations pluviométriques régionales

Tableau A2. 3- Moyennes des pluies mensuelles sur 4 stations pluviométriques régionales

		jan	fev	mar	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	dec	Année
Dabola	P (mm)	0	5	12	48	128	184	266	317	322	138	22	2	1446
	P _{mens} /P _{an} (%)	0	0	1	3	9	13	18	22	22	10	2	0	100
Tougué	P (mm)	4	1	17	37	111	149	324	336	216	94	14	1	1304
	P _{mens} /P _{an} (%)	0	0	1	3	9	11	25	26	17	7	1	0	100
Bafing Makana	P (mm)	0	1	0	10	72	181	265	334	225	88	9	1	1185
	P _{mens} /P _{an} (%)	0	0	0	1	6	15	22	28	19	7	1	0	100
Faléa	P (mm)	0	0	1	14	45	171	281	421	307	120	19	0	1379
	P _{mens} /P _{an} (%)	0	0	0	1	3	12	20	31	22	9	1	0	100

A2.3.3 Les apports en eau

L'estimation des apports en eaux est faite sur la base des chroniques d'apports entre 1951 – 2009 ; période présentant les données les plus complètes. Lors de l'atelier de validation de l'APS de septembre 2011, l'OMVS a émis le souhait de prendre en compte une série d'apports sur la période globale de 1922 – 2009.

Les données hydrologiques disponibles pour la période transmises par l'OMVS sont les apports annuels notamment pour les stations Bakel, Bafing Makana, Kayes, Dakka Saidou, Oualia, Gourbassi, Kidira, Galoubo. Une grande partie de ces données notamment pour la période 1931 à 1951 (essentielle de la période pour laquelle l'étude de sensibilité est souhaitée) sont des données reconstituées.

L'absence d'apports mensuels pour la période 1922 – 1951 rend donc difficile l'étude de sensibilité souhaitée, notamment concernant la précision requise pour l'étude (de simulation de gestion de réservoir avec des apports au pas de temps mensuel). Une analyse de sensibilité à partir de ces apports a toutefois été réalisée, afin de valider la représentativité de la période retenue ⁽³⁾ pour la caractérisation de l'hydraulicité du Bafing à Koukoutamba.

Les apports mensuels et annuels estimés à Koukoutamba sur la période 1951 – 2009 sont présentés dans le Tableau A2. 4 ci-après. Les statistiques sont synthétisées par le Tableau A2. 5. Les apports annuels sont compris entre 2 584 hm³/an (année 1984) et 9 073 hm³/an (année 1957), avec une moyenne de 5283 hm³/an. Les mois de juillet à octobre présentent les apports les plus importants, avec en moyenne 90 % des apports annuels. Le maximum a le plus souvent lieu en septembre (40 années sur 59), parfois en août (16 années sur 59), et plus rarement en octobre (3 années sur 59). A l'inverse, seulement 1.7 % des apports annuels moyens se produisent entre mars et mai.

³ Il est rappelé que la période retenue correspond à la période pour laquelle des données de débit au pas de temps mensuel sont disponibles.

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A2 – Synthèse des données de base

Tableau A2. 4 - Apports mensuels et annuels estimés à Koukoutamba (hm³)

Année	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Apports annuels (hm ³ /an)	Débit annuel moyen (m ³ /s)
1951	208	107	58	18	8	81	459	1266	1530	2056	1169	458	7418	235
1952	274	162	88	35	10	88	621	1442	1869	1812	592	303	7296	231
1953	185	45	37	22	6	139	1086	1375	1742	1272	479	277	6667	211
1954	192	57	43	40	66	374	1136	2640	2047	1113	687	381	8775	278
1955	174	94	70	65	73	328	1141	2244	1870	1386	605	307	8355	265
1956	168	87	57	39	38	132	566	1582	1759	1247	469	208	6351	201
1957	107	57	43	30	28	184	680	2016	2567	2281	790	288	9073	288
1958	148	74	51	39	59	191	778	2253	1932	1151	692	368	7736	245
1959	170	86	59	38	79	298	600	1703	2102	941	432	176	6684	212
1960	90	53	39	28	42	126	772	1486	1598	1094	459	179	5966	189
1961	92	55	43	30	31	239	646	1808	1997	917	415	187	6459	205
1962	105	56	41	28	36	111	660	1595	1948	1320	566	225	6691	212
1963	131	59	42	29	28	43	406	1421	1863	1702	493	198	6417	203
1964	95	53	37	26	36	185	688	1857	2412	1090	440	216	7136	226
1965	111	58	45	34	31	82	718	1579	2258	1200	477	191	6783	215
1966	118	62	48	36	41	66	433	1227	1666	1890	544	208	6338	201
1967	119	63	46	34	41	216	718	2529	2586	1701	559	238	8850	280
1968	141	83	49	32	46	151	386	957	1323	767	259	144	4338	137
1969	69	39	31	25	23	102	652	1391	2065	1783	690	234	7105	225
1970	109	56	41	29	31	76	359	1732	1725	651	224	118	5151	163
1971	66	42	33	27	37	61	431	1578	1409	569	194	106	4552	144
1972	56	37	27	17	19	180	558	1097	1394	800	263	163	4611	146
1973	71	41	31	19	54	141	413	1179	1361	643	217	93	4262	135
1974	56	36	27	18	15	126	663	1511	1555	993	260	123	5383	171
1975	71	44	34	23	15	78	581	941	1629	967	291	126	4801	152
1976	74	45	32	23	27	125	584	1390	1185	1241	821	221	5767	183
1977	110	56	38	29	28	74	239	609	1058	487	163	72	2962	94
1978	47	30	23	16	19	95	355	1147	1307	1036	324	127	4526	143
1979	63	36	25	16	17	102	330	798	840	517	299	99	3141	100
1980	54	33	23	11	14	72	415	1447	1218	390	182	82	3939	125
1981	49	32	26	28	53	87	409	1458	1073	629	199	87	4130	131
1982	52	33	26	18	16	56	356	938	1068	511	200	80	3354	106
1983	48	30	22	12	15	159	537	1055	1183	566	217	81	3927	124
1984	53	33	27	20	11	76	541	528	553	561	126	54	2584	82
1985	36	23	17	9	1	7	334	1313	1221	520	152	69	3703	117
1986	41	25	18	9	8	43	230	1192	1350	636	213	81	3847	122
1987	50	33	24	13	17	92	161	1022	1379	840	226	91	3947	125
1988	52	33	22	11	10	28	351	1379	1447	555	187	86	4162	132
1989	54	34	27	20	10	33	231	1199	1251	683	201	86	3828	121
1990	52	33	23	14	10	46	556	1268	1133	528	208	81	3951	125
1991	48	29	21	10	5	34	543	1424	1259	973	294	113	4754	151
1992	63	39	27	17	13	31	560	1042	1213	606	227	91	3929	125
1993	52	33	23	14	13	53	279	889	1208	440	209	81	3295	104
1994	48	30	23	12	6	55	308	1021	1708	1205	629	179	5223	166
1995	81	46	35	26	23	54	190	1678	1492	852	236	115	4829	153
1996	63	38	28	16	15	84	366	1325	1439	788	218	94	4473	142
1997	54	33	25	22	50	264	561	1221	1563	661	232	100	4787	152
1998	59	36	27	19	19	52	286	1552	1425	922	243	101	4742	150
1999	59	36	27	17	22	52	321	1208	1438	1394	437	169	5181	164
2000	86	44	34	25	27	42	439	1080	1464	975	335	123	4672	148
2001	65	40	30	19	15	101	452	1446	1638	686	235	102	4830	153
2002	57	34	26	15	10	37	470	1743	1356	783	280	101	4911	156
2003	58	37	25	15	22	52	964	1733	2060	961	418	145	6490	206
2004	77	46	33	26	25	51	745	1085	1449	668	327	108	4640	147
2005	66	40	48	25	24	312	800	1472	1350	808	234	108	5287	168
2006	63	39	28	20	33	110	422	1130	1187	898	348	124	4401	139
2007	64	38	29	16	16	16	306	1571	1610	668	279	109	4722	150
2008	57	36	26	16	25	67	604	1641	1245	867	324	118	5024	159
2009	63	38	30	21	14	58	227	1078	1712	863	329	120	4552	144

Tableau A2. 5 - Statistiques des apports (hm³) à Koukoutamba

	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Année
Nb	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59
Moy	87	48	35	23	26	109	519	1398	1547	967	370	154	5283
E.T.	49	23	13	10	17	82	224	411	401	429	203	86	1536
Cv	0.56	0.48	0.39	0.43	0.67	0.75	0.43	0.29	0.26	0.44	0.55	0.56	0.29
Min	36	23	17	9	1	7	161	528	553	390	126	54	2584
Med	65	39	30	21	22	82	470	1390	1449	867	294	120	4801
Max	274	162	88	65	79	374	1141	2640	2586	2281	1169	458	9073

A2.3.4 Régime des débits du Bafing à Koukoutamba

A2.3.4.1 Débits annuels

La Figure A2. 7 présente les débits moyens annuels estimés au site de Koukoutamba de 1951 à 2009. Le module ⁽⁴⁾ est égal à 167 m³/s sur les 59 années de données, soit un débit moyen spécifique de 15.7 l/s/km². La moyenne glissante sur 5 ans et également représentée en gras sur la figure. Elle permet d'analyser l'évolution à moyen terme du débit de la rivière Bafing à Koukoutamba. Elle souligne une période de fort débit avant 1970, suivie de quelques années avec des débits proches du module de 1971 à 1976. Une longue période de faibles débits s'étale de 1977 à 1993. Depuis 1994, les débits annuels sont proches du module.

Les années les plus humides ont été 1957 et 1967 avec un débit annuel respectif de 288 et 280 m³/s. A l'opposé, 1984, 1977 et 1979 présentent les débits annuels les plus faibles avec respectivement 82, 94 et 100 m³/s.

⁽⁴⁾ Le module est le débit annuel moyen sur une période temporelle donnée.

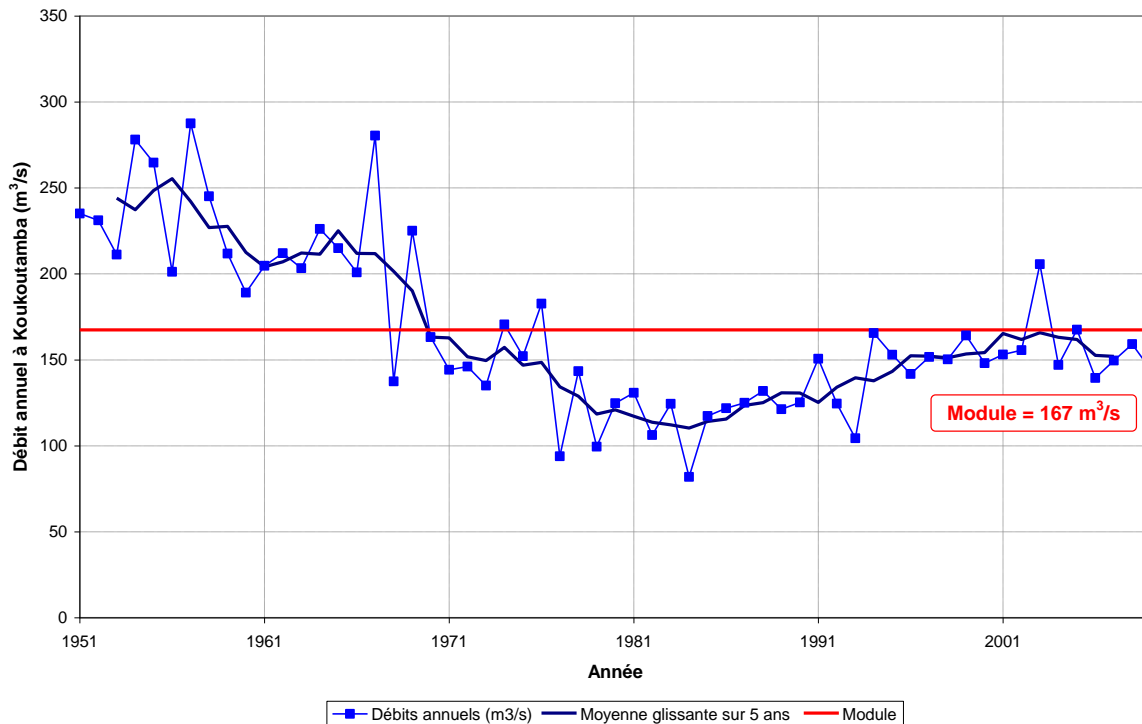


Figure A2. 7 - Débit moyen annuel à Koukoutamba (m³/s)

Le Tableau A2. 6 et la Figure A2. 8 présentent les résultats de l'analyse fréquentielle des débits annuels à Koukoutamba. La loi de Galton (ou gaussio-logarithmique) a été utilisée pour l'ajustement. Les quantiles de débit annuel varient entre 56 et 142 m³/s pour les années sèches, et entre 182 et 463 m³/s pour les années humides.

Tableau A2. 6 - Analyse fréquentielle des débits annuels à Koukoutamba (m³/s)

	Périodes de retour T ans	Fréquences F	Quantiles Qan(T) m ³ /s
Années sèches	10000	0,0001	56
	1000	0,001	67
	500	0,002	71
	100	0,01	83
	50	0,02	90
	20	0,05	101
	10	0,1	112
	5	0,2	127
	3	0,33	142
	Médiane	2	0,5
Années humides	3	0,67	182
	5	0,8	204
	10	0,9	232
	20	0,95	257
	50	0,98	288
	100	0,99	312
	500	0,998	364
	1000	0,999	387
	10000	0,9999	463

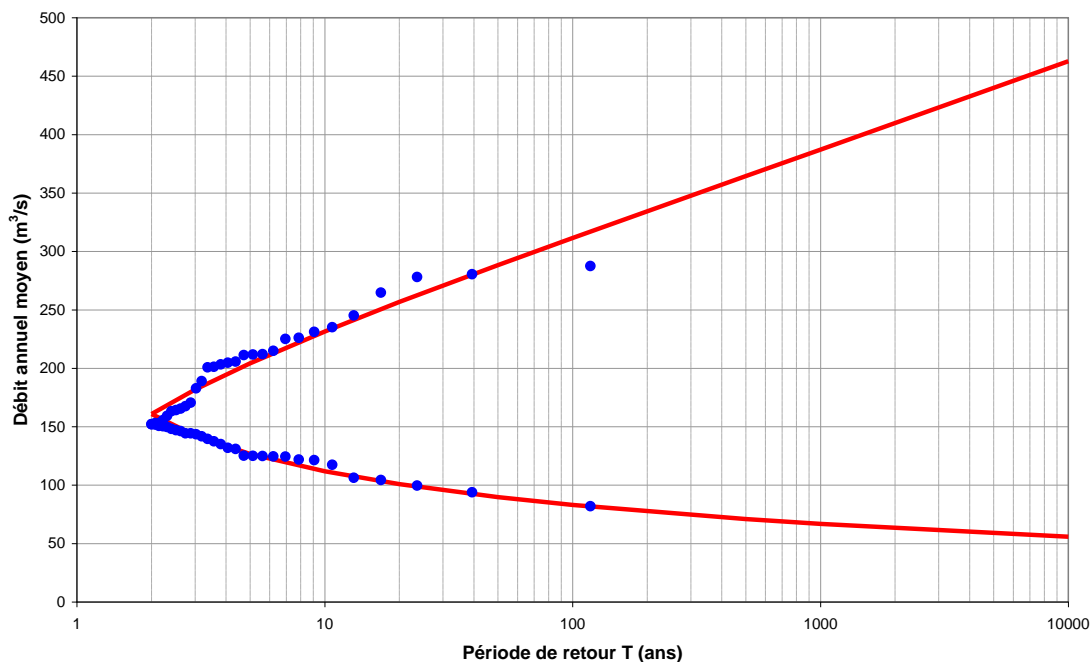


Figure A2. 8 - Analyse fréquentielle des débits annuels à Koukoutamba (m³/s)

A2.3.4.2 Débits mensuels

Le Tableau A2. 7 et la Figure A2. 9 synthétisent les statistiques des débits mensuels estimés à Koukoutamba. L'évolution saisonnière est caractéristique du régime tropical de transition avec une période de forts débits de juillet à octobre et une période de faibles débits le reste de l'année. Les mois présentant les plus forts débits sont août et septembre (et plus rarement octobre) avec un débit mensuel maximal égal à 998 m³/s en septembre 1967. Les étiages sont particulièrement sévères de mars à mai avec des débits moyens inférieurs à 15 m³/s et une valeur minimale de 1 m³/s estimée en mai 1985.

Tableau A2. 7 - Statistiques des débits mensuels et annuels à Koukoutamba (m³/s)

	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Année
Nb	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59
Moy	33	20	13	9	10	42	194	522	597	361	143	58	167
E.T.	18	10	5	4	6	32	84	153	155	160	78	32	49
Cv	0.56	0.48	0.39	0.43	0.67	0.75	0.43	0.29	0.26	0.44	0.55	0.56	0.29
Min	13	10	6	3	1	3	60	197	213	145	49	20	82
Med	24	16	11	8	8	32	175	519	559	324	114	45	152
Max	102	66	33	25	29	144	426	986	998	852	451	171	288

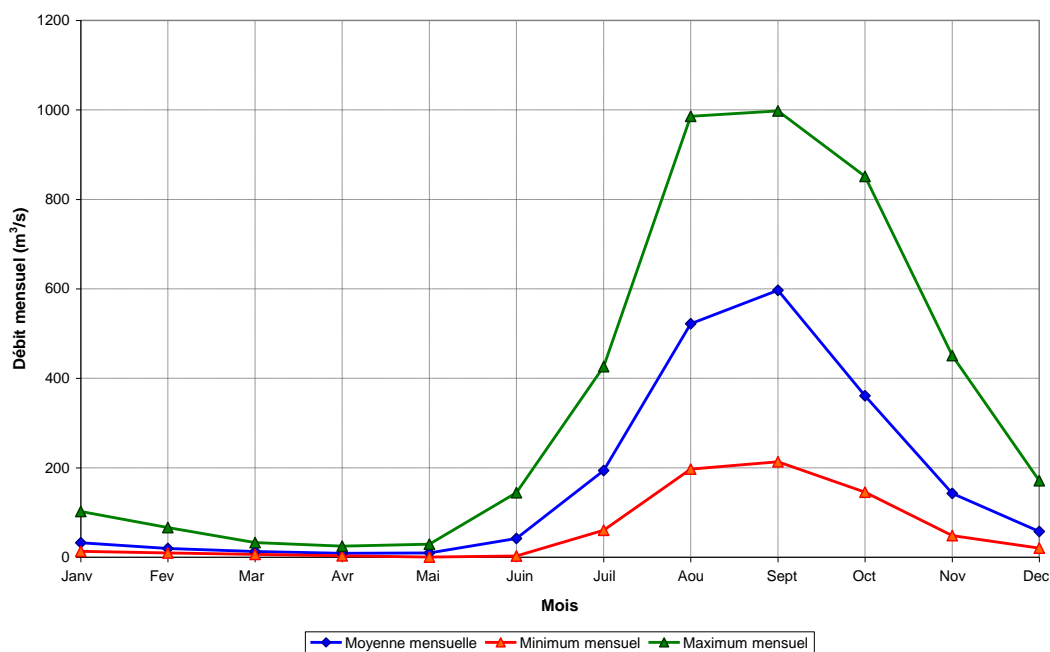


Figure A2. 9 - Débits mensuels moyen, minimum et maximum à Koukoutamba (m³/s)

La Figure A2. 10 présente la courbe des débits moyens mensuels classés estimés à Koukoutamba. Le débit garanti 95 % du temps est de 6.1 m³/s. Dans le Tableau A2. 8 sont indiqués les valeurs numériques des débits garantis à Koukoutamba. Le débit moyen annuel (167 m³/s) est dépassé 32 % du temps, ce qui souligne la sévérité des étiages et l'intérêt de stocker au mieux les plus forts débits pour pouvoir les valoriser en saison sèche.

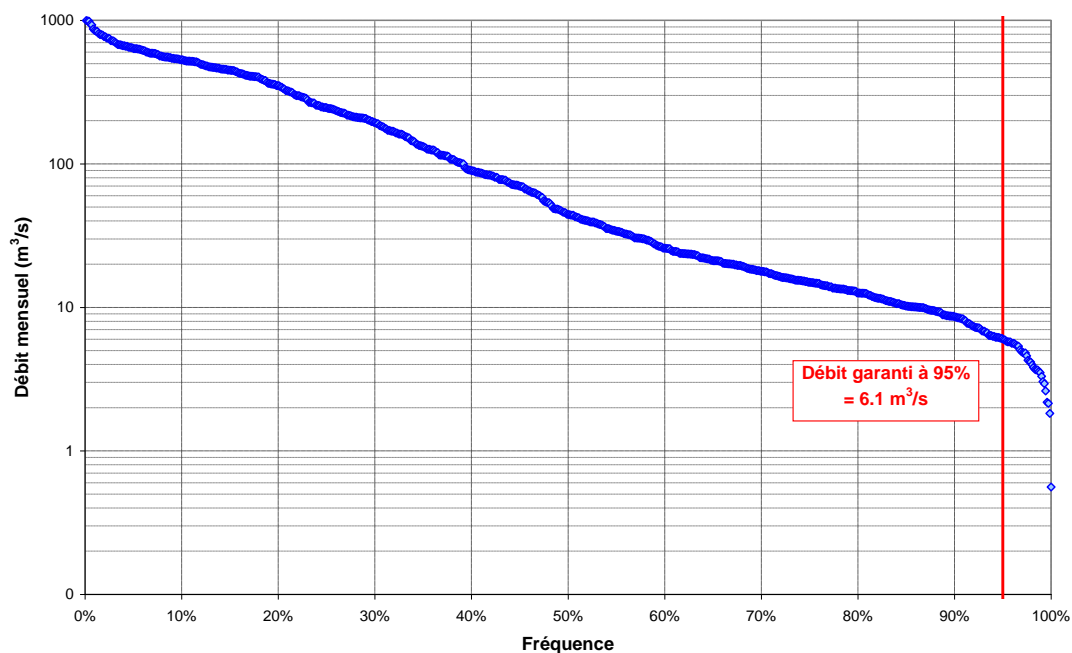


Figure A2. 10 - Débits moyens mensuels classés à Koukoutamba (1951 - 2009)

Tableau A2. 8 - Débits garantis (m³/s) à Koukoutamba (données de 1951 à 2009)

Probabilité de dépassement	Débit garanti (m³/s)	Probabilité de dépassement	Débit garanti (m³/s)
0 %	998	60 %	26
10 %	532	70 %	18
20 %	351	80 %	13
30 %	193	90 %	9
40 %	90	95 %	6.1
50 %	44	100 %	1

A2.3.5 Crues du Bafing à Koukoutamba

A2.3.5.1 Régime des crues

Le Tableau A2. 9 résume les quantiles de débit Q(T) et les quantiles de débit centré Q'(T) obtenus à l'issue de l'analyse statistique avec les coefficients de Francou-Rodier KFr associés, issus de l'analyse régionale.

Tableau A2. 9 - Q(T) et Q'(T) à Koukoutamba (10 670 km²) et les K(Fr) associés

T (ans)	Q(T) (m ³ /s)	Kfr (Q(T))	Q' (T) (m ³ /s)	Kfr (Q' (T))
2	908	2.34	1 026	2.47
5	1 173	2.62	1 326	2.76
10	1 354	2.78	1 530	2.91
20	1 529	2.91	1 727	3.04
50	1 768	3.07	1 997	3.20
100	1 952	3.18	2 205	3.31
200	2 137	3.28	2 414	3.41
500	2 387	3.40	2 697	3.53
1 000	2 581	3.48	2 917	3.62
2 000	2 776	3.56	3 137	3.70
5 000	3 046	3.66	3 442	3.80
10 000	3 259	3.74	3 682	3.87

A2.3.5.2 Hydrogrammes de crues

La Figure A2. 11 ci-après regroupe un échantillon de 53 crues reconstitués à Koukoutamba à partir du débit maximal journalier annuel à Dakka Saidou.

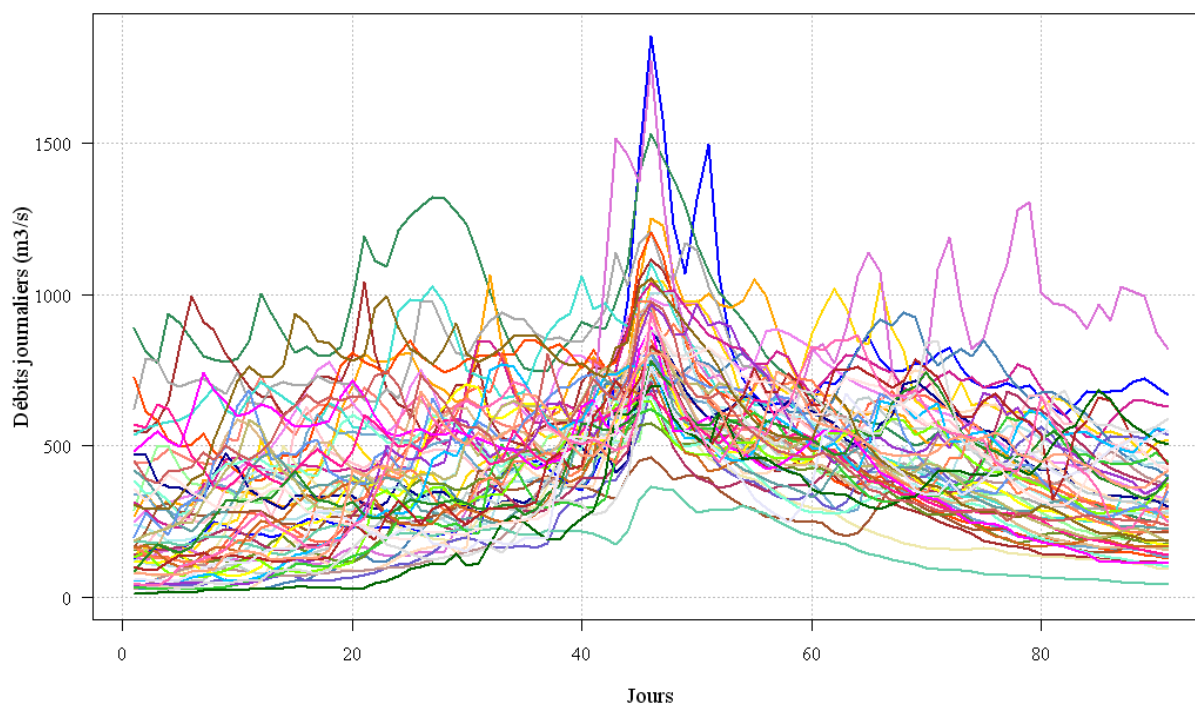


Figure A2. 11 - Echantillon d'hydrogrammes de crue au site de Koukoutamba

L'analyse des formes de ces hydrogrammes sont caractéristiques de la dynamique de crues. Associées aux statistiques des débits maximaux journaliers, ils permettent de déterminer les hydrogrammes de projet.

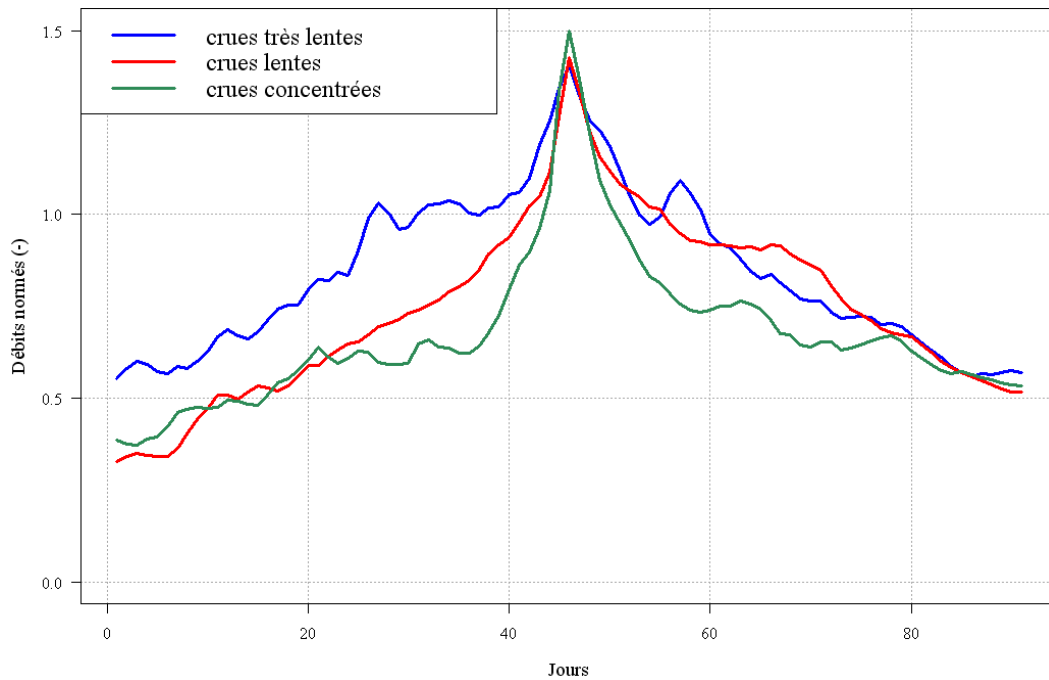


Figure A2. 12 - Histogrammes moyens normés – formes synthétiques

A2.3.5.3 Volumes de crues

Les volumes de crue reconstitués à Koukoutamba sont ajustés à l'aide de différentes lois statistiques. Les résultats sont synthétisés sur la Figure A2. 13 et le Tableau A2. 10. Trois lois donnent des valeurs du Khi^2 minimales. Privilégiant une approche conservatrice, les quantiles issus de la loi de Galton seront retenus : le volume de crue pour une période de retour de 10 000 ans est ainsi estimé à $9\,190 \text{ hm}^3$.

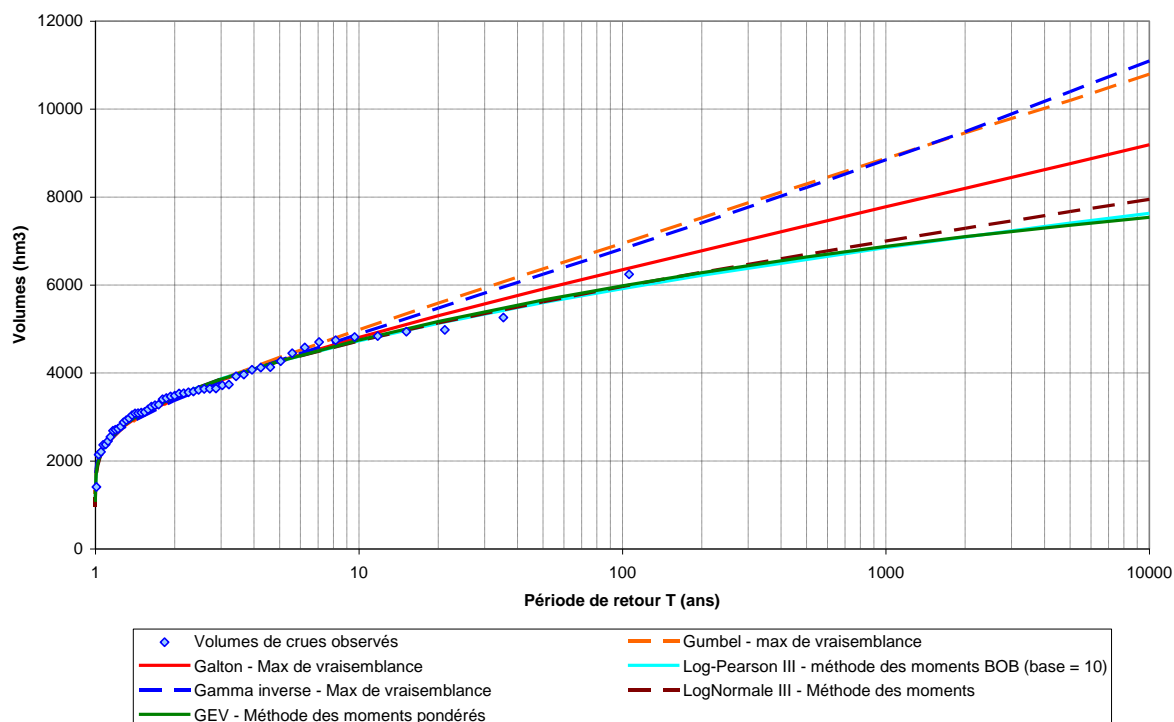


Figure A2. 13 - Volumes de crue en fonction de T - extrapolation des valeurs extrêmes

Tableau A2. 10 - Résultats des ajustements statistiques de différentes lois à Koukoutamba

Lois	Gumbel	Galton	Log-Pearson III	Gamma inverse	Log-Normale III	GEV
Méthode d'ajustement	Max de vraisemblance	Max de vraisemblance	Méthode des moments	Max de vraisemblance	Méthode des moments	Méthode des moments
Nombre de paramètres	2	2	3	3	3	3
Khi ²	3.55	3.21	3.21	4.57	3.55	3.21
T (ans)	V(T) (hm3)	V(T) (hm3)	V(T) (hm3)	V(T) (hm3)	V(T) (hm3)	V(T) (hm3)
2	3410	3420	3470	3380	3470	3460
5	4360	4280	4270	4290	4270	4270
10	4990	4810	4730	4890	4730	4750
20	5590	5300	5130	5480	5140	5170
50	6370	5910	5600	6250	5620	5660
100	6950	6350	5920	6830	5970	5980
200	7530	6780	6220	7420	6290	6280
500	8300	7350	6580	8220	6700	6640
1000	8880	7780	6850	8850	7000	6880
2000	9460	8200	7090	9490	7290	7100
5000	10200	8760	7410	10400	7670	7360
10000	10800	9190	7630	11100	7950	7540

A2.3.5.4 Hydrogrammes de crues à Koukoutamba

La présente les hydrogrammes pour la crue décennale à Koukoutamba, obtenus avec les trois formes précédemment déterminées.

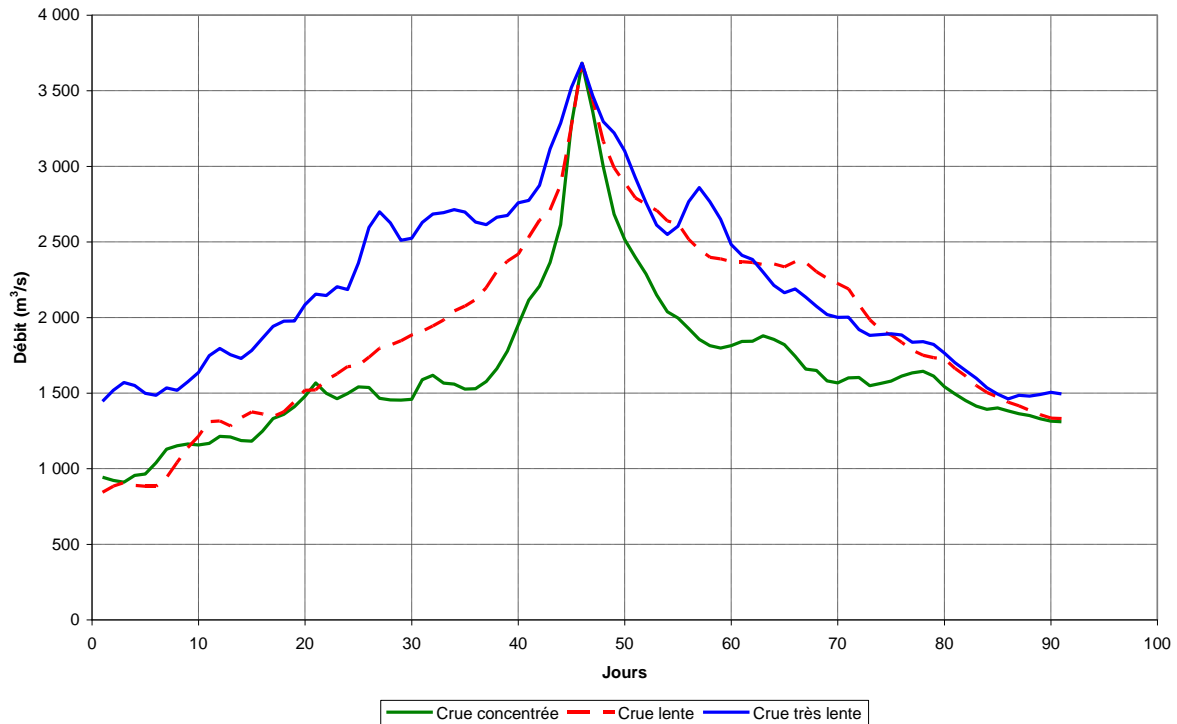


Figure A2. 14 - Trois hydrogrammes de la crue décennale à Koukoutamba

Le Tableau A2. 11 indique les volumes correspondants à chacune des trois formes présentées sur la Figure A2. 14

Tableau A2. 11 - Volume de la crue décennale à Koukoutamba selon les trois formes d'hydrogrammes

Dynamique de crue	Volume (T = 10 000 ans)
Crue concentrée	13 037 hm ³
Crue lente	15 196 hm ³
Crue très lente	17 416 hm ³

De plus, la Figure A2. 11 indiquait que les pointes les plus importantes (supérieures à 1 500 m³/s) étaient observées pour des crues concentrées. Aussi, la Figure A2. 15 présente les hydrogrammes de crues retenues à Koukoutamba pour différentes périodes de retour, avec la dynamique des crues concentrées.

L'analyse fréquentielle des débits maximaux journaliers a permis de déterminer le débit de pointe de la crue décennale à 3 682 m³/s, soit 1.86 fois la plus forte crue reconstituée à Koukoutamba. De même, l'analyse régionale a permis d'estimer la crue maximale probable à 4 331 m³/s, soit 2.2 fois la plus forte crue reconstituée à Koukoutamba.

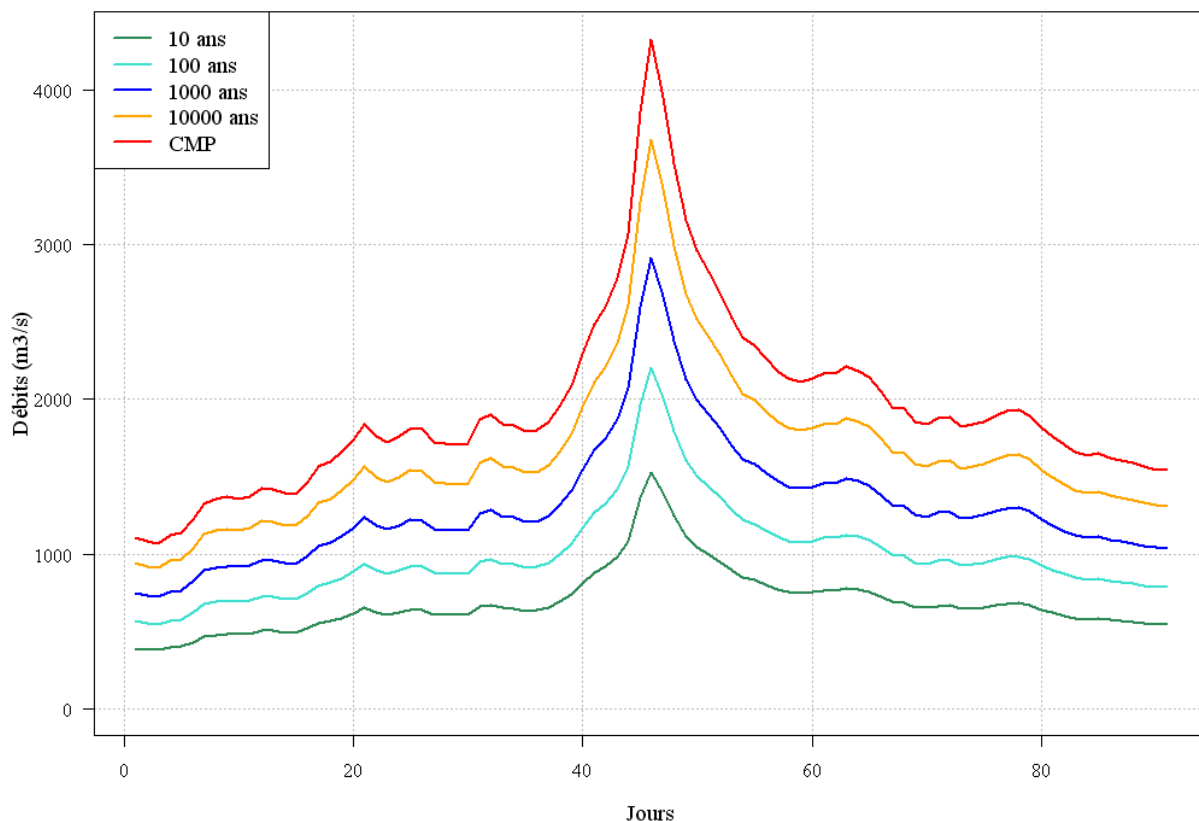


Figure A2. 15 - Hydrogrammes de crues à Koukoutamba

A2.4 GEOLOGIE

Le barrage de Koukoutamba est situé en Moyenne Guinée, dans la partie est de la région du Fouta Djallon, sur la rivière Bafing, environ 550 km à nord-est de Conakry et 150 km de Labé. Le site du barrage se trouve à environs 73 km de la sous-préfecture de Tougué.

A2.4.1 Cadre géologique régional

La géologie du centre de la Guinée est composée d'un socle granitique précambrien dont l'épaisseur dépasse les 1000 mètres, recouvert par des formations gréseuses et schisteuses de plusieurs centaines de mètres, attribuées à l'Ordovicien. Ces niveaux détritiques sont généralement horizontaux ou faiblement plissés.

Plus récemment encore, à la suite de déformations orogéniques au Mésozoïque, cet ensemble de grès et de schistes gréseux a été traversé par des montées de roches volcaniques basiques présentant une structure doléritique caractéristique. Traversant les grès et les schistes ordoviciens sous la forme de cheminées, ces laves se sont épanchées au sein de ces niveaux naturellement lités sous forme de coulées superposées plus ou moins épaisses concordantes avec leur stratification. Ces coulées sont appelées « sills ».

Ces épanchements se sont produits au cours de plusieurs époques (dans un même sill, on peut trouver jusqu'à trois coulées d'âges différents). Ils ne sont pas datés, on sait simplement qu'ils sont postérieurs au Dévonien puisque les dépôts de cette époque sont parfois traversés par ces épanchements.

Le Fouta Djallon se situe sur la bordure sud-ouest du craton ouest-africain. Ce vaste complexe géologique est stabilisé depuis la fin du Paléoprotérozoïque (1,7 Ga).

Le craton ouest-africain se compose des dorsales de Réguibat au nord et de Man ou Léo au Sud. Les deux dorsales présentent beaucoup de similitudes tant du point de vue de la nature des formations géologiques que des âges. Elles sont séparées par la plateforme sédimentaire Taoudéni au sein de laquelle affleurent les deux fenêtres de Kayes et de Kéniéba.

Le site du barrage de Koukoutamba est situé dans la partie sud-ouest du bassin Taoudéni, proche de la limite nord de la fenêtre tectonique de Man.

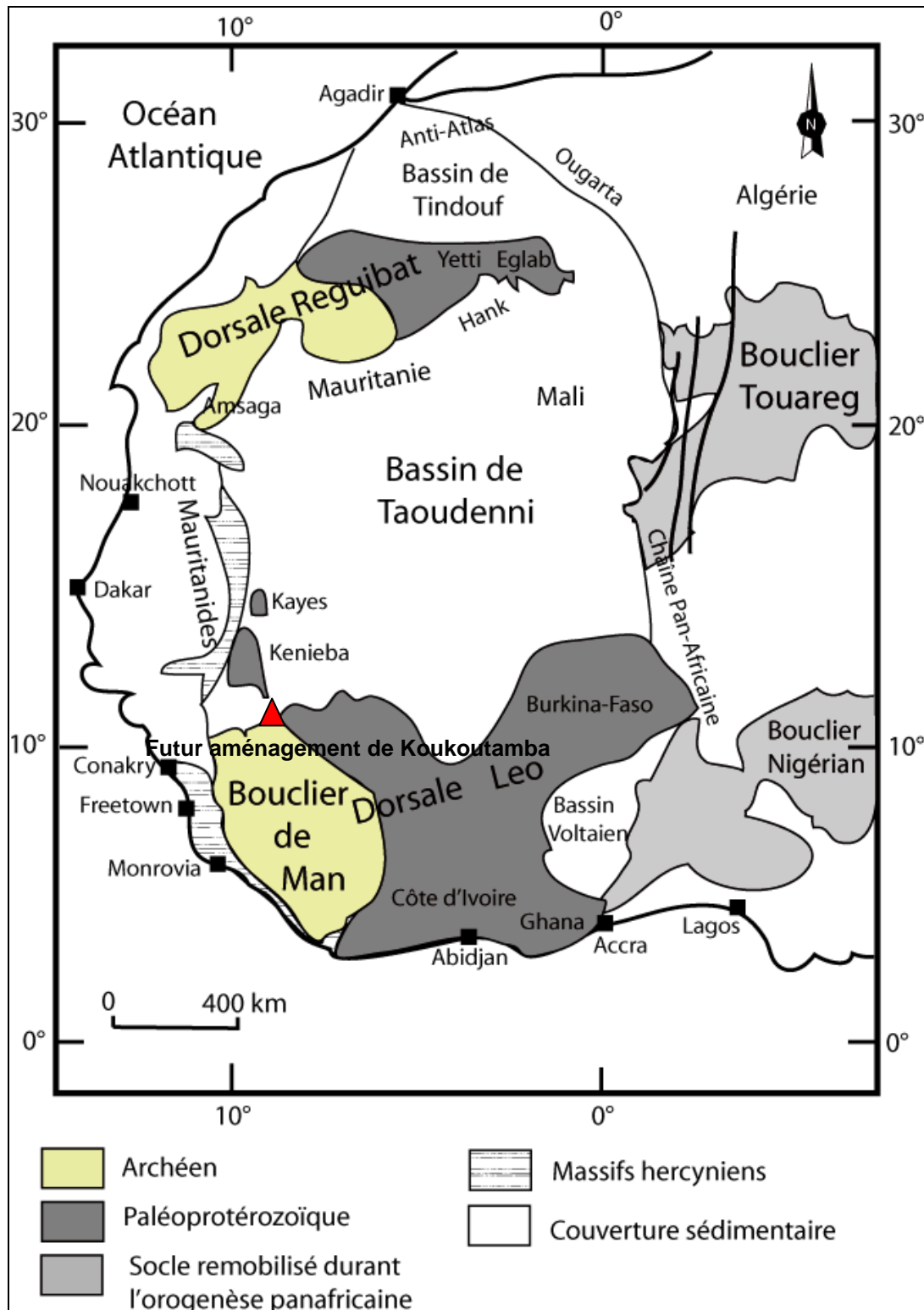


Figure A2. 16 - Principales unités structurales de l'Afrique occidentale (d'après Peucat et al., 2005, modifiée)

Le soubassement régional est constitué par une série sédimentaire, d'âge primaire, datée de l'Ordovicien. Elle est composée d'une superposition subhorizontale de bancs décamétriques de «schistes » gréseux. Cette série litée a été injectée de coulées magmatiques doléritiques qui se sont mises en place sous forme de sills, concordants avec la stratification sédimentaire.

L'épaisseur de ces sills varie de quelques mètres à une centaine de mètres. Le substratum rocheux régional constitue, ainsi, une structure stratifiée presque subhorizontale puisque l'on y mesure une composante uniforme de pendage vers le Nord-Ouest, dont l'angle de plongement n'est que de 0-5°.

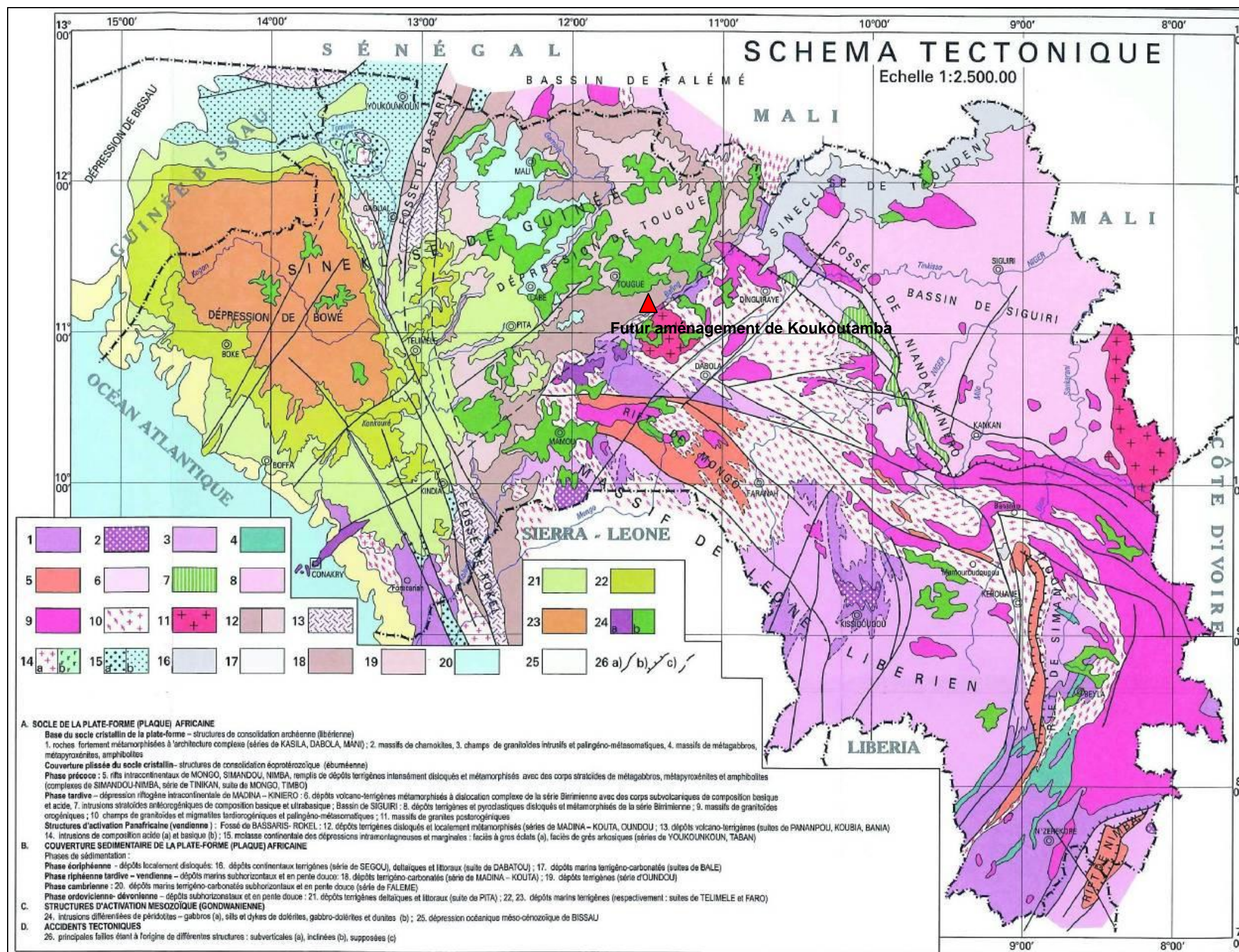


Figure A2. 17 - Carte géologique régionale de la Guinée - Schéma tectonique (d'après Bouféev et al., Conakry-Moscou, 2010)

Les grès et les sills de dolérite, qui recouvrent ces grès, présentent les caractéristiques suivantes :

- Les grès sont gris-blancs, à grains fins, siliceux (quartzeux), à cimentation irrégulière (friables parfois dans les affleurements), à stratification entrecroisée. Les bancs, d'épaisseur métrique à décamétrique, affleurent dans le lit du Bafing; en dehors des affleurements, les schistes gréseux sont masqués par de formations latéritiques.



Figure A2. 18 - Affleurement de grès dans le lit du Bafing vers la rive droite

- Les coulées de dolérite intercalées dans les schistes ont une « granulométrie » très variable en fonction de la distance au bord de la coulée. Au bord, la matrice est microcristalline. Plus loin du bord, les cristaux sont fins, puis de plus en plus gros. A plusieurs dizaines de mètres du bord, les cristaux peuvent être très grossiers. La métamorphisation des grès encaissants est généralement très réduite, de l'ordre de quelques décimètres. Parfois, elle est inexistante.



Figure A2. 19 - Bloc de dolérite en correspondance de la zone de carrière en RD

Les schistes et les dolérites se latéritisent facilement, donnant successivement des argiles, des argiles gravillonneuses, des croûtes, enfin une carapace en surface. Cette carapace et la croûte peuvent atteindre 10 mètres d'épaisseur. La roche mère saine peut se trouver entre 20 et 30 mètres de profondeur.

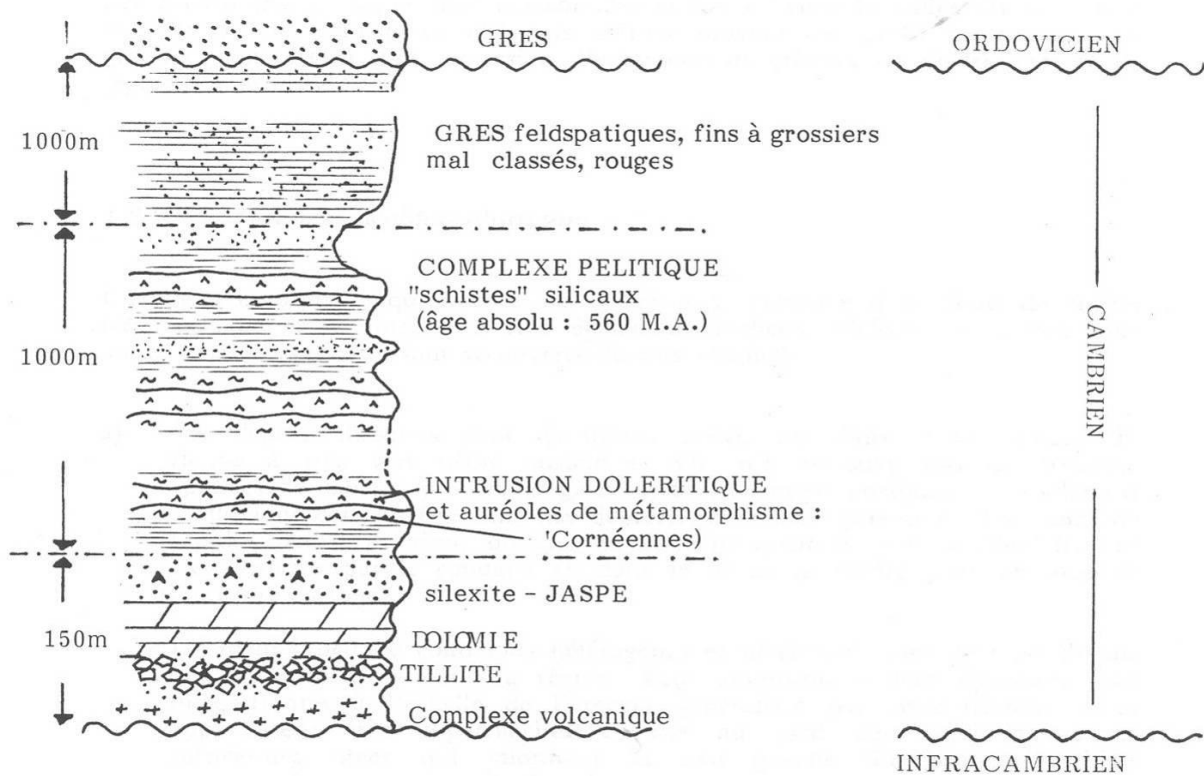


Figure A2. 20 - Série stratigraphique primaire de la Moyenne Guinée (Bassin versant du Bafing)

La carapace sur les plateaux et les terrains altérés sur les versants donnent à la région une morphologie douce, à forme arrondie.

Le profil d'altération latéritique de type cuirassé est caractéristique des formations birmiennes (paléoprotérozoïque) et archéennes rencontrées au nord/est et au centre de la Guinée. Il se décompose, de bas en haut, depuis la roche mère saine à la surface comme montré dans la figure suivante.

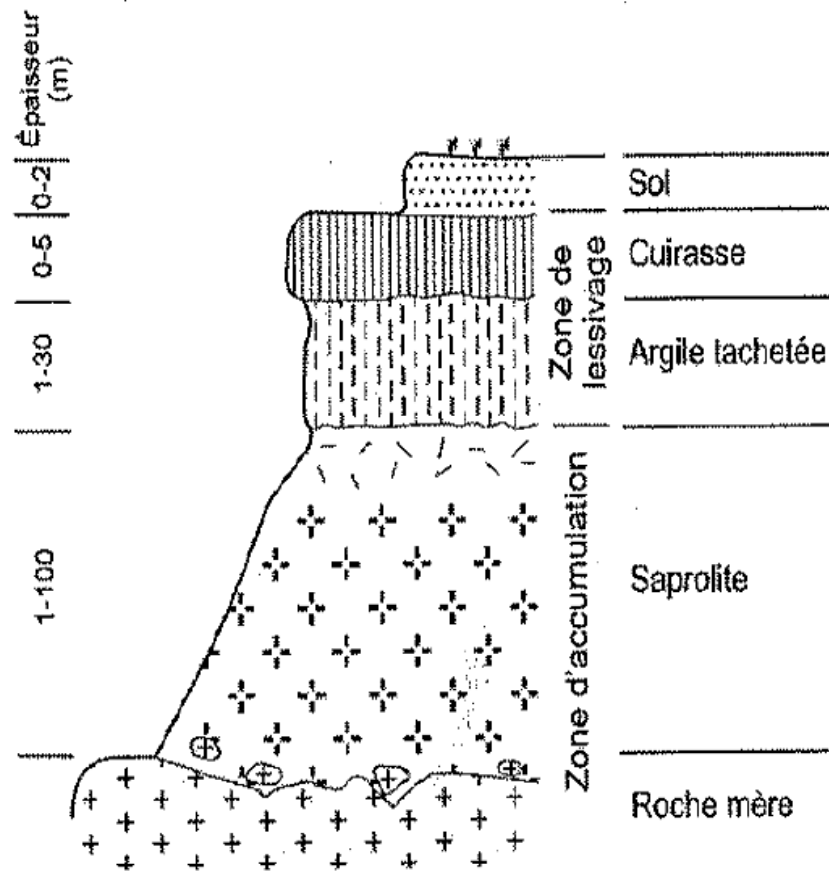


Figure A2. 21 - Profil latéritique type (adapté de Millot – 1964)

- **Horizon cuirassé**

Un horizon cuirassé, de 1 à 5 m d'épaisseur, se forme au-dessus de l'argile tachetée. La cuirasse se développe par une importante accumulation d'oxyde de fer, aux dépens de la kaolinite.

On distingue une évolution graduelle de faciès de la base vers le sommet de la cuirasse. A la transition avec l'argile tachetée, la cuirasse prend un faciès appelé massif, car la coalescence des taches ferrugineuses forme une matrice ferrugineuse homogène à dominante hématitique englobant les tubules d'argiles résiduelle ou les quartzs primaires. Vers le haut, la matrice hématitique se dégrade et devient plus poreuse. On observe alors le développement de dépôts cutanés goethitiques et gibbsitiques plus ou moins rubanés qui isolent progressivement les plages de matrice hématitique.



Figure A2. 22 - Horizon de cuirasse latéritique dans le sondage S6 en rive gauche à la profondeur de 2 m

Au sommet de la cuirasse, ces phases goethitiques et gibbsitiques englobent les plages de matrice hématitique ce qui confère un aspect conglomératique à la cuirasse que l'on qualifie alors de faciès nodulaire ou pisolitique. Lorsque la cuirasse est très évoluée, le quartz primaire est entièrement dissous, les oxy-hydroxydes de fer et la kaolinite sont déstabilisés au profit de la gibbsite qui épigénise la matrice ferrugineuse, formant ainsi une cuirasse alumino-ferrugineuse.

On peut décrire une séquence d'horizons similaires dans le cas des plateaux bauxitiques de la région de Dabola comme dans la province « bauxitique » ouest-guinéenne. Dans ce cas, l'absence de quartz exprimé et la remobilisation précoce de la silice dans le profil permettent le développement d'une phase gibbsitique dès la saprolite, la kaolinite étant rapidement dégradée à la transition argile tacheté – cuirasse bauxitique. On retrouve toutefois des faciès de bauxite massive à la base et des faciès à dominante pisolitique au sommet de la cuirasse bauxitique.

- **Argile tachetée**

L'argile tachetée se développe aux dépens de la saprolite. Cet horizon de quelques mètres d'épaisseur se caractérise par la disparition de la plupart des textures primaires et par le développement de taches centimétriques d'oxy-hydroxydes de fer au sein de la matrice argileuse. La kaolinite est généralement le minéral prédominant. Les micas blancs sont altérés en kaolinites et gibbsites. Le quartz se maintient.



Figure A2. 23 - Niveau d'argile tachetée dans le sondage S6 en rive gauche à la profondeur de 18m

- **Saprolite**

L'horizon à saprolite peut attendre 2 à 50 m d'épaisseur et repose directement sur la roche mère. La saprolite se caractérise par une altération iso-volumétrique de la roche mère. La composition minéralogique de cet horizon se marque par la destruction de la plupart des minéraux primaires, en particulier des feldspaths. En revanche le quartz, les micas blancs et les minéraux lourds (rutilé, zircon,...) sont préservés.



Figure A2. 24 - Niveau saprolitique dans le sondage S6 en rive gauche à la profondeur de 28m

La paragenèse secondaire est dominée par une phase argileuse à smectite, vermiculite et surtout kaolinite qui devient prédominante vers le haut de la saprolite. Le reste des minéraux secondaires se compose de goethite, gibbsite et anatase.

A2.4.2 Géologie du site de l'aménagement

La géologie régionale est caractérisée par la présence d'un complexe gréseux d'âge infracambrien, fortement injecté par les dolérites du Fouta Djallon (à l'ouest du fleuve Bafing), qui se trouve au-dessus du socle granitique précambrien.

Au niveau du site du barrage de Koukoutamba on trouve les grès quartzeux de la *série de Kannta* (Vkn) intersectés, au cours de l'élévation du Fouta Djallon, par les dolérites mésozoïques ($\mu\theta$).

Les plateaux et les glacis constituent les structures dominantes dans cette région. Elle est caractérisée par un relief relativement plat, avec le versant droit de la vallée un peu plus incliné que le versant gauche. Le lit du fleuve est rocheux et de forme topographique très irrégulière. Sur une longueur d'environ 900 m le lit du fleuve est coupé par des cascades et rapides transversales dont la hauteur est de plusieurs mètres.

Les grès présents au droit et à l'amont du site de Koukoutamba appartiennent à l'unité de Kannta (Vkn). Ils correspondent à des assises de grès feldspatho-quartzeux interstratifiés avec des argilites. L'unité est représentée par :

- Des grès quartzeux rouges à intercalations peu épaisses d'argilites rouges,
- Des argilites à intercalations de grès graveleux
- Des grès graveleux hétérogrenus à intercalations d'argilites gréseuses avec, vers la base, des lentilles de conglomérats et des indices de ravinements.

Les dépôts de la suite de Kannta atteignent une épaisseur d'environ 250 m. La limite entre ce complexe et le socle granitique se trouve à une dizaine de kilomètres à l'est du site ainsi qu'à 25 km à l'amont le long du fleuve Bafing.

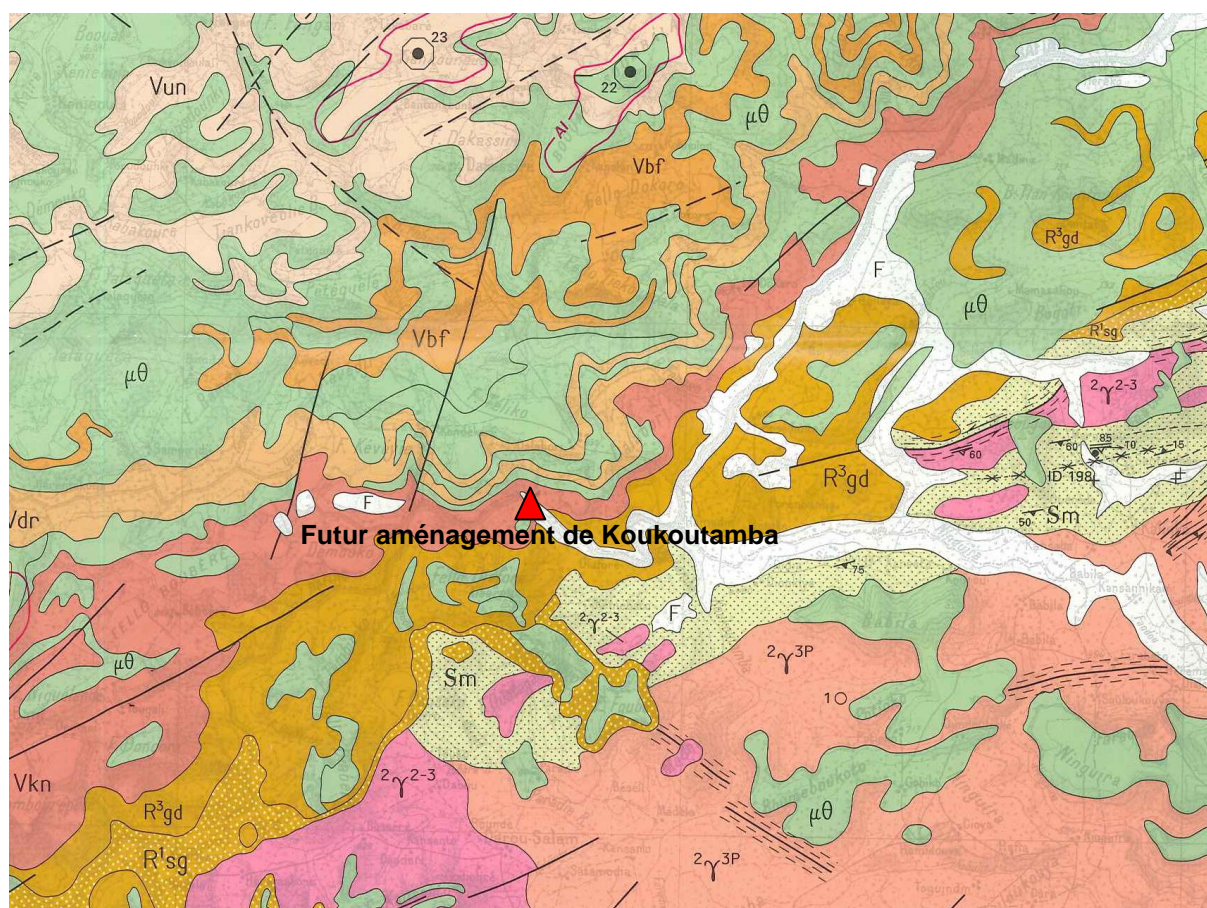


Figure A2. 25 - Extrait de la carte géologique au 1/200 000, feuille n°10-3 Tougué – Kéniéba, 2ème édition, 2004 (Vkn) : grès de la série de Kannta ; (μθ) : dolérites mésozoïques

Les lithologies rencontrées sur site sont les suivantes :

- dépôts Quaternaires : alluvions récentes et sols latéritiques,
- substratum rocheux : grès quartzeux (sains et altérés) et dolérites.

Les grès quartzeux sains affleurent en couches et bancs subhorizontaux, d'épaisseur entre 0,2 et 1,5 m, dans le lit de la rivière Bafing, plongeant en direction NO avec une faible inclinaison de 0-5°. De couleur noire en patine, ils montrent une couleur blanche grisâtre en fracture frais.

Cette lithologie a été reconnue en rive droite le long d'une galerie de reconnaissance trouvée encore ouverte où les couches de grès blanc rosâtre, avec diffuses patines d'oxydation couleur ocre, sont fortement altérées, kaolinisées, avec une très faible résistance mécanique. Lors des reconnaissances une attention particulière a été adressée à étudier le profil d'altération et la résistance du rocher ainsi que leurs variations avec la profondeur jusqu'à rencontrer le substratum sain et compétent.

Les affleurements de dolérite sont très dispersés le long des talus de deux rives et on les retrouve sous forme de blocs métriques arrondis, correspondants à des intrusions de faible dimension. Ces blocs de dolérite sont de couleur marron brunâtre en patine et gris en fracture fraîche. On distingue de nombreux cristaux de plagioclase et de proxène. La roche est compétente montrant généralement un faible degré d'altération géochimique.



Figure A2. 26 - Bloc de dolérite en état d'altération superficielle – Rive gauche (altération en blocs ronds et en pelures d'oignons)

Localement, des dépôts de sable alluvionnaires quartzitiques forment une terrasse de quelques mètres surélevée par rapport au lit du fleuve Bafing.

Sols latéritiques rouge brunâtre avec blocs de cuirasse en surface sont largement présents sur toute la zone.



Figure A2. 27 - Sol latéritique avec bloc de cuirasse en surface – Rive droite

A2.4.2.1 Géomorphologie

Le site du barrage est caractérisé par un relief relativement plat. Le versant droit de la vallée est un peu plus incliné que le versant gauche.

Sur la rive droite, entre les cotes 470 et 540 NGG, la pente du versant est d'environ 20°. Au-delà la pente du terrain s'adoucit (environ 6°).

La pente du versant gauche est moins marquée : entre les lignes de niveau 470 et 520 NGG, la pente est d'environ 10° et se termine, à partir de la cote 530 NGG, par un plateau cuirassé latéritique caractéristique de type « bowal ».

Le lit du fleuve Bafing est rocheux et de forme topographique très irrégulière. Sur une longueur de près d'un kilomètre, le lit est coupé par une série de cascades transversales, dont la hauteur globale atteint une dizaine de mètres.

Au droit du site du barrage, le fleuve s'écoule en direction de l'Est et forme plusieurs coudes pour repartir vers le nord/est 5-6 km en aval du site du barrage plus aval.

A2.4.2.2 Structures géologiques

L'analyse structurale régionale a été réalisée sur la base des éléments suivants :

- Etudes d'Avant-Projet Détaillé d'ENERGOPROJEKT, volume 3 Géologie, 1976 ;
- Carte géologique au 1/200 000, feuille n°10-3 Tougué – Kéniéba, 2ème édition, 2004 ;
- Orthophoto du satellite SPOT 5 à 2,5 m de résolution, acquise en 2011 par Tractebel Engineering pour la réalisation des présentes études.

Les analyses et conclusions ci-après peuvent être faites.

Les études réalisées par Energoprojekt sont faites sur l'analyse de photos aériennes. Ces photos ne sont plus disponibles pour la réalisation des présentes études. Cependant, les conclusions formulées par Energoprojekt sont les suivantes :

- Du point de vue structural, toutes les données obtenues par la prospection, les forages et les mesures géophysiques locales n'indiquent pas l'existence de formes tectoniques importantes.
- Dans le cadre de la carte synoptique aérienne à l'échelle 1/200 000ème, un système très visible de fissures avec une direction générale nord/est et sud/ouest a été observé. Cependant, les plans établis par Energoprojekt ne figurent pas ce réseau de fracturation.

L'observation de la carte géologique établie en 2004 lors de sa seconde édition n'apporte aucun élément structural majeur complémentaire aux propos d'Energoprojekt. L'extrait de la carte géologique feuille n°10-3 Tougué – Kéniéba, 2ème édition, 2004 montre en effet une absence totale de failles ou de fracturations dans la zone du site du barrage.

L'analyse des linéaments sur les photos satellites SPOT-DEM donnent par opposition aux deux précédentes références des résultats très facilement exploitables et très importants pour la structure géologique de la zone du Projet. Deux analyses ont été réalisées : une à grande échelle autour du site du barrage (1/200 000ème) et une seconde plus centrée sur le site en lui-même (1/5 000ème). Il en résulte les résultats ci-après :

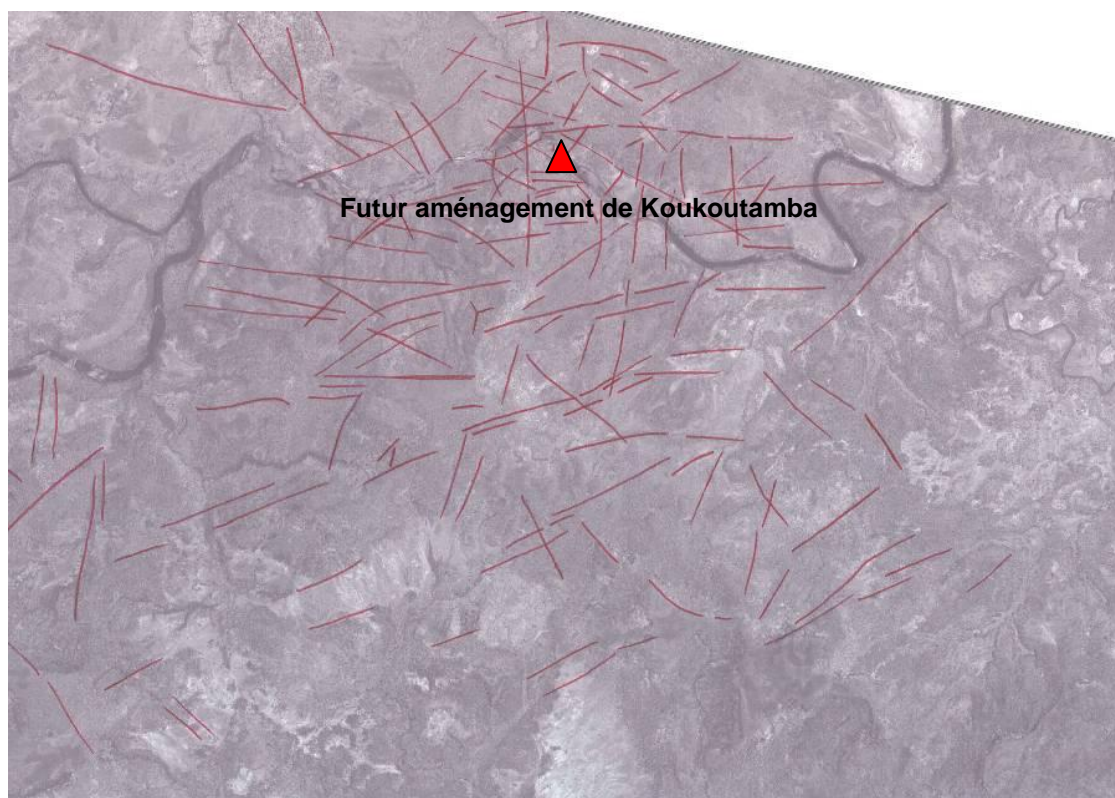


Figure A2. 28 - Orthophoto SPOT de la région du site de Koukoutamba interprétée (1/200 000ème)

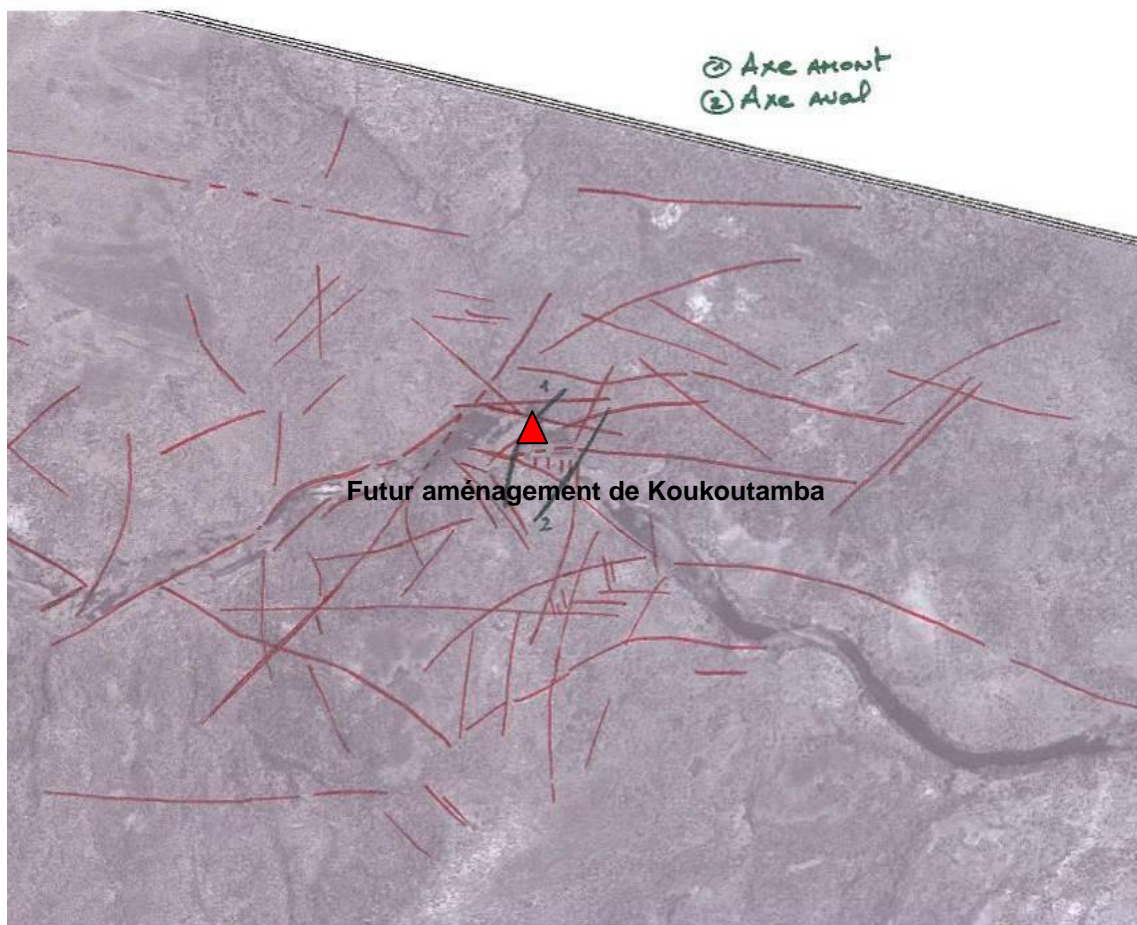


Figure A2. 29 - Orthophoto SPOT du site de Koukoutamba interprétée (1/5 000ème)

Des ortho-photos SPOT précédentes, les conclusions suivantes peuvent être retenues :

- L'ensemble de la zone présente une forte fracturation/fissuration globalement orientée est/ouest ainsi qu'une fracturation secondaire orientée nord/sud. Les directions moyennes de ces linéaments sont environ 90/100°N et 180/190°N.
- Les linéaments retracés sur les images satellites ne semblent pas continus sur de très longues distances, soulignant l'absence de structure majeure dans la zone du Projet.

L'analyse plus fine du site du barrage de Koukoutamba semble indiquer un site plus travaillé et fracturé que ce que laissent penser les études de 1976 et la carte géologique. La présence de linéament en rives le long du Bafing et de rive à rive a été vérifiée lors des travaux de reconnaissances complémentaires menées lors des présentes études.

A2.4.3 Cadre sismique régional

Le contexte morphogénétique régional ne relève pas d'un passé géologique agité par de multiples phases orogéniques. La région du Bafing comme celui du Fouta Djallon dans son ensemble appartient à la plateforme de l'Afrique Occidentale uniquement recouverte de sédiments paléozoïques et elle est exempte de perturbations tectoniques majeures.

Les renseignements sismologiques précis sur la région sont pratiquement inexistantes bien que l'inventaire de l'Afrique de l'Ouest lui affecte de nombreux séismes qui dans l'ensemble sont d'importance moyenne à faible et toujours localisés. Les épicentres semblent en effet se regrouper le long de linéaments ou de structures géologiques connues ou hypothétiques comme les failles transformantes interplaques et les lignes de chevauchements intraplaques.

C'est sur ce modèle sismotectonique qu'a été calibré le séisme du 22 décembre 1983 dont l'épicentre a été situé à Koumbia dans la région du Gaoual à 200 km du site de Koukoutamba. Les études détaillées du séisme (magnitude 6,3 et profondeur de l'épicentre à 8 km) et de ses répliques ont permis de situer l'épicentre sur un alignement NNE-SSO d'un front de chevauchement interplaque (suture) et à proximité d'une faille transformante orientée E-O entre les plaques Bissau et Guinée.

Les effets de ce tremblement de terre qui a été le plus récemment ressenti dans toute la région, ont été quasiment nuls à plus de 100 km de son épicentre. Cela laisse supposer qu'au-delà de 200 km de rayon la valeur de l'accélération horizontale au sol ne peut pas dépasser 0,02 g. Dans ces conditions et si l'on suppose que les ouvrages structurels de l'Aménagement de Koukoutamba sont de moyenne importance, on peut considérer que le niveau sismique de la zone sera très faible et sans importance dans leur application pour le Projet. Le barrage n'étant pas situé dans une zone sismique sensible, la prise en compte du séisme dans les calculs de stabilité des ouvrages ne devrait pas être le cas de charge dimensionnant.

En tenant compte de quelques incertitudes, les effets locaux qu'influencent l'amplitude des vibrations et la richesse spectrale on peut considérer les valeurs d'accélération horizontales ci-après comme enveloppe de l'aléa sismique :

- S. B. E. une valeur de 0,06 g.
- S. M. D. une valeur de 0,10 g.
- S. M. P. une valeur de 0,15 g.

A2.4.4 TRAVAUX DE RECONNAISSANCE

A2.4.4.1 *Travaux de reconnaissance réalisées avant l'APD (1975/1976)*

Les reconnaissances suivantes ont été menées lors des études d'Avant-Projet Détaillé réalisées par Energoprojekt de 1975 à 1976 :

- Levée des cartes géologiques du site du barrage à l'échelle 1/2 000ème ;
- Elaboration des cartes photo-géologiques de la cuvette à l'échelle 1/20 000 et 1/200 000ème ;
- Réalisation de 3 257 mètres linéaires de sondages carottés, pour 68 points de sondages ;
- Réalisation de 266 essais de perméabilité dans 36 sondages;
- Installation de 7 piézomètres avec relevé sur 5 mois des niveaux piézométriques ;
- Prospections géophysiques :
 - 14 profils géoélectriques (pour un total de 1 465 m de prospections électriques) ;
 - 6 profils sismiques réfractifs (pour un total de 2 808 m de prospections sismiques)
- Réalisation de 4 galeries de reconnaissance de 40 à 50m de longueur;
- Réalisation de 64 puits de reconnaissance (entre 0 et 6m) dans les zones d'emprunts ;
- Réalisation de 14 puits de reconnaissance (entre 0 et 15m) au site du barrage ;
- Analyses minéralogiques et pétrographiques d'échantillons ;
- Analyses chimiques de l'eau ;
- Réalisation d'essais de laboratoire sur des échantillons de la fondation et des matériaux de construction.

L'ensemble des rapports et logs décrivant les résultats de ces reconnaissances ont été retrouvés par le Consultant. Ces éléments ont été pertinents et précieux dans l'élaboration du présent rapport. Les résultats de ces travaux y sont exploités. Les plans annexés reportent, lorsque cela est possible, l'implantation de ces travaux.

Tableau A2. 12 - Campagnes d'Energoprojekt – Sondages carottés (sélection sur issue des sondages Energoprojekt)

Sondage	Position	Profondeur [m]	Élévation (d'après la carte topo)	Élévation (d'après stratigraphies Energoprojekt)	Toit du rocher	Toit du rocher compact
Kd 1	RD	90	551	554	38,85	53
Kd 11	RD	80	515	514,5	24	38,60
Kd 12	RD	70	496	492,8	1	31,80
Kd 26	RD	64,60	518	516,7	24,70	24,70
Kd 27	RD	89,30	541	543,4	40,25	48,70
Kd 30	RD	59,20	557	560,6	14,30	16
Kd 31	RG	46,50		513,2	32	33,10
Kd 32	RG	65,50		541,1	20	24,70
Kd 37	RD	29		574,7	23,95	23,95
Kd 39	RG	58		537	34,30	34,30
Kd 40	RD	18,60	551	556,07	13,50	13,50
Kd 49	RD	34	561	565,83	33,10	-
Kd 50	RD	43		574,05	20,50	20,50
Kd 13	RD	50	478	480,8	-	-
Kd 18	RD	50,60	527	529,8	-	-
Kd 36	RD	70	547	550,8	-	-
KU 1	Lit mineur	60		471,6	0	0
KU 2	Lit mineur	60		472,3	0	0
KU 3	Lit mineur	18		474,4	0	0

Dans le cadre des études géologiques sur le site du projet mené par Energoprojekt, des recherches géophysiques ont été accomplies en 1975 ; il s'agit des recherches géo-électriques et de sismique par réfraction ; l'implantation des lignes de géophysique est visible dans le plan KTB-II-4-GE-PG-001 à 004.



Figure A2. 30 – Campagne de reconnaissances d’Energoprojekt – Repérage du sondage Kd 50

Les prospections géo électriques ont été exécutées pour établir l’épaisseur du matériau latéritique et des couvertures des roches dans la fondation. Les essais sismiques réfractifs ont été exécutés en but d’obtenir les données sur l’épaisseur du matériau décomposé et sur la qualité du substratum rocheux au niveau de la fondation.

A2.4.4.2 Travaux de reconnaissance réalisées en phase d’APD (2011/2012)

Une campagne de reconnaissances spécifique a été réalisée par le Consultant. Les sondages étaient initialement prévue en phase de Faisabilité – APS, mais l’exploitation des sondages Energoprojekt ainsi que leur bonne qualité ont permis de réserver ceux-ci pour la phase d’APD, notamment en les concentrant sur l’axe de la variante retenue à l’issue de l’APS. Les sondages ainsi réalisés avaient pour objet de déterminer :

- les caractéristiques générales de la fondation pour le site du barrage et de l’usine;
- la perméabilité du contact entre les grès sous-jacent et la dolérite constituant le seuil des chutes ;
- l’épaisseur des terrains latéritiques au droit des appuis dans les deux rives
- les volumes et les qualités des matériaux disponibles dans les différentes zones d’emprunt, pour le remblai et les agrégats à béton.

Par ailleurs des sondages de type routiers ont été réalisés en vue de caractériser la plateforme de la route d'accès Kenié-Oula - Koukoutamba.

Les différentes campagnes de reconnaissance ont été réalisées par les sous-traitants Hydroconsult Int. (Investigations et sondages carottés di site du barrage), Géogéophy SARL (géophysique) et GID (Route d'accès).

Les paragraphes suivants présentent un résumé des travaux réalisés et des résultats obtenus.

Les résultats bruts de la campagne de reconnaissance réalisée (logs des sondages et résultats des essais) sont donnés dans le « *volume C - Données de base* ».

Les reconnaissances suivantes ont été réalisées :

- Analyse des cartes géologiques du site du barrage à l'échelle 1/2 000ème ;
- Réalisation de 215 mètres linéaires de sondages carottés, pour 7 points de sondages (S1-S2, S4 à S8) ;
- 54 puits de reconnaissance (profondeur maximale 5m) dans les zones d'emprunt A, B et C et 4 puits (profondeur max 12 m) (P1 à P4) sur l'axe du barrage ;
- 20 puits de reconnaissance (profondeur maximale 1m) le long la route Kenié-Oula et Koukoutamba ;
- Analyses minéralogiques et pétrographiques d'échantillons ;
- Analyses chimiques de l'eau ;
- Réalisation d'essais en laboratoire sur des échantillons de la fondation et des matériaux de construction ;
- 6 260 ml de prospection électrique de type panneaux électriques.

A2.4.4.2.1 *Sondage carottés et puits de reconnaissance du site*

A l'emplacement du barrage ont été réalisés 6 sondages, numérotés S1 à S7 (mis à part S3 qui a été abandonné à 5 m de profondeur compte-tenu de la résistance rocheuse). Un sondage, S8, a été réalisé auprès de la zone identifiée pour l'exploitation d'une carrière de dolérite.

Tous les sondages exécutés ont été verticaux.

L'implantation des sondages est décrit dans le rapport des reconnaissances en « *volume C - Données de base* », ainsi que dans les plans KTB-II-4-GE-PG-001 à 004.



Figure A2. 31 – Campagne de reconnaissances de TRACTEBEL Engineering (2011-2012) – Perforation du sondage S1

Les terrains de couverture ont été rencontrés dans les sondages S1, S2, S5, S6 et S7 qui ont traversé des sols latéritiques granulaires, ayant une épaisseur comprise entre 18 et 34 m.

Les sondages S1 et S2, en rive droite, sont profonds de 40 m. Ils indiquent qu'un horizon de dolérite a été traversée sur une épaisseur maximale de 10 m (les sondages KD26 et KD27 dans la même zone montrent une épaisseur maximale de dolérite de 15m), avant de retrouver les grès sains entre 33 et 37 m de profondeur. Le sondage S4, profond de 4.5 m, sur le lit du fleuve vers la rive gauche, est entièrement carotte dans les grès sains.

Les sondages S5, S6 et S7 en rive gauche ont rencontré le substratum rocheux sain respectivement à 28, 38 et 26.5 m.

Les sondages S2 en rive droite et S5 en rive gauche ont été équipés de piézomètres.

Tableau A2. 13 - Campagne de reconnaissances de Tractebel Engineering (2011-2012) – Sondages carottés du site du barrage

Sondage	Position	Elévation	Profondeur [m]	Piézomètre
S1	RD	544	40	-
S2	RD	522	40.5	X
S4	RG	470	4.5	-
S5	RG	495	30	X
S6	RG	518	40	-
S7	RG	535	40	-
S8	Zone de carrière	-	25	-

Quatre puits de reconnaissances (P1 à P4) ont été réalisés afin de reconnaître les terrains superficiels le long des appuis de la rive droite et de la rive gauche. Les descriptions détaillées sont présentées dans le « VOL.C –Donnés de base ».

Tableau A2. 14 - Campagne de reconnaissances de TRACTEBEL Engineering (2011-2012) – Puits de reconnaissance du site du barrage

Puits	Position	Elévation	Profondeur [m]
P1	RD	547	5
P2	RD	545	12
P3	RG	522	12
P4	RG	541	12

En rive droite, les terrains meubles de couverture, composés de sol végétal granulaire, sont très épais. Les puits montrent sur toute la longueur (maximum 12 m) des latérites ou argile latéritiques.

Le sol superficiel est composé d'un sol végétal granulaire d'environ 10-20 cm.

A2.4.4.2.2 Puits de reconnaissance pour les zones d'emprunt

Cinquante-quatre puits de reconnaissance ont été réalisés afin de reconnaître les terrains superficiels au niveau des zones d'emprunt en rive droite et en rive gauche.



Zone d'emprunt A – Puits 19



Zone d'emprunt B – Puits 7

Figure A2. 32 – Campagne de reconnaissances de TRACTEBEL Engineering (2011-2012) – Puits des zones d'emprunt

Les stratigraphies détaillées sont présentées dans le « VOL.C –Donnés de base ».

Tableau A2. 15 - Campagne de reconnaissances de TRACTEBEL Engineering (2011-2012) – Puits en zones d'emprunt

Puits	RIVE DROITE			RIVE GAUCHE	
	Prof. [m]	Sondage	Prof. [m]	Sondage	Prof. [m]
A1	5	B1	2	C1	5
A2	5	B2	5	C2	5
A3	2	B3	5	C3	5
A4	5	B4	5	C4	5
A5	3	B5	5	C5	5
A6	5	B7	5	C6	5
A7	5	B8	4	C7	5
A8	3	B9	5	C8	5
A9	5	B10	3	C9	5
A10	5	B11	2	C10	5
A11	5	B13	3	C11	5
A13	5	B14	3	C12	5
A14	5	B15	5	C13	5
A15	5	B18	3	C14	5
A16	5	B20	5	C15	5
A17	5			C16	5
A18	5			C17	5
A19	5			C18	5
A20	5			C19	5
				C20	5

A2.4.4.3 Investigations géophysiques

Dans le cadre des reconnaissances géophysiques du site de barrage de Koukoutamba, 6 260 m de prospection électrique de type panneaux électriques ont été réalisés pour :

- Caractériser la nature des terrains depuis la surface,
- Localiser les éventuelles variations latérales de faciès et/ou d'épaisseur,
- Localiser les possibles accidents tectoniques.

La profondeur d'investigation et la géométrie des mesures sont les suivantes :

- Panneaux électriques avec géométrie Wenner Schlumberger - 5 m entre électrodes et 25 à 30 mètres d'investigation de profondeur environ.

Le tableau ci-dessous regroupe les détails des investigations réalisées :

Tableau A2. 16 - Campagne de reconnaissances de TRACTEBEL Engineering (2011-2012) – Investigations géophysiques

Profil géo électrique	Longueurs en mètres	Commentaires
P1	1675	Sur l'axe y compris dans le Bafing
P2	1795	A l'aval de l'axe
P3	355	En rive droite
P4 - P5	475 – 475	Zone d'emprunt nord rive gauche
P6	475	En rive gauche
P7 - P8	475 – 535	Zone d'emprunt sud rive droite
TOTAL	6260 m	

L'altitude des points de mesure a été estimée sur site et calée d'après le relevé topographique disponible. Ceci a permis une bonne correction des effets de la topographie sur ces valeurs mesurées. Les pseudos sections ainsi établies ont été interprétés grâce à un logiciel de calcul par inversion. Ceci a pour but de corriger les effets latéraux et l'influence de la topographie, et permet d'obtenir une coupe de la succession des différentes entités électriques avec la profondeur.

La méthode des panneaux électriques est basée sur la détermination des propriétés électriques du sous-sol au moyen de mesures effectuées en surface. De ces propriétés électriques, on peut déduire la constitution des terrains en profondeur. Le courant est injecté au moyen de deux électrodes AB couplées à un ampèremètre, et la tension est mesurée entre les électrodes MN couplées à un voltmètre. Plus on augmente la distance AB, plus le courant se propage en profondeur. (C'est le principe du sondage électrique de type Schlumberger).

La résistivité des roches est un paramètre très variable : de 1 à quelques dizaines d'Ohmmètre pour des argiles ou des marnes, à un ou plusieurs milliers d'Ohmmètres pour des graviers secs ou du rocher compact. L'eau plus ou moins minéralisée, contenue dans les fractures ou les pores de la roche, facilite le passage du courant. Elle fait ainsi chuter les résistivités des terrains encaissants.

Les résultats exprimés en résistivités apparentes sont tracés sur une pseudo-section, puis interprétés avec un logiciel spécifique qui permet d'individualiser l'influence successive de chaque couche géologique sur la propagation du courant et d'en déduire la résistivité et l'épaisseur de chaque terrain en présence. Ce logiciel permet de corriger les effets latéraux et l'influence éventuelle de la topographie.

Rappelons que le principe de l'équivalence montre que le produit (épaisseur x résistivité) est une constante. Il existe donc une infinité de solutions mathématiques pour chaque couche. C'est pourquoi il est nécessaire de disposer d'un étalonnage sous la forme d'un forage représentatif pour fixer un des deux paramètres du calcul et ainsi de s'approcher de l'unique solution géologique.

Un panneau électrique correspond donc quasiment à une succession latérale de sondages électriques. Rappelons que le sondage électrique est un dispositif symétrique dont la théorie suppose que les terrains en présence sont homogènes latéralement.

L'intérêt du panneau électrique est donc de prendre en compte les effets latéraux et les influences de la topographie qui ne peuvent être appréhendés par un seul sondage électrique.

Résultats des traînés électriques

Les panneaux électriques ont été traités avec une gamme de résistivités adaptées au contexte local pour favoriser la lecture des résultats dans les terrains résistants aussi bien que dans les terrains conducteurs. Cette gamme est très approximativement logarithmique.

Sur les panneaux électriques on observe depuis la surface, la succession typique des niveaux suivants :

- C1 : Il s'agit d'un horizon conducteur de surface correspondant à des faciès à dominante limoneuse et peut-être alluvionnaires fins, et aux sols. Moins ces terrains sont argileux, plus la résistivité augmente. Si ce terrain présente des épaisseurs inférieures au mètre, il est invisible sur les panneaux électriques qui sont aveugles dans cette tranche superficielle. Etant donné qu'il s'agit d'un conducteur fort, il peut être indifférencié avec le conducteur sous-jacent C2 attribué aux argiles doléritiques. Ce terrain semble peu ou pas présent mais est tout de même signalé par souci de cohérence stratigraphique.
- R1 : Il s'agit d'un horizon résistant nuageux attribué à des couches successives : la cuirasse latéritique, les graveleux et sables latéritiques sous-jacents d'épaisseur très variable (0 à plusieurs mètres). Chacun de ces deux horizons résistants ou les deux peuvent être diversement développés ou absents. Leurs résistivités peuvent atteindre 10 000 Ohm.m et ne sont pas différenciables entre eux. Cet horizon peut localement intégrer des cuirasses latéritiques, des boules de rocher résiduelles (souvent des dolérites) et/ou des blocs plus ou moins altérés. Plus la couche est indurée plus la résistivité est élevée. Plus en profondeur peuvent apparaître des argiles latéritiques continues ou discontinues.
- C2 : Il s'agit d'un horizon conducteur correspondant à des faciès à dominante argileuse. Il s'agit majoritairement d'argiles doléritiques et/ou latéritiques, puis de saprolite, et enfin de rocher très altéré et/ou très fracturé. La limite haute de résistivité a été fixée vers 100 Ohm.m. Elle représente a priori le toit du rocher non excavable à la pelle mécanique. En l'absence de sismique réfraction, cette information est donnée à titre de connaissance régionale et doit être validée.
- R2 : Il s'agit du rocher altéré avec des résistivités globalement comprises entre 100 et 750 Ohm.m. Cette frange altérée / fracturée / décomprimée du rocher, diminue ensuite avec la profondeur. Progressivement, les fissures sont de moins en moins remplies d'argile et leur poids dans la mesure devient mineur par rapport au rocher, quel que soit leur état mécanique et d'altération. Il s'agit alors de la partie décomprimée et ouverte du rocher. Au sein de cet horizon, il est vraisemblable que le rocher lui-même, entre les fractures, est d'autant plus sain que la résistivité augmente. On passe alors à un rocher qui ne peut plus être terrassé avec des engins. Ceci correspond globalement à la limite de l'excavabilité à la pelle mécanique habituelle située autour de 2000 m/s en sismique réfraction. Cette coupe type est surtout valable au droit des dolérites. L'altération des grès se marque plutôt par des sables dont la résistivité variera avec la teneur en argile et le degré d'imbibition étroitement dépendant de la cimentation des grains.
- R3 : En profondeur, il s'agit du rocher (<750 Ohm.m), vraisemblablement non excavable avec des engins mais à l'explosif. Au-delà, le rocher devient rapidement sain et massif (>3000 Ohm.m et souvent à plus de 10000 Ohm.m). Notons enfin que les terrains sont souvent

hétérogènes, matérialisant ainsi l'existence de variations lithologiques dans le substratum (alternances de grès de minéralogies différentes, intrusions doléritiques, ...). Rappelons enfin, que les dolérites sont des terrains ferromagnésiens qui peuvent être parfois relativement peu résistants même s'ils sont massifs. Dans le rocher sain, ceci dépend exclusivement des minéraux constitutifs. Dans l'étude de 1976, la vitesse sismique du rocher était donnée vers 3700 m/s. Celle-ci montre bien qu'il ne peut s'agir de dolérites seules car les vitesses seraient alors de plus de 5 000 m/s. Il s'agit donc bien d'un rocher gréseux dur, injecté tardivement par des intrusions doléritiques ayant emprunté les fractures et les joints préexistants.

Panneaux électriques sur l'axe du barrage

Les coupes électriques complètes réalisées sur l'axe du barrage montrent des entités bien distinctes. Ces zones sont définies pour faciliter la lecture des grandes unités géoélectriques de chaque panneau. Leur numérotation ne correspond pas forcément d'un profil à l'autre et de ce fait ne sont pas obligatoirement corrélables en plan. Il s'agit simplement de faciliter la lecture du document. Cet aspect sera discuté dans le chapitre de synthèse.

On remarque sur le profil 1 (amont du barrage) :

Tableau A2. 17 – Résultats des trainées électriques – profil 1

Entité N°	Distances en mètres	Commentaires
1	0-90	Forte altération – zone fracturée de bordure ?
2	90-240	Zone de faible altération
3	240-330	Forte altération – zone fracturée de bordure F1 ?
4	330-620	Altération peu conductrice (sables majoritaires ?)
5	620-960	Fort résistant sous le Bafing – Grès massifs
6	960-1080	Fort résistant en rive gauche du Bafing – Grès massifs
7	1080-1280	Forte altération et rocher moyennement résistant – Dolérites et/ou rocher altéré
8	1280-1515	Forte altération et zone de plus forte fracturation – F2
9	1515-1675	Forte altération et rocher moyennement résistant – Dolérites et/ou rocher altéré

On remarque sur le profil 2 (amont du barrage) :

Tableau A2. 18 – Résultats des trainées électriques – profil 2

Entité N°	Distances en mètres	Commentaires
1	0-160	Altération moyenne
2	160-360	Zone de faible altération
3	360-540	Forte altération – Zone fracturée F3 ?
4	540-780	Altération peu conductrice (sables majoritaires ?)
5	780-910	Fort résistant sous le Bafing – Grès massifs et zone fracturée en rive droite
7	910-1450	Forte altération et rocher résistant – grès massifs – bordure nord moins résistante
8	1450-1630	Forte altération et zone de plus forte fracturation – F4
9	1630-1790	Forte altération et rocher moyennement résistant – Dolérites et/ou rocher altéré

De façon synthétique on remarque que :

- La rive droite est globalement hétérogène avec une altération d'argiles doléritiques moins importante qu'en rive gauche, et principalement développée en sommet de pente. En bas de pente, les grès sont très majoritaires et souvent altérés en surface. Le processus latéritique est peu développé dans cette partie basse de la pente. Les dolérites y sont également peu représentées. Les deux zones de fracturation maximale de la pente sont localisées à 300 mètres de distance sur P1 (F1) et à 330 mètres environ sur P2 (F3).
- Sous le Bafing, les grès sont très majoritaires et se traduisent par des terrains très résistants. On notera l'existence de deux zones plus conductrices à 930 mètres sur P1 et de façon beaucoup plus marquée à 790 mètres sur P2.
- En rive gauche, et sur le profil 2, l'entité 6 n'existe pas. L'altération se développe directement à partir de la rive gauche du Bafing. Sur le reste de cette berge, le conducteur C2 est fortement développé et d'épaisseur croissante vers le sommet de pente. La présence de zones de fracturation vers les linéaires 1400 mètres environ augmente encore ce phénomène d'altération. Les axes conducteurs attribués à de la fracturation sont localisés vers 1400 mètres de distance sur P1 (F2) et 1460 1400 mètres de distance sur P2 (F4). On notera que les dolérites sont majoritairement représentées dans les coupes de sondages, ce qui explique la forte présence de C2.

Panneau N° 3 – rive droite

Il confirme l'entité 4 identifiée sur les panneaux électriques 1 et 2, et montre des terrains globalement très résistants depuis la surface. D'après les forages anciens, ceci correspond à des terrains majoritairement sableux ou peu indurés en tête, passant en profondeur à des grès massifs durs. L'absence de zone de fissuration importante n'exclue pas des variations latérales de faciès au droit des zones moyennement résistantes (zones plus sableuses, moins indurées et/ou dolérites).

En surface, les terrains très résistants correspondent soit à des cuirasses latéritiques et graveleuses latéritiques, soit à des dolérites. Il existe peut-être des rognons et boules de terrains massifs qui ont résisté à l'altération et ont été emprisonnées dans le complexe latéritique. C'est le cas dans de nombreux pays tropicaux et pour des géologies parfois très diverses (granite, migmatites etc...).

Panneau N° 6 – rive gauche

Il montre deux entités bien distinctes :

- A l'est, une coupe type avec R1, C2 et R2/R3 en profondeur (entité 7).
- A l'ouest, C2 a quasiment disparu et laisse directement la place à R2 (entité 6). Ce résistant moyen correspond à des grès altérés, puis à des grès durs.
- On note deux zones verticales plus conductrices pouvant correspondre à des fissures et/ou à des filons de dolérites altérées: 65 et 310 mètres de distance.

Panneaux N° 4 et 5 – zone d'emprunt rive gauche

Ils ont en commun :

- La présence d'une couverture très résistante attribuée aux latérites (cuirasses et graveleux notamment), d'épaisseur variable : 0 à 10 mètres. A l'est du panneau 5, le conducteur de tête

situé dans un talweg peut éventuellement être attribué à des terrains de recouvrements argileux (C1).

- L'existence d'un conducteur C2 bien marqué de 15 mètres d'épaisseur en moyenne.
- Le substratum résistant (R2/R3) est hétérogène en termes de résistivité (100 à 5000 Ohm.m). Le degré d'altération des terrains et de remplissage des fissures par des dolérites altérées sont les facteurs permettant d'expliquer ce phénomène.

On note l'existence d'une zone verticale plus conductrice sur chacun des panneaux (280 sur P5 et 330 sur P4). Il peut s'agir de zone de plus grande fissuration.

Panneau N° 7 et 8 – zone d'emprunt rive droite

Les deux coupes montrent des terrains globalement résistants mais hétérogènes. Les corrélations avec les extrémités est des profils 1 et 2 sont difficiles. Il faut donc envisager que la zone d'altération importante localisée sur ces extrémités se termine pour laisser place à des terrains moins altérés au sud (panneau 7 et 8). De ce fait, il a été représenté une entité E0 pour tenir compte de ce phénomène.

On note l'existence de trois zones verticales plus conductrice sur ces panneaux (110 et 240 -F5 sur P7 et 170 sur P8 – F6). Il peut s'agir de zones de plus grande fissuration, notamment sur les deux dernières localisations.

On remarquera enfin l'absence de corrélations en profondeur entre le sondage KD48 et le panneau 8. C'est le seul cas de toute l'étude qui est à signaler. Il faut donc envisager des effets latéraux dus à la présence à cet endroit de la limite entre les entités E0 et E1. Cette limite nord est vraisemblablement parallèle et très proche du panneau 8.

A2.4.4.4 Essais et analyses de laboratoire

Les terrains meubles présents sur les rives du barrage ont fait l'objet de prélèvements et analyse en laboratoire suivants :

- 17 essais d'identification du matériau, comprenant chacun une analyse granulométrique complète (granulométrie par tamisage et sédimentométrie), la détermination des limites d'Atterberg et de la teneur en eau;
- 7 essais de cisaillement (pour la détermination des paramètres c et ϕ de résistance au cisaillement du sol);
- 10 essais œdométriques (pour la détermination des paramètres de compressibilité du sol);
- 1 essai au Bleu de Méthylène (qui permet de quantifier la nature argileuse des fines et déterminer leur concentration dans un échantillon de sol);
- 1 pinhole test (pour l'identification des sols dispersifs) ;

Ces analyses ont été effectuées par le sous-traitant au Laboratoire de l'Ecole Polytechnique de Conakry. Des échantillons supplémentaires ont été prélevés par le Consultant en vue de contre-analyse au Laboratoire de Ponts et Chaussées à Paris.

Des échantillons ont été également prélevés dans les carottes de sondage, afin de déterminer en laboratoire les caractéristiques physiques et mécaniques du rocher gréseux et doléritique de fondation du barrage. Ces échantillons ont fait l'objet des essais suivants :

- 6 mesures de densité apparente (ou masse volumique apparente, qui est le rapport de la masse d'un échantillon de rocher sur le volume total occupé par cet échantillon) ;
- 6 résistances à la compression uniaxiale (ou de compression simple, qui consiste à comprimer un échantillon de roche de forme cylindrique entre deux plateaux parallèles d'une presse rigide ; l'essai permet de déterminer la résistance à la compression uniaxiale R_c du rocher) ;
- 2 essais réactivité alcalin-granulats (qui permet de déterminer la teneur en alcalins actifs du rocher et en vérifier l'alcali-réactivité potentielle si utilisés comme granulats pour le béton).

Le résumé des essais réalisés est présenté dans le tableau suivant.

Tableau A2. 19 - Campagne de reconnaissances de TRACTEBEL Engineering (2011-2012) - Etude d'APD – Essais de laboratoire – Site du barrage

SITE DU BARRAGE – TERRAINS MEUBLES RD et RG				
Essai / analyse		Résultats min - max (moyenne)		Nombre d'essais / analyses
Classification USBR		MH/CH Argiles et limon de plasticité élevée		10
Granulométrie - Fraction < 50 µm (%)		56 – 95 (78)		10
Limites d'Atterberg	LL (%)	39 – 94 (71)		17
	LP (%)	20 – 49 (36)		17
	IP (%)	20 – 47 (35)		17
Masse volumique apparente humide (kN/m ³)		15,2 – 20,6 (17,4)		17
Teneur en eau (%)		17 – 56 (38)		17
Capacité d'absorption de bleu de méthylène VBS		2,18		1
Essai de dispersivité - Pinhole test		ND1		1
Essai de cisaillement	Cohésion (kPa)	28 – 42 (35)		7
	Angle de frottement φ (°)	17 – 21 (19)		
Essai œdométriques	P consolidation (kPa)	75-175 (130)		10
	Coeff. compr. Cc	0,06-0,15 (0,09)		
SITE DU BARRAGE – ROCHER DE FONDATION				
Essai / analyse	Dolérites	Nombre d'essais	Grès	Nombre d'essais
Résistance à la compression	93,5 – 175,1 MPa	5	140,3 MPa	1
Densité apparente	2,814 – 3,025	4	1,983 – 2,608	2
Réactivité aux alcalis	Non réactive	1	Potentiellement réactif	1

La zone de l'axe du barrage a fait l'objet de 12 déterminations de la granulométrie à des profondeurs comprises entre 6 et 23,7m. Dans les échantillons prélevés, le passant à 2 mm varie entre 98 et 100 %, le passant à 50 μm entre 56 et 95 % avec une moyenne à 79 % et le passant à 5 μm entre 1 et 42 %, avec une moyenne à 16 %.

L'axe du barrage a fait l'objet de 17 déterminations de teneur en eau in-situ et de poids spécifique du matériau à des profondeurs variant entre 6 et 27 mètres. La teneur en eau varie entre 16,6 et 56,5 %, avec une moyenne à 38,2 % et le poids spécifique est compris entre 1,5 et 2,1 g/cm^3 , avec une moyenne à 1,7 g/cm^3 dans les échantillons prélevés.

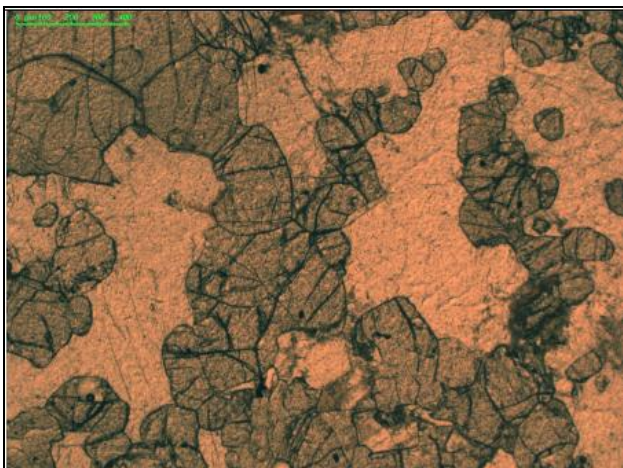



Figure A2. 33 - Zone de l'axe du barrage – Fuseaux granulométriques (profondeur échantillons de 6 à 27m)

Essai de réactivité potentielle de type alcali-silice

Des déterminations de la réactivité potentielle vis-à-vis de l'alcali-réaction ont été conduites sur deux échantillons (de dolérite et de grès) notamment par deux déterminations des caractéristiques pétrographiques sur dolérites et grès et une détermination par essai de gonflement d'éprouvettes de mortier (essai crible) sur les dolérites (selon la norme NF P 18-594).

Les résultats de cette analyse indiquent que l'échantillon de dolérite (prélevé auprès de la zone de carrière en rive droite, à 4 km du site du barrage) ne présente pas d'indice caractéristique de réactivité potentielle aux alcalins.

	
<p>Dolérite : roche macroscopiquement leucocrate très riche en pyroxènes (hypersthène), aucune porosité visible.</p>	<p>Dolérite : présence de feldspaths plagioclase (albite et andésine), et alcalins dont certains cristaux sont fissurés.</p>
<p>Cette roche de texture doléritique contenant des feldspaths alcalins, plagioclases, des pyroxènes et des olivines a la composition d'un gabbro. Elle est pétrographiquement classée comme Non Réactive.</p>	

Le résultat de l'essai crible « microbar » sur l'échantillon de dolérite donne une valeur de 0,043% pour l'éloignement maximale des éprouvettes ; cette valeur est donc inférieure à 0,11% et selon la norme NF P 18-594 permet d'établir que l'échantillon de dolérite n'est pas réactivité vis-à-vis de l'alcali réactivité.

Rapport Ciment/Granulat	2/1	5/1	10/1	Max. retenu
Expansion en %	0,03	0,036	0,043	0,043

Les résultats de l'analyse sur les grès montrent un potentiel risque d'alcali réactivité.

A2.4.5 Hydrogéologie

A2.4.5.1 Mesures de la perméabilité du substratum

Des nombreux essais de perméabilité ont été réalisés lors des études d'Energoprojekt ; un nombre de 266 essais de perméabilité a été exécuté dans 36 sondages (124 essais dans les forages en rive droite et 68 essais en rive gauche).

Dans le lit du Bafing a été réalisées 74 essais sur 7 sondages. Les essais ont été réalisés dans les grès sains, altérés et dans les dolérites.

Les résultats obtenus sont les suivants :

- Les grès de la fondation sont quasi-étanches : la plupart de valeurs obtenues en essais Lugeon sont inférieures à 2 UL (73 % des valeurs). Les grès sont donc considérés comme des roches imperméables, à l'exception de leur partie superficielle altérée.
- Lorsqu'elle a été traversée en sondage, la dolérite a donné également des résultats équivalents à ceux des grès, à savoir des valeurs Lugeon inférieures à 2 UL dans 92% des essais réalisés.
- Les matériaux latéritiques (argiles de décomposition des grès ou de la dolérite) ont été investigués grâce à des essais Lefranc. Dix-sept essais ont donnés des valeurs comprises entre 10^{-7} et 10^{-4} m/s. Les valeurs de 10^{-7} m/s sont essentiellement obtenues pour les matériaux latéritiques et les valeurs de 10^{-4} m/s pour les poches sableuses de décomposition du grès.

Tableau A2. 20 - Campagne de reconnaissances d'Energoprojekt – Essais Lugeons

Implantation	Lithologie	Unité Lugeon					Pression n'est pas atteinte ou résurgences d'eau par l'ouverture du forage
		0-2	2-5	5-10	10-20	20-50	
Rive droite	Grès	86	3	3	1	1	5
	Dolérite	25	-	-	-	-	
Rive gauche	Grès	36	5	1	-	-	3
	Dolérite	20	3	-	-	-	
Lit du Bafing	Grès	29	2	1	4	-	3+12+12
	Dolérite	10	-	-	1	-	
TOTAL		206	13	5	6	1	35
		231 (87%)					35 (13%)

Les essais Lugeon complémentaires réalisés en 2012 ont confirmé la quasi-étanchéité du substratum rocheux.

Des essais de perméabilité Lugeon ont été réalisés dans les sondages carottés. Les résultats de ces essais sont montrés dans le tableau suivant.

Tableau A2. 21 - Campagne de reconnaissances de TRACTEBEL Engineering (2011-2012) – Essais Lugeon

Sondage	Implantation	Lithologie	Profondeur		Unité Lugeon				
			De m	à m	0-2	2-5	5-10	10-20	20-50
S1	RD	Dolérite	21	25	x	-	-	-	-
		Dolérite	25	28,5	x	-	-	-	-
S4	RG	Grès	1	4,5	x	-	-	-	-
S6		Dolérite	30	35		x	-	-	-
		Dolérite	35	40	x	-	-	-	-
S7		Dolérite	30	35	x	-	-	-	-
	Dolérite	35	40	x	-	-	-	-	

A2.4.6 Matériaux de construction

Les matériaux du site de Koukoutamba sont représentés par :

- les grès, correspondant à l'encaissant rocheux et constituent la fondation rocheuse au niveau du site du barrage et de l'usine;
- la dolérite, présente sous forme de filons d'épaisseur décimétrique dans les grès et en affleurement d'épaisseur plus important dans la zone retenue comme possible source d'agrégats pour le béton ;
- les latérites qui constituent la couverture généralisée des versants et qui serviront de matériau de construction pour les batardeaux et les fondations de chaussée et plateforme.

Ces matériaux ont fait l'objet de nombreux essais in-situ et en laboratoire dans le cadre de la campagne de reconnaissances menées durant l'Avant-Projet Détaillé.

Trois zones d'emprunts latéritiques ont été identifiées lors de différentes phases du projet :

- Zone A, située en rive droite à l'aval de l'axe du barrage ; elle a été explorée avec des puits suivant une maille de 100 x 100 m, sur une profondeur de 5 m ;
- Zone B : située en rive droite à l'amont du site et correspondant à un grand plateau latéritique de type « bowal », boisé de façon éparse. Le volume disponible et la qualité des matériaux qu'elle abrite ont été déterminés par 20 puits, répartis suivant une maille de 100 x 100 m et sur une profondeur de 5 m.
- Zone C : située en rive gauche, à l'amont de l'axe du Projet, sur une large terrasse de type « bowal » sensiblement identique à celle située sur l'autre rive du Bafing. Elle a fait l'objet des mêmes investigations que la zone amont rive droite.

Une zone de carrière de dolérite a été identifiée à 4 km sur le flan en rive droite de la zone du site du barrage.

La synthèse des résultats des essais sur les échantillons des zones d'emprunts est fournie dans le Tableau A2. 22 suivant.

Tableau A2. 22 – Caractéristiques géotechniques - Zones d'emprunt A, B et C

		Zone A		Zone B		Zone C	
Classification USBR		<i>Sable argileuse</i>		<i>Gravier sableux</i>		<i>Gravier limoneux à argile latéritique</i>	
Essai / analyse		Résultats min-max (moyenne)	n. essais	Résultats min-max (moyenne)	n. essais	Résultats min-max (moyenne)	n. essais
Granulométrie - Fraction > 2 mm (%)		0 – 62 (19)	36	27– 75 (57)	34	1 – 65 (37)	45
Granulométrie - Fraction < 2 µm (%)		9 – 43 (25)	22	4 - 20 (11)	12	11 – 46 (29)	35
<i>Limites d'Atterberg</i>	<i>LL</i>	20 - 46 (29)	14	28 – 54 (46)	12	33 – 74 (56)	19
	<i>LP</i>	14 -22 (18)	14	23 – 51 (29)	12	25 – 57 (34)	19
	<i>IP</i>	2 – 28 (12)	14	7 – 25 (21)	12	20 – 31 (24)	19
Densité in situ (kN/m ³)		15,6 – 31,2 (24)	35	22,4 – 31,5 (27)	34	16,9 – 27,7 (23)	45
Teneur en eau (%)		1 – 14 (7,5)	14	4 – 21 (11,7)	32	-	-
<i>Proctor standard</i>	<i>Teneur en eau optimale (%)</i>	12 – 20 (15,6)	7	9 – 10 (9,8)	8	12 – 19 (14,8)	9
	<i>Dmax (kN/m³)</i>	17 – 20 (18,5)	7	20 – 21 (20,8)	8	19 – 21 (19,7)	
<i>Essai triaxial - type CU+U</i>	<i>C_{cu} (kPa)</i>	-	-	-	-	261	1
	<i>φ_{cu} (°)</i>	-	-	-	-	6	

A2.4.6.1 Zone d'emprunt A

La zone d'emprunt A a fait l'objet de 22 déterminations de la granulométrie à des profondeurs comprises entre 0 et 4 mètres. Le passant à 2 mm varie entre 38 et 100 %, avec une moyenne à 82 %, le passant à 60 µm entre 3 et 79% avec une moyenne à 45% et le passant à 2 µm entre 9 et 43%, avec une moyenne à 25%.

La zone d'emprunt A a fait l'objet de 14 déterminations de teneur en eau in-situ et de 30 déterminations de poids spécifique du matériau à des profondeurs variant entre 0 et 4 mètres. La teneur en eau varie entre 1,3 et 14,2 %, avec une moyenne à 7,6 % et le poids spécifique est compris entre 2,0 et 2,9 g/cm³, avec une moyenne à 2,5 g/cm³.

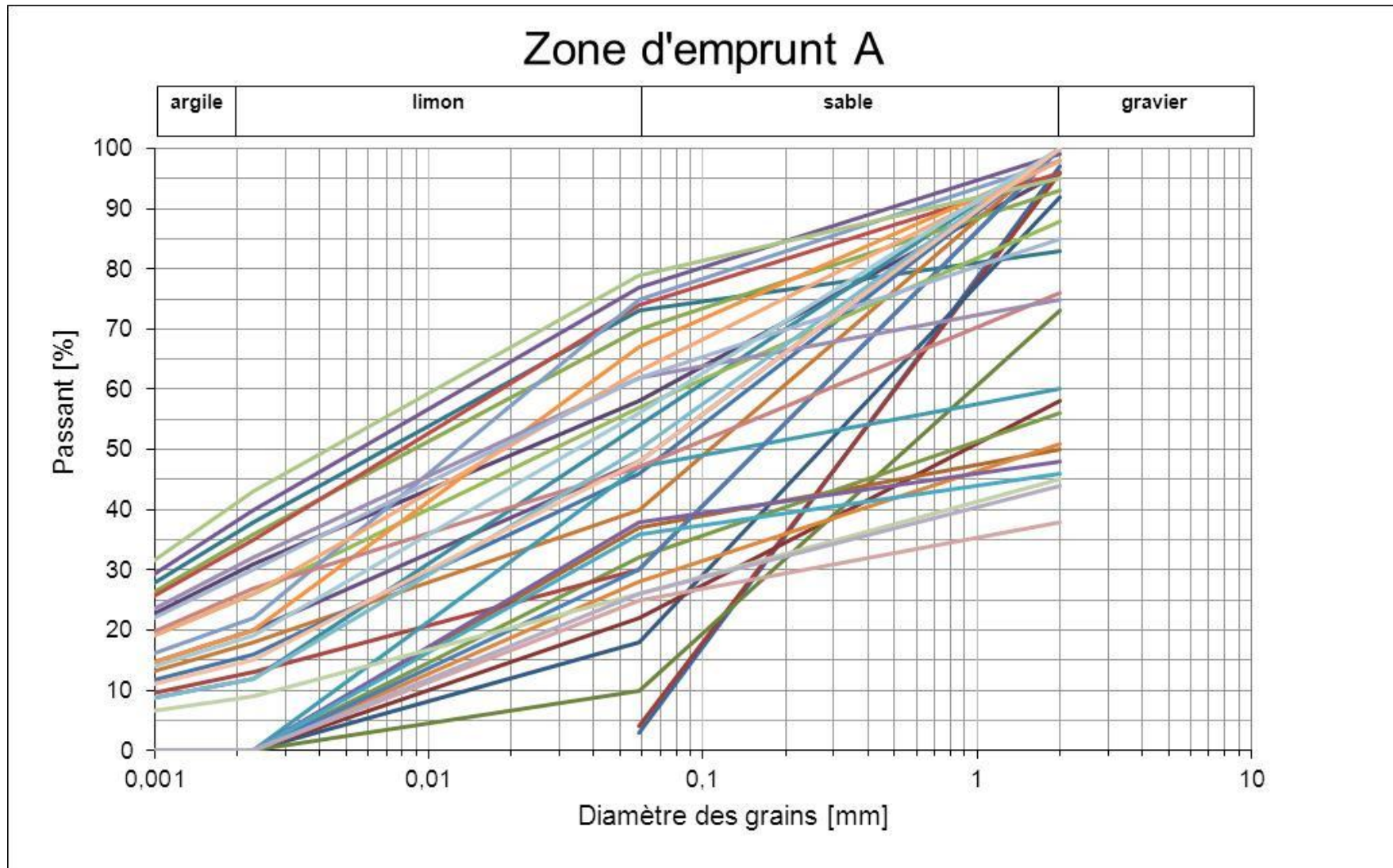


Figure A2. 34 – Zone d'emprunt A – Rive Droite – fuseaux granulométriques (profondeur des échantillons entre 0 et 5m)

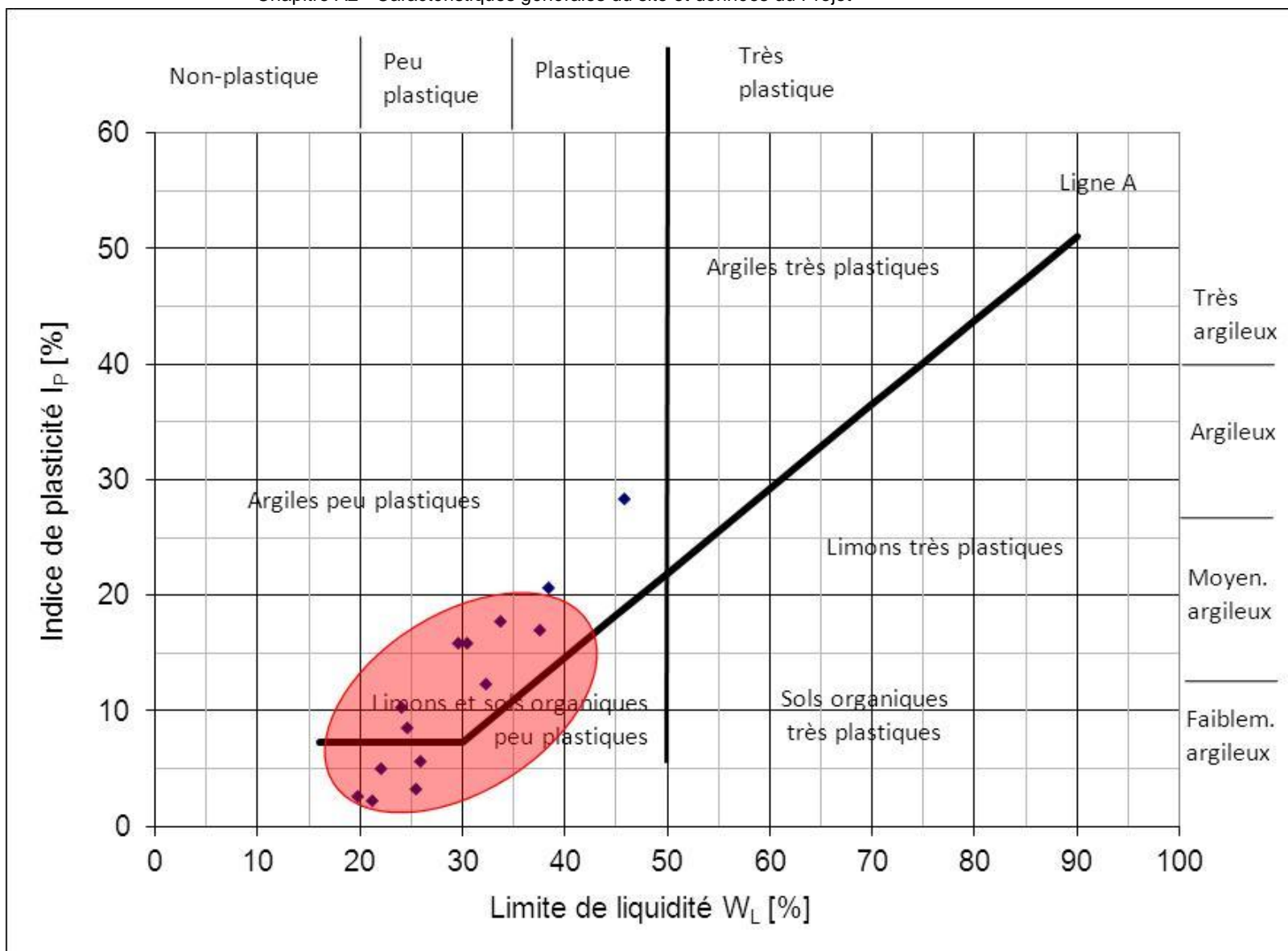


Figure A2. 35 - Zone d'emprunt A – Rive droite – Carte de plasticité (profondeur des échantillons entre 0 et 5m)

A2.4.6.2 Zone d'emprunt B

La zone d'emprunt B a fait l'objet de 12 déterminations de la granulométrie à des profondeurs comprises entre 0 et 5 mètres. Le passant à 2 mm varie entre 25 et 73%, avec une moyenne à 57%, le passant à 60 µm entre 8 et 41% avec une moyenne à 21 % et le passant à 2 µm entre 4 et 20 %, avec une moyenne à 11 %.

La zone d'emprunt B a fait l'objet de 32 déterminations de teneur en eau in-situ et de 34 déterminations de poids spécifique du matériau à des profondeurs variant entre 0 et 5 mètres. La teneur en eau varie entre 4,6 et 21,1%, avec une moyenne à 11,9% et le poids spécifique est compris entre 2,3 et 3,2 g/cm³, avec une moyenne à 2,7 g/cm³.

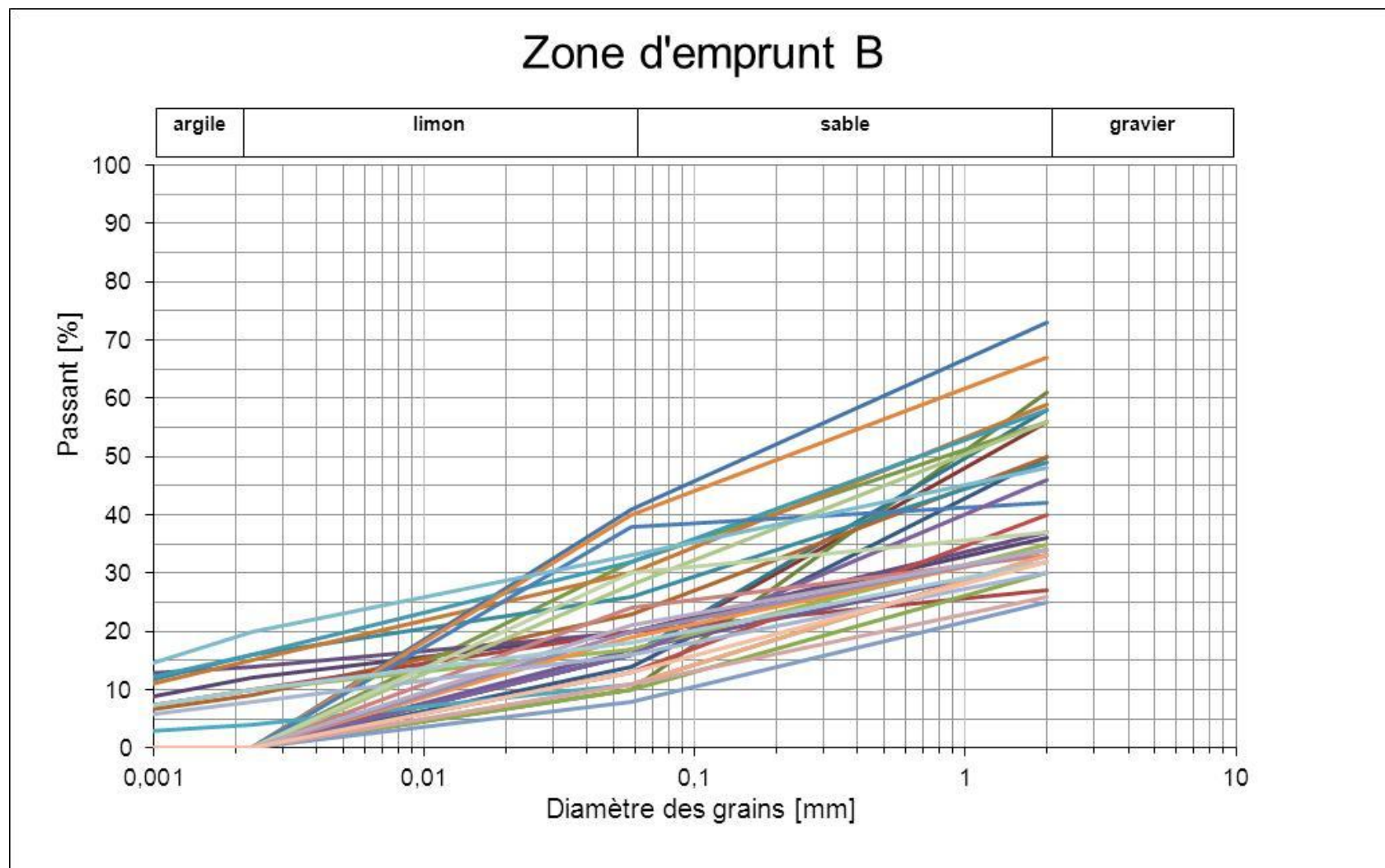


Figure A2. 36 -Zone d'emprunt B – Rive droite – Fuseaux granulométriques (profondeur des échantillons entre 0 et 5m)

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A2 - Caractéristiques générales du site et données du Projet

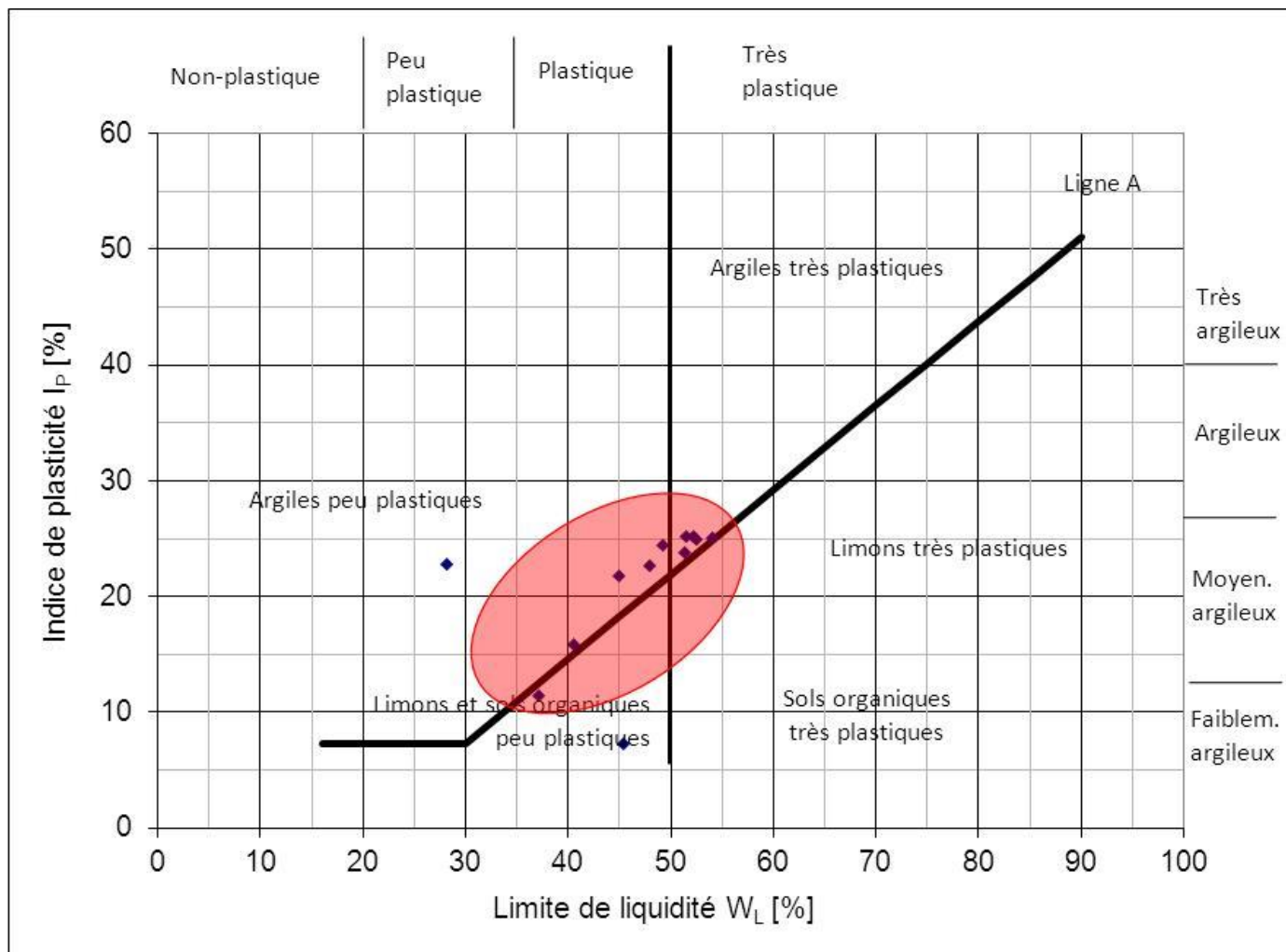


Figure A2. 37 - Zone d'emprunt B – Rive droite – Carte de plasticité (profondeur des échantillons entre 0 et 5m)

A2.4.6.3 Zone d'emprunt C

La zone d'emprunt C a fait l'objet de 35 déterminations de la granulométrie à des profondeurs comprises entre 0 et 5 mètres. Le passant à 2 mm varie entre 35 et 100 %, avec une moyenne à 63 %, le passant à 60 µm entre 25 et 96 % avec une moyenne à 50 % et le passant à 2 µm entre 11 et 46%, avec une moyenne à 29 %.

La zone d'emprunt C a fait l'objet de 45 déterminations de poids spécifique du matériau à des profondeurs variant entre 0 et 5 mètres. Le poids spécifique est compris entre 1,7 et 2,8 g/cm³, avec une moyenne à 2,4 g/cm³.

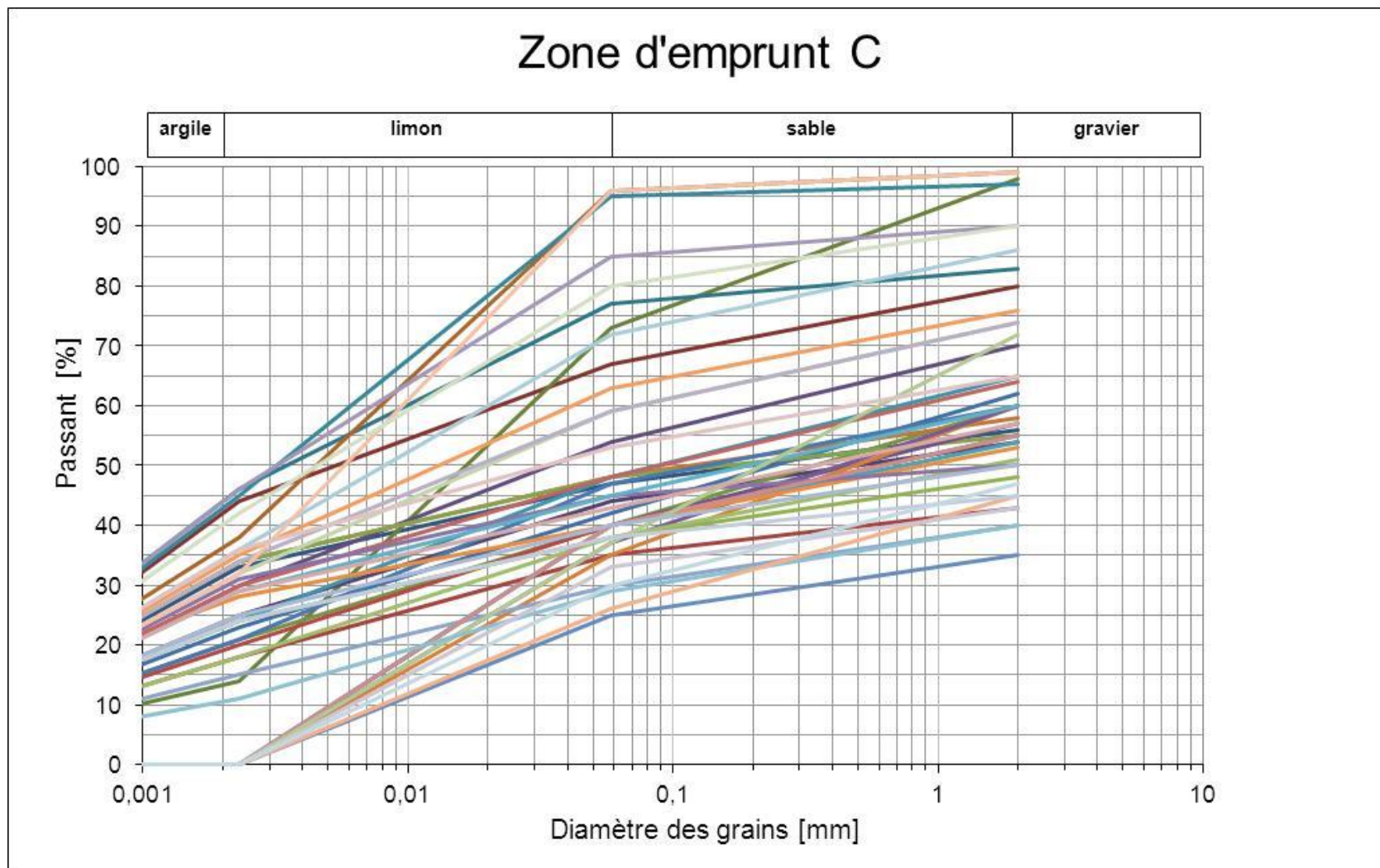


Figure A2. 38 - Zone d'emprunt C – Rive gauche – Fuseaux granulométriques (profondeur des échantillons entre 0 et 5m)

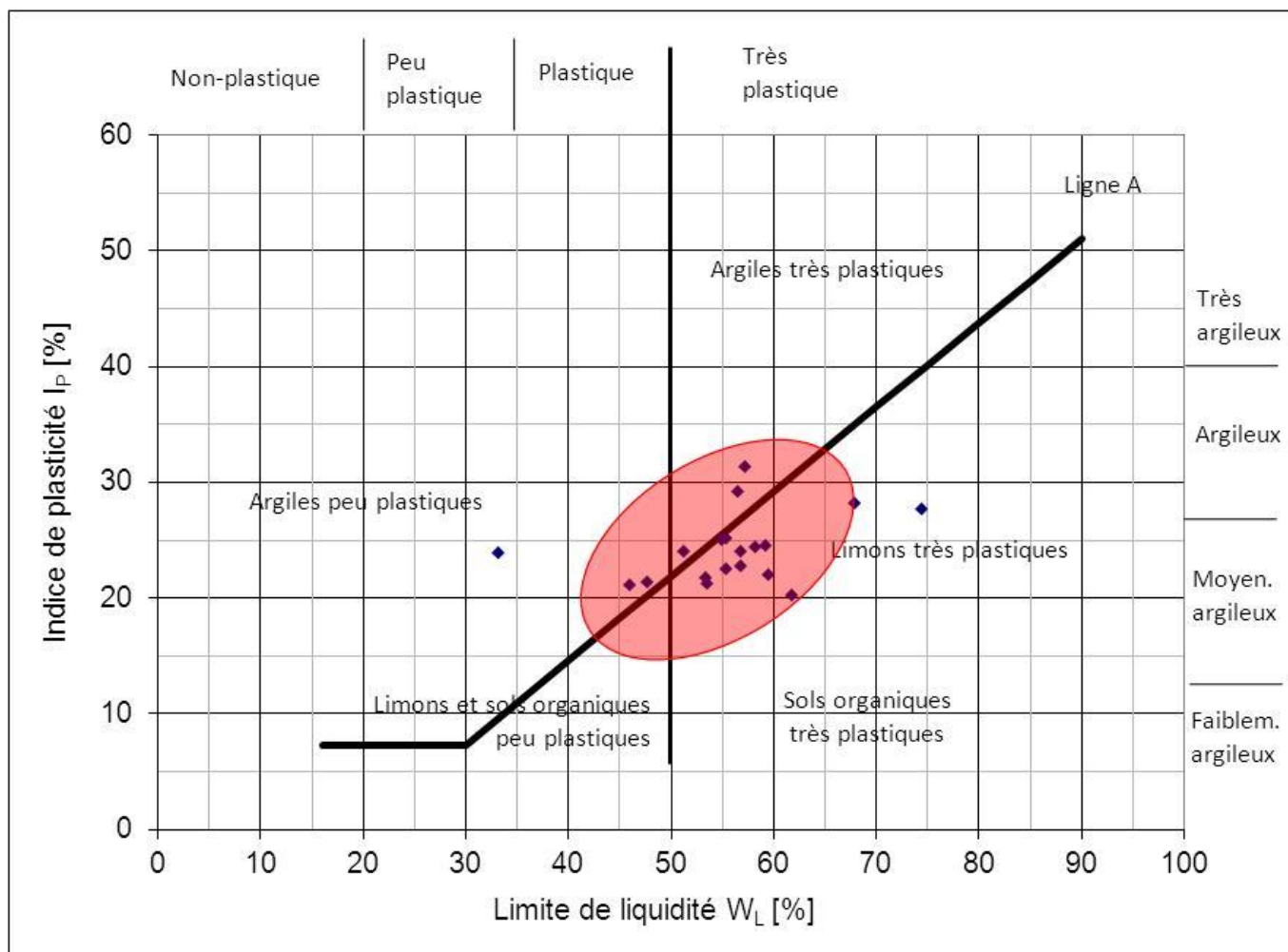


Figure A2. 39 - Zone d'emprunt C – Rive gauche – Carte de plasticité (profondeur des échantillons entre 0 et 5m)

De ces reconnaissances, il ressort les principales conclusions suivantes :

- la zone d'emprunt A, située en rive droite en aval de l'axe du barrage, est hétérogène, constituée de mélanges de sables graveleux, de latérites peu développées et de grès en décomposition. Elle correspond a priori à un ancien méandre alluvial présentant une forte hétérogénéité de ses dépôts ; elle est un gisement possible d'agrégats fins pour béton;
- la zone d'emprunt B, située en rive droite à l'amont de l'axe du barrage, présente des caractéristiques sensiblement identiques à celle située en rive gauche, mais avec des volumes dégradés. L'épaisseur moyenne de matériaux latéritiques est plus variable et leur qualité plus hétérogène. Cependant, en raison de son expansion possible, elle reste un gisement possible de matériaux meubles pour la construction des remblais ;
- la zone d'emprunt C, située en rive gauche à l'amont de l'axe du barrage, présente les meilleurs matériaux pour la fourniture de matériaux argileux étanches. Elle abrite des matériaux latéritiques rouges homogènes sur une épaisseur de plus de 5 m. Ces matériaux sont très argileux et une fois humidifiés à l'Optimum Proctor devrait être quasiment étanches. Ils pourront servir à l'édification des remblais ;
- les latérites sont principalement fines: dans les 3 zones d'emprunt elles contiennent en moyenne 63% d'éléments inférieurs à 2 mm (limite entre gravier fine et sable); pour la zone A le pourcentage cumulé du passant à 2mm étant 82%, pour la zone B il est 43 % et pour la zone C il est 63 % ; en moyenne les éléments inférieurs à 2 μ m (limite entre argile et limon, ce qui correspond à 0,002mm) sont en pourcentage de 22 % (25 % dans la zone A, 11 % dans la zone B et 29 % dans la zone C) ;
- la zone d'emprunt B, en rive droite, en amont du site du barrage, présente les éléments avec une granulométrie plus grossière (qui peuvent être définies comme **gravier sableux**) ; la zone A présente des **sables argileux** et la zone C des **argiles sableuses avec gravillons**;
- les latérites des zones d'emprunts varient entre peu plastiques (zone A), plastiques (zone B) et très plastiques (zone C);

A2.4.6.4 Matériaux pour filtre et drain

A ce stade d'avancement du Projet, et pour la suite des études, le parti est pris de proposer la fabrication des matériaux de filtre et drain à partir du concassage de matériaux issus des excavations rocheuses et de la carrière ouverte pour la production d'agrégats et d'enrochement.

L'ensemble de ces matériaux sera donc produit en concassant les matériaux gréseux excavés pour la fondation du barrage et de l'usine ainsi que des matériaux doléritiques extraits de la zone de carrière.

A2.4.6.5 Matériaux pour agrégats à béton

Dans la variante de barrage qui a été étudiée, la réalisation de béton sera nécessaire.

Elle nécessite la production d'agrégats issus d'une carrière située à une distance économiquement acceptable. La carrière proposée est située en rive droite à environ 4 km.

Elle correspond à un affleurement de dolérite, d'environ 30 m de hauteur, visible lors de l'approche du site depuis l'aval. Il est à noter que l'affleurement de dolérite est recouvert par une couverture latéritique en tête d'environ 10 à 15 m d'après le sondage déjà réalisé.

Cet affleurement a été repéré et visité lors des missions de terrain. A ce stade des études, les éléments suivants peuvent être notés : la dolérite de l'affleurement est de couleur grise-verte. Sa structure est ophitique et sa texture homogène. Elle est saine, très dure et sans traces d'altérations. Les composants minéraux de base sont des plagioclases, des pyroxènes et de l'olivine, ainsi qu'une quantité limitée de biotite.

Cette dolérite ne présente aucune réactivité vis-à-vis de l'alcali réaction et elle est donc classée dans la catégorie Non réactive.

La résistance à l'abrasion a été mesurée grâce à un essai Los Angeles.

L'essai effectué a donné une valeur de 17%, ce qui indique une bonne résistance à l'abrasion et un intérêt tout particulier pour l'utilisation de ces matériaux comme agrégats pour le béton.

La dolérite est de bonne qualité et pourra être utilisée pour agrégats à béton ainsi que pour l'enrochement. De plus, les volumes estimés disponibles sont très sensiblement supérieurs aux besoins du Projet.

Il est à noter que d'autres affleurements doléritiques sont présents dans le paysage à une distance inférieure à 20 km en rive droite.

Les matériaux gréseux issus des excavations, notamment de l'usine, qui présentent moins de garanties vis-à-vis du phénomène d'alcali réaction, ne seront pas retenus pour la fabrication des bétons

A2.4.7 RELIEF, GÉOLOGIE ET PÉDOLOGIE DE LA ROUTE D'ACCÈS À KOUKOUTAMBA

Une campagne de reconnaissances géologiques et géotechniques a été réalisée pour les études détaillées de la route. Le but de cette campagne était de :

- Caractériser la plateforme actuelle de la piste existante ;
- Identifier les zones d'emprunts latéritiques pour les remblais de la route et les carrières potentielles pour les agrégats pour béton des ouvrages d'art.

La portée de ces reconnaissances consistait à réaliser des puits de reconnaissance, répartis comme suit :

- 20 puits (prof. max 1 m) sur l'axe identifié de la piste existante à raison d'à peu près 1 puits tous les 1.5 km ;
- 30 puits dans les zones d'emprunts identifiés à raison d'une zone d'emprunt tous les 8 km ;
- 2 prélèvements pour graveleux latéritiques.

Les 20 puits réalisés sur les sols de plate-forme, chaque 1.5 km, sont détaillés dans le tableau suivant:

Tableau A2. 23 – Puits de reconnaissance de la route d'accès

Type	Désignation	X	Y	Prof. [m]	Echantillonnage supplémentaire de contrôle ⁽¹⁾
Puits	S1	223 049	1 261 243	1,10	X (échantillon)
Puits	S2	223 534	1 259 717	0,40	-
Puits	S3	223 819	1 258 391	0,80	-
Puits	S4	224 694	1 257 219	0,30	X (échantillon)
Puits	S5	226 155	1 256 775	0,20	X
Puits	S6	227 642	1 256 959	0,70	X
Puits	S7	229 106	1 256 989	0,50	-
Puits	S8	230 374	1 255 238	0,80	X
Puits	S9	231 781	1 254 592	1,00	X (échantillon)
Puits	S10	233 245	1 254 402	0,10	-
Puits	S11	234 756	1 253 946	0,90	X (échantillon)
Puits	S12	235 523	1 252 709	0,55	X
Puits	S13	236 961	1 252 205	0,40	X
Puits	S14	237 825	1 251 016	0,30	-
Puits	S15	239 045	1 250 172	0,60	X (échantillon)
Puits	S16	240 473	1 249 576	0,40	-
Puits	S17	241 672	1 248 740	0,10	-
Puits	S18	242 706	1 247 706	1,00	X
Puits	S19	243 817	1 247 213	1,00	X (échantillon)
Puits	S20	244 638	1 246 452	1,10	X

⁽¹⁾Pour ces puits S1, S4, S9, S11, S15, S19, un échantillonnage supplémentaire a été réalisé en vue d'une analyse en laboratoire à Paris.

4 zones ont été identifiées le long de la route d'accès et prospectées en tant que zones d'emprunt pour graves latéritiques pour remblais routiers et de graves pour béton. Des puits ont été réalisés dans les zones d'emprunt identifiés. La localisation de ces zones est donnée dans le tableau suivant :

Tableau A2. 24 – Zones d'emprunt et de carrière graveleuses le long la route d'accès

Type	Désignation	X	Y	Profondeur [m]
Puits	Emprunt 1	228 737	1 256 717	0,08
Puits	Emprunt 2	234 877	1 253 732	0,10
Puits	Emprunt 3	239 178	1 249 970	0,05
Puits	Emprunt 4	243 758	1 247 213	0,09
	Grave pour béton	229 194	1 256 993	
	Grave pour béton	237 824	1 251 014	

Deux échantillons de gravier pour bétons et revêtement ont été prélevés par ramassage. Ces matériaux pour bétons et revêtement (graviers de ramassage) sont disponibles en quantité suffisante tout au long du tracé.

Les quantités des essais réalisés sont résumés dans le tableau suivant.

Tableau A2. 25 – Consistance des essais routiers réalisés

Essais au laboratoire réalisés (rapport " Rapport V_1 – Route d'accès Kenie Oula-Koukoutamba - Etude géotechniques ; G.I.D – janvier 2012")					
	g+Att	Proct	CBR	LA	MD
Sols de plate-forme	18+8	8	8	-	-
Emprunts latéritiques	11+10+10+10	6	6	-	-
Gravier pour béton	-	-	-	2	2
TOTAL REALISE	67	14	14	2	2
TOTAL PREVU par TEF/Coyne et Bellier	70	14	14	2	2

g+Att. : granulométrie + limites d'Atterberg ; **Proct** : essai Proctor modifié; **CBR** : essai CBR ; **LA** : essai Los Angeles ; **MDV** : essai Micro Deval.

Les résultats de ces reconnaissances sont donnés en annexe du présent rapport.

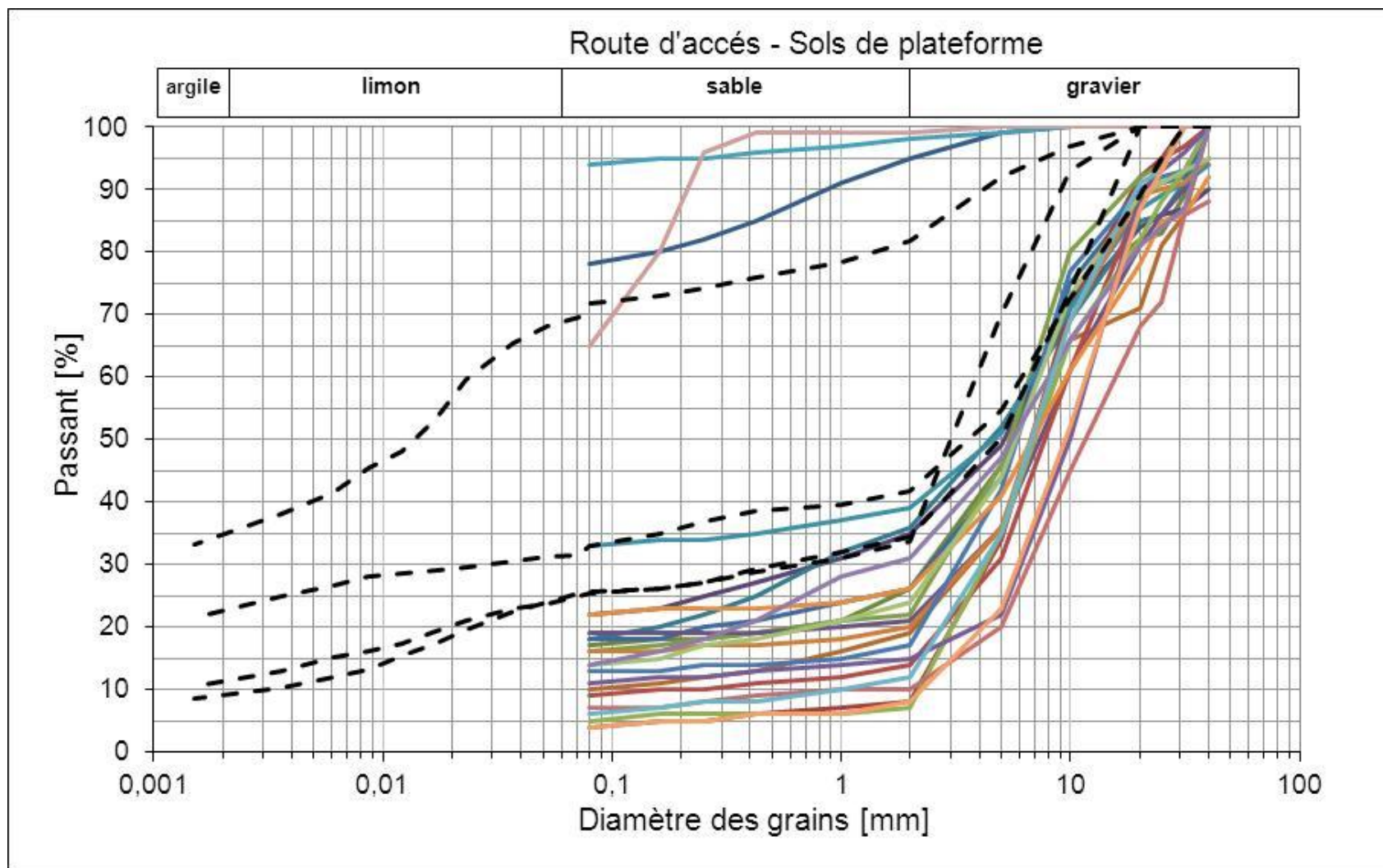


Figure A2. 40 - Route d'accès – Sols de plateforme - Fuseaux granulométriques

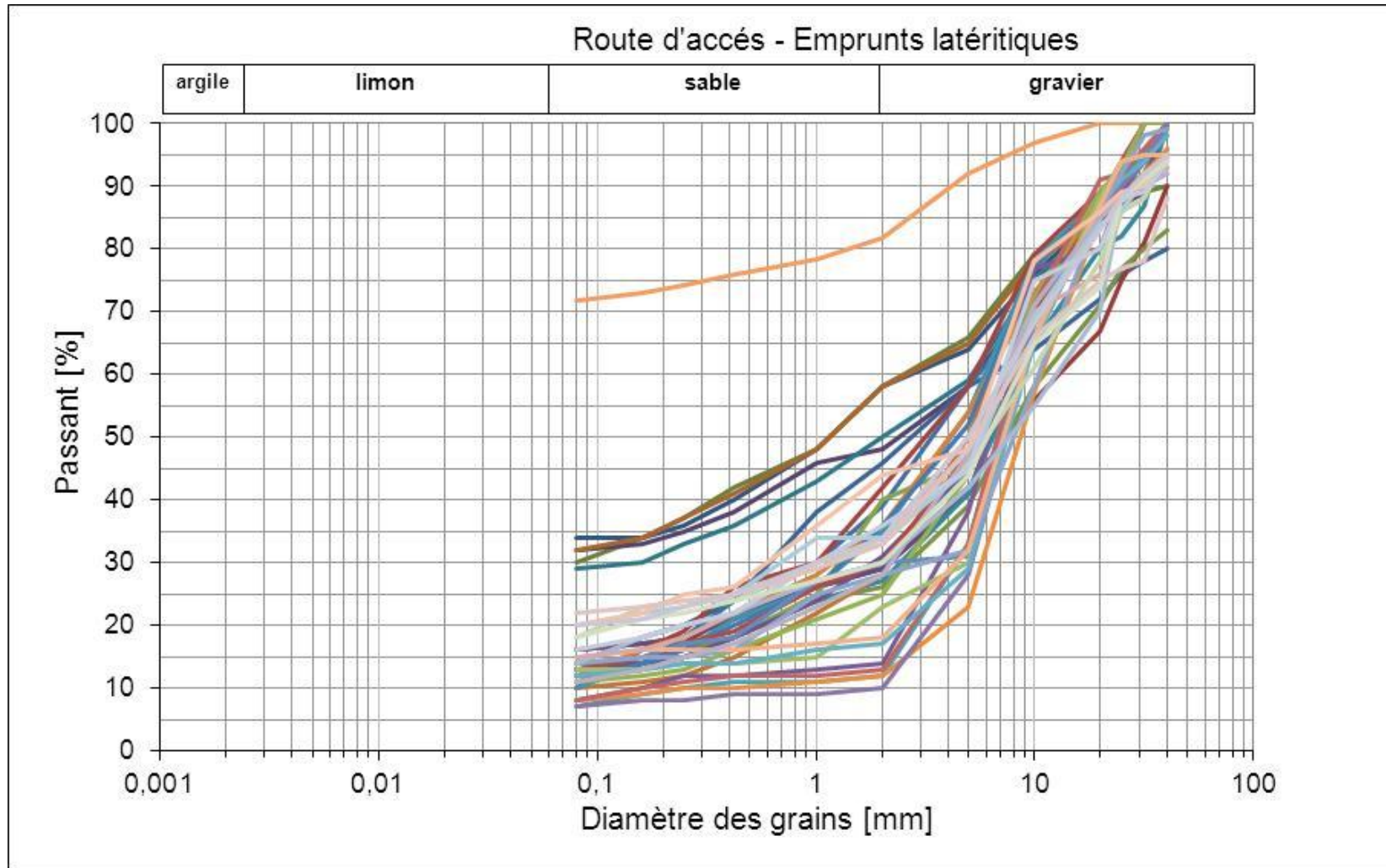


Figure A2. 41 - Route d'accès – Zones d'emprunts latéritiques - Fuseaux granulométriques

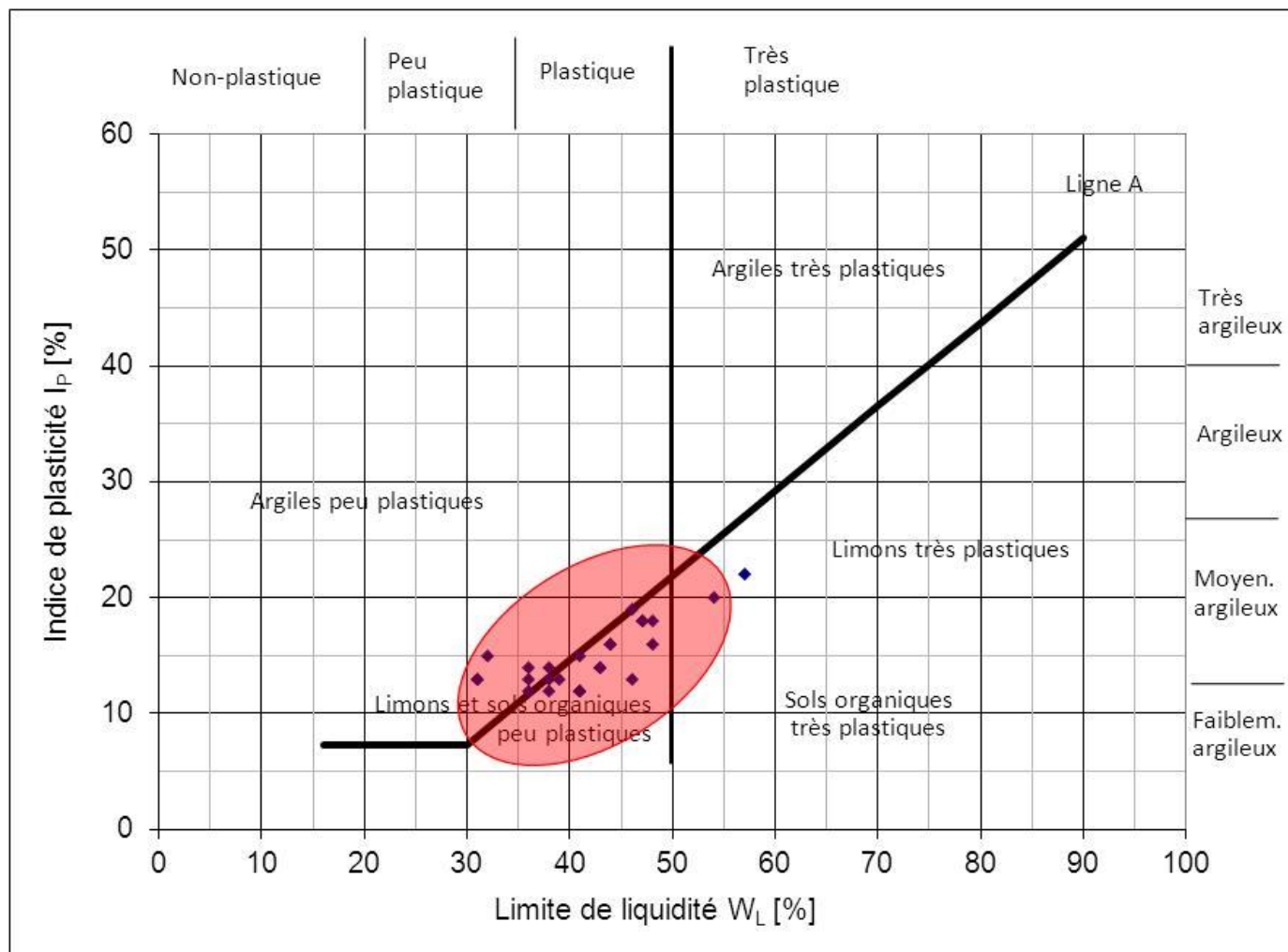


Figure A2. 42 - Route d'accès – Sols de plateforme - Carte de plasticité

A2.4.8 CONCLUSIONS

L'analyse des résultats de la campagne des reconnaissances géologiques et géotechniques complémentaires confirment les conclusions suivantes :

- un substratum rocheux gréseux en fondation, affleurant au droit du Bafing présentant un léger pendage vers le nord –ouest de quelques degrés (0-5°),
- la présence de blocs de dimension importante de dolérites en éboulis de pente, surtout sur le bas des pentes de la rive droite et de la rive gauche,
- la présence d'un horizon d'épaisseur variable et d'extension discontinue de dolérite au-dessus du substratum gréseux ;
- le développement d'une frange d'altération latéritique importante (prof. max 20-25), recouverte par un horizon de cuirasse ferrallitique (prof. max 8m) sur les pentes.

L'ensemble des éléments disponibles permet de définir une organisation structurale globalement subhorizontale pour reconstruire la coupe géologique transversale du barrage de Koukoutamba. Elle est valable pour les deux axes.

L'analyse des orthophotos SPOT ainsi que les résultats des reconnaissances géophysiques indiquent que l'axe du barrage présenterait quelques discontinuités (de type fracturation et/ou faille). Ils ont été particulièrement bien mis en évidence par la prospection de type panneaux électriques. Deux failles supposées sont situées dans les rives, à la cote 530 en rive droite et 540 en rive gauche. Des fissurations sont également observées grâce à des chutes de résistivité au pied de la rive gauche dans les grès.

La coupe KTB-II-4-GE-PG-002 A, correspondant à la coupe géologique transversale le long de l'axe du projet, illustre le travail de synthèse qui a été effectué à partir des observations de terrain et de tous les résultats des travaux de reconnaissance entrepris sur le site de Koukoutamba. Il présente l'essentiel des caractéristiques de la fondation de tout l'aménagement (barrage, usine et ouvrages annexes) en conformité avec le contexte géologie régional dans lequel on distingue :

- une couverture de terrains meubles d'altération, qualifiés de latosols en raison de leur genèse, très développée dans les versants de la vallée du Bafing;
- un soubassement rocheux, constitué d'un substratum gréseux quartzeux massif au droit du site et surmonté par des sills doléritiques ayant la même orientation spatiale des bancs gréseux.

La prospection géophysique réalisée sur le site du projet montre les résultats principaux suivants :

- La rive gauche, en surface, est caractérisée par la présence d'une cuirasse latéritique et des formations associées résistantes, d'épaisseurs très variables (0 à >10 mètres). Globalement, ces épaisseurs sont moindres en sommet de pente. Cette formation recouvre une couche très faiblement résistante attribuée à l'altération du rocher. Celle-ci augmente globalement vers le sommet de pente pour atteindre une trentaine de mètres d'épaisseur. En profondeur, le rocher

est plutôt majoritairement gréseux en bas de pente et matérialisé par des résistivités fortes (>2000 Ohm.m). Il s'agit de grès sains et durs, parfois altérés en surface. Cette altération gréseuse se traduit à la fois par des résistivités moyennes et par l'absence quasi totale de latéritisation. En sommet de pente, les sondages carottés montrent des dolérites massives en profondeur, qui se traduisent par des résistivités assez peu élevées (100 – 750 Ohm .m). On peut considérer que le rocher est ici à la fois plus conducteur naturellement (à cause de sa constitution minéralogique) et vraisemblablement plus altéré. A cet endroit, plusieurs zones plus fissurées sont suspectées, dont une zone vraisemblablement faillée.

- Sous le Bafing le rocher massif, très majoritairement gréseux dans les 25 premiers mètres sous la surface, est affleurant et se traduit par des résistivités moyennes à fortes (750 à >5000 Ohm.m). On remarque toutefois la présence d'une zone plus conductrice (fissurée ?) en bordure de la rive droite (sud) et de façon moins importante en bordure nord du profil 1.
- La rive droite se distingue par deux zones principales successives distinctes: en bas de pente, les terrains sont très majoritairement gréseux. Comme sur la rive gauche, l'altération est sableuse et la latéritisation faible à très faible. De ce fait, on observe un résistivité hétérogène moyen à fort. Cette variabilité traduit manifestement les différences de cimentation, de fracturation et de minéralogie des grès. En sommet de pente les dolérites deviennent plus importantes et de ce fait la succession décrite en rive gauche réapparaît ; à savoir : Un résistivité en surface (de 5 à 10 mètres en moyenne) attribué aux latérites, reposant sur un conducteur fort correspondant aux argiles doléritiques, passant ensuite au rocher plus ou moins fissuré. Sur chacune des coupes, on observe en profondeur la présence d'une zone fortement conductrice correspondant vraisemblablement à une faille plus importante.
- Zone d'emprunt B (rive droite) : contrairement à l'emprunt de la rive gauche, celui-ci se caractérise par une grande hétérogénéité. Celle-ci traduit la fin de la zone plus doléritique observée sur les extrémités sud des profils 1 et 2 (voir sondage KD48 projeté et non représentatif). De ce fait, le rocher devrait être d'une nature globalement plus gréseuse, et l'horizon C2 moins représenté. Le complexe résistivité latéritique de surface mesure entre 5 et 10 mètres d'épaisseur en moyenne.
- Zone d'emprunt C (rive gauche) : la succession typique observée en rive gauche sur l'axe est ici confirmée. En dehors de la variabilité d'épaisseur du complexe latéritique résistivité de surface, on notera les fortes variations de résistivités au sein du rocher en profondeur (100 à 200 Ohm.m). L'horizon C2 conducteur varie entre 10 et 20 mètres d'épaisseur en moyenne.

Suite aux essais réalisés, les matériaux rocheux sains sont considérés comme quasi-étanches (sauf exception des zones potentiellement fracturées ou faillées) et les matériaux meubles comme perméables en place.

Des nombreux essais de perméabilité ont été réalisés lors des études d'Energoprojekt : des essais d'eau en pression (type Lugeon) et à niveau variable (type Lefranc). Les résultats obtenus sont les suivants :

- Les grès de la fondation (à l'exception de leur partie superficielle altérée) sont quasi-étanches : la plupart de valeurs obtenues en essais Lugeon sont compris entre 0 et 2 UL ;
- La dolérite a donné également des résultats équivalents à ceux des grès, à savoir des valeurs Lugeon compris entre 0 et 2 U.L.

- Les matériaux latéritiques (argiles de décomposition des grès ou de la dolérite) ont été investigués grâce à des essais Lefranc. qui ont donnés des valeurs comprises entre 10-7 (matériaux latéritiques) et 10-4 m/s (poches sableuses de décomposition du grès).

Suite à l'analyse des données bibliographiques, aux visites de terrains et aux résultats de la campagne complémentaire engagée, les commentaires suivants peuvent être formulés : »

- La fondation gréseuse observable le long du Bafing est tout à fait qualifiée pour recevoir une structure rigide de type barrage en BCR. Les grès sont affleurant et massifs et présentent des caractéristiques mécaniques compatibles avec une telle structure.
- En rive, contrairement à ce que la présence de blocs massifs de dolérite posés en pied de talus peut laisser penser, il n'y aurait pas de couche continue de dolérite. Les couches doléritiques massives observables sur les sommets proches du site ne sont pas nécessairement continues en fond de vallée.
- A ce stade des études, la dolérite est interprétée sur le site de Koukoutamba sous forme de blocs en état d'altération (altération en blocs ronds et en pelures d'oignons caractéristiques de ce type de roche magmatiques). Elle est présente à nue en pied de talus. En rive, elle est incluse toujours sous forme de blocs plus ou moins ronds et incluse dans un développement de type latéritique classique.
- Une épaisse couche latéritique est présente en rive, masquée par une cuirasse d'une épaisseur pouvant dépasser 5 mètres. La couche latéritique peut atteindre plus de 30 m en sommet des rives du barrage.
- Les rives sont donc considérées dans les présentes études comme des terrains meubles ne pouvant accueillir de structures rigides (béton par exemple).

En conséquence, le type d'ouvrages en projet est un ouvrage mixte comportant un corps central en BCR et des ailes en remblais. Etant donnée la nature meuble des rives, la partie rigide de type BCR devra être fondée préférentiellement dans le lit du Bafing.

Concernant l'étanchéité de l'ouvrage, les résultats des essais d'eau en pression réalisés indiquent une fondation gréseuse quasi-étanche. Concernant les matériaux meubles en rives, des techniques d'étanchéité devront être mises en place afin d'assurer le prolongement de l'étanchéité de la digue jusqu'à la fondation rocheuse supposée étanche.

Concernant les fouilles et excavations, les grès pourront faire l'objet de traitement minime. Par contre, les matériaux de type cuirasse devront être systématiquement excavés.

Les agrégats à béton proviendront d'une carrière de dolérite située sur le flan en rive droite, à environ 4 km du site.

Les enrochements, filtres, drains et transitions pourront être obtenus à partir de la même carrière doléritique, ou neutralisation des matériaux gréseux issus des fouilles.

A2.5 QUALITE DES EAUX DU BAFING

Trois prélèvements d'eau ont été réalisés sur le fleuve Bafing à Koukoutamba en phase d'étiage et d'hivernage pour analyse en vue de déterminer leur agressivité potentielle par rapport aux bétons.

Il en résulte que les eaux du Bafing à Koukoutamba sont potentiellement peu agressives au regard des bétons.

A2.6 ESTIMATION DES APPORTS SOLIDES

L'estimation des apports solides a été faite par deux approches :

- Approche par analyse documentaire notamment en exploitant l'étude Energoprojekt ainsi que des études des projets régionaux (Kaléta, Sambangalou). Il en est résulté une estimation d'apports solides d'environ 7.5 hm^3 avec une plage de variation comprise entre 1,2 à $12,5 \text{ hm}^3$
- Mesure in situ par prélèvement d'eau du site, analyse des matières en suspension et analyse granulométrique. Il en est résulté une estimation d'apports solides de moins de 2 hm^3 .

La campagne de bathymétrie disponible réalisée sur la cuvette de Manantali n'a pas permis de mettre en évidence un ensablement significatif de la cuvette.

Nous retenons un apport solide d'environ 7.5 hm^3 pour le barrage de Koukoutamba, correspondant à une approche conservatrice des données disponibles.

SOMMAIRE DU CHAPITRE A3

TRAVAUX PREPARATOIRES

A3.1 GENERALITES	1
A3.2 ROUTE D'ACCES AU SITE	1
A3.2.1 Situation et accès au site de Koukoutamba	1
A3.2.2 Tracé définitif de la Route d'accès Kénié-Oula - Koukoutamba	2
A3.2.3 Caractéristiques générales de la routes	3
A3.2.3.1 Hypothèse générale de conception	3
A3.2.3.2 Géométrie	3
A3.2.3.3 Trafic	3
A3.2.3.4 Structure de la chaussée	4
A3.2.3.5 Passages hydrauliques	4
A3.3 PONT SUR LE BAFING	6
A3.4 CITE DU MAITRE D'OUVRAGE	8
A3.4.1 Généralités	8
A3.4.2 Nature du terrain	8
A3.4.3 Consistance de la cité	8

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A3 – Travaux Préparatoire

CHAPITRE A3

TRAVAUX PREPARATOIRES

A3.1 GENERALITES

Le présent chapitre concerne les travaux préparatoires. Ils concernent l'ensemble des travaux qui doivent être réalisés avant ceux de l'aménagement proprement dits de Koukoutamba. Il s'agit en outre notamment des travaux pour :

- la route d'accès qui doit être mise en service suffisamment tôt pour permettre l'acheminement vers le chantier du matériel pour la réalisation des travaux du barrage,
- la cité du Maître d'Ouvrage dont la fin de la première tranche sera nécessaire pour accueillir le personnel du Maître d'Ouvrage et de l'Ingénieur,
- le pont sur le Bafing, à l'aval du barrage dont la réalisation est nécessaire pour la communication entre les deux rives et la réalisation des travaux de l'usine et des ouvrages fonctionnels situés en rive droite de l'aménagement.

A3.2 ROUTE D'ACCES AU SITE

A3.2.1 Situation et accès au site de Koukoutamba

L'aménagement hydroélectrique de Koukoutamba est situé en Moyenne Guinée, à 570 km au nord-est de la capitale Conakry, entre 11°23'O de longitude et 11°16'N de latitude.

L'accès principal au site tel que validé à l'issue des études d'avant-projet sommaire est constitué d'une liaison entièrement routière par la rive gauche de l'aménagement. Ce trajet routier se compose de la manière suivante:

- Par la Route Nationale N1 de Conakry jusqu'à Mamou via Kindia. Il s'agit d'une route revêtue d'une distance de 270 km environ ;
- Ensuite de Mamou on prend la Route Nationale N5 de Mamou jusqu'à Labé, route elle aussi revêtue d'une distance de 140 km environ ;
- Depuis Labé on prend la Route Nationale N27 jusqu'à Kénié-oula, en passant par Tougué et Kollé. Ce tronçon est en fait une piste non revêtue, de praticabilité difficile mais permanente pour une distance de 120 km environ ;
- Enfin depuis Kénié-Oula on quitte les routes nationales pour un trajet d'environ 30 km jusqu'au site, actuellement très difficilement praticable. Ce dernier tronçon est considéré au sens de notre étude comme la route d'accès au site.

Les tronçons bitumés de routes nationales de Conakry à Labé sont à ce jour en bon état de praticabilité moyennant quelques travaux d'entretien courant. Le tronçon en terre Labé – Tougué – Kollé – Kénié-oula compte-tenu de son état actuel, nécessitera sa reconstruction avant le début des travaux de l'aménagement, notamment pour permettre l'acheminement des matériaux, du matériel, et des équipements. L'étude de ce tronçon ne fait pas l'objet de la présente étude ⁽¹⁾.

A3.2.2 Tracé définitif de la Route d'accès Kénié-Oula - Koukoutamba

Le tracé définitif de la route d'accès aux ouvrages de l'aménagement reprend dans ses grandes lignes le tracé actuel, avec quelques rectifications localisées, destinés soit à corriger certains rayons de courbure de l'axe, soit à corriger le profil en long, soit encore à assurer un raccordement correct avec les ouvrages de franchissement des cours d'eau.

Ce tracé, tel qu'il a été étudié par le Consultant est d'une longueur totale de 38,35 km. Il dessert ou passe à proximité des villages et points significatifs suivants :

PK	Description
0+000	Site de Koukoutamba
0+450	Pont sur le Bafing
6+000	Village de Koukoutamba
10+500	Village de Balabori
13+600	Accès vers la cité du Maître d'Ouvrage
15+000	Village de Kondekere
25+000	Village de Peteguele
29+000	Village de Kabakoure
33+000	Villages de Popodounki, Loukourou et Demouko,
35+000	Kénié-Oula

Les plans suivant donnent le tracé en plan et profil en long de cette route d'accès :

- KTB-II10-RA-AM-001 – *Route d'accès Kénié-Oula - Koukoutamba* – Implantation - Vue en Plan
- KTB-II10-RA-AM-002 – *Route d'accès Kénié-Oula - Koukoutamba* – Liste des Ouvrages de franchissement
- KTB-II10-RA-AM-003 à 017 – *Route d'accès - Labé - Koukoutamba* – Plan Général
- KTB-II10-RA-PT-001 à 022 – *Route d'accès Kénié-Oula - Koukoutamba* – Tracé en Plan – Profil et long – feuille 1/22 à 22/22

¹ A l'issue de l'atelier de validation de l'APS, il a été préconisé la réalisation en option du tronçon Labé – Tougué – Kénié-Oula dans le cadre du projet d'Aménagement de Koukoutamba en cas de retard du projet SITRAM.

A3.2.3 Caractéristiques générales de la routes

A3.2.3.1 Hypothèse générale de conception

La chaussée est conçue pour une durée de vie de 15 ans.

A3.2.3.2 Géométrie

Les caractéristiques géométriques de la route sont les suivantes :

- largeur totale 8 m (dont chaussée roulable : 6 m),
- pente maximum admissible : 8 %,
- Dévers : 2.5 % + caniveau de 60 cm minimal de profondeur de chaque côté pour permettre l'évacuation des eaux.
- Largeur minimale de l'emprise : 11 m

Les plans suivants décrivent les éléments de géométrie de la route :

- KTB-II10-RA-PT-023 – *Route d'accès Kénié-Oula – Koukoutamba* – Coupes types sur chaussées
- KTB-II10-RA-PT- 024 – *Route d'accès Kénié-Oula – Koukoutamba* – Raccordement entre alignement droit et courbure

A3.2.3.3 Trafic

L'estimation du trafic conduit aux éléments suivants :

- fréquence de roulage pendant les travaux de l'aménagement : 20 à 30 camions/jour avec des pointes à 50 camions/jour en début et fin de travaux.
- fréquence de trafic à terme :
 - moins de 300 véhicules par jour,
 - moins de 500 000 poids lourds pendant la période de 15 ans.
- charge maximum admissible : 13 Tonnes / essieu,
- convoi-type de service : Bc = 30 Tonnes

- convoi exceptionnel de 120 Tonnes pour l'amenée des transformateurs à l'usine,

A3.2.3.4 Structure de la chaussée

La structure retenue pour la chaussée est la suivante :

- une couche de forme dont le but est d'améliorer la plateforme de terrassement,
- une couche de fondation,
- une couche de base et,
- le revêtement.

Les couches de forme et de fondation ne sont pas indispensables sur toute la longueur du tracé compte-tenu de la bonne qualité générale de sol de fondation de la route existante. Ces couches ne seront donc nécessaires que très localement et aux endroits où par nécessité de correction du profil en long, un remblai d'apport est réalisé.

La couche de base quant à elle est réalisée sur tout le tracé. Elle constitue en effet la couche finale de la route pour lequel un traitement plus qualitatif est attendu.

L'objectif principal de l'étude est la réhabilitation de la route existante à travers la mise aux normes de son gabarit de circulation. Les travaux de la route consisteront essentiellement en une reconstitution sur 15 à 30 cm environ de la couche de base en matériaux graveleux-latéritiques et un reprofilage de la route existante.

La couche de base terminée reçoit un revêtement d'imperméabilisation ainsi qu'une couche de revêtement bitumineux de 3 cm.

A3.2.3.5 Passages hydrauliques

Deux types passages hydrauliques sont prévus :

- Des passages hydrauliques sous forme de buses ou double buses de diamètres allant de 600 à 1000 mm,
- Des passages hydrauliques sous forme de cadres de section ou double - section (L1.50 m x H 1.00 m).
- Des passages hydrauliques sous forme de cadres de section (L2.80 m x H 1.60 m).

Les tableaux ci-après dénombrent et positionnent les différents ouvrages de franchissement (buse et dalots) :

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A3 – Travaux Préparatoire

Tableau A2- 1 – liste des passages hydrauliques

N° ouvrages	Type d'ouvrage	Localisation		N° ouvrages	Type d'ouvrage	Localisation	
		X	Y			X	Y
OA1	A	240 250	1 246 102	OA9	F	243 711	1 246 812
OA2	A	241 435	1 246 154	OA10	C	244 036	1 246 844
OA3	B	242 146	1 245 906	OA11	C	244 161	1 246 806
OA4	E	242 676	1 245 837	OA12	E	241 442	1 240 079
OA5	C	243 485	1 246 339	OA13	A	237 240	1 251 917
OA6	C	243 603	1 246 526	OA14	D	230 124	1 255 742
OA7	E	243 648	1 246 670	OA15	C	224 758	1 257 115
OA8	A	243 603	1 246 778	OA16	C	223 520	1 259 846

Les types d'ouvrages sont déterminés en fonction de la topographie du site à franchir ainsi que les débits à transiter tel que défini de manière suivante :

- Type A : 1 buse circulaire de diamètre 600 mm, transitant des débits inférieur à 0.50 m³/s
- Type B : 1 buse circulaire de diamètre 800 mm, transitant des débits compris entre 0.50 m³/s et 0.90 m³/s.
- Type C : 1 buse circulaire de diamètre 1 000 mm, transitant des débits compris entre 0.90m³/s et 1.50 m³/s.
- Type D : 1 dalot rectangulaire de section L1.50m x H1.00m, transitant des débits compris entre 1.5 m³/s et 3.0 m³/s.
- Type E : 1 double dalot rectangulaire de section 2 x (L1.50m x H1.00m), transitant des débits compris entre 3.00 m³/s et 6.0 m³/s.
- Type F : 1 dalot rectangulaire de section L2.80m x H1.60m, transitant des débits compris entre 6.0 m³/s et 10.00 m³/s.

Les plans suivants décrivent la conception des différents passages hydrauliques :

- KTB-II10-RA-PC- 005 et 006 – *Route d'accès Kénié-Oula* – Passages hydrauliques circulaires types A – B – C
- KTB-II10-RA-PC- 008 et 009 – *Route d'accès Kénié-Oula* – Passages hydrauliques rectangulaires types D – E – F
- KTB-II10-RA-PC- 007– *Route d'accès Kénié-Oula* – Passages hydrauliques – Buses tous les 400 à 600m.

A3.3 PONT SUR LE BAFING

Le pont sur le Bafing à Koukoutamba est un ouvrage en béton armé permettant de relier les deux rives de l'aménagement et l'accès aux ouvrages fonctionnels et de production situés en rive droite. Il est constitué de 9 travées isostatiques des 20 m de long chacune, soit une portée totale de 180 m. Les travées sont appuyées sur des piles de pont en travée et des culées en rive, à travers des appareils d'appui.

Des remblais d'accès permettent de relier l'ouvrage aux rives et limiter la longueur du pont.

Le pont est conçu pour pouvoir supporter les charges routières à savoir :

- Des charges de type foules dites A(l) uniformément répartie sur le pont,
- Des convois de services de type Bc = 30 tonnes à concours de deux sur une travée disposés soit transversalement ou en files,
- Des systèmes d'essieux-tandems de 32tonnes disposés transversalement
- Le convoi exceptionnel de 120 Tonnes pour l'acheminement des équipements lourds de l'usine.

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A3 – Travaux Préparatoire

L'ensemble des données fonctionnelles concernant le pont est présenté dans le tableau ci-dessous :

Tableau A2- 2 – données fonctionnels du pont sur le Bafing à Koukoutamba

données	<i>Pont sur le Bafing à Koukoutamba</i>
longueur	180 m
tirant d'air au-dessus de la crue centennale (466.50 NGG)	4.00 m
tirant d'air au-dessus de la crue décennennale (469.50 NGG)	1,00 m
largeur chaussée (w)	8 m
Largeur de la voie conventionnelle (w_l)	3 m
largeur accotements	1 m
biais	Biais géométrique 100 gr
contraintes particulières	Convoi exceptionnel de 120 T

Les plans suivants permettent de décrire sa conception :

- KTB-II10-RA-PC- 001 – *Pont sur le Bafing à Koukoutamba* - Vue en Plan et coupe longitudinale
- KTB-II10-RA-PC- 002 – *Pont sur le Bafing à Koukoutamba* – Piles – Coupes types
- KTB-II10-RA-PC- 003 – *Pont sur le Bafing à Koukoutamba* – Culées – Coupes types
- KTB-II10-RA-PC- 004 – *Pont sur le Bafing à Koukoutamba* – Poutres – Coupes types

A3.4 CITE DU MAITRE D'OUVRAGE

A3.4.1 Généralités

Le présent chapitre a pour but de décrire les installations complètes de la cité du Maître d'Ouvrage pour le programme de réalisation de l'Aménagement hydroélectrique de Koukoutamba.

La cité du Maître d'Ouvrage est implantée à proximité du barrage et de la route d'accès, en rive droite de l'Aménagement. Elle servira:

- pendant la construction de l'Aménagement de cité de chantier pour le personnel du Maître de l'Ouvrage et de l'Ingénieur,
- après achèvement des travaux: de cité d'exploitation pour le personnel d'exploitation de l'usine.

Un emplacement est réservé à côté de la Cité du Maître d'ouvrage en vue de permettre à l'Entrepreneur d'y construire sa propre cité de chantier.

La proximité des deux cités permettrait d'avoir des installations et services communs pendant la durée du chantier (tels que centrale électrique, alimentation électrique, voirie, magasins, dispensaire, police, lieux de cultes, etc.).

L'aménagement des bâtiments permet de distinguer trois zones destinées au logement des cadres, au logement des agents techniques et aux installations communes (foyer, restaurant, école, piscine, tennis).

A3.4.2 Nature du terrain

L'ensemble de la cité se trouve sur un versant en rive droite dans un contexte géologique composée en surface essentiellement de terrains latéritiques.

A3.4.3 Consistance de la cité

L'ensemble des ouvrages de la cité du Maître d'Ouvrage concerne la réalisation de diverses constructions, et de leurs réseaux d'assainissement, dont l'usage sera définitif:

- 4 villas de direction, dites de type A,
- 12 villas familiales pour cadres, dites de type B,
- 3 bâtiments pour cadres célibataires dits villas de type C, comptant chacun 4 logements individuels,
- 3 bâtiments d'accueil dits villas de type D, comptant chacun 6 logements individuels,

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A3 – Travaux Préparatoire

- 18 logements d'agent technique, dits villas de type E,
- 1 club restaurant (cantine),
- 1 groupe scolaire,
- 1 lieu de prière
- 1 boutique
- un ensemble d'équipements sportifs (piscine, tennis, basket, etc.)
- infrastructures communautés (mosquée, centre de soins, , etc..)

En outre, il est prévu un bâtiment administratif qui abritera les bureaux de chantier. Ce bâtiment comprendra environ 30 pièces.

La cité sera réalisée en deux tranches. La première tranche se limitera aux installations strictement nécessaires au démarrage des travaux principaux de l'aménagement hydroélectrique. Elle comprendra :

- 6 villas de type B,
- 3 villas de type D.
- Le groupe électrogène 30kVA
- La cantine

La deuxième tranche comprendra l'ensemble des autres bâtiments de la cité.

Les travaux de cette cité concernent également la réalisation des installations suivantes à caractère définitif:

- le réseau d'alimentation en eau (eau brute et eau potable),
- le réseau de distribution d'électricité,
- l'éclairage extérieur,
- la voirie,
- les réseaux d'eaux pluviales,
- le réseau téléphonique,
- la clôture périphérique.

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A3 – Travaux Préparatoire

La cité du Maitre d'Ouvrage est illustrée dans les plans KTB-II-11-CE-AM 001 à 011.

SOMMAIRE DU CHAPITRE A4

DESCRIPTIF DE L'AMENAGEMENT – GENIE CIVIL

A4.1 DISPOSITIONS GENERALES	1
A4.2 BARRAGE POIDS EN BCR	2
A4.2.1 Fondation	2
A4.2.2 Coupe type du barrage en BCR	2
A4.2.2.1 Généralités	2
A4.2.2.2 Parement amont	3
A4.2.2.3 Corps du barrage	3
A4.2.2.4 Parement aval	4
A4.2.2.5 Galeries	4
A4.2.2.6 Joints transversaux	5
A4.2.2.7 Formulation du BCR	5
A4.2.2.8 Mortier de liaison	6
A4.2.2.9 Traitement de la fondation	7
A4.2.3 Mur-poids en BCR (rive gauche)	8
A4.3 AILES EN REMBLAIS ET EN ENROCHEMENTS	8
A4.3.1 Généralités	8
A4.3.2 Digue de remblai latéritique	9
A4.3.2.1 Implantation et profil	9
A4.3.2.2 Zonage et mise en place	9
A4.3.2.3 Matériaux	11
A4.3.3 Digue de transition et digue en enrochements	11
A4.3.3.1 Généralités – Fondation	11
A4.3.3.2 Zonage et mise en place	12
A4.3.4 Crête de la digue	14
A4.3.5 Matériaux et granulométrie	14
A4.3.6 Etanchéité et drainage	19
A4.3.6.1 Système d'étanchéité	19

A4.3.6.2	Système de drainage	20
A4.4	DERIVATION PROVISOIRE – PHASAGE DES TRAVAUX	21
A4.4.1	Généralités	21
A4.4.1.1	Hydrologie et saisonnalité	21
A4.4.1.2	Principe de phasage	24
A4.4.1.3	Crues de chantier	25
A4.4.2	Travaux de dérivation	25
A4.4.2.1	Batardeaux	25
A4.4.2.2	Pertuis de dérivation	25
A4.4.3	Phasage et contrôle des travaux	26
A4.4.3.1	Phase 1 : Première saison humide (Février année 1 à Novembre année 1)	26
A4.4.3.2	Phase 2 : Première saison sèche (Décembre année 1 à Juillet année 2)	27
A4.4.3.3	Phase 3 : Seconde saison humide (Juillet année 2 à Novembre année 2)	29
A4.4.3.4	Phase 4 : Seconde saison sèche (Décembre année 2 à juillet année 3)	29
A4.4.3.5	Phase 5 : Troisième saison humide (Juillet année 3 à novembre année 3)	30
A4.4.3.6	Phase 6 : Troisième saison sèche (Décembre année 4 à la fin d'année 4)	30
A4.4.4	Cadence de remblai et de mise en place du BCR	31
A4.5	EVACUATEUR DE CRUES	32
A4.5.1	Généralités	32
A4.5.2	Le seuil déversant	33
A4.5.2.1	Parement amont du seuil déversant	33
A4.5.2.2	Corps du massif du seuil déversant	34
A4.5.2.3	Parement aval du seuil déversant	34
A4.5.3	Galeries	35
A4.5.4	Joint transversaux	35
A4.5.5	Formulation du BCR	36
A4.5.6	Dalle de pied aval	36

A4.5.7	Restitution aval	37
A4.6	USINE	38
A4.6.1	Ouvrage de prise usinière	38
A4.6.2	Bâtiment de production de l'usine	38
A4.6.2.1	Disposition générale du bâtiment	38
A4.6.2.2	Niveau accès usine et plage de montage	39
A4.6.2.3	Niveau locaux ventilation et climatisation	41
A4.6.2.4	Etage 467,50 NGG	41
A4.6.2.5	Niveau hall des machines	41
A4.6.2.6	Niveau alternateur	42
A4.6.2.7	Niveau turbine	43
A4.6.2.8	Niveau galerie de drainage et d'exhaure.	43
A4.7	OUVRAGE DE RESTITUTION	44
A4.7.1	Généralités	44
A4.7.2	Description de l'ouvrage de restitution	45
A4.8	AUSCULTATION DU BARRAGE	47
A4.8.1	Généralités	47
A4.8.2	Ailes en enrochement et en remblais	47
A4.8.2.1	Mesures des niveaux piézométriques	47
A4.8.2.2	Nivellement et levé topographique	48
A4.8.2.3	Dispositif de collecte et de mesure des débits	48
A4.8.3	Barrage en BCR	48
A4.8.3.1	Mesures des niveaux piézométriques de fondation	48
A4.8.3.2	Dispositif de mesure des débits	48
A4.8.3.3	Suivi de la température dans le BCR	49
A4.8.3.4	Mesure des déplacements du barrage	49
A4.8.4	Mesure des niveaux d'eau	50
A4.8.5	Surveillance de l'activité sismique	50
A4.8.6	Récapitulatif	50

Liste des figures :

Figure A4. 1 – granulométrie des couches aval du barrage en enrochement	15
Figure A4. 2 - granulométrie des couches amont du barrage en enrochement.....	16
Figure A4. 3 - granulométrie des couches amont et aval du barrage en remblais	17
Figure A4. 4 - Débits mensuels moyens (m^3/s) de périodes de retour 2 à 100 ans - Bafing à Koukoutamba.....	22
Figure A4. 5 - Relation entre le débit moyen mensuel et le débit journalier maximum associé	23
Figure A4. 6 – Apports de Manantali – Avec et sans Koukoutamba.....	44

Liste des Tableaux :

Tableau A4. 1 - Granulométrie des différentes couches	18
Tableau A4. 2 – Débits mensuels moyens (m^3/s) de périodes de retour 2 à 100 ans - Bafing à Koukoutamba.....	21
Tableau A4. 3 - Récapitulatif des quantiles de débit estimés à Koukoutamba	23
Tableau A4. 4 - récapitulatif des appareils d'auscultation du Barrage	51

CHAPITRE A4

DESCRIPTIF DE L'AMENAGEMENT – GENIE CIVIL

A4.1 DISPOSITIONS GENERALES

La conception des ouvrages de fermeture résulte directement des conditions naturelles entourant le Projet. Les dispositions de principe des ouvrages de fermeture sont commandées par la topographie particulière du site, caractérisée par la présence de cascades à l'aval immédiat de l'implantation retenue.

Ces conditions générales ont conduit, à l'issue des études de Révision de Faisabilité, au choix d'un ouvrage mixte béton/remblais composé en partie centrale (correspondant sensiblement à l'emprise du lit de la rivière) d'un barrage-poids en Béton Compacté au Rouleau (BCR), prolongé sur les versants par deux digues en enrochements-remblais.

Les ouvrages sont dimensionnés pour le niveau 545 NGG de Retenue Normale (RN). L'aménagement, illustré sur le plan *KTB-II-2-BR-PR-001* est constitué par :

- le barrage central, de type poids en béton, réalisé en Béton Compacté au Rouleau (BCR). La section courante ainsi que les appuis en rives ont un profil identique ;
- une aile en enrochements à noyau argileux en rive droite ;
- un mur bajoyer, de type poids en BCR, réalisé en rive gauche afin de permettre l'interface BCR-enrochements ;
- une aile en enrochements à noyau argileux prolongée par une aile en remblais zoné en rive gauche ;
- l'évacuateur de crues constitué d'un seuil déversant intégré dans le barrage central en BCR ;
- l'usine hydroélectrique avec les prises d'eau, adjacent à l'évacuateur de crues, côté rive droite, dans l'ouvrage en BCR. L'usine, de type extérieur, est située directement au pied l'aval du barrage en BCR, côté rive droite, à la sortie aval des conduites de prise d'eau.
- un ouvrage de restitution, située entre l'évacuateur de crues et l'usine, permettant de restituer, si nécessaire, les débits du Bafing ;

Les ouvrages sont dimensionnés pour la crue de projet décennale, dont le débit de pointe s'élève à 3 680 m³/s.

Dans le sens longitudinal (de rive à rive) la partie en BCR est divisée en plots successifs de 20 m de longueur environ. Trois galeries d'inspection et de contrôle sont implantées dans le corps du barrage en BCR, aux cotes 470 NGG, 499 NGG et 532,5 NGG, à proximité du parement. En phase d'exécution, elles permettent de réaliser les travaux d'injection et de drainage dans la fondation (pour la galerie de pied), et le drainage interne du corps du barrage.

A4.2 BARRAGE POIDS EN BCR

A4.2.1 Fondation

Le barrage en BCR sera fondé sur le substratum rocheux.

Un travail de préparation de la fondation devra être exécuté avant la mise en œuvre du BCR. En particulier, des excavations généralisées, de 1 à 2 m de profondeur, seront réalisées dans l'emprise du barrage. Ces travaux permettront :

- d'assurer une régularité topographique satisfaisante du fond de fouille pour recevoir le BCR ;
- d'éliminer les zones les plus altérées, et limiter ainsi les traitements de curage des diaclases en fondation.

A4.2.2 Coupe type du barrage en BCR

A4.2.2.1 Généralités

La coupe type du barrage en BCR et les détails constructifs sont présentés sur les plans *KTB-II-2-BR-PR-002* et *KTB-II-2-BR-PR-004*. Sauf mention contraire, les informations de ce paragraphe ne concernent pas l'ouvrage constituant l'évacuateur de crues situé sur la partie centrale du barrage en BCR. Cet ouvrage fait l'objet d'un rapport séparé.

Le niveau de la crête est fixé à la cote 551,50, soit 2,1 m au-dessus du niveau des Plus Hautes Eaux (PHE) correspondant au passage de la crue décennale de projet, dont le débit de pointe s'élève à 3 680 m³/s.

En cas de Crue Maximale Probable (CMP), dont le débit de pointe s'élève à 4 330 m³/s, le niveau du plan d'eau amont atteindrait la cote maximale de 549,88, laissant ainsi une revanche disponible de 1,6 m par rapport à la crête du barrage ; valeur jugée satisfaisante pour ce cas de charge extrême.

Le parement amont du barrage est vertical et le parement aval incliné à 0,8H/1V. Ces dispositions permettent d'assurer la stabilité de l'ouvrage, avec un niveau de sécurité satisfaisant, pour l'ensemble des cas de charge considérés. Les calculs justificatifs correspondants sont présentés dans « *le volume B – Mémoire justificatif* » du rapport APD.

Les couches de BCR mises en œuvre dans le corps du barrage présentent une épaisseur classique de 30 cm.

A4.2.2.2 Parement amont

Le parement amont du barrage est vertical. Un masque en BCR Enrichi au Coulis (GERCC) de 50 cm d'épaisseur est mis en œuvre à l'amont de chaque couche de BCR. Le BCR enrichi aura la même composition que le BCR. On évitera toute forme de précompactage dans une largeur de 5 m depuis le parement amont. Après épandage, le BCR enrichi sera consolidé par pervibration.

Le masque en BCR enrichi pourra être ferrailé, de manière à assurer la répartition de la fissuration induite par les phénomènes thermiques provenant de la prise du béton frais. Une nappe horizontale de ferrailage, constituée par une armature HA 25 par couche de BCR (tous les 30 cm de hauteur), permet de limiter l'ouverture des fissures verticales pouvant se développer entre deux joints successifs distants de 20 m en moyenne.

Le coffrage du parement amont vertical ne pose pas de difficulté particulière. Divers procédés existent et peuvent être adoptés par l'Entreprise en charge des travaux (coffrages classiques, coffrages glissants, éléments préfabriqués, bétons extrudés, etc...).

A4.2.2.3 Corps du barrage

A l'aval du masque amont en BCR enrichi, le BCR sera mis en œuvre par couches de 30 cm. La vibration du BCR enrichi du masque sera réalisée après mise en place et réglage de la couche adjacente de BCR, qui assurera ainsi le rôle d'épaulement. La vibration permettra également d'assurer la liaison intime entre BCR enrichi et BCR. Le compactage de la couche de BCR sera effectué après vibration du masque amont.

Le matériau BCR est dans sa masse toujours suffisamment imperméable. L'étanchéité du barrage est donc liée à l'existence de plans de discontinuités (ou de faiblesse) constituées par la famille des reprises horizontales entre couches et par celle des joints verticaux amont-aval de construction.

Sur le parement amont, dans une zone de 5 m (entre la fondation du barrage jusqu'à la cote 520 NGG), ou de 3 m (entre la cote 520 NGG jusqu'à la crête du barrage), comptée à partir du parement amont du barrage, les surfaces de reprise entre les couches successives de BCR seront systématiquement traitées par mise en œuvre d'une couche de mortier de reprise. Cette disposition permet d'éviter les zones de faiblesse liée à la ségrégation du BCR lors de sa mise en œuvre. Voir plan *KTB-II-2-BR-PR-003*.

En complément, un voile de drainage interne, constitué de forages verticaux espacés tous les 6 m est implanté à environ 5 m de distance du parement amont. Ces forages seront réalisés vers le haut, après achèvement du massif en BCR, à partir des galeries implantées dans le corps du barrage. Il s'agira de relier les différentes galeries entre elles en partant de la galerie de pied.

L'ensemble de ces dispositions conduit à un ouvrage sécuritaire, ne présentant pas de risque de surpression déstabilisatrice interne.

La largeur en crête du barrage est portée à 7 m ; afin de faciliter la circulation des engins et de permettre une mise en œuvre aisée du BCR. Cette disposition permet d'éviter les difficultés de chantier pouvant entraîner un accroissement significatif du coût du BCR en partie supérieure de l'ouvrage.

A4.2.2.4 Parement aval

Le parement aval est incliné à 0,8H/1V.

La mise en œuvre par couche du BCR conduit à réaliser le parement aval en marches d'escalier, dont la hauteur correspond à l'épaisseur de quatre couches, soit 120 cm. Cette hauteur a été choisie pour assurer une cohérence de la géométrie du parement aval du barrage avec le coursier de l'évacuateur des crues (voir paragraphe A4.5).

Une couche de BCR enrichi au coulis (GERCC) est mise en place sur le parement aval du barrage. Le rôle du BCR enrichi au niveau du parement aval est essentiellement d'ordre esthétique, et permet de présenter un aspect homogène, exempt d'irrégularité.

Aucun ferrailage n'est mis en place sur le parement aval, où la présence de fissures éventuelles n'entraîne pas d'incidence significative.

Le coffrage du parement aval ne pose pas de difficulté particulière, et l'Entrepreneur en charge des travaux pourra adopter divers procédés de construction (coffrages classiques, éléments préfabriqués, bétons extrudés, etc...).

A4.2.2.5 Galeries

Trois galeries longitudinales sont implantées à l'amont du barrage en BCR, à 8 m du parement pour la galerie de pied (cote 470 NGG), 5 m pour la galerie intermédiaire (cote 499 NGG) et à 3 m pour la galerie supérieure (cote 532,50 NGG). Les dimensions des deux galeries inférieures (3,3 m de hauteur et 3 m de largeur) sont suffisantes pour permettre l'exécution des forages d'injection et de drainage. La galerie supérieure, plus petite (2,2 m de hauteur et 1,5 m de largeur) a pour fonction principale de collecter les eaux d'infiltration pouvant provenir du seuil de l'évacuateur de crues, et de relier les deux rives. A ce titre cette galerie ne se prolonge pas au-delà de l'évacuateur de crues, comme le montre le plan *KTB-II-2-BR-PR-005*.

Le toit des galeries pourra être réalisé, de manière classique, au moyen d'éléments en béton armés préfabriqués. En radier, une chape de béton sera exécutée en seconde phase pour créer les caniveaux de collecte des eaux de drainage.

La galerie de pied permet d'assurer plusieurs fonctions :

- la réalisation des voiles d'injection et de drainage en phase de travaux ;
- la visite et l'inspection en phase d'exploitation ;

- la collecte des débits de fuite à travers la fondation et le corps du barrage.

Les deux galeries supérieures permettent d'assurer les deux dernières fonctions précédentes, ainsi que la réalisation du drainage dans le corps du barrage. Le réseau drainage dans le corps du barrage sera réalisé par le bas depuis la galerie inférieure. Ces galeries sont rendues nécessaires par la hauteur conséquente de l'ouvrage réalisé, afin de récolter efficacement les éventuels débits de fuites.

L'accès à ces galeries est assuré au moyen d'une galerie transversale débouchant au pied aval du barrage, au niveau de l'usine.

A4.2.2.6 Joints transversaux

Afin de limiter les effets thermiques induits par la prise du béton, des joints transversaux régulièrement espacés sont implantés à travers le massif de BCR. Un espacement de principe de 20 m a été adopté.

Les dispositions constructives sont présentées dans le plan *KTB-II-2-BR-PR-012*.

A l'amont, l'épaisseur du masque en BCR enrichi est portée à 1,10 m (minimum) au droit du joint afin de permettre l'enrobage correct de l'ensemble des éléments.

Le ferrailage du parement amont est arrêté au droit du joint. Un premier waterstop de 350 mm de largeur est mis en place à 30 cm du parement. Un drain Ø150 mm implanté 25 cm à l'aval du waterstop permet de collecter les fuites éventuelles et de les amener jusqu'à la galerie de pied. Un deuxième waterstop situé à 25 cm à l'aval du drain, constitue une sécurité supplémentaire permettant d'éviter l'écoulement des eaux de drainage dans le corps du barrage, en cas de contournement du premier joint waterstop.

Les joints transversaux dans le corps du massif en BCR sont réalisés couche après couche au fur et à mesure de la réalisation du barrage. Pour garantir la discontinuité du BCR le long d'un joint traversant, une insertion d'une plaque métallique ou d'une feuille de plastique, ou tout autre produit inerte est nécessaire. La méthodologie d'exécution devra être précisée par l'Entrepreneur en charge des travaux. Le caractère rectiligne de ces joints devra être soigné afin de créer une forte anisotropie horizontale.

A4.2.2.7 Formulation du BCR

Le BCR est d'abord un béton puisqu'il est constitué d'agrégats, de liant, d'eau et éventuellement d'adjuvants. Il est préparé dans une centrale qui doit être dans le cas du barrage de Koukoutamba, totalement automatique et à haut rendement, compte tenu du volume total à mettre en œuvre dans le délai prévu.

Les constituants et les dosages prévus sont les suivants :

- **Les agrégats** proviendront de la carrière doléritique située à 4km sur le flan rive droite du barrage, avec éventuellement un appoint en fillers. Le diamètre maximum est fixé à 63 mm pour réduire la ségrégation et limiter les contraintes sur les équipements à mobiliser.

Les agrégats seront constitués au minimum de **trois classes granulaires** (en principe sable 0/5, gravette 5/25 et cailloux 25/63) pour une meilleure maîtrise du squelette du BCR en vue d'une homogénéité proche de celle d'un BCR de masse. Le recours aux fillers dépendra de la proportion des fines inférieures à 0.08 mm contenues dans le mélange.

- **Le liant** sera un ciment du type CLK, du fait du caractère non alcali-réactif des agrégats de cette carrière. Le dosage sera variable en fonction de la cote de mise en place. Le BCR devra avoir une résistance à la compression de 10 MPa (Coefficient de sécurité supérieur à 3), ce qui nécessitera un dosage de l'ordre de 100 kg/m³. L'ajout éventuel de fillers sera d'autant plus faible que le dosage en ciment sera élevé de sorte à maintenir un pourcentage total en fines (y compris ciment) voisin de 12% en poids.
- **L'eau et les adjuvants** éventuels seront dosés automatiquement au niveau de la centrale. Il sera en particulier exigé de l'entrepreneur d'équiper la centrale d'une sonde de mesure continue de l'humidité des sables et fillers pour un ajustement automatique du dosage en eau.

L'emploi d'un retardateur de prise ou d'un réducteur d'eau, dans le BCR, ne sera envisagé que dans le cas d'une nécessité d'une mise en œuvre par temps chaud, mais il faudra adopter des dosages nettement supérieurs à ceux pratiqués pour les bétons conventionnels.

De la centrale au barrage, le BCR devra être acheminé par tapis et/ou par camion jusqu'à sa destination finale. Des dispositions appropriées devront être prises pour éviter la ségrégation, ainsi que la pollution de la couche en cours de mise en place. Le BCR sera régalé avec sur la levée avec des boteurs type D4 ou D5, puis compacté au moyen de rouleaux à bille vibrante.

La formulation du BCR sera arrêtée sur la base d'essais d'étude, mais également d'essais de convenance comportant notamment la réalisation de planches d'essai sur un massif expérimental, avec mise en œuvre d'un volume de BCR de l'ordre de 1 000 m³. On étudiera en particulier :

- le mode de régalage et de compactage du BCR,
- le mode de réalisation des parements amont et aval, en intégrant la méthode du BCR enrichi en coulis (GERCC),
- la liaison entre les couches et les divers traitements envisagés,
- la qualité des BCR testés et la liaison BCR - BCR enrichi.

Pour que les résultats correspondants puissent être disponibles à temps (essais sur carottes notamment), le massif expérimental doit être achevé au moins deux mois avant la date prévue pour le démarrage du BCR définitif. Il est envisageable de réaliser un des batardeaux du projet en tant que planche d'essai.

A4.2.2.8 Mortier de liaison

Le mortier de liaison entre couche, à mettre en œuvre dans la bande amont de 3 à 5 m figurant dans les plans, devra être suffisamment fluide pour s'injecter facilement entre les agrégats de la couche en cours de mise en œuvre. Un affaissement supérieur à 20 cm est requis pour ce produit.

Il aura un rapport S/C (sable sur ciment en poids) de 3 et doit être obligatoirement retardé pour conserver ses propriétés en cas de dépassement du délai spécifié pour son recouvrement.

Il est possible de remplacer le mortier par un béton de 16 mm dosé 350 kg/m³ de ciment, fabriqué dans une centrale à béton et acheminé à la pompe ou au tapis. Le choix sera laissé à l'appréciation de l'entrepreneur.

A4.2.2.9 Traitement de la fondation

A4.2.2.9.1 Injection de consolidation

L'ensemble de la fondation rocheuse recevra une injection de consolidation sur une profondeur de 6 m de façon à limiter la perméabilité des zones de fractures et de fissures (voir le plan *KTB-II-2-GI-PI-002*). Ces injections seront réalisées sur la totalité de l'emprise du massif en BCR (voir le plan *KTB-II-2-GI-PI-001*). Les injections primaires et secondaires auront chacune une maille de 4 m.

A4.2.2.9.2 Voile d'étanchéité

Le voile d'étanchéité est représenté sur les plans *KTB-II-2-GI-PI-001 et 002*, il sera composé d'une seule ligne s'étendant sur l'emprise du barrage en BCR, murs de soutènement compris.

Il est composé d'injections réalisées à partir de la galerie de pied amont (cote 470 NGG). Les injections seront réalisées lorsque le massif BCR sera suffisamment avancé. Les injections descendront jusqu'à la cote 400 NGG et l'espacement de principe des forages primaires est de 12 mètres. Un traitement systématiques jusqu'au forage tertiaire est prévu dans toute l'emprise du barrage.

Le voile d'injections sera incliné de 15° par rapport à la verticale dans le sens aval-amont.

A4.2.2.9.3 Drainage de la fondation

Le drainage de la fondation pour un barrage poids est fondamental pour garantir sa stabilité et maîtriser les sous-pressions susceptibles d'apparaître sous ce dernier. Le drainage de la fondation sera réalisé à partir de la galerie de pied amont (cote 470 NGG), une fois les injections du voile d'étanchéité réalisées.

Les drains seront forés inclinés de 15° vers l'aval et seront forés jusqu'à la cote 420 NGG. L'espacement de principe des drains sera de 6 mètres. Le rideau de drainage est représenté sur les plans *KTB-II-2-GI-PI-001 et 002*.

A4.2.3 Mur-poids en BCR (rive gauche)

A l'extrémité rive gauche du barrage en BCR, implanté en fond de vallée, un ouvrage poids fait office de mur de soutènement de l'aile en enrochements qui assure la fermeture de la retenue en rive gauche. Ce mur de soutènement est fondé sur le rocher sain à la cote 465,50 NGG. Voir plan *KTB-II-2-BR-PR-013*

Ce mur de soutènement permet de mettre en butée la digue de transition en enrochements en rive gauche. Son profil amont aval qui suit le profil de la digue de transition au contact a un parement extérieur vertical (coté fond de vallée) et intérieur à 0,5H/1V (coté rive).

Ce mur de soutènement sera réalisé en BCR. Les parements verticaux situés à l'amont et à l'aval seront réalisés en BCR enrichi en coulis (GERCC). De plus, une épaisseur de 50 cm de BCR enrichi au coulis sera réalisée dans chaque couche de BCR pour assurer la continuité de l'étanchéité du parement vertical côté amont avec le parement incliné en contact avec le noyau de la digue en enrochements. Cette épaisseur de BCR enrichi sera située dans la continuité du parement amont du barrage principal en BCR.

La montée de ce mur de soutènement suivra celle du barrage central en BCR.

A partir de la galerie de drainage, des drains seront forés dans le corps de ce mur de soutènement.

Le mur-poids en BCR est représenté sur le plan *KTB-II-2-BR-PR-013*. Le mur a une largeur en crête de 11,7 m (cote 551,50 NGG) et présente à l'amont et à l'aval une pente identique à celle de la zone de transition en enrochements (1,7H/1V)

A4.3 AILES EN REMBLAIS ET EN ENROCHEMENTS

A4.3.1 Généralités

La fermeture de la vallée est assurée par des ailes en remblais latéritiques et en enrochements se raccordant à l'ouvrage central en BCR. Le raccordement en rive gauche se fait par une digue de transition mixte enrochement/remblais s'appuyant sur un mur de soutènement décrit au paragraphe A4.2.3. En rive droite, le raccordement ne nécessite pas de mur de soutènement, et l'aile en enrochements est directement posée contre l'ouvrage central en BCR avec un talus de 0.5H/1V.

Les pentes des rives sont douces et conduisent ainsi à des longueurs importantes d'ouvrages, de l'ordre 359 m en crête en rive droite (uniquement en enrochements) et de 893 m en rive gauche (dont 270 m de transition en enrochements et 623 m de digue en remblais).

En fond de vallée, la hauteur maximale de la digue de transition mixte en enrochements est de 81,5 m côté gauche. Au contact avec la digue de transition, la hauteur maximale de la digue en remblai est de 35.5 m. La longueur de la digue de transition est d'environ 270 m en rive gauche.

La digue en remblais latéritiques fermant la vallée en rive gauche est fondée sur le terrain naturel décapé de 50 cm à 1 m. La couche supérieure de sols sous la digue est constituée de matériau latéritique dont l'épaisseur est variable.

Le volume total des remblais à mettre en place est d'environ 2.9 millions de m³ dont 1.93 millions de m³ d'enrochement, 380 000m³ d'argiles latéritiques, 380 000m³ de tout venant latéritiques, 300 000 m³ de matériaux concassés.

La description des ailes en enrochement et remblais est donnée dans les plans le plan *KTB-II-2-BR-PR-007 à 011*.

A4.3.2 Digue de remblai latéritique

A4.3.2.1 Implantation et profil

L'implantation de la digue en terre est réalisée dans le prolongement de l'axe du barrage en BCR central. D'une longueur en crête de 623 m en rive gauche, l'ouvrage est fondé sur des formations résiduelles meubles latéritiques sur les premiers mètres, décapées sur 50 cm d'épaisseur en amont et de 1 m d'épaisseur en aval. L'épaisseur de la couche de fondation meuble sous l'emprise des digues varie entre 12 et 60 m.

Les faibles caractéristiques géotechniques de l'ensemble de ces matériaux (fondation et matériaux d'emprunt) ont conditionné la stabilité de l'ouvrage.

Les profils adoptés sont les suivants :

- Le talus du parement amont a une pente constante de 3H/1V ;
- Le talus du parement aval a une pente constante de 2.5H/1V.

A4.3.2.2 Zonage et mise en place

La coupe type retenue correspond à un barrage classique en remblais à noyau central en argile et en recharge en tout-venant.

A4.3.2.2.1 Protection amont

La protection du parement amont de la digue contre l'action des vagues et de l'érosion dans la tranche d'exploitation de la retenue est assurée par une couche de rip-rap de 120 cm d'épaisseur. Une couche intermédiaire de 60 cm d'épaisseur de matériau de transition assure la continuité granulométrique entre le rip-rap du parement et les remblais de la recharge. Cette protection s'étend sur toute la hauteur du parement amont.

A4.3.2.2.2 Recharge amont

Les recharges amont seront réalisées en tout venant latéritique de type homogène, présent en grande quantité dans les zones d'emprunts à proximité du site (voir le chapitre A2.4 concernant la géologie géotechnique).

La recharge amont sera remblayée sur le terrain naturel décapé de 50 cm. Le remblai sera mis par couches dont l'épaisseur sera de l'ordre de 30 cm.

A4.3.2.2.3 *Noyau central*

Le noyau central est l'organe d'étanchéité du barrage en remblais. Le noyau sera réalisé à partir d'un matériau argileux, mis en place à une teneur proche de l'Optimum Proctor, de manière à lui conférer une excellente imperméabilité et une bonne plasticité afin de pouvoir s'adapter aux déformations de l'ouvrage susceptibles de se produire à long terme. L'excédent de ce matériau argileux pourra être utilisé dans la recharge amont de la digue. Les pentes amont et aval du noyau central sont de 0,25H/1V. La crête du noyau est calée à la cote 550 NGG, soit 60 cm au-dessus du niveau des PHE et 1,5 m au-dessous du niveau de la crête. Sa largeur en tête est de 4 m afin de garantir une mise en place aisée des matériaux argileux en phase de construction.

Un géotextile est prévu sur l'ensemble de la crête du barrage en remblais, entre la couche de filtre et les couches de rip-rap amont et aval, permettant d'une part d'éviter la migration du matériau filtre et d'autre part de protéger la crête du barrage contre les intempéries.

Un système de clé est mis en place au niveau du fond de fouille du noyau ; une excavation est réalisée à une profondeur supérieure à 3 m avec des talus de pente 1,5H/1V de façon à ce que le noyau repose sur un sol de qualité supérieure.

A4.3.2.2.4 *Filtre et drain*

Une couche de filtre verticale de 2,5 mètres d'épaisseur est mise en place au contact de la face aval du noyau. Ce filtre a pour but de réaliser la transition granulométrique entre le noyau et la couche drainante, de manière à se prémunir contre tout risque d'érosion interne dans le noyau. En crête, la couche de filtre se retourne et surplombe le noyau à partir de la cote 550 NGG.

L'épaisseur de 2,5m adoptée pour le filtre permet de garantir la continuité de l'organe filtrant, même en cas de déplacement irréversibles subit lors du séisme de dimensionnement.

Une couche de drain de 2,5 m d'épaisseur, destinée à collecter les eaux qui percoleraient à travers le noyau, est mise au contact de la face aval de la couche de filtre. Cette couche de drain permet la collecte de l'ensemble des débits de fuite à travers la digue.

En partie basse, la couche drainante est largement élargie de façon à pouvoir récolter de manière gravitaire l'ensemble des débits de fuites de toute la digue en remblais, et à les acheminer de manière gravitaire vers la partie en enrochements.

A4.3.2.2.1 *Recharge aval*

Les recharges aval seront réalisées en tout venant latéritique de type homogène, présent en grande quantité dans les zones d'emprunts à proximité du site voir le chapitre A2.4 concernant la géologie géotechnique).

Le terrain naturel sera décapé sur 1 m d'épaisseur à l'aval. Sur le fond de fouille, une couche de 1 m de filtre et une couche de 1 m de matériau drainant seront placées avant tout remblai, de manière à récolter les eaux pouvant percoler à travers la fondation de l'ouvrage. La recharge aval sera ensuite remblayée sur ce tapis drainant par couches dont l'épaisseur sera de l'ordre de 30 cm.

A4.3.2.2 *Protection du talus aval*

Le parement aval de la digue est protégé contre les intempéries et l'action des eaux de ruissellement par une couche de 60 cm d'épaisseur constituée d'enrochements (protection aval).

Le pied aval de la digue est constitué par une bèche d'une largeur de l'ordre de 6 m. pour une profondeur maximale de 1.5 m, permettant de collecter l'ensemble des débits provenant du ruissellement, du tapis drainant et des puits de décompression.

A4.3.2.3 **Matériaux**

Les différents matériaux composant la digue en remblai latéritique devront s'inscrire dans les fuseaux granulométriques présentées au paragraphe A4.3.5.

A4.3.3 **Digue de transition et digue en enrochements**

A4.3.3.1 **Généralités – Fondation**

La digue de transition en rive gauche a une coupe type variable ; le profil passe d'une coupe-type classique de barrage en enrochement de pente 1,7H/1V à un barrage de pente amont de 3H/1V et de pente aval 2.5H/1V pour réaliser la transition avec le barrage en remblais présenté en paragraphe A4.3.2.

Durant les 170 premiers mètres, directement en rive gauche du mur-poids en BCR, la digue a une coupe-type de pentes amont et aval égales à 1.7H/1V. La zone de transition permettant d'arriver à des pentes plus douces (pente amont de 3H/1V et de pente aval 2.5H/1V) fait 100 mètres de long.

La cote de la crête de la digue de transition en rive gauche est identique à celle de la digue en remblais latéritiques, c'est-à-dire à 551,50 NGG.

La partie de la digue de transition directement posée sur le mur-poids en BCR en rive gauche sera réalisée dans la continuité des excavations du mur-poids et reposera donc directement sur le substratum rocheux à la cote 470 NGG.

Sous la digue de transition en rive gauche, la couverture latéritique, allant jusqu'à plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur, ne pourra pas être excavée en intégralité ; un décapage général de l'emprise de l'ouvrage du barrage en enrochements sera néanmoins nécessaire (excavations généralisées d'environ 1 m de profondeur). Pour des raisons de stabilité, le décapage sous la digue de transition devra varier entre 1 et 7 m pour le terrain en-dessous des recharges en enrochements et entre 5 et 13 m pour les terrains directement sous le noyau. Ces profondeurs de décapage, ainsi que les coupes correspondantes, sont visibles sur le plan *KTB-II-2-BR-PR-008*.

L'aile en enrochements en rive droite a une coupe-type classique de pente constante 1,7H/1V. La cote de la crête est identique à celle des ouvrages en BCR, soit 551,50 NGG. La longueur en crête est de 351 m.

La partie de l'aile en enrochements directement posée sur le barrage en BCR en rive droite sera réalisée dans la continuité des excavations du mur-poids et reposera donc directement sur le substratum rocheux à la cote 465,50 NGG.

Pour des raisons de stabilité, le décapage sous l'aile en enrochements en rive droite variera de 7 m (pour le terrain en-dessous des recharges en enrochements) à 15 m (pour les terrains directement sous le noyau). Ces profondeurs de décapage, ainsi que les coupes correspondantes, sont visibles sur le plan *KTB-II-2-BR-PR-011*. Elles pourront être précisées en phase d'exécution grâce à des études géologiques complémentaires.

A4.3.3.2 Zonage et mise en place

A4.3.3.2.1 Rip-rap

La protection du parement amont des digues contre l'action des vagues et de l'érosion est assurée par une couche de rip-rap de 120 cm d'épaisseur. Cette protection s'étend sur toute la hauteur du parement amont. Ce rip-rap amont est constitué du même matériau que le rip-rap amont de la digue en remblais.

A4.3.3.2.2 Recharge amont

La recharge amont de la zone de transition est réalisée en enrochements par couches successives de 60 cm. La pente globale varie de 1,7H/1V à 3H/1V dans la partie de transition de la digue en rive gauche, et est constante à 1,7H/1V sur la partie accolée au mur-poids en BCR en rive gauche ainsi que sur toute la rive droite.

Un arrosage important de l'ordre de 100 l/m³ doit être réalisé, lors de la mise en place et du compactage des enrochements.

A4.3.3.2.3 Filtre amont

Un filtre amont de 3 m d'épaisseur assure la transition granulométrique entre les enrochements et le noyau.

A4.3.3.2.4 *Noyau central*

Le noyau est similaire à celui de la digue en remblais. Le noyau central est l'organe d'étanchéité du barrage. Il sera réalisé à partir d'un matériau argileux, mis en place à une teneur en eau proche de l'Optimum Proctor, de manière à lui conférer une excellente imperméabilité et une bonne plasticité afin de pouvoir s'adapter aux déformations de l'ouvrage susceptibles de se produire à long terme. Les pentes amont et aval du noyau central sont de 0,25H/1V. La crête du noyau est calée à la cote 550 NGG, soit 60 cm au-dessus du niveau des PHE et 1,5 m au-dessous du niveau de la crête. Sa largeur en tête est de 4 m afin de garantir une mise en place aisée des matériaux argileux en phase de construction.

Un géotextile est prévu sur l'ensemble de la crête du barrage en enrochements, entre la couche de filtre et les couches de rip-rap amont et aval, permettant d'une part d'éviter la migration du matériau filtre et d'autre part de protéger la crête du barrage contre les intempéries.

Un système de clé est mis en place au niveau du fond de fouille du noyau ; une excavation est réalisée à une profondeur de 5 à 6 m en-dessous de la profondeur d'excavations nécessaire pour les enrochements, avec des talus de pente 1,5H/1V, de façon à ce que le noyau repose sur un sol de qualité légèrement supérieure.

A4.3.3.2.5 *Filtre aval*

Un filtre aval de 2,5 m d'épaisseur assure la transition granulométrique entre le noyau et le drain aval. En crête du barrage, cette couche se retourne au-dessus du noyau à partir de la cote 550 NGG. Ce filtre aval est le même que celui de la digue en remblais.

A4.3.3.2.6 *Drain*

Le matériau drainant est similaire à celui de la digue en remblai. Un drain vertical, adossé contre la face aval du filtre aval du noyau, de 2,5 mètres d'épaisseur, est destiné à collecter les eaux qui percoleraient à travers le noyau, notamment en cas de fissuration de celui-ci. Ce drain a été largement dimensionné pour permettre la collecte de l'ensemble des débits de fuite à travers la digue. Ce drain est constitué du même matériau que le drain de la digue en remblais.

A4.3.3.2.7 *Recharge aval en enrochement*

La recharge aval de transition est réalisée en enrochement, mis en place par couches successives de 60 cm. La pente globale varie de 1,7H/1V à 2,5H/1V dans la partie de transition en rive gauche, et est constante à 1,7H/1V sur la partie accolée au mur-poids en BCR en rive gauche, ainsi que sur l'ensemble de l'aile en enrochements en rive droite.

Sur le fond de fouille, une couche de 0,50 m de filtre et une couche de 0,50 m de matériau drainant seront placées avant tout enrochement, de manière à récolter les eaux pouvant percoler à travers la fondation de l'ouvrage. La recharge aval sera ensuite déposée sur ce tapis drainant.

A4.3.3.2.8 Protection aval

Le parement aval des zones en enrochements est protégé contre les intempéries et l'action des eaux de ruissellement par une couche de 60 cm d'épaisseur constituée d'enrochements (rip-rap aval) pendant les premiers mètres (environ jusqu'à la cote 545 NGG). Cette protection aval est constituée du même matériau que la protection aval de la digue en remblais.

A4.3.4 Crête de la digue

La crête de la digue est calée à la cote 551.50 NGG, assurant ainsi une revanche minimale de 2.1 m au-dessus du niveau des P.H.E. Cette valeur ne prend pas en compte la contre-flèche donnée à la digue en partie supérieure pour compenser les tassements de l'ouvrage postérieurs à sa construction. Cette contre-flèche, estimée à 30 cm au maximum (confère « *Volume B – Chapitre B3 – Chapitre B3 - Note de Calcul de stabilité ailes en enrochement – remblais* ») correspond à l'altitude maximale de la digue à atteindre en fin de construction.

Le détail des calculs des tassements de la fondation des remblais après la mise en service de l'aménagement est présenté dans la *Note de Calcul de stabilité ailes en enrochement – remblais*. De façon pratique, la surélévation de la crête sera obtenue en raidissant les parements amont et aval de la digue au-dessus de la cote 550 NGG.

La largeur totale de la crête est de 10 m.

A4.3.5 Matériaux et granulométrie

Les granulométries des différentes couches proposées pour les ailes en remblais du barrage de Koukoutamba sont représentées dans le tableau et les figures ci-après

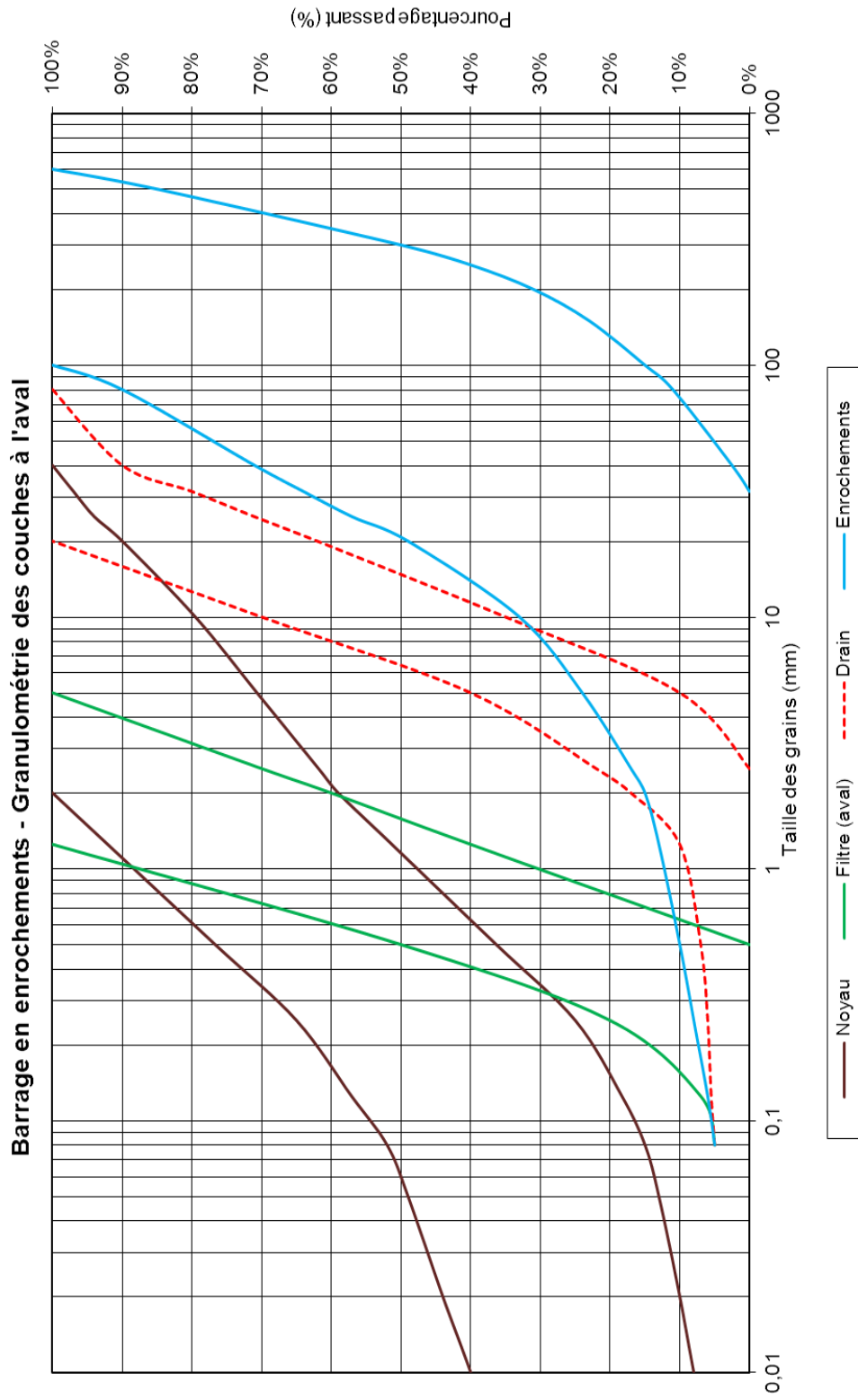


Figure A4. 1 – granulométrie des couches aval du barrage en enrochement

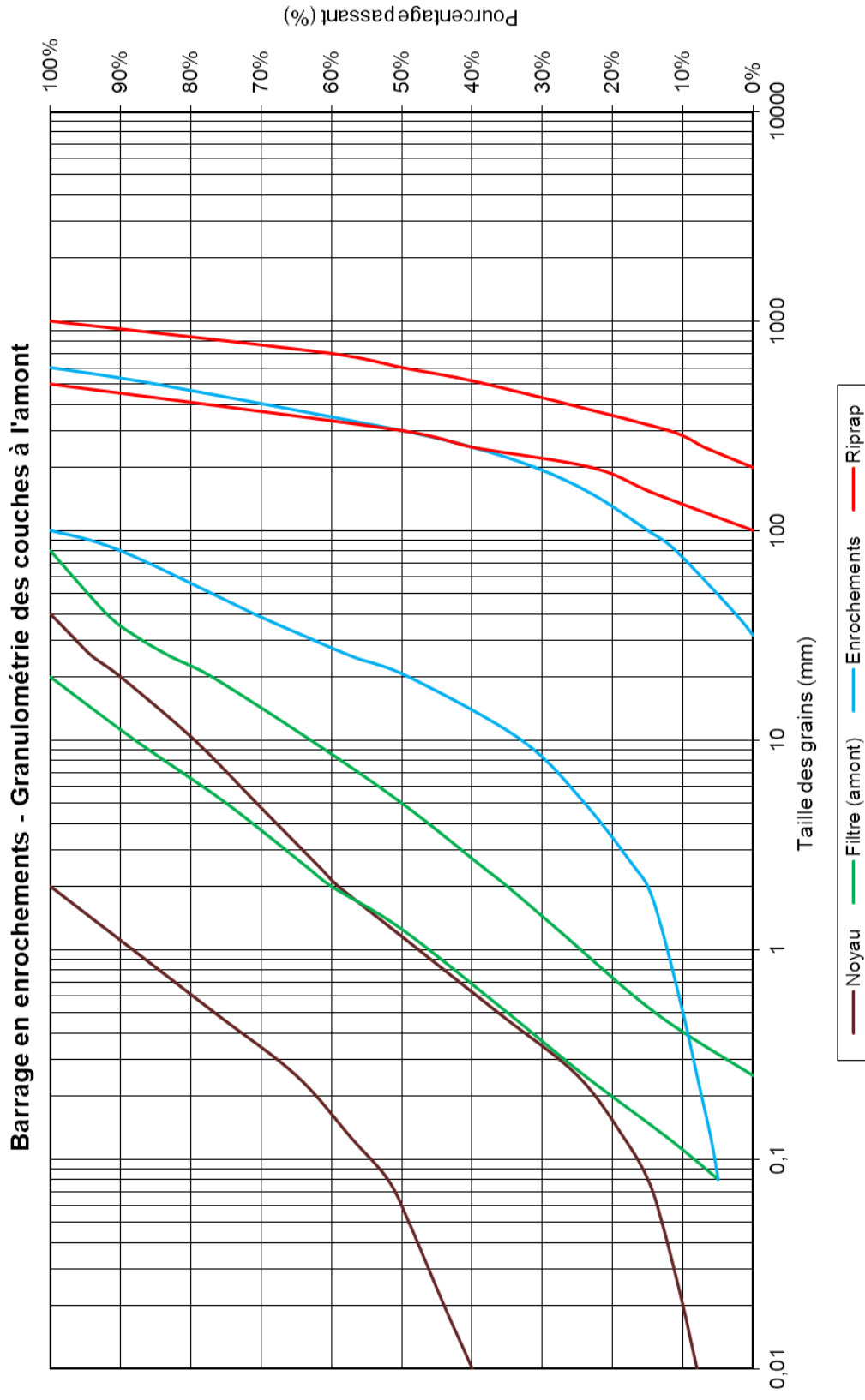


Figure A4. 2 - granulométrie des couches amont du barrage en enrochement

Barrage en remblais - Granulométrie des couches

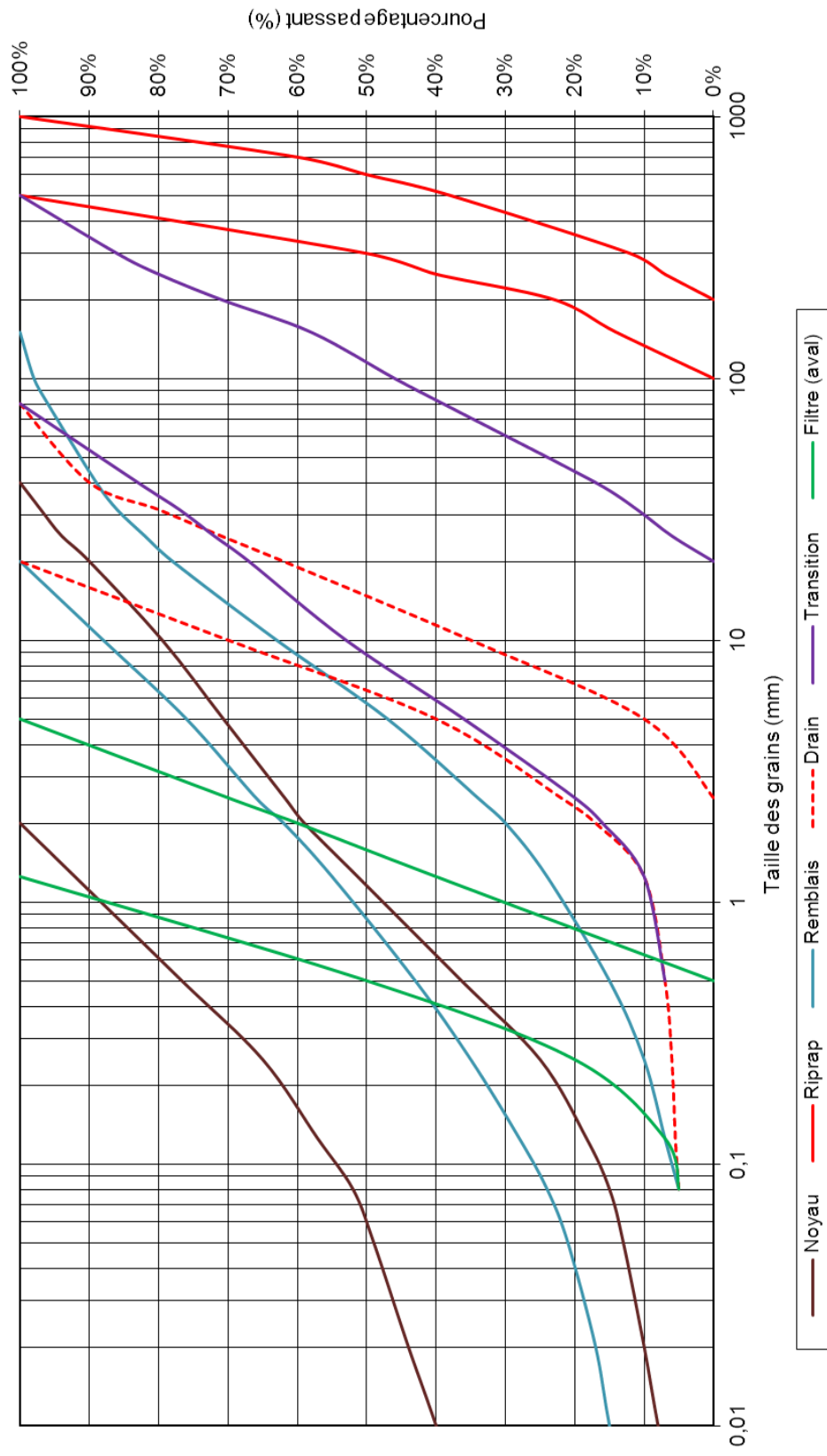


Figure A4. 3 - granulométrie des couches amont et aval du barrage en remblais

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A4 – Descriptif de l'Aménagement – Génie Civil

Tableau A4. 1 - Granulométrie des différentes couches

Diamètre (mm)	Rip-rap (inférieur)	Enrochements	Filtre (amont)	Noyau	Filtre (aval)	Drain	Remblais	Transition
0.002				3%			10%	
0.01				8%			15%	
0.02				10%			17%	
0.05				13%			21%	
0.08		5%	5%	15%	5%	5%	24%	
0.125		6%	12%	18%	7%	6%	28%	
0.25		8%	0%	25%	20%	6%	35%	
0.5		10%	14%	36%	0%	7%	43%	7%
1.25		13%	28%	51%	40%	10%	55%	10%
2		15%	35%	59%	60%	17%	62%	16%
2.5		17%	39%	62%	70%	0%	66%	20%
5		24%	50%	71%	100%	10%	76%	36%
10		33%	63%	80%		35%	88%	53%
20		49%	77%	90%		62%	100%	0%
25		57%	83%	94%		71%	82%	6%
31.5		0%	88%	97%		80%	86%	11%
40		3%	92%	100%		90%	89%	17%
80		11%	100%			100%	96%	39%
100	0%	15%					98%	46%
150	14%	23%					100%	58%
200	23%	31%						71%
250	40%	40%						80%
300	50%	50%						86%
500	100%	85%						100%
600	50%	100%						
700	60%							
1000	100%							

A4.3.6 Etanchéité et drainage

A4.3.6.1 Système d'étanchéité

A4.3.6.1.1 Description du système d'étanchéité

L'étanchéité des parties en enrochement – remblais est assurée par le noyau prolongé à travers la couverture latéritique jusqu'au substratum rocheux par un écran d'étanchéité.

Pour les parties de l'aile rive gauche du barrage qui sont posées sur le terrain meuble ou du rocher altéré, la solution d'un écran réalisé par jet grouting a été retenue car elle présente une plus grande souplesse d'exécution ainsi qu'une meilleure garantie de contact avec le substratum rocheux ; que la solution par parois moulée.

Cet écran en jet grouting est encadré par deux voiles d'injection exécutés l'un à l'amont et l'autre à l'aval. Ces voiles seront forés en destructif jusqu'au substratum rocheux, puis injecté sur 20 m de profondeur au-delà du substratum rocheux. Leur but est de garantir la continuité de l'étanchéité au-delà du substratum rocheux.

Pour la partie de l'aile rive gauche qui est posée sur le substratum rocheux, l'écran d'étanchéité est un voile d'injection exécuté sur 20m de profondeur.

Les écrans d'étanchéité seront réalisés à l'air libre à partir du fond des fouilles des fondations. Les forages seront verticaux.

Pour les voiles d'injection, l'espacement de principe des forages primaires est de 12 mètres. Un traitement systématiques jusqu'au forage tertiaire est prévu dans toute l'emprise du barrage.

A4.3.6.1.2 Puits filtrant de décompression

Une ligne de puits filtrant de décompression est mise en place au pied aval des digues pour intercepter les cheminements de percolation potentiels à travers d'éventuels horizons plus perméables (notamment au contact du substratum altéré). Ce dispositif complète et renforce le tapis filtrant mis en place sous la recharge aval et garantit l'absence de sous-pression à l'aval de la digue.

Les puits sont constitués d'un tube PVC crépiné, entouré de matériau filtrant installé dans des forages de diamètre 300 mm. Ils sont espacés de 12 m. Ils traversent entièrement les horizontales latéritiques pour atteindre le substratum rocheux.

A4.3.6.1.3 *Jet-grouting*

Le procédé jet-grouting consiste à déstructurer un sol en profondeur à l'aide d'un jet haute pression (classiquement de 20 à 40 MPa) dans un forage et à mélanger le sol érodé avec un coulis auto durcissant pour former des panneaux dans le terrain. Dans un sol latéritique, le jet découpe des morceaux plus ou moins gros d'argile. La haute pression est nécessaire pour obtenir l'énergie cinétique nécessaire du jet au travers d'une buse de petit diamètre. Lors de la réalisation du jet grouting, les excédents de matériau (mélange sol, eau et ciment) sont récupérés en surface.

Le jet-grouting est réalisé après excavations de la zone du noyau et avant la disposition des premières recharges. Il sera réalisé sur toute la hauteur de la couche latéritique jusqu'au rocher sain, sur l'ensemble des ailes en enrochements et en remblais, de manière à étendre l'étanchéité du barrage en profondeur sur les rives.

L'espacement longitudinal maximal des forages nécessaire à l'obtention d'une paroi étanche sera déterminé par l'entrepreneur en fonction des caractéristiques exactes des sols latéritiques.

A4.3.6.2 **Système de drainage**

Le système de drainage interne des digues, dont le rôle est primordial pour la sécurité du barrage, a pour fonction d'éviter l'apparition de toute sous-pression dans la recharge aval (remblais ou enrochements). Il est constitué des éléments suivants :

- Un filtre aval de 3 m d'épaisseur, adossé à la face aval du noyau, pour se prémunir contre tout risque d'érosion interne à travers le noyau ;
- Un drain vertical, de 2,5 mètres d'épaisseur, adossé à la face aval du filtre, et destiné à collecter les eaux qui percoleraient à travers le noyau, notamment en cas de fissuration de celui-ci ;
- Une bicouche « filtre + drain » de 1 m d'épaisseur sur toute l'emprise des recharges aval, et destiné à récolter d'éventuelles percolations à travers la fondation ;
- Sur chaque rive, un cordon drainant longitudinal implanté au pied aval du noyau sur le tapis filtrant, du mur de soutènement à la rive, de section variable avec la hauteur de la digue. Ce cordon drainant a pour but de recueillir les eaux en provenance du drain et du tapis drainant. Les débits ainsi collectés sont acheminés jusqu'au pied l'aval du barrage par l'intermédiaire de cordons drainant ;
- Une bèche tout le long du pied aval, d'une largeur de l'ordre de 6 m pour une profondeur maximale de 1.5 m, permettant de collecter l'ensemble des débits provenant du ruissellement, du tapis drainant et des puits de décompression.

A4.4 DERIVATION PROVISOIRE – PHASAGE DES TRAVAUX

A4.4.1 Généralités

A4.4.1.1 Hydrologie et saisonnalité

Le régime du fleuve Bafing est marqué par une très forte saisonnalité avec une saison sèche (Décembre à Juin) et une saison humide (Juillet à Novembre) très différentes en termes d'écoulements.

Les crues de chantier étant trop importantes pour pouvoir envisager un ouvrage de contrôle des eaux autant unique et qu'économique, et ce pendant toute la période de chantier, le choix de concevoir un schéma de dérivation qui prenne en considération la saisonnalité, en distinguant saison sèche et saison humide a été fait. Le Tableau ainsi que Figure ci-après donne une synthèse les résultats finaux des quantiles des débits mensuels moyens du Bafing à Koukoutamba.

Tableau A4. 2 – Débits mensuels moyens (m³/s) de périodes de retour 2 à 100 ans - Bafing à Koukoutamba

T (ans)	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	Sept	Oct	Nov	Déc
2	24	16	11	8	8	32	180	501	576	335	118	47
5	44	25	16	12	14	64	255	633	708	477	197	80
10	58	32	20	14	18	85	304	720	795	571	250	102
20	71	39	23	16	22	105	351	803	879	661	301	123
50	88	49	27	19	27	132	412	911	988	778	366	150
100	100	56	30	21	31	152	458	992	1069	866	415	171

Avant-Projet Détaillé
 Chapitre A4 – Descriptif de l'Aménagement – Génie Civil

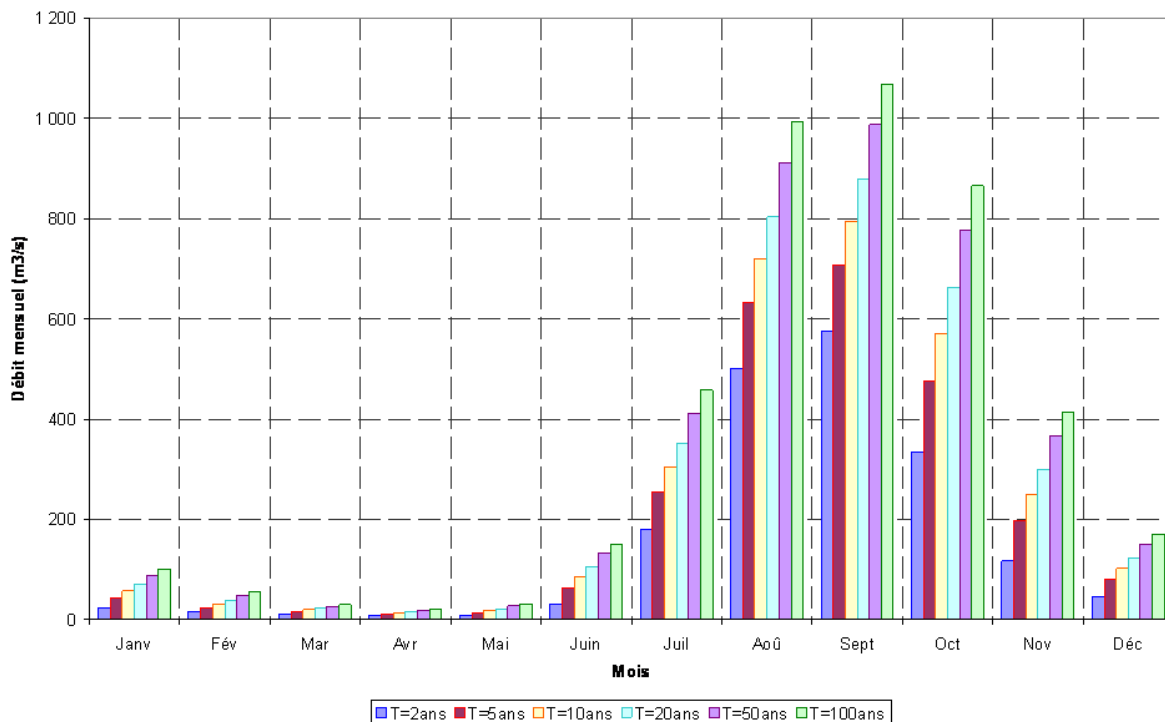


Figure A4. 4 - Débits mensuels moyens (m³/s) de périodes de retour 2 à 100 ans - Bafing à Koukoutamba

La figure ci-dessous établit une relation entre le débit moyen mensuel et le débit journalier maximum observé pour le mois considéré. Ainsi, $Q_{jmax} = 1,489 Q_{mens}$.

Avant-Projet Détaillé
 Chapitre A4 – Descriptif de l'Aménagement – Génie Civil

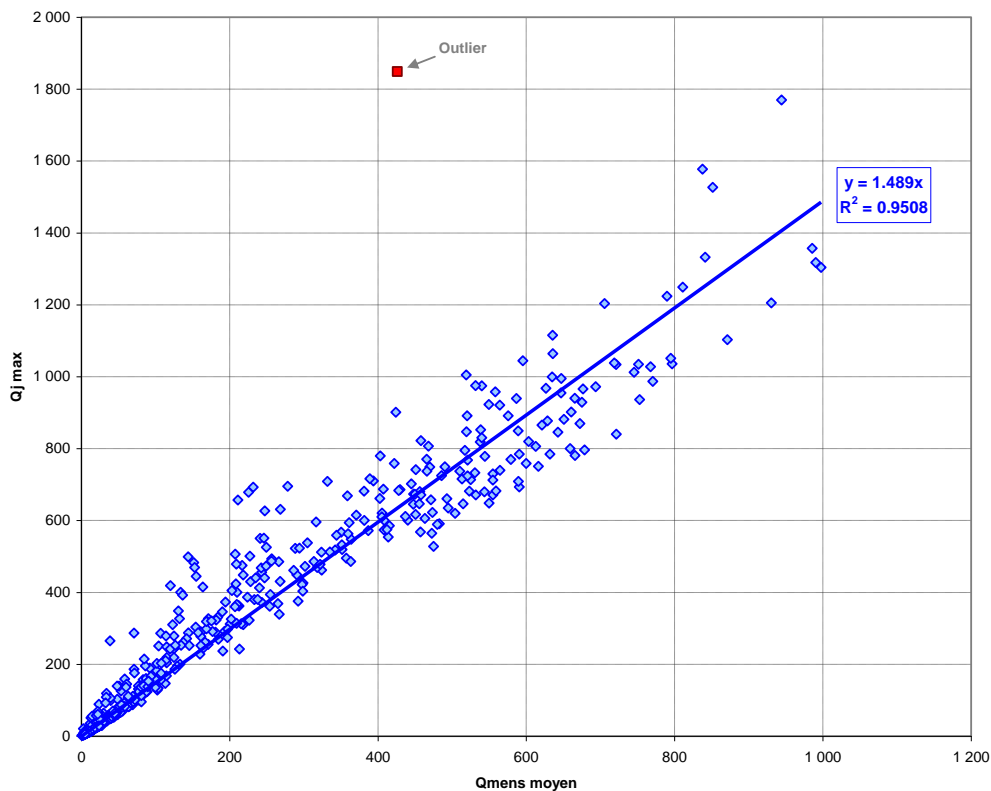


Figure A4. 5 - Relation entre le débit moyen mensuel et le débit journalier maximum associé

Les valeurs de débits calculés par l'approche mensuelle seront uniquement utilisées en saison sèche (Décembre à Juillet) pour le dimensionnement de la Phase 2 de la dérivation provisoire. Les débits utilisés en saison humide résultent des études de crues présentées dans le rapport d'hydrologie. Ils sont rappelés dans le tableau ci-dessous.

Tableau A4. 3 - Récapitulatif des quantiles de débit estimés à Koukoutamba

Période de retour (ans)	Débit journalier maximum (m ³ /s)
2	1026
10	1530
20	1727
50	1997
100	2205

A4.4.1.2 Principe de phasage

Les dispositions permettant d'assurer le contrôle des eaux pendant les travaux sont capitales car elles conditionnent en grande partie l'organisation d'ensemble du chantier de l'Aménagement. Elles conditionnent en outre les cas de force majeure, qui limitent le domaine de responsabilité de l'Entrepreneur dans le cadre du marché de travaux.

Les conditions naturelles, en particulier hydrologiques et topographiques, du site de Koukoutamba ont conduit à retenir un schéma de dérivation par basculements successifs du fleuve en fonction de l'avancement des divers ouvrages et de la saisonnalité.

L'ensemble des travaux, hors travaux préparatoires relatifs aux accès et aux cités, s'étend sur une durée totale de 41 mois, de Février de l'année 1 à Juin de l'année 4. La solution retenue étant un barrage mixte avec un ouvrage poids central en BCR et digues en remblai/enrochements en rives, l'ouvrage est sensible à une submersion éventuelle en cours de réalisation due au passage d'une crue.

Par conséquent, la protection du chantier aux crues devra être élevée pour minimiser ce risque. L'étude du régime hydrologique du fleuve a conduit à fixer la période de retour de la crue de chantier à 50 ans pour la période humide.

La réalisation du barrage comporte 6 phases, résumées ci-dessous (les années débutent au début de la saison humide) :

- Phase 1 : Février année 1 - Novembre année 1 ; fleuve dans son lit naturel ; réalisation des pertuis de dérivation provisoire,
- Phase 2 : Décembre année 1 – Juin/Juillet année 2 ; écoulement du fleuve par les pertuis de dérivation provisoire ; montée du BCR et des enrochements, réalisation du mur extérieur de l'usine et d'une brèche dans le BCR,
- Phase 3 : Juillet année 2 – Novembre année 2 ; déviation du fleuve par la brèche dans le BCR, avancement des travaux de l'usine et des parties non inondées,
- Phase 4 : Décembre année 2 – Juin/Juillet année 3 ; écoulement du fleuve par les pertuis de dérivation provisoire ; avancement des travaux sur l'ensemble du site,
- Phase 5 : Juillet année 3 – Novembre année 3 ; idem phase 3,
- Phase 6 : Décembre année 3 – Juillet année 4 ; écoulement du fleuve par les pertuis de dérivation provisoire ; réalisation des bouchons des pertuis provisoires. Fin des travaux.

Le planning détaillé des travaux est présenté dans le « *volume D – coûts et échéancier des travaux* » du rapport d'APD. La première année des travaux (Année 0 du planning) sera consacrée à la réalisation des routes d'accès, des cités et des installations de chantier.

Ces dispositions générales sont présentées sur les plans *KTB-II-2-DP-AM001 à 003*.

L'ensemble des dispositions hydrauliques devront être testées et validées par des études spécifiques, afin d'apprécier le fonctionnement général des ouvrages de contrôle des eaux en phase provisoire.

A4.4.1.3 Crues de chantier

En saison humide, les différents ouvrages doivent être protégés contre la crue de période de retour 50 ans. La crue de chantier de période de retour 50 ans telle qu'estimée dans le chapitre hydrologique et rappelée précédemment correspond à un débit de pointe de 1997 m³/s en saison humide.

En saison sèche, la dérivation des eaux du Bafing a été conçue en considérant une crue de période de retour 50 ans pour les mois courants et 10 ans pour le mois de transition (juillet). Le débit de pointe à évacuer durant cette phase est donc de 453 m³/s, auquel est ajoutée une marge de 15% découlant des incertitudes de la relation entre le débit moyen mensuel et le débit journalier maximum associé. Le débit de pointe adopté pour la saison sèche est donc de 520 m³/s.

A4.4.2 Travaux de dérivation

Les travaux prévus pour la dérivation du fleuve comprennent :

- Des batardeaux amont et aval à exécuter
- Des murs de soutènement à réaliser pour isoler les fouilles de l'usine
- Des pertuis de dérivation provisoire.

A4.4.2.1 Batardeaux

Ceux-ci sont prévus selon la phase des travaux pour isoler des parties de chantier et exécuter ainsi les ouvrages définitifs. Deux types de batardeaux sont prévus selon leur fruits amont et aval. Ces batardeaux sont essentiellement en matériaux latéritiques tout venant de 5m d'épaisseur en crête, protégés en amont par des enrochements de 3m d'épaisseur.

A4.4.2.2 Pertuis de dérivation

L'ouvrage de dérivation est situé en rive gauche du barrage. Il est constitué d'un canal large amont se prolongeant en un canal aval et passant par un tunnel équipé de 3 pertuis rectangulaires de dimensions identiques 3m (L) x 5m (H). Le fonctionnement de ces pertuis est prévu à la fois à surface libre et en charge pour pouvoir évacuer les débits entrants à hauteur de 520 m³/s. En saison des pluies pendant les phases de construction des ouvrages, ces pertuis ne seront pas fermés et supporteront la mise en charge.

Ces pertuis de dérivation seront obturés en fin des travaux avec deux bouchons prévus sur environ 22 m en tête amont et 11 m en tête aval de chaque pertuis. Des rainures sont prévues à l'extrémité amont des pertuis, ceci afin de permettre leur batardage en vue des travaux de fermeture en fin du chantier.

Les plans et coupes des pertuis de dérivations sont décrits sur les plans *KTB-II-2-DP-PR 001 à-003*.

Le dimensionnement des pertuis de dérivation est donné dans le « *volume B – chapitre B5 – Calcul hydrauliques des ouvrages fonctionnels* » du rapport.

A4.4.3 Phasage et contrôle des travaux

Ce phasage ne prend pas en compte l'ensemble des travaux préparatoires, consistant principalement en la réalisation d'une route d'accès au site du barrage, de la cité du Maître d'Ouvrage et des installations de chantier. Ces travaux préparatoires pourront se dérouler durant l'année 0. Le phasage suivant débute en année 1, les années étant comptées depuis le début de la saison humide (juillet).

A4.4.3.1 Phase 1 : Première saison humide (Février année 1 à Novembre année 1)

Durant cette phase, les débits du Bafing s'écoulent dans son lit naturel. La phase 1 débute en février de l'année 1 ou plus tôt si l'avancement des installations de Chantier de l'Entrepreneur le permet.

La phase 1 des travaux de dérivation débute pendant la période sèche et se poursuit pendant la saison humide jusqu'à fin Novembre de l'année 1, soit une durée totale de 10 mois.

Cette phase des travaux correspond à la réalisation des pertuis provisoires en rive gauche qui devront être opérationnels mi-novembre de l'année 1. La zone des travaux en rive gauche devra être protégée par un batardeau monté à la cote 472 NGG à l'amont et 470 NGG à l'aval.

Le batardeau est réalisé en remblai latéritiques penté à 2H/1V. La face amont est protégée et stabilisée à l'aide d'une couche d'enrochements de 3 m d'épaisseur. La largeur en crête totale est de 8 m.

La phase 1 consiste donc en la réalisation en rive gauche des travaux suivants successifs :

- batardeau unique en rive gauche, de la cote 472 NGG à l'amont de l'axe du barrage à la cote 470 NGG à l'aval. Le batardeau doit être suffisamment étendu pour permettre la réalisation des pertuis de dérivation provisoire et du mur de soutènement rive gauche en BCR.
- Fouilles des ouvrages jusqu'à la cote 465,5 NNN, protégées des arrivées d'eau par le batardeau,

- BCV des 3 pertuis de dérivation 4 m (L) x 5 m (H),
- BCV du mur d'entonnement amont dont le niveau fini est 476 NGG. L'extrémité de ce mur aura une coupe type en L, qui lui permet d'être suffisamment stable, pour servir d'ouvrage de soutènement du batardeau amont en phase 2,
- BCV du mur de restitution aval dont le niveau fini est 473,5 NGG. L'extrémité de ce mur aura lui aussi une coupe type en L, en vue de sa stabilité pour servir d'ouvrage de soutènement du batardeau aval en phase 2,
- BCR du mur de soutènement Rive Gauche jusqu'à la côte 480 NGG.

Les planches d'essais pour la mise en place du BCR devront être réalisées.

Dans la mesure où les travaux du BCR ne seraient pas suffisamment avancés, il conviendrait de réaliser à gauche des pertuis de dérivation, un mur de soutènement en BCV jusqu'à la cote minimale de 476 NGG.

En fin de phase 1, les chenaux d'amenée et de restitution des pertuis de dérivation provisoire seront excavés.

Au terme de la phase 1, la rivière est dérivée au début de la saison sèche (fin Novembre année 2) à travers les pertuis de dérivation à l'aide d'un nouveau batardeau amont, fermant le lit naturel du Bafing entre la rive droite et le mur d'entonnement amont côté gauche. Le batardeau aval est disposé de manière similaire.

Les crêtes des batardeaux amont et aval devront atteindre respectivement les cotes 476 NGG (amont) et 467 NGG (aval) pour protéger la zone des travaux contre les crues de période de retour 50 ans en saison sèche.

Les batardeaux sont réalisés en remblai latéritiques de pentes 2H/1V (batardeau amont) et 1,7H/1V (batardeau aval). La face amont est protégée et stabilisée à l'aide d'une couche de 3 m. d'enrochements. La largeur en crête totale est de 8 m.

Le batardeau aval va de la cote 467 NGG à l'aval du chenal de restitution de l'usine, et remonte progressivement selon la pente des rapides pour atteindre 473,5 à sa jonction avec le mur aval de restitution de la dérivation provisoire.

A4.4.3.2 Phase 2 : Première saison sèche (Décembre année 1 à Juillet année 2)

La phase 2 correspond à la saison sèche de décembre de l'année 1 à juin/juillet de l'année 2 et débute lorsque la rivière est dérivée en rive droite à travers les 3 pertuis constituant la dérivation provisoire.

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A4 – Descriptif de l'Aménagement – Génie Civil

Il s'agit de la phase critique du projet puisque le barrage devra atteindre une cote suffisante pour pouvoir évacuer sans dommage pour les travaux en cours la crue de chantier pendant la phase suivante (Phase 3) correspondant à la saison des pluies.

Durant la phase 2, la zone des travaux est protégée par les deux batardeaux amont et aval, ainsi que les deux murs provisoires en BCR, d'entonnement et de restitution des pertuis de dérivation provisoire. Cette disposition permet de mettre à sec l'emprise des fouilles du barrage en BCR ainsi que les parties basses des digues de transition et de remblai.

A l'abri des batardeaux provisoires, l'Entrepreneur réalisera les excavations et les travaux préparatoires de la fondation du massif en BCR au cours des mois suivant le basculement de la rivière. Les planches d'essais pour la mise en place du BCR devront être réalisées suffisamment à l'avance.

La mise en place, à cadence industrielle, du Béton Compacté au Rouleau pourra débuter vers le mois de Janvier de l'année 2. Au fur et à mesure de l'avancement du massif en BCR, les enrochements des digues latérales devront être mis en place de manière à présenter une surface de travail sensiblement horizontale sur l'ensemble des ouvrages.

Durant cette phase 2, les travaux suivants devront être réalisés :

- Planches d'essais BCR,
- Excavation des fondations du massif en BCR,
- Préparation de la fondation du massif en BCR,
- Mise en place du BCR jusqu'à la cote de 476 NGG au droit de la partie déversante et au-dessus de la cote 481 NGG ailleurs,
- Excavation et mise en place des premiers bétons de l'usine de pied,
- Murs extérieurs de l'usine de façon à la protéger des crues en phase 3,
- Enrochements des digues en rive droite et gauche jusqu'à la cote 481.

A la fin de la saison sèche de l'année 2, le massif en BCR devra avoir atteint la cote minimale de 476 NN sur une longueur de 120 m au droit de l'axe du futur évacuateur de crues, et 481 NGG ailleurs ; de façon à pouvoir contrôler les crues de la phase 3, correspondant à une crue de période de retour 50 ans en saison des pluies.

Ces deux niveaux correspondent aux élévations minimales calculées de façon à garantir les critères suivants :

- Fonctionnement dénoyé de la brèche déversante de 120 m pour la crue de période de retour 50 ans en saison humide,

- Déversement contenu dans la brèche sans risque de surverse pour les ailes en BCR et en enrochements,

En fin de phase 2, le batardeau aval sera retiré et un second batardeau sera construit au droit du chenal de restitution de l'usine sera réalisé. Ce batardeau reliera la rive droite et le mur de protection de l'usine, et sera constitué d'un remblai latéritiques penté à 1.7H/1V jusqu'à la cote 470 NGG. Le parement amont de ce remblai sera protégé et stabilisé à l'aide d'une couche d'enrochements de 3 m d'épaisseur. La largeur en crête totale sera de 8 m.

A4.4.3.3 Phase 3 : Seconde saison humide (Juillet année 2 à Novembre année 2)

Lors de cette phase, les travaux de remblai des digues et de mise en place du BCR sont interrompus du fait des intempéries. Les travaux se concentreront donc sur l'usine de pied qui elle est protégée des crues par ses murs périphériques et par le batardeau aval à la cote 470 NGG construit en fin de phase 2.

Les travaux à réaliser au cours de cette phase concernent principalement l'usine et comprendront :

- Bétons conventionnels de l'usine,
- Mise en place des équipements hydro et électromécaniques.

Pendant la phase 3 qui correspond à la seconde saison humide, le batardeau amont de phase 2 sera submergé ; la débitance des pertuis étant insuffisante pour contenir les apports des mois de Juillet à Novembre. Les crues seront principalement évacuées à l'aval par déversement sur le seuil provisoire de 120 m de long aménagé dans le BCR au droit de l'axe de l'évacuateur de crues.

Au terme de la phase 3, la rivière pourra être à nouveau dérivée à travers les pertuis de dérivation en rive gauche la cote du barrage BCR étant suffisamment élevée (476 NGG), pour contenir le niveau amont en saison sèche. Un nouveau batardeau aval sera construit jusqu'à la cote 467 NGG. Ce batardeau permettra d'isoler la zone des travaux de l'évacuateur des crues. Ce batardeau s'appuiera, côté droit sur le mur extérieur de protection de l'usine, et côté gauche sur le mur de restitution des pertuis de dérivation provisoire.

A4.4.3.4 Phase 4 : Seconde saison sèche (Décembre année 2 à juillet année 3)

Dès la fin de la saison humide (fin novembre de l'année 2), les travaux de mise en place des remblais et du BCR pourront reprendre.

Les travaux suivants de bétonnage et de montage sont réalisés au cours de cette phase :

- Suite du BCV de l'usine,
- Suite du BCR sur l'ensemble de l'ouvrage,

- Suite des ailes en enrochements à noyau central et de l'aile en remblais en rive gauche,
- BCV des prises usinières qui devront être blindées et équipées de leurs matériels hydromécaniques,
- Suite de l'installation des équipements de l'usine

En fin de la phase 4, un seul déversant provisoire devra être de nouveau aménagé dans la partie centrale de l'évacuateur des crues. La longueur de ce seuil est de 120 m pour une cote à 502 NGG, avec les niveaux de bétonnage des deux côtés du seuil à la cote minimale de 505 NGG ; de manière à pouvoir faire passer la crue de chantier de période de retour 50 ans en saison humide.

Afin de pouvoir terminer les travaux dans les délais impartis, la cote 505 NGG devra être impérativement atteinte pour l'ensemble des installations à la fin de la phase 4.

La limitation du plan d'eau à la cote 505 NGG correspond par ailleurs au niveau du seuil des prises usinières.

Dans le cas où l'avancement du chantier permettait d'arriver à des cotes supérieures aux cotes citées précédemment, les prises usinières seront batardées et, la montée du barrage pourra continuer, tout en gardant un écart minimal de 3 m entre les 120 m déversant de l'évacuateur de crues et le reste des ouvrages.

A4.4.3.5 Phase 5 : Troisième saison humide (Juillet année 3 à novembre année 3)

Cette phase est similaire à la phase 3 avec un niveau de seuil déversant provisoire à la cote 502 NGG et un niveau du BCR et des remblais à la cote minimale de 505 NGG.

Au cours de cette phase, l'installation des conduites forcées à travers les prises usinières et le barrage, ainsi que le BCV autour de ces conduites devra être réalisé.

A l'issue de la phase 5, en fin de la saison des pluies, un nouveau batardeau sera mis en place autour du chenal de restitution aval des eaux de l'usine. Ce batardeau sera installé jusqu'à la cote 464 NGG de manière à isoler la zone des travaux de ce chenal qui sera réalisée en phase 6 suivante.

A4.4.3.6 Phase 6 : Troisième saison sèche (Décembre année 4 à la fin d'année 4)

Cette phase est similaire à la phase 4 en termes de contrôle des eaux. Les travaux devront être terminés avant la fin de la saison sèche, de manière à remplir la retenue dans les quelques mois qui suivent la fin du barrage.

Les travaux suivants de bétonnage et de montage sont réalisés au cours de cette phase :

- Travaux du chenal de restitution aval de l'usine ;
- Achèvement des plots de l'évacuateur de crue ;
- Achèvement complet de l'ouvrage en BCR ;
- Achèvement complet des ailes en enrochements et en remblais ;
- Achèvement des bétons de seconde phase de l'usine et l'installation complète du matériel hydromécanique et électromécanique ;
- Achèvement des travaux sur le poste de départ ;
- Travaux de finition et de remise en état des lieux.

A la fin des travaux, les pertuis provisoires de dérivation seront bouchés progressivement, au fur et à mesure que l'évacuateur des crues et les ouvrages de restitution aval des débits seront opérationnels. Pendant la phase de batardage des pertuis de dérivation provisoire, une partie du débit pourra en outre être évacué par l'ouvrage de restitution.

A4.4.4 Cadence de remblai et de mise en place du BCR

Les cadences mensuelles maximum de mise en place pour les travaux de terrassement et de bétonnage imposées par ce planning, calculées en phase 2 restent à des niveaux relativement modestes ; elles sont de l'ordre de 20 000 m³/mois pour le BCR et 200 000 m³/mois pour les remblais.

Compte tenu des conditions générales d'exécution, le respect de ces cadences ne devrait pas soulever des difficultés particulières.

A4.5 EVACUATEUR DE CRUES

A4.5.1 Généralités

L'évacuateur de crues est implanté sur l'ouvrage central en BCR, dans l'emprise de l'ancien lit de la rivière. Outre la facilité de réalisation, cette implantation permet de déverser directement les débits importants dans l'axe de la rivière, sans avoir à réaliser de chenal dédié.

L'ouvrage ainsi défini permet de contrôler avec une lame d'eau déversante de 3,8 m d'épaisseur, la crue de projet millénale, dont le débit de pointe s'élève à 2 920 m³/s. La crue de projet décennale, dont le débit s'élève à 3680 m³/s, passe avec une lame d'eau déversante de 4,4 m, portant donc le niveau des plus hautes (PHE) à la cote 549,40 NGG.

A noter que pour les conditions extrêmes correspondant à la crue maximale probable (CMP) de 4 330 m³/s de débit de pointe, le niveau maximal du plan d'eau amont est de 549,88 NGG ; en-dessous de la vanne disposée à la cote 551,50 NGG.

L'évacuateur de crue est constitué des principaux ouvrages suivants :

- Le massif déversant, qui constitue le seuil amont de contrôle, est réalisé selon la technique du BCR et est implanté dans la continuité du barrage principal en BCR ;
- Une dalle horizontale en béton, aménagée à l'aval du seuil déversant, protège le pied aval de l'ouvrage contre tout risque de dégradation dans la zone de réception des débits. Elle permet en outre d'assurer le transit des écoulements jusqu'au droit des chutes naturelles du site de Koukoutamba. Afin de se prémunir contre une potentielle érosion régressive due à la dissipation progressive de l'énergie à la fin de la dalle, une bêche de protection en béton est réalisée à l'extrémité aval de la dalle horizontale.

La totalité des ouvrages en béton de l'évacuateur est fondée sur le substratum rocheux. La topographie du site conduit à des conditions satisfaisantes d'entonnement pour le seuil déversant. A l'aval des ouvrages en béton, un déroctage et un reprofilage du lit de la rivière est nécessaire pour assurer une répartition correcte des débits.

De même que pour la partie BCR du barrage, le massif du seuil déversant est divisé en plots successifs de 20 m de longueur, et trois galeries d'inspection et de contrôle sont implantées dans l'ouvrage (aux cotes 470, 49 NGG et 532,5 NGG).

L'ensemble des dispositions hydrauliques, et en particulier l'écoulement aval dans les chutes naturelles du Bafing, devra être testé et validé en phase d'exécution, par des études spécifiques sur modèle réduit, afin d'apprécier le fonctionnement général de l'évacuateur.

L'élévation amont et la vue en plan générale de l'évacuateur de crue sont présentées sur les plans *KTB-II2-BR-PR-001 et 003*.

A4.5.2 Le seuil déversant

L'élévation amont et la vue en plan générale de l'évacuateur de crue sont présentées sur les plans *KTB-II2-BR-PR-001 et 003*.

Un seuil déversant autostable, de 160 m de longueur développé à la cote 545,00 NGG permet le contrôle de la crue de projet (crue décennale s'élevant à 3 680 m³/s), sous une lame d'eau déversante de 4,40 m. Le dimensionnement du seuil a été réalisé en tenant compte des effets de laminage de la crue. Les calculs hydrauliques détaillés sont présentés en « *volume B – Chapitre B5 – Calculs hydrauliques* » du rapport d'APD.

La section courante du seuil déversant est constituée par un parement amont vertical, puis un profil Craeger se raccordant à l'aval à un parement en marche d'escalier incliné à 0,8H/1V. Le raccordement se fait grâce à une courbe de rayon variable visible sur le plan *KTB-II2-BR-PR-003*. Ce profil permet d'assurer en toute circonstance la stabilité d'ensemble du seuil déversant. Le calcul de justification de stabilité de l'évacuateur des crues est présenté en « *volume B – Chapitre B1 – Note de Calcul du Barrage BCR* » du rapport d'APD.

La totalité du seuil déversant est fondée au substratum rocheux. Afin de s'adapter au mieux au niveau du rocher présent dans le lit du fleuve, la fondation du massif est à la cote 465,50 NGG sur l'ensemble de l'ouvrage.

La préparation de la fondation devra être exécutée avant mise en œuvre du BCR. Les excavations généralisées, de 1 à 2 m de profondeur, permettront d'une part d'assurer une régularité topographique satisfaisante du fond de fouille, et d'autre part d'éliminer les zones les plus altérées, et limiter ainsi les traitements de curage des diaclases en fondation.

De même que pour la partie BCR du barrage principal, le massif du seuil déversant sera réalisé avec la technique du BCR. Les coupes types et les détails constructifs sont présentés sur le plan *KTB-II2-BR-PR-012*.

Les couches de BCR mises en œuvre dans le corps du barrage présentent une épaisseur classique de 30 cm.

D'une manière générale, les dispositions constructives adoptées pour le massif du seuil déversant sont similaires à celles retenues pour le barrage principal.

A4.5.2.1 Parement amont du seuil déversant

En continuité avec le l'ouvrage de fermeture, le parement amont du seuil déversant est vertical. Un masque en BCR Enrichi au Coulis (GERCC) de 50 cm d'épaisseur est mis en œuvre à l'amont de chaque couche de BCR. Le BCR enrichi aura la même composition que le BCR. On évitera toute forme de précompactage dans une largeur de 5 m depuis le parement amont. Après épandage, le BCR enrichi sera consolidé par pervibration.

Le masque en BCR enrichi pourra être ferrailé, de manière à assurer la répartition de la fissuration induite par les phénomènes thermiques provenant de la prise du béton frais. Une nappe horizontale de ferrailage, constituée par une armature HA 25 par couche de BCR (tous les 30 cm de hauteur), permet de limiter l'ouverture des fissures verticales pouvant se développer entre deux joints successifs distants de 20 m en moyenne.

A4.5.2.2 Corps du massif du seuil déversant

A l'aval du masque amont en BCR enrichi, le BCR sera mis en œuvre par couches de 30 cm. La vibration du BCR enrichi du masque sera réalisée après mise en place et réglage de la couche adjacente de BCR, qui assurera ainsi le rôle d'épaulement. La vibration permettra également d'assurer la liaison intime entre BCR enrichi et BCR. Le compactage de la couche de BCR sera effectué après vibration du masque amont.

Sur le parement amont, dans une zone de 5 m (entre la fondation du barrage jusqu'à la cote 520 NGG), ou de 3 m (entre la cote 520 NGG jusqu'à la crête du barrage), comptée à partir du parement amont du barrage, les surfaces de reprise entre les couches successives de BCR seront systématiquement traitées par mise en œuvre d'une couche de mortier de reprise. Cette disposition permet d'éviter les zones de faiblesse liée à la ségrégation du BCR lors de sa mise en œuvre. Voir plan *KTB-II-2-BR-PR-003*.

En complément, un voile de drainage interne, constitué de forages verticaux espacés tous les 6 m est implanté à environ 5 m de distance du parement amont. Ces forages seront réalisés vers le haut, après achèvement du massif en BCR, à partir des galeries implantées dans le corps du barrage. Il s'agira de relier les différentes galeries entre elles en partant de la galerie de pied.

En partie supérieure du massif, les dimensions transversales de l'ouvrage deviennent trop faibles pour une mise en place correcte du BCR. Entre les cotes 540,50 NGG et 545,00 NGG, le seuil sera donc entièrement réalisé en BCV. Cette zone en BC consistera en un corps en béton de masse, enveloppé par du BCV plus fortement dosé en ciment, dans les parties périphériques en contact avec les écoulements hydraulique. La mise en œuvre des bétons du seuil déversant devra être réalisée simultanément, au cours des mêmes phases de bétonnage, afin de garantir une liaison intime entre les deux types de béton.

A4.5.2.3 Parement aval du seuil déversant

En continuité avec la partie BCR du barrage principal, la pente moyenne adoptée pour le parement aval du seuil déversant est de 0,8H/1V.

Afin de s'adapter au mieux à la technique du BCR, le parement aval est réalisé en marches d'escalier, dont la hauteur en section courante correspond à l'épaisseur de quatre couches, soit 120 cm. Par rapport à une variante de parement à pente continue, cette disposition à marches permet de dissiper de l'ordre de 70 % d'énergie pour le crue de projet (crue milléniale = 2 920 m³/s), et 65% d'énergie pour la crue décennale (3 680 m³/s). Elle présente aussi l'avantage de favoriser l'aération de la lame d'eau déversée, améliorant ainsi la qualité de l'eau à l'aval de l'aménagement.

Le choix de la hauteur des marches (120 cm) résulte de l'expérience du Bureau d'Etudes sur des aménagements comparables.

Le parement aval, soumis à l'action des écoulements hydrauliques en phase de déversement, est réalisé en BCR enrichi au coulis, avec mise en place d'un ferrailage horizontal spécifique sur les parements horizontaux des marches d'escalier, constituée par des armatures HA 20, espacées de 30 cm. Confère plan *KTB-II2-BR-PR-012*

Le GERCC du parement aval sera exécuté en même temps que chaque couche de mise en œuvre du BCR, sans joint de reprise ; ceci afin de garantir l'homogénéité dans la structure.

Les espacements retenus pour les armatures permettent de s'adapter à la géométrie de l'ouvrage (30 cm pour les barres horizontales associées à des marches de 120 cm) et de simplifier les dispositions constructives au droit du raccordement avec le ferrailage du parement amont.

Comme pour les armatures du parement amont, le ferrailage mis en œuvre sur les marches du parement aval est arrêté tous les 20 m, au droit des joints aménagés dans le corps du massif déversant.

L'Entrepreneur en charge des travaux devra présenter à l'agrément du Maître d'œuvre un mémoire technique détaillé pour l'exécution du parement aval de l'évacuateur précisant en particulier les procédés de construction adoptés (phasage des travaux, types de coffrage, etc...)

A4.5.3 Galeries

De même que pour la partie BCR du barrage principal, trois galeries longitudinales sont implantées dans du massif déversant. Les dimensions et dispositions retenues sont identiques à celles adoptées pour la partie BCR du barrage principal et détaillées au chapitre A4.2.2.5.

Un accès en rive droite du massif déversant (au niveau de l'usine) permet l'accès aux différentes galeries.

A4.5.4 Joints transversaux

Les dispositions adoptées pour la partie BCR du barrage principal et destinées à limiter les effets thermiques induits par la prise du béton sont reconduites pour le massif déversant de l'évacuateur. En particulier des joints transversaux espacés tous les 20 m sont aménagés à travers le massif de BCR.

A l'amont, les dispositions mises en œuvre dans le masque en BCR enrichi pour l'équipement des joints, sont en tous points identiques à celles détaillées au chapitre A4.2.2.6 pour le barrage en BCR.

Des dispositions spécifiques sont mises en œuvre au droit des joints du parement aval, soumis aux écoulements hydrauliques lors des déversements de l'ouvrage :

- arrêt du ferrailage du parement aval au droit des joints ;
- mise en place d'un waterstop de 350 mm de largeur, enrobé dans la zone en BCR enrichi (confère plan *KTB-II2-BR-PR-012*).

A4.5.5 Formulation du BCR

La formulation du BCR mis en œuvre dans le massif déversant est en tout point conforme à celle de la partie BCR du barrage principal détaillée au chapitre A4.2.2.7.

De même, les dispositions relatives au mortier de liaison entre couche à mettre en œuvre dans la zone amont de l'ouvrage, sont identiques à celles présentées pour la partie BCR du barrage principal, et détaillées au chapitre A4.2.2.7.

A4.5.6 Dalle de pied aval

Au pied aval du seuil déversant de l'évacuateur, une dalle horizontale en béton de 30 m de largeur (amont / aval), 2 m d'épaisseur et 160 m de longueur (rive à rive), fondée sur le substratum à la cote 465,50 NGG, est aménagée. Les dispositions adoptées sont illustrées sur les plans *KTB-II2-BR-PR-001 et 003*.

Cet ouvrage assure une protection efficace de la fondation dans la zone de restitution des débits, au pied aval du seuil déversant, contre tout risque de dégradation par érosion pouvant apparaître lors du passage des écoulements hydrauliques.

Du fait de leur inertie respective très différente, les deux structures, dalle aval et massif déversant, présentent des comportements sensiblement différents sous les cas de charges appliqués en phase d'exploitation. Afin d'éviter toute interaction néfaste, pouvant conduire à l'apparition de fissures ou d'efforts parasites importants, les structures ont été désolidarisées au moyen d'un joint de construction longitudinal. Ce joint est équipé d'un waterstop sur sa face supérieure.

En partie courante, la dalle aval est conçue comme une structure continue fondée au rocher. Les joints de construction, résultants d'une exécution par plot, sont équipés comme de simples reprises de bétonnage : les surfaces de reprises verticales doivent être repiquées et le ferrailage de la dalle est prolongé à travers ces joints de construction.

La dalle, entièrement horizontale, est fondée au substratum rocheux préalablement excavé à la cote 465,50 NGG. Elle est réalisée en BCR sur sa partie inférieure et en BCV sur les 30cm supérieurs en contact avec l'écoulement hydraulique.

En effet, le BCV présente de meilleures caractéristiques mécaniques que le BCR, qui permettent de garantir la tenue à long terme de l'ouvrage, contre les actions exercées par les écoulements hydrauliques lors des déversements successifs. Le parement supérieur est renforcé par la mise en place d'un ferrailage constitué par deux mailles perpendiculaires de barres HA 25, espacées de 25 cm, et continu sur l'ensemble de l'emprise de la dalle.

En complément, des barres d'ancrage HA 25 de 6 m de longueur, scellées au rocher sont disposées selon une maille carrée de 2,50 m par 2,50 m sur toute l'emprise de la dalle afin de garantir la stabilité de l'ouvrage pour l'ensemble des cas de charge considérés. Les extrémités supérieures des barres d'ancrage sont reliées aux armatures de parement de la face supérieure.

Sur les bords latéraux de la dalle, deux murs bajoyers encadrent les écoulements hydrauliques. En rive gauche la topographie favorable du versant permet de limiter le mur bajoyer à l'ouvrage BCR portant les enrochements de la rive gauche. En rive droite, le mur bajoyer est prolongé à l'aval sur une centaine de mètres environ, pour conduire les débits jusqu'au sillon naturel du Bafing, et éviter tout déversement dans l'usine susceptible d'inférer avec le bon fonctionnement de la centrale.

Une bêche en BCV est prévue à l'extrémité aval de la dalle. Cette bêche a une épaisseur de 0.75 m et est fondé dans le sol sur 4 m de profondeur. Elle permet de protéger l'ouvrage contre une potentielle érosion régressive. La dalle présente par ailleurs une petite cuillère de 1.25 m de hauteur à son extrémité afin de pouvoir envoyer l'eau déversante directement dans les chutes naturelles. Cette cuillère doit néanmoins rester de faible hauteur afin de ne pas induire de ressaut hydraulique sur la dalle.

A4.5.7 Restitution aval

La restitution aval de l'évacuateur de la crue à l'aval de la dalle est constituée par le lit naturel du Bafing, Elle n'est pas revêtue du fait de la bonne qualité mécanique de la roche en place. Très peu de travaux sont nécessaires, le but étant simplement de rediriger l'écoulement vers les chutes naturelles du Bafing directement à l'aval. Un reprofilage de la topographie naturelle est toutefois nécessaire pour accroître les sections hydrauliques du coursier et permettre le passage correct des débits évacués. Ces travaux consistent principalement en l'élimination des obstacles topographiques situés à proximité de l'aval du déversoir (nivellement des cascades rocheuses bloquant le passage par exemple).

Ces dispositions devront être testées et validées par des études spécifiques sur modèle réduit à réaliser lors des études d'exécutions, afin d'apprécier le fonctionnement général de l'évacuateur.

Dans le cas où des dégâts seraient constatés au droit des chutes lors de la phase d'exploitation de l'Aménagement, des travaux de confortement éventuels pourront être définis si nécessaire, puis exécutés au cours des mois de saison sèche. Rappelons que la zone des cascades ainsi que l'aval direct du mur bajoyer aval seront hors d'eau en saison sèche, permettant un contrôle régulier et une inspection en phase d'exploitation.

A4.6 USINE

A4.6.1 Ouvrage de prise usinière

Le barrage est équipé de 4 prises usinières pour alimenter chaque groupe de l'usine.

Chaque prise est constituée d'un pertuis amont d'entonnement de 14.45 m de largeur et 9.65 m de hauteur, avec un fruit de 0.12 H/1 V. Le niveau de seuil des prises est à la cote 505 NGG.

Chaque prise est équipée de :

- Grilles afin de protéger l'entrée contre les corps flottants,
- un batardeau amont qui permettra l'isolement du circuit hydraulique lors de la maintenance,
- une vanne en tête pouvant couper l'alimentation en eau vive, des quatre groupes de l'usine.

Ces prises permettent d'alimenter les groupes de l'usine en passant par des conduites forcées en acier de 5700 mm de diamètre.

Les plans *KTB-II2-UP-PC-001 et 002* présentent les dispositions retenues pour les ouvrages de prises. Une description plus détaillée des équipements des prises usinières est donnée au chapitre A5 dédié aux équipements hydro-électromécaniques.

A4.6.2 Bâtiment de production de l'usine

A4.6.2.1 Disposition générale du bâtiment

L'usine est extérieure et est située en rive gauche au pied aval du barrage.

Les niveaux des différents étages de l'usine découlent principalement de 3 paramètres :

- Le niveau aval maximum des eaux qui conditionne le niveau d'accès dans l'usine : ce niveau est de 469,60 NGG pour la crue 10 000 ans.
- Le niveau minimum des eaux en cas d'arrêt des 4 groupes : ce niveau est de 458,58 NGG. Compte tenu d'une submergence minimale des groupes de 4,60 m correspondant à une vitesse de rotation des groupes de 214,3 tr/min, le niveau de calage de l'axe du distributeur des turbines est 454,00 NGG.
- La dimension entre l'axe de la turbine et le platelage alternateur est estimée à 8,50 m ; c'est-à-dire au niveau 462,50 NGG. Compte tenu de la position des transformateurs des groupes (plateforme aval 474,00 NGG) et des nombreux équipements à installer dans l'usine, un plancher intermédiaire est prévu au niveau 467,50 NGG.

En conséquence le niveau d'accès à l'usine a été choisi à 474,00 NGG.

De ces niveaux, on déduit les autres différents niveaux de l'usine (voir plan KTB-II-5-UP-AM-001) :

- Niveau bas de l'aspirateur : 443,90 NGG.
- Niveau de fond de fouille : 441,50 NGG.
- Niveau du fond de la galerie de drainage : 442,60 NGG.
- Niveau sortie de roue turbine : 449,35 NGG.
- Niveau étage turbine : 451,80 NGG.

Les dimensions du bloc usine sont les suivantes : largeur 18,40 m et longueur 110,50 m. La hauteur totale de l'usine est de 48,50 m.

On trouve ci-après la description des différents niveaux se déduisant des informations citées ci-dessus, avec la distribution des équipements auxiliaires qu'ils accueillent.

A4.6.2.2 Niveau accès usine et plage de montage

Conformément au plan KTB-II-5-UP-AM-003, L'accès à l'usine est réalisé par une route débouchant sur la plateforme de montage de l'usine. Un parking est situé à proximité de cet accès à l'usine. La plateforme de montage est située au niveau 474,00 NGG. Ce niveau a été déterminé de manière à se prémunir contre tout risque d'inondation de cette plateforme, avec une revanche suffisante, en cas de crue décennale.

Le hall de l'usine est desservi par un pont roulant de charge maximale sous crochet estimée à 200 tonnes tenu que la charge la plus lourde à reprendre (le rotor de l'alternateur) est estimée à 180 tonnes.

La plage de montage a une surface suffisante pour déposer les principaux équipements d'un groupe complet. Il est possible de réaliser l'assemblage de deux rotors alternateurs ou d'effectuer l'empilage et le bobinage de deux stators simultanément. Les dimensions totales de la plateforme de montage sont de 24,00 m x 15,40 m.

Les platelages alternateurs sont situés au niveau 462,50 NGG; c'est-à-dire 11,50 m sous le niveau de la plateforme de montage. L'accès à la rive gauche depuis la plateforme de montage est possible depuis une passerelle localisée côté aval de l'usine. Des rambardes assurent la sécurité du personnel.

L'espace entre deux groupes est de 20 m. Cette distance permet la sortie des roues des turbines dans l'axe longitudinal des groupes. A cet effet, deux trappes de manutention de 4,7 m x 4,7 m sont prévues entre les groupes 1 et 2 et les groupes 3 et 4. L'avantage de cette solution est la réduction de la largeur de l'usine.

Côté amont de la plateforme de montage, se trouve une travée avec les locaux suivants :

- l'atelier mécanique équipé d'un pont roulant d'une capacité de levage de 5 tonnes
- un bloc sanitaire équipé d'un vestiaire
- l'infirmerie

Côté amont du bloc principal de l'usine, se trouve une travée avec des locaux administratifs comprenant :

- l'accueil personnel et un local contrôle/sécurité
- un local technique permettant le passage des principaux réseaux (gainés de ventilation, câbles et tuyauteries)
- une salle de réunion et deux bureaux
- un bloc sanitaire
- une salle de repos, une cantine et une cuisine
- un couloir permettant de desservir l'ensemble de ces locaux
- deux escaliers et un ascenseur monte-charge permettant l'accès aux étages inférieurs et supérieurs de l'usine

Côté aval du bloc principal de l'usine, se trouve une plateforme sur laquelle sont installés les transformateurs principaux et les locaux techniques suivants :

- le local groupe électrogène
- le local de protection contre l'incendie des transformateurs

Cette plateforme accueille également le portique des batardeaux et le transformateur de réserve. Le séparateur eau-huile des transformateurs est localisé contre le mur aval de la plateforme de montage.

Des rails de roulement et un accès latéral permettent le déplacement des transformateurs jusqu'à la plateforme de montage. Les transformateurs, une fois vidés de leurs huiles, peuvent alors être repris par le pont roulant de l'usine pour leur mise sur camion.

A chaque extrémité de la plateforme aval, deux escaliers permettent l'accès aux différents niveaux aval de l'usine.

Deux trappes de manutention de grandes dimensions assurent l'accès des équipements dans les locaux avals de l'usine, notamment dans l'étage magasin à la cote 467,50 NGG.

A4.6.2.3 Niveau locaux ventilation et climatisation

Conformément au plan KTB-II-5-UP-AM-005, les équipements de ventilation de l'usine sont installés à la cote 478,70 NGG. Les groupes frigorifiques permettant d'alimenter en eau glacée les caissons de ventilation sont installés en terrasse à proximité du local de ventilation. Un local de prise d'air équipé de grilles anti-insectes est prévu à la cote 484,20 NGG.

Ce niveau accueille également la machinerie de l'ascenseur de l'usine.

A4.6.2.4 Etage 467,50 NGG

Conformément au plan KTB-II-5-UP-AM-006, le côté amont de ce niveau accueille les équipements à courant continu. Deux locales batteries équipées de rince-œil et de douches sont localisés de part et d'autre du local de distribution à courant continu. Ce niveau, accessible depuis deux escaliers et depuis l'ascenseur, peut également accueillir des locaux de stockage d'appareils électriques.

Le côté aval de ce niveau permet principalement le stockage des équipements et matériels divers dont l'usine aura l'utilité durant l'exploitation.

Une galerie technique placée à l'aval du magasin permet le cheminement des réseaux (gainés de ventilation, chemins de câbles et tuyauteries).

De part et d'autre de cet étage, deux escaliers permettent l'accès aux niveaux inférieurs et supérieurs.

Pour chacun de ces étages, des trappes de grandes dimensions permettent la manutention de matériels.

A4.6.2.5 Niveau hall des machines

Conformément au plan KTB-II-5-UP-AM-007, le hall des machines de l'usine est situé à la cote 462,50 NGG.

Une trappe de manutention de 3 m x 2,5 m placée au milieu du hall des machines assure la descente du matériel vers les niveaux inférieurs.

La salle de commande est située à l'amont du hall des machines dans un local de grandes dimensions. Des baies vitrées permettent la vue sur le hall des machines.

A proximité de la salle de commande sont prévus les locaux suivants :

- Une salle de télécommunication.
- Quatre bureaux.
- Une salle d'archive et des sanitaires.

A chaque extrémité de ces locaux, deux escaliers permettent l'accès aux différents niveaux de l'usine. La salle de commande ainsi que les locaux annexes sont équipés d'un faux plancher et d'un faux plafond.

A l'aval du hall des machines est localisé le local électrique principal qui accueille :

- Les tableaux et transformateurs basse et moyenne tension.
- Les équipements de distribution d'éclairage normal et secours.

Une galerie technique placée à l'aval de l'étage électrique permet le cheminement des réseaux (gaines de ventilation, chemins de câbles et tuyauteries). De plus, deux trappes permettent la manutention de matériels vers les niveaux inférieurs.

De part et d'autre de cet étage, deux escaliers permettent l'accès aux niveaux inférieurs et supérieurs.

A4.6.2.6 Niveau alternateur

Conformément au plan KTB-II-5-UP-AM-008, le niveau alternateur de l'usine est situé à la cote 456,60 NGG.

Ce niveau reçoit les jeux de barres des sorties phases et neutre alternateur, les cellules moyenne tension alternateur, les transformateurs et les armoires d'excitation des alternateurs, les tableaux BT des groupes, les équipements de régulation de la turbine et les équipements de protection incendie des alternateurs.

Depuis l'étage alternateur, plusieurs passages permettent le cheminement des réseaux dans le faux plancher de la salle de commande.

A l'aval de cet étage sont prévus quatre locaux de grandes dimensions permettant l'installation des équipements suivants :

- Un magasin.
- Le local de traitement d'huile.

- Le local des compresseurs basses pressions.
- Le local des compresseurs hautes pressions.

A chaque extrémité de cet étage, quatre escaliers permettent l'accès aux niveaux inférieurs et supérieurs. L'ascenseur dessert également cet étage.

A4.6.2.7 Niveau turbine

Conformément au plan KTB-II-5-UP-AM-009, le niveau turbine de la centrale est situé à la cote 451,80 NGG.

Cet étage accueille la plupart des équipements mécaniques auxiliaires de l'usine tels que :

- Le système d'eau brute,
- les systèmes d'alimentation en eau propre et traitée de l'usine,
- les systèmes des eaux usées,
- les systèmes de filtration et de réfrigération des groupes,
- le système de protection incendie.

Deux escaliers situés entre les groupes 1 et 2 et les groupes 3 et 4 permettent d'accéder au niveau 449,35 abritant les rails de manutention des roues des turbines.

Entre les groupes 2 et 3, un escalier permet de descendre au niveau 449,35 NGG où est situé l'accès au puits de vidange et drainage.

A chaque extrémité de cet étage, quatre escaliers permettent l'accès aux niveaux inférieurs et supérieurs.

A4.6.2.8 Niveau galerie de drainage et d'exhaure.

Conformément au plan KTB-II-5-UP-AM-011, le niveau de la galerie de drainage de l'usine est situé à la cote 442,60 NGG.

Cette galerie permet l'accès aux pompes de drainage et d'exhaure qui récupèrent les eaux dans un puisard dont le fond est calé à la cote 438,60 NGG.

A chaque extrémité de la galerie, deux escaliers permettent l'accès aux niveaux supérieurs.

A4.7 OUVRAGE DE RESTITUTION

A4.7.1 Généralités

Le site de Koukoutamba est situé à l'amont de l'aménagement de Manantali. L'incidence du projet sur l'exploitation du barrage en aval a été étudiée au cours des simulations de production. Figure A4. 6 rappelle les apports naturels et ceux influencés par l'aménagement de Koukoutamba. Elle fait apparaître que ceux-ci sont inférieurs à 200 m³/s lors de la saison sèche.

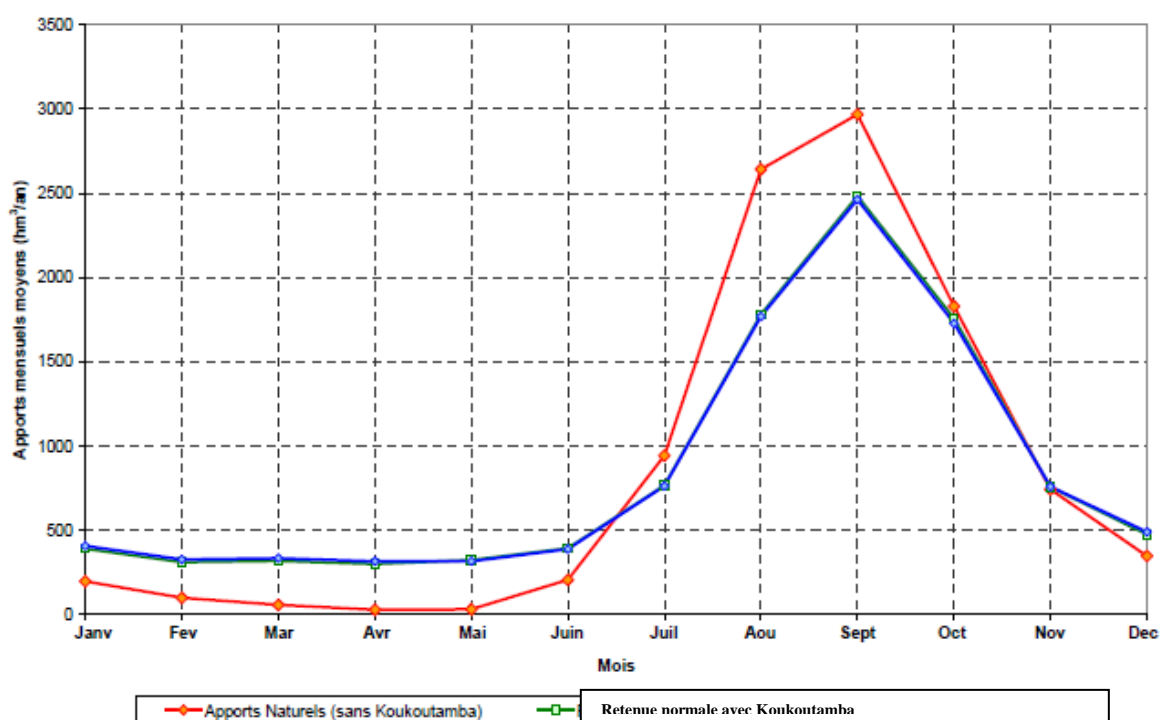


Figure A4. 6 – Apports de Manantali – Avec et sans Koukoutamba

L'ouvrage de restitution sert à restituer les débits en cas de besoin et/ou d'arrêt de la production de l'usine. En effet l'apport d'eau en aval de l'aménagement de Koukoutamba doit toujours rester supérieur ou égal à celui qu'il y aurait eu en l'absence du barrage, afin d'assurer les apports minimum pour le barrage OMVS de Manantali. Le soutien d'étiage nécessaire à Manantali ¹ est de l'ordre de 80 m³/s, à ajouter au débit réservé de 10 m³/s.

¹ Le débit est déterminé au regard de l'hydrogramme transmis par le Client lors des études, servant d'objectif à Bakel utilisé par la Commission Permanente des Eaux pour la gestion de Manantali.

En cas de fermeture ou d'arrêt de l'usine, en saison sèche, le barrage de Koukoutamba doit pouvoir rester transparent vis-à-vis de l'aval et garantir un débit de l'ordre de $100 \text{ m}^3/\text{s}$ correspondant à la proportion qui devrait provenir de ce bras du fleuve Sénégal, afin de respecter les consignes établies par la CPE, prévalant à Bakel situé à l'aval de Manantali. Ce débit doit pouvoir transiter quel que soit le niveau de la retenue, entre le niveau minimal d'exploitation (NME) et la retenue normale (RN). Le choix d'un pertuis de section $2.50 \text{ m (L)} \times 3.50 \text{ m (H)}$ permet de garantir une capacité de restitution de $200 \text{ m}^3/\text{s}$ sous une charge équivalente à un plan d'eau à la cote minimale d'exploitation (520 NGG). (cf. *Note de Calcul hydraulique « volume B - chapitre B5 »*).

Une autre fonction de l'ouvrage de restitution est de limiter l'envasement du réservoir. Dans ce but, les vannes de l'ouvrage de restitution seront ouvertes en grand lorsque les apports sont suffisants pour ne pas altérer la production énergétique de la centrale. Les modalités permettant l'optimisation du dévasement de la retenue (périodes d'ouvertures, durées des lâchures, etc.), pourront être analysées en phase d'exploitation, par essais successifs.

A4.7.2 Description de l'ouvrage de restitution

L'ouvrage de restitution ou de restitution aval repose entièrement sur le rocher sain, avec des excavations dans le substratum doléritique à la cote 465,50 NGG, enfoncé sur en moyenne de 5 m par rapport au toit du rocher. Le parement amont de l'ouvrage est vertical et le parement aval est incliné à 0,8 (H) / 1 (V). Il possède un plateau en tête à la cote 551.50 NGG dans la continuité de l'ouvrage de prise. Il loge entre ce dernier et de l'évacuateur des crues, dans un plot de 8 m de longueur.

Cet ouvrage est constitué d'un pertuis blindé de section $2.50 \text{ m (L)} \times 3.50 \text{ m (H)}$, implantés à la base de la structure. Il se termine par une cuillère destinée à orienter le jet d'eau vers le bassin de dissipation de l'évacuateur des crues

En amont, le pertuis est muni d'un entonnement de dimensions $5.00 \text{ m (L)} \times 3.50 \text{ m (H)}$. Cet entonnement est équipé d'une vanne batardeau pour permettre l'isolement des pertuis en vue de l'opération des visites et maintenance dans ce pertuis. Ce batardeau qui est en un seul bloc est stocké en phase de servie sur la plateforme en crête du barrage.

A l'extrémité aval, le pertuis dont les dimensions sont réduites à $2,5 \text{ m (L)} \times 3 \text{ m (H)}$ est équipé d'une vanne secteur de réglage.

A l'amont de cette vanne secteur, une vanne wagon sous carter permet de couper sous son propre poids les débits de gueule bée cote du réservoir amont correspondant aux PHE. Cette vanne wagon garantit la sécurité de l'ouvrage de restitution en cas de problème sur la vanne secteur de réglage.

Le pertuis se termine par une cuillère qui permet d'écartier le jet d'eau du bâtiment de l'usine, et l'orienter vers la zone de restitution de l'évacuateur des crues.

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A4 – Descriptif de l'Aménagement – Génie Civil

Les plans *KTB-II2-VF-PR-001* à *003* présentent les ouvrages et équipements de l'ouvrage de restitution. La description plus détaillée des équipements de l'ouvrage de restitution est faite dans le chapitre A5 dédié aux équipements hydro-électromécaniques.

A4.8 AUSCULTATION DU BARRAGE

A4.8.1 Généralités

L'équipement d'auscultation est donné à titre indicatif ; les types, les caractéristiques et l'implantation exacte des appareils seront précisés lors des études d'exécution.

Les ouvrages de l'Aménagement de Koukoutamba et la fondation du site seront équipés d'appareils d'auscultation qui permettront de s'assurer du comportement correct des diverses structures et de contrôler leur sécurité en mesurant :

- les déformations et les déplacements,
- les niveaux de pression interstitielle dans le substratum, au contact de la fondation des ouvrages et à l'intérieur des remblais,
- les débits de fuite en fondation et en pied aval des remblais,
- les températures dans le corps des ouvrages en BCR.

Les dispositions concernant le dispositif d'auscultation mis en place sur l'Aménagement de Koukoutamba sont présentées dans les plans KTB-II-2-BR-PA-001 à 005.

A4.8.2 Ailes en enrochement et en remblais

A4.8.2.1 *Mesures des niveaux piézométriques*

La mesure des niveaux piézométriques permet de vérifier que l'écoulement de l'eau dans les digues est conforme aux hypothèses retenues des calculs de stabilité. Cette mesure est importante puisque les niveaux de pression interstitielle sont déterminants dans le calcul des cercles de rupture. Les niveaux piézométriques seront mesurés sur 6 profils pour l'aile gauche et 4 profils pour l'aile droite plus petite. Les mesures s'effectueront par des cellules piézométriques.

Les mesures de pression interstitielle sont faites aussi bien dans le corps des digues que dans la fondation de l'ouvrage.

Quatre piézomètres à lecture directe sont répartis en pied aval des digues entre les puits de décompressions.

A4.8.2.2 Nivellement et levé topographique

Sur la crête des digues, du nivellement de précision ainsi que des relevés topographiques seront effectués pour mesurer les déplacements du barrage.

A4.8.2.3 Dispositif de collecte et de mesure des débits

Les fuites à travers le remblai seront collectées et mesurées à l'aide de deux seuils déversants disposés au pied aval de chaque digue en partie basse. En cas de faibles débits, la mesure est toujours possible avec un récipient et un chronomètre.

A4.8.3 Barrage en BCR

A4.8.3.1 Mesures des niveaux piézométriques de fondation

Les mesures des niveaux piézométriques sont une composante majeure du système d'auscultation d'un barrage poids. Elle permet de contrôler la validité de l'hypothèse de répartition des sous pressions adoptée dans le calcul de stabilité du barrage.

Les mesures des niveaux piézométriques seront effectuées sur huit profils.

Au regard de l'importance de ces données, les mesures seront doublées pour pallier au défaut éventuel d'un des deux systèmes de mesures : elles sont réalisées d'une part au moyen de piézomètres à lecture directe et débouchant dans la galerie, et d'autre part grâce à des cellules de pression interstitielle implantées dans la fondation des ouvrages.

Les câbles des cellules implantées dans la fondation du massif en BCR seront ramenés au droit de la galerie de pied amont et acheminés dans une salle de contrôle, au niveau de l'accès à la galerie inférieure.

A4.8.3.2 Dispositif de mesure des débits

Les forages du voile de drainage débouchant dans la galerie de pied seront équipés de têtes de drains en PVC, avec exutoires de l'écoulement vers le bas, permettant la mesure individuelle des débits.

Les débits de percolation interceptés par les drains seront collectés dans les caniveaux de la galerie de pied pour être évacués gravitairement vers l'extérieur.

La mesure des débits de percolation sera faite au moyen de seuils déversants, installés dans les caniveaux de la galerie de pieds, de part et d'autre de l'ouvrage de restitution (l'un d'entre eux étant situé en amont de l'exutoire vers l'extérieur). Les débits collectés dans les deux galeries supérieures seront également mesurés à l'aide de seuils déversants avant d'être acheminés dans la galerie inférieure.

A4.8.3.3 Suivi de la température dans le BCR

Les variations de température dans les massifs de BCR, en phase de construction puis d'exploitation, seront mesurées au moyen de sondes de température installées lors de la mise en œuvre du BCR. Quatre profils sont auscultés dans le barrage. Les dispositions correspondantes sont illustrées sur les plan KTB-II-2-BR-PA-001 et 002.

Pour chaque profil ausculté, les sondes de température sont disposées d'amont en aval sur six niveaux, de manière à pouvoir couvrir l'ensemble du champ thermique de la structure. En particulier, les écarts entre le centre du massif en BCR et les bordures de parement en BCV, qui constituent la cause principale de fissuration en phase de construction, pourront être enregistrés.

L'ensemble des câbles des sondes de température sera ramené au droit des différentes galeries et acheminé dans la salle de contrôle, au niveau de l'accès à la galerie inférieure.

A4.8.3.4 Mesure des déplacements du barrage

Des repères topographiques et de nivellement seront implantés sur chaque plot en crête d'ouvrage, de part et d'autre des joints de construction. Des mesures de déformations entre plots seront effectuées en crête en rive droite du barrage, au moyen d'appareils de mesure tridimensionnelle des joints.

Il va de soi que dans l'emprise de l'évacuateur de crues, les appareils de mesure ne pourront pas être implantés sur le seuil. Ainsi, des mesures de déformations entre plots seront effectuées dans toute la galerie supérieure. Du nivellement de précision sera également effectué dans la galerie supérieure pour mesurer les déplacements verticaux du barrage.

Des mesures de déformations entre plots seront également effectuées dans toute la galerie inférieure du barrage.

Les déplacements relatifs du barrage (mouvement de la crête par rapport au pied et mouvement du pied par rapport à la fondation rocheuse) seront mesurés à l'aide d'un système de pendules directes et inverses localisés sur deux profils (au centre de l'évacuateur de crues et au niveau de l'usine). Chaque profil sera constitué de deux pendules directes et d'une pendule inverse ancré à 50 m du contact béton/rocher. Les mesures se feront dans une niche accessible au niveau des galeries. Les pendules permettent une mesure très fine et régulière des déplacements relatifs du barrage.

A4.8.4 Mesure des niveaux d'eau

Une échelle limnimétrique, permettant la mesure des niveaux d'eau à l'amont dans la retenue sera installée au droit de l'ouvrage de prise de l'usine, coté rive gauche (voir plan KTB-II-2-BR-PA-001). Elle est lisible depuis la crête de l'ouvrage, sans jumelle.

Une seconde échelle limnimétrique sera également installée à l'aval de l'ouvrage, dans le chenal de restitution des débits turbinés. Elle sera visible de l'usine, et principalement de la rive droite.

Le niveau d'eau en amont du barrage sera mesuré par deux capteurs de niveau : un capteur de type ultrasonique et un capteur de type piézo-résistifs.

Chaque système de mesure remplit deux fonctions :

- mesure en continu du niveau de la retenue (exploitation normale)
- alerte aux crues par seuils de niveau (sécurité).

Les deux capteurs seront installés au droit de l'ouvrage de prise de l'usine, coté rive gauche.

Le capteur piézo-résistif sera installé dans un tube tranquilisateur en PVC dont le diamètre sera de 200 mm. Le tube tranquilisateur du capteur piézo-résistif sera protégé du vandalisme par un capot métallique.

Le capteur ultrasonique sera fixé au bout d'une potence articulée en acier inoxydable au-dessus du plan d'eau amont. Il sera protégé par un coffret anti-vandalisme.

A4.8.5 Surveillance de l'activité sismique

Trois sismographes, deux en crête du barrage et un dans la galerie de pied permettront de suivre l'activité sismique. Ils seront déclenchés automatiquement lorsque les accélérations dépassent un certain seuil, et enregistreront les accélérations.

L'appareil en pied du barrage permettra de mesurer les accélérations du sol, à comparer avec ceux en crête pour mesurer l'amplification des sollicitations sismiques.

A4.8.6 Récapitulatif

Le Tableau A4. 4 ci-après permet de récapituler le nombre estimatif des appareils d'auscultation

Tableau A4. 4 - récapitulatif des appareils d'auscultation du Barrage

item	Désignation	Nombre
1	Cellules de pression	≈190
	Piézomètres directs	16
2	Thermocouples	52
3	Pendule inversé	2
	Pendule direct	4
	Table de lecture	6
4	Seuil déversant	6
5	Nivellement de précision	43
	Cocarde topographique	43
	Vinchon	36
6	Echelle limnimétrique	2
7	Capteur de niveau ultrasonique	1
8	Capteur de niveau piézo-résistif	1
9	Accélérographe	3

SOMMAIRE CHAPITRE A5

DESCRIPTIF DE L'AMENAGEMENT – EQUIPEMENTS MECANIQUES

A5.1	INTRODUCTION	1
A5.2	OUVRAGE DE PRISE USINIÈRE	1
A5.2.1	Généralités	1
A5.2.2	Description détaillée de l'ouvrage de prise	2
A5.2.2.1	Entonnement amont	2
A5.2.2.2	Grilles	2
A5.2.2.3	Portique dégrilleur	3
A5.2.2.4	Vannes de tête	4
A5.2.2.5	Batardeau de la prise d'eau	5
A5.3	CONDUITES FORCEES	6
A5.4	OUVRAGE DE RESTITUTION	7
A5.4.1	Généralités	7
A5.4.2	Description détaillée de l'ouvrage de vidange	7
A5.4.2.1	La vanne d'arrêt	7
A5.4.2.2	La vanne de réglage	8
A5.4.2.3	Batardeau de l'ouvrage de restitution	9
A5.5	BATARDEAUX AVAL DE L'USINE	10
A5.5.1	Description générale	10
A5.5.2	Tablier	10
A5.5.3	Pièces fixes	11
A5.5.4	Suspension	11
A5.5.5	Organe de manœuvre	11
A5.5.6	Accessoires	12

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A5 – Descriptif de l'Aménagement – Equipements Mécaniques

CHAPITRE A5

DESCRIPTIF DE L'AMENAGEMENT – EQUIPEMENTS MECANIQUES

A5.1 INTRODUCTION

Le présent chapitre décrit les équipements de type hydro-électromécaniques prévus sur les différents ouvrages fonctionnels de l'aménagement hydroélectriques de Koukoutamba.

Il s'agira essentiellement des équipements des circuits de prise et d'amenée de l'eau vers l'usine, ceux de l'ouvrage de restitution du barrage, ainsi que de la protection aval d' l'usine.

A5.2 OUVRAGE DE PRISE USINIERE

A5.2.1 Généralités

La fonction principale de l'ouvrage de prise est d'assurer l'entonnement correct des débits dans le circuit d'amenée à l'usine.

L'implantation de l'ouvrage de prise est principalement dictée par la position de l'usine dans le bras naturel du Bafing, et par la nécessité de limiter au maximum la longueur, et donc le coût des conduites forcées.

La hauteur maximale sur fondation de l'ouvrage de prise est de 86 m, et sa longueur totale s'élève à 78.20 m. Le niveau supérieur de la plateforme est à la cote 551.5 NGG, en continuité avec la crête de la digue de fermeture Rive Droite. L'ouvrage est constitué de 4 plots unitaires, correspondant à l'entonnement de chacun des groupes.

La structure de l'ouvrage de prise est réalisée en béton conventionnel. Le parement amont est incliné à 0,12H/1V jusqu'au niveau du seuil des prises ; afin d'assurer le fonctionnement correct du dégrilleur, puis ce parement est vertical jusqu'à la fondation. Le talus du parement aval est incliné à 0.8H/1V, en continuité avec la géométrie de l'évacuateur des crues. Ces dispositions permettent d'assurer la stabilité de l'ouvrage, avec un niveau de sécurité satisfaisant, pour l'ensemble des cas de charge considérés.

Le calage du radier du pertuis amont à la cote 505 NGG résulte directement de la courbe de capacité du Barrage. En-dessous de cette cote le volume de la retenue et de l'estimation du volume mort de la retenue. Pour cette cote, des calculs hydrauliques effectués pour les ouvrages d'amenée et la centrale hydroélectrique montrent que cette disposition assure un fonctionnement correct de l'usine, pour toute la gamme des débits turbinés. Le niveau amont de la retenue est compris entre la cote minimale d'exploitation (520 NGG) et la cote de retenue normale (545 NGG).

Une vanne de garde, implantée à l'amont de chaque pertuis assure en cas d'incident la coupure en eau vive sous l'action de son propre poids, des débits turbinés. La manœuvre de la vanne peut être dans ce cas commandée à distance depuis l'usine.

En cas de problème détecté sur les ouvrages d'amenée, la fermeture de la vanne de garde permet, après vidange du circuit, d'effectuer des visites d'inspection des conduites forcées et de réaliser éventuellement les réparations nécessaires qui s'imposeraient.

En amont de la vanne de garde, la coupure du circuit d'amenée par batardeau permet, quel que soit le niveau de la retenue amont, l'accès au servomoteur et à la vanne wagon, pour toute inspection ou intervention qui s'avèrerait nécessaire.

Les dispositions générales de l'ouvrage de prise sont illustrées sur les plans *KTB-II2-UP-PC-001 et 002*.

A5.2.2 Description détaillée de l'ouvrage de prise

A5.2.2.1 Entonnement amont

Chaque prise est constituée d'un pertuis amont d'entonnement de 14,45 m de largeur et 9,65 m de hauteur, avec un fruit de 0,12 H / 1 V. Le niveau de seuil des prises est à la cote 505 NGG. Au centre des pertuis, deux poteaux profilés en béton armé, de 0,85m d'épaisseur chacun assurent des appuis intermédiaires pour les grilles de protection.

A5.2.2.2 Grilles

La solution retenue de grilles fixes (mais démontables), nettoyées à l'aide d'un dégrilleur permet une plus grande souplesse d'exploitation que la variante avec grilles relevables qui imposerait l'arrêt complet du groupe lors des phases d'entretien.

Les grilles reposent également sur des appuis intermédiaires constitués par deux entretoises profilées en béton, régulièrement espacées dans le sens de la hauteur.

Le débit nominal passant dans chacune des 12 grilles est de 33,33 m³/s en supposant un écoulement uniforme.

La surface de passage, déterminée par la hauteur de 10,00 m et la largeur de 3,80 m, est de 38 m² et la surface libre, compte tenu d'un encombrement estimé à 17 %, est de 31,16 m². La vitesse de l'eau est alors de 1,05 m/s et les pertes de charges sont de l'ordre de 1,5 cm.

L'ouvrage de prise d'eau usinière devra être équipé d'un dispositif de mesure automatique de perte de charge, signalant la nécessité d'une opération de dégrillage dès que les valeurs enregistrées dépassent le seuil de 10 cm, et pouvant arrêter les turbines lorsque les pertes de charges atteignent une limite à définir par le Constructeur.

La forme des barreaux devra permettre un moment d'inertie élevé tout en réduisant les pertes de charge. Elle sera définie par le constructeur. Nous avons retenu une épaisseur de barreau de 10 mm pour une longueur de barreau de 100 mm, égale à l'espacement entre deux barreaux.

Les entretoises seront de type soudées, chacune constituées par un peigne dans les évidements duquel seront placés les barreaux.

Une solution de base possible pour la protection contre la corrosion est présentée ci-après :

- Nettoyage et sablage des surfaces selon le Swedish Standard SIS 05-5900, SA 2 ½;
- Application de 2 couches primaires époxy (riche en zinc);
- Application de 3 couches de bray-epoxy.
- épaisseur totale de la couche de peinture supérieure à 400 microns.

A5.2.2.3 Portique dégrilleur

La prise d'eau est équipée d'un portique dégrilleur en extérieur, dont le rôle est de procéder à un nettoyage des douze grilles des prises d'eau du barrage, mais aussi de manœuvrer les batardeaux des prises d'eau.

Le rejet des déchets récupérés se fera dans une benne évacuée par camion. Le wagonnet et les rails associés font partie de la fourniture. La position arrêt correspond à une position haute du dégrilleur.

La marche sera semi-automatique. Sur commande, le grutier pourra à partir du bouton de démarrage "démarrage cycle automatique" mettre en fonctionnement le cycle de nettoyage qui se fera automatiquement. Le grutier pourra également, à partir du bouton de démarrage "démarrage cycle manuel" mettre en fonctionnement le cycle de nettoyage phase par phase.

Le portique dégrilleur se déplacera latéralement le long du barrage à la côte 551,50 NGG sur une distance d'environ 75 m couvrant les quatre prises d'eau. La hauteur à dégriller est de 10,00 m sur une largeur de 3,80 m, avec un angle d'inclinaison de 0.12 (H) /1 (V). La hauteur des palées est de l'ordre de 50 m, car la cote du seuil de la prise est à 503,25 NGG.

Le poids d'un élément de batardeau à manoeuvrer est d'environ 25 tonnes, pour une hauteur de 2,85 m.

A5.2.2.4 Vannes de tête

La prise d'eau est équipée de quatre vannes de tête identiques pouvant couper l'alimentation des quatre groupes de l'usine.

Ces vannes de tête sont du type vanne wagon, implantées immédiatement à l'aval du batardeau correspondant. Leur dimension est de 6 m (L) x 6 m (H).

Un système d'aération en aval de chaque vanne est prévu avec une sortie au-dessus du niveau des plus hautes eaux du barrage avec un diamètre équivalent de 1 m environ. Cette disposition devra être confirmée lors des études de fabrication.

Elles seront manoeuvrées au moyen de brimbales, avec un servomoteur en partie supérieure situé à la côte 551,50 NGG. Le local du vérin est équipé d'un drainage renvoyant les fuites vers l'aval du barrage. Les vannes devront fermer sous leur propre poids sans apport d'énergie extérieure.

Les vannes de tête ne seront pas manoeuvrées pendant les séquences de démarrage et d'arrêt des groupes ; le distributeur de la turbine jouant le rôle d'organe de coupure. Elles seront toujours en position ouverte sauf lors de maintenance. Elles seront associées à un dispositif de surveillance de survitesse en conduite et au contrôle commande central comme organe de sécurité ultime du groupe.

Les vannes devront résister, en nominal, à la pression maximale correspondant au niveau amont des plus hautes eaux (549,40 NGG) et aux conditions sismiques du site. Le seuil des vannes est situé à la cote 505,0 NGG.

Les vannes seront dimensionnées pour couper le débit gueule bée (rupture de la conduite) estimée à 240 m³/s.

Le poids propre d'une vanne est estimé à 51 tonnes, et celui de parties fixes est estimé à 17 tonnes.

Les vitesses de manoeuvre de chaque vanne sont de 2 m/min dans le cas d'une séquence d'ouverture / fermeture normale, 7 m/min dans le cas d'une fermeture d'urgence avec une vitesse plus faible en fin de fermeture à 0,5 m/min pour éviter un choc.

Chaque vanne sera constituée par:

- un tablier;
- des pièces fixes;
- un organe de manœuvre commun;
- un appareillage de contrôle et de sécurité;
- des accessoires.

A5.2.2.5 Batardeau de la prise d'eau

Le batardeau, qui permettra l'isolement du circuit hydraulique d'un groupe lors des opérations de maintenance, sera placé dans des rainures situées immédiatement à l'amont de la vanne de tête. La surface obturée pour chacune des quatre prises d'eau est de 5,70 m x 5,70 m, soit 32,49 m²/par prise d'eau à obturer. Un seul batardeau formé de 2 éléments est prévu.

Les 2 éléments seront stockés au niveau du barrage à la côte 551,50 NGG.

Le batardeau devra résister, en nominal, à la pression maximale correspondant au niveau amont des plus hautes eaux (549,40 NGG) et aux conditions sismiques du site. Le seuil des vannes est situé à la côte 505,00 NGG.

Leur dimensionnement obéira à la norme DIN 19704 – 1998.

La manœuvre se fera toujours en eaux équilibrées. Pour se faire, un by-pass sera installé dans le corps de la vanne batardeau.

Le batardeau sera constitué par:

- un tablier en 2 éléments;
- des pièces fixes;
- une suspension;
- un organe de manœuvre commun;
- des accessoires.

A5.3 CONDUITES FORCEES

Le circuit d'amenée à l'usine est composé de trois tronçons indépendants, essentiellement constitués de blindages et de conduites forcées, reliant chacun un plot de l'ouvrage de prise à une des turbines de la centrale hydroélectrique. Une coupe type longitudinale du circuit d'amenée est présentée sur le plan KTB-II-2-UP-AM-003.

Le blindage débute immédiatement à l'aval de la vanne de garde de l'ouvrage de prise, par un élément de transition permettant le passage d'une section carré de 5,70 m de largeur et 5,70 m de hauteur, à une section circulaire de 5,70 m de diamètre.

L'axe horizontal de la conduite forcé, situé à la cote 507.85 NGG. A la sortie corps de l'ouvrage de prise, il plonge, à travers un coude, à 0,86 (H) / 1 (V), le long du fruit du parement aval du barrage pour atteindre le niveau 454,00 NGG correspondant à l'axe des turbines. Un second coude en partie inférieure permet de redresser l'axe des conduites forcées à l'horizontale, avant leur jonction avec les groupes à travers un diaphragme.

La distance horizontale entre l'axe des rainures de la vanne de garde amont et l'axe de la turbine aval s'élève à 105 m.

Au niveau du coude supérieur, les conduites sont entièrement entourées de béton massif. Sur le parement aval elles reposent sur des appuis discontinus.

A partir de la cote 474 NGG correspondant au niveau de la plateforme de l'usine, elles sont entièrement enrobées de béton. Cette disposition permet la reprise des efforts de poussées de remblais, par la seule structure en béton, et de protéger ainsi les conduites contre les phénomènes de corrosion pouvant apparaître dans cette partie d'ouvrage.

Compte tenu de la faible longueur du circuit hydraulique, l'option d'une vanne de pied à l'entrée des turbines n'a pas été retenue. La fermeture du circuit hydraulique est assurée par la manœuvre de la vanne wagon de garde, implantée dans l'ouvrage de prise.

A5.4 OUVRAGE DE RESTITUTION

A5.4.1 Généralités

La fonction principale de l'ouvrage de vidange est de permettre une restitution aval suffisante des débits en phase d'étiage et satisfaisante aux conditions de soutien d'étiage à Manantali. Le débit à garantir à Manantali est de l'ordre de 80 m³/s, à ajouter au débit réservé de 10 m³/s.

La section de l'ouvrage permet de faire transiter un débit de l'ordre de 200 m³/s avec une charge amont équivalente à un plan d'eau au niveau minimum d'exploitation (520 NGG).

Les dispositions générales de l'ouvrage de restitution sont illustrées sur les plans *KTB-II2-VF-PR-001* à *003*.

A5.4.2 Description détaillée de l'ouvrage de vidange

A5.4.2.1 La vanne d'arrêt

La vanne d'arrêt est de type vanne wagon sous carter, localisée à l'aval du conduit blindé de vidange. Ses dimensions sont de 3,50 m de haut sur 3,25 m de large.

Elle sera manœuvrée par un vérin simple effet situé à la cote 477.20 NGG. La vanne devra pouvoir fermer sous son propre poids sans apport d'énergie extérieure.

La vanne sera toujours en position fermée sauf lors de manœuvre de vidange.

Elle permettra par ailleurs d'isoler l'ouvrage de restitution lors des opérations d'inspection et de maintenance de la vanne de réglage.

La vanne devra résister, en nominal, à la pression maximale correspondant au niveau amont des plus hautes eaux (549,40 NGG) et aux conditions sismiques du site. Le seuil de la vanne est situé à la cote 468,50 NGG.

La vanne sera dimensionnée pour permettre la coupure du débit à gueule bée avec un niveau amont du réservoir aux plus hautes eaux. Son dimensionnement obéira à la norme DIN 19704 – 1998.

Le poids propre de la vanne est estimé à 22 tonnes, et celui des parties fixes est de 7 tonnes.

Chaque vanne sera constituée par:

- un tablier;
- des pièces fixes;
- un organe de manœuvre commun;
- un appareillage de contrôle et de sécurité;
- des accessoires.

A5.4.2.2 La vanne de réglage

La vanne de réglage est du type vanne segment, localisée à l'extrémité aval de la conduite blindée de vidange. Sa dimension est de 2,50 (L) sur 3,00 m (H).

Elle sera manœuvrée par un vérin double effet situé à la côte 477,50 NGG.

De par son fonctionnement, la vanne pourra être en position intermédiaire pendant une durée indéterminée.

La vanne devra résister, en nominal, à la pression maximale correspondant au niveau amont des plus hautes eaux (549,40 NGG) et aux conditions sismiques du site. Le seuil des vannes est situé à la côte 468,50 m. Son dimensionnement sera conforme à la norme DIN 19704 – 1998.

Le poids propre de la vanne est estimé à 10 tonnes, et celui des parties fixes est de 6 tonnes.

Les vitesses de manœuvre de la vanne segment sont de 1 m/min dans le cas d'une séquence d'ouverture / fermeture avec une pente plus faible en fin de fermeture à 0,25 m/min pour éviter un choc.

Chaque vanne sera constituée par:

- un tablier, bras et articulations;
- des pièces fixes :
- un organe de manœuvre et centrale oléohydraulique;
- un appareillage de contrôle et de sécurité;
- des accessoires.

A5.4.2.3 Batardeau de l'ouvrage de restitution

Le batardeau, qui permettra l'isolement du conduit de vidange, sera placé dans des rainures situées en tête du conduit. La surface obturée est de 2,50 m x 3,50 m, soit 32,49 m².

Le batardeau sera formé d'un seul élément. Celui-ci sera stocké au niveau du barrage à la côte 551,50 NGG.

Le seuil des vannes est situé à la côte 468.50 NGG.

Le batardeau devra résister, en nominal, à la pression maximale correspondant au niveau amont des plus hautes eaux (549,40 NGG) et aux conditions sismiques du site. Son dimensionnement obéira à la norme DIN 19704 – 1998.

La manœuvre se fera toujours en eaux équilibrées. Pour se faire, un by-pass sera installé dans le corps de la vanne batardeau.

Chaque batardeau sera constitué par:

- un tablier en 1 élément;
- des pièces fixes;
- une suspension;
- un organe de manœuvre commun;
- des accessoires.

A5.5 BATARDEAUX AVAL DE L'USINE

A5.5.1 Description générale

Les batardeaux aval, qui permettront l'isolement du circuit hydraulique d'un groupe par rapport à la restitution aval, lors de la maintenance, seront placés dans des rainures situées immédiatement à l'aval des diffuseurs des turbines. Pour chacun des deux pertuis de chaque groupe, la surface obturée est de 5,50 x 6,20 m, soit 34.10 m² pour chacun des huit pertuis.

Chaque batardeau sera manœuvrée en eaux équilibrées et sera constitué par:

- un tablier en 2 éléments;
- des pièces fixes;
- une suspension;
- un organe de manœuvre commun;
- des accessoires.

La manœuvre se fera toujours en eaux équilibrées. Pour se faire, un by-pass sera installé dans le corps de la vanne batardeau.

Il est prévu quatre éléments, notamment la quantité nécessaire pour pouvoir isoler en même un seul groupe, en cas d'opération d'inspection ou de maintenance. Les quatre éléments seront stockés dans quatre rainures de batardeaux, en partie supérieure.

A5.5.2 Tablier

Le tablier sera divisé en 2 éléments de 3,45 m de haut chacun et 6,50 m de large. Chaque élément du tablier sera constitué par une tôle de bordé dûment renforcé par des poutrelles qui s'appuient sur des poutres horizontales. Celles-ci viennent décharger sur des têtiers avec des plats en laiton pour transmettre les charges aux pièces fixes. Dans l'élément supérieur, il y aura un clapet qui sera manœuvré par la suspension afin d'équilibrer les pressions, lorsque l'on voudra lever le batardeau en place.

Les profilés et tôles d'acier seront au moins de la qualité E24-2. L'étanchéité sera en amont sur les bords latéral et inférieur de chaque élément et sur le bord supérieur de l'élément supérieur.

L'étanchéité latérale sera constituée par un joint en caoutchouc synthétique type note de musique de quatre pouces et 60°/65° de dureté Shore, tandis que les étanchéités inférieures sera de type plat. L'étanchéité sera fixée par des boulons en acier inoxydable du type AISI 410.

A5.5.3 Pièces fixes

Les pièces fixes qui servent d'appui et guidage du tablier doivent constituer une structure rigide convenablement adaptée à leur destination. Elles seront composées de:

- un seuil d'appui;
- des poutres à glissement latérales qui transmettent au béton les charges reçues par les têtiers;
- une poutre d'appui frontale correspondant à la position de fermeture du tablier;
- guidages latéraux jusqu'à la plate-forme de manœuvre.

La zone de poutres à glissement en contact avec les plats en laiton des têtiers du tablier, sera revêtue par de l'acier inoxydable du type AISI 410 avec 6 mm d'épaisseur minimum.

Les zones des pièces fixes en contact avec les étanchéités seront revêtues d'acier inoxydable du type AISI 304 avec 3 mm d'épaisseur minimum.

La fixation des pièces fixes aux maçonneries de 1ère phase doit être faite avec des ancrages et boulonneries, de façon à permettre un réglage convenable.

La pression spécifique sur le béton ne doit pas être supérieure à 6 MPa.

A5.5.4 Suspension

L'ensemble de la suspension de la vanne aura une élingue qui devra permettre la descente des éléments du tablier et de les remonter jusqu'à la plate-forme. La suspension sera constituée par:

- un palonnier;
- un jeu d'axes en acier inoxydable du type AISI 410 pour stocker le second élément dans les rainures de batardeau de chaque groupe.

La suspension permettra d'ouvrir et fermer le clapet pour faire l'équilibrage des pressions.

A5.5.5 Organe de manœuvre

L'organe de manœuvre est constitué par un portique qui se déplace sur des rails situés sur la plateforme aval à la côte 474 NGG et aura une hauteur de 7,25 m.

La longueur des rails sera de 90 m environ et la capacité du palan est de 20 tonnes. La course du palan sera de 34,00 m environ.

A5.5.6 Accessoires

Les accessoires seront constitués par:

- un ensemble de poutres de calage pour le tablier et la suspension;
- éléments métalliques pour les couvercles et bordures du puits.

Les batardeaux devront résister, en nominal, à la pression maximale correspondant au niveau aval de crue de projet (469,60 NGG) et exceptionnellement au niveau des plus hautes eaux aval (470,90 NGG). Leur dimensionnement sera conforme à la norme DIN 19704 – 1998.

Le dispositif de nettoyage des seuils par air comprimé fait également partie de la fourniture.

La manœuvre se faisant toujours en eaux équilibrées, le batardeau sera muni d'une vanne d'équilibrage.

Chaque rainure de batardeau (6 rainures) aura les dispositifs de calage nécessaires à la manœuvre et au stockage de l'élément inférieur.

SOMMAIRE DU CHAPITRE A6

USINE – DESCRIPTIF DES EQUIPEMENTS MECANIQUES ET ELECTRIQUES DE L'USINE

CHAPITRE A6	1
A6.1 INTRODUCTION	1
A6.2 TURBINES ET REGULATEURS DE VITESSE	1
A6.2.1 Turbines	1
A6.2.1.1 Caractéristiques de la chute	1
A6.2.1.2 Paramètres de définition de la turbine	2
A6.2.2 Régulateurs de vitesse	5
A6.3 ALTERNATEURS ET SYSTEMES D'EXCITATION	6
A6.3.1 Description générale	6
A6.3.2 Description détaillée	7
A6.3.2.1 Caractéristiques nominales	7
A6.3.2.2 Echauffements	8
A6.3.2.3 Caractéristiques mécaniques de l'alternateur	8
A6.3.2.4 Caractéristiques électriques	9
A6.3.2.5 Particularités	9
A6.3.2.6 Stator	9
A6.3.2.7 Rotor	10
A6.3.2.8 Pivot et paliers	11
A6.3.2.9 Réchauffage	12
A6.3.2.10 Ventilation et refroidissement	12
A6.3.2.11 Freinage	15
A6.3.2.12 Pièces de rechange	15
A6.3.2.13 Garanties de fonctionnement	16
A6.3.3 Système d'excitation et de régulation de tension	17
A6.3.3.1 Généralités	17
A6.3.3.2 Constitution du système d'excitation	17
A6.3.3.3 Spécifications fonctionnelles	18

Avant-Projet Détaillé

Chapitre A6 – Descriptif de l'Usine – Equipements Mécaniques et Electriques

A6.3.3.4	Conditions de dimensionnement et caractéristiques techniques	21
A6.3.3.5	Spécifications techniques	22

CHAPITRE A6

USINE – DESCRIPTIF DES EQUIPEMENTS MECANIKES ET ELECTRIQUES DE L'USINE

A6.1 INTRODUCTION

Le présent chapitre décrit les équipements de production hydroélectrique de l'usine de KOUKOUTAMBA. Le bâtiment de l'usine de 111 m de long et 47 m de large est situé au pied aval du barrage. Ce bâtiment de 7 étages est fondé sur environ 25 m de profondeur dans le rocher sain.

Ce chapitre décrit de manière détaillée les équipements de production d'énergie, à savoir les turbines et leurs régulateurs de vitesse, ainsi que les alternateurs et leurs systèmes d'excitation et de régulation de tension.

A6.2 TURBINES ET REGULATEURS DE VITESSE

A6.2.1 Turbines

A6.2.1.1 *Caractéristiques de la chute*

Le débit d'équipement de l'usine est de 400m³/s.

Les quatre turbines des groupes turbines-alternateurs de l'usine sont de type Francis, de débit unitaire 100m³/s.

Les turbines peuvent fonctionner aux conditions suivantes:

- Niveau de retenue normale, RN : 545,00
- Niveau de retenue minimal d'exploitation, MinEx : 520,00
- Niveaux aval de restitution :
 - tous les groupes à l'arrêt : 458,58m
 - 1 groupe en service : 459,80m
 - 4 groupes en service : 460,80m
- Plus hautes eaux amont, PHE : 549,40m
- Plus hautes eaux aval, crue 10 000ans: 469,60m

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A6 – Descriptif de l'Usine – Equipements Mécaniques et Electriques

- Hauteurs extrêmes de chute brute: de 60,20m à 88,60m.
- Hauteurs extrêmes normales de chute brute: de 60,20m à 84,20m.
- Hauteurs extrêmes normales de chute nette : de 59,70m à 83,70m,
- Hauteur de chute nette moyenne $541,30 - 460,80 - 0,50 = 80,00m$.

Les caractéristiques principales des turbines sont indiquées dans le tableau suivant :

Tableau A6. 1 – Caractéristiques principales des turbines

Puissance maximale turbine	75 MW
Débit nominal turbine	100 m ³ /s
Hauteur chute nette maximale	84,70 m
Hauteur de chute nette nominale	83,70 m
Hauteur de chute nette optimale	80,00 m
Hauteur de chute nette minimale	58,90 m
Vitesse de rotation	214,8 tr/min

Pour rappel, la chute brute correspond à la différence des niveaux amont et aval, et la chute nette correspond à la chute brute moins les pertes de charges.

A6.2.1.2 Paramètres de définition de la turbine

Compte tenu des valeurs des paramètres nominaux débit et chute, les caractéristiques de la turbine sont définis, tel qu'indiqué ci-après.

L'optimum de la vitesse de rotation est obtenu pour des vitesses de rotation comprises entre de 214,3 tr/min et 230,8 tr/min, correspondant respectivement à des alternateurs synchrones de 24 pôles et de 26 pôles.

La vitesse choisie en définitive est de 214,3 tr/min, vitesse qui est la plus proche de l'optimum et qui permet de limiter l'enfoncement des turbines et donc les excavations de génie civil de l'usine.

Pour cette valeur, les principaux paramètres de la turbine sont celles du tableau suivant :

Tableau A6. 2 – Principaux paramètres des turbines

Vitesse de rotation	214,3 tr/min
Vitesse d'emballlement à charge maximum	396 tr/min
Diamètre de la roue turbine	3413 mm
En foncement de la roue	4,5m, ce qui correspond à une cote de 454 m
Poussée hydraulique	176 tonnes
Poids de la roue et de l'arbre	45,6 tonnes
Hauteur du distributeur :	0,97 m
Diamètre du cercle de vannage	3,914 m

Les éléments principaux composant les turbines sont les suivants :

➤ Pièces fixes :

La bêche spirale,
L'avant-distributeur,
L'aspirateur,
Les flasques inférieur et supérieur,
Le palier guide turbine.

➤ Pièces mobiles :

Les directrices,
Le cercle de vannage et ses servomoteurs,
La roue Francis et son arbre.

A6.2.1.2.1 Pièces fixes

La bêche spirale, l'avant distributeur et l'aspirateur sont les pièces fixes et bétonnées de la turbine. La bêche spirale est construite de plaques d'acier soudées pour former la volute qui distribue l'eau autour de la roue. La bêche est conçue selon les normes des réservoirs sous pression de l'ASTM et peut résister à la pleine charge hydrostatique augmentée de la surpression provoquée par la fermeture rapide en arrêt d'urgence du groupe.

L'avant-distributeur est un ensemble mécano-soudé et usiné qui permet de fixer solidement les flasques inférieur et supérieur.

L'aspirateur du groupe est du type coudé avec 2 pertuis. Un trou d'homme permet d'accéder sous la roue pour les inspections et réparations ne nécessitant pas le démontage de la roue.

Les flasques inférieure et supérieure et le palier guide sont les parties fixes, mais amovibles de la turbine. Les flasques servent de support pour les directrices et doivent être dimensionnés pour résister aux efforts transmis par celles-ci. Les flasques sont réalisées en acier noir recouvert d'acier inoxydable sur les surfaces en contact avec l'eau. Une pièce d'usure en fonte est boulonnée sur chaque flasque vis-à-vis de la roue. Les flasques sont boulonnées à l'avant distributeur. La flasque supérieure sert aussi de support du cercle de vannage. La flasque supérieure reprend par ailleurs les charges du palier guides, du joint d'étanchéité de l'arbre et du cercle de vannage. Il doit être possible de le démonter sans enlever l'arbre de la turbine.

Le palier de la turbine est placé dans une cuve à huile qui assure la lubrification.

Les turbines sont par ailleurs équipées d'un distributeur réglé.

Par ailleurs un trou d'homme prévu dans le cône permet l'inspection visuelle annuelle de la partie inférieure de la roue.

Un palan permettra d'amener la roue sur un chariot permettant d'accéder à une zone où le crochet du pont roulant peut accéder par des trappes.

➤ Distributeur

Outre la fonction de régulation de vitesse, le distributeur doit permettre une fermeture du débit en cas de disjonction électrique. La fermeture est assurée par les servomoteurs qui sont asservis au régulateur celui-ci sera défini pour assurer une fermeture non linéaire à deux pentes de façon à limiter les surpressions tout en évitant les survitesses supérieures à 40% de la vitesse nominale, soit 300tr/min.

A6.2.1.2.2 *Pièces mobiles de la turbine :*

Les directrices, le cercle de vannage, les servomoteurs ainsi que la roue et l'arbre sont les pièces mobiles de la turbine.

Les directrices servent à contrôler le débit d'eau entrant dans la roue de la turbine. Elles sont fabriquées en acier inoxydable et sont usinées de façon à obtenir l'étanchéité en position fermée. Les tourillons des directrices sont montés sur des paliers en matériaux autolubrifiants. La forme des directrices est étudiée pour avoir une tendance naturelle à fermer jusqu'à la marche à vide. Les directrices sont actionnées par un système de bielles et de biellettes mues par le cercle de vannage. Ce dernier est actionné par les servomoteurs et repose sur le flasque supérieur. Des goupilles de sécurité sont placées dans les leviers pour protéger les directrices en cas de blocage. Deux servomoteurs sont prévus pour actionner le cercle de vannage. La vitesse d'ouverture et de fermeture est déterminée suite à une étude hydraulique de la totalité du chemin d'eau afin de limiter la surpression et la survitesse en cas de disjonction du réseau électrique.

L'arbre est fabriqué en acier inoxydable et en deux parties pour permettre le démontage de la roue par la partie supérieure, sans démonter le générateur.

La roue est réalisée en acier inoxydable à haute résistance.

A6.2.1.2.3 *Maintenance et démontage de la roue*

Le démontage de la roue est prévu par la partie intermédiaire en démontant l'arbre. L'avantage de cette disposition est de permettre une intervention de maintenance plus rapide que pour un démontage par le haut et évite d'évider le béton du puits turbine, comme cela est nécessaire dans le cas d'un démontage par le bas. Un trou d'homme est prévu dans le haut de la bache spirale pour accéder à l'intérieur lorsque la bache est dénoyée.

Par ailleurs un trou d'homme dans le cône de l'aspirateur permet un examen visuel régulier et des opérations de recharge ne nécessitant pas le démontage de la roue.

A6.2.2 Régulateurs de vitesse

Un régulateur de vitesse électronique surveille et commande la machine. Ce régulateur est asservi à plusieurs paramètres :

- La régulation de la vitesse pour maintenir le réseau à 50Hz. (régulation primaire)
- La stabilisation du réseau électrique : (régulation secondaire).
- L'ajustement de la puissance à l'objectif fixé par le dispatching. (régulation tertiaire)
- Par ailleurs, le régulateur assure la protection de la turbine en cas de disjonction du réseau électrique.

Enfin, le régulateur assure la fermeture programmée du groupe.

Le régulateur de vitesse électronique permettra d'assurer une courbe de fermeture linéaire à deux pentes ajustables en fonction des calculs du chemin d'eau.

Le système de régulation de vitesse comprend :

- Le régulateur électronique
- La centrale à huile comprenant un réservoir de récupération, deux pompes et un réservoir oléopneumatique maintenu en pression par de l'air comprimé à 64 bars.

A6.3 ALTERNATEURS ET SYSTEMES D'EXCITATION

A6.3.1 Description générale

L'usine de KOUKOUTAMBA sera équipée de quatre alternateurs identiques dont la puissance nominale 86,5 MVA est liée à la puissance maximale à l'arbre des turbines, soit 73 500 kW avec un facteur de puissance de 0,85. Les alternateurs seront à axe vertical et prévus pour un accouplement direct aux turbines Francis au moyen d'un arbre. La disposition retenue des alternateurs est de type parapluie avec pivot sous le rotor

Les alternateurs à courant triphasé de fréquence 50 Hz, débiteront sous une tension de 13,8 kV.

Le refroidissement sera assuré par ventilation en circuit fermé d'air au travers de six échangeurs air / eau refroidis par circulation d'eau de refroidissement. Un des six échangeurs sera considéré comme secours.

Les paliers alternateurs seront à coussinets auto - lubrifiés. Le pivot sera de type à patins oscillants

Les cotes d'installation des alternateurs sont indiquées dans les plans-guides du projet.

Le contrôle de tension sera assuré par l'installation de régulation de tension de l'alternateur.

Le système d'excitation, installé dans l'armoire d'excitation, sera du type statique à thyristors alimenté en courant continu à partir d'un transformateur d'excitation raccordé aux bornes de sorties phases de la machine et fonctionnant en soutirage du groupe.

Il sera contrôlé numériquement par microprocesseur, avec capacité d'auto diagnostic en et hors ligne, d'auto étalonnage, et de vérification de chaque composant et programme.

Chaque alternateur comprend, notamment:

- le stator complet avec carcasse, enroulements, radiateurs, bornes de sortie phases et point neutre, plaques d'appui machine, y compris ancrages;
- le rotor complet, y compris la roue polaire;
- le palier guide supérieur et le pivot-palier guide inférieur, y compris le système de circulation, filtration et refroidissement de l'huile ;
- les échangeurs thermiques air-eau, y compris les vannes d'isolement de chaque élément et les tuyauteries attenantes à l'alternateur (dans le cas du système classique);
- les résistances de réchauffage;
- l'appareillage de contrôle et sécurité et toutes les liaisons électriques nécessaires;
- les deux coffrets des bornes de l'enroulement statorique (phases et neutre), le coffret des bornes des circuits de contrôle et sécurité, le coffret des bornes du circuit des résistances de chauffage et toutes les brides des tuyaux d'eau et d'huile;
- les tuyauteries nécessaires d'huile et d'eau de toute sorte;
- les huiles et graisses de premier remplissage ;
- la plaque signalétique de l'alternateur et des Installations.

A6.3.2 Description détaillée

A6.3.2.1 Caractéristiques nominales

Les caractéristiques principales des alternateurs sont les suivantes:

- Tension nominale envisagée	13,8	kV
- Fréquence	50	Hz
- Variation de fréquence du réseau	± 5	%
- Puissance nominale active	73,5	MW
- Puissance nominale apparente	86,5	MVA
- Facteur de puissance nominal	0,85	
- Vitesse de rotation envisagée	214,3	tr/min

La variation de tension maximale à la puissance apparente nominale sera d'au moins $\pm 10\%$ de la tension nominale.

La puissance apparente indiquée est entendue comme la valeur de la puissance que l'alternateur devra fournir en service continu sous un facteur de puissance de 0,85. Cette puissance nominale sera valable aussi dans les bandes de variation de la tension et de la fréquence indiquées.

A6.3.2.2 Echauffements

Les limites d'échauffements des différentes parties des alternateurs et de ses dispositifs auxiliaires seront celles définies dans la publication CEI 60034-1 pour une classe d'isolation B dans le régime de marche le plus défavorable.

Ces échauffements seront fondés sur une température maximale de l'air de refroidissement de 40°C. La température de l'air en entrée d'échangeur sera limitée à 70°C maximum quelle que soit la charge, nominale ou surpuissance.

Les alternateurs devront être conçus pour fonctionner sous conditions de surcharges temporaires pour des températures d'air de refroidissement inférieures au maximum de 40°C indiqué ci-dessus.

A6.3.2.3 Caractéristiques mécaniques de l'alternateur

Les caractéristiques principales auront comme référence:

-	Vitesse nominale envisagée	214,3	tr/min
-	Vitesse d'emballement, donnée par la turbine	396	tr/min
-	Forme de construction	IM	82253
-	Degré de protection	IP	23
-	Type de refroidissement	IC	01

Les contraintes spécifiques des parties tournantes, dans l'hypothèse de marche la plus défavorable, n'excéderont pas 66% de la limite élastique des matériaux respectifs. La machine sera conçue mécaniquement pour une marche en surpuissance permanente.

La valeur exacte du moment de giration (MD^2) des parties tournantes de l'alternateur sera imposée par les conditions de réglage. Elle ne sera pas inférieure à 5000 t.m² pour l'alternateur seul.

Le niveau sonore de la machine ne devra pas dépasser les limites définies par les normes.

A6.3.2.4 Caractéristiques électriques

Les caractéristiques principales auront les ordres de grandeur suivants:

- Réactance synchrone longitudinale, X_d 100%
- Réactance transitoire longitudinale, X'_d 30%
- Réactance subtransitoire longitudinale, X''_d 22%
- Précision du régulateur de tension 0,5%

Le bobinage du stator sera connecté en étoile avec neutre mis à la terre par l'intermédiaire d'un dispositif limitant le courant de défaut à la masse à 15 A.

Aucun écart instantané entre l'onde réelle et l'onde fondamentale de tension des alternateurs ne sera supérieur à 5% de l'onde fondamentale.

Les enroulements amortisseurs devront être dimensionnés pour une charge déséquilibrée maximale de 12%, ainsi, le rapport de la composante inverse du courant à la composante directe ne dépassera pas 12%.

Le facteur harmonique téléphonique (FHT) selon la norme CEI 60034, ne doit pas dépasser 1,5%.

A6.3.2.5 Particularités

Toutes les pièces des alternateurs seront largement dimensionnées et devront travailler à un taux de fatigue normale pour les efforts développés dans toutes les hypothèses de marche.

Des couvertures de protection, grillages, etc. seront prévus pour toutes les parties tournantes ou connexions électriques exposées.

Tous les bobinages, connexions entre bobinages, etc., des alternateurs et de ses auxiliaires seront en cuivre électrolytique.

A6.3.2.6 Stator

La carcasse de l'alternateur est supportée par des plaques d'assises ancrées dans le béton secondaire.

Ces plaques d'assises sont dimensionnées pour transmettre les efforts au béton dans les conditions les plus sévères (court-circuit ou de défaut de couplage).

Le stator de chaque alternateur sera constitué par:

- une carcasse en tôles soudées;
- les plaques de fondation avec boulons;
- un circuit magnétique constitué par des segments de tôles au silicium à très faibles pertes, isolées et pressées entre deux plateaux d'extrémité. L'ensemble sera subdivisé en paquets élémentaires par des intercalaires de ventilation assurant un refroidissement efficace des parties actives.
- un bobinage avec isolation classe F suivant la publication CEI 60085;
- les dispositifs de contrôle et sécurité suivants:
 - o sondes (Pt100) par phase pour la mesure de la température du bobinage, sondes (Pt100) réparties autour du fer, pour la mesure de la température du circuit magnétique.
 - o Mesure de décharges partielles sur chaque alternateur sans immobilisation

A6.3.2.7 Rotor

Le rotor sera constitué par:

- un arbre creux en acier forgé d'une seule pièce; largement dimensionné pour tenir compte de tous les efforts possibles, soit en régime stabilisé soit en régime transitoire (démarrage, arrêt, variation de charge et déclenchement).
- des pôles construits de façon à réduire au maximum les pertes supplémentaires de surface dues principalement au flux de pulsations d'encoches.
- une jante polaire soudée à l'arbre;
- les noyaux polaires constitués par des tôles du type feuilleté fixés sur la jante;
- le bobinage rotor en cuivre, avec isolation selon la classe F de la publication CEI 60085;
- le bobinage amortisseur dimensionnés; afin que l'alternateur puisse supporter, en permanence, un système déséquilibré de courants avec une composante inverse pas inférieure à 12% du courant assigné.

Le rotor devra être dimensionné pour supporter la vitesse maximale d'emballement de la turbine sans dommage pendant 30 minutes. Un essai d'emballement pourra être réalisé avant réception de la machine.

A6.3.2.8 Pivots et paliers

Compte tenu du diamètre de l'arbre et de la vitesse de rotation, la ligne d'arbre du groupe sera constituée de trois paliers et d'un pivot. La disposition retenue de l'alternateur sera de type parapluie avec pivot sous le rotor.

La ligne d'arbre comprendra donc un palier guide inférieur turbine, un palier intermédiaire et un palier guide au-dessus de l'alternateur ainsi qu'un pivot situé au-dessous du rotor. L'arbre sera équipé de tout système nécessaire pour empêcher les fuites d'huile ou la contamination de l'huile.

Le pivot s'appuiera sur le couvercle supérieur de la turbine par l'intermédiaire d'un cône. Il sera de type à patins oscillants indéformables sous la charge, inclinables, et la charge sera équirépartie entre les patins, l'équirépartition pouvant se faire en fonctionnement. La pression moyenne de fonctionnement sera limitée à 3 MPa.

Une injection d'huile haute pression sera prévue pour la séquence de démarrage et justifiée par le Constructeur. La variante sans injection d'huile haute pression sera présentée comme une option avec les matériaux adéquats (PTFE). Le dispositif d'injection sera constitué par des buses en bronze pour éviter d'accroître la sévérité d'un grippage.

Les paliers, le pivot et leurs circuits de refroidissement associés seront dimensionnés pour 30 minutes d'emballage sans injection d'huile et 15 minutes de fonctionnement nominal sans refroidissement.

La température de l'huile du pivot ne dépassera en aucun cas 60°C, en opération continue à pleine charge, quelle que soit la chute, et la température du métal restera inférieure de 20°C à la température critique du métal employé, sans dépasser toutefois 80°C avec la température de l'eau de refroidissement la plus chaude spécifiée, après une marche de 30 minutes à l'emballage maximal. La mesure de ces données sera prévue par le Constructeur et renvoyée sur l'armoire de contrôle de la turbine. Au moins un patin du pivot sur deux sera équipé d'une mesure de température par sonde Pt100, les débits d'huile et d'eau seront mesurés et renvoyés sur l'armoire de contrôle de la turbine.

En principe, le palier inférieur turbine et les deux paliers alternateur seront à bain d'huile, de type palier lisse auto-lubrifié, à coussinet en deux parties et isolé électriquement. Le refroidissement se fera sans circulation d'eau dans le palier turbine, avec un refroidissement extérieur au pivot et aux paliers alternateur.

Dans le cas de paliers lisses, la partie frottante des coussinets sera garnie de métal antifricction du type SnSb12Cu6Pb selon ISO 4381, soigneusement accroché au métal support. Le contrôle de l'adhérence entre le métal antifricction et le support sera effectué en conformité avec la norme ISO 4386/1. Les défauts admis seront ceux correspondants au groupe C.

La température des coussinets ne devra pas dépasser 65 °C pour toutes les conditions de fonctionnement.

Les paliers et le pivot devront supporter sans détérioration et sans altération de leur fonctionnement une marche nominale de 15 minutes sans être alimenté en huile refroidie.

Afin d'éviter les courants de circulation dans l'arbre à travers des films d'huile et la destruction des surfaces de frottement, une isolation des parties actives des paliers devra être réalisée.

La liste des appareils de mesure pour chaque palier devra comprendre, au moins :

- une sonde à résistance pour indication de la température du métal;
- deux sondes à résistance pour indication de la température de l'huile (huile chaude et huile froide);
- un thermostat pour la détection de température anormale du métal, avec deux contacts de valeur limite réglables, un pour alarme et autre pour permettre l'arrêt du groupe;
- un thermostat pour la détection de température anormale de l'huile (chaude), avec deux contacts de valeur limite réglables, un pour alarme et autre pour permettre l'arrêt du groupe;
- un contrôleur du niveau d'huile du palier.

A6.3.2.9 Réchauffage

Pour éviter les condensations lors d'arrêts prolongés, des résistances chauffantes seront prévues sous le stator.

Elles seront alimentées en courant alternatif triphasé 400V, mises en service lors de l'arrêt du groupe et déclenchées juste après l'excitation de la machine.

L'alternateur comprendra les résistances, les thermostats ou autres appareils de contrôle de la température et l'appareil de coupure général de l'installation, les fusibles ou disjoncteurs de protection des résistances et le(s) contacteur(s) de commande seront centralisés sur le tableau des auxiliaires du groupe. Sont aussi comprises les liaisons électriques entre les résistances, les thermostats et le un coffret local abritant un bornier frontière situé dans le cuvelage de l'alternateur.

A6.3.2.10 Ventilation et refroidissement

Le refroidissement de l'alternateur (du type auto ventilé) sera fait par circulation d'air en circuit fermé passant au travers d'échangeurs thermiques (aéro-réfrigérants) air-eau réfrigérés par le circuit d'eau de refroidissement.

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A6 – Descriptif de l'Usine – Equipements Mécaniques et Electriques

La circulation d'air se fait par la rotation du rotor, conçu également avec un dispositif permettant cette fonction de ventilation, qui projette l'air de l'intérieur du rotor vers l'extérieur au travers du stator et de ses radiateurs; l'air ainsi réchauffé et distribué dans l'espace du cuvelage est chassé par cette ventilation vers la partie haute sous le couvercle de l'alternateur avant de retourner vers l'intérieur du rotor pour un nouveau cycle de circulation.

Le débit d'air nécessaire pour le refroidissement à pleine puissance de l'alternateur est réparti sur six échangeurs actifs, cinq échangeurs seront suffisants pour assurer le fonctionnement à puissance nominale.

Les tuyauteries seront pourvues de l'équipement nécessaire à la protection contre l'incendie (voir Article - Protection incendie).

Le Constructeur devra spécifier les points suivants:

- description détaillée et schéma de principe de fonctionnement;
- puissance dissipée et critères de dimensionnement;
- caractéristiques techniques des matériaux proposés;
- débit d'air de refroidissement et dimensions;
- pressions et pertes de charge.

La réfrigération des alternateurs se fera sur le principe classique de la ventilation en circuit fermé avec système de réfrigération d'eau.

Le dispositif de ventilation et de refroidissement comprendra des aéro-réfrigérants placés à la périphérie du stator de l'alternateur et conçus pour permettre leur nettoyage périodique et leur entretien facile.

Les réfrigérants d'air devront avoir une surface d'échange suffisante pour que la différence de température entre l'air à la sortie et l'eau à l'entrée ne dépasse pas la valeur garantie par le constructeur, à la puissance apparente nominale et pour un encrassement normal. Ils devront avoir une capacité suffisante pour qu'à pleine charge l'alternateur puisse être refroidi d'une manière satisfaisante avec un appareil en moins.

Le matériel des tuyaux devra être adéquat à l'agressivité de l'eau. La vitesse de l'eau à l'intérieur des tubes échangeurs, si ceux-ci sont en cuivre, devra être inférieure à 1,4 m/s pour éviter l'abrasion.

L'eau de refroidissement sera fournie par le circuit général de réfrigération alimenté en circuit fermé à l'eau traitée, pour éviter un encrassement trop important et trop rapide.

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A6 – Descriptif de l'Usine – Equipements Mécaniques et Electriques

L'information de la température de l'air à la sortie des aéro-réfrigérants sera fournie au système général d'eau de réfrigération pour régulation du débit de réfrigération de l'alternateur.

Il sera prévu un dispositif permettant de collecter et d'évacuer les eaux de condensation pouvant se former sur les parois des réfrigérants ainsi qu'un dispositif sécheur, ou toute autre disposition donnant le même résultat pour assurer la siccité de l'air de réfrigération.

La ventilation des bagues collectrices devra être faite en circuit séparé, avec un système de filtrage qui retient les poussières libérées par les balais.

L'alternateur sera équipé des matériels suivants :

- vannes d'isolement à l'entrée et à la sortie de chaque échangeur et d'autres vannes que le constructeur juge utiles, notamment pour la purge et le vidange des échangeurs;
- sonde à résistance pour indication à distance de la température de l'air chaud;
- sonde à résistance pour indication à distance de la température de l'air froid;
- thermostats de contrôle de la température de l'air chaud, convenablement localisés, indépendants des détecteurs de commande de la protection contre incendie et pourvu de contacts d'alarme et de déclenchement;
- plaque de couverture pour bloquer le passage d'air lors du démontage d'un des échangeurs;
- sonde à résistance pour indication à distance de la température de l'eau à l'entrée de l'ensemble des échangeurs;
- sonde à résistance pour indication à distance de la température de l'eau à la sortie de l'ensemble des échangeurs;
- détecteur de circulation d'eau à la sortie de l'ensemble des échangeurs.

Le Constructeur devra spécifier les points suivants:

- description détaillée et schéma de principe de fonctionnement;
- type et détails de construction des échangeurs, avec indication des matériaux constituant les plusieurs parties (tuyaux, bouches de soufflage, carcasse, etc.);
- processus de démontage et de nettoyage des échangeurs;
- nombre et caractéristiques techniques des échangeurs (notamment capacité, débit d'eau de projet, pression de service et pression d'essai).

A6.3.2.11 Freinage

La partie tournante des groupes (turbine et alternateurs) à axe vertical sera équipée d'un système de freinage.

Le système de freinage devra inclure les éléments suivants:

- a. un disque installé sur l'arbre, entre la turbine et l'alternateur;
- b. les vérins de freinage agissant sur le disque;
- c. le système d'actionnement;
- d. le système de contrôle pour permettre d'arrêter les groupes seulement dans les conditions d'alternateur désexcité et distributeur de la turbine fermé, le freinage entrant en action avec une vitesse voisine de 20% de la vitesse synchrone ;
- e. un système de récupération des dégagements poudreux issus du freinage.

Le Constructeur devra présenter les éléments suivants:

- a. description détaillée et schéma de principe de l'installation;
- b. caractéristiques techniques du système de freinage;
- c. critères de dimensionnement, pressions et dimensions;
- d. vitesse maximale du groupe pour l'application des freins considérée dans le calcul de l'installation de freinage;
- e. temps maximum de freinage.

A6.3.2.12 Pièces de rechange

Chaque alternateur devra être livré avec les pièces de rechange adéquates, prêtes pour le montage, en accord avec les indications contractuelles.

Les pièces de rechange nécessaires aux systèmes d'excitation et de régulation de tension des alternateurs devront être également fournies.

A6.3.2.13 Garanties de fonctionnement

A6.3.2.13.1 Diagramme de puissance active et réactive

Le constructeur fournira les diagrammes de puissance active-réactive qui définissent les limites des domaines des fonctionnements possibles, garantis sans dépasser les échauffements admissibles. Sur ces diagrammes au moins les tensions $0,9 U_n$, U_n et $1,10 U_n$ devront être notées.

Ces diagrammes s'entendent pour une température maximale de l'air de refroidissement de $40\text{ }^\circ\text{C}$.

A6.3.2.13.2 Rendements

Le Constructeur indiquera dans la plage $\frac{1}{4}$ à $\frac{4}{4}$ de la puissance nominale et pour les facteurs de puissance 1,0 et 0,85 arrière et 0,85 avant, les pertes totales et les rendements garantis, sous forme de courbes.

A6.3.2.13.3 Vitesse d'emballlement

Le Constructeur doit garantir toutes les parties tournantes de l'alternateur capables de supporter la vitesse d'emballlement pendant trente minutes sans subir des déformations permanentes ou des dommages.

Les paliers ne doivent pas subir d'échauffements dangereux pendant la durée de l'essai éventuel d'emballlement.

A6.3.2.13.4 Marche exceptionnelle

Le Constructeur doit concevoir l'ensemble de son matériel pour permettre le fonctionnement exceptionnel de l'alternateur couplé au réseau avec une fréquence pouvant varier de 47,5 Hz à 52,5 Hz et une tension de 90 à 110 % et tenant compte du plafond de la tension d'excitation: la durée de fonctionnement aux conditions extrêmes, 47,5 Hz, 110 % de tension et 52,5 Hz, 90 % de tension, est limitée à quelques secondes, la remontée de 47,5 à 50 Hz pouvant durer quelques minutes. Le Constructeur s'engage, à l'achèvement de ses études, à indiquer les durées garanties de fonctionnement aux conditions extrêmes mentionnées ci-dessus.

A6.3.2.13.5 Equipements divers

Les équipements divers de l'alternateur comprendront les suivants :

- l'outillage complet nécessaire pour les démontages, l'entretien et montage des alternateurs;

- œillets, crochets, élingues, etc.;
- les huiles et graisses de premier remplissage;

A6.3.3 Système d'excitation et de régulation de tension

A6.3.3.1 Généralités

Le système d'excitation et de régulation de tension de l'alternateur devra permettre:

- un fonctionnement stable du groupe dans des conditions normales d'exploitation, avec une bonne qualité de réponse face à des petites perturbations extérieures, tout en maintenant l'alternateur dans les limites de fonctionnement admissibles;
- le rétablissement des conditions normales de fonctionnement, en réponse à une variation brusque et de grande amplitude (grandes perturbations) des conditions extérieures appliquées.

Le système devra assurer les fonctions principales suivantes:

- régulation de la tension de production;
- régulation du courant de champ;
- surexcitation du groupe face à des chutes importantes et brusques de la tension de production (courts-circuits proches de la machine), tout en évitant la perte de synchronisme;
- désexcitation rapide en cas de surpression brusque de charge, de façon à réduire la conséquente surélévation de tension jusqu'aux valeurs de sécurité fixées;
- désexcitation rapide avant l'ouverture du contacteur-disjoncteur de l'excitation.

A6.3.3.2 Constitution du système d'excitation

Le système d'excitation, du type statique, sera composé notamment par:

- a. trois transformateurs de puissance monophasés, pour l'alimentation des ponts redresseurs, monté en soutirage du jeu de barres MT;
- b. l'équipement de puissance: ponts redresseurs, contacteur-disjoncteur de sortie, résistance de désexcitation (décharge), dispositif de protection du rotor contre les surtensions, etc.;
- c. l'équipement de remagnétisation utilisant la tension de la batterie de 125 V de l'usine, à travers un circuit composé d'un contacteur-disjoncteur bipolaire, de commande électromagnétique, et des dispositifs de contrôle adéquats.

- d. l'équipement de régulation et commande, y compris le régulateur numérique, le générateur d'impulsions de commande des thyristors, les relais et dispositifs de protection et limitation, les relais, l'appareillage et les dispositifs auxiliaires de commande, l'équipement de mesure (sauf les transformateurs de tension et de courant connectés directement au jeu de barres), tout l'équipement nécessaire à assurer les fonctions logiques de commande et les sources d'alimentation qui leurs sont associées.
- e. l'équipement de ventilation pour assurer le refroidissement des ponts de thyristors par circulation d'air forcée, si nécessaire;
- f. les liaisons électriques internes au système, en incluant les câbles de puissance entre le transformateur et les ponts redresseurs et entre le contacteur-disjoncteur et les bornes du rotor de l'alternateur.
- g. un système suiveur permettant le transfert du réglage automatique vers le réglage manuel et vice-versa, sans variation de l'excitation de l'alternateur,
- h. un module de surveillance de la défaillance des ponts de thyristors;
- i. un jeu de module limiteur dont : angle interne, courant d'excitation, etc.;
- j. un module de détection de la perte d'excitation.

L'équipement, outre les transformateurs, sera fourni dans une armoire métallique avec des panneaux différenciés pour l'appareillage concernant la rectification, le réglage et la commande.

L'appareillage de commande et de signalisation et les indicateurs de mesure du système devront être installés sur la face avant de cette armoire; l'appareillage de commande devra être protégé par une porte.

A6.3.3.3 Spécifications fonctionnelles

Le système devra assurer trois types de service: automatique, manuel et d'essais.

A6.3.3.3.1 Service automatique

L'excitation sera contrôlée par la boucle de régulation de la tension stator, tout en assurant les fonctions suivantes:

- a. fixation de la tension de production, avec statisme en puissance réactive ou courant réactif;
- b. fixation de la valeur de référence (" consigne " de tension);
- c. positionnement préalable de la consigne sur ordre de fermeture du contacteur-disjoncteur d'excitation;
- d. stabilisation des oscillations de puissance active;

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A6 – Descriptif de l'Usine – Equipements Mécaniques et Electriques

- e. contrôle du facteur de puissance ou de puissance réactive (surimposé);
- f. limitation du maximum de courant de champ;
- g. limitation de sous-excitation;
- h. limitation du maximum de tension stator;
- i. limitation de flux U/f ;
- j. retour à zéro graduelle de la puissance réactive avant la sortie du réseau, sur ordre d'arrêt normal;
- k. désexcitation rapide, avec forçage en onduleur, avant l'ouverture du contacteur-disjoncteur d'excitation ;
- l. mise sous tension progressif de la ligne haute tension à vide ;
- m. stabilisateur de puissance (PSS).

A6.3.3.3.2 *Service manuel*

Dans ce type de service, de secours en face de tout défaut de la boucle de régulation de tension, l'excitation sera contrôlée par une boucle de régulation du courant de champ. Les fonctions suivantes devront être assurées:

- a. fixation de la valeur de référence ("consigne" de courant);
- b. positionnement préalable de la consigne sur ordre de fermeture du contacteur-disjoncteur d'excitation ;
- c. régulation du courant de champ;
- d. limitation du maximum de courant de champ;
- e. limitation du maximum de tension stator;
- f. limitation du minimum de tension stator;
- g. désexcitation rapide, avec forçage en onduleur, avant l'ouverture du contacteur-disjoncteur de l'excitation.

A6.3.3.3.3 *Service d'essais*

Il devra permettre la mise en place des essais à vide, en court-circuit ou autres; la boucle de régulation du courant de champ sera en service.

A6.3.3.3.4 *Autres fonctionnalités*

Soit en service automatique soit en service manuel, l'équipement devra faire la poursuite automatique de la " consigne " de tension et de la consigne de courant, tout en permettant le passage d'un type de service à l'autre, sans aucune perturbation, soit par action de l'opérateur soit par action forcée d'une séquence automatique; la différence entre les valeurs de sortie des deux boucles de régulation sera détectée par un dispositif qui empêchera la commutation si la différence dépasse une valeur fixée au préalable.

En service automatique, il sera possible de commander à distance la mise en service du contrôleur du facteur de puissance (ou de puissance réactive), dont les fonctions seront de régler le facteur de puissance (ou la puissance réactive) à une valeur imposée extérieurement.

Préférentiellement, le contrôleur devra aussi limiter le facteur de puissance (ou la puissance réactive) aux valeurs admissibles dans le diagramme PQ de l'alternateur.

Le service normal sera repris quand le contrôleur sera arrêté.

Les oscillations de puissance active, dues au réseau ou à la turbine, seront détectées par un dispositif stabilisateur qui agira de façon à amortir effectivement ces oscillations.

Si le premier échelon de la protection du maximum de courant de champ est déclenché, en cas de défaut, un autre dispositif déterminera automatiquement le transfert de service automatique en service manuel. Le deuxième échelon de cette protection déterminera le déclenchement du groupe.

Lorsque le régulateur détecte une chute brusque de la tension stator, son action sera de forcer le courant de champ du groupe à atteindre, momentanément, une valeur de surcharge, en imposant une tension de champ supérieure à la valeur nominale – plafond de surexcitation en tension - situation dans laquelle la limitation du maximum de courant de champ sera temporairement interdite.

Face à la suppression brusque de la charge, le système désexcitera rapidement l'alternateur pour limiter la conséquente surélévation de la tension aux bornes de la machine jusqu'aux valeurs de sécurité fixées, voire même annuler la tension, si nécessaire, soit en déchargeant l'enroulement inducteur sur la résistance de désexcitation, soit en forçant le passage au fonctionnement en onduleur du pont de thyristors ou, encore, en mélangeant ces deux actions.

L'amorçage de l'excitation et le positionnement préalable des consignes permettront une montée en tension progressive, sans surpassements des valeurs affichées et sans pointes de tension.

A6.3.3.4 Conditions de dimensionnement et caractéristiques techniques

Le système sera dimensionné pour fournir le courant de champ de l'alternateur nécessaire aux régimes de fonctionnement prévus, notamment quand l'alternateur fourni sa puissance assignée, avec facteur de puissance assigné, à la fréquence assignée 50 Hz et à 110% de la tension assignée.

Toutefois, le courant permanent de dimensionnement du système ne sera pas inférieur à 115% du courant de champ assigné de l'alternateur.

Le dimensionnement du système devra encore tenir compte du fonctionnement en marche exceptionnelle de l'alternateur.

Les températures et degrés d'humidité de l'air ambiant de la salle où l'équipement sera placé seront ceux rendus possibles par l'installation de climatisation des Auxiliaires Mécaniques de la Fourniture, augmentés ou diminués d'une marge de sécurité de 20%. Toutefois, l'équipement devra fonctionner en permanence avec une température de l'air ambiant de 40 °C.

Tout équipement devra être dimensionné pour supporter les conditions de surtension et de court-circuit qui puissent apparaître, en résultat de défauts extérieurs ou de fausses manœuvres.

Les caractéristiques du système devront satisfaire les spécifications suivantes :

Service automatique :

- plage de réglage de la " consigne " de tension: 90% à 110% de la tension assignée de l'alternateur;
- précision de la régulation de tension en régime établi: erreur égale ou inférieure à 0,5%;
- degré d'insensibilité de la régulation de tension : égal ou inférieur à 0,1%, avec courbe de réponse caractérisée par des temps de réponse courts (temps de montée et temps d'établissement);
- plage de réglage du statisme en puissance réactive (ou en courant réactif): -10% à +10%;
- précision du système de remise à zéro de la puissance réactive et détection de puissance réactive nulle: erreur égale ou inférieure à 3% de Q_n (Q_n = puissance réactive dans les conditions de fonctionnement assignées);
- vitesse de remise à zéro de la puissance réactive : égale ou supérieure à $Q_n/30s$;
- courant de plafond du système d'excitation (I_p) : égale ou supérieure à 1,6 et avec une vitesse moyenne de réponse dans les premiers 0,5 secondes, égale ou supérieure à 2,5/s, de façon à permettre la surexcitation momentanée de l'alternateur face à des chutes importantes de la tension stator (courts-circuits proches de la machine);

- durée maximale de surexcitation, par application du plafond de tension susmentionné: égale ou supérieure à 10 s.

Service manuel :

- plage de réglage de la " consigne " de courant : de 50% de I_{f_0} jusqu'à la valeur maximale admissible du courant de champ (I_{f_0} = courant d'excitation à vide, selon CEI 60034-16-1);
- précision de régulation du courant de champ en régime établi : erreur égale ou inférieure à 3%;

Service d'essai :

- plage de réglage du courant de champ et le système d'excitation alimenté en permanence à partir d'une source indépendante de l'alternateur: 0% à 110% de I_{fn} (I_{fn} = courant d'excitation assigné, selon CEI 60034-16-1)

Surtension aux bornes du stator :

Suite à un déclenchement du groupe à la puissance assignée et facteur de puissance assigné, la surtension n'attendra pas une valeur instantanée supérieure en 10% de la surtension due seulement à la réactance subtransitoire de l'alternateur; 0,5 s après le déclenchement, la surtension ne devra pas être supérieure à 110% de la tension assignée.

A6.3.3.5 Spécifications techniques

A6.3.3.5.1 Transformateur d'excitation

Les transformateurs monophasés seront du type sec habillé (indice de protection IP21) et de ventilation naturelle, construit d'accord la norme CEI 600726. Le groupe de connections des enroulements sera le plus adéquat aux fonctions et caractéristiques du système d'excitation, en évitant, notamment, l'envoi d'harmoniques sur le réseau.

Le transformateur sera équipé d'une protection thermique, avec échelons d'alarme et déclenchement.

Au-delà des critères généraux de dimensionnement le transformateur sera dimensionné pour supporter les phénomènes de saturation dus à des baisses de fréquences pendant le démarrage du groupe, pour délivrer le plafond d'excitation et pour être connecté aux ponts redresseurs, générateurs d'harmoniques et de surtensions.

A6.3.3.5.2 Ponts redresseurs

Les ponts redresseurs seront triphasés, à thyristors et de refroidissement naturel ou forcé exclusivement à l'air.

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A6 – Descriptif de l'Usine – Equipements Mécaniques et Electriques

Les thyristors seront installés dans des modules interchangeable et, préférablement, extractibles et manoeuvrables en service. Les thyristors seront individuellement protégés contre les surintensités et surtensions. Les modules en défaut seront automatiquement isolés, sans préjudice de la continuité du service, et identifiés par signalisation à la face avant de l'armoire.

Chaque pont de thyristors sera protégé contre les échauffements exagérés. Le pont en défaut sera automatiquement mis hors service sans préjudice de la continuité du service, et identifié par signalisation à la face avant de l'armoire.

La ventilation forcée des ponts sera assurée en redondance par des ventilateurs normal / secours, éventuellement individualisés par module ou par chaque ensemble de modules.

Les ponts seront protégés contre les surtensions provenant soit du côté alternatif soit du côté continu par des dispositifs adéquats, ultra-rapides. Les transitoires provenant de la commutation des thyristors devront être supprimés par des circuits adéquats.

La tension inverse admissible par les thyristors ne sera pas inférieure à 2,5 fois la tension secondaire nominale du transformateur de puissance.

A6.3.3.5.3 *Contacteur - disjoncteur et résistance de décharge*

Le contacteur-disjoncteur sera de coupure bipolaire dans l'air, avec contact pour la commande de la résistance de décharge et, au moins, six contacts auxiliaires pour information de position ou de mouvement d'ouverture/fermeture. Les contacts principaux seront équipés d'extincteurs de l'arc électrique.

Les caractéristiques du contacteur-disjoncteur, notamment son pouvoir de coupure, seront compatibles avec toutes les situations de service qui peuvent se présenter.

La commande sera du type électromagnétique, en utilisant la tension continue de 125 V, +12% (140V) ; -21%(100V).

La résistance de décharge sera du type linéaire; Elle sera dimensionnée pour atteindre l'annulation du flux du champ inducteur le plus rapidement possible.

A6.3.3.5.4 *Dispositif de protection du rotor contre les surtensions*

Le rotor de l'alternateur sera protégé contre les surtensions par une résistance connectée directement au circuit ou par l'intermédiaire des thyristors dont l'allumage est commandé par le niveau de surtension fixé. Ils ne seront pas admis des dispositifs que demandent intervention ou remplacement de matériel après décharge d'une surtension.

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A6 – Descriptif de l'Usine – Equipements Mécaniques et Electriques

Les surtensions seront limitées à des valeurs suffisamment sûres vis-à-vis des niveaux de tension d'essai du rotor et de tension inverse des thyristors.

A6.3.3.5.5 *Remagnétisation*

L'amorçage de l'excitation sera fait à partir de la batterie de 125 V de l'usine, par un circuit composé d'un contacteur-disjoncteur bipolaire, de commande électromagnétique, et des dispositifs de contrôle adéquats.

A6.3.3.5.6 *Régulateur de tension*

Le régulateur sera du type numérique programmable, d'action PID, avec statisme en puissance active et réactive, permettant une très grande vitesse et précision de réglage, sans instabilité, en assurant toutes les fonctions de régulation et de limitation spécifiées et d'autres nécessaires au fonctionnement stable et performant du groupe.

Le seuil d'insensibilité sera pratiquement nul et la précision inférieure à 0,5%.

Il possédera une boucle de régulation de la tension stator et une boucle de secours de régulation du courant de champ.

Les dispositifs de fixation des valeurs de référence ("consignes") seront d'affichage numérique, commandés par des signaux de contrôle extérieurs de plus ou moins excitation, et avec dispositif de poursuite et détecteur d'écart entre consignes.

Le contrôleur du facteur de puissance ou de puissance réactive n'affectera aucune des caractéristiques dynamiques de régulateur. La mise en service et l'arrêt du contrôleur seront imposés extérieurement par des ordres de commande transmis par des contacts libres de potentiel, en utilisant la tension de 125 Vcc.

La valeur désirée sera aussi imposée extérieurement par des trains d'impulsions ou par un signal de courant proportionnelle de 4 à 20 mA.

Le contrôleur agira, en conséquence, sur la consigne du régulateur de tension de façon à obtenir la valeur désiré du facteur de puissance ou de la puissance réactive.

Le signal de sortie du stabilisateur agira, en principe, en addition au signal de sortie de la boucle de régulation de tension.

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A6 – Descriptif de l'Usine – Equipements Mécaniques et Electriques

L'interface homme-machine du régulateur devra permettre la supervision de la régulation et la modification facile des paramètres et de la logique fonctionnelle résidente, en principe, par l'intermédiaire d'un moniteur et d'un clavier.

L'accès aux différents niveaux de l'interface sera verrouillé par des mots-clés.

L'ensemble des paramètres réglables inclura le positionnement préalable de la consigne de tension et le statisme en puissance réactive.

Le régulateur de tension sera livré avec son logiciel d'essais.

A6.3.3.5.7 *Protections électriques*

Au-delà des sécurités et des protections spécifiées ci-dessus, le système d'excitation et de régulation de tension devra être équipé de:

- protection à maximum de courant d'excitation, côté alternatif (2 échelons);
- protection à maximum de courant d'excitation (2 échelons);
- protection masse rotor (2 échelons).

Au premier échelon de chaque protection correspondra une alarme et au deuxième le déclenchement du groupe.

A6.3.3.5.8 *Contrôle commande de l'excitation*

Liaisons avec l'installation de commande-contrôle du groupe.

L'installation de commande-contrôle de l'usine délivrera au système d'excitation et de régulation de tension du groupe des ordres de commande et des indications de la position des disjoncteurs et d'autres informations nécessaires à son fonctionnement, à lister par le constructeur.

Par contre, le système délivrera à l'installation de commande et contrôle de l'usine toutes les informations nécessaires à l'automatisation des séquences de démarrage et d'arrêt du groupe, et les autres opérations de commande et contrôle à distance.

Notamment, le système devra être prévu pour accepter les commandes et fournir les informations suivantes:

- ordres de commande, sous la forme de contacts libres de potentiel, de:

Avant-Projet Détaillé

Chapitre A6 – Descriptif de l'Usine – Equipements Mécaniques et Electriques

- sélection service manuel / automatique;
- réglage de la “ consigne ” sélectionnée (“consigne” de tension ou de courant), par des impulsions de $\pm Ex$;
- enclenchement/déclenchement du contacteur - disjoncteur d'excitation, qui déclenchera l'ensemble des opérations d'excitation / désexcitation de l'alternateur, dès que les conditions de sécurité sont vérifiées;
- mise en service et arrêt du contrôleur du facteur de puissance ou de puissance réactive;
- mise en service du dispositif de remise à zéro graduelle de la puissance réactive, pendant la séquence d'arrêt normal du groupe.

Ces commandes seront transmises par des contacts libres de potentiel prévus pour 125V / 1A courant continu, L / R = 40 ms.

La commande des “consignes” sera faite par l'opérateur de l'usine à l'aide de commutateurs d'impulsion installés dans les tableaux de commande ou par téléconduite avec équipement produisant des trains d'impulsions.

La fixation de la valeur désirée du facteur de puissance ou de la puissance réactive seront transmises au régulateur par des trains d'impulsions ou par un signal analogique de courant proportionnelle de 4 à 20 mA.

Informations sous la forme de contacts libres de potentiel:

- mode de fonctionnement sélectionné (service automatique, manuel ou essai);
- discordance entre “ consignes ” de tension et courant;
- limite supérieure de la “ consigne ” sélectionnée atteint;
- limite inférieure de la “ consigne ” sélectionnée atteint;
- puissance réactive annulée;
- limitation du maximum de courant de champ activée;
- limitation de sous-excitation activée;
- limitation du maximum de tension stator activée;
- limitation du minimum de tension stator activée;
- limitation de flux activée ;
- protection de maximum de courant d'excitation, premier échelon activé;

Avant-Projet Détaillé

Chapitre A6 – Descriptif de l'Usine – Equipements Mécaniques et Electriques

- protection de maximum de courant d'excitation, deuxième échelon activée;
- protection thermique du transformateur de puissance, premier échelon activé;
- protection thermique du transformateur de puissance, deuxième échelon activé;
- informations sur les défauts dans l'équipement d'excitation et régulation de tension, avec la discrimination que l'OMVS, en tant qu'exploitant, considère la plus convenable, mais distinguant toujours les situations d'alarme des situations qui obligent au déclenchement et/ou à l'arrêt du Groupe.

Les informations concernant les situations de déclenchement devront être fournies en double, réunies en deux ensembles: un pour la signalisation, et l'autre pour les chaînes de déclenchement, groupées par des tensions différentes.

Signaux analogiques, linéaires, en courant de 4 à 20 mA, impédance du circuit de mesure 1 k Ω , pour indication à distance de:

- courant d'excitation;
- tension d'excitation.

Les circuits extérieurs de commande et de récolte d'informations devront utiliser la tension continue de 125 V de la batterie de l'usine.

Dans la partie applicable, le système d'excitation et de régulation de tension devra obéir encore à ce qui est spécifié dans d'autres chapitres, articles et annexes de ce cahier.

A6.3.3.5.9 *Armoire du système d'excitation et régulation de tension*

Cette armoire devra disposer des dispositifs pour la sélection du mode de fonctionnement du régulateur (en service automatique, service manuel ou service d'essai) et pour commander l'augmentation ou diminution de la " consigne " sélectionnée.

L'armoire d'excitation devra contenir des indicateurs de tension et courant d'excitation et des indicateurs de tension et de courant stator.

La face avant de cette armoire devra encore disposer d'un avertisseur de défauts, avec toute la discrimination pour l'identification et localisation faciles des défauts, gardant en mémoire les défauts passagers, et bouton d'effacement des défauts. Notamment, il devra disposer des signalisations suivantes:

- action de protection d'un maximum de courant sur le rotor, premier et deuxième échelons (discriminés);

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A6 – Descriptif de l'Usine – Equipements Mécaniques et Electriques

- action des protections du transformateur de puissance, premier et deuxième échelons (discriminés);
- action des protections des ponts de thyristors;
- défaut sur le système de ventilation forcée;
- défauts sur l'électronique;
- fusion de fusibles de protection;
- manque de tension d'alimentation;
- défauts sur les sources d'alimentation.

A6.3.3.5.10 *Excitation et désexcitation de l'alternateur*

La fourniture comprend la réalisation des verrouillages empêchant l'excitation du groupe avec le rotor arrêté et la désexcitation avec le disjoncteur du groupe connecté, et d'autres considérés comme convenables par le constructeur.

Le Constructeur devra indiquer les verrouillages considérés comme nécessaires et qui devront être menés au niveau de l'installation de commande du groupe.

Les caractéristiques principales des transformateurs d'excitation auront l'ordre de grandeur suivant :

- | | | |
|---|---|---------------------------------|
| - | Norme de fabrication et essais | CEI 60072-6 |
| - | Type | Monophasé sec, livré en armoire |
| - | Indice de protection de l'armoire | IP 42 |
| - | Puissance nominale, valeur estimée indicative | 400 kVA |
| - | Tensions nominales, à définir par le Constructeur | 13800 V/Uex |
| - | Classe d'isolement | F |
| - | Niveau d'isolement | 17,5 kV |
| - | Type de protection | Pastilles thermostatiques |

Valeur du courant et de la durée d'amorçage

- | | | |
|---|--------------------|-------------------------------------|
| - | Courant d'amorçage | 20% du courant d'excitation à vide. |
|---|--------------------|-------------------------------------|

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A6 – Descriptif de l'Usine – Equipements Mécaniques et Electriques

- Durée de l'amorçage 5 secondes

Caractéristiques de la régulation

- plage de réglage de la "consigne" de tension; ± 10%
- plage de réglage du statisme en puissance réactive; 10%/+20%
- vitesse de variation de la " consigne " de tension; 0.66% /s
- vitesse d'annulation de la puissance réactive Qn/30 s
- plage de réglage de la " consigne " du courant; de 20% du courant à vide à
115% du courant nominal.
- vitesse de variation de la " consigne " du courant; 3.5% / s
- plage de variation du courant en service d'essai; de 20% du courant à vide à
115% du courant nominal.
- précision de la régulation de tension; 0.5 %
- degré d'insensibilité de la régulation de tension; 0.1 %
- temps de réponse à petites perturbations; 30 ms
- précision de la détection de puissance réactive nulle 3%
- précision de régulation du courant d'excitation (service manuel); 0.5
- vitesse de réponse relative de la tension d'excitation face à
une chute importante et soudaine de la tension de production; 2.5 s-1
- surélévation de tension dans le stator de l'alternateur en cas
de déclenchement du groupe à pleine charge; 23 %
- temps de commutation de service de redresseur à onduleur; 30 ms
- plage de réglage de la limitation de sous-excitation Valeur fixe
- plage de réglage des limitations de courant et de tension Valeurs fixes

Plage des températures et degrés d'humidité de l'air ambiant pour le fonctionnement des composants électroniques;

- Plage de température de l'air ambiant 15 à 40 °C
- Plage de degré d'humidité de l'air ambiant 0% à proche de la saturation

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A6 – Descriptif de l'Usine – Equipements Mécaniques et Electriques

Plage des températures et degrés d'humidité de l'air ambiant pour le fonctionnement des circuits de puissance;

- Plage de température de l'air ambiant 15 à 40 °C
- Plage de degré d'humidité de l'air ambiant 0% à proche de la saturation

Réglage de la protection de maximum de courant d'excitation

- 120% du courant d'excitation nominal.

Indication des tensions d'isolement des entrées et sorties du régulateur électronique:

- 2500 V

Remarque : En condition exceptionnelle d'exploitation, les régulateurs de vitesse et de tension permettront aux groupes de fonctionner en réseau isolé.

SOMMAIRE DU CHAPITRE A7

DESCRIPTIF DE L'USINE - AUXILIAIRES MECANIQUES

A7.1	GENERALITES	1
A7.2	EAU BRUTE	1
	A7.2.1 Fonctionnement	2
	A7.2.2 Prescriptions minimales	2
A7.3	EAU DE REFROIDISSEMENT	2
	A7.3.1 Description	2
	A7.3.2 Fonctionnement	4
	A7.3.3 Prescriptions	4
A7.4	EAU FILTREE	5
	A7.4.1 Description	5
	A7.4.2 Fonctionnement	6
	A7.4.3 Prescriptions minimales	6
A7.5	EAU POTABLE	7
	A7.5.1 Description	7
	A7.5.2 Fonctionnement	8
	A7.5.3 Prescriptions minimales	8
A7.6	SYSTEME D'ARROSAGE DU JOINT D'ARBRE	8
	A7.6.1 Description	8
	A7.6.2 Fonctionnement	9
	A7.6.3 Prescriptions	9
A7.7	PROTECTION INCENDIE	10
	A7.7.1 Description générale	10
	A7.7.2 Installation de détection d'incendie	11

A7.7.2.1	Caractéristiques de la fourniture	11
A7.7.2.2	Extincteurs portatifs et extinction modulaire	11
A7.7.2.3	Protection contre l'incendie des alternateurs	12
A7.7.2.4	Protection contre l'incendie par eau pulvérisée	14
A7.7.2.5	Prescriptions minimales pour le circuit d'incendie	17
A7.8	DRAINAGE DES EAUX CLAIRES	18
A7.9	DRAINAGE DES EAUX HUILEUSES	18
A7.10	DRAINAGE DES EAUX USEES	19
A7.11	VIDANGE ET REMPLISSAGE DES GROUPES	19
A7.12	MANUTENTION D'HUILE LUBRIFIANTE ET HYDRAULIQUE	21
A7.12.1	Description	21
A7.12.2	Prescriptions minimales	22
A7.13	MATERIEL DE MANUTENTION	22
A7.13.1	Description générale	22
A7.13.2	Pont roulant de l'usine	23
A7.13.3	Charpente	23
A7.13.4	Système de translation et chemin de roulement	24
A7.13.5	Chariot-treuil	24
A7.13.6	Commande et équipement électrique	24
A7.13.7	Caractéristiques du pont roulant principal	25
A7.13.7.1	Générales	25
A7.13.7.2	Palan du pont principal	26
A7.13.7.3	Crochet secondaire sur palan motorisé sous le pont principal	27
A7.13.8	Pont monopoutre de l'atelier mécanique de l'usine	27
A7.13.8.1	Charpente	27
A7.13.8.2	Système de translation et chemin de roulement	28
A7.13.8.3	Chariot-treuil	28
A7.13.8.4	Commande et équipement électrique	28
A7.13.9	Caractéristiques du pont monopoutre	29
A7.13.9.1	Générales	29

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A7 – Descriptif de l'Usine– Auxiliaires Mécaniques

A7.13.9.2	Palan du pont principal	30
A7.13.9.3	Palans à chaîne	30
A7.13.9.4	Manutention diverse	30
A7.14	AIR COMPRIME DE SERVICE	31
A7.15	VENTILATION ET AIR CLIMATISE	32
A7.15.1	Description générale	32
A7.15.2	Données d'entrée	32
A7.15.3	Climatisation de la centrale	33
A7.15.4	Ventilation des salles techniques.	34
A7.15.5	Caractéristiques de la fourniture	34
A7.16	EQUIPEMENTS DE L'ATELIER	35
A7.17	ASCENSEUR ET MONTE-CHARGE	36
A7.18	INSTALLATION DE DETECTION ET CONTROLE D'INTRUSION	38
A7.19	RETENTION ET NEUTRALISATION DES ACIDES	38

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A7 – Descriptif de l'Usine– Auxiliaires Mécaniques

CHAPITRE A7

DESCRIPTIF DE L'USINE - AUXILIAIRES MECANIQUES

A7.1 GENERALITES

Le niveau 451,80 NGG de l'usine est considéré comme le niveau supérieur limite en cas d'inondation de l'usine. Ce qui signifie que toutes les armoires et appareillages électriques seront situés au-dessus de ce niveau. Au-dessous de ce niveau, il sera prévu une immersion accidentelle du matériel lié au dysfonctionnement du système d'exhaure.

Tous les systèmes décrits ci-après doivent pouvoir être pilotés en local, avec un bouton d'arrêt d'urgence à proximité du système.

A7.2 EAU BRUTE

Voir schéma fluide n° SK-050

L'eau brute est prélevée en fonctionnement normal par deux pompes connectées à l'aval de l'usine, aucun piquage dans la conduite forcée n'est prévu. Deux piquages 2 x 100% et des grilles seront prévues en entrée de deux conduites d'aspiration pour éviter le passage de gros débris.

L'eau brute est acheminée à l'étage turbine située au niveau 451,80 NGG. Dans cette salle, l'eau est filtrée par des filtres auto-nettoyants (3 x 50%) avant sa consommation et se répartit sur deux collecteurs d'eau brute filtrée pour:

- le refroidissement du circuit de réfrigération des groupes (pris après deux batteries de deux filtres 250 microns);
- le refroidissement de l'air conditionné (pris après deux batteries de deux filtres 100 microns);
- le traitement d'eau;
- l'arrosage du joint de la turbine après filtration supplémentaire (2 batteries de filtre 250 microns et 2 batteries de filtre 50 microns à confirmer par le fournisseur de la turbine);
- le refroidissement du régulateur (bac à huile et compresseurs);
- la fourniture d'eau de service.

La capacité de pompage d'eau brute fournie par deux pompes est supérieure à 2100 m³/h environ, 5 bars, 2x100%, dont l'une aura une fonction de secours, sera confirmée par le Constructeur.

Les deux collecteurs d'eau filtrée fonctionneront en normal-secours. Cette redondance permettra le nettoyage d'un des deux collecteurs sans arrêt du système.

Le refoulement des pompes sera situé dans le canal de décharge aval au niveau 472,50 NGG environ.

A7.2.1 Fonctionnement

Le fonctionnement de l'installation sera complètement automatique et autonome. L'état des pompes et des vannes à commande manuelle sera remonté en salle de contrôle.

Les pompes d'eau brute auront un fonctionnement cyclique avec permutation automatique.

Les deux pompes fonctionneront séparément ou exceptionnellement en parallèle si les besoins en eau de l'usine l'imposent. Un jeu de vannes permettra à ces appareils de travailler isolément ou en parallèle.

A7.2.2 Prescriptions minimales

Les tuyauteries, leurs raccords et la robinetterie seront en acier inoxydable.

A7.3 EAU DE REFROIDISSEMENT

Voir schéma fluide n° SK-051

A7.3.1 Description

Le circuit est de type circuit fermé et dimensionné pour satisfaire à la réfrigération des groupes: chaque groupe possédera son propre équipement de réfrigération.

De façon à sauvegarder le matériel de quelques hypothèses d'agressivité des eaux ou de leurs charges en matières solides en suspension, le système d'eau de réfrigération sera du type circuit fermé.

L'eau du circuit sera mise en mouvement par un groupe de deux pompes de circulation (2 x 450 m³/h estimé), l'une en secours de l'autre, puis, avant d'alimenter les différents utilisateurs, elle sera refroidie dans des échangeurs de chaleur par l'eau à partir de l'aval de l'usine (eau primaire).

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A7 – Descriptif de l'Usine– Auxiliaires Mécaniques

Prise à la sortie des filtres à sable, l'eau d'appoint de la réfrigération sera amenée sur un poste d'adoucissement. Le fournisseur se doit de contrôler que l'alimentation à un réservoir du circuit de réfrigération se fasse correctement, malgré les pertes de charge afférentes à sa fourniture. Ce réservoir de réfrigération a pour but de compenser les pertes éventuelles du circuit secondaire d'eau et sera d'un volume restreint.

L'adoucissement envisagé est basé sur le principe de la permutation sodique par échangeurs d'ions. Une fois débarrassée des selles incrustants, l'eau adoucie est conditionnée d'une part par réducteur d'oxygène et d'autre part par un produit de passivation. Les produits de conditionnement nécessaires seront ajoutés manuellement à l'eau adoucie proportionnellement à la demande de l'appoint du circuit réfrigérant.

L'eau du réservoir devra être périodiquement renouvelée en tout ou partie pour éviter une trop longue stagnation due au soutirage normalement très faible du circuit de réfrigération. Cette opération sera faite par simple ouverture momentanée de la vanne d'admission d'eau traitée, le réservoir restant plein. Par une position judicieuse de l'arrivée d'eau par rapport à celle du trop-plein, un courant de circulation devra s'établir dans le réservoir tendant à chasser l'eau stagnante vers le trop-plein. Des parois guide-eau verticales disposées en quinconce dans la cuve pour améliorer ce processus de renouvellement devront être prévues.

Comme mentionné ci-dessus, l'eau de refroidissement du groupe (eau secondaire) sera elle-même refroidie par l'eau pompée à l'aval (eau primaire) au moyen d'échangeurs de chaleur. Ces échangeurs seront au nombre de deux, la capacité de chacun d'eux étant de 100% de la capacité nécessaire au refroidissement d'un groupe (environ 1900 kW). Ils travailleront donc alternativement, leur permutaison étant commandée par un jeu de vannes motorisées.

Ces échangeurs de chaleur seront des échangeurs à plaques tubulaires du type à faisceau de tubes droits.

L'eau primaire, qui peut être chargée de matières en suspension, alimente l'échangeur en circulant à l'intérieur des tubes du faisceau où la vitesse relativement élevée empêchera la formation de dépôts, puis est rejetée dans le canal aval.

L'eau secondaire circule dans le corps des échangeurs à l'extérieur des tubes, accélérée par la pompe de circulation du circuit de refroidissement. Filtrée et traitée, cette eau ne risque pas d'encrasser la partie des échangeurs qu'elle traverse, partie plus difficile à nettoyer que l'intérieur des tubes où circule l'eau chargée (eau primaire).

Les coffrets électriques d'alimentation et commande locale des pompes d'alimentation seront placés à leur proximité, incluant un bouton arrêt d'urgence par pompe et un basculement de la commande local/distance. La commande distance correspondra à la prise en charge du système par l'automatisme de la centrale.

L'installation de réfrigération comprendra une armoire électrique de commande locale. L'armoire sera placée dans le local de la réfrigération.

La vue de l'état du système en la salle de contrôle et son intégration dans les séquences de démarrage et arrêt des groupes seront prévues.

La commande à distance du système par un opérateur depuis la salle de contrôle ne sera pas prévue, par soucis de simplicité.

A7.3.2 Fonctionnement

Le fonctionnement de l'installation sera complètement automatique et autonome. L'installation de commande et contrôle de l'usine émettra seulement les ordres de mise en service et d'arrêt de la réfrigération des groupes et sera intégrée dans les séquences du groupe.

Suite à la réception de ces ordres, l'armoire de commande de l'installation de réfrigération devra réaliser les opérations de mise en service.

L'installation de réfrigération devra délivrer à l'installation de commande et contrôle de l'usine toutes les informations nécessaires au commande et contrôle, notamment, l'information de l'état général de la réfrigération (opérationnel, service normal, service de secours), les informations nécessaires aux séquences automatiques de démarrage et d'arrêt de la machine et les informations de contrôle du fonctionnement de la réfrigération, fournies par le contrôleur de débit et la sonde de température montée sur le circuit de chaque utilisateur.

La permutation des pompes de circulation et la commande de l'électrovanne de secours seront assurées par l'armoire d'alimentation et commande locale de la réfrigération. Dans ce cas, une information de «service de secours» devra être émise pour l'installation de commande et contrôle de l'usine qui réalisera une séquence d'arrêt normal du groupe, si la situation se maintient pendant un temps à fixer, (temps d'autonomie du réservoir), ou si un certain niveau minimum d'eau au réservoir est atteint.

A7.3.3 Prescriptions

Des appareils de contrôle et de sécurité seront placés à chaque utilisateur dont la fonction s'avère primordiale pour le service correct de l'installation.

Chaque embranchement du circuit d'eau de refroidissement sera pourvu d'un contrôleur du débit d'eau, signalant manque de débit, et d'une sonde de résistance pour mesurer la température de l'eau, placés au tuyau de sortie des échangeurs de chaleur de l'utilisateur (mesure de la température des eaux chaudes). Dans le cas particulier des alternateurs, il sera encore prévu une sonde au tuyau d'entrée. Les contrôleurs de débit seront équipés avec un indicateur local. Les températures seront affichées sur des indicateurs de mesure placés à la face avant de l'armoire et seront disponibles, au bornier de l'armoire, pour transmission à distance.

Les tuyauteries, leurs raccords et la robinetterie seront en acier inoxydable.

A7.4 EAU FILTREE

Voir schéma fluide n° SK-053

A7.4.1 Description

Le système de filtration d'eau sera situé dans l'usine au niveau 452,80 NGG. L'eau filtrée sera utilisée par les divers consommateurs suivants :

- l'appoint des bacs des solutions chimiques de pré-traitement et traitement d'eau;
- la production d'eau potable;
- l'appoint au circuit fermé de refroidissement des groupes ;
- l'appoint au circuit fermé de refroidissement des joints d'arbre.

Le fournisseur doit prévoir un prétraitement de l'eau brute avant filtration et choisir la nature des coagulants à utiliser et déterminer leur dosage. Le sel généralement utilisé sera le sulfate d'alumine. Des polyélectrolytes renforçant l'action des floculants ne pourront être utilisés qu'en accord avec la législation locale.

Le dosage de la solution chimique choisie pour permettre la floculation sera du type proportionnel au débit d'eau. La solution sera injectée dans la tuyauterie d'eau par deux pompes doseuses, dont une de secours.

La floculation et la décantation doivent être accélérées dans des décanteurs dynamiques (décanteurs du type fermé), à disposer dans le local du traitement de l'eau.

Le fournisseur décidera si une préchloration destinée à oxyder les matières organiques est nécessaire.

Après prétraitement, l'eau est filtrée par des filtres sous pression, verticaux, à lit filtrant homogène, lavables par air et eau.

Les filtres seront au nombre de deux, chacun d'une capacité maximale à définir avec surcharge possible momentanée de 10%. L'eau de lavage est fournie par le réseau général d'eau potable de l'usine, et l'air par un compresseur basse pression indépendant.

L'installation devra être telle qu'après prétraitement et filtration, l'eau brute sorte des filtres parfaitement débarrassée de toutes matières en suspension, décolorée et limpide, conforme du point de vue chimique et physique aux normes locales en vigueur concernant les eaux de boisson.

A7.4.2 Fonctionnement

Le fonctionnement de l'installation sera complètement automatique et autonome. L'état des pompes, des filtres et des vannes à commande manuelle ou automatique sera remonté en salle de contrôle.

Les pompes doseuses de la solution chimique de stérilisation de l'eau auront un fonctionnement cyclique avec permutation automatique. La pompe doseuse en service sera commandée par un compteur d'eau délivrant des impulsions en fonction du débit.

Les décanteurs et les filtres fonctionneront séparément ou exceptionnellement en parallèle si les besoins en eau de l'usine l'imposent. Un jeu de vannes permettra à ces appareils de travailler isolément ou en parallèle.

L'évacuation des boues des décanteurs dynamiques devra être commandée automatiquement par une horloge.

Le lavage des filtres se fera par injection à contre-courant d'un jet d'air sous pression et d'eau provenant du réservoir principal, ce qui entraînera, par un évacuateur prévu à cet effet, toutes les boues et agglomérats de matières.

Le lavage d'un filtre devra pouvoir être commandé manuellement ou automatiquement par détection du degré d'encrassement de la masse filtrante.

A7.4.3 Prescriptions minimales

Les filtres seront en tôle d'acier, chacun équipé de:

- trou d'homme ou de poing;
- dispositif interne de répartition;
- charge de sable calibre;
- tuyauteries;
- vannes manuelles et automatiques;
- manomètre différentiel;
- dispositif de commande automatique du lavage.

Pour diminuer leur encombrement et limiter la fréquence de leurs lavages, ils pourront être à double couche sable et hydroanthracite.

Les filtres et les décanteurs dynamiques (décanteurs du type fermé) auront un revêtement interne anticorrosion adéquat. Ils seront préférentiellement galvanisés à chaud.

Les tuyauteries, leurs raccords et la robinetterie seront en acier inoxydable.

A7.5 EAU POTABLE

Voir schéma fluide n° SK-053

A7.5.1 Description

Le circuit d'eau potable est destiné à fournir de l'eau aux sanitaires et divers points d'eau prévus dans l'usine (salle de batteries et salle de traitement d'eau) ainsi qu'à l'appoint des circuits de réfrigération des groupes et de l'arrosage des joints d'arbre. Il sera aussi prévu des douches dans les lieux de possible contamination chimique (salle batterie et traitement des eaux).

La production d'eau potable sera située à l'étage 451,80 NGG. Il sera prévu au niveau 474,00 NGG un chauffe-eau électrique permettant d'alimenter un circuit d'eau chaude avec une petite pompe de pressurisation dédiée.

La pression délivrée en tout point de la centrale sera de 1,76 bar et le débit de l'ordre de 760 l/min donnée par deux pompes de 380 l/min chacune (norme ANSI A 40.8, annexe D3). La hauteur de refoulement des pompes d'eau potable sera de l'ordre de 5 bar pour permettre la pression requise au niveau 474,00 NGG.

L'eau destinée au circuit de distribution d'eau potable est prise à la sortie des filtres à sables et accélérée par un groupe de deux pompes de capacité 100 % chacune qui lui donne la pression nécessaire pour être refoulée jusqu'aux deux réservoirs d'eau potable.

Le volume du bassin d'eau potable doit être déterminé par les nécessités suivantes:

- consommation d'eau pendant une journée ouvrée de 8 heures
- réserve de secours d'eau d'arrosage du joint d'arbre de la turbine, permettant au groupe de fonctionner 15 minutes sans intervention du circuit normal d'eau filtrée.
- réserve de secours d'eau de compensation d'eau de réfrigération des groupes, permettant au groupe de fonctionner 15 minutes sans intervention du circuit normal d'eau filtrée.

La capacité de chaque pompe d'alimentation des réservoirs ainsi que les autres caractéristiques des pompes sont à confirmer par le fournisseur. La capacité du système de traitement d'eau sera de 1 m³/h en sortie. La réserve d'eau potable sera constituée de deux réservoirs d'eau de capacité 6 m³; soit 12 m³ au total.

La conduite maîtresse de liaison entre le local de traitement d'eau et le réservoir d'eau potable a été prévu à refoulement distributif permettant aussi bien de refouler l'eau potable au réservoir que de soutirer de la réserve d'eau nécessaire aux besoins de l'usine.

La stérilisation par chloration sera faite directement dans la conduite à l'aval des pompes d'alimentation du réservoir, par un dispositif du type proportionnel au débit d'eau. La solution sera injectée dans la tuyauterie d'eau par deux pompes doseuses, dont une de secours.

A7.5.2 Fonctionnement

Le fonctionnement de l'installation sera complètement automatique et autonome.

Les pompes d'alimentation du réservoir auront normalement un fonctionnement cyclique avec permutation automatique. La pompe en service tendra à maintenir le réservoir toujours plein, sa mise en route étant commandé par le niveau d'eau dans le réservoir. Le fonctionnement en parallèle des deux pompes devra être aussi prévu, étant également commandé par le niveau d'eau dans le réservoir.

Les pompes doseuses de la solution chimique de stérilisation de l'eau auront aussi un fonctionnement cyclique avec permutation automatique. La pompe doseuse en service sera commandée par un compteur d'eau délivrant des impulsions en fonction du débit.

A7.5.3 Prescriptions minimales

L'appareillage de chaque réservoir d'eau potable devra être conçu de façon telle que chaque arrivée ou soutirage d'eau provoque une circulation d'eau dans la réserve, un brassage évitant la présence dans le bassin de zones d'eau stagnante.

Le réservoir d'eau potable sera en acier revêtu intérieurement afin d'éviter toute corrosion et il sera pourvu d'une isolation thermique adéquate.

A7.6 SYSTEME D'ARROSAGE DU JOINT D'ARBRE

Voir schéma fluide n° SK-050

A7.6.1 Description

Le circuit d'arrosage du joint d'arbre des turbines devra être étudié pour assurer un fonctionnement correct des turbines. Ce circuit sera alimenté en permanence par l'intermédiaire d'une soupape à flotteur en eau simplement filtrée (50 microns à confirmer par le fournisseur) provenant de l'installation d'eau brute.

La partie de cette eau s'échappant à l'air libre sera récupérée et renvoyée dans le réservoir.

Si l'interruption de production d'eau filtrée se prolonge, le circuit d'eau d'arrosage sera automatiquement relié au circuit d'eau potable haute pression de l'usine par une vanne à manœuvre électrique.

Cette liaison sera munie d'un réducteur de pression permettant d'accorder la pression de l'eau potable de secours à la pression prescrite par le constructeur de la turbine.

A7.6.2 Fonctionnement

Le fonctionnement de l'installation sera complètement automatique et autonome. L'installation de commande et contrôle de l'usine, émettra seulement les ordres de mise en service et d'arrêt de l'arrosage du joint de l'arbre des turbines.

L'installation d'arrosage du joint devra délivrer à l'installation de commande et contrôle de l'usine toutes les informations nécessaires au commande et contrôle des groupes, notamment, l'information de l'état général de l'arrosage (opérationnel, service normal, service de secours) et les informations nécessaires aux séquences automatiques de démarrage et d'arrêt de la machine.

La permutation entre la pompe en service et la pompe de réserve sera automatique, cycliquement en service normal, instantanément en cas d'indisponibilité soudaine de la pompe en service. Cette permutation sera assurée par l'armoire d'alimentation et commande local de l'installation d'arrosage.

L'armoire assurera aussi l'ouverture de la vanne motorisée du dispositif de départ surbaissé du réservoir d'eau potable suivie de l'ouverture de la vanne motorisée du circuit de secours, en cas d'interruption prolongée de production d'eau filtrée ou en cas d'indisponibilité des deux pompes d'injection (service de secours). La réception de cette information par l'installation de commande et contrôle de l'usine déterminera la réalisation d'une séquence d'arrêt normal du groupe, si la situation se maintient pendant un temps à fixer, inférieur au temps d'autonomie correspondant à la tranche réservée au réservoir, ou si un certain niveau minimum d'eau au réservoir est atteint.

A7.6.3 Prescriptions

Dans le cas où le Constructeur prévoit des pompes d'injection d'eau potable en option, elles respecteront la philosophie suivante.

Les électropompes d'injection seront du type à pompe immergé, afin d'éviter tout risque de désamorçage. Ils seront à axe vertical avec le moteur électrique en surface.

Ces groupes devront être un tout monobloc facilement démontable à partir du local des pompes sans nécessité d'interventions à l'intérieur du réservoir tampon d'eau d'arrosage.

Des appareils de contrôle et de sécurité seront placés sur le circuit et le réservoir tampon dont la fonction s'avère primordiale pour le service correct de l'installation et du groupe.

A7.7 PROTECTION INCENDIE

Voir schémas fluides n° SK-055

A7.7.1 Description générale

Le système de protection incendie a pour but de protéger les équipements suivants : alternateurs, transformateurs principaux, groupe électrogène, magasins, ateliers, bacs à huile, salles d'ordinateur et de contrôle commande de la centrale. Pour les alternateurs et transformateurs, les fournisseurs respectifs seront responsables de la fourniture du système incendie adéquat et compatible avec le système centralisé de protection d'incendie.

Outre les réglementations locales et les normes citées ci-après, le circuit incendie doit aussi obéir à la norme APSAD (assurances) en vigueur.

Des extincteurs portatifs et un circuit d'eau incendie avec des bouches d'incendie protègent le reste de la centrale. Des systèmes coupe-feu seront prévus dans les endroits judicieusement choisis par le fournisseur.

La protection à base de CO² haute pression est dédiée aux feux électriques ou feux de liquides inflammables comme l'huile. La protection par un système à base d'Agent Propre est utilisée pour la salle de contrôle et la salle HF telecom (NFPA 2001 et 12A). La pulvérisation d'eau sera utilisée pour tout autre type de feu.

La détection et protection contre incendie comportera:

Le système de détection d'incendie; ce système doit être assuré par un système de sécurité incendie de catégorie A :

- Le système de pompage de l'eau incendie ;
- L'installation d'extincteurs portatifs et d'un circuit d'eau d'incendie;
- La détection et protection des alternateurs;
- La détection et protection des transformateurs;
- La détection et protection des transformateurs de soutirage et des salles du groupe Diesel, d'atelier et de stockage.

Le circuit d'eau d'incendie doit être prévu avec des bouches d'incendie et des robinets d'incendie armés à l'extérieur et à l'intérieur du bâtiment.

En cas d'incendie, la ventilation et l'air conditionné doivent être stoppés sauf en salle de batteries.

A7.7.2 Installation de détection d'incendie

La détection d'incendie sera prévue dans toute la centrale, y compris dans les galeries (accès et cheminement de câbles) importantes.

A7.7.2.1 Caractéristiques de la fourniture

Les détecteurs d'incendie à installer auront des dispositifs de régulation de la sensibilité, des socles pour montage en saillie.

Chacun de ces détecteurs d'incendie formera une boucle qui constituera une section de détection.

Les détecteurs auront un indicateur individuel d'opération; le tableau de détection et de signalisation d'incendie (avec indication de la section intéressée) sera installé dans la salle informatisée usine.

Les signalisations d'alarmes seront transmises en salle de contrôle.

En salle des batteries, des capteurs d'hydrogène seront mis en place avec leur électronique associée et intégrés au système d'incendie.

Les détecteurs utilisés seront de type coup de poing et détecteurs de fumée optique.

Les câbles d'acquisition seront de type « flamme retardant », les câbles d'action seront de type « résistant au feu »

Les avertisseurs utilisés produiront un son 85 dBA minimum à 1 m, distinct de tout autre type d'avertisseur.

A7.7.2.2 Extincteurs portatifs et extinction modulaire

Un équipement complet autonome sera fourni pour pouvoir pénétrer dans une zone dont la concentration en oxygène est insuffisante.

Les caractéristiques et la répartition des extincteurs portatifs doit être conforme aux normes locale et NFPA 10 « Portable fire extinguishers ».

Les extincteurs seront de type CO2 de 10 Kg, classe 10B :C, ou sur roue, classe 20B :C de 23 kg pour les grandes salles et salles électriques.

La détection et l'extinction modulaire, par CO2 ou à poudre, sera installée dans les locaux suivants:

- Cellules des transformateurs de soutirage;
- Cellule du transformateur des Auxiliaires;

- Salle de stockage ;
- Atelier ;
- Bureaux et lieux de passage.

A7.7.2.3 Protection contre l'incendie des alternateurs

Il y aura une installation de protection contre incendie par groupe, toutes devant être reliées entre elles par un circuit commun et isolées par des vannes manuelles qui pourront être ouvertes en cas de disfonctionnement de la protection contre incendie automatique d'un groupe. Dans ce cas, l'utilisation de la protection contre incendie d'un autre groupe devra être possible par un déclenchement manuel.

L'installation de protection contre l'incendie sera basée sur l'injection de dioxyde de carbone, avec action automatique par détecteurs d'incendie du type thermovélocimétriques et susceptible de commande manuelle, locale, à partir de boutons poussoir placés au voisinage de l'enceinte de l'alternateur, et de commande à distance, par tension continue 127 Vcc.

Les bouteilles de CO₂ seront installées et protégées par un grillage à l'étage au niveau 457.60 NGG, en lieu fermé, pour lequel il faut prévoir des dispositifs de contrôle de la concentration de CO₂ permettant de prévenir des situations dangereuses découlant des fuites de gaz.

L'installation devra être fournie complète pour chaque groupe, comprenant nommément:

- des bouteilles-conteneurs de CO₂ à haute pression élevée, montées sur le dispositif habituel de balance;
- les portes métalliques d'accès à la fosse alternateur et au compartiment des bouteilles de CO₂, assurant les fonctions d'isolement au bruit et d'étanchéité aux fuites de gaz;
- tous les collecteurs, tuyauteries, clapets et dispositifs de contrôle local nécessaires;
- les contacts libres de potentiel pour signalisation à distance de concentration dangereuse de CO₂, dans le compartiment des bouteilles et dans la fosse de l'alternateur;
- les contacts libres de potentiel pour signalisation à distance de protection déclenchée, de protection bloquée et d'anomalie dans l'installation;
- la signalisation locale, lumineuse et acoustique, par sirènes d'évacuation, avec signaux différents d'action de la protection et de concentration dangereuse de CO₂ dans le compartiment des bouteilles et dans l'étage au niveau 457.60 NGG;
- tous les relais mécaniques ou électromécaniques d'installation locale, nécessaires au fonctionnement de la protection;
- la commande mécanique manuelle d'urgence;
- un coffret contenant l'appareillage de manœuvre, protection, commande et signalisation, ainsi que le bornier pour les liaisons des câbles extérieurs d'alimentation, signalisation et commande;

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A7 – Descriptif de l'Usine– Auxiliaires Mécaniques

- toutes les liaisons électriques entre les équipements compris dans le fourniture d'installation;
- un dispositif de verrouillage ne permettant l'accès de l'alternateur qu'en cas de protection bloquée;
- des dispositifs de verrouillage interdisant l'accès à l'alternateur et au compartiment des bouteilles en cas de concentration dangereuse de CO₂.

L'extraction de CO₂ de l'intérieur de la fosse de l'alternateur et du compartiment des bouteilles devra être assurée.

Les données suivantes seront à préciser:

- normes de dimensionnement, fabrication et essais;
- taux de concentration de CO₂ considérés dans le dimensionnement (émission rapide/lente);
- temps de décharge (émission rapide/lente);
- nombre et capacité des bouteilles.

Cependant, les critères de dimensionnement minimaux sont donnés dans la norme NFPA 12 « Carbon Dioxide Extinguishing Systems ». Le fournisseur prévoira notamment 1,33 kg de CO₂ par m³ de volume de la carcasse de l'alternateur. L'émission lente devra maintenir une concentration minimale de 30% pendant au moins 20 minutes.

Il sera inclus dans la fourniture l'éventuel remplissage (partiel ou total) des bouteilles de CO₂, si cela s'avère nécessaire après les essais de l'installation.

La protection contre l'incendie de l'alternateur comprendra une batterie de bouteilles de CO₂, un système de détection de feu dans la conduite de ventilation de l'alternateur, des soupapes d'échappement et un système de distribution et jets de CO₂.

La conduite de ventilation (sortie d'air chaud) sera équipée avec un volet pour empêcher la sortie de CO₂ et de fumée après le déclenchement de la protection.

Les détecteurs seront du type thermo électrique à action vélocimétrique.

L'émission du CO₂ sera provoquée automatiquement par le système de détection de température de l'air et de fumée dans la conduite de ventilation et/ou la carcasse de l'alternateur et par la protection différentielle de l'alternateur.

L'émission par commande manuelle sera possible par une poignée placée dans une boîte plombée, installée près de la batterie CO₂.

L'émission par bouton poussoir sera possible du tableau de commande contre incendie local et de l'armoire de groupe.

L'émission de CO2 se fera en deux étapes:

- émission rapide;
- émission lente (après la fermeture du volet de la conduite de ventilation).

Les signaux d'alarme seront activés par l'intermédiaire d'un pressostat sur la ligne de décharge des bouteilles de CO2 de chaque alternateur, ce qui conduira aussi à un arrêt de l'unité concernée. Les signaux d'alarme seront visibles et audibles à la porte d'accès à l'alternateur, sur le tableau local de protection incendie, dans les escaliers d'accès au groupe à tous les niveaux et en salle de contrôle.

La batterie de bouteilles de CO2 sera suspendue à un dispositif de pesée permanente.

A7.7.2.4 Protection contre l'incendie par eau pulvérisée

L'eau sera filtrée puis pompée depuis le canal de décharge à l'aval de l'usine par deux pompes (1 normale + 1 secours). Les pompes seront localisées à l'étage mécanique au niveau 451,80 NGG et serviront au remplissage du réservoir d'eau.

Le réservoir fournira l'eau de protection incendie des équipements suivants :

- les quatre transformateurs des groupes,
- les quatre bacs de régulation des turbines,
- le groupe électrogène,
- les ateliers et magasins,
- le réseau RIA.

Pompes

Deux pompes électriques équipées de tous leurs accessoires alimenteront le réservoir d'eau incendie. Chaque pompe sera capable d'alimenter le réservoir à la pression maximale. Les séquences de démarrage et d'arrêt des pompes seront automatiques et seront déclenchés par les contacteurs de niveaux installés dans le réservoir d'eau.

Les pompes travailleront en mode normal/secours. Le démarrage de la pompe de secours sera automatique et l'information sera transmise à la salle de commande.

Les pompes assureront un service sûr et continu dans toutes les conditions de fonctionnement possibles.

Chaque pompe sera installée sur un socle en béton et seront munies de manomètres.

Tous les pièces d'usure seront fabriquées d'un matériau résistant à la corrosion et seront faciles à remplacer.

La pression et le niveau d'eau seront continuellement contrôlés par un manostat. Un contrôle visuel sera également possible.

Les boutons poussoir de commande, les lampes d'alarme de l'installation, ainsi que tous les éléments nécessaires tels que les contacteurs seront placés dans une armoire de commande près de l'installation.

Filtres

Un filtre automatique 500 µm sera installé à l'aval de chacune des deux pompes.

Chaque filtre sera équipé d'un capteur de perte de charge et l'information sera transmise au coffret électrique des pompes.

Les tuyauteries permettront d'utiliser automatiquement les deux pompes avec l'un ou l'autre des filtres.

Réservoir

Le réservoir d'eau de 300 m³ sera utilisé pour la protection incendie. Ce réservoir sera en béton et sera localisé à proximité de l'usine au niveau 510,00 NGG.

L'alimentation en eau de ce réservoir sera réalisée par les pompes.

Le réservoir est dimensionné en prenant en compte l'incendie d'un transformateur en utilisant au même moment un robinet d'incendie armé (RIA).

Transformateurs des groupes

Les transformateurs de groupe seront protégés par une installation à eau pulvérisée, déclenchée par la température de l'air autour du transformateur, par le deuxième stade du relais Buchholz, par un coup de poing situé dans la zone des transformateurs ou enfin sur déclenchement manuel de la vanne déluge.

Le remplacement du système d'extinction par eau pulvérisée par un système anti-explosion pourra être proposé. Le système anti-explosion permet de protéger le transformateur en détectant et supprimant un pic de surpression interne dans la cuve du transformateur.

La même installation à eau pulvérisée protégera la salle diesel située proche du transformateur n° 1, le déclenchement sera provoqué par la détection de fumée et de flamme sur le groupe diesel et son réservoir ou une action manuelle (coup de poing, vanne déluge).

L'émission d'eau sera signalée et provoquera un arrêt d'urgence du groupe.

L'installation située entre les transformateurs n° 2 et n°3 au niveau 474,00 m, comprendra:

- les quatre vannes déluges ;
- les vannes à l'entrée et à la sortie de chaque ligne ;
- le système d'alimentation en eau en tube d'acier galvanisé branché sur le réseau d'eau incendie.
- un coffret électrique ;
- accessoires.

Détecteurs

Les détecteurs thermiques seront localisés judicieusement autour du transformateur de façon à permettre la détection de toute modification de la température afin d'initier le système d'alarme incendie.

Les dispositifs de déblocage manuel doivent être contrôlés à partir d'endroits facilement accessibles.

Pulvérisation

La pulvérisation devra arroser entièrement la surface du transformateur et atteindre, en particulier la base des bornes. La pulvérisation devra permettre d'obtenir une extinction complète.

Le fonctionnement intempestif du dispositif ne devra entraîner aucune conséquence au point de vue de la tenue du matériel.

Les rampes de pulvérisation et leur collecteur d'alimentation seront composés d'éléments préfabriqués, galvanisés à chaud après formage et assemblés sur place sans aucune détérioration de la galvanisation. L'ensemble comportera les brides nécessaires pour permettre un démontage rapide. L'ensemble sera supporté par des poteaux tubulaires scellés dans le sol.

Les arroseurs seront du type "spray standard" suivant le chapitre 3.6.2 de la NFPA 13.

A7.7.2.5 Prescriptions minimales pour le circuit d'incendie

Tuyauterie "sèche" pour le système de déluge :

- A - 53 Gr. B acier galvanisé
- Brides ANSI B 16.5, 150 lbs. R.F type : S.O. ASTM A 105 galvanisé
- Vanne, 150 lbs. Matériau : A - 216 Gr. WCB - Trim 13 % Cr.

Tuyauterie en eau hors sol :

- acier A - 106 Gr B

Tuyauterie en eau enterrée :

- - HDPE

Bouches d'incendie extérieures :

Les hydrants doivent être définis comme suit :

- Espacement maximale entre deux bouches: 80 m.
- Embout normalisé : 2 x ND 65 avec capot et chaînes.
- Connection type pompier : DN100

Note : Chaque hydrant doit être équipé d'une vanne d'isolement avec dispositif de blocage et indicateur de position local.

Bouche d'incendie intérieure :

La distance maximale entre deux bouches d'incendie est de 30 m

A7.8 DRAINAGE DES EAUX CLAIRES

Voir schéma fluide n° SK-052.

Le but de ce système est d'assurer l'évacuation des venues d'eau qui ne sont pas susceptibles de contenir de l'huile de façon continue. Voir aussi le système de drainage des eaux huileuses.

Sauf exception, l'eau provenant des planchers supérieurs au niveau maximum aval extrême (469.60 NGG) se drainent par gravité directement dans le bief aval. Il s'agit des sources d'eau suivantes :

- drains des toits;
- drains du plancher de l'étage de ventilation au niveau 478,70 NGG;
- drains des plateformes au niveau 474,00 NGG.
- drain venant du séparateur eau/huile des transformateurs des groupes.

L'eau provenant des planchers inférieurs au niveau aval maximum extrême de 469,60 m et l'eau provenant des drains de tous les planchers de la centrale sont drainées vers le caniveau de la galerie de drainage au niveau 442,60 NGG pour être par la suite déversées dans le puisard de drainage pour y être pompées vers le bief aval.

Deux pompes 2 x 100 % du type submersible sont prévues pour évacuer les eaux claires. Chaque pompe est dimensionnée pour évacuer les débits de nature continus ainsi que 50 % des débits de nature intermittente, soit environ 100 m³/h chacune pour une hauteur de refoulement de 35,9 mCE. Leur motorisation sera de 13 kW environ.

Elles seront de type submersible pour eaux chargées, avec pieds d'assise et rails de guidage fixe permettant de réaliser un raccordement automatique de la pompe à sa conduite de refoulement, sans intervention dans le puisard.

Un collecteur reçoit le refoulement des pompes de drainage et achemine l'eau vers le bief aval. Une lyre anti-retour est prévue sur ce collecteur pour éviter une inondation en cas de démontage des robinets installés au refoulement des pompes.

A7.9 DRAINAGE DES EAUX HUILEUSES

Voir schéma fluide n° SK-059.

Le but du système de drainage des eaux huileuses est de drainer les eaux potentiellement contaminée par les huiles ou les graisses, de séparer l'huile de l'eau, de contenir l'huile afin d'en permettre la récupération et d'évacuer l'eau traitée.

Les eaux susceptibles de contenir de l'huile de façon continue, tel le drainage des puits des turbines, sont acheminées par un réseau de tuyauteries dédié à cette fin vers un séparateur d'huile localisé dans la galerie des équipements mécaniques au niveau 450,35 NGG. L'eau obtenue est envoyée vers le système de drainage des eaux claires, l'huile sera pompée vers le réservoir d'huile usagée au niveau 451,80 NGG par une pompe portable, ou évacuée dans des fûts.

Les eaux susceptibles de contenir de l'huile de façon accidentelle sont traitées par le système de drainage des eaux claires. L'eau qui sort du séparateur est acheminée vers le puisard de drainage. L'huile décantée demeure dans le séparateur pour y être récupérée.

Les aires des régulateurs des groupes et la salle de stockage d'huile possèdent chacune une fosse ayant la capacité requise pour contenir toute l'huile susceptible de s'y déverser accidentellement. Cette huile peut être récupérée sur place.

Dans le cas des transformateurs, un séparateur eau/huile enterré est prévu en aval de la centrale en rive gauche, dans le prolongement de l'aire des transformateurs. L'huile décantée peut être récupérée sur place tandis que l'eau est acheminée directement dans le bief aval au moyen d'une conduite enfouie.

A7.10 DRAINAGE DES EAUX USEES

Voir schéma fluide n° SK-053.

L'évacuation des eaux usées à partir des appareils sanitaires est dirigée par un réseau de tuyauteries vers une station de relevage localisée au niveau 451,80 NGG.

La station de relevage est une station compacte équipée d'une pompe et de capteurs de niveaux. Cet équipement sera utilisé pour le relevage des eaux usées vers une fosse septique située en rive gauche à proximité de la centrale au niveau 474 NGG.

La capacité de traitement des eaux usées sera en accord avec la consommation calculée d'eau potable, soit 11 000 litres par jour en tenant compte d'un coefficient de sécurité de 1.5.

A7.11 VIDANGE ET REMPLISSAGE DES GROUPES

Voir schéma fluide n° SK-052.

Le but du système de vidange est d'assécher les passages hydrauliques des groupes turbines alternateurs de façon à en permettre l'inspection et l'entretien. Les passages hydrauliques sont :

- les conduites forcées;
- les bâches spirales;
- les aspirateurs.

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A7 – Descriptif de l'Usine– Auxiliaires Mécaniques

Le groupe est isolé par la fermeture de la vanne de prise d'eau et la mise en place des batardeaux de l'aspirateur. La fermeture de la vanne de prise d'eau permet au niveau de l'eau, dans les passages hydrauliques, de s'équilibrer au niveau du bief aval avant la mise en place des batardeaux aval. La mise en place des batardeaux de l'aspirateur permet la vidange du groupe par une conduite de DN 300. Une vidange partielle donne accès à la bêche spirale et à la roue de la turbine. Une vidange totale donne accès au fond d'aspirateur.

La vidange partielle ou totale de chaque groupe se fait au moyen d'une tuyauterie DN 300 noyée reliant le fond de l'aspirateur au caniveau principal de la galerie de drainage au niveau 442,60 NGG. La vitesse en sortie de cette tuyauterie pouvant atteindre 18 m/s, on prévoira un blindage adéquat de la galerie.

Une plaque perforée est prévue au fond de l'aspirateur pour éviter l'entraînement de débris dans le caniveau. Dans le cas d'une vidange totale, le niveau d'eau est abaissé jusqu'au fond du coude de l'aspirateur, au point le plus bas de ce dernier.

La vidange de chacun des groupes est contrôlée par un robinet motorisé localisé dans la galerie de drainage. L'eau est ensuite dirigé vers le puisard commun au système de drainage des eaux claires.

Deux pompes 2 x 100 % de 610 m³/h chacune sont prévues pour évacuer l'eau au bief aval. Le temps de vidange complète d'un groupe à considérer est d'environ 4h. Ces pompes de 35,9 m de hauteur de refoulement, auront des caractéristiques similaires aux pompes de drainage : de type submersible pour eaux chargées, avec pieds d'assise et rails de guidage fixe permettant de réaliser un raccordement automatique de la pompe à sa conduite de refoulement, sans intervention dans le puisard.

Sur chaque prise de vidange des aspirateurs, une tuyauterie permet d'injecter de l'eau en provenance du système d'eau de service pour nettoyer la plaque perforée. Un robinet est prévu sous le seuil de la porte d'accès au cône pour vérifier si le niveau d'eau dans le cône d'aspirateur est assez bas pour ouvrir la porte.

Le remplissage du volume d'eau comprenant l'aspirateur, la bêche spirale et la conduite (jusqu'au niveau aval) est réalisé par l'ouverture d'un clapet prévu dans l'élément supérieur des batardeaux de l'aspirateur.

Les conduites de refoulements des pompes sont munies de clapet avec amortisseurs hydrauliques pour éviter les coups de bélier.

Le puisard de 160 m³ est muni d'une sonde de niveau pour contrôler les démarrages et arrêts des pompes. Ce dernier est également muni d'interrupteurs du type à flotteur pour signaler les niveaux très bas et très haut dans le puisard. Il est commun au système de drainage et d'exhaure. Il comporte en outre un séparateur eau-huile à son admission de 10 m³ environ.

L'huile récupérée dans ce séparateur est pompée dans des fûts avec une pompe portable. Ces fûts sont évacués par le pont roulant.

Un collecteur reçoit le refoulement des pompes de vidange et achemine l'eau vers le bief aval. Une lyre anti-retour est prévue sur ce collecteur pour éviter une inondation en cas de démontage des robinets installés au refoulement des pompes.

Une pompe portable est prévue pour permettre l'assèchement complet dans un point bas du puisard et peut également servir à pomper la boue.

A7.12 MANUTENTION D'HUILE LUBRIFIANTE ET HYDRAULIQUE

Voir schéma fluide n° SK-059.

A7.12.1 Description

Le but de ce système est de permettre le remplissage et la vidange de l'huile lubrifiante et hydraulique des groupes turbines alternateurs. Il permet également de stocker suffisamment d'huile dans la centrale pour permettre le remplacement de toute l'huile d'un groupe turbine alternateur. Finalement, il permet aussi de purifier l'huile usée.

Le système comprend trois réservoirs de stockage de 2 m³ chacun correspondant à la capacité d'un bac de régulateur de groupe, un poste de vannage, un poste de remplissage et de reprise, une pompe fixe, une pompe mobile, une unité de purification d'huile, un débitmètre totalisateur, ainsi qu'un collecteur d'alimentation et un collecteur de retour. Les équipements de stockage et de manutention fixe sont localisés dans une salle installée au niveau 451,80 NGG de l'usine. Un des réservoirs sert à emmagasiner l'huile neuve, un autre sert pour l'huile traitée et le dernier sert pour l'huile usée.

Le poste de vannage, localisé dans cette même salle, sert à réaliser les transferts d'huile entre les groupes (paliers, pivot, régulateur, vannage) et la salle des huiles et entre la salle des huiles (niveau 451,80 NGG) et un camion-citerne (plage de montage, niveau 474,00 NGG).

Le plancher d'une partie de la salle des huiles forme une fosse de rétention dans le but de contenir l'huile en cas de fuite. Les trois réservoirs sont localisés sur des bases installées dans cette fosse. Cette fosse sera reliée au système de drainage des eaux huileuses. Cependant, une pompe mobile permettra de reprendre une éventuelle fuite importante d'huile dans la fosse de rétention et de la renvoyer directement à un camion-citerne au niveau 474,00 NGG.

À partir du réservoir d'huile traitée, une conduite achemine l'huile vers les groupes au niveau 456,60 NGG. Quatre piquages, sur cette conduite, alimentent les réservoirs d'huile des groupes turbines alternateurs.

Une deuxième conduite permet d'acheminer l'huile à partir des groupes vers le réservoir d'huile usagée. Le but d'avoir deux conduites distinctes est d'éviter la contamination de l'huile propre par les particules qui pourraient demeurer dans la tuyauterie de retour d'huile contaminée.

La reprise d'huile usée à partir des groupes se fait à l'aide d'une pompe mobile. L'huile est pompée dans la conduite de reprise, par l'intermédiaire de boyaux flexibles. La pente des tuyauteries permet d'éviter que l'huile ne stagne dans les collecteurs en assurant son retour dans les réservoirs de la salle des huiles.

Une unité de purification d'huile est prévue afin de permettre l'élimination de l'eau, des gaz et des impuretés contenus dans l'huile. L'unité est mobile et montée sur un chariot permettant de la déplacer d'un groupe à l'autre. Elle est normalement entreposée dans la salle des huiles puis est reprise en fûts en vue de leur transport vers une usine de traitement d'huile.

A7.12.2 Prescriptions minimales

Le système de purification doit être capable de traiter 2 000 litres en 8 heures.

La pompe de transfert d'huile propre sera dimensionnée pour 2 000 litres en 4 heures.

La pompe mobile de transfert d'huile usagée entre les groupes et le réservoir sera dimensionnée pour vidanger les paliers en 1 heure, le pivot en 5 heures.

La pompe mobile de reprise de fuite dans la fosse de rétention de la salle des huiles sera dimensionnée pour vider la fosse en 30 minutes. Elle pourra aussi renvoyer l'huile du bac d'huile usagée vers le camion.

Des prises seront prévues sur chacun des trois réservoirs afin de pouvoir analyser l'huile contenue.

A7.13 MATERIEL DE MANUTENTION

A7.13.1 Description générale

L'usine aura, dans son ensemble, les moyens d'élévation d'équipement suivants:

- le pont roulant de l'usine,
- le portique électrique des batardeaux aval des groupes,
- le pont monopoutre de l'atelier mécanique,
- un palan à chaîne pour le magasin,
- Des crochets de manutention au-dessus des équipements les plus lourds.

Les appareils de levage seront calculés, construits, montés et essayés en accord avec les dispositions générales du Chapitre I et, en particulier, suivant les Règles pour le calcul des appareils de levage, éditées par la Fédération Européenne de la Manutention (F.E.M.) (section I - appareils de levage et de manutention - Paris, Décembre 1987, 3e édition).

Pour l'application de ces règles au calcul des appareils, les classes, les groupes et les états de charge et de sollicitation seront les suivants:

- Mécanismes
 - o - classe d'utilisation T3
 - o - état de charge L4
 - o - groupe M5

A7.13.2 Pont roulant de l'usine

La salle des machines de l'usine sera équipée avec un pont roulant dont la capacité de levage (environ 240 tonnes) devra être suffisante pour manœuvrer la pièce la plus lourde (le rotor de l'alternateur est estimé à 200 t) en tenant compte du poids du palonnier.

Le pont aura un seul palan dont la principale fonction sera la manipulation des pièces lourdes (notamment pendant le montage et l'entretien des groupes). Le pont sera donc conçu avec des réserves afin de protéger les composants principaux pendant la phase de montage de l'usine.

Un crochet secondaire (environ 10 tonnes) pour la manutention de petites pièces lors des opérations de maintenance courante sera monté sur un palan électrique sous les poutres du pont roulant.

Le pont sera composé par la charpente, le système de translation et chemin de roulement, le chariot-treuil et l'équipement électrique.

Les palonniers et autres pièces nécessaires à la manutention courante de l'alternateur et de la turbine seront aussi de la fourniture.

A7.13.3 Charpente

La charpente du pont sera de préférence du type bipoutre caisson et poutres sommiers en caisson aussi, toutes les deux de construction mécano-soudée.

La charpente du pont sera calculée selon les normes F.E.M. (Fédération Européenne de la Manutention).

Dans les sommiers seront installés des galets avec des roulements.

A7.13.4 Système de translation et chemin de roulement

Le système de translation du pont devra être réalisé par deux moteur-réducteurs liés aux poutres sommières.

Le fournisseur devra tenir compte de la facilité de démontage des galets.

Dans les galets moteurs, l'engrenage devra être fixé au galet par des vis.

Les rails de translation du pont seront du type BURBACH en accord avec la norme DIN 536. L'Entrepreneur fournira tous les plaques de nivellement et ancrage des rails qui seront installés sur des poutres en béton.

Les rails de translation du chariot-treuil à installer sur les poutres principales du pont font aussi partie de la fourniture.

La pression maximale spécifique à transmettre au béton sera de 20 kg/cm².

A7.13.5 Chariot-treuil

La longueur des câbles sera telle que quand le crochet est à la position extrême inférieure, deux tours complets soient enroulés autour du tambour.

Le dimensionnement des câbles sera suivant la norme DIN 4130 et ils devront être spécialement projetés pour être utilisés en treuils. Les attaches des câbles aux tambours auront la même résistance que les câbles.

Après calcul, le diamètre du câble devra être majoré en 25 %.

Pour le chariot-treuil, des butées de fin de courses fixées aux poutres du pont seront utilisés.

A7.13.6 Commande et équipement électrique

Le pont roulant sera commandé depuis une boîte radiocommandée pour tous les mouvements. Toutes les commandes seront identifiées avec l'indication de la direction du mouvement qui correspond à chacun d'eux.

Seront compris dans la fourniture tous les éléments concernant l'équipement électrique (moteurs, démarreurs, disjoncteurs, conducteurs, équipement de commande et contrôle, éclairage, sirène, etc.) nécessaires au fonctionnement du pont.

L'équipement électrique devra être compact et inclure tout équipement nécessaire avec une seule alimentation électrique. La fourniture comprendra la boîte à bornes auxquels les conducteurs des câbles d'alimentation seront connectés.

La tension d'alimentation principale du pont sera triphasée, 380 V, 50 Hz.

Tout l'équipement électrique sera fourni pour des conditions tropicalisées.

Seront fournis les contacts de fin de course suivants:

- un pour la descente du crochet
- un pour le levage du crochet
- quatre pour la translation du pont
- quatre pour la direction du chariot-treuil

Un bouton d'arrêt d'urgence sera installé sur un mur de la plateforme de montage à la côte 474,00 NGG et au niveau alternateur à la côte 462,50 NGG.

La commande du palan secondaire (10 tonnes) sera intégrée à la commande du pont roulant principal.

A7.13.7 Caractéristiques du pont roulant principal

Les caractéristiques principales seront les suivantes (les vitesses sont simplement indicatives):

A7.13.7.1 Générales

- | | |
|--|---------------------------------------|
| - charge nominale | 240 tonnes |
| - classe d'utilisation | U2 |
| - spectre de charge | Q3 |
| - groupe | A3 |
| - type | bipoutre caisson |
| - type de construction | soudée |
| - portée | environ 16.40 m |
| - longueur des voies de roulement | environ 110,00 m |
| - type de commande | cabine + boîte radiocommandée étanche |
| - niveaux de commande | à chaque niveaux sur le pont |
| - niveau des poutres de support des rails de roulement | 484,70 NGG |

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A7 – Descriptif de l'Usine– Auxiliaires Mécaniques

- hauteur disponible au-dessus des poutres de support environ 4 m
- vitesses de translation du pont:
- - normale 20 m/min
- - lente (de précision) 0,5 m/min
- flèche maximale du pont sous la charge nominale 1 / 1 000 de la portée
- charge d'essai statique 1,4 x charge nominale
- charge d'essai dynamique 1,2 x charge nominale
- tension d'alimentation 380/220 V (50 Hz)

A7.13.7.2 Palan du pont principal

- charge nominale environ 240 tonnes
- vitesses de translation du chariot:
- ○ - normale 12 m/min
- ○ - lente (de précision) 0,5 m/min
- cote maximale du crochet environ 483,00 NGG
- cote minimale du crochet environ 450,00 NGG
- course de levage environ 33,00 m

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A7 – Descriptif de l'Usine– Auxiliaires Mécaniques

- vitesses de levage:
 - o - normale 3,3 m/min
 - o - lente (de précision) 0,3 m/min

A7.13.7.3 Crochet secondaire sur palan motorisé sous le pont principal

- charge nominale 10 tonnes
- vitesses de translation du crochet:
 - o - normale 6 m/min
 - o - lente (de précision) 0,3 m/min
- cote maximale du crochet environ 483,00 NGG
- cote minimale du crochet environ 439,00 NGG
- course de levage environ 44 m
- vitesses de levage:
 - o - normale 6 m/min
 - o - lente (de précision) 0,6 m/min

Les dimensions des galets et du rail de roulement du pont principal seront de façon à garantir une pression de 50 kgf/cm² sur le béton.

Les galets seront en acier, montés sur rouleaux en acier.

Tous les engrenages seront en acier à denture droite rectifiée.

Les commandes des freins des mouvements de levage seront du type Eldro.

A7.13.8 Pont monopoutre de l'atelier mécanique de l'usine

L'atelier mécanique situé à proximité de la plateforme de montage sera équipé avec un pont monopoutre posé dont la capacité de levage (environ 5 tonnes) devra être suffisante pour manœuvrer la pièce la plus lourde de l'atelier.

Le pont aura un seul palan dont la principale fonction sera la manipulation des pièces lourdes (notamment pendant le montage et l'entretien des groupes).

Le pont sera composé par la charpente, le système de translation et chemin de roulement, le chariot-treuil et l'équipement électrique.

A7.13.8.1 Charpente

La charpente du pont sera de préférence du type monopoutre de construction mécano-soudée.

La charpente du pont sera calculée selon les normes F.E.M. (Fédération Européenne de la Manutention).

Dans les sommiers seront installés des galets avec des roulements.

A7.13.8.2 Système de translation et chemin de roulement

Le système de translation du pont devra être réalisé par deux moteur-réducteurs liés aux poutres sommiers.

Le fournisseur devra tenir compte de la facilité de démontage des galets.

Dans les galets moteurs, l'engrenage devra être fixé au galet par des vis.

Les rails de translation du pont seront du type BURBACH en accord avec la norme DIN 536. L'Entrepreneur fournira tous les plaques de nivellement et ancrage des rails qui seront installés sur des poutres en béton.

Les rails de translation du chariot-treuil à installer sur les poutres principales du pont font aussi partie de la fourniture.

La pression maximale spécifique à transmettre au béton sera de 20 kg/cm².

A7.13.8.3 Chariot-treuil

La longueur des câbles sera telle que quand le crochet est à la position extrême inférieure, deux tours complets soient enroulés autour du tambour.

Le dimensionnement des câbles sera suivant la norme DIN 4130 et ils devront être spécialement projetés pour être utilisés en treuils. Les attaches des câbles aux tambours auront la même résistance que les câbles.

Après calcul, le diamètre du câble devra être majoré en 25%.

Pour le chariot-treuil, seront utilisés des butées de fin de course fixés aux poutres du pont.

A7.13.8.4 Commande et équipement électrique

Le pont sera commandé depuis une boîte radiocommandée pour tous les mouvements. Toutes les commandes seront identifiées avec l'indication de la direction du mouvement qui correspond à chacun d'eux.

Seront compris dans la fourniture tous les éléments concernant l'équipement électrique (moteurs, démarreurs, disjoncteurs, conducteurs, équipement de commande et contrôle, éclairage, sirène, etc.) nécessaires au fonctionnement du pont.

L'équipement électrique devra être compact et inclure tout équipement nécessaire avec une seule alimentation électrique. La fourniture comprendra la boîte à bornes auxquels les conducteurs des câbles d'alimentation seront connectés.

La tension d'alimentation principale du pont sera triphasée, 380 V, 50 Hz.

Tout l'équipement électrique sera fourni pour des conditions tropicalisées.

Seront fournis les contacts de fin de course suivants:

- un pour la descente du crochet
- un pour le levage du crochet
- quatre pour la translation du pont
- quatre pour la direction du chariot-treuil

Un bouton d'arrêt d'urgence sera installé sur un mur de l'atelier au niveau 473,00 NGG.

A7.13.9 Caractéristiques du pont monopoutre

Les caractéristiques principales seront les suivantes (les vitesses sont simplement indicatives):

A7.13.9.1 Générales

- | | |
|--|------------------------------|
| - charge nominale | 5 tonnes |
| - classe d'utilisation | U2 |
| - spectre de charge | Q3 |
| - groupe | A3 |
| - type | monopoutre |
| - type de construction | soudée |
| - portée | environ 6.50 m |
| - longueur des voies de roulement | environ 18.00 m |
| - type de commande | boite radiocommandée étanche |
| - niveau des poutres de support des rails de roulement | 480.00 NGG |
| - hauteur disponible au-dessus des poutres de support | environ 1 m |

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A7 – Descriptif de l'Usine– Auxiliaires Mécaniques

- vitesses de translation du pont:
 - o - normale 20 m/min
 - o - lente (de précision) 0,5 m/min
- flèche maximale du pont sous la charge nominale 1/1000 de la portée
- charge d'essai statique 1,4 x charge nominale
- charge d'essai dynamique 1,2 x charge nominale
- tension d'alimentation 380/220 V (50 Hz)

A7.13.9.2 Palan du pont principal

- charge nominale environ 5 tonnes
- vitesses de translation du chariot:
 - o - normale 12 m/min
 - o - lente (de précision) 0,5 m/min
- cote maximale du crochet environ 481,00 NGG
- cote minimale du crochet environ 474,00 NGG
- course de levage environ 7,00 m
- vitesses de levage:
 - o - normale 3,3 m/min
 - o - lente (de précision) 0,3 m/min

A7.13.9.3 Palans à chaîne

Il sera installé des palans à chaînes dans le magasin de l'usine ainsi que dans la salle de traitement d'eaux au niveau 451,80 NGG.

Ils seront à commande manuelle, et la charge maximale en kg devra tenir compte de la pièce la plus lourde à manutentionner.

Le palan sera suspendu à un chariot, se déplaçant sous une poutre métallique qui servira de chemin de roulement au moyen d'un mécanisme à chaîne à commande manuelle.

A7.13.9.4 Manutention diverse

L'usine sera aussi équipée de lorries de manutention et d'un chariot à fourche.

Des crochets de manutention seront prévus au plafond des équipements les plus lourds (bacs, accumulateurs, transformateur, etc.).

A7.14 AIR COMPRIME DE SERVICE

L'installation de production d'air comprimé basse pression (7 bars), située au niveau 456.60 m, sera commune pour l'utilisation courante d'outils pneumatiques, le système de freinage des alternateurs, le joint auxiliaire gonflable des turbines et dans le process du système d'eau filtrée.

Elle sera composée des équipements suivants:

- deux compresseurs de 100 m³/h (15 kW env.) alimentés en courant alternatif et avec réfrigération d'air, de type « sans huile – oil free »;
- un sécheur d'air par compresseur (point de rosée < -40°C), système de filtres adéquats et bypass
- un post réfrigérant d'air si cela est justifié par le fournisseur afin de maintenir une température d'air en sortie de compresseur inférieure à 35° dans tous les cas.
- deux réservoirs tampon de 1000 litres chacun, pourvus de soupape de sécurité, vanne de drainage, manomètre et trou d'homme, et prévus pour travailler à une pression de 8,8 bar;
- les tuyauteries et clapets entre les compresseurs, les sécheurs et les réservoirs;
- coffrets d'alimentation, commande et contrôle des compresseurs qui, devront inclure aussi un commutateur de sélection de priorité de service entre compresseurs et l'automatisme de contrôle-commande correspondant.

L'installation sera distincte de l'installation de production et distribution d'air pour le régulateur. Le circuit de distribution sera conçu afin qu'une fuite sur le circuit d'air de service n'ait aucune incidence sur l'installation de distribution d'air comprimé vers le système de freinage des alternateurs, et éventuellement le système d'eau filtré. Une vanne pilotée par la pression du circuit, et isolant le circuit d'air service pour utilisation courante sur pression basse, est une solution acceptable.

L'installation devra avoir un fonctionnement autonome, donc l'automatisme devra assurer toutes les fonctions nécessaires au contrôle-commande de l'installation et notamment:

- commutation automatique du compresseur prioritaire pour le compresseur en réserve, en cas de panne sur le prioritaire;
- contrôle automatique du nombre de démarrages de chaque compresseur de façon à assurer que le temps accumulé de service du compresseur prioritaire soit deux fois le temps de service du compresseur de réserve;
- purge automatique des compresseurs ;
- remontée des informations de marche et de défaut en salle de contrôle,

- le pilotage à distance des compresseurs n'est pas envisagé.

A7.15 VENTILATION ET AIR CLIMATISE

A7.15.1 Description générale

Tous les locaux seront dûment ventilés et climatisés hormis les salles d'atelier électrique et mécanique qui ne sont que ventilés. Il n'y a pas de fonction chauffage prévue dans l'usine.

La ventilation aura comme but de conduire la chaleur produite par l'équipement vers l'extérieure et renouveler l'air dans les locaux humides ou avec des atmosphères corrosives.

Elle sera généralement interconnectée avec le système d'incendie dans un diagramme de cause - effet, décrivant les actions en cas d'incendie, notamment les conditions de coupure de la ventilation, et inclura des systèmes de barrière anti-feu (dampers).

A7.15.2 Données d'entrée

Les critères généraux suivants seront utilisés dans les systèmes de ventilation et d'Air Conditionné :

1. Conditions extérieures
 - i. Température mini : 23,7°C
 - ii. Température maxi : 31,3°C
2. Conditions de design de la température intérieure – Zones ventilées : 32 °C
3. Conditions de design de la température intérieure – Zones air conditionnées :
 - i. Température : 24°C
 - ii. Humidité relative: 50%
4. Taux de renouvellement minimum : Il sera vérifié que les taux de renouvellement de débit d'air calculés seront cohérents avec les minimales suivantes :
 - i. La distribution d'air correspondra à la demande mais pas moins que 0.15 m³/min/m² par local
 - ii. L'extraction d'air correspondra à la demande mais pas moins que 0.28 m³/min par personne
 - iii. Extraction d'air :
 - Toilettes / vestiaires : 0.6 m³/min/m² de chaque local

- Salles des batteries : 20 changements d'air par heure et température pas inférieure à 25°C.
5. Pressurisation Minimum: Il sera vérifié que la pressurisation des zones ventilées sera de 50 Pa.
6. Bruit : Le bruit ne dépassera pas 65 db à 3 m des ventilateurs et des extracteurs.

A7.15.3 Climatisation de la centrale

Le système HVAC permet de renouveler l'air des locaux de la centrale afin de maintenir une atmosphère saine et propre pour le confort et la sécurité du personnel et aussi d'éviter les surchauffes qui pourraient provoquer des arrêts des groupes turbines alternateurs.

Trois groupes de climatisation installés au niveau 478,70 NGG, servent à ventiler la centrale et à y introduire l'air neuf en provenance de l'extérieur. Le volume d'air frais est déterminé en fonction des conditions extérieures et des besoins.

Un réseau de gaines d'extraction permet d'extraire l'air chaud des différents locaux de l'usine. Une grande partie de cet air est renvoyé vers la salle de ventilation afin d'être recyclé et renvoyé dans le système de distribution. Le débit d'air neuf est d'environ 20 % du débit total de ventilation. Le pourcentage d'air extrait et recyclé est ajusté à l'aide de registres prévu dans le réseau d'air d'extraction à l'entrée du local de ventilation. L'ajustement est fait en fonction du débit d'air.

Un groupe de climatisation installé dans le local de ventilation est dédié à la pressurisation des cages d'escaliers de la centrale. Ce système assure la sécurité du personnel en cas de feu.

Afin de limiter les puissances des groupes aérauliques installés dans le local de ventilation et des groupes frigorifiques installés en terrasse au niveau 478,70 NGG, des climatiseurs individuels sont installés dans les locaux administratifs et électriques de la centrale.

Quatre extracteurs sont prévus au plafond de la centrale pour la fonction de désenfumage en cas d'incendie.

Les installations de climatisation assureront le filtrage de l'air provenant de l'extérieur, la circulation, le renouvellement et le maintien de la température de l'air comme spécifié ci-après. Ces installations seront contrôlées localement par des thermostats et des télécommandes locales fixes.

Les équipements de ces systèmes assurent les fonctions suivantes :

- renouvellement et filtration de l'air;
- évacuation de l'air vicié;

- maintien des températures et des humidités relatives;

A7.15.4 Ventilation des salles techniques.

Certaines salles présentent des sources potentielles de contamination ou élevées de chaleur et nécessitent d'être contrôlées par des systèmes d'évacuation spécifiques. Elles sont identifiées comme suit :

- ateliers électrique et mécanique;
- salle des compresseurs;
- vestiaires de l'usine;
- salle de stockage des huiles;
- salle du groupe diesel;
- salles des compresseurs;
- salle de filtration d'eau potable.

De façon générale, l'évacuation des salles techniques est dirigée directement à l'extérieur au moyen de ventilateurs dédiés. L'apport d'air frais est assuré via des transferts, à partir de la salle des alternateurs.

Un système indépendant assure la pressurisation des issues de secours.

L'évacuation de l'air vicié des toilettes, des douches et de la cuisine est réalisé directement à l'extérieur de l'usine par des gaines d'extraction spécifiques à ces locaux.

Dans le cas de la salle des batteries seule, la ventilation continuera à fonctionner même en cas d'incendie, afin d'évacuer les dégagements potentiels de gaz. Une gaine d'extraction évacue l'air vicié de ce local directement vers l'extérieur.

A7.15.5 Caractéristiques de la fourniture

Le système de ventilation pourra fournir les surcapacités suivantes :

- Unité d'air conditionné : +5%
- Moteurs des ventilateurs : +20%

Le contrôle du système de ventilation (HVAC), pressurisation et d'air conditionné de l'usine sera piloté automatiquement depuis un système de contrôle digital basé sur des microprocesseurs. Il sera autonome et devra pouvoir redémarrer sans action extérieur après la défaillance de sa source d'alimentation, sans acquittement local du défaut.

Un affichage en salle de contrôle des états du HVAC sera prévu.

Les fonctions suivantes seront assurées :

- Pressurisation et ventilation
- Séquence de démarrage de chaque système
- Contrôle de température de chaque zone
- Contrôle de température et humidité pour l'injection d'air frais
- Etat du système pour chaque équipement : on, off, défaut
- Toutes les alarmes

Le ventilateur de la salle des batteries sera en matériel résistant à l'action des vapeurs acides.

Les conduites d'air seront en tôle galvanisée dimensionnées de sorte que les vitesses suivantes ne soient pas dépassées:

- | | |
|-----------------------|-------|
| - conduites générales | 8 m/s |
| - branchements | 5 m/s |

Les grilles et les diffuseurs seront en aluminium anodisé de couleur naturelle. Les vitesses admises dans les grilles sont:

- | | |
|-------------------------------------|-------|
| - grilles d'insufflation | 4 m/s |
| - grilles de retour et d'extraction | 2 m/s |

Les diffuseurs seront dimensionnés de sorte que la vitesse de l'air à la sortie ne dépassera pas les 5 m/s.

A7.16 EQUIPEMENTS DE L'ATELIER

L'outillage de l'atelier électrique et mécanique situé au niveau 474,00 NGG sera fourni pour assurer une maintenance, réparation et un suivi mécanique complet de la centrale. Des points d'eau de service et d'air comprimé de service seront prévus dans les deux ateliers.

Outre l'outillage commun, il inclura notamment tout l'outillage spécifique au démontage et remontage des groupes, ainsi que des équipements modernes portables de mesures et d'étalonnage (pression, température, vibration commande de vanne, courant, tension, résistance électrique...).

Il inclura également :

- un tour à charioter et à fileter
- une fraiseuse universelle
- une perceuse sur colonne
- un touret à meuler sur socle
- un poste de soudure à arc
- une poste de soudure autogène
- un établi fixe avec tiroirs de rangement et deux étaux à base tournante
- une armoire complète de petit outillage
- un compresseur avec ballon de réserve, à 15 bars

A7.17 ASCENSEUR ET MONTE-CHARGE

Un ascenseur reliera les niveaux 456,60 NGG au niveau 474,00 NGG. Il sera prévu pour le transport de personnes et de charge, avec un système d'auto - nivellation pour éviter une différence de niveau entre la cabine et le sol, un système d'alarme relié à la salle de contrôle, une ventilation, un téléphone et un système de blocage lorsque la cabine se trouve entre deux niveaux ou pour la maintenance.

L'alimentation de l'ascenseur sera connectée sur le tableau secouru.

- Type : électrique, traction par engrenage
- Capacité : 1 500 kg
- Vitesse : 0,42 m/s
- Course : 20,20 m
- Nombre d'arrêt : 4 aux niveaux : 456.60 NGG ; 462,50 NGG ; 467.50 NGG ; 474,00 NGG
- Niveau de la base : 455,00 NGG
- Niveau de la machinerie : 478,70 NGG
- Dimensions du puits : 3 m x 3 m

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A7 – Descriptif de l'Usine– Auxiliaires Mécaniques

- Dimension de la plateforme : 2,50 m x 2,50 m (à confirmer par le fournisseur)

A7.18 INSTALLATION DE DETECTION ET CONTROLE D'INTRUSION

Pour détecter et contrôler l'entrée des intrus, il sera prévu un système de détection, basé dans l'utilisation de détecteurs d'ouverture des portes d'accès de l'extérieure aux locaux à contrôler, complétés par un système de vigilance vidéo avec une caméra.

L'installation de vigilance vidéo sera interconnectée avec l'installation de l'interphone. Ainsi, à partir de l'activation de bouton de l'interphone installé à l'entrée près du portail d'accès à la plate-forme, il sera possible dans la salle de contrôle, en plus d'établir la communication sonore via l'interphone, de visualiser la personne qui fait l'appel, moyennant la caméra vidéo vigilant le local.

La caméra sera guidée automatiquement, à partir de l'information du détecteur d'ouverture qui contrôle le portail d'accès à la plate-forme et du bouton de l'interphone.

L'installation comportera encore l'appareil de visualisation et d'enregistrement des images vidéo capturés par la caméra.

A7.19 RETENTION ET NEUTRALISATION DES ACIDES

Une fosse de rétention des acides est prévue dans la salle des batteries. La récupération peut se faire à partir de cette fosse, après neutralisation à la chaux, au moyen d'une pompe manuelle.

SOMMAIRE DU CHAPITRE A8

USINE - DESCRIPTIF DES APPAREILLAGES ET SYSTEMES ELECTRIQUES DE L'USINE

A8.1 EQUIPEMENTS A LA TENSION DU STATOR	1
A8.1.1 Consistance des équipements	1
A8.1.2 Rôle et présentation	1
A8.1.3 Description et structure du schéma de puissance	3
A8.1.4 Caractéristiques électriques principales des jeux de barres	5
A8.2 TRANSFORMATEURS DE GROUPE	7
A8.2.1 Consistance des équipements	7
A8.2.2 Rôle et présentation	7
A8.2.3 Dispositions constructives appliquées au transformateur de groupe	8
A8.2.3.1 Circuit magnétique	8
A8.2.3.2 Enroulements	8
A8.2.3.3 Cuve et couvercle	8
A8.2.3.4 Bornes de traversées	9
A8.2.3.5 Réglage du rapport de transformation	9
A8.2.3.6 Réfrigération	9
A8.2.3.7 Huile diélectrique	10
A8.2.3.8 Protections et instrumentation embarquées	10
A8.2.3.9 Accessoires, outillages et pièces diverses	11
A8.2.3.10 Protection contre la corrosion	12
A8.2.3.11 Protection contre l'incendie et les explosions internes	12
A8.2.3.12 Optimisation des pertes en service et garanties sujettes à des pénalités	13
A8.2.3.13 Ouvrages associés de génie civil	13
A8.2.3.14 Essais contractuels	14
A8.2.3.15 Equipements de mise à la terre du neutre du réseau de transport	14

A8.2.4	Caractéristiques électriques principales du transformateur de groupe	14
A8.3	ALIMENTATION ELECTRIQUE DES AUXILIAIRES EN COURANT ALTERNATIF	16
A8.3.1	Sources d'alimentation	16
A8.3.2	Choix de la source d'alimentation	16
A8.3.3	Jeux de barres 400 V	17
A8.3.4	Alimentation des auxiliaires des groupes	18
A8.3.5	Puissance des auxiliaires des groupes	18
A8.3.6	Puissance des auxiliaires généraux secourus	19
A8.3.7	Puissance des auxiliaires généraux non secourus	19
A8.3.8	Groupe électrogène	19
A8.3.9	Alimentations en courant continu	20
A8.3.10	Alimentation courant continu 125 V	21
A8.3.11	Alimentation courant continu 48V télécommunications	21
A8.3.12	Eclairage et prises de courant	22
A8.3.13	Téléphone – Généphone	22
A8.3.14	Détection et protection incendie	22
A8.3.14.1	Détection incendie générale	22
A8.3.14.2	Protection incendie	22
A8.3.15	Protection des groupes	23
A8.3.15.1	Protections électriques	23
A8.3.15.2	Protections d'automatismes	24
A8.3.16	Séquences d'arrêt/démarrage des groupes	25
A8.3.16.1	Séquence de démarrage turbine	25
A8.3.16.2	Séquence d'arrêt normal	26
A8.3.16.3	Séquence de déclenchement	26
A8.3.16.4	Séquence de mise en marche à vide sur défaut extérieur	27
A8.3.16.5	Renvoi de tension	27
A8.3.17	Commande des groupes	27
A8.3.17.1	Choix du mode de commande	28
A8.3.17.2	Commande des groupes depuis la SCC	28

A8.3.17.3	Commande des groupes depuis les TLG	28
A8.3.18	Commande du poste 225 kV	31
A8.3.19	Contrôle centralisé de l'aménagement	32
A8.3.19.1	Principes d'exploitation	32
A8.3.19.2	Organisation du système de contrôle-commande	33
A8.3.20	Mesures et comptages	38
A8.3.20.1	Mesures et comptages pour chaque groupe	38
A8.3.20.2	Mesures et comptages pour le poste 225 kV	38
A8.3.20.3	Mesures de niveau	39
A8.3.20.4	Auxiliaires électriques	39
A8.3.20.5	Informations télétransmises	39

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A8 – Usine - Descriptif des Appareillages et systèmes électriques de l'usine

CHAPITRE A8

USINE - DESCRIPTIF DES APPAREILLAGES ET SYSTEMES ELECTRIQUES DE L'USINE

A8.1 EQUIPEMENTS A LA TENSION DU STATOR

A8.1.1 Consistance des équipements

L'appareillage électrique à la tension du stator, pour chacun des quatre groupes hydro-électriques de l'Aménagement de KOUKOUTAMBA est constitué comme suit :

- les jeux de barres de puissance sous gaines continues proprement dits, barres principales et barres en dérivation, qui assurent la liaison électrique entre les bornes du stator de l'alternateur et celles du transformateur de groupe, raccordés en schéma-bloc, ainsi que l'alimentation des différentes armoires qui abritent les équipements énumérés tels que :
- les réducteurs de courant, et les réducteurs de tension débrochables, qui, ensemble alimentent les circuits de régulations de vitesse et de tension, les circuits de mesures, de synchronisation, de comptages et de protections de la turbine, de l'alternateur et du transformateur de puissance,
- les protections contre les surtensions en provenance du réseau THT, constituées de parasurtenseurs, parafoudres à la terre, associés éventuellement à des parafoudres entre phases et à des condensateurs,
- les mises à la terre et les éclisses de service des phases du stator de l'alternateur qui mettent en jeux des dispositifs de shuntage pour l'entretien et les essais,
- la mise à la terre permanente du point neutre de l'alternateur au moyen d'une résistance de limitation du courant de défaut.

Le schéma *KTB-II-04-UP-SK-007* : "Groupes principaux – Schéma unifilaire" du dossier de plans d'avant-projet détaillé montre l'agencement de ces équipements.

A8.1.2 Rôle et présentation

Les équipements à moyenne tension dont il est question dans cet article garantissent la pérennité de la liaison électrique triphasée qui s'étend depuis les bornes de phases du stator, situées dans le cuvelage de l'alternateur au niveau 456,60 NGG, jusqu'aux bornes primaires du transformateur de puissance situé à l'extérieur de l'usine, à l'aval, au niveau 474,00 NGG.

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A8 – Usine - Descriptif des Appareillages et systèmes électriques de l'usine

Cette liaison électrique de forte puissance doit être nécessairement très fiable, car elle est unique. En effet, aucune redondance ne peut être envisagée à ce niveau de façon économique. Les courants de court-circuit qui peuvent s'y développer sont par nature très violents ; ils sont effectivement engendrés d'une part par le réseau THT proche, et d'autre part par le groupe hydroélectrique à ses bornes mêmes.

C'est la raison pour laquelle la conception de cette liaison fait appel à une technologie très sûre unipolaire et blindée. Chaque conducteur de phase est enfermé dans un caisson circulaire ; les dimensions, la forme, le diamètre et l'épaisseur de ces derniers sont fonction de l'intensité du courant qui y circule et de la tension de service.

La liaison fonctionne naturellement à la tension du stator de l'alternateur, c'est à dire 13,8 kV, et l'appareillage est du type sous enveloppe métallique à isolement dans l'air, conforme aux publications CEI 298 et ANSI C 37-23. Le jeu de barres est dit sous gaines coaxiales continues.

On mentionnera en faveur de ce type d'équipement :

- une grande sécurité pour le personnel appelé à travailler à proximité,
- des pertes énergétiques très réduites, en rapport avec les sections de conducteurs mises en œuvre qui peuvent être importantes compte tenu de leur disposition,
- une protection intégrale contre les défauts internes ; en particulier, il n'y a aucun risque qu'un défaut polyphasé ne prenne naissance dans ce réseau,
- une excellente tenue mécanique aux efforts électromagnétiques engendrés par les courants de court-circuit,
- une réduction de l'entretien qui se traduit en disponibilité, les enveloppes protégeant très efficacement le jeu de barres et notamment ses isolateurs contre les agents extérieurs tels que les poussières, l'humidité, les insectes, la faune, etc.
- une simplification des interfaces avec les ouvrages de génie civil,
- des pertes et des échauffements quasiment nuls dans les charpentes et le ferrailage des bétons avoisinants, car le champ magnétique à l'extérieur des enveloppes est pratiquement nul en régime permanent, enfin
- un temps de montage et d'essais aussi réduit que possible sur le site, du fait que les sous-ensembles sont entièrement préfabriqués et testés en usine.

Pour ces différentes raisons, les jeux de barres sous gaines continues constituent une solution idéale pour les liaisons entre alternateur et transformateur de puissance des grandes stations énergétiques.

A8.1.3 Description et structure du schéma de puissance

Dans l'usine, depuis le point neutre de l'alternateur et jusqu'aux bornes du transformateur de groupe, on identifie l'ensemble du matériel moyenne tension installé comme suit, conformément au schéma unifilaire groupe n° *KTB-II-04-UP-SK-007*.

Au niveau 456,60 NGG de l'usine

1. L'armoire de formation du point neutre du stator de l'alternateur, qui contient :
 - a) la formation proprement dite du point neutre, faite de barres isolées de cuivre nu, shuntant les bornes U2-V2-W2 du stator,
 - b) une résistance métallique de 1kW, capable de dissiper 1MJ toutes les trois heures, de valeur ohmique 530 ohms $\pm 1\%$ à 40°C, inoxydable, à isolement dans l'air, destinée à limiter l'intensité du courant de défaut phase-terre à 15 ampères,
 - c) la connexion rigide au réseau de terre de l'usine au travers d'une éclisse boulonnée démontable, et d'un réducteur de courant de type tore sec, enrobé de résine synthétique de calibre 15A/1A, 10VA classe 5P20 destiné à la protection de masse à 95% des enroulements du stator,
 - d) un dispositif d'injection de courant à basse fréquence destiné à la protection complémentaire de masse à 100% des enroulements du stator,
 - e) l'ensemble des quinze (15) réducteurs de courant de phase **côté neutre** de type tore, sec, enrobé de résine synthétique, de calibre 4 000A/1A. Couplés en étoile au secondaire, ils sont concaténés depuis les bornes U2, V2, W2 dans l'ordre suivant :
 - enroulements TC1-1 : 10VA, classe X pour le système de protections alternateur de type 1,
 - enroulements TC1-2 : 10VA, classe X pour le système de protections alternateur de type 2,
 - enroulements TC1-3 : 10VA, classe 1 pour le régulateur de tension de l'alternateur,
 - enroulements TC1-4 : 10VA, classe X, pour la protection différentielle globale alternateur et transformateur 87GT,
 - enroulements TC1-5 : 10VA, classe 0,2, en réserve.
 - f) les éclisses souples et démontables, largement dimensionnées pour supporter en service le courant nominal de l'alternateur, et destinées à raccorder la machine au point neutre.
2. L'armoire de phases du stator de l'alternateur, qui contient :
 - a) les éclisses souples et démontables, largement dimensionnées pour supporter en service le courant nominal de l'alternateur, et destinées à raccorder la machine au réseau.
 - b) l'ensemble des quinze (15) réducteurs de courant de phase **côté réseau** de type tore, sec, enrobé de résine synthétique, de calibre 4 000A/1A. Couplés en étoile au secondaire, ils sont situés depuis les bornes U1, V1, W1 dans l'ordre suivant :

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A8 – Usine - Descriptif des Appareillages et systèmes électriques de l'usine

- enroulements TC2-1 : 10VA, classe X pour le système de protections alternateur de type 1,
- enroulements TC2-2 : 10VA, classe X pour le système de protections alternateur de type 2,
- enroulements TC2-3 : 10VA, classe 1 pour le régulateur de vitesse de la turbine,
- enroulements TC2-4 : 10VA, classe X, pour la protection différentielle transformateur 87T,
- enroulements TC2-5 : 10VA, classe 0,2, pour les chaînes de mesures et de comptages, et les mesures de rendement et l'étalonnage.

3. La dérivation vers les transformateurs de soutirage

Pour mémoire, ces trois (3) transformateurs de type sec, enrobé, sont installés en armoires monophasées accolées, et possèdent une puissance unitaire de 100kVA. Ils sont décrits au paragraphe relatif aux "Auxiliaires 400 V C.A. de groupe".

4. La dérivation vers les transformateurs d'excitation

Pour mémoire, ces trois (3) transformateurs de type sec, sont installés en armoires monophasées accolées, et possèdent une puissance unitaire approximative de 500kVA. Ils sont décrits au paragraphe relatif à l'excitation de l'alternateur.

5. L'armoire des transformateurs de tension, qui contient :

L'ensemble des neuf (9) réducteurs de tension à double secondaire phase-terre de type passe-barre, sec, enrobé de résine synthétique, de calibre $13\,800\text{ V} / \sqrt{3} / 110\text{ V} / \sqrt{3}$ et couplés en étoile au primaire et au secondaire :

- enroulements TT1-1 : 30 VA, classe 0,5, pour le système de protections alternateur de type 1,
- enroulements TT1-2 : 30 VA, classe 0,2, pour les chaînes de mesures et de comptages, et les mesures de rendement et l'étalonnage,
- enroulements TT2-1 : 30 VA, classe 0,2, pour le régulateur de vitesse de la turbine,
- enroulements TT2-2 : 30 VA, classe 0,5, pour le régulateur de tension de l'alternateur.
- enroulements TT3-1 : 30 VA, classe 0,5, pour le système de protections alternateur de type 2,
- enroulements TT3-2 : 30 VA, classe 0,2, pour les équipements de synchronisation.

Les transformateurs de tension de chaque phase sont implantés dans trois armoires monophasées accolées, dans des tiroirs superposés, débouchables permettant un remplacement rapide par simple échange avec un tiroir de réserve. Ils sont équipés du côté moyenne tension de coupe-circuits fusibles à très haut pouvoir de coupure, et du côté basse tension de fusibles à préhenseurs.

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A8 – Usine - Descriptif des Appareillages et systèmes électriques de l'usine

De plus, si cela est nécessaire, les transformateurs de tension posséderont un enroulement tertiaire interne couplé en triangle et fermé sur une résistance de charge destinés à annuler les éventuels phénomènes de ferrorésonance.

Au niveau 462,50 NGG dans l'usine, près du platelage de l'alternateur

6. L'armoire des parasurtenseurs, qui abrite :
- a) les parafoudres de protection phase-terre et éventuellement les condensateurs associés contre les surtensions transmises à travers le transformateur de puissance,
 - b) éventuellement, si cela est nécessaire, les parafoudres de protection phase-phase et les condensateurs associés contre les surtensions transmises à travers le transformateur de puissance,
 - c) les mises à la terre qui sont de deux natures, i/ mise à la terre de service au moyen d'un sectionneur motorisé à fermeture brusque, muni du pouvoir d'établir à la terre les courants de décharge des phases du réseau à la tension statorique, et ii/ mise à la terre d'essais au moyen d'un simple pont de barres boulonnées spécialement prévu pour supporter toutefois les courants de court-circuit lors des essais de l'alternateur, et
 - d) les éclisses, largement dimensionnées pour supporter en service le courant nominal de l'alternateur et destinées à séparer la machine du réseau lors des essais de l'alternateur.

Au niveau 474,00 NGG à l'extérieur de l'usine, à l'amont :

7. L'arrivée en caisson sur le transformateur de puissance.

Cette arrivée est constituée de trois caissons étanches aux intempéries, ajustables dans les trois axes et pourvus d'un dispositif anti-vibratile.

8. L'ensemble des équipements cités précédemment, raccordé par les jeux de barres de dérivation, et relié par le jeu de barres principales, depuis l'armoire de phases jusqu'aux bornes primaires du transformateur de puissance y compris les deux mises en court-circuit d'extrémité des enveloppes et les traversées passe-mur et passe-plancher.

Ce jeu de barres principales, long d'environ 35 mètres, chemine tel que représenté sur les plans *KTB-II-5UP-AM001 et KTB-II-5UP-AM008*, à l'étage alternateur, horizontalement sous le plancher haut du niveau 456,60, puis verticalement sur le long pan amont dans l'élévation de la salle des machines.

A8.1.4 Caractéristiques électriques principales des jeux de barres

Jeux de barres sous gaines métalliques coaxiales continues

Conditions d'installation intérieure et extérieure

Températures ambiantes :

minimale	°C	15
moyenne	°C	30
maximale	°C	45

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A8 – Usine - Descriptif des Appareillages et systèmes électriques de l'usine

Hygrométrie maximale	proche de la saturation	
Tension nominale	kV	13,8
Tension la plus élevée pour le matériel	kV	17,5
Tensions tenues :		
à fréquence industrielle durant une minute	kVeff	38
au choc de foudre, onde 1,2/50µsec	kVcrête	95
 Courants tenus :		
jeu de barres principales		
en service continu	A	5 000
courant admissible durant une seconde	kAeff	60 environ
courant de courte durée admissible	kAcrête	150 environ
 jeu de barres en dérivation		
en service continu	A	500
courant admissible durant une seconde	kAeff	100 environ
courant de courte durée admissible	kAcrête	250 environ
 Echauffements maximaux dus au courant nominal :		
des conducteurs et des contacts	K	40
de l'enveloppe	K	25
 Pertes maximales à 50°C		
dans le conducteur	W/m/phase	140
dans l'enveloppe	W/m/phase	130
 Masses approximatives		
du conducteur	kg/m/phase	30
de l'enveloppe	kg/m/phase	24
 Indice de protection minimal	IP	54
Standard de conception et de réalisation	CEI	298

A8.2 TRANSFORMATEURS DE GROUPE

A8.2.1 Consistance des équipements

Le banc de transformation de puissance est constitué pour chacun des quatre groupes hydro-électriques de l'Aménagement de KOUKOUTAMBA comme suit :

- le transformateur élévateur proprement dit, y compris l'ensemble de ses accessoires,
- la protection contre l'incendie et les explosions internes,
- la mise à la terre du réseau THT.

A8.2.2 Rôle et présentation

Les transformateurs de puissance décrits dans cet article ont pour rôle essentiel d'élever la tension de 13,8 kV, à laquelle est produite économiquement l'énergie électrique par l'alternateur, à la tension du réseau de 225 kV, à laquelle cette dernière sera transportée vers les centres de consommation du réseau électrique. Un autre rôle doit être reconnu à ce type de transformateur générateur de terre ; il s'agit de l'isolement galvanique des réseaux à ces deux tensions, ainsi que le contrôle du neutre du réseau de transport.

Pour garantir le fonctionnement des unités de production, un défaut étant toujours susceptible d'occurrence, un appareil surnuméraire de remplacement offre la possibilité de mettre en service en cas de besoin, sans délai. Dans le cas présent, le complément de fourniture de quatre à cinq transformateurs est envisagé spécialement après décision du Maître de l'Ouvrage.

Comme le représentent les plans *KTB-II-5UP-AM001* et *KTB-II-5UP-AM003*, les transformateurs de groupe sont installés dans des conditions semi-extérieures, dans des stalles couvertes, situées à l'extérieur de l'usine, accolées au long pan amont, au niveau 474,00 NGG.

Le transformateur de chaque groupe est raccordé à l'alternateur selon le schéma typique dit schéma-bloc. Cette disposition offre une parfaite autonomie de la "Tranche Groupe", depuis la prise d'eau jusque et y compris le disjoncteur de couplage au réseau. L'entière indépendance des auxiliaires électriques propres du groupe est assurée par leur auto-alimentation en soutirage aux bornes de l'alternateur.

Le primaire du transformateur de groupe fonctionne naturellement à la tension du stator de l'alternateur, c'est à dire 13,8 kV, et le secondaire à la tension du réseau, c'est à dire 225 kV.

La valeur exacte du rapport de transformation à vide (*) sera précisée lors de la phase d'études suivante, lorsque seront connues les contraintes d'échanges d'énergies réactives avec le réseau THT.

L'appareillage est en tout point conforme aux publications de la CEI, Commission Electrotechnique Internationale, notamment les normes 60076-1 à 10.

A8.2.3 Dispositions constructives appliquées au transformateur de groupe

A8.2.3.1 Circuit magnétique

Le circuit magnétique, fretté, sans boulon, est constitué d'un empilage de tôles magnétiques à cristaux orientés, à pertes très réduites, laminées à froid et isolées.

Le choix du type de circuit magnétique sera laissé à l'initiative du Constructeur.

A8.2.3.2 Enroulements

Les enroulements, de forme circulaire, sont concentriques et constitués de conducteurs en cuivre électrolytiquement pur, isolés par plusieurs couches de papier. Ces conducteurs sont à brins multiples transposés et isolés.

L'isolation principale entre les différents enroulements et la masse est assurée par des éléments en transformerboard et des flux d'huile.

L'isolation du neutre des enroulements à très haute tension du transformateur est non-uniforme ou réduite en conformité avec les valeurs requises pour l'isolement et les essais.

Une technique éprouvée d'enroulements entrelacés pourraient conduire après accord, à la réduction de la valeur des essais de choc de 1 050 à 950 kVcrête.

Le choix du type des enroulements, de leurs positions relatives, et de la technique de bobinage sera laissé à l'initiative du Constructeur.

A8.2.3.3 Cuve et couvercle

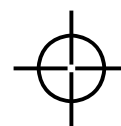
Le choix du type de cuve et de couvercle sera laissé à l'initiative du Constructeur. Toutefois, il faut mentionner ici, que l'Exploitant dispose d'une fosse de décuvage dans l'usine, et de moyen de levage important dont la charge utile est largement supérieure au poids de la partie active du transformateur.

La cuve et le couvercle sont réalisés en tôle d'acier boulonnée avec joints. Ils sont de construction très robuste et doivent pouvoir supporter, sans déformation permanente, d'une part, un vide poussé de l'ordre de 0,5torr, la résistance au vide étant largement suffisante en considération de l'emploi d'appareils modernes de traitement des huiles diélectriques, et d'autre part, des surpressions de l'ordre de 55kPa, la résistance à la surpression étant largement suffisante en considération du tarage des soupapes de sécurité.

Les axes, parallèles aux faces, qui concourent au centre de gravité sont matérialisés sur les quatre faces latérales du transformateur par le symbole suivant :



en ordre de marche



pour le transport

A8.2.3.4 Bornes de traversées

Les bornes de traversée sont du type : bornes-condensateur.

Les bornes de traversée sont facilement démontables et remplaçables sans qu'il soit nécessaire de découvrir le transformateur ni même de soulever le couvercle de la cuve. Seule une vidange d'huile très réduite doit être suffisante pour effectuer l'opération de remplacement.

Les bornes à moyenne tension sont de type classique en porcelaine à jupes et à plage de raccordement en aluminium. Elles seront spécialement capotées par un système souple à soufflet, terminaison des caissons monophasés qui enferment le jeu de barres sous gaines coaxiales continues décrit au paragraphe précédent.

Les bornes haute tension d'un type standard assurent l'interface entièrement étanche entre l'huile diélectrique et l'air ambiant.

A8.2.3.5 Réglage du rapport de transformation

Les prises de réglage du rapport de transformation sont placées sur l'enroulement très haute tension du transformateur. Le nombre de spires varie en quatre gradins et cinq prises. Le commutateur de prises, qu'il soit de révolution ou linéaire, est manœuvrable exclusivement hors tension au moyen d'un volant situé à hauteur d'homme.

A8.2.3.6 Réfrigération

Pour les puissances élevées, supérieures à 75 MVA, telles que celle des transformateurs de l'aménagement de KOUKOUTAMBA, le type classique de refroidissement ONAN-ONAF engendrerait un nombre et des dimensions de radiateurs tels que le Constructeur pourrait éprouver des difficultés à les installer à demeure sur les faces de la cuve.

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A8 – Usine - Descriptif des Appareillages et systèmes électriques de l'usine

Pour éviter par ailleurs une disposition en batteries indépendantes de radiateurs ventilés, solution onéreuse et d'un encombrement important, le Consultant à recours ici à un type de refroidissement par aéroréfrigérants, identifié OFAF ou ODAF, selon que le diélectrique est à flux forcé ou forcé et dirigé dans des canaux aménagés au travers des enroulements et du circuit magnétique. L'encombrement au sol du transformateur s'en trouve fortement réduit car les dimensions des aéroréfrigérants sont faibles, ces derniers pouvant généralement se loger sur une seule face de l'appareil, ce qui facilite i/ l'installation contre et entre murs, ainsi que ii/ les raccordements électriques. Actuellement, les modèles d'aéroréfrigérants disponibles sur le marché (déflecteurs en matière synthétique et moteurs à vitesse lente) sont d'une grande efficacité et très performants en ce qui concerne le niveau de bruit.

Il faut mentionner que la source d'énergie électrique des auxiliaires ne doit pas faillir. L'alimentation électrique des aéroréfrigérants doit être sûre et délivrée par le jeu de barres "Essentiels", et donc secourue par le groupe électrogène.

A8.2.3.7 Huile diélectrique

L'huile diélectrique est conforme à la norme CEI publication 296. De plus, elle doit être impérativement spécialement "passivée ou mieux inhibée", et ne présenter aucun risque de dépôt sur les bobinages vis-à-vis des sulfures de cuivre. Elle pourra être du type 10GBNP ou 10XT de la firme Nynas ou équivalent.

S'agissant d'un transformateur respirant, il dispose d'un conservateur d'huile réalisé en tôle d'acier soudée électriquement. Ce conservateur est monté directement sur la cuve du transformateur. Le volume utile du conservateur est tel que les indications extrêmes, minimale et maximale de l'indicateur de niveau ne soient pas atteintes lorsque l'huile du transformateur est portée aux températures respectives de +15 C et +115 C.

A8.2.3.8 Protections et instrumentation embarquées

Les protections embarquées sont classiquement les suivantes :

- deux relais de détection de gaz de type Buccholz,
- deux thermostats d'huile, et trois doigts de gant en réserve,
- une soupape tarée de sécurité ultime de la firme Qualitrol avec contacts et réarmé,
- une soupape de décompression, asservie au système éprouvé anti-explosion interne de la firme Sergi ou autre.

L'instrumentation embarquée est la suivante :

- une image thermique du cuivre du bobinage moyenne tension, avec cadran local, report à distance, et quatre contacts de seuils réglables,

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A8 – Usine - Descriptif des Appareillages et systèmes électriques de l'usine

- un thermomètre d'huile, avec cadran local, report à distance, et quatre contacts de seuils réglables,
- un mesureur de niveau d'huile capacitif dans le conservateur, avec cadran local, report à distance, et deux contacts de seuils réglables,
- une image thermique du cuivre du bobinage très haute tension, avec cadran local, report à distance, et quatre contacts de seuils réglables,
- un réducteur de courant TCC de type tore, sec et enrobé de résine synthétique, de calibre 50-250A/1A, 10VA, classe 5P20, délivrant l'image du courant de drainage pour l'alimentation d'un relais de protection d'isolement, dit de masse cuve 50N.

A8.2.3.9 Accessoires, outillages et pièces diverses

Les différents équipements accessoires prévus sur le transformateur sont :

- un trou d'homme,
- des vannes exclusivement en acier,
- des tuyauteries en acier galvanisé deux faces,
- de la boulonnerie en acier inoxydable,
- un robinet de vidange de l'huile,
- un orifice complémentaire de vidange du point bas avec un bouchon fileté,
- deux robinets, avec raccords adaptés à un appareil moderne de traitement des huiles diélectriques,
- trois ouvertures, situées sur le couvercle et placées judicieusement pour permettre l'arrosage de la partie active lors d'un séchage sous vide,
- une vanne, située sur le couvercle servant de prise de vide lors du séchage sous vide de la partie active,
- deux robinets cadennassables pour prise d'échantillon d'huile,
- les crochets ou tourillons de soulèvement et de halage,
- les plaques d'appuis des vérins,
- quatre galets de roulement à boudins, orientables et proprement isolés de la cuve,
- deux armoires d'appareillage, l'une dédiée aux auxiliaires électriques 400V, et l'autre refermant derrière des hublots l'instrumentation,
- une plaque signalétique normalisée figurant le schéma des connexions,

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A8 – Usine - Descriptif des Appareillages et systèmes électriques de l'usine

- des plaques signalétiques métalliques indiquant l'indice horaire des phases des réseaux très haute tensions : 0-4-8 et N, et moyenne tension : 11-3-7,
- la borne unique de mise à la terre de la cuve,
- quatre dispositifs permettant l'immobilisation sûre, du transformateur sur sa voie de repos, etc.

La fourniture comprendra de plus :

- l'ensemble de la documentation technique, schémas, plans et rapports d'essais, et les manuels de mise en service et d'entretien,
- les outils et outillages spéciaux nécessaires pour le montage et l'entretien des appareils,
- les outillages nécessaires pour le transport, la manutention et le halage des appareils,
- les produits consommables et 120 % de l'huile de premier remplissage,
- les équipements nécessaires pour le traitement des huiles diélectriques, tels que les appareils de traitement et de contrôle de la société Maxéi ou autre, bêche, etc.
- les pièces de rechange nécessaires pour une exploitation de cinq années consécutive à la fin du délai de garantie des appareils.

A8.2.3.10 Protection contre la corrosion

Aussitôt après un lavage et un dégraissage sous haute pression suivi d'un séchage en cabine, les surfaces extérieures reçoivent une protection à trois couches de peinture :

- i) une couche primaire
apprêt antirouille époxydique de couleur verte,
- ii) une couche intermédiaire
finition glycérophtalique de couleur grise,
- iii) une couche de finition
finition glycérophtalique de couleur blanche.

A8.2.3.11 Protection contre l'incendie et les explosions internes

L'installation de protections, d'une part contre l'incendie, et d'autre part contre les explosions internes, est jugée nécessaire sur les quatre transformateurs de groupe de l'Aménagement de KOUKOUTAMBA.

Protection contre l'incendie

Elle est du type à aspersion d'eau par vanne déluge asservie à un circuit d'air sous pression de la firme Viking ou équivalent.

Protection contre les explosions internes

Dans son principe de fonctionnement mis en œuvre par la firme Sergi, une soupape tarée décomprime la cuve extrêmement rapidement, et l'huile évacuée est remplacée par du gaz azote.

Par ailleurs, la fourniture d'un cinquième transformateur de réserve étant envisagée, le bien-fondé de la mise en place d'une protection contre l'incendie par aspersion d'eau pourrait être reconsidéré.

A8.2.3.12 Optimisation des pertes en service et garanties sujettes à des pénalités

Le Constructeur devra optimiser les pertes à vide et les pertes en charge admissibles en rapport avec le coût du kilowatt de pertes capitalisées du réseau.

Les coûts de ces pertes sont les suivantes : (valeurs proposées par le Consultant, à confirmer)

- pertes constantes : 6 000 Euros,
- pertes proportionnelles à la charge : 2 000 Euros.

Les garanties sujettes à des pénalités sont les suivantes :

- les pertes à vide et en charge,
- la tension de court-circuit,
- le courant magnétisant,
- le rapport de transformation à vide,
- les échauffements,
- le niveau de bruit.

A8.2.3.13 Ouvrages associés de génie civil

Pour l'installation des transformateurs de groupe, les ouvrages concernent :

- les massifs de repos,
- les massifs de halage avec crayons
- les fosses de rétention des huiles,

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A8 – Usine - Descriptif des Appareillages et systèmes électriques de l'usine

- la fosse du séparateur eau-huile et l'évacuation des eaux vers le puisard,
- les murs pare-feu,
- les voies ferrées,
- les ouvrages pour le câblage,
- les regards de terre,
- les enclos grillagés, portes et portillon.

A8.2.3.14 Essais contractuels

L'approbation des transformateurs de groupe sera assujettie à une série de tests probants effectués en usine préalablement à l'expédition des appareils, et sur site après le montage et préalablement à la réception.

- a. Approbation des études du Constructeur,
- b. Vérification en cours de fabrication,
- c. Essais sur éléments avant montage,

Essais en usine

- d. essais de routine selon CEI,
- e. essais de type selon CEI,
- f. essais spéciaux selon CEI,
- g. essais complémentaires selon CEI,

Essais sur site

A8.2.3.15 Equipements de mise à la terre du neutre du réseau de transport

Comme il est dit ci-avant, le réseau de transport à 225 kV est directement et solidement raccordé à la terre. Le transformateur de groupe joue ainsi son rôle de générateur de terre.

La borne de neutre N de l'enroulement secondaire du transformateur est raccordée, dans un regard, au réseau général de terre de l'usine au moyen d'un tube de cuivre rigide et largement dimensionné, et au travers d'un réducteur de courant TCR de type tore, sec et enrobé de résine synthétique, de calibre 800 A /1A, 10 VA, classe X, servant à l'alimentation du relais à maxima de courant homopolaire du réseau 51N, et de terre restreinte du transformateur 64 REF.

A8.2.4 Caractéristiques électriques principales du transformateur de groupe

Ces transformateurs de puissance élévateur de tension à bain d'huile ont pour caractéristiques :

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A8 – Usine - Descriptif des Appareillages et systèmes électriques de l'usine

Conditions d'installation			semi-extérieure
Températures ambiantes :			
	minimale	°C	15
	moyenne	°C	30
	maximale	°C	50
Hygrométrie maximale			proche de la saturation
Puissance nominale toutes prises		MVA	86,5
(*) Rapport de transformation à vide	kV/kV		13,8/235 (à confirmer)
Groupe de couplage			YNd11
Régime de neutre			solidement à la terre
Tension de court-circuit		CEI	12,5%
Refroidissement		CEI	ODAF (ou OFAF)
Echauffements garantis à 50°C			
huile diélectrique (par thermomètre)		K	50
circuit magnétique			non-dommageable
cuivre des enroulements (moyen)		K	55
Enroulement primaire :			
Tension nominale		kV	13,38
Tension la plus élevée pour le matériel		kV	17,5
Tensions tenues :			
à fréquence industrielle durant une minute		kVeff	38 FI
au choc de foudre, onde 1,2/50µsec		kVcrête	95 CF
Couplage			triangle
Nombre de bornes			trois
Repérage spatial des bornes (vues de face, de la gauche vers la droite)		a-b-c	11-3-7
Enroulement secondaire :			
Tension nominale		kV	225
Tension la plus élevée pour le matériel		kV	245
Tensions tenues :			
à fréquence industrielle durant une minute		kVeff	460 FI
au choc de manœuvre, onde 250 /2 500 µsec		kVcrête	850 CM
au choc de foudre, onde 1,2/50 µsec		kVcrête	1 050 CF
Isolement du neutre			gradué ou réduit
Couplage			étoile
Nombre de bornes			quatre
Repérage spatial des bornes (vues de face, de la gauche vers la droite)		A-B-C-N	0-4-8-N
Réglage de la tension :			
Type de réglage			hors tension
Etendues des prises			± 2x2,5%
Nombre de prises			cinq

A8.3 ALIMENTATION ELECTRIQUE DES AUXILIAIRES EN COURANT ALTERNATIF

A8.3.1 Sources d'alimentation

L'usine dispose de 2 sources totalement indépendantes, pour l'alimentation des auxiliaires en courant alternatif triphasé 400 V. Un permutateur avec inter-verrouillage mécanique, permet de choisir la source utilisée :

- alimentation normale : par un soutirage en 30kV depuis le poste 225 kV de KOUKOUTAMBA, équipé de 2 transformateurs 30 kV / 415 V installés à l'usine de KOUKOUTAMBA,
- alimentation de secours : par un groupe électrogène, installé dans un local au niveau de la plate-forme des transformateurs degroupe.

Ce soutirage 30kV permet d'alimenter également :

- l'ouvrage de prise d'eau,
- les auxiliaires C.A. du barrage principal
- la cité d'exploitation du Maître d'Ouvrage,
- des villages situés à l'aval du barrage.

A8.3.2 Choix de la source d'alimentation

Un commutateur "Manuel / Automatique" permet de choisir le mode de commande des basculements de source :

- en position "Manuel", la source d'alimentation est choisie par manœuvres manuelles :
 - o arrêt/démarrage du groupe électrogène,
 - o commande des contacteurs de permutation.
- en position manuelle, il n'y a pas de basculement automatique sur une autre source, lorsque la source utilisée est défailante.
- en position "Automatique", les basculements de source sont automatiques, pour maintenir l'alimentation des auxiliaires.

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A8 – Usine - Descriptif des Appareillages et systèmes électriques de l'usine

Les priorités des 2 sources d'alimentation sont données par un commutateur de choix à 2 positions :

	Positions	Priorité I	Priorité II
	Position 1	Alimentation normale	G.E.
G.E.	Position 2	G.E.	Alimentation normale

Les automatismes déclenchent automatiquement :

- un basculement sur la source de priorité suivante, en cas de défaillance de la source utilisée,
- un basculement sur la source de priorité précédente, en cas de retour de disponibilité de cette source.

Les commandes automatiques sont les suivantes :

- arrêt/démarrage du groupe électrogène,
- commande des contacteurs de permutation.

A8.3.3 Jeux de barres 400 V

Le neutre n'est pas distribué, sauf pour les circuits d'éclairage et de prises de courant, où un neutre est recréé au niveau des transformateurs 400V / 230V.

La distribution des auxiliaires alternatifs 400V est répartie en fonction des jeux de barres suivants :

Usine

- un jeu de barres par groupe, pour l'alimentation des auxiliaires du groupe,
- un jeu de barres pour les auxiliaires généraux secourus par le groupe électrogène,
- un jeu de barres pour les auxiliaires généraux non secourus,

Le disjoncteur de délestage du jeu de barres des auxiliaires non secourus peut être fermé manuellement, si l'on désire alimenter certains auxiliaires non secourus lors d'une absence prolongée de l'alimentation normale. Il faut alors surveiller la non surcharge du secours.

Barrage

Les auxiliaires 400V CA du barrage sont alimentés par une boucle raccordée au jeu de barres des auxiliaires essentiels de l'usine, ceux-ci étant secourus par le groupe électrogène de l'usine.

A8.3.4 Alimentation des auxiliaires des groupes

Le jeu de barres 400 V CA d'alimentation des auxiliaires de chaque groupe est alimenté de la manière suivante :

- pendant la phase de démarrage : alimentation par le soutirage du poste 225 kV, secours par le groupe électrogène,
- après couplage du groupe : basculement automatique sur le soutirage à la sortie de l'alternateur du groupe. Le groupe devient ainsi autonome.

En cas de défaillance du soutirage groupe, l'alimentation rebascule automatiquement sur l'alimentation générale (*comme pour la phase démarrage*).

A8.3.5 Puissance des auxiliaires des groupes

Bilan des puissances

-	Circuit de réfrigération	
	· 2 pompes circulation d'eau fonctionnant en normal/secours	
	· Puissance d'une pompe	40 kVA
	· Filtres rotatifs	1 kVA
-	Pompes d'injection d'huile pivot	
	· 1 pompe normale	15 kVA
	· 1 pompe secours alimentée en courant continu	
-	Centrale de régulation	
	· 2 pompes de circulation d'huile fonctionnant en normal/secours	
	· Puissance d'une pompe	94 kVA
-	Auxiliaires du transformateur	
	· Ventilateurs	10 kVA
	· Pompes de circulation d'huile	5 kVA
-	Chauffage alternateur	10 kVA
-	Divers	20 kVA

A8.3.6 Puissance des auxiliaires généraux secourus

–	2 compresseurs d'air fonctionnant en normal/secours (alimentation de l'accumulateur air/huile du freinage alternateur des 4 groupes, etc.)	
·	Puissance d'un compresseur	15 kVA
–	Exhaure :	
·	2 pompes d'exhaure en fonctionnement	
	Puissance d'une pompe	95 kVA
–	Eau incendie :	
·	1 pompe normale	20 kVA
·	1 pompe secours	
–	Auxiliaires groupe électrogène de secours	10 kVA
–	Extraction CO ₂	1 kVA
–	Ventilation locaux batteries	1 kVA
–	Climatisation & ventilation	125 kVA
–	Circuits contrôle-commande	5 kVA
–	Groupe de traitement d'eau potable	2 kVA
–	Départ barrage	40 kVA
–	Chargeurs batteries 125 V	30 kVA
–	Onduleurs	10 kVA
–	Chargeur batterie 48 V télécommunications	8 kVA
–	Eclairage essentiel	125 kVA

A8.3.7 Puissance des auxiliaires généraux non secourus

–	Pont roulant 250 tonnes	95 kVA
–	Monorails batardeaux 15 tonnes	15 kVA
–	Pompe à boue	20 kVA
–	Climatisation & ventilation	450 kVA
–	Equipement atelier mécanique	30 kVA
–	Equipement atelier électrique	30 kVA
–	Air comprimé de service	15 kVA
–	Groupe de traitement d'huile	90 kVA
–	Groupe de soulèvement alternateur	15 kVA
–	Eclairage	150 kVA
–	Prises de courant	100 kVA

A8.3.8 Groupe électrogène

Le groupe électrogène de secours (G.E.) constitue la deuxième source d'alimentation électrique 400 V des auxiliaires en courant alternatif.

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A8 – Usine - Descriptif des Appareillages et systèmes électriques de l'usine

Il est installé dans un local spécifique, à côté de la plate-forme des transformateurs principaux.

Ce groupe, à démarrage automatique par démarreur électrique a les caractéristiques principales suivantes :

- service continu,
- puissance fournie sous $\cos \varphi = 0,8$ à 474,00 NGG d'altitude : 800 kW
- capacité de reprise en une seule charge, à partir de la marche à vide 350 kW
- temps maximum entre démarrage et prise de charge totale 15 s

Les principaux équipements sont les suivants :

- moteur et alternateur mis en groupe sur un châssis commun, avec accouplement élastique et silentbloc entre châssis et moteur/alternateur,
- circuit de graissage du moteur avec pompe entraînée et refroidissement par réfrigérant huile/eau et ventilateur,
- circuit d'échappement,
- circuit fuel avec cuve à fuel 8 m³ enterrée, et nourrice journalière 500 litres dans le local du groupe électrogène,
- préchauffage,
- démarreur électrique
- régulateur de vitesse type électrique Woodward,
- alternateur type auto-ventilé, sans bague ni balais, excitation par alternateur auxiliaire, diode tournante et régulateur statique,
- volant lourd,
- armoire de commande et de protections,
- ventilation du local,
- résistance de charge (200 kW) à mise en service automatique par relais de puissance à 2 seuils et contacteur, installée sur le toit du local.

A8.3.9 Alimentations en courant continu

Les équipements de production et d'alimentation des auxiliaires en courant continu sont installés dans l'étage "régulation" de l'usine.

Ces équipements alimentent :

- l'usine, et
- les prises d'eau du barrage.

Pour les équipements auxiliaires du barrage alimentés en 48Vcc, un ensemble batterie-chargeur 48Vcc sera installé à la cabine aval de la restitution. Les calibres des équipements 48Vcc devront être adaptés aux besoins réels de l'installation.

L'armoire contiendra un redresseur de calibre 30 A au minimum, avec un jeu de barres pour la distribution 48Vcc. La batterie sera du type nickel-cadmium. Elle aura une batterie de 60 Ah. Un coffret IP 41 contenant 2 fusibles HPC sera installé près de la batterie.

A8.3.10 Alimentation courant continu 125 V

Les équipements sont les suivants:

- deux ensembles redresseur/batterie 125V, raccordés chacun sur un jeu de barres, fonctionnant en parallèle et pouvant chacun assurer l'alimentation de l'ensemble des auxiliaires.

Chaque batterie a une capacité de 1200 Ah et est constituée de 96 éléments de type nickel-cadmium.

Les redresseurs du type à diodes au silicium, d'un calibre de 400 A, assurent à intensité constante, la charge de la batterie qui leur est associée, et fonctionnent en floating. Ils sont alimentés par le jeu de barres 400 V des auxiliaires généraux secourus.

- un tableau de départ des auxiliaires 125 V, comportant :
 - o 2 jeux de barres, alimentés chacun par un ensemble redresseur/batterie,
 - o des départs, raccordés en parallèle sur les 2 jeux de barres par des fusibles de protection et des diodes empêchant la circulation de courant entre batteries, et équipés d'un disjoncteur bipolaire amovible.

A8.3.11 Alimentation courant continu 48V télécommunications

Ces équipements sont réservés aux auxiliaires des équipements de télécommunication.

Ils comportent un ensemble redresseur/batterie 48 V et un tableau de distribution. La batterie de type nickel-cadmium a une capacité de 300 Ah et est installée dans le local batteries. Le redresseur a une capacité de 100 A.

A8.3.12 Eclairage et prises de courant

L'éclairage de l'usine est réparti sur les 2 jeux de barres "Auxiliaires généraux" (secourus ou non secourus), à travers des transformateurs 400V / 230V.

Des blocs de sécurité autonomes assurent un balisage en attendant le retour de tension.

Le circuit des prises de courant de l'usine est assuré par le jeu de barres "Auxiliaires généraux non secourus" à travers un transformateur 400V / 230V, 400V.

A8.3.13 Téléphone – Généphone

Les télécommunications sont assurées par une installation téléphonique comportant un auto-commutateur privé interne à l'usine, avec des postes dans les différents locaux de l'usine et des liaisons avec le poste 225 kV, les prises d'eau du barrage et la cité d'exploitation.

Une ligne est attribuée à l'usine dans le système de communication HF utilisant le réseau 225 kV.

D'autre part, un réseau généphone est installé dans l'usine à proximité des organes principaux des groupes et de l'usine, pour l'utilisation de téléphones portatifs pendant les essais.

A8.3.14 Détection et protection incendie

A8.3.14.1 *Détection incendie générale*

L'usine est équipée d'un système de détection incendie comportant :

- des détecteurs d'incendie répartis dans les différents locaux,
- une centrale d'alarme installée dans la salle de commande centralisée.

A8.3.14.2 *Protection incendie*

L'usine dispose des équipements de protection incendie suivants :

- arrosage de transformateurs principaux par eau pulvérisée, déclenché automatiquement sur détections,
- émission de CO₂ dans le cuvelage des alternateurs, déclenchée automatiquement sur détections,
- robinets d'incendie armés de lances, répartis dans l'usine.

L'eau incendie est fournie par une installation commune à toute l'usine.

Chaque groupe possède une batterie de bouteilles CO₂.

A8.3.15 Protection des groupes

A8.3.15.1 Protections électriques

Les protections électriques ont pour but de limiter l'amplitude et la durée des défauts dont les alternateurs sont le siège. Elles seront fiables afin d'éviter les pertes de production consécutives à une immobilisation prolongée pour réparation ou arrêt intempestif.

Les alternateurs et les transformateurs de groupe étant de puissance relativement importante, les protections électriques de chaque groupe seront doublées afin d'assurer une fiabilité élevée de chacun des systèmes de protection. Egalement, pour un même défaut, plusieurs types de protections pourront être activés assurant ainsi une sécurité supplémentaire.

Les fonctions recommandées à mettre en œuvre par ensemble de protections électriques de chacun des groupes principaux comprennent :

Alternateur

- Protection charge déséquilibrée alternateur (46);
- Protection de surtension (59);
- Protection terre stator (59N);
- Protection mini excitation (40);
- Protection retour de puissance (32);
- Discordance circuits tension (60);
- Protection différentielle (87G);
- Protection fréquence anormale (81);
- Protection 95% masse stator (51N);
- Protection 100% masse stator (64N);
- Protection masse rotor (64F);
- Surcharge thermique rotor (49F);
- Surcharge thermique stator (49G);
- Sursaturation V/H (24);
- Protection mini impédance (21);
- Protection maxi excitation (59/81).
- Protection mise sous tension indésirable (27/50EI)

Transformateur de groupe

- Différentielle globale (87GT);
- Maxi courant HT (50/51);
- Maxi courant BT (50/51/51N);
- Défaut pression (63A/B);
- Surcharge (49A/B);
- Niveau huile cuve (71);

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A8 – Usine - Descriptif des Appareillages et systèmes électriques de l'usine

- Température huile (26);
- Différentielle (87T).
- Maxi courant neutre (51N)

A8.3.15.2 Protections d'automatismes

Les protections d'automatismes des groupes sont classées de la manière suivante :

Défaut type 1

Arrêt bloqué du groupe sur défauts permanents de nature électrique nécessitant une mise hors tension par déclenchement immédiat du disjoncteur 225 kV de groupe.

Défaut type 2

Arrêt bloqué du groupe sur défauts mécaniques, pour lesquels la mise hors tension immédiate ne s'impose pas. Les séquences d'arrêt correspondent à celles de l'arrêt normal.

Défaut type 3

Arrêt d'urgence du groupe sur certaines protections (bouton arrêt d'urgence, survitesse, inondation, incendie, etc.) avec déclenchements simultanés entraînant la fermeture de la vanne de tête, et si l'arrêt du groupe par défaut type 1.

Défaut type 4

Découplage du groupe et retour en marche à vide sur défaut du réseau. Ces défauts détectés par les protections des lignes sont souvent fugitifs. Le groupe peut être recouplé après disparition du défaut en évitant l'arrêt du groupe.

Défaut type 5

Cette action de secours fonctionnera en cas de défaillance des protections type 1 et 2. Son effet est identique à celui du défaut type 1.

Chacune des protections est pilotée par un relais général unique, fonctionnant à manque de tension.

En cas de non ouverture du disjoncteur 225 kV d'un groupe, des ordres d'ouverture sont envoyés aux disjoncteurs encadrants, soit :

- les 2 disjoncteurs départ ligne,
- les disjoncteurs des 3 autres groupes (par l'intermédiaire d'un défaut type 1).

A8.3.16 Séquences d'arrêt/démarrage des groupes

La séquence de démarrage turbine peut être réalisée soit en automatique, soit en pas à pas. Le couplage peut être réalisé soit en automatique soit manuellement.

Les séquences d'arrêt (normal ou sur défaut) sont uniquement automatiques.

En renvoi de tension, le démarrage du groupe et la fermeture du disjoncteur 225 kV sont automatiques (soit depuis la SCC soit depuis le TLG).

A8.3.16.1 Séquence de démarrage turbine

Les étapes de la séquence de démarrage sont les suivantes, la poursuite du démarrage étant subordonnée au succès de chaque étape successive.

=> Ordre "Marche Turbine"

- a) Conditions initiales et conditions permanentes (CI/CP) satisfaites.
- b) Application des freins
- c) Mise en service des auxiliaires de réfrigération:
 - vanne d'alimentation des circuits du groupe et filtres rotatifs,
 - pompe de circulation d'huile et ventilateurs du transformateur principal
 - Mise en service de la pompe d'injection d'huile
 - Mise en service de la régulation de vitesse :
 - pompe de mise en pression d'huile,
 - ouverture de la vanne reliant l'accumulateur air/huile aux circuits de régulation de vitesse.
- d) Ouverture du by-pass de la vanne de tête et équilibrage des pressions.
- e) Ouverture de la vanne de tête et fermeture du by-pass:
 - . desserrage des freins.

=> Turbine "prête"

- f) Ouverture du vannage par le régulateur de vitesse jusqu'à la butée de marche à vide
 - . vitesse > 50 % vitesse nominale : arrêt de la pompe d'injection d'huile pivot,
 - . vitesse > 85 % vitesse nominale :
 - o fermeture du contacteur d'excitation,
 - o fermeture du contacteur d'amorçage de l'excitation sur batteries pendant 10 s,

- mise en service de la régulation de tension ($U/F = \text{constante}$).
- g) Vitesse > 90 % vitesse nominale et présence tension :
 - . mise en service du coupleur égalisateur de tension

=> Turbine en "Marche à vide"

- h) Groupe synchronisé:
 - . couplage par fermeture du disjoncteur 225 kV,
 - . arrêt du coupleur,
 - . débloccage de la butée de marche à vide du vannage pour prise de charge.

=> Turbine couplée**A8.3.16.2 Séquence d'arrêt normal**

La séquence d'arrêt normal est la suivante :

- fermeture du vannage jusqu'à la position de marche à vide,
- position marche à vide ou puissance nulle : découplage par ouverture du disjoncteur 225 kV,
- disjoncteur 225 kV ouvert :
 - ouverture du contacteur d'excitation et désexcitation rapide sur résistance de décharge,
 - fermeture complète du vannage,
 - fermeture de la vanne de pied.
- vitesse < 50 % vitesse nominale : mise en service pompe d'injection d'huile pivot,
- vitesse < 20 % vitesse nominale : application des freins
- vitesse = 0, vitesse nulle :
 - arrêt de la pompe d'injection d'huile pivot,
 - relâchement des freins,
 - si niveau correct dans l'accumulateur air/huile : arrêt pompe de régulation et fermeture de la vanne de l'accumulateur,
 - arrêt des auxiliaires de réfrigération 10 mn après.

A8.3.16.3 Séquence de déclenchement

La séquence de déclenchement d'un groupe est la suivante :

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A8 – Usine - Descriptif des Appareillages et systèmes électriques de l'usine

- déclenchement par ouverture du disjoncteur 225 kV,
- disjoncteur 225 kV ouvert :
 - o ouverture du contacteur d'excitation et désexcitation rapide sur résistance de décharge,
 - o fermeture du vannage,
 - o fermeture de la vanne de tête.

La suite de la séquence est identique à l'arrêt normal.

A8.3.16.4 Séquence de mise en marche à vide sur défaut extérieur

A l'apparition d'un défaut type 4, la séquence est la suivante :

- découplage du groupe par ouverture du disjoncteur 225 kV,
- retour en marche à vide par réglage du distributeur sur la position de marche à vide,
- arrêt par défaut type 1 si le groupe n'est pas recouplé (manuellement) avant la fin d'une temporisation de temps trop long en marche à vide, ou après un recouplage infructueux.

A8.3.16.5 Renvoi de tension

La séquence de démarrage en renvoi de tension (lorsque la tension est absente sur le réseau 225 kV) est la même que le démarrage normal, sauf les particularités suivantes :

- certaines protections du groupe doivent être inhibées,
- le groupe est amené en marche à vide découplé et non excité,
- lorsque la marche à vide est atteinte, le disjoncteur 225 kV est fermé, ainsi que le contacteur d'excitation et l'amorçage de l'excitation sur la batterie,
- le régulateur de tension fait monter l'excitation de 0 à 0.9 Un,
- puis les réglages \pm Vite et \pm Excit sont réalisés manuellement.

A8.3.17 Commande des groupes

Les groupes peuvent être commandés :

- des postes opérateurs de la salle de commande centralisée (SCC),
- du tableau local de groupe (TLG), installé sur les armoires d'automatisme de groupe.

A8.3.17.1 Choix du mode de commande

Un commutateur de choix TLG/SCC, installé sur le TLG du groupe, permet de choisir le mode de commande du groupe.

A8.3.17.2 Commande des groupes depuis la SCC

Ce mode de commande est destiné à piloter les groupes en exploitation.

Les groupes sont commandés manuellement par le personnel effectuant le service de quart.

Les séquences de démarrage (normal ou en renvoi de tension) et d'arrêt sont automatiques.

Le réglage de la puissance active se fait par les commandes \pm Vite.

Le réglage de la puissance réactive se fait par les commandes \pm Excit.

A8.3.17.3 Commande des groupes depuis les TLG

Ce mode de commande est destiné à piloter les groupes en essais.

a) Choix du mode de démarrage

Un commande de choix installé sur le TLG du groupe, permet de choisir le mode de démarrage qui réalise les séquences de démarrage jusqu'à la marche à vide :

- démarrage automatique,
- démarrage pas à pas.

b) Démarrage pas à pas

Le TLG est équipé d'une interface homme-machine à touches, correspondant chacune à la commande d'un pas, et devant être actionnés dans l'ordre suivant :

1. ordre de démarrage et freinage du rotor
2. mise en service :
 - des auxiliaires de réfrigération (vanne de circulation d'eau de réfrigération et filtres rotatifs),
 - des auxiliaires du transformateur (pompe de circulation d'huile et ventilateur),
3. démarrage de la pompe d'injection d'huile pivot,

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A8 – Usine - Descriptif des Appareillages et systèmes électriques de l'usine

4. mise en service régulation (démarrage pompe de régulation, ouverture du robinet d'isolement entre l'accumulateur air/huile et les circuits de régulation,
5. ouverture du by-pass de la vanne de pied du groupe,
6. ouverture de la vanne de tête du groupe (vanne wagon),
7. relâchement des freins,
8. ouverture du vannage jusqu'à la position de marche à vide,
9. fermeture du contacteur d'excitation et du contacteur d'amorçage sur batteries pendant 10 s.

Chaque touche est associée à des voyants type led, éclairés lorsqu'un pas est en cours.

Ces signalisations sont également actives sur démarrage automatique.

c) Démarrage automatique

En mode "démarrage automatique", une touche "démarrage turbine" fait exécuter automatiquement tous les pas du mode de démarrage pas à pas.

d) Choix du mode de couplage

Un commutateur de choix à clé installé sur le TLG du groupe permet de choisir son mode de couplage :

- couplage manuel (clé prisonnière)
- couplage automatique (clé libre)
- arrêt (clé libre).

e) Couplage manuel

Lorsque le contacteur d'excitation est fermé (par démarrage pas à pas ou par démarrage automatique), l'opérateur utilise les commandes + Excit et - Excit qui sont installées sur le TLG pour amener la tension stator à Un.

Pour synchroniser le groupe, l'opérateur utilise les mesures données par une colonne de synchronisation et règle le groupe en utilisant la commande de réglage de tension (+ Excit, - Excit) et de réglage de vitesse (+ Vite, - Vite) installées sur le TLG.

Lorsque le groupe est synchronisé, l'opérateur réalise le couplage en fermant le disjoncteur 225kV en utilisant la commande par TPL installée sur le TLG.

Nota : Colonne de synchronisation

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A8 – Usine - Descriptif des Appareillages et systèmes électriques de l'usine

L'usine est équipée d'une colonne de synchronisation mobile sur chariot qui peut être raccordée :

- sur le TLG de chacun des 4 groupes pour le couplage des groupes,
- sur 2 prises du synoptique de la SCC pour le couplage de chacun des 2 départs ligne du poste 225 kV.

Cette colonne de synchronisation donne :

- la tension du courant de référence,
- la tension du courant à synchroniser,
- la fréquence du courant de référence,
- la fréquence du courant à synchroniser,
- le déphasage entre les deux courants.

f) Couplage automatique

Lorsque le contacteur d'excitation est fermé (par démarrage pas à pas ou par démarrage automatique), le coupleur égalisateur de tension :

- égalise les tensions groupe et réseau,
- synchronise le groupe et réalise le couplage par fermeture du disjoncteur 225 kV du groupe.

g) Renvoi de tension

Le démarrage d'un groupe en renvoi de tension, lorsqu'il n'y a pas de tension sur le réseau 225 kV peut se faire depuis le TLG du groupe, ou depuis le synoptique de la SCC.

Il n'y a pas de mode pas à pas pour le renvoi de tension. Le démarrage est automatique.

Le démarrage s'effectue de la manière suivante :

- les auxiliaires sont alimentés en 400 V alternatif par une source de secours (G.E.),
- la touche "renvoi de tension" doit être enfoncé (sur le TLG ou sur le synoptique de la SCC),
- lorsque les séquences de démarrage sont terminées, le groupe est à 0,9 Un,
- puis les réglages de la tension et de la charge sont faits manuellement avec les commandes \pm excit et \pm vite,

A8.3.18 Commande du poste 225 kV

En exploitation normale, le poste 225 kV est commandé depuis l'usine.

Les armoires de commande des appareils 225kV sont situées dans le bâtiment de relayage du poste. Elles sont équipées de commutateurs de choix "local/distance".

En local, les appareils sont commandés depuis les armoires de commande du poste 225 kV.

En distance, les appareils sont commandés depuis l'usine.

Il y a 7 commutateurs de choix "local/distance", regroupant chacun les commandes des appareils d'une travée :

- un commutateur pour chacune des 4 travées groupe (concernant les commandes des appareils du groupe correspondant : les 3 sectionneurs et le disjoncteur),
- un commutateur pour la travée couplage (concernant les commandes des 2 sectionneurs et du disjoncteur),
- un commutateur pour chacune des 2 travées départ ligne (concernant les commandes des appareils du départ ligne correspondant : le sectionneur et le disjoncteur).

Dans l'usine, les modes de commande sont les suivants :

- les disjoncteurs des groupes sont commandés par les automatismes des groupes ou depuis les Tableaux Locaux de Groupe (TLG),
- les autres appareils : tous les sectionneurs, les disjoncteurs départ ligne, sont commandés depuis les postes opérateurs de la salle de commande centralisée (S.C.C.).

Le rôle du jeu de barres de couplage est de pouvoir remplacer un disjoncteur hors service par ce disjoncteur. Il est ainsi possible de secourir le disjoncteur de chacun des groupes.

Les manœuvres manuelles suivantes doivent être alors exécutées :

- ouverture ou fermeture des sectionneurs d'aiguillage concernés,
- positionnement du commutateur aiguillant les commandes et les protections du disjoncteur à secourir sur le disjoncteur de couplage.

Ce commutateur est installé sur le synoptique de la SCC et possède 5 positions :

- arrêt, groupe 1, groupe 2, groupe 4 et groupe 3.

A8.3.19 Contrôle centralisé de l'aménagement

A8.3.19.1 Principes d'exploitation

L'usine de KOUKOUTAMBA est une usine destinée à fonctionner aux heures de pointe. A ce titre, elle peut être aussi considérée comme une usine du type à disponibilité immédiate pouvant être appelée à participer sans délai (en cas de défaillance d'autres unités) à la fourniture de la puissance active au réseau d'interconnexion.

L'aménagement sera normalement exploité à partir de la salle de commande située dans l'usine et à proximité du poste HT, ou se trouveront les équipes de quart.

Le système de contrôle-commande devra permettre les modes d'exploitation suivants des groupes de l'usine :

- commande "manuelle locale" réservée aux premiers démarrages de l'installation, ainsi qu'en cas de défaillance des transmissions et en cas d'incident,
- commande automatique locale réservée aux mêmes cas que précédemment
- commande à distance par opérateur en salle de commande. Celui-ci met en route ou arrête automatiquement les groupes à l'aide d'un ordre de commande marche-arrêt mais il règle lui-même la puissance active et réactive de chaque groupe en fonction de consignes qui lui sont communiquées par un dispatching,
- possibilité de réaliser dans l'avenir une commande automatique à distance depuis le dispatching central.

Ce mode d'exploitation est nécessaire si l'usine est considérée comme du type à disponibilité immédiate. Dans ce cas, les ordres transmis depuis le dispatching sont des ordres:

- de marche-arrêt de chaque groupe
- de préparation de renvoi de tension
- de renvoi de tension
- de télévaleur de réglage de la puissance active.

Le système de contrôle-commande aura donc pour fonctions :

a) des fonctions de surveillance

Ces fonctions permettent à l'opérateur d'être averti immédiatement sur les états des installations ainsi que sur les anomalies survenant dans l'aménagement. Elles concerneront :

- l'usine avec le fonctionnement des groupes, les services auxiliaires mécaniques, la climatisation et ventilation, le réseau de détection incendie, etc.,
- les postes à haute tension et à moyenne tension,
- les services auxiliaires électriques à courant alternatif et continu,
- les prises d'eau de l'aménagement et l'ouvrage de restitution du barrage,
- le système de contrôle-commande lui-même (auto-surveillance).

b) Des fonctions de bilans

Ces fonctions consistent à éditer sur imprimantes les événements survenus sous forme chronologique, les temps de fonctionnement, l'énergie produite heure par heure, les suivis de mesure de niveau et de puissance, et des listes d'informations

c) Des fonctions de conduite

A l'aide des consignes d'exploitation suivantes introduites localement : programme de puissance active, programme de tension (ou puissance réactive), niveau de la retenue, configuration du poste d'évacuation de l'énergie (position des disjoncteurs), le système de contrôle-commande devra assurer :

- la détermination des consignes à appliquer, celles-ci pouvant être appliquées par l'opérateur ou directement par le calculateur,
- le contrôle de l'exécution des ordres.

A8.3.19.2 Organisation du système de contrôle-commande

La fiabilité de marche de l'usine devra être la plus grande possible étant donné d'une part la puissance de l'usine, et d'autre part son rôle d'usine de pointe et de réserve à disponibilité immédiate.

Trois variantes peuvent être considérées pour organiser ce contrôle-commande qui diffère suivant la technologie employée :

- variante 1: contrôle-commande entièrement en technologie électromagnétique

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A8 – Usine - Descriptif des Appareillages et systèmes électriques de l'usine

- variante 2: contrôle-commande en technologie semi-microprocesseur avec en secours un contrôle-commande dégradé en technologie électromagnétique
- variante 3: contrôle-commande entièrement en technologie semi-processeur utilisée couramment dans les nouvelles usines hydroélectriques.

Cette troisième variante est proposée pour des raisons de prix, de fiabilité et de souplesse d'exploitation (*). Celle-ci est représentée sur le plan *KTB-II-4-UP-SK-014 – Système de contrôle-commande – Configuration générale*.

(*) Cette variante nécessitera cependant que le Concepteur offre une formation des futurs exploitants, ainsi qu'un service après-vente en Guinée.

Les automatismes locaux des auxiliaires par exemple pourront être réalisés avec des relais électromagnétiques, ou en technologie totalement à base de microprocesseur.

Pour assurer une exploitation optimisée de l'aménagement, le système informatique sera basé sur deux niveaux principaux interconnectés par un réseau type Ethernet redondant. Ces deux niveaux seront :

- le niveau salle de commande comprenant principalement des postes opérateurs et des imprimantes,
- le niveau local comprenant les armoires d'automatismes équipées de contrôleurs.

L'architecture du Concepteur devra permettre des extensions futures faciles permettant d'ajouter :

- de nouveaux contrôleurs,
- de nouveaux postes opérateurs et également,
- de nouveaux moyens de communication externes.

Le système de contrôle-commande comportera les particularités décrites ci-après.

1. Contrôleur des services généraux et du barrage

Les équipements du barrage étant relativement peu nombreux, le volume d'informations à échanger avec le niveau salle de commande ne justifie pas l'utilisation d'un contrôleur spécifique au barrage, ces informations pouvant être traitées par le contrôleur des services généraux de l'usine.

Le contrôleur des services généraux de l'usine et du site du barrage réalisera les fonctions suivantes :

- acquisition des données et traitement des entrées logique et analogiques provenant des services généraux et du barrage, les entrées logiques étant datées avec une précision de la milliseconde,

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A8 – Usine - Descriptif des Appareillages et systèmes électriques de l'usine

- communication via le réseau à fibres optiques avec les autres contrôleurs principaux et les postes opérateurs en salle de commande,
- gestion de l'interface homme-machine (IHM) du poste, celui-ci étant constitué d'un poste industriel en couleur.

Les fonctions suivantes seront requises :

- vues des schémas synoptiques, avec commandes principales et utilitaires de supervision (indépendamment du niveau salle de commande)
- supervision des alarmes et surveillance.

2. Contrôleur des auxiliaires C.A. de l'usine

Le contrôleur des auxiliaires à C.A. de l'usine réalisera les fonctions suivantes :

- acquisition des données et traitement des entrées logique et analogiques provenant des services généraux et du barrage, les entrées logiques étant datées avec une précision de la milliseconde,
- gestion automatique de l'alimentation électrique en puissance des équipements MT/BT
- acquisition et échange de données de commande avec les systèmes mécaniques de l'usine (tels que les systèmes de drainage et d'exhaure ou l'air comprimé)
- communication via le réseau à fibres optiques avec les autres contrôleurs principaux et les postes opérateurs en salle de commande.
- gestion de l'interface homme-machine (IHM), celui-ci étant constitué d'un poste industriel en couleur.

Les fonctions suivantes seront requises :

- vues des schémas synoptiques, avec commandes principales et utilitaires de supervision (indépendamment du niveau salle de commande)
- supervision des alarmes et surveillance.

3. Contrôleurs des Groupes 1 à 4

Chacun des contrôleurs de groupe réalisera les fonctions suivantes :

- acquisition des données et traitement des entrées logique et analogiques provenant de la turbine, de l'alternateur, du transformateur élévateur et des auxiliaires de groupe, les entrées logiques étant datées avec une précision de la milliseconde,
- acquisition des mesures électriques du groupe et comptage d'énergie,

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A8 – Usine - Descriptif des Appareillages et systèmes électriques de l'usine

- acquisition des informations alarme et déclenchement via une liaison série reliée au système logique de protection électrique du groupe,
- acquisition des informations alarme et déclenchement via une liaison série reliée au système logique de surveillance de température du groupe,
- acquisition et échange de données de commande avec le régulateur de vitesse numérique et le régulateur de tension automatique via un bus de terrain du contrôleur,
- communication via le réseau à fibres optiques avec les autres contrôleurs principaux et les postes opérateurs en salle de commande
- gestion de l'interface homme-machine (IHM) du groupe, celui-ci étant constitué d'un poste industriel en couleur.

Les fonctions suivantes seront requises :

- vues des schémas synoptiques, avec commandes principales et utilitaires de supervision (indépendamment du niveau salle de commande),
- suivi des séquences du procédé pour commande locale,
- supervision des alarmes et surveillance,
- gestion du groupe et des séquences de commande en mode automatique et pas-à-pas,
- gestion de la synchronisation automatique du groupe,
- gestion de la synchronisation manuelle du groupe.

4. Contrôleur du Poste HT

Le contrôleur du Poste HT réalisera les fonctions suivantes :

- acquisition des données et traitement des entrées logique et analogiques provenant du poste, les entrées logiques étant datées avec une précision de la milliseconde,
- gestion de la synchronisation automatique des disjoncteurs du poste HT,
- gestion de la synchronisation manuelle des disjoncteurs du poste HT,
- communication via le réseau à fibres optiques avec les autres contrôleurs principaux et les postes opérateurs en salle de commande.
- gestion de l'interface homme-machine (IHM) du poste, celui-ci étant constitué d'un poste industriel en couleur.

Les fonctions suivantes seront requises :

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A8 – Usine - Descriptif des Appareillages et systèmes électriques de l'usine

- vues des schémas synoptiques, avec commandes principales et utilitaires de supervision (indépendamment du niveau salle de commande)
- supervision des alarmes et surveillance.

5. Salle de commande

Le niveau de commande centralisé sera installé en salle de commande de l'usine. Celui-ci comprendra :

- deux stations type PC serveur/opérateur redondantes, une des deux stations pouvant doubler l'autre en cas d'avarie. L'interface homme-machine de chacun des deux postes comprendra un clavier opérateur et deux écrans couleur,
- une station consignation d'états type PC avec logiciel de consignation d'états (fonctions de stockage et d'archivage),
- une station maintenance type PC avec logiciel générant des rapports de manière automatique,
- une station ingénieur type PC,
- une station télésupervision/télétransmissions type PC avec logiciel de gestion des communications vers un Dispatching,
- un mur d'images ou seront représentés simplement un schéma unifilaire des parties haute et moyennes tensions de l'aménagement avec l'état des disjoncteurs et des groupes
- un ordinateur type portable pour la maintenance locale du système,
- plusieurs imprimantes comprenant deux imprimantes A4 et une imprimante A3
- une horloge mère avec récepteur GPS pour la synchronisation horaire des contrôleurs et des stations.

Toutes les fonctions de supervision et de commande seront facilement accessibles par le clavier opérateur. Les deux écrans pourront être affectés :

- un pour la présentation des alarmes (visualisation des alarmes) et,
- un pour la présentation des synoptiques, barres, graphiques, listes et tableaux),
- avec la possibilité de permutation par l'opérateur.

Les deux imprimantes pourront être affectées :

- une pour les événements (imprimante événements) et
- une pour les données demandées par l'opérateur (imprimante données),

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A8 – Usine - Descriptif des Appareillages et systèmes électriques de l'usine

- avec la possibilité de permutation automatique par l'opérateur.

La station consignation d'informations de capacité 1000 entrées, permettra de consigner tous les changements d'état des informations retenues.

Cette station pourra être associée à:

- une imprimante (A4 rapide), qui imprime au fil de l'eau tous les événements,
- un écran-clavier qui permettra d'interroger les 10 000 derniers événements.
- Seules des alarmes en local dans l'usine, par klaxon, seront prévues. Il n'y aura pas de report d'alarme à distance.

A8.3.20 Mesures et comptages

A8.3.20.1 Mesures et comptages pour chaque groupe

i. Mesures

- courant rotor,
- courant stator,
- vitesse de rotation,
- tension stator,
- puissance active,
- puissance réactive.

ii. Comptages

- puissance active fournie,
- puissance réactive fournie,
- puissance réactive consommée,
- nombre de démarrages,
- nombre d'heures de fonctionnement.

A8.3.20.2 Mesures et comptages pour le poste 225 kV

iii. Mesures sur chaque départ ligne

- puissance active,
- puissance réactive,
- tension.

iv. Comptages sur chaque départ ligne

- puissance active fournie,
- puissance active consommée,

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A8 – Usine - Descriptif des Appareillages et systèmes électriques de l'usine

- puissance réactive fournie,
- puissance réactive consommée.

A8.3.20.3 Mesures de niveau

- mesure du niveau de la retenue amont,
- mesure du niveau aval.

A8.3.20.4 Auxiliaires électriques

- puissance active groupe électrogène,
- puissance active groupe hydraulique de secours.

A8.3.20.5 Informations télétransmises

Les informations suivantes, pour chaque groupe, sont télétransmises au poste de pilotage centralisé du réseau (poste futur) :

- puissance active,
- puissance réactive,
- groupe en défaut,
- groupe consigné.

SOMMAIRE DU CHAPITRE A9

EVACUATION DE L'ENERGIE – POSTES ELECTRIQUES

A9.1 GÉNÉRALITÉS	1
A9.1 CONFIGURATION DES DIFFÉRENTS POSTES	3
A9.1.1 Poste de l'usine de Koukoutamba	3
A9.1.2 Poste Labé	3
A9.1.3 Poste Manantali	4
A9.2 APPAREILLAGE EXTÉRIEUR HAUTE TENSION	6
A9.2.1 Objet	6
A9.2.2 Caractéristiques générales	6
A9.2.2.1 Forces Mécaniques	6
A9.2.2.2 Valeurs Des Courants Assignés	7
A9.2.2.3 Armoires De Commande Et Boîtes De Jonction	7
A9.2.2.4 Installation Et Raccordement	7
A9.2.2.5 Services Auxiliaires Courant Alternatif Et Courant Continu	7
A9.2.3 Transformateurs de puissance	7
A9.2.4 Bobines de réactance shunt	9
A9.2.5 Sectionneurs	9
A9.2.5.1 Caractéristiques Générales	9
A9.2.5.2 Caractéristiques particulières	10
A9.2.6 Disjoncteurs	10
A9.2.6.1 Caractéristiques Générales	10
A9.2.6.2 Caractéristiques Particulières	12
A9.2.7 Transformateurs de mesures	12
A9.2.7.1 Caractéristiques Générales Des Transformateurs De Courant	12
A9.2.7.2 Courant Nominal	13
A9.2.7.3 Caractéristiques Particulières Pour Les Transformateurs De Courant	13
A9.2.7.4 Caractéristiques Générales Des Transformateurs De Tension	14

A9.2.7.5	Caractéristiques Particulières Pour Les Transformateurs De Tension Capacitifs	14
A9.2.8	Parafoudres	15
A9.2.8.1	Caractéristiques Générales	15
A9.2.8.2	Caractéristiques Particulières	16
A9.2.9	Colonnes isolantes	16
A9.2.10	Chaînes d'isolateurs	16
A9.2.11	Jeu de barres rigides	16
A9.3	APPAREILLAGE MOYENNE TENSION	17
A9.3.1	Généralités	17
A9.3.2	Cellules 30 kV	17
A9.3.2.1	Caractéristiques De Construction	17
A9.3.2.2	Sectionneurs et dispositifs de mise à la terre	19
A9.3.2.3	Disjoncteur 30 Kv	19
A9.3.2.4	Transformateurs De Mesure	20
A9.3.2.5	Relais De Protection	20
A9.3.3	Composition des Postes MT	20
A9.3.3.1	Caractéristiques Electriques Garanties	21
A9.3.3.2	Composition Générale des Postes MT	21
A9.3.3.3	Configuration particulière à chaque Poste	21
A9.3.3.4	Équipement des cellules	21
A9.3.3.5	Alimentation des auxiliaires	23
A9.3.4	Résistance de mise à la terre du neutre MT des transformateurs 225 kV/30 kV	23
A9.3.5	Parafoudres 30 kV	23
A9.4	PROTECTION ÉLECTRIQUE DES INSTALLATIONS H.T.	24
A9.4.1	Interfaces avec les équipements de téléprotection	24
A9.4.2	Considérations générales pour le choix des équipements de protection	24
A9.4.2.1	Critères Retenus Pour L'élimination Des Défauts Sur Le Réseau HT 24	
A9.4.2.2	Normes Et Caractéristiques	25
A9.4.3	Caractéristique fonctionnelle	25
A9.4.3.1	Protection des lignes 225 Kv	25

A9.4.3.2	Protections De Distance	26
A9.4.3.3	Protections Numériques Différentielles	26
A9.4.3.4	Combinaisons de protection privilégiées pour la protection des lignes	26
A9.4.3.5	Réenclenchement	26
A9.4.3.6	Localisation Des Défauts Et Perturbographie	27
A9.4.4	Protection de surtension des lignes 225 kV	27
A9.4.5	Protection des transformateurs	28
A9.4.6	Protection des inductances shunt 225 kV	29
A9.4.7	Protection des jeux de barres et défaillance de disjoncteur	29
A9.5	PROTECTION DES DÉPARTS ET ARRIVÉES 30 kV	30
A9.5.1	Généralités	30
A9.5.1.1	Départs 30 Kv	30
A9.5.1.2	Arrivée transformateur HT-30 Kv	30
A9.5.1.3	Délestage à minimum de fréquence	31
A9.5.1.4	Synchronisation	31
A9.5.2	Autres prestations	31
A9.5.2.1	Coordination Des Relais De Protection	31
A9.6	COMMANDE, MESURE ET COMPTAGE	32
A9.6.1	Caractéristiques générales	32
A9.6.1.1	Mesure	32
A9.6.1.2	Comptage Et Enregistreurs	33
A9.6.1.3	Contrôle Et Commande	33
A9.6.2	Caractéristiques particulières	35
A9.6.2.1	Mesure Et Comptage	35
A9.6.2.2	Contrôle Et Commande	36
A9.7	SERVICES AUXILIAIRES A COURANT ALTERNATIF BASSE TENSION	38
A9.7.1	Normes	38
A9.7.1.1	Tableau Basse Tension	38
A9.7.1.2	Disjoncteur De Puissance	39
A9.7.1.3	Contacteurs	39
A9.7.1.4	Composition Des Panneaux	39
A9.8	SERVICES AUXILIAIRES A COURANT CONTINU	40

A9.8.1	Caractéristiques générales	40
A9.8.1.1	Alimentation des systèmes de protection et de commande	40
A9.8.1.2	Chargeurs	41
A9.8.1.3	Batteries	41
A9.8.1.4	Armoires De Permutation	41
A9.8.1.5	Batterie Pour Les Télécommunications	41
A9.8.2	Caractéristiques particulières	42
A9.8.3	Capacités des batteries et des chargeurs associés	42
A9.8.3.1	Auxiliaires 125 V	42
A9.8.3.2	Auxiliaires 48 V	42
A9.9	CÂBLES ÉLECTRIQUES ET ACCESSOIRES	43
A9.9.1	Caractéristiques générales	43
A9.9.1.1	Câbles De Puissance MT	43
A9.9.1.2	Extrémités Des Câbles	43
A9.9.1.3	Câbles BT (Puissance, Commande, Signalisation, Téléphonie)	44
A9.9.1.4	Câble Coaxial Pour Haute Fréquence	44
A9.9.2	Caractéristiques particulières	45
A9.9.2.1	Câbles De Puissance MT	45
A9.9.2.2	Câbles BT	45
A9.10	INSTALLATIONS DE TÉLÉSURVEILLANCE	47
A9.10.1	Généralités	47
A9.10.2	Boîtes de connexion	47
A9.10.3	Télécommande et téléconduite	48
A9.10.3.1	Commandes	48
A9.10.3.2	Indication De Positions Et Alarmes	48
A9.10.3.3	Valeurs Mesurées	49
A9.11	GÉNIE CIVIL	51
A9.11.1	Généralités	51
A9.11.1.1	Travaux à réaliser	51
A9.11.1.2	Normes, Règlements, Standards	51
A9.11.1.3	Reconnaissance des sols	52
A9.11.2	Postes extérieurs	52
A9.11.2.1	Clôture Et Mur De Sécurité	52

Avant-Projet Détaillé

Chapitre A9 – Evacuation de l'Energie – Postes Electriques

A9.11.2.2	Caniveaux Et Chemins De Câbles	52
A9.11.2.3	Approvisionnement en Eau	53
A9.11.2.4	Fondations pour Transformateurs, Bobine De Réactance Et Séparateur D'huile	53
A9.11.2.5	Fondations des portiques et des châssis	53
A9.11.2.6	Voies d'accès et de déplacement, stationnement, aires de stockage	53
A9.11.2.7	Système De Drainage	54
A9.11.2.8	Évacuation Des Eaux Usées	54
A9.11.2.9	Éclairage Du Poste Extérieur	55
A9.11.2.10	Prises de courant du poste extérieur	55
A9.11.3	Bâtiments de services	55
A9.11.3.1	Bâtiments De Service	55
A9.11.3.2	Poste De Garde	55
A9.11.3.3	Logements d'exploitation	56
A9.11.3.4	Bâtiments	57
A9.11.3.5	Menuiserie Métallique	59
A9.11.3.6	Performance thermique	59
A9.11.3.7	Portes métalliques	60
A9.11.3.8	Conditionnement d'air	60
A9.11.3.9	Equipements	61
A9.11.3.10	Protection Contre L'incendie	62
A9.12	CHARPENTES ET CHÂSSIS SUPPORTS	64
A9.12.1	Généralités	64
A9.12.2	Données de conception et de calcul	64
A9.12.2.1	Hypothèses De Calcul Des Tensions Et Flèches Des Câbles	64
A9.13	MISE À LA TERRE, PROTECTION CONTRE LA Foudre ET ÉCLAIRAGE	65
A9.13.1	Généralités	65
A9.13.2	Recommandations et Normes	65
A9.13.3	Mise à la terre	65
A9.13.3.1	Mesure de la résistivité du sol	65
A9.13.4	Dispositions particulières aux différents équipements	66
A9.13.4.1	Masse Des Transformateurs De Puissance	66
A9.13.4.2	Disjoncteurs	67
A9.13.4.3	Parafoudres	67

A9.13.4.4	Réactances Shunt	67
A9.13.4.5	Couplage Électromagnétique	67
A9.13.5	Protection contre la foudre	67
A9.13.6	Installation d'éclairage et petite force motrice	68
A9.13.6.1	Généralités	68
A9.13.6.2	Niveaux d'éclairement moyen, normaux	69
A9.13.6.3	Appareils D'éclairage	69
A9.13.6.4	Prises De Courant	70
A9.13.6.5	Interrupteurs	71
A9.14	ANNEXE B – FICHES TECHNIQUES	72
	Tableau A9. 12 - FICHE TECHNIQUE N° 7 - Transformateurs de tension capacitif 225 kV	80
A9.14.1.1	Tableau A9. 15 - FICHE TECHNIQUE N° 10 - Fil de garde aluminium-acier	83

Liste des figures :

Néant

Liste des Tableaux :

Tableau A9. 2 Normes applicables à la conception et fabrication de l'appareillage basse tension	25
Tableau A9. 3 - Normes CEI applicables à la commande, la mesure et le comptage	32
Tableau A9. 4 - Code de couleurs des schémas synoptiques des circuits électriques	33
Tableau A9. 5 - Normes applicables aux auxiliaires à courant continu	40
Tableau A9. 6 - Normes applicables aux câbles électriques	43
Tableau A9. 7 - FICHE TECHNIQUE N°1 - Transformateurs de puissance 225kV/30kV	72
Tableau A9. 8 - FICHE TECHNIQUE N° 2 - Sectionneurs 225 kV à ouverture latérale ou semi-pantographe.....	75
Tableau A9. 9 - FICHE TECHNIQUE N° 3 - Disjoncteurs de lignes 225 kV unipolaires	76
Tableau A9. 10 - FICHE TECHNIQUE N° 4 - Disjoncteurs d’usage général tripolaires	77
Tableau A9. 11- FICHE TECHNIQUE N° 5 - Transformateurs de courant 225 kV.....	78
Tableau A9. 12 - FICHE TECHNIQUE N° 6 - Transformateurs de tension 225 kV	79
Tableau A9. 13 - FICHE TECHNIQUE N° 7 - Transformateurs de tension capacitif 225 kV	80
Tableau A9. 14 - FICHE TECHNIQUE N° 8 - Parafoudres 225 kV	81
Tableau A9. 15 - FICHE TECHNIQUE N° 9 - Élément des chaînes d’isolateur type capot et tige.....	82
A9.14.1.1 Tableau A9. 16 - FICHE TECHNIQUE N° 10 - Fil de garde aluminium-acier	83
Tableau A9. 17 - FICHE TECHNIQUE N° 11 - Bobine de réactance 225 kV – 25Mvar	84
Tableau A9. 18 - FICHE TECHNIQUE N° 12 - Appareillage sous enveloppe métallique 30 kV	86
Tableau A9. 19 - FICHE TECHNIQUE N° 13 - Transformateurs de services auxiliaires 30 kV-0,4 kV	89
Tableau A9. 20 - FICHE TECHNIQUE N° 14 - Parafoudres 30 kV.....	90
Tableau A9. 21 - FICHE TECHNIQUE N° 15 - Résistance de mise à la terre du réseau 30 kV	91
Tableau A9. 22 - FICHE TECHNIQUE N° 16 - Câble de puissance 30 kV.....	92
Tableau A9. 23 - FICHE TECHNIQUE N° 17 - Transformateur de courant (neutre a la terre).....	93

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A9 – Evacuation de l'Energie – Postes Electriques

CHAPITRE A9

EVACUATION DE L’ENERGIE – POSTES ELECTRIQUES

A9.1 GÉNÉRALITÉS

Le poste de Koukoutamba permet l’interconnexion de celui-ci par 2 lignes 225 kV au poste de Labé et au poste existant de Manantali.

Le poste de Koukoutamba à double jeu de barres à 225kV comprend 4 travées permettant d’accueillir les lignes 225 kV en provenance des 4 groupes de l’usine, 2 travées équipées pour les départs des lignes 225kV vers les postes de Labé et Manantali et une travée de couplage des jeux de barres.

Le poste de Koukoutamba est étendu côté distribution avec la création d’une travée équipée d’un jeu de barres 30kV et reliée à un transformateur 225/30kV. Ce poste 30kV assure l’alimentation permanente des auxiliaires de l’usine et d’un réseau de distribution à vocation régionale et de la cité du Maître d’Ouvrage au moyen de lignes 30kV.

Le poste de Labé à double jeu de barres (dont 1 futur) à 225kV comprend une travée permettant d’accueillir la ligne 225 kV en provenance du poste de Koukoutamba. Ce poste pourra être étendu avec la création d’une travée équipée pour un départ de ligne 225kV futur non comptée dans le coût du projet.

Dans un premier temps, ce poste ne comportera qu’une seule barre, mais l’agencement offre l’espace requis pour l’ajout du second jeu et d’un couplage. Le poste de Labé est étendu côté distribution avec la création d’une travée équipée d’un jeu de barre 30kV relié à deux transformateurs 225kV/30kV. Ce poste 30kV assure l’alimentation d’un réseau de distribution à vocation régionale au moyen de lignes 30kV.

Le poste existant de Manantali est étendu avec la création d’une travée équipée pour une arrivée de ligne 225kV en provenance du poste de Koukoutamba et comptée dans le coût du projet.

Les postes de Koukoutamba et Labé sont représentés de manière schématique sur les plans KTB II 04 UP AM 101 A et KTB II 04 UP AM 201 A respectivement.

Les schémas unifilaires de chacun des postes sont disponibles dans le cahier de plans.

Les résultats des études électriques dans le cadre du présent projet sont décrits de manières détaillées en Annexe. Sont comprises dans ce rapport, une étude d’écoulement de puissance, de stabilité transitoire, de court-circuit ainsi qu’une étude des réseaux de terre.

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A9 – Evacuation de l’Energie – Postes Electriques

Le réseau optique de l’OMVS, en plus de supporter la téléprotection, la télécommande et la téléconduite du réseau, sert d’apport additionnel aux télécommunications publiques. En effet, des fibres optiques sont disponibles pour fins de location avec entreprises de communications publiques.

Le but du présent chapitre consiste à énumérer pour chacun des postes (à créer ou à compléter), les appareillages majeurs qui constituent les sections hautes tension et moyenne tension de ces derniers.

A9.1 CONFIGURATION DES DIFFÉRENTS POSTES

A9.1.1 Poste de l’usine de Koukoutamba

Le poste de Koukoutamba permet d’évacuer la puissance produite par l’usine du même nom vers les postes de Labé et de Manantali, d’assurer la distribution MT aux villes avoisinantes, d’assurer l’alimentation des cités. Ce poste comprend principalement :

a) Partie HT

- quatre arrivées lignes issues des transformateurs éleveurs des groupes,
- un transformateur de puissance 225 Kv/30 kV de 10 MVA pour la distribution,
- deux départs de lignes 225 kV vers les postes de Labé et Manantali,
- un double jeu de barre 225 kV,
- une travée couplage.

Le schéma unifilaire de ce poste partie HT est présenté sur le dessin KTB II 04 UP SK 101 A.

b) Partie MT

- un disjoncteur d’arrivée 30 kV,
- Un jeu de barres 30 kV,
- cinq disjoncteurs de départ 30 kV,
- deux départs équipés de disjoncteurs débouchables pour les transformateurs de services auxiliaires;
- deux transformateurs de services auxiliaires d’une capacité de 200 kVA chacun.

Le schéma unifilaire de la partie MT de ce poste est présenté sur le dessin KTB II 04 UP SK 106 A.

A9.1.2 Poste Labé

Le poste Labé est le point de livraison de l’énergie au réseau guinéen. Il a par ailleurs pour but de fournir un réseau de distribution pour les villes avoisinantes. Il permettra en outre l’interconnexion du

réseau OMVS avec de la future boucle 225kV de l’OMVG. Le poste de Labé comprend principalement :

a) Partie HT

- deux transformateurs de puissance de 225 kV/30 kV d’une capacité de 19/25 MVA chacun pour la distribution,
- un départ de ligne 225 kV (vers le poste de Koukoutamba)
- un jeu de barre 225 kV simple qui pourra être doublé en phase ultime avec un by-pass pour les départs de ligne,
- une travée de couplage.

Le schéma unifilaire de ce poste partie HT est présenté sur le dessin KTB II 04 UP SK 201 A

b) Partie MT

- deux disjoncteurs d’arrivée 30 kV,
- un disjoncteur de couplage,
- un jeu de barre 30 kV à deux sommets électriques,
- cinq disjoncteurs de départ 30 kV,
- deux départs équipés de disjoncteurs débouchables pour les transformateurs de services auxiliaires;
- deux transformateurs de services auxiliaires d’une capacité de 200 kVA chacun.

Le schéma unifilaire de la partie MT de ce poste est présenté sur le dessin KTB II 04 UP SK 26 A.

A9.1.3 Poste Manantali

Le poste Manantali est un poste existant situé au Mali. Ce poste est modifié comme indiqué ci-après :

a) Partie HT

- ajout d’un départ ligne 225 kV (équipé d’une réactance shunt de 25 Mvar) pour l’interconnexion vers Koukoutamba
- ajout de 2 armoires de contrôle et protection

Il est supposé que les jeux de barres sont correctement dimensionnés et permettent la mise en place d’une nouvelle travée de départ.

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A9 – Evacuation de l’Energie – Postes Electriques

Il est à noter également que la plateforme du poste de Manantali devra être agrandie en vue de son extension.

b) Partie MT

- pas de modification

c) Partie BT

Il est supposé que les alimentations (CA-CC-ondulé-secouru) existantes sont suffisamment dimensionnées pour les auxiliaires de la travée supplémentaire.

Le schéma unifilaire de ce poste est présenté sur le dessin KTB II 04 UP SK 301 A.

A9.2 APPAREILLAGE EXTÉRIEUR HAUTE TENSION

A9.2.1 Objet

Sans s'y limiter, l'appareillage majeur concerné est le suivant :

- transformateurs de puissance,
- inductances shunt,
- sectionneurs,
- disjoncteurs,
- transformateurs de mesures,
- circuits bouchons,
- parafoudres,
- colonnes isolantes,
- chaînes isolantes,
- jeux de barres.

A9.2.2 Caractéristiques générales

A9.2.2.1 *Forces Mécaniques*

Les appareils sont prévus pour résister simultanément aux contraintes suivantes :

- efforts dus au vent correspondant à une pression dynamique de 140 daN/m² sur la surface exposée,
- les contraintes résiduelles imposées à des conducteurs courbés et sollicités aux points d'attache,
- les efforts électrodynamiques imposés sur les conducteurs ou barres en situation de court-circuit.

A9.2.2.2 Valeurs Des Courants Assignés

A9.2.2.3 Armoires De Commande Et Boîtes De Jonction

Les armoires de commande et les boîtes de jonction sont métalliques, du type extérieur et résistant aux intempéries. Le passage des câbles entre les différents armoires et boîtes de jonction se fera par le bas de ces derniers et l’étanchéité de la traversée est assurée par des presse-étoupe. Dans le but d’éviter aux relais, comes ou toute autre composante mobile localisée dans les armoires et boîtes de jonction d’être exposés à une humidité excessive, des résistances de chauffage commandées par hygrostat doivent être installées.

A9.2.2.4 Installation Et Raccordement

Les raccordements de puissance entre appareils sont réalisés en tubes ou câbles possédant une gaine d’aluminium ou de cuivre. Les raccordements des circuits auxiliaires et de contrôle sont faits avec des câbles BT isolés.

A9.2.2.5 Services Auxiliaires Courant Alternatif Et Courant Continu

La tension disponible pour les circuits de commande, les moteurs d’armement et de manœuvre de sectionneurs, les changeurs de prise sous charge ou autres est de 125 V c.c.

La tension disponible pour le chauffage, l’éclairage, les prises de courant ainsi que la climatisation est de 230 V c.a. 50 Hz. Si des problèmes de chute de tension excessive étaient à entrevoir, la tension de 400 V c.a. pourrait être utilisée.

A9.2.3 Transformateurs de puissance

Des transformateurs triphasés de 225kV/30 kV sont prévus.

Le couplage des enroulements est YN,d1. Le couplage des enroulements HT est en étoile dont le point neutre est mis à la terre directement.

L’impédance à la séquence directe est au maximum de 10 % et les transformateurs sont équipés d’un commutateur de réglage en charge, dont le domaine de réglage est de ± 12 % avec des échelons de 1,25 %.

Le refroidissement à prévoir est du type ONAN (3/4) / ONAF.

Tous les transformateurs sont munis de galets de roulement démontables. Les transformateurs en place dans leurs travées reposeront sur les rails par l’intermédiaire de cales de répartition de charge. Les rails sont fixés aux longrines du massif transformateur.

Les sorties 225 kV sont réalisées par traversées du type extérieur avec isolement gradué.

Les cuves sont du type rectangulaire avec couvercle boulonné.

Les principales recommandations de la CEI prises en considération sont:

- CEI 60060 Techniques des essais à haute tension;
- CEI 60071 Coordination de l'isolement;
- CEI 60076 Transformateurs de puissance;
- CEI 60137 Traversées isolées pour tensions alternatives supérieures à 1000 V;
- CEI 60214 Changeurs de prise en charge;
- CEI 60296 Spécifications des huiles minérales isolantes neuves pour transformateurs;
- CEI 60076-5 Guide de charge pour transformateurs de puissance immergés dans l'huile;
- CEI 60076-10 Détermination des niveaux de bruit des transformateurs et des bobines d'inductance.

Les conditions de conception mécanique et électrique des transformateurs sont suivantes:

- échauffement maximal admissible de l'huile de transformateur (top oil) est 55 °K et l'échauffement moyen de l'enroulement est limité à 55 °K (hot spot 65 °K) sur hypothèse de température ambiante de 30 °C.

Les transformateurs sont prévus pour fonctionner en service continu à leur puissance nominale dans la limite d'échauffement à 10 % de surexcitation ou de sous-excitation (cela s'applique à toutes les prises du régleur en charge et, dans le cas de refroidissement forcé, tous les aéro-réfrigérants en service). La température la plus haute, à 110 % d'excitation et sous conditions de surcharge est compatible à la recommandation CEI 60076-2.

Les transformateurs, complètement montés avec traversées et boîtes des câbles, sont prévus pour résister aux effets de courants de courts circuits (voir CEI 60076 5) pour au moins 3 secondes à conditions nominales et à toutes les conditions de charge spécifiées dans la recommandation CEI 60076-5.

Les transformateurs sont prévus de façon à minimiser les tensions harmoniques et éviter des déformations de l'onde sinusoïdale susceptibles de parasiter les circuits de télécommunication. Les points neutres sortis sont mis à la terre par des moyens appropriés. L'enroulement de compensation en triangle ouvert, s'il y en a, est connecté à l'extérieur par des traversées extérieures et est court et mis à la terre par des barres de cuivre rigides.

Les caractéristiques techniques minimales requises pour les appareils sont données en annexe B-1 dans la fiche n°1.

A9.2.4 Bobines de réactance shunt

Des inductances shunt d’une capacité de 25MVar sont installées sur le poste de Manantali à l’arrivée de la ligne 225 kV en provenance du poste de Koukoutamba.

Les caractéristiques techniques minimales requises pour les appareils sont données en annexe B-1 dans la fiche n°1.

Les caractéristiques techniques minimales requises pour les appareils sont données à l’annexe B-1.

A9.2.5 Sectionneurs

A9.2.5.1 Caractéristiques Générales

A9.2.5.1.1 Contacts principaux

Le sectionneur doit permettre le passage du courant de service, tout en supportant les surintensités normales ou accidentelles et de courte durée sans échauffement supérieur à celui autorisé par la norme des contacts. Les contacts sont du type à haute pression de contact, assuré soit par ressorts, soit par l’élasticité des bras. Ils sont soit plaqués à l’argent ou posséder des pièces de contact rapportées en argent.

A9.2.5.1.2 Bornes de raccordement

Les raccordements des câbles doivent se faire sur des plages équipées de quatre trous de fixation par boulonnage en acier inoxydable. Il est possible d’installer la lame de mise à la terre d’un côté comme de l’autre du sectionneur.

A9.2.5.1.3 Verrouillage de la manoeuvre

Un dispositif doit interdire l’action simultanée de la commande manuelle et de la commande électrique. Il doit de plus être possible de verrouiller les deux types de commandes en tout temps, soit par clé ou par cadenassage.

A9.2.5.1.4 Commande

Tous les sectionneurs sont à commande tripolaire. En présence d’une commande motorisée, une intervention de commande manuelle doit permettre de débrancher automatiquement les circuits électriques de commande.

Chaque sectionneur est pourvu d’un minimum de 5 contacts auxiliaires requis pour la commande et la signalisation.

Les moteurs de commande sont protégés par des contacteurs avec relais thermomagnétiques.

A9.2.5.1.5 *Armoire de commande*

L’armoire doit inclure les contacteurs d’ouverture et de fermeture, les boutons-poussoirs de commande, les relais de protection, les résistances anticondensation ainsi que les borniers de raccordement. Les armoires sont métalliques et à l’épreuve des intempéries.

A9.2.5.2 **Caractéristiques particulières**

A9.2.5.2.1 *Sectionneurs*

Les sectionneurs de ligne et de terre sont tripolaires, à ouverture latérale.

Les sectionneurs d’aiguillage des jeux de barres sont du type pantographe.

Tous les sectionneurs sont à commande électrique. La commande est possible localement et à distance.

A9.2.5.2.2 *Sectionneurs avec couteau de mise à la terre*

Les sectionneurs de ligne 225 kV sont tripolaires et du même type que ceux décrits précédemment.

Ils sont cependant équipés de couteau de mise à la terre avec verrouillage mécanique sur les pôles de phases. Les couteaux de mise à la terre ne doivent qu’être opérés manuellement.

Les caractéristiques techniques minimales requises pour les appareils sont données à l’annexe B-1 dans la fiche n°2.

A9.2.6 **Disjoncteurs**

A9.2.6.1 **Caractéristiques Générales**

Les chambres de coupure doivent utiliser l’hexafluorure de soufre (SF6) à l’état gazeux comme fluide diélectrique et comme agent extincteur d’arc. Elles sont constituées d’un seul élément de coupure par pôle. La commande se fera par tringlerie actionnée par des ressorts réarmés électriquement. Le disjoncteur doit pouvoir être actionné localement, manuellement et à distance.

Les disjoncteurs sont livrés complets et en état de marche. Les disjoncteurs sont livrés avec leur

support et toutes les ferrures pour installation directe sur les fondations sans l’ajout d’acier additionnel. La fourniture doit inclure en sus :

- le gaz SF6;
- les châssis;
- l’armoire de commande principale ainsi que tous les coffrets intermédiaires équipés;
- le compteur de manœuvres pour une commande tripolaire et trois compteurs pour une commande monopolaire;
- un compteur du nombre de démarrages du moteur;
- un voyant mécanique local répéteur de la position ouverte ou fermée de l’appareil par pôle;
- les pièces de rechange et outils spéciaux.

Le gaz SF6 est conforme à la recommandation CEI 60376.

A9.2.6.1.1 *Commande et autonomie*

Afin d’éviter des cycles de fermeture et d’ouverture consécutifs, un dispositif d’anti-pompage est intégré dans le circuit de fermeture. Un seul dispositif est requis pour une commande tripolaire alors que chaque pôle doit en être pourvu si la commande est monopolaire (travées lignes).

La réserve d’énergie stockée dans le dispositif de commande devra permettre un cycle d’ouverture, fermeture et ouverture sans aucun apport externe d’énergie. Le cycle complet d’opération du disjoncteur unipolaire est au minimum O-0,3s-FO-1 min- FO ou O-3min-FO-3min-FO lorsque le disjoncteur est tripolaire

Les moteurs de réarmement sont protégés par des contacteurs équipés de relais magnétothermiques.

Dans tous les cas, les manœuvres sont verrouillées si l’énergie accumulée dans le système de réarmement est jugée insuffisante, ou suite à une très basse pression de gaz SF6 (deuxième stade). Un contact de signalisation de basse pression premier stade est disponible pour fins d’alarme externe. Les disjoncteurs sont pourvus de deux bobines de déclenchement.

A9.2.6.1.2 *Armoire de commande*

L’Armoire de commande doit inclure les contacteurs d’ouverture et de fermeture, les boutons-poussoirs de commande, les relais de protection, les résistances anticondensation, les borniers de raccordement et prises de courant monophasées. Les coffrets intermédiaires ne doivent que contenir des bornes sans aucun dispositif actif.

A9.2.6.1.3 *Équipement de recharge*

L'équipement doit inclure les vannes, 2 bouteilles de gaz SF6, le manomètre étalon et la tubulure de raccordement.

A9.2.6.2 *Caractéristiques Particulières*

Les disjoncteurs équipant les travées ligne sont à commande monopolaire afin de permettre le déclenchement et le réenclenchement monopolaire. Pour tous les autres disjoncteurs, la commande est tripolaire.

Un sélecteur de commande « LOCAL-DISTANCE » est requis afin de permettre toutes les commandes à l'appareil même, et à partir de la salle de commande.

Les caractéristiques techniques minimales requises pour les appareils sont données à l'annexe B-1 dans les fiches n°3 et n°4.

A9.2.7 Transformateurs de mesures

A9.2.7.1 *Caractéristiques Générales Des Transformateurs De Courant*

Les transformateurs de courant sont conformes aux spécifications de la norme CEI 60044-1.

La partie supérieure est constituée d'un isolateur en porcelaine de couleur brune renfermant la partie supérieure de l'enroulement primaire en forme de U. La partie inférieure du transformateur est formée d'une cuve galvanisée à chaud dans laquelle les noyaux secondaires sont placés autour d'une branche de l'enroulement primaire.

Les transformateurs de courant devront pouvoir être commutés sur l'enroulement primaire. Les joints d'étanchéité sont résistants à l'huile jusqu'à une température de 115 °C.

Au minimum, les accessoires suivants sont inclus:

- un coffret de regroupement des enroulements secondaires;
- les bouchons de remplissage, robinets de vidange d'huile;
- une borne de mise à la terre extérieure du coffret;
- un indicateur de signalisation extérieur permettant de détecter tout dégagement de gaz éventuel ou toute baisse de niveau d'huile;
- une plaque signalétique selon la norme CEI;
- les anneaux de levage.

A9.2.7.2 Courant Nominal

Les courants nominaux primaire et secondaire sont choisis parmi les valeurs normalisées indiquées dans la recommandation CEI 60044-1.

La précision des noyaux des transformateurs de courant utilisés ne doit pas être influencée par l'adoption d'un courant nominal plus élevé.

Les transformateurs sont à deux rapports de transformation afin de pouvoir accommoder les niveaux de courant actuels et futurs.

A9.2.7.3 Caractéristiques Particulières Pour Les Transformateurs De Courant

A9.2.7.3.1 Courant secondaire

Le courant secondaire est à 1 A.

A9.2.7.3.2 Classe de précision minimum

Les classes de précisions à prendre sont:

- classe de précision 0,2 pour tous les équipements de mesure d'énergie destinés à la facturation;
- classe de précision 0.5 pour les instruments indicateurs, les relais de puissance et relais directionnels;
- classe de précision 5 % (5P) pour les relais de protection de distance et différentielle.

A9.2.7.3.3 Puissance de précision minimum

Les caractéristiques techniques minimales requises pour les appareils sont données à l'annexe B1 dans la fiche n°5.

A9.2.7.4 Caractéristiques Générales Des Transformateurs De Tension

A9.2.7.4.1 Tensions destinées à la mesure et à la protection

Les deux fonctions sont assurées par des noyaux distincts.

A9.2.7.4.2 Facteurs de tension

Les facteurs standards à appliquer apparaissent au tableau 2 de la recommandation CEI 60044-2.

A9.2.7.4.3 Calibre des fusibles

Les fusibles de protection sur les circuits secondaires sont choisis en considérant une puissance d'échauffement de 1500 VA.

A9.2.7.4.4 Rapports de transformation

La tension secondaire est choisie à $110 \text{ V} / \sqrt{3}$ pour tous les appareils raccordés entre phase et terre. Le rapport de transformation nominal du réseau à 225 kV est de: $225000\text{V} / \sqrt{3} : 110 \text{ V} / \sqrt{3}$

A9.2.7.5 Caractéristiques Particulières Pour Les Transformateurs De Tension Capacitifs

A9.2.7.5.1 Fonction mesure

Pour les enroulements destinés à la mesure, la précision est de la classe 0,5, alors que ceux qui sont destinés à des fins de facturation sont de la classe 0,2. La puissance de précision est de 200 VA dans les conditions fixées par la norme CEI.

A9.2.7.5.2 Fonction protection

La précision en régime transitoire devra être respectée dans les cas suivants:

- mise sous tension brusque, la tension appliquée pouvant atteindre 1,5 fois la tension nominale;
- cycle constitué par la succession de deux créneaux de baisse momentanée de la tension séparée par le temps de pause d'un cycle de réenclenchement automatique,

la tension passant de $0,8U_n$ à $0,05 U_n$ ou de $1.2U_n$ à $0.05 U_n$;

- même cas que précédemment, mais à partir d'une valeur de tension égale $1,5 U_n$;
- cycle constitué par la succession de deux créneaux de hausse momentanée de la tension passant de $1,1 U_n$ à $1,9 U_n$.

Dans toutes les situations précédentes, la précision de l’amplitude est à au moins 10 % alors que l’angle de déphasage est inférieur à 6° .

Durant la période située entre 40 et 60 millisecondes suivant la variation de tension, la précision de l’amplitude est à au moins 5 %, alors que l’angle de déphasage est inférieur à 3° , 0,06 secondes après la variation de tension.

Ces limites sont requises dans le cadre d’une puissance de précision de 100 VA pour un facteur de puissance de la charge compris entre 0,5 et 1 (inductif).

En régime permanent, la classe de précision est 3P jusqu’à $1,5 U_n$ et de la classe 6P entre $1,5 U_n$ et $1,9 U_n$ pour une puissance de précision de 160 VA.

L’amortissement des régimes transitoires doit satisfaire à l'article 43 de la CEI 60044-2.

Les caractéristiques techniques minimales requises pour les appareils sont données à l’annexe B-1 dans la fiche n°7.

A9.2.8 Parafoudres

A9.2.8.1 Caractéristiques Générales

Le parafoudre à oxyde métallique est caractérisé par :

- la tension maximale de service U_c en service permanent représentant la tension (kV) la plus élevée du réseau, à la fréquence de service, que le parafoudre peut supporter continuellement;
- les niveaux de tension de protection au choc;
- le courant nominal de décharge;
- la tenue aux ondes de longue durée;
- le courant maximal de décharge;
- la classe de décharge;
- la capacité d'absorption d'énergie;

- la tension assignée.

A9.2.8.2 Caractéristiques Particulières

Les parafoudres sont raccordés et localisés aux endroits suivants:

- à l'entrée des lignes aériennes dans les postes;
- aux bornes HT des transformateurs de puissance et des bobines de réactance.

Chaque parafoudre doit posséder un compteur de décharges par phase dans leurs postes HT. La classe de décharge en onde de longue durée est 3 selon CEI.

Les caractéristiques techniques minimales requises pour les appareils sont données à l'annexe B-1 dans la fiche n°8.

A9.2.9 Colonnes isolantes

Les isolateurs supports, du type à long fût, avec armatures métalliques extérieures sont conçus pour résister à toutes les sollicitations mécaniques et thermiques provoquées par les courts-circuits et forces extérieures (vent, traction, etc.) et sont montés sur des supports en acier galvanisé.

A9.2.10 Chaînes d'isolateurs

Les isolateurs utilisés sont des isolateurs en verre trempé du type capot et tige. Les caractéristiques mécaniques et électriques minimales requises pour les isolateurs sont données à l'annexe B-1 dans la fiche n°9.

A9.2.11 Jeu de barres rigides

Le jeu de barres est de type rigide et est constitué de tubes de diamètre d'environ 160mm (à confirmer en phase d'exécution) qui devront supporter toutes les sollicitations mécaniques et thermiques provoquées par les courts-circuit.

Le jeu de barre est muni d'un dispositif de compensation de la dilation thermique et un dispositif anti-vibratoire

Le câble de garde est de type alumoweld d'une section nominale de 94,1 mm². Les principales caractéristiques du câble de garde sont données à l'annexe B-1 dans la fiche n°10.

A9.3 APPAREILLAGE MOYENNE TENSION

A9.3.1 Généralités

Les postes de Koukoutamba et Labé comportent une section de distribution rurale à 30 kV ayant les caractéristiques énumérées ci-après.

A9.3.2 Cellules 30 kV

Les postes MT intérieurs sont tous constitués de cellules blindées (Metalclad) préfabriquées, à isolement dans l'air.

Les caractéristiques techniques minimales requises pour les appareils sont données à l'annexe B-1.

A9.3.2.1 *Caractéristiques De Construction*

Les cellules sont préfabriquées entièrement en usine, fermées, sous enveloppe métallique, isolées dans l'air, équipées de disjoncteurs montés sur chariot débrochable.

Chaque cellule comportera les 4 compartiments distincts suivants, séparés par des cloisons métalliques:

- compartiment appareillage;
- compartiment jeu de barres;
- compartiment raccordements MT;
- compartiment basse tension.

A9.3.2.1.1 *Détails de construction*

Les parois des cellules sont en tôle de 2 mm d'épaisseur séparant les cellules entre elles et les différents compartiments. La porte frontale est indépendante du chariot et ferme chaque cellule. Une barre de terre en cuivre est installée et continue sur la longueur entière du tableau. Chaque appareil MT est raccordé à la barre de terre. Des cosses installées aux extrémités de la barre de terre sont requises pour le raccordement de la barre au réseau de terre général du poste.

Le jeu de barres est inaccessible en exploitation normale. Il est isolé dans l'air et protégé mécaniquement par une gaine en matériaux synthétiques.

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A9 – Evacuation de l’Energie – Postes Electriques

La filerie BT est séparée des parties MT par des écrans métalliques mis à la terre. L'accès au matériel BT est possible avec la cellule en service.

Afin d'empêcher la condensation, des résistances de chauffage, alimentées en courant alternatif monophasé, sont installées dans chacun des compartiments.

Afin de minimiser les différents types de pièces de rechange et pour plus de flexibilité d'exploitation, on veillera dans la mesure du possible à uniformiser les appareils sur les caractéristiques suivantes :

- courants nominaux égaux,
- caractéristiques de tenue aux courts circuits,
- dimensions identiques des cellules.

A9.3.2.1.2 *Chariot amovible*

Le chariot est apte à être maintenu dans trois positions distinctes, verrouillé mécaniquement et avec possibilité de fermer la porte dans les trois positions. Les chariots équipés d'appareils ayant des fonctions identiques doivent être interchangeable. Des contacts affichant la position du chariot doivent être rendus disponibles dans le compartiment Basse Tension pour usage par l'exploitant. Le disjoncteur pourra, en position débrochée, être relié à son compartiment basse tension par une laisse BT. Le retrait du chariot provoquera automatiquement la fermeture des volets sur l'accès aux parties sous tensions.

A9.3.2.1.3 *Verrouillages*

La conception de l'appareillage est prévue pour une utilisation aisée et sécuritaire pour le personnel affecté aux manœuvres. À cette fin, des verrouillages électromécaniques adéquats sont requis.

Les verrouillages par voie mécanique du chariot sont tels que les manœuvres suivantes ne pourront être exécutées:

- embrochage ou débrochage du chariot avec disjoncteur en position enclenchée,
- embrochage du chariot avec le sectionneur de mise à la terre étant enclenché, embrochage ou débrochage avec prise basse tension non enfichée;
- la manœuvre d'un sectionneur n'est possible que lorsque les portes ou capots de la cellule à laquelle il appartient sont fermés;
- l'appareil de coupure (disjoncteur ou interrupteur) auquel il est associé est ouvert, le sectionneur de terre de la cellule est ouvert.

La fermeture d'un sectionneur de terre n'est possible que lorsque l'appareil de sectionnement de la cellule à laquelle il appartient est ouvert. La commande du dispositif ne est exécutable que localement et effectuée manuellement, cadennassable dans les deux positions ouvert et fermé.

Un dispositif de verrouillage doit empêcher l'ouverture du panneau frontal et ainsi l'accès au circuit principal MT lorsque celui-ci est sous tension.

A9.3.2.1.4 *Relais, instruments et câblage*

Cet appareillage doit nécessairement être monté dans le compartiment BT, alors que les appareils de mesure sont montés sur la porte frontale du compartiment. Les relais de protection sont montés à l'intérieur et une ouverture vitrée dans la porte du compartiment permettra de les visualiser pour s'assurer de leur fonctionnement. Les relais de protection et auxiliaires sont de type débouchable. Tous les circuits BT sont raccordés à des borniers. Les raccords en « T » ne sont pas permis.

A9.3.2.1.5 *Repérage*

Chaque équipement est identifié par une plaque signalétique d'une façon univoque. Le circuit de puissance aura des repérages horaires des phases en couleur et inscriptions. Chaque cellule est clairement identifiée par une plaque indiquant le nom du départ et le numéro. Des avertisseurs de sécurité sont placés aux endroits nécessaires. Toutes les inscriptions sont rédigées dans la langue française.

A9.3.2.2 *Sectionneurs et dispositifs de mise à la terre*

Le sectionneur de terre est du type à enclenchement brusque. Un sectionneur de terre est requis dans chaque cellule d'arrivée et de départ.

Les caractéristiques techniques minimales requises pour les appareils sont données à l'annexe B-1 dans la fiche n°2.

A9.3.2.3 *Disjoncteur 30 Kv*

Le disjoncteur 30 kV est du type tripolaire à coupure dans le SF6, à commande à accumulation d'énergie par ressort réarmé manuellement et à moteur électrique. Le disjoncteur devra être commandé localement par un commutateur « tourner, pousser à voyant lumineux » (TPL).

Des contacts auxiliaires sont prévus pour assurer les verrouillages et les signalisations. Au moins cinq (5) contacts de réserve devront être disponibles. Les disjoncteurs sont équipés d'un compteur de manœuvres.

Les caractéristiques techniques minimales requises pour les appareils sont données à l'annexe B-1.

A9.3.2.4 Transformateurs De Mesure

A9.3.2.4.1 Transformateurs de courant

Les caractéristiques des transformateurs données à titre indicatif sont les suivantes :

- type monophasé multisecondaire, courant secondaire assigné de 1 A,
- les caractéristiques techniques minimales requises pour les appareils sont données à l’annexe B-1.

A9.3.2.4.2 Transformateurs de tension 110V débrochables

Les valeurs figurant aux schémas sont données à titre indicatif et serviront de guide lors des études de fabrication. Les caractéristiques à respecter sont les suivantes:

- type monophasé à résine synthétique moulée, raccordement entre phase terre,
- les transformateurs de tension munis de fusibles de protection sur les enroulements secondaires, qui doivent être localisés dans la boîte de raccordement,

Les caractéristiques techniques minimales requises pour les appareils sont données à l’annexe B-1 dans la fiche n°12.

A9.3.2.5 Relais De Protection

Tous les relais de protection sont pour installation à l’intérieur, dans des boîtiers montés dans des armoires ou compartiments BT des cellules MT correspondantes. Pour la majorité des cas, ils doivent tous être du type multifonctions et de technologie numérique. L’alimentation de ces derniers doit se faire à 125 V, courant continu.

Afin de réduire le nombre de pièces de réserve, il est prévu un minimum de types de relais différents.

A9.3.3 Composition des Postes MT

Les cellules sont installées à l’intérieur des bâtiments de service correspondants et sont conçues pour être utilisées dans les conditions climatiques tropicales avec degré d’humidité très élevé. Les panneaux, armoires et coffrets contenant des équipements de contrôle ou de commande, les cellules MT et BT sont protégés contre l’eau de condensation. Des résistances de chauffage sont du type blindé et elles sont contrôlées par hygostat.

A9.3.3.1 *Caractéristiques Electriques Garanties*

Les caractéristiques techniques minimales requises pour les appareils sont données à l’annexe B-1.

A9.3.3.2 *Composition Générale des Postes MT*

Tous les postes possèdent une section MT à 30 kV. Les postes doivent posséder au niveau 30 kV les équipements de commutation suivants :

- une cellule arrivée transformateur de puissance,
- éventuellement une cellule de couplage,
- des cellules départ de ligne aérienne /câble souterrain,
- une cellule départ transformateur des services auxiliaires.

A9.3.3.3 *Configuration particulière à chaque Poste*

La quantité d’arrivées et de départs requise pour chaque poste en particulier est déterminée à partir des schémas unifilaires joints dans le cahier des plans.

A9.3.3.4 *Équipement des cellules*

Les différents types de cellules sont équipés comme suit:

A9.3.3.4.1 *Cellule arrivée transformateur de puissance*

- un disjoncteur tripolaire débrochable;
- un sectionneur de terre
- trois transformateurs de courant pour la mesure et la protection;
- trois transformateurs de potentiel pour la mesure;
- un témoin néon de présence de tension;
- un relais de protection ampèremétrique;
- un ampèremètre par phase;
- un voltmètre commutable sur les 3 phases;
- un compteur d’énergie active;

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A9 – Evacuation de l’Energie – Postes Electriques

- un compteur d'énergie réactive;

A9.3.3.4.2 *Cellule couplage*

- un disjoncteur tripolaire débrochable;
- trois transformateurs de courant pour la protection.

A9.3.3.4.3 *Cellule départ ligne aérienne/câble souterrain*

- un disjoncteur tripolaire débrochable;
- un sectionneur de mise à la terre;
- trois transformateurs de courant pour la mesure et la protection;
- trois transformateurs de potentiel;
- un témoin néon de présence de tension;
- un réenclencheur et détecteur de terre;
- un relais de protection ampèremétrique à temps inverse avec deux seuils pour les protections de phase et un seuil pour les protections homopolaires;
- un ampèremètre par phase;
- un voltmètre commutable sur les 3 phases;
- un compteur d'énergie active;
- un indicateur d'énergie réactive.

A9.3.3.4.4 *Cellule départ transformateur des services auxiliaires*

- un disjoncteur débrochable pour la protection du transformateur des services auxiliaires;
- un témoin néon de présence de tension;
- un sectionneur de MALT.

L'alimentation des relais et du réarmement du disjoncteur sont faits à partir de l'installation de courant continu à la tension de 125 V.

A9.3.3.5 Alimentation des auxiliaires

L'alimentation des auxiliaires des cellules est réalisée comme suit:

- circuits de commande, de verrouillage et de signalisation 125 V;
- moteurs de réarmement et de manœuvre 125 V;
- résistances de chauffage 230 V courant alternatif.

A9.3.4 Résistance de mise à la terre du neutre MT des transformateurs 225 kV/30 kV

Les résistances de mise à la terre des enroulements MT des transformateurs sont installées à l'extérieur, à côté des transformateurs desservis.

Des transformateurs de courant sont insérés entre le neutre du transformateur et la résistance.

Les caractéristiques techniques des résistances de mise à la terre sont données à l'annexe B-1 fiche n°15.

A9.3.5 Parafoudres 30 kV

Les parafoudres sont localisés à l'entrée des lignes aériennes 33 kV dans les postes et comportent un compteur de décharges par ensemble triphasé. Ils sont en premier lieu entreposés dans chacun de leur poste respectif pour être finalement installés sur le dernier poteau de chaque ligne aérienne, en départ du poste. Les caractéristiques techniques minimales requises pour les appareils sont données à l'annexe B-1 dans la fiche n°14.

A9.4 PROTECTION ÉLECTRIQUE DES INSTALLATIONS H.T.

A9.4.1 Interfaces avec les équipements de téléprotection

Des liaisons de téléprotection sont prévues sur toutes les lignes de 225 kV, sur fibres optiques dans le câble de garde.

Le système de liaison à fibres optiques intégrées dans le câble de garde des lignes 225 kV est disponible pour fins de protection. Ces dernières peuvent utiliser soit une paire de fibres optiques dédiée ou une interface spécialisée dans le multiplexeur du terminal optique.

Les caractéristiques principales des fibres optiques et des équipements terminaux sont les suivantes:

- fibre monomode;
- longueur d'onde 1 500 nm.

A9.4.2 Considérations générales pour le choix des équipements de protection

A9.4.2.1 Critères Retenus Pour L'élimination Des Défauts Sur Le Réseau HT

- durée d'élimination des défauts : 100 ms pour le réseau 225 kV,
- réenclenchement monophasé sur les lignes 225 kV,
- prise en considération des valeurs des courants de défaut monophasés et triphasés sur les lignes 225 kV,
- prise en compte des défauts impédants

A9.4.2.2 Normes Et Caractéristiques

La conception et la fabrication de l'appareillage ainsi que la conception et l'installation des postes sont conformes aux dernières éditions des publications CEI. Les essais de type des protections et relais auxiliaires suit les suivantes:

Tableau A9. 1 Normes applicables à la conception et fabrication de l'appareillage basse tension

CEI 60255	Essais d'influence électrique concernant les Relais de mesure et dispositifs de protection –Immunités aux perturbations induites par des champs radioélectriques
CEI 60947	Appareillage à basse tension
CEI 61810	Relais électromécaniques élémentaires
CEI 61811	Caractéristique particulière cadre –Relais électromécaniques de tout-ou-rien télécom soumis au régime d'assurance de la qualité – Deux contacts à deux directions,surface d'encombrement de 20 mm x 10 mm
CEI 61812	Relais à temps spécifié pour applications industrielles et résidentielles

A9.4.3 Caractéristique fonctionnelle

A9.4.3.1 Protection des lignes 225 Kv

Le choix des systèmes de protection est basé sur deux protections principales de fournisseurs différents, agissant indépendamment en vue d'accroître la sécurité du déclenchement sur défauts internes. Cette pratique doit se refléter sur l'ensemble des organes rattachés à la protection, à savoir :

- liaisons de téléprotection,
- raccordement aux transformateurs de mesures,
- alimentations auxiliaires,

En vue d'accroître la fiabilité, il est recommandé de choisir des principes de mesure différents, par exemple protection de distance et protection différentielle de courant.

A9.4.3.2 Protections De Distance

Les protections de distance proposées sont de technique numérique. Elles sont supportées par des références d'exploitation concluantes comme protections de lignes. Les caractéristiques techniques suivantes sont obligatoires:

- utilisation de circuits-mémoire de tension, de préférence limitée à une durée maximale après l'apparition du défaut ;
- polarisation des éléments de mesure ou directionnelle tenant compte de l'inversion possible de la tension de mesure.

La très grande étendue du réseau et l'absence de maillage favorisent les pompages. Les protections de distance sont équipées de dispositifs antipompage au moins pour le premier et le deuxième stade.

Les modes de téléaction prévus pour les protections de distances sont:

- déclenchement conditionné avec ou sans dépassement;
- logique écho et source faible,
- accélération de stades.

A9.4.3.3 Protections Numériques Différentielles

Des protections numériques différentielles qui comparent les modules du courant ou les modules et les angles du courant aux extrémités de la ligne (équivalente aux fils pilotes en mode électromécanique) avec mesure individuelle pour chaque phase sont requises.

A9.4.3.4 Combinaisons de protection privilégiées pour la protection des lignes

Un lien de communication est disponible sur toutes les lignes du réseau. À titre d'exemple, une combinaison de deux systèmes de protection réalisée comme suit est acceptable :

- protection primaire assumée par un système numérique différentiel (module ou module /phase du courant) en utilisant le lien de communication;
- protection secondaire assumée par une protection de distance, complétée par une protection directionnelle contre les défauts monophasés (détection des défauts à la terre résistants qui sont en général hors de la caractéristique de déclenchement des protections de distance).

A9.4.3.5 Réenclenchement

La fonction de réenclenchement est prévue pour être assurée par un automate de réenclenchement

indépendant (fonction ANSI 79).

Les programmes de réenclenchement associés sont prévus pour être suffisamment flexibles pour pouvoir s'adapter aux diverses situations d'exploitation. Pour chaque départ 225 kV, le choix d'un des programmes suivants, soit par l'opérateur localement ou à partir du centre de téléconduite est possible:

- réenclenchement monopolaire pour défauts monophasés et déclenchement tripolaire définitif pour défauts triphasés et biphasés avec ou sans contact avec la terre;
- réenclenchement monopolaire pour défauts monophasés et réenclenchement tripolaire avec vérification du synchronisme ou vérification de l'absence de tension, soit sur le jeu de barres ou sur la ligne;
- réenclenchement hors service.

La fonction de réenclenchement permet un réglage indépendant des temps d'isolement pour défauts monophasés et polyphasés. Le schéma de réenclenchement inclu une logique de déclenchement triphasé si un pôle reste ouvert pendant une période de temps supérieure au cycle de réenclenchement monophasé.

A9.4.3.6 Localisation Des Défauts Et Perturbographie

Les fonctions de perturbographie et localisation de défauts sont intégrées au moins dans une des protections principales. Une station locale d'évaluation par ordinateur personnel équipée d'un logiciel approprié est disponible dans les postes 225 kV de Labé et Koukoutamba. Une station similaire est également requise au centre de téléconduite. Les informations de perturbographie et localisation des défauts sont transmises par modems, sur demande de l'opérateur du centre de téléconduite. La fonction localisation de défaut est transmise à distance avec une marge d'erreur inférieure à 3 %.

A9.4.4 Protection de surtension des lignes 225 kV

Chaque extrémité de la ligne est équipée d'un relais à maximum de tension à deux seuils, avec temporisation à temps constant. Les seuils sont utilisés de la façon suivante:

- seuil 1 : Disjoncteur fermé dans le poste respectif, il s'ensuit la mise en circuit de l'inductance shunt du poste (pouvant être sélectionnée localement et à partir du centre de téléconduite);
- seuil 2 : Disjoncteur ouvert dans le poste respectif, il s'ensuit un télé déclenchement de l'extrémité source de la ligne.

A9.4.5 Protection des transformateurs

Le principe visé est la séparation de la protection des transformateurs en 2 groupes, couvrant chacun un maximum de défauts internes. Il faut séparer chaque groupe en câblage, circuits de déclenchement, commandes et circuits auxiliaires afin d'atteindre une redondance élevée dans l'ensemble du schéma de protection.

Les relais de protection suivants sont installés sur le côté haute tension:

- protection différentielle numérique avec retenue d'harmoniques (87T),
- protection contre les défauts à la terre, réalisée comme protection de haute impédance (87N),
- protection de distance pour défauts de phase et de terre (21T),
- protection de gradient tension/fréquence (24).

Les relais de protection suivants sont installés du côté basse tension du transformateur :

- relais à maximum de courant temporisé, 3 phases et terre (51/51N),
- relais de surcharge basé sur image thermique (49 OL),
- protection de cuve (50 C).

Les protections spécifiques fournies par le fabricant du transformateur sont intégrées dans le schéma de protection. Elles comprennent au minimum:

- une protection Bucholz (63A et 63D);
- surveillance par image thermique des enroulements (49A et 49D);
- un relais à maximum de courant pour le blocage du régulateur de tension en charge;
- surveillance par thermostat de la température de l'huile pour le transformateur et le régulateur de tension en charge (49A);
- surveillance du bon fonctionnement du dispositif de refroidissement.

A9.4.6 Protection des inductances shunt 225 kV

Les protections des inductances shunt incluent :

- relais différentiel de haute impédance (87 N);
- relais à maximum de courant temporisé (50/51 N);
- protection de cuve (50 C).

A9.4.7 Protection des jeux de barres et défaillance de disjoncteur

La protection de jeu de barres correspond aux critères suivants:

- coupure rapide et sélective des défauts pour toutes les configurations possibles du poste;
- principe de mesure différentiel à basse impédance (préférences pour deux critères de déclenchement différents);
- tous les départs sur le jeu de barres sont déclenchés lors des courts-circuits sur le jeu de barres même si certains des disjoncteurs n'alimentent que des charges donc sans contribution au défaut;
- assurer la stabilité lors de défauts hors zone qui provoquent la saturation totale du transformateur de courant d'une travée de départ (résistance de stabilisation);
- lorsque l'un des départs alimente un transformateur, le disjoncteur situé à l'autre niveau de tension est également déclenché.

Les temps de déclenchement sont au maximum de 25 ms. La protection du jeu de barres inclut une fonction de supervision de la stabilisation, pourvue d'une alarme locale et à distance et de mise hors de service automatique. De plus, la protection du jeu de barres est au minimum adaptable au double du nombre de travées prévues actuellement.

Un dispositif automatique d'essai et de surveillance est nécessaire pour la protection du jeu de barres.

Le schéma de protection de défaillance des disjoncteurs est initié à partir des commandes de déclenchement des relais de protection individuels et provoque le déclenchement de tous les disjoncteurs avoisinants, à savoir :

- les disjoncteurs de transformateur à tous les niveaux de tension;
- les disjoncteurs aux extrémités des lignes par la fonction télédéclenchement.

Le fonctionnement du schéma est contrôlé par des relais à maximum de courant rapides (62 BF) pour tous les types de défauts.

A9.5 PROTECTION DES DÉPARTS ET ARRIVÉES 30 kV

A9.5.1 Généralités

Les réseaux à 30 kV sont en général constitués par des lignes aériennes. Le neutre des transformateurs HT-30 kV est donc mis à la terre par une résistance de limitation du courant à 300 A.

A9.5.1.1 Départs 30 Kv

Le système de protection est réalisé au moyen d’une protection de phase (tripolaire) à maximum de courant à deux seuils :

- le seuil haut est temporisé à temps constant (51-1);
- le seuil bas est temporisé à temps inverse (51-2), avec les courbes caractéristiques selon CEI.

La protection de terre est assurée par maximum de courant à un seul seuil, temporisée à temps inverse avec les courbes caractéristiques selon CEI.

Les deux protections sont incorporées dans un même relais numérique à fonctions intégrées.

Le réenclencheur est à trois cycles, soit un rapide et deux lents, chacun ayant les plages de temporisation suivantes :

- rapide, temporisation réglable entre 0,3 s et 2 s (79-1),
- lents, temporisation réglable entre 3 s et 60 s (79-2, 79-3).

A9.5.1.2 Arrivée transformateur HT-30 Kv

Chaque poste MT est équipé d’un dispositif de détection de terre résistante constitué par un détecteur de courant homopolaire raccordé à un transformateur toroïdal de courant dans le neutre côté 30 kV. Un automatisme est requis de telle sorte que suite à une détection de terre résistante, chaque départ 30 kV est déclenché et réenclenché de façon successive jusqu’à la disparition du défaut, avec un délai réglable dans la plage 0,1 - 2 s.

Le détecteur de courant homopolaire est choisi de façon à offrir une sensibilité d’au moins 200 ohms de résistance primaire de défaut.

La protection de l’arrivée du transformateur MT est assurée par une protection tripolaire à maximum de courant comportant deux seuils de détection :

- le seuil haut est temporisé à temps constant (51-1);
- le seuil bas est temporisé à temps inverse (51-2) avec les courbes caractéristiques selon CEI.

La protection du transformateur contre les surcharges est basée sur image thermique de celui-ci. Finalement, une protection de réserve à maximum de courant homopolaire est raccordée au transformateur de courant situé sur la traversée du neutre, côté 30 kV du transformateur.

A9.5.1.3 Délestage à minimum de fréquence

Chaque jeu de barres est équipé d’un relais de sous-fréquence à trois stades, à temporisation indépendante. Le schéma de délestage doit permettre :

- la consignation locale de n’importe quel départ 30 kV pour chaque stade de sous-fréquence;
- la possibilité d’activation et de désactivation de chaque stage de sous-fréquence à distance.

A9.5.1.4 Synchronisation

Les postes de Koukoutamba et Labé sont être équipés de dispositifs de vérification de synchronisme.

A9.5.2 Autres prestations

A9.5.2.1 Coordination Des Relais De Protection

Dans le cas où le réseau OMVS sera rattaché à des réseaux locaux, la coordination générale entre les systèmes de protection proposés et ceux existants est exécutée dans une étude spéciale avec la participation du personnel exploitant de ces réseaux locaux.

A9.6 COMMANDE, MESURE ET COMPTAGE

A9.6.1 Caractéristiques générales

Tous les dispositifs assignés à la commande, la mesure et le comptage sont compatibles aux normes suivantes :

Tableau A9. 2 - Normes CEI applicables à la commande, la mesure et le comptage

CEI 60051	Appareils mesureurs électriques indicateurs analogiques à action directe et leurs accessoires
CEI 60145	Compteurs d'énergie réactive (varheuremètres)
CEI 60439	Ensembles d'appareillage à basse tension – Ensembles de série et ensembles dérivés de série
CEI 60668	Dimensions des surfaces et des ajourages à prévoir pour les appareils de mesure et de commande montés en tableaux ou en tiroirs dans les processus industriels
CEI 60736	Equipement d'étalonnage de compteurs d'énergie électrique
CEI 60947	Appareillage à basse tension – Règles générales

Tous les instruments de mesure sont du type encastré, à connexion arrière avec lecture directe sur des cadrans blancs portant des chiffres et des aiguilles noirs. À moins d'indications contraires, tous les instruments sont de classe 1 et conçus pour une tension de 110 V lorsque raccordés à un transformateur de tension. Les bobines de courant doivent pouvoir supporter 40 fois le courant nominal, et ce pour une durée de 2 secondes.

Les compteurs d'énergie sont du type triphasé, avec 2 ou 3 éléments selon qu'on ait à prendre les mesures sur un système 3 phases 3 fils ou trois phases 4 fils. Les bobines de tension et de courant sont compatibles avec les transformateurs de courant et de potentiel auxquels elles sont raccordées.

A9.6.1.1 *Mesure*

Pour les ampèremètres et les voltmètres, le mouvement est du type « à fer mobile » dans le cas d'indicateurs analogiques à aiguille.

Les indicateurs de puissance active et réactive sont du type électrodynamique, utilisable pour des charges déséquilibrées. Les éléments de mesure doivent permettre la mesure des charges déséquilibrées. Les indicateurs d'énergie réactive devront inclure le transformateur déphaseur.

A9.6.1.2 Comptage Et Enregistreurs

Ces appareils doivent procurer une grande stabilité de mesure dans un environnement sévère. Ils doivent, de plus, garantir la sauvegarde des résultats de comptage en cas de coupure des tensions et courants de mesure, l'insensibilité aux microcoupures jusqu'à 400 ms, l'immunité aux champs électromagnétiques rayonnés et aux parasites conduits.

Les compteurs d'énergie permettent:

- la mesure de l'énergie active et réactive par phase pour le total des trois phases;
- l'émission d'impulsions représentatives des énergies mesurées pour la transmission vers d'autres appareils, tels que des totalisateurs, des ordinateurs, des enregistreurs;
- la visualisation des consommations mesurées pour la lecture directe par application d'un coefficient multiplicateur, indiqué par une vignette fixée sur le cadran.

Les enregistreurs permettront l'affichage et le tracé dans le temps de toutes les grandeurs pouvant être représentées sous forme de courant ou tension.

A9.6.1.3 Contrôle Et Commande

Les postes HT sont prévus pour être exploités depuis une salle de commande dans laquelle sera installé un tableau de commande regroupant les instruments de commande (boutons poussoirs, commutateurs, etc.), ainsi que les différents appareils de mesure et de contrôles nécessaires à la conduite du poste. Le tableau est muni d'un schéma synoptique. Ce schéma synoptique représentera la topologie exacte et les charges des postes aux niveaux HT et MT, symbolisera tous les appareils installés (sectionneurs, disjoncteurs, transformateurs de puissance et de mesure, parafoudres, etc.) et regroupera les instruments de commande ainsi que les différents appareils de mesure et de contrôle nécessaires pour la conduite du poste.

Pour la partie MT (poste 30 kV), seule la commande du disjoncteur d'arrivée du transformateur HT/MT est possible à partir du tableau de commande. La manœuvre des disjoncteurs de départ ne sera possible que localement dans le poste 30 kV. La signalisation des positions de tous les appareils de coupure du poste 30 kV (sectionneurs, disjoncteurs) se fera sur le tableau de commande dans la salle de commande.

Les codes de couleur proposés pour différencier les différents circuits sont les suivants:

Tableau A9. 3 - Code de couleurs des schémas synoptiques des circuits électriques

DÉNOMINATION	COULEUR	RAL
Réseau 225 kV	Rouge	RAL 3024
Réseau 30 kV	Bleu	RAL 5012

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A9 – Evacuation de l’Energie – Postes Electriques

Auxiliaires alternatifs 0,4 kV	Noir	RAL 9005
Auxiliaires courant continu	Orange	RAL 2004

La signalisation de position « ouvert » ou « fermés » des appareils de coupure (sectionneurs et disjoncteurs) est du type dit « schéma éteint ». Ainsi, la lampe centrale du commutateur de commande est allumée lorsqu'il y aura discordance entre la position de l'appareil considéré et celle simulée par le commutateur de commande.

Chaque appareil de coupure à commande électrique est commandé à partir d'un commutateur du type « tourner-pousser à lampe ». Par ailleurs, les appareils à commande manuelle, tels que les sectionneurs de mise à la terre des lignes, sont représentés sur le tableau de commande par un commutateur du type « tourner à lampe » sans commande, car celle-ci est réalisée par la fonction « pousser », qui n'est pas disponible sur ces commutateurs.

Le tableau de commande est équipé également des appareils de mesure propres à chaque travée et des indicateurs de positionnement des régleurs en charge des transformateurs de puissance. Pour la commande des régleurs en charge des transformateurs, chacun des régleurs est pourvu d'un commutateur spécial avec les positions suivantes « marche automatique – augmenter - diminuer ». Ce commutateur est muni d'une lampe qui s'illuminera au moment du passage d'une prise à l'autre.

Pour chacune des travées, le tableau est équipé de boîtes d'essais pour les circuits suivants :

- courants;
- tensions;
- polarités et déclenchement disjoncteur.

Un des panneaux constituant le tableau de commande est réservé pour la commande et le contrôle des sources auxiliaires en courant alternatif et en courant continu.

Toutes les signalisations qui nécessitent une intervention immédiate de l'opérateur sont reportées regroupées avec une alarme sonore au domicile du Chef du Poste.

A9.6.2 Caractéristiques particulières

A9.6.2.1 *Mesure Et Comptage*

Pour la mesure et le comptage des valeurs électriques, les équipements suivants sont installés pour chaque travée, à savoir :

Travées ligne 225 kV : mesure, enregistrement et comptage :

- 3 ampèremètres,
- 1 voltmètre avec commutateur de sélection à huit positions,
- 1 enregistrement tension,
- 1 wattmètre triphasé à zéro central,
- 1 varmètre triphasé à zéro central,
- 1 enregistreur de puissance active à zéro central,
- 1 enregistreur de puissance réactive à zéro central,
- 2 compteurs d'énergie active fournie et reçue,
- 2 compteurs d'énergie réactive fournie et reçue.

Travée de transformateurs mesure, enregistrement et comptage :

- 3 ampèremètres,
- 1 enregistreur de puissance active,

- 1 voltmètre avec commutateur de sélection à huit positions,
- 1 enregistrement de puissance réactive,
- 1 wattmètre triphasé,
- 1 compteur d'énergie active,
- 1 varmètre triphasé,
- 1 compteur d'énergie réactive,
- 1 phasemètre.

La classe de précision est de 1 % à l'exception des points d'échange d'énergie entre les divers réseaux avoisinants, pour lesquels une grande précision à double sens (classe 0,2) de puissance et d'énergies active et réactive est requise.

A9.6.2.2 *Contrôle Et Commande*

A9.6.2.2.1 Tableau de contrôle et commande des postes 225 kV

I) *Verrouillage et commande*

Les verrouillages mécaniques entre sectionneurs et sectionneurs de terre sont doublés électriquement via la filerie exécutée entre les contacts et relais dans les armoires de commande et les armoires des travées 225 kV.

- la commande des sectionneurs et l'enclenchement du disjoncteur;
- le premier circuit de déclenchement du disjoncteur et protections associées, le second circuit de déclenchement du disjoncteur et protections associés, les signalisations et alarmes.

Les contacts de signalisation de position et d'alarme des disjoncteurs et sectionneurs sont envoyés indépendamment à l'automate programmable et au tableau de commande.

II) *Tableau de commande*

Le tableau comporte en face avant pour les postes 225 kV de Koukoutamba et Labé:

- a) un synoptique du poste reprenant
 - les deux jeux de barres (dont un seul jeu de barres est équipé dans la première étape de réalisation du poste de Labé), le disjoncteur et les sectionneurs pour les transformateurs de puissance (des deux côtés),

- les lignes,
 - le couplage ainsi que l'espace de réserve pour les travées supplémentaires conformément aux schémas unifilaires annexés,
- b) les mesures de tension, de puissance active et réactive, les courants pour travées et jeux de barres;
- c) les groupes d'alarmes;
- d) les commutateurs tourner-pousser lumineux pour la commande des disjoncteurs et sectionneurs;
- e) pour chaque départ ligne et arrivée du transformateur HT/MT (côté MT) lorsque le poste est attaché à un réseau voisin: un relais de vérification synchronisme (synchrocheck);
- f) les commutateurs commande locale/ commande à distance;
- g) les convertisseurs de mesure sont placés près des transformateurs correspondants. Les convertisseurs de mesure nécessaires sont décrits dans le chapitre 11.

III) Fonctions

Le tableau remplit les fonctions suivantes :

- a) commande et supervision de tous les sectionneurs du poste, des disjoncteurs de ligne, de transformateurs, de réactances, de couplage et des disjoncteurs MT (arrivée du transfo HT/MT);
- b) interface entre le tableau de contrôle et le contrôle commande de niveau supérieur (armoire d'interface/dispatching);
- c) interface homme-machine en conduite de secours.

A9.7 SERVICES AUXILIAIRES A COURANT ALTERNATIF BASSE TENSION

L'unité des services auxiliaires à courant alternatif est constituée de trois transformateurs des services auxiliaires 30 kV/0,4 kV, d'un groupe électrogène, du tableau de distribution équipé de disjoncteurs d'arrivée, du comptage et de disjoncteurs secondaires.

Les plans associés à ce chapitre sont les suivants :

- KBT II 04 UP SK 106
- KBT II 04 UP SK 107
- KBT II 04 UP SK 009
- KBT II 04 UP SK 010

A9.7.1 Normes

Les recommandations de la CEI applicables sont:

- CEI 60529 Degrés de protection procurés par les enveloppes;
- CEI 60947 Appareillage à basse tension.

A9.7.1.1 *Tableau Basse Tension*

Le tableau « basse tension » est constitué d'une armoire préfabriquée de type intérieur, à un seul jeu de barre regroupant les éléments suivants :

- le disjoncteur principal;
- les disjoncteurs de dérivation pour les circuits auxiliaires (éclairage, ventilation, climatisation, chargeurs de batterie, etc.);
- le jeu de barres en cuivre;
- les compteurs d'énergie et appareils de mesure;
- les transformateurs de mesures.

Le tableau est destiné à alimenter:

- l'appareillage du bâtiment du poste (éclairage, climatisation);
- les circuits de prises intérieures et extérieures;
- les circuits extérieurs d'éclairage, le chargeur 48 V;

- le chargeur 127 V, les bâtiments d'exploitation, le poste de garde.

Le jeu de barres principales aura une capacité adéquate défini par l'entrepreneur.

Des transformateurs de courant sont incorporés aux circuits de puissance en fonction du courant pour la mesure, le comptage et la protection. Pour la mesure, 3 ampèremètres ainsi qu'un voltmètre commutable sur les trois phases sont requis.

Les manettes de commande des disjoncteurs, les appareils de mesure, les lampes de signalisation ainsi que le dispositif de commutation automatique des sources, si requis, sont accessibles sur la face avant du panneau.

Tous les équipements sont regroupés dans une armoire robuste de protection IP 42 et conforme à la recommandation CEI 60529. Afin de réduire le nombre de types de matériels et de permettre une interchangeabilité, tous les disjoncteurs de départ sont préférablement du même gabarit.

A9.7.1.2 Disjoncteur De Puissance

Les disjoncteurs BT répondent aux recommandations CEI 60947. Le disjoncteur principal est tripolaire à pôles protégés par déclenchement magnétothermique, à commande manuelle par manette et électrique à commande par boutons poussoirs, à coupure dans l'air et encastré dans un boîtier moulé.

Les disjoncteurs à commande manuelle sont pourvus d'un indicateur visuel de la position des contacts principaux. Le dispositif de commande électrique des disjoncteurs est du type à électro-aimant.

Le disjoncteur de puissance de dérivation est choisi en fonction des caractéristiques de la charge et en fonction des règles de protection. Le disjoncteur principal ainsi que ceux de dérivation doivent coordonner avec le dispositif en amont, de façon à assurer une sélectivité adéquate. Tous les disjoncteurs sont équipés de contacts auxiliaires de position.

A9.7.1.3 Contacteurs

Les contacteurs sont conformes aux recommandations de la CEI 60947. Ils sont du type tripolaire à coupure dans l'air, manœuvrés par électro-aimant.

Les contacteurs sont équipés de contacts de signalisation auxiliaires.

A9.7.1.4 Composition Des Panneaux

En sus du disjoncteur principal, les panneaux sont équipés de la quantité et du calibre nécessaire de disjoncteurs de dérivation pour satisfaire tous les besoins en auxiliaires à courant alternatif, plus une réserve de 10 %.

A9.8 SERVICES AUXILIAIRES A COURANT CONTINU

Les plans associés à ce chapitre sont les suivants :

A9.8.1 Caractéristiques générales

Les recommandations et standards sont les suivants :

Tableau A9. 4 - Normes applicables aux auxiliaires à courant continu

CEI-60119	Recommandations pour les cellules, éléments redresseurs et groupes redresseurs à semiconducteurs polycristallins
CEI-60146	Convertisseurs à semiconducteurs – Exigences générales et convertisseurs commutés par le réseau
CEI-60478	alimentations stabilisées à sorties en courant continu
CEI-60529	Degrés de protection procurés par les enveloppes (Code IP)
CEI-60898	Petit appareillage électrique – Disjoncteurs pour la protection contre les surintensités pour installations domestiques et analogues
CEI-61150	Accumulateurs alcalins - Batteries monobloc d’éléments boutons rechargeables étanches au nickel-cadmium

A9.8.1.1 *Alimentation des systèmes de protection et de commande*

L'alimentation des systèmes de protection et de commande est constituée de deux chargeurs redondants, 125V cc – 400A alimentant chacun une batterie de type Nickel-Cadmium (Ni-Cd).

De plus, chaque batterie est raccordée à son panneau de permutation, lequel permet le transfert des charges d’une batterie à l’autre. Les panneaux de distribution à courant continu servent à l'alimentation des équipements listés ci-après.

- Equipements de protection,
- Equipements de contrôle,
- Equipements de signalisation.

A9.8.1.2 Chargeurs

L'alimentation des chargeurs est assurée en courant alternatif triphasé. Le redresseur est régulé en tension et limité en courant. Il est prévu de façon à supporter la charge totale du poste en courant continu et être apte, en sus de cette charge, de pouvoir recharger complètement la batterie en 10 heures.

Un commutateur permet le choix entre fonctionnement manuel et automatique. En mode manuel, le réglage de la tension de sortie est ajustable entre $\pm 10\%$ par potentiomètre, en mode automatique le chargeur fonctionne normalement avec la tension « entretien » ou avec la tension « égalisation », si l'alimentation alternative a été interrompue pour plus de 5 minutes.

Tous les composants sont montés en armoire métallique avec porte frontale; tout l'appareillage interne est accessible et facilement démontable. Les appareils de mesure, les lampes de signalisation de défaut et le commutateur marche-arrêt sont montés sur la face avant.

A9.8.1.3 Batteries

Les batteries alimentant les équipements de protection et de commande ainsi que les batteries alimentant les équipements de télécommunication sont installés dans le même local et montées en gradins dos à dos dans un local séparé et bien ventilé. Elles sont calculées pour assurer une autonomie d'au moins 8 heures et d'au moins 90mn respectivement.

A9.8.1.4 Armoires De Permutation

Les armoires de permutation (une par batterie) sont pourvues d'une arrivée batterie, équipée d'un disjoncteur mis en parallèle avec un sectionneur. L'alimentation normale se fait à travers le sectionneur. Lorsqu'une intervention est requise dans les armoires, le disjoncteur est d'abord fermé, et on ouvre le sectionneur afin de protéger l'intervenant en cas de court-circuit accidentel. Lorsque l'intervention est complétée, on referme le sectionneur, puis on ouvre le disjoncteur pour revenir à la situation de départ. Il est effectivement souhaitable que la batterie soit directement rattachée à l'armoire de permutation sans dispositif de protection, afin d'augmenter la fiabilité d'alimentation. L'armoire abrite également un dispositif de surveillance de terre-batterie avec contact pour fin d'alarme ainsi que le centre de distribution principal rattaché à la batterie.

À partir de celui-ci sont alimentés des centres de distribution secondaires qui auront pour but d'alimenter les diverses charges. Chaque disjoncteur du centre de distribution principal est équipé d'un contact d'alarme pour signaler l'anomalie à distance.

Dans les centres de distribution secondaires, on doit retrouver au moins 20 % de départs de réserve dont la moitié doit comporter ses disjoncteurs.

A9.8.1.5 Batterie Pour Les Télécommunications

L'alimentation des systèmes de télécommunication est constituée également de deux chargeurs 48V cc - 100A alimentant une batterie composée de 38 accumulateurs de type Nickel –Cadmium (Ni-Cd).

Les panneaux de distribution à courant continu servent à l'alimentation des équipements listés ci-après.

- Autocommutateur usine
- Equipements fibre optique
- Equipements de télé-protection
- Réserves équipées

La batterie de télécommunication comporte 38 accumulateurs du type plomb-acide, elle est alimentée par double chargeurs, redondants. Elle est reliée à un centre de distribution. Elle est calculée pour assurer une autonomie d'au moins 8 heures.

A9.8.2 Caractéristiques particulières

Les circuits de commande, de contrôle et de protection sont alimentés par une batterie à courant continu de tension 125 V, à l'exception des équipements de télécommunication et télécommande, qui sont alimentés par une batterie à courant continu 48V.

A9.8.3 Capacités des batteries et des chargeurs associés

A9.8.3.1 Auxiliaires 125 V

Pour un poste à 8 travées, les charges à alimenter sont estimées à 400 A pendant 90mn. Ces durées conduisent à une capacité minimum de 600 Ah pour la batterie.

En ce qui concerne le chargeur, son courant permanent choisi est égal à 400 A.

A9.8.3.2 Auxiliaires 48 V

L'autonomie choisi est de 8 h avec au minimum une batterie de 250 Ah, ainsi qu'avec un chargeur de 100 A, répond dans la majorité des cas aux caractéristiques des charges.

A9.9 CÂBLES ÉLECTRIQUES ET ACCESSOIRES

A9.9.1 Caractéristiques générales

Les normes CEI applicables sont les suivantes:

Tableau A9. 5 - Normes applicables aux câbles électriques

CEI 60502	Câbles de puissance à isolation extrudée de 1 à 30 kV;
CEI 60287	Calculs des courants admissibles en permanence dans des câbles en régime permanent;
CEI 60183	Guide pour le choix des câbles HT;
CEI 60230	Essais de choc pour des câbles et leurs accessoires;
CEI 60228	Âmes des câbles isolés;
CEI 60446	Identification des conducteurs par des couleurs ou des repères numériques.

A9.9.1.1 Câbles De Puissance MT

Les câbles MT est du type tripolaire à champ radial, âme cuivre, isolée au polyéthylène réticulé chimiquement (PRC) pour la tension spécifiée 18/30 kV, avec un écran semi-conducteur sur le conducteur pour l'égalisation du champ électrique, écran métallique, continu en fils de cuivre avec papier métallisé et enveloppe extérieure en chlorure de polyvinyle (PVC) pouvant supporter en continu une température de 90°C.

La section est choisie de telle sorte que le câble soit apte à subir le plein courant de court-circuit pendant 1 seconde.

A9.9.1.2 Extrémités Des Câbles

Pour le raccordement des câbles au jeu de barres, les extrémités de câbles sont du type thermo-rétractable pour installation intérieure. Le matériel isolant est en PVC et l'enveloppe constituée de silicone. Les cosses de raccordement sont prévues pour s'harmoniser avec l'âme du câble retenu.

Les extrémités de câble destinées pour le raccordement aux transformateurs de puissance sont munies de fiches du type embrochable hors tension (type équerre ou droit). Les fiches sont verrouillées mécaniquement par une douille. La surface des fiches est conductrice et mise à la terre. Les fiches embrochables doivent permettre de raccorder plusieurs câbles MT en parallèle. La protection contre les contacts est IP65.

Les extrémités sont fournies avec les cosses et manchons adéquats.

A9.9.1.3 Câbles BT (Puissance, Commande, Signalisation, Téléphonie)

Tous les câbles basse tension sont de tension 600V/1kV et à âme en cuivre électrolytique câblée de classe 2.

Les câbles sont conformes aux normes CEI 60502. Les conducteurs sont isolés au polyéthylène réticulé chimiquement (PRC) pour les câbles de puissance. Les câbles des circuits à courant continu ainsi que tous les câbles de puissance sont tous munis d'une protection contre les perturbations électromagnétiques. Cette protection est réalisée par une gaine continue en cuivre du type annelé permettant le cintrage des câbles.

Les câbles de commande sont du type multiconducteur, à âme cuivre torsadée à 7 brins, isolation synthétique. La tension est à 500 V pour une tension d'utilisation inférieure à 60 V, et 1 kV pour une tension d'utilisation supérieure à 60 V. Ces câbles sont munis d'une protection contre les perturbations électromagnétiques par écran de cuivre annelé de section suffisante, mis à la terre aux 2 extrémités du câble par des tresses soudées.

La section minimale des conducteurs est fixée à 1,5 mm², sauf pour les circuits de mesure de courant et de tension pour lesquels cette section minimale est portée à 2,5 mm² dans les cellules et 4 mm² à l'extérieur. L'identification des caractéristiques du câble est imprimée sur la gaine du câble utilisé. Les câbles sont posés à l'extérieur dans des canaux à câble ou des tubes en PVC. Pour des câbles enterrés, il est prévu une armure d'acier en feuillard double ou en fils d'acier galvanisés.

Le fil de câblage est identique à celui des câbles décrits ci-dessus. Le raccordement des conducteurs sur l'appareillage est exécuté par cosses serties sur celui-ci, avec manchon isolant. La filerie interne est de préférence disposée dans des goulottes en matière plastique à flans munis d'ouvertures inclinées.

Pour les liaisons de signalisation, du câble téléphonique multi paires peut être utilisé.

Les câbles téléphoniques respectent les Caractéristiques suivantes:

- âme des conducteurs massive, en cuivre, de diamètre nominal de 0,5 mm;
- assemblage réalisé en paires posées en couche concentrique;
- gaine en PVC de couleur grise.

Les câbles sont repérés à chaque extrémité au moyen de plaques d'identification inaltérables et fixées par un collier. Ces plaques doivent porter le même repère que celui établi au plan de câblage.

A9.9.1.4 Câble Coaxial Pour Haute Fréquence

Le câble coaxial HF sert à raccorder la boîte de raccordement installée près du condensateur de couplage (ou transformateur capacitif) de la travée ligne à l'émetteur/récepteur CPL localisé dans le bâtiment de service.

Le câble coaxial est du type armé, à faible atténuation, à une seule paire de conducteurs avec gaine de blindage pour pose souterraine dans un caniveau à câble ou enterré.

A9.9.2 Caractéristiques particulières

A9.9.2.1 Câbles De Puissance MT

Les câbles en moyenne tension prévus concernent l'ensemble des postes du projet.

Les câbles isolés à moyenne tension (30 kV) sont utilisés pour les liaisons suivantes :

- les liaisons entre les transformateurs de puissance et les cellules arrivée MT des transformateurs HT/MT;
- les liaisons entre les cellules MT départ TSA et le transformateur des services auxiliaires;
- les départs MT pour les circuits de distribution des villes avoisinantes.

Les câbles est prévu pour un courant admissible en permanence de :

- 750 A pour relier les transformateurs 225/30 kV de 25 MVA aux cellules d’arrivée transformateur;
- 450 A pour relier les transformateurs 225/30 kV de 16MVA aux cellules d’arrivée transformateur.

Les câbles sont tirés dans des caniveaux à câbles, enfouis ou à l'air libre pour des remontées aux transformateurs de puissance ou support d’arrêt des lignes aériennes.

Les boîtes d'extrémité et les fiches MT sont choisies en fonction du nombre de câbles à raccorder.

A9.9.2.2 Câbles BT

Les câbles basse tension sont utilisés dans les applications suivantes :

- Circuits des services auxiliaires alternatifs qui comprennent :
 - i. la liaison entre le ou les transformateur(s) de services auxiliaires et le tableau des services auxiliaires;
 - ii. les liaisons relatives aux services généraux tels alimentation des aéroréfrigérants, groupe électrogène, chauffage, éclairage, bâtiments, etc.;
 - iii. la connexion entre le transformateur des services auxiliaires et le disjoncteur BT ou le jeu de barre existant est assurée par câbles monophasés isolés au polyéthylène réticulé chimiquement (XLPE) dont l’âme des conducteurs de phase présente une section en cuivre de 240mm² pour l’alimentation des tranches.

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A9 – Evacuation de l’Energie – Postes Electriques

- Circuits de mesure en courant alternatif qui comprennent :

La liaison entre les transformateurs de mesure et les équipements tels qu'automates, appareils de mesure situés soit dans les salles de relayage, soit dans les salles de commande.

- Circuits en courant continu qui comprennent :
 - i. les liaisons entre les équipements situés dans les bâtiments de commande (protection, télécommunication, etc.);
 - ii. les liaisons entre les équipements situés dans les bâtiments de commande et l'appareillage haute tension extérieur.

A9.10 INSTALLATIONS DE TÉLÉSURVEILLANCE

A9.10.1 Généralités

Le réseau de transmission à haute tension projeté est télésurveillé et télécommandé à partir du Centre de conduite du réseau situé à Manantali.

Le présent chapitre décrit les différents appareils et les mesures nécessaires au couplage des postes aux appareils de télésurveillance (RTU), permettant la télécommande et la téléconduite des postes à partir et/ou vers le centre de conduite.

A9.10.2 Boîtes de connexion

Dans chaque poste, une armoire d'interface est livrée et installée pour la saisie des données entre les postes et l'appareil de télésurveillance (RTU). Les armoires d'interface sont des armoires métalliques murales ou séparées (type autoportantes), verrouillables, avec éclairage incorporé (interrupteur de porte), fiche et chauffage de protection contre l'humidité à réglage par hygostat.

Pour la saisie de tous les signaux des postes (positions des disjoncteurs, positions des prises des transformateurs, alarmes et valeurs mesurées) ainsi que la transmission des commandes des disjoncteurs, on installera dans les armoires d'interfaces des réglettes de bornes, les transducteurs de mesure et les relais intermédiaires correspondants. Les câbles doivent arriver à l'armoire par la base de celle-ci. Les différents composants sont groupés systématiquement. Ainsi, les entrées des mesures analogiques auront des bornes regroupées sur une réglette spécifique et il en est ainsi pour les entrées des télésignalisations et sorties des circuits de commande. Les réglettes de bornes sont à fixer sur des rails de support. Le nombre des composants individuels et des armoires métalliques ou coffrets muraux est fonction des informations acquises dans chaque poste selon les schémas unifilaires avec une réserve de 20 %.

Le raccordement à partir et à l'intérieur de l'armoire est à exécuter à l'aide de fixations de câbles et caniveaux de câblage. Il faudra prévoir des bornes sectionnables et à pont (dans circuits de courant) avec jack d'essai.

- Les réglettes de bornes sont à séparer en fonction:
 - i. des cellules,
 - ii. de leur fonction, telle que la commande, l'indication de position, l'alarme, les valeurs mesurées, etc.
 - iii. des alimentations en courant et devront porter les désignations correspondantes.

Toutes les commandes, indications de position, alarmes et mesures qui sont câblées depuis les appareillages de haute tension jusqu'aux armoires de commande et de protection dans la salle de

contrôle du poste, devront également être raccordées à l'armoire de connexion par des réglettes d'interface.

A9.10.3 Télécommande et téléconduite

A9.10.3.1 Commandes

Des relais de couplage sont à installer dans les armoires d'interface pour les commandes de la télécommande des différents équipements du poste, arrivant du centre de conduite par l'intermédiaire des appareils de télésurveillance (RTU). Ces relais de couplage sont de type embrochable et devront être munis d'au moins deux contacts inverseurs dimensionnés pour la commutation de charges inductives à puissance de coupure de 600 W (120V CC, 5A, $\tan(L/R)=40\text{ms}$), une rigidité diélectrique selon CEI 60870-3 et une classe 3. Pour la limitation des charges inductives transitoires selon CEI 60255, les relais de couplage devront être équipés de diodes. Les bobines des relais sont commandées en 48 V à partir de l'appareil de télésurveillance (RTU). Les contacts de sortie des relais de couplage sont connectés par câbles à la réglette de bornes de l'armoire d'interface et de là, par des réglettes de borne d'interface dans les panneaux de contrôle aux bobines d'actionnement de l'appareillage à haute tension du poste. Les commandes d'enclenchement de disjoncteurs initiées par le centre de conduite ne sont permises qu'après vérification des conditions de synchronisation dans les tableaux de contrôle. La télécommande des disjoncteurs devra être possible même si les jeux de barres et/ou les départs sont hors tension. Les conditions de verrouillage de chaque poste devront être respectées même en cas de commande à partir des appareils de télésurveillance (RTU).

Comme décrit au chapitre « Commande, mesure et comptage », les commutateurs de sélection pour commande locale/à distance sont à prévoir pour chaque travée. Ils devront être installés à proximité du commutateur de commande et d'accusé de réception du disjoncteur dans le panneau de contrôle. Leur position devra être transmise à l'armoire d'interface. La saisie d'indications de position, d'alarmes et de valeurs mesurées ne doit pas être influencée par la position du commutateur local/à distance.

Les commandes suivantes du changeur de prises du transformateur sont possibles à partir du centre de conduite du réseau:

- commande automatique/manuelle du changeur de prises en charge avec signal retour de confirmation commande haut/bas du changeur de prises en charge avec signal retour de la position; chaque commande entraîne le déplacement d'un seul gradin;
- le commutateur local/à distance de la travée correspondante du transformateur sert aussi à la commande du changeur de prises en charge.

A9.10.3.2 Indication De Positions Et Alarmes

Pour l'indication de la position d'appareils à 2 positions, tels que les disjoncteurs, sectionneurs, sectionneurs de terre, commutateur local/à distance, etc., deux contacts indépendants, sans potentiel,

actionnés directement par l'appareil en question (ou relais intermédiaire dans le panneau de contrôle) sont raccordés par des réglettes de borne d'interface dans les panneaux de contrôle aux réglettes de borne de l'armoire d'interface.

Pour la transmission des alarmes jusqu'au centre de conduite du réseau, il faudra raccorder aux réglettes de bornes de l'armoire d'interface, pour chaque alarme et signal de l'armoire de commande et/ou de protection ainsi que dans les postes, un contact sans potentiel par des réglettes de bornes d'interface dans les panneaux de contrôle. Un regroupement éventuel de certaines alarmes devra être effectué conformément au plan de téléinformation du système de conduite du réseau et seulement aux réglettes de bornes de l'armoire d'interface.

Les contacts d'alarme sans potentiel devront rester fermés au moins 20 secondes en cas d'alarme. Les signaux d'alarme raccordés à l'armoire d'interface devront s'arrêter automatiquement dès que l'alarme est enlevée. En cas d'utilisation de relais annonceurs, une commande de rappel (relais de couplage) devra également être installée dans l'armoire d'interface et raccordée au relais annonceur pour permettre son arrêt. Les indications de position du changeur de prises en charge devront être envoyées aux réglettes de bornes de l'armoire d'interface soit par signaux digitaux, codés (codage 8-Bit), soit par des valeurs analogues de mesure.

A9.10.3.3 Valeurs Mesurées

Les circuits secondaires de tous les transformateurs de mesure au niveau de tension 225 kV sont reliés par des réglettes de bornes d'interface dans les panneaux de commande aux réglettes de bornes de l'armoire d'interface. Pour les circuits secondaires des transformateurs de mesure, il faut utiliser des bornes sectionnables avec jack d'essai et en plus, pour les transformateurs de courant, des ponts de court-circuit insérables.

Des transducteurs de mesure 4 à 20 mA sont requis pour les mesures suivantes :

- pour la puissance active et la puissance réactive, l'alimentation en tension est de 0 à $110/\sqrt{3}$ (triphasé) et en courant de 0 à 1 A (biphasé), la sortie est de 4 à 20 mA (bidirectionnel);
- pour la tension, l'alimentation est de 0 à $110/\sqrt{3}$ (biphasé) et la sortie est de 4 à 20 mA
- pour la fréquence, l'alimentation est de 0 à $110/\sqrt{3}$ (biphasé), la sortie est de 4 à 20 mA (plage de mesure 45 à 55 Hz);
- pour les positions du changeur de prise en charge, l'alimentation est de 1 à la dernière position du transformateur, la sortie est sous forme de signaux numériques 8-Bit.

Les transducteurs de mesure sont montés et câblés individuellement dans l'armoire d'interface ou installés en groupe comme cartes de circuits imprimés embrochables dans des boîtiers. Les transducteurs de mesure sont alimentés à 48 V cc.

Pour la saisie des valeurs d'énergie (kWh), les dispositifs de transmission de comptage adéquats devront être installés comme partie intégrante des appareils de comptage dans les panneaux de contrôle du poste. Les impulsions de comptage ayant un rythme de 20/25 Hz sont également

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A9 – Evacuation de l’Energie – Postes Electriques

connectées aux réglettes de bornes, à partir desquelles la transmission au centre de conduite à travers les appareils de télésurveillance (RTU) est effectuée.

A9.11 GÉNIE CIVIL

A9.11.1 Généralités

A9.11.1.1 Travaux à réaliser

Les travaux de génie civil pour les nouveaux postes comprennent sans s’y limiter:

- les travaux de préparation, de développement et d’installation des sites (décapage, débroussaillage et abattage d’arbres);
- les travaux de terrassement, de nivellement préliminaire et final des sites;
- les travaux d’excavation pour la pose des câbles, etc.
- les différentes fondations des structures, transformateurs et bâtiments;
- la construction des bâtiments du poste (bâtiment de service, poste de sécurité et une maison d’habitation pour chaque poste);
- les travaux d’infrastructure tels que:
 - i. routes d’accès, aires de stationnement et de stockage;
 - ii. conduites et caniveaux;
 - iii. système d’alimentation en eau;
 - iv. système de drainage des eaux, d’égouttage et de traitement des eaux usées;
 - v. clôture, portails et portillons;
 - vi. protection incendie;
 - vii. installations sanitaires;
 - viii. ventilation et conditionnement de l’air;
 - ix. ameublement et l’équipement complet des bâtiments;
 - x. mur de sécurité (en option).

A9.11.1.2 Normes, Règlements, Standards

Les normes utilisées pour l’APD sont les Normes EN (Eurocodes) notamment :

- Eurocodes 1 – EN 1991 – Actions sur les structures
- Eurocode 7 - EN 1997-1 : Calcul géotechnique
- Eurocode 2 - EN 1992 -1 - Calcul des structures en béton
 - partie 1-1 – Règles générales et règles applicables aux bâtiments
 - partie 1-2 – Règles générales – calcul du comportement au feu

- Eurocode EN 1992 - 2 - Calcul des structure en béton – partie 3 – Silos et réservoirs
- Eurocode EN 1993 - Calcul des structure en acier

Les annexes nationales de références sont les annexes nationales françaises.

A9.11.1.3 Reconnaissance des sols

Les dimensions des structures telles qu’esquissées dans les documents devront être adaptées aux exigences du site et vérifiées lors des études d’exécution. Les types et dimensions des fondations et cuvelage sont déterminés en fonction des caractéristiques géotechniques issues de reconnaissances de sols à réaliser. L’Euronorme applicable aux essais des sols EN 1997-2. Les essais à réaliser seront ceux de type :

- série EN ISO 22476 mesure de portance et déformation de plateforme (notamment Essai à la plaque, Essai pressiométrique, ou similaire)
- mesure des paramètres mécaniques de sol C' et ϕ' (Essai de cisaillement direct, essai de compression triaxial, ou similaire)

Des recommandations claires pour toutes les fondations seront formulées, à partir des essais en laboratoire et des investigations in situ.

A9.11.2 Postes extérieurs

A9.11.2.1 Clôture Et Mur De Sécurité

Les clôtures entourent les postes ainsi que les bâtiments d’habitation. Elles sont prévues pour une charge du vent de rafale de maximum 3 secondes à 44 m/s. La hauteur totale de la clôture extérieure est de 2,50 m.

A9.11.2.2 Caniveaux Et Chemins De Câbles

Le nombre de caniveaux doit assurer une réserve de 25 %. Le dimensionnement des caniveaux devra tenir compte des installations des transformateurs, bobines de réactances et compensation capacitive. Les caniveaux sont fermés par des dalles en béton armé, munies d’un anneau de manutention tous les 10 mètres.

Chaque liaison MT des transformateurs de puissance au bâtiment des départs MT est disposée dans un caniveau séparé.

Tous les caniveaux auront une pente et seront drainés de façon à éviter toute accumulation de d’eau. Les parois verticales seront suffisamment hautes pour éviter les inondations par l’eau de ruissellement

provenant des surfaces environnantes.

A9.11.2.3 Approvisionnement en Eau

L'alimentation en eau potable est assurée par un puits de faible capacité réalisé en tubes galvanisés avec un diamètre minimum de 1 ½", équipé d'une pompe HP centrifuge dans l'aire du poste.

Un système souterrain de tuyauteries conduit l'eau à deux réservoirs de 2000 litres de capacité minimale placés sur le toit du bâtiment de contrôle et du bâtiment d'habitation.

Le puits a un débit minimum de 20 l/min. Chaque réservoir est pourvu d'une protection contre les rayons solaires directs, d'un niveau d'eau visible de l'extérieur et d'un dispositif automatique de contrôle de niveau.

Les tuyauteries et leurs accessoires résistent à une pression nominale de 10 bars.

A9.11.2.4 Fondations pour Transformateurs, Bobine De Réactance Et Séparateur D'huile

Les transformateurs seront placés sur un massif de béton, comprenant une fosse de réception d'huile.

Chaque transformateur et chaque bobine est équipés d'un collecteur de capacité suffisante pour absorber l'eau de. Cette est évacuée ainsi l'huile, en cas de dégât, vers un collecteur/séparateur localisé près des transformateurs. De ce séparateur d'huile, l'eau de surface séparée mécaniquement est évacuée par le système de drainage, tandis que l'huile est collectée et observée durant le fonctionnement du poste en vue d'être enlevée séparément.

A9.11.2.5 Fondations des portiques et des châssis

Les sollicitations de calcul sont

- moments de renversement;
- efforts tranchants;
- poids des structures.

Les charpentes sont fixées sur les massifs de fondation au moyen de tiges galvanisées scellées préalablement.

A9.11.2.6 Voies d'accès et de déplacement, stationnement, aires de stockage

Le chapitre 3 du rapport APD décrit les caractéristiques techniques des routes pour leur aspect général.

Les rails pour transformateurs ont leur crête au niveau de la surface du béton. Le rayon de courbure minimal est de 20 mètres.

A9.11.2.6.1 *Revêtement de la plate-forme*

Toute la surface des postes est revêtue d’une couche de 15 cm de gravillons non compactés.

A9.11.2.7 Système De Drainage

Ce système comprend tous les collecteurs, incluant les connections des tuyaux souterrains dans les fossés ouverts, les traversées de route et les exutoires pour évacuer les eaux usées et les eaux de pluies de l’aire des postes.

En vue de drainer les zones empierrées du poste, un drain en tuyaux perforés est enterré le long et autour de ces zones. Les tuyaux d’un diamètre varient de 150 à 300 mm en fonction de la surface drainée et ont une pente de 0,3 %.

L’eau de pluie collectée sur les bâtiments est déchargée dans ces fossés au moyen de gouttières et conduites horizontales appropriées.

Des chambres de visite avec couvercle sont prévues à tous les points d’interconnexion.

Les tuyaux de drainage en grès, béton ou PVC ont un minimum de 20 % d’ouverture superficielle par mètre linéaire. Ils sont placés sur un lit de sable de granulométrie adéquate ou de fin gravier dont l’épaisseur au point le plus bas du tuyau est de 10 cm augmenté de 1/10 du diamètre nominal du tuyau.

Les tuyaux sont ensuite enrobés de matériaux de drainage en pierres de granulométrie adéquate.

A9.11.2.8 Évacuation Des Eaux Usées

Les descentes verticales sont ventilées au-dessus de la toiture.

Les eaux usées en provenance des toilettes localisées dans le bâtiment de contrôle ou dans le logement d’exploitation sont déversées dans une fosse septique enterrée à l’extérieur des bâtiments.

La norme applicable pour la fosse septique est l’euronorme NF EN 12566-1/A1, « Petites installations de traitement des eaux usées, application, conception, étude, construction et fonctionnement, installation sans aération ou équivalente ».

L’installation est suffisante pour un total de 100 personnes (10 membres du personnel avec une famille de 10 personnes).

Pour éviter toute contamination du puits d’approvisionnement en eau, l’eau de la fosse septique est traitée avant son déversement dans le système de drainage.

A9.11.2.9 Éclairage Du Poste Extérieur

Un pupitre de commande permet de mettre en service tout ou partie de l’installation, à savoir:

- le balisage du poste extérieur;
- les circulations du poste extérieur;
- le poste proprement dit.

A9.11.2.10 Prises de courant du poste extérieur

Il est prévu pour les postes extérieurs un circuit de prises de courant triphasées, du type étanche avec protection incorporée.

A9.11.3 Bâtiments de services

A9.11.3.1 Bâtiments De Service

Un bâtiment de service est prévu pour chacun des nouveaux postes de Koukoutamba et Labé, à côté des installations en plein air. Chaque bâtiment comprend :

- une salle de contrôle;
- une salle de relayage/téléphone;
- des salles pour les services auxiliaires et cellules MT;
- des transformateurs de services auxiliaires;
- une salle des batteries d’accumulateurs;
- un bureau et magasin;
- une salle du personnel/les toilettes/douche/magasin;
- une salle technique/air conditionné.

A9.11.3.2 Poste De Garde

Une dalle de toiture avec bordure en cantilever, analogue à celle du bâtiment de contrôle, assure la

protection contre les radiations solaires directes.

Pour une bonne ventilation le bâtiment a les dimensions minimales suivantes:

- longueur du bâtiment : 3,25 m
- largeur du bâtiment : 2,75 m
- hauteur du bâtiment : 3,75 m

A9.11.3.3 Logements d’exploitation

Les logements d’exploitation pour le personnel des postes est prévu à proximité des postes. Leur emplacement définitif est défini avant la phase d’exécution.

Le logement d’exploitation type 1 comprend les pièces suivantes :

- salon;
- 3 chambres;
- corridor;
- 2 salles de bain avec douche/toilettes (la hauteur du plafond est surélevée d’un mètre au minimum);
- cuisine;
- terrasse.

Les dimensions extérieures sont de 13,5 m x 9,5 m.

Les studios (en option) comprennent les pièces suivantes :

- salon;
- chambre;
- salle de bain avec douche et toilettes;
- cuisine/corridor;
- toilette.

Les dimensions extérieures sont de 7,25 m x 10,0 m.

A9.11.3.4 Bâtiments

Les éléments principaux des structures sont constitués de portiques et dalles en béton armé qui transmettront les charges aux fondations.

Le bâtiment est convenablement isolé et étanché contre des dommages à tout équipement électrique.

La salle de contrôle disposera de rangées de fenêtres afin de permettre une vue d’ensemble du poste extérieur. Toutes les portes seront dimensionnées de façon à permettre le passage des équipements. Un palan est monté sur une poutre I fixée au plafond et permettra le levage des équipements jusqu’au premier étage.

Le porte-à-faux des rebords de toiture est supérieur à 1 m. L’accès à la toiture se fera par une échelle de service extérieure à installer sur la façade.

Dans l’ensemble de la construction, toutes les dalles de plancher et de toiture situées au-dessus des équipements électriques sont en béton armé et étanches à l’eau.

Les dimensions principales (longueur, largeur, hauteur) des bâtiments sont susceptibles d’être augmentées ou diminuées en fonction des équipements utilisés.

La finition du béton à l’intérieur des bâtiments sont les suivantes:

- Les surfaces planes du béton sont finies à l’aide d’un composé à résine synthétique pour dresser la surface. La surface est ensuite enduite d’une peinture à émulsion;
- Toutes les faces apparentes du béton sont recouvertes d’un enduit au ciment fini à la truelle d’acier puis peintes à l’aide d’une peinture à émulsion.

Les maçonneries sont également recouvertes intérieurement et extérieurement d’un enduit approprié et peintes avec une peinture à émulsion. Du côté intérieur des murs extérieurs, une isolation thermique est installée.

Les toitures sont isolées et recouvertes d’une couche de gravier. Les plafonds sont parachevés et recouverts d’une peinture à émulsion (peinture anti-acide dans la salle des batteries).

Les planchers sont revêtus de la manière suivante:

- chape en mortier de ciment renforcé par un treillis métallique, étanche, recouverte d’une peinture anti-poussière à base de résine époxy dans toutes les salles techniques, magasin et atelier, poste moyenne tension;
- carrelage mosaïque dans la salle de relayage, transmission et téléphonie;
- carrelage résistant aux acides dans la salle des batteries;
- carrelage mosaïque ou PVC ou terrazo ou équivalent dans les corridors, salle de contrôle, bureau, salle du personnel;

- carrelage céramique dans les salles sanitaires et la cantine.

Les murs intérieurs sont peints à l’aide d’une peinture à émulsion après mise en œuvre d’un mortier de ciment ou plâtrage. Un carrelage en céramique résistante aux acides est prévu pour la salle des batteries.

Toutes les portes sont de type métallique à double paroi et capables de résister au feu durant 90 minutes.

Les fenêtres sont à cadre métallique à double vitrage teinté réfléchissant les rayonnements solaires.

La salle de batterie est équipée d’un dispositif de douche pour les yeux, d’un lavabo, d’une alimentation séparée en eau, le tout connecté au système de distribution d’eau.

Pour la collecte des eaux de pluie, les bâtiments sont équipés de chenaux, gouttières et descentes d’eau. Les descentes d’eau, ainsi que les eaux usées collectées de la salle des batteries et autres installations sanitaires sont déversées dans le système de drainage.

Les entrées de câbles dans les bâtiments sont scellées pour éviter la propagation des fumées à l’aide de produit « Flammadur » ou similaire.

Dans la salle des batteries, un ventilateur extracteur est installé.

Toutes les parties souterraines en béton sont protégées efficacement contre l’humidité du sol.

Toutes les pièces d’acier encastrées dans le béton, autres que les armatures, sont galvanisées à chaud.

Lors de la conception des bâtiments et des structures, les mesures de prévention et de protection contre l’incendie seront prises en compte.

La structure principale des bâtiments est en béton armé avec maçonnerie en briques ou blocs de béton vibrés. Les planchers et toitures sont également en béton armé.

A9.11.3.4.1 *Hypothèses de charge*

- Toutes les structures seront conçues pour résister à un séisme maximal de dimensionnement de 0.10g.
- Les charges statiques sont déterminées à selon l’Euronorme NF EN 1991 – Actions sur les structures – parties 1 à 7 - Actions générales.

- Pour les charges d’exploitation les locaux sont considérés comme étant de catégorie E (Aires de stockage et bâtiment industriels).
- Pour les charges d’exploitation des aires de circulations, ceux-ci sont considérés comme étant de catégorie G (Aires de de circulation avec PTAC compris entre 30KN et 160KN), avec une charge uniformément répartie de 2.5KN/m² et une charge ponctuelle de 90KN.
- Les toitures sont considérés comme étant de catégorie H (inaccessibles sauf pour entretiens courants et travaux de réparation), avec une charge uniformément répartie de 1KN/m² et une charge ponctuelle de 1.5KN.
- Les garde-corps reçoivent une charge horizontale en-tête de 1KN/ml.

A9.11.3.5 Menuiserie Métallique

Les différents éléments métalliques sont les suivants:

- garde-corps, mains-courantes en tuyauterie;
- balustrades;
- manchons, embouts, emboîtements pour tuyauterie;
- échelles métalliques;
- escaliers;
- tôles striées/larmées;
- caillebotis;
- cadres pour pénétrations dans les structures;
- plates-formes;
- marche-pieds.

A9.11.3.6 Performance thermique

Les murs et cloisons extérieurs ont coefficient maximum de transmission de chaleur de 0,75 W/m² °C.

Toutes les toitures ont un indice d’absorption phonique de 20 dB(A) et un coefficient de transmission thermique maximum de 0,57 W/m² °C.

A9.11.3.7 Portes métalliques

Les portes métalliques F90, dans les salles techniques, seront fabriquées en tôle d’acier épaisseur minimale de 3 mm avec renforcement.

A9.11.3.8 Conditionnement d’air

Chaque appareil d’air conditionné et de ventilation est une unité autonome fiable de manière fonctionnelle et adaptée à chaque salle.

Pour la réfrigération, des groupes compresseurs frigorifiques à refroidissement par air sont utilisés dans tous les cas et comprennent toute la tuyauterie et les accessoires entre les compresseurs et les unités de ventilation.

Les groupes compresseurs frigorifiques sont placés sur la toiture du bâtiment de contrôle et sont protégés efficacement contre les intempéries. Une fondation commune est prévue pour les équipements de réfrigération.

La puissance des climatiseurs est prévue pour une température maximale de 21 °C en saison chaude et couplage MT.

A9.11.3.8.1 Conditionnement d’air

Les salles suivantes sont conditionnées :

- salle de contrôle
- bureau
- salle du personnel
- salle de relayage
- salle de téléphonie

A9.11.3.8.2 Ventilation

La ventilation est prévue dans les salles suivantes :

- cave à câbles;
- salle de batteries;
- salle des auxiliaires CA/CC;

- magasin/atelier.

A9.11.3.9 Equipements

A9.11.3.9.1 Salles de contrôle, relayage et téléphonie

Les salles sont équipées d’un conditionnement d’air centralisé. L’air est filtré en trois étapes (la dernière étant une filtration fine), réfrigéré/réchauffé avec contrôle total de la déshumidification.

Une unité à deux circuits indépendants, chacun assurant 65 % de la capacité totale est prévue. La température est contrôlée par des thermostats installés dans la salle de contrôle. L’air est distribué par des gaines en acier galvanisé à chaud, isolées et étanches à la vapeur pour éviter la formation de condensats. L’air est délivré dans la salle par des diffuseurs et renvoyé à l’unité de conditionnement via des grilles de retour.

Un extracteur de fumées est prévu séparément. Il s’enclenchera automatiquement en cas d’incendie.

A9.11.3.9.2 Bureau et salle de personnel

Le bureau est conditionné par un ensemble type « split unit » et la salle du personnel par un climatiseur type « compact ». Les deux types sont installables en fenêtres, murs ou sous plafond. Ils assurent une fonction de réfrigération et/ou chauffage à l’aide d’un bouton de sélection.

A9.11.3.9.3 Cave des câbles, magasin, salle des auxiliaires

Les salles sont ventilées par des ventilateurs munis de filtres. La circulation d’air se fera par ventilateurs extracteurs à flux axial résistants à la chaleur via des gaines en acier galvanisé à chaud et grilles de retour.

A9.11.3.9.4 Toilette/cuisinette

Un extracteur d’air séparé est prévu sur le mur extérieur. L’entrée d’air se fera par une ouverture grillagée à partir du corridor.

A9.11.3.9.5 Salle des batteries

La salle des batteries est ventilée par un extracteur d’air à moteur anti-explosion. L’entrée d’air se fera via une ouverture grillagée à partir du corridor.

A9.11.3.9.6 *Salle technique*

La ventilation est assurée par un ventilateur extracteur mural, l’air provenant du corridor via une ouverture grillagée.

A9.11.3.9.7 *Corridors*

Afin de ventiler et de fournir l’air aux toilettes, à la salle de batterie et à la salle technique, les corridors sont équipés de ventelles montées sur mur ou sur porte dans un encadrement en acier galvanisé à chaud. Les lamelles sont de type à empêcher la pénétration d’eau de pluie et d’insectes et sont équipées d’un dispositif anti-oiseau sous forme de treillis en acier galvanisé.

A9.11.3.9.8 *Maisons d’habitation et postes de garde*

Les chambres et les salons des logements sont prévus avec des systèmes de conditionnement d’air et de ventilation du type « Window Unit ».

A9.11.3.9.9 *Détecteurs de fumées*

Des détecteurs de fumées sont prévus dans les gaines de retour d’air et mettront à l’arrêt les installations de conditionnement d’air et de ventilation en cas d’incendie.

A9.11.3.9.10 *Système de contrôle*

Le conditionnement d’air et de ventilation dans les salles de relayage et de téléphonie, cave à câbles, salle des auxiliaires, salle MT et magasin sont contrôlées par thermostat dans ces salles.

La ventilation dans la salle des batteries est continue. Dans les toilettes, un système de détection de présence mettra la ventilation en service.

A9.11.3.10 *Protection Contre L’incendie*

A9.11.3.10.1 *Exigences techniques*

Les équipements extincteurs, mobiles et portables offriront la possibilité d’être mis en fonction, immédiatement en toutes situations et types d’incendie.

Les extincteurs CO2 seront équipées avec min. 20 kg de CO2 et installés sur une charette manuelle avec des roues avec revêtement de caoutchouc. Localisation:

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A9 – Evacuation de l’Energie – Postes Electriques

- 2 dans les salles de contrôle;
- 1 dans les sales CA/CC et batteries;
- 1 dans la salle des relayages;
- 1 dans les salles techniques, magasins, corridors;
- 1 dans la salle MT.

A9.12 CHARPENTES ET CHÂSSIS SUPPORTS

A9.12.1 Généralités

Les charpentes et châssis supports des postes 225 kV sont des structures métalliques permettant une préfabrication complète en usine. Les charpentes sont de type échelle.

Les charges de calcul des portiques sont les suivantes:

- 1000 daN pour les conducteurs de phase,
- 500 daN pour les câbles de garde.

A9.12.2 Données de conception et de calcul

A9.12.2.1 *Hypothèses De Calcul Des Tensions Et Flèches Des Câbles*

La force du vent sur les câbles sera déterminée en appliquant à la pression dynamique un coefficient de pression dynamique c fonction du diamètre du câble Φ , tel que précisé ci-dessous.

$\phi \leq 12,5mm$	$c = 1,2$
$12,5mm \leq \phi \leq 15,8mm$	$c = 1,1$
$\phi > 15,8mm$	$c = 1,0$

La force due au vent sur les conducteurs sera calculée en supposant qu’il agit perpendiculairement à la surface qu’il atteint.

A9.13 MISE À LA TERRE, PROTECTION CONTRE LA Foudre ET ÉCLAIRAGE

A9.13.1 Généralités

Les réseaux de terre et de protection contre la foudre comprennent les éléments suivants :

- le réseau de terre enterré (réseau de base),
- les diverses boucles de terre intérieures et extérieures,
- les systèmes de limitation du gradient de potentiel,
- le système de protection contre la foudre (filet de garde et paratonnerre),
- les électrodes de terre.

A9.13.2 Recommandations et Normes

Les principales normes considérées sont:

- la norme française UTE C11-001, C15-106;
- la recommandation CEI 60364.

Les calculs du réseau de terre sont effectués selon la méthode préconisée dans ANSI Standard 80 2000 (IEEE guide for safety in AC substation grounding).

A9.13.3 Mise à la terre

A9.13.3.1 *Mesure de la résistivité du sol*

Toutes les parties conductrices du poste, en particulier les pièces de charpentes métalliques, éléments métalliques des parties structurelles et de leur fondations, les panneaux, les armoires, les parafoudres, la borne secondaire des transformateurs de courant et des transformateurs de tension, les bornes de neutre des transformateurs de puissance, les voies ferrées, la clôture et les portails, les conduites d’eau, les chemins des câbles, tous les équipements divers, etc. sont connectées avec le réseau de mise à la terre des postes.

Le réseau de terre de base du poste extérieur est constitué d’un réseau maillé avec un pas maximum de 10 m entre les mailles, réparti uniformément sur toute la surface du poste. Les mailles seront plus serrées au voisinage des équipements HT, afin de réduire la tension de pas à une valeur inoffensive pour une personne de 50kg pendant le passage du courant de court-circuit maximum à la terre. Le conducteur torsadé est en cuivre de 120 mm².

Le raccordement aux boucles extérieures et intérieures est effectué à des intervalles de 20 m au maximum.

A9.13.3.1.1 *Électrodes de terres*

Des électrodes additionnelles longues de 3 m au minimum et raccordées au réseau maillé, sont localisées aux endroits suivants:

- point neutre des enroulements HT des transformateurs et des bobines de réactances,
- résistances de mise à la terre des réseaux MT,
- parafoudres,
- couteaux de terre des sectionneurs HT,
- mise à la terre des diviseurs capacitifs et dispositifs de couplage des équipements à courants porteurs sur ligne.

A9.13.3.1.2 *Calcul du réseau*

Des mesures de résistivité du sol seront faites à l’emplacement du poste. Le réseau de terre sera dimensionné pour les courants de défauts.

La résistance de terre ne pourra pas dépasser une valeur de un (1) ohm en tout endroit du réseau et en saison sèche.

A9.13.4 Dispositions particulières aux différents équipements

A9.13.4.1 *Masse Des Transformateurs De Puissance*

Pour assurer le fonctionnement correct de la protection cuve des transformateurs de puissance et une mise à la terre efficace des écrans des câbles basse tension, les dispositions suivantes sont prises pour le raccordement au réseau général de terre:

- la cuve étant isolée des galets et des rails, ceux-ci sont reliés directement au circuit de terre,

- la prise de terre des transformateurs est reliée au plus près du circuit général de terre (longueur de connexion inférieure à 5 m), cette connexion est faite au travers du transformateur de courant masse cuve,
- les armoires du régulateur seront reliées au circuit de terre séparément.

La connexion venant de la borne du neutre du transformateur, soit directement, soit par l’intermédiaire d’une impédance, est isolée par rapport aux masses.

A9.13.4.2 Disjoncteurs

Leur mise à la terre est faite par l’intermédiaire du châssis.

A9.13.4.3 Parafoudres

La connexion venant de la borne d’un parafoudre est isolée par rapport aux masses.

A9.13.4.4 Réactances Shunt

Les dispositions de mise à la terre des réactances shunt sont comme celles adoptées pour les transformateurs de puissance.

A9.13.4.5 Couplage Électromagnétique

En vue de diminuer le couplage électromagnétique entre les câbles Basse Tension (BT) et le matériel Haute Tension (HT), les câbles BT sont protégés par une gaine métallique mise à la terre aux deux extrémités du câble.

A9.13.5 Protection contre la foudre

La protection du poste contre les coups directs de la foudre est assurée par un filet de garde constitué par un ensemble de conducteurs couvrant la surface des installations à une hauteur et avec des dispositions telles que tous les matériels se trouvent dans la zone de protection.

Les conducteurs constituant le filet de garde sont du même type que le câble de garde de la ligne de 225 kV.

Les câbles de garde des lignes aériennes arrivant au poste sont également raccordés au filet de garde et aux portiques dans les travées correspondantes.

Des paratonnerres sont montés sur les supports du câble de garde et les bâtiments de service.

A9.13.6 Installation d'éclairage et petite force motrice

A9.13.6.1 Généralités

Le tableau divisionnaire d'éclairage 3 x 400 V + PEN comporte deux sections E (Essentielle) et NE (Non essentielle) alimentées chacune par la section correspondante du TGBT. La section E est équipée d'un relais à minimum de tension avec au moins 4 contacts normalement fermés NF.

Des départs 125 Vcc, indépendants, protégés par un disjoncteur magnétothermique bipolaire de 6 A, alimentent via 2 contacts NF du relais à minimum de tension un circuit de balisage de sécurité.

La section E alimente les circuits d'éclairage de base.

La section E alimente également toutes les prises de courant des salles de commande et contrôle et du poste HT extérieur et 25 % des autres prises de courant, ainsi que les blocs d'éclairage de secours autonomes.

Les blocs d'éclairage de secours avec batteries incorporées seront installés:

- à l'intérieur de la salle de commande et de contrôle, magasins et toilettes, au-dessus des portes,
- au-dessus des paliers,
- dans le corridor;
- au-dessus des tableaux basse tension,
- au-dessus des tableaux de contrôle,
- au-dessus des tableaux de distribution 125 Vcc et 48 Vcc.

Les lampes de 40 W, dont l'allumage est commandé par les relais à minimum de tension de la section E du tableau divisionnaire d'éclairage, seront installées comme balise de sécurité au-dessus des portes d'accès au niveau correspondant, ainsi que dans le poste au-dessus des cellules. Ceux de ces luminaires placés au-dessus des portes porteront le symbole translucide vert et blanc de l'issue de secours (personne s'enfuyant).

Les prises de courant triphasées de 63 A sont alimentées par des départs du TGBT.

A9.13.6.2 Niveaux d'éclairage moyen, normaux

Les installations d'éclairage sont conçues pour obtenir les niveaux d'éclairage suivants (à l'intérieur sur un plan horizontal à 80 cm au-dessus du sol, et à l'extérieur au niveau du sol) après 2000 h de fonctionnement et avec des revêtements sales ou défraîchis.

- 500 lux dans la salle de commande/contrôle;
- 300 lux dans les bureaux et autres locaux;
- 150 lux dans l'aire de montage, les locaux pour batteries et sanitaires, ainsi que le poste MT;
- 60 lux dans les corridors, couloirs et galeries;
- 20 lux pour le poste HT extérieur;
- 16 lux en moyenne pour les abords et plate-forme (l'éclairage minimum en un point est au moins égal au tiers de l'éclairage moyen et au sixième de l'éclairage maximal ponctuel);
- 4 lux comme éclairage moyen jusqu'à 5 m autour du bâtiment (l'éclairage minimum en un point est au moins égal au quart de l'éclairage moyen et au huitième de l'éclairage maximal ponctuel).

A9.13.6.3 Appareils D'éclairage

A9.13.6.3.1 Appareils d'éclairage intérieur normal

Tous les luminaires seront conçus et installés pour empêcher l'accumulation de cadavres d'insectes à l'intérieur des appareils et sur les réflecteurs.

A9.13.6.3.2 Locaux de faible hauteur

- Tous les appareils seront équipés de 2 tubes fluorescents avec starter et ballast du type compensé (facteur de puissance 0,9 environ) à faibles pertes et seront tropicalisés.
- Dans le bureau et la salle de commande et de tableaux, les appareils seront munis d'un réflecteur et d'un diffuseur, et auront une classe de protection IP 44 au moins.
- Dans les autres locaux, les appareils seront munis d'un réflecteur et auront une herméticité IF 54 au moins.
- Dans le local des batteries, les appareils d'éclairage seront de plus du type Eexe II (à

sécurité augmentée) et seront munis de presse-étoupe de même catégorie.

A9.13.6.3.3 *Appareils d'éclairage extérieur normal*

Pour le poste HT extérieur, on utilisera des armatures d'éclairage fixées à des consoles. Ce seront des appareils à lampe à vapeur de sodium à haute pression de 250 W. Les distances d'isolement prescrites entre les parties HT et BT devront être strictement respectées. Le remplacement des lampes devra être possible sans interruption des installations en fonctionnement. Les auxiliaires et la filerie seront tropicalisés et montés dans l'appareil dont l'herméticité est IP 65.

Pour l'éclairage des pistes et des routes, les appareils seront montés sur des poteaux tubulaires, à 6 m au-dessus du niveau du sol.

Tous les appareils seront compensés (facteur de puissance: 0,9). Un coffret IP 65 contenant les bornes nécessaires au raccordement des 2 câbles d'alimentation (liaison de boîtier à boîtier, à 2 ou 3 conducteurs actifs et 1 conducteur PE) et au raccordement des 3 conducteurs partant vers l'appareil d'éclairage, ainsi qu'un coupe-circuit avec fusible est installé à 1 m au-dessus du sol sur le poteau ou dans un logement du poteau prévu à cette fin.

A9.13.6.3.4 *Éclairage de secours*

Des blocs d'éclairage de secours avec batteries incorporées sont répartis dans tout le bâtiment. L'autonomie des blocs d'éclairage de secours est d'au moins 1 heure. La recharge du bloc se fera automatiquement quand la tension réapparaîtra.

A9.13.6.3.5 *Appareils d'éclairage de balisage de sécurité*

Cet éclairage est assuré par des armatures murales (hublot), herméticité IP 65, équipées de lampes à incandescence de 40 W. Ces luminaires porteront le symbole translucide vert et blanc de l'issue de secours (personne s'enfuyant) quand ils seront placés au-dessus des portes.

A9.13.6.4 Prises De Courant

A9.13.6.4.1 *Prises de 63 A triphasées*

Ces prises sont du type 400 V à 5 broches (3 phases + N + PE) avec interrupteur tripolaire incorporé et auront un degré de protection IP 54 au moins.

Elles sont installées aux endroits suivants (à 40 cm au-dessus du sol) :

- une près de chaque transformateur/réactance/bobine à bain d'huile;

- une dans chaque travée HT;
- deux dans l'aire de montage;
- deux dans les postes MT.

A9.13.6.4.2 *Prises de 16 A triphasées*

Ces prises sont du type 400 V à 5 broches (3 phases + N + PE), classe de protection IP 54 au moins. Elles sont installées dans la salle de contrôle et la salle de services auxiliaires pour l'alimentation éventuelle de radiateurs ou de climatiseurs indépendants.

Les enveloppes sont en polyéthylène (PE).

A9.13.6.4.3 *Prises de courant bipolaires*

Toutes les prises bipolaires sont du type 230 V, 2 pôles + PE, 10 A et sont:

- du type domestique encastré dans le bureau, la salle de contrôle et les locaux sociaux;
- du type industriel dans les autres locaux, avec un degré de protection à l'intérieur d'au moins IP 54 et IP 65 à l'extérieur.

Les enveloppes sont en polyéthylène. Ces prises sont réparties comme suit:

- 3 prises au moins par local;
- 1 prise près de chaque extrémité d'un tableau BT, MT ou HT et 1 près de chaque transformateur/réactance/bobine à bain d'huile.

Chaque circuit alimentera au maximum 8 prises.

A9.13.6.5 *Interrupteurs*

Les circuits d'éclairage des bureaux et petits locaux sont équipés d'interrupteurs locaux placés près des portes, à l'intérieur. Les autres circuits sont commandés depuis des interrupteurs placés près des tableaux divisionnaires d'éclairage.

A9.14 ANNEXE B – FICHES TECHNIQUES

Tableau A9. 6 - FICHE TECHNIQUE N°1 - Transformateurs de puissance 225kV/30kV

DESCRIPTION		Valeur spécifiée
1	Fabricant	
2	Pays d’origine de la construction	
3	Normes applicables	CEI 60076
	Transformateur Pour l’huile	CEI 60296
4	Rapport de transformation assigné	225 : 30 kV
5	Tensions nominales assignées	
	Enroulement 1	225 kV
	Enroulement 2 Enroulement 3	30 kV Max 10 kV
6	Tensions assignées les plus élevées	
	Traversée primaire Traversée secondaire	245 kV 36 kV
7	Puissance	16 MVA
8	Raccordement des enroulements (2 enroulements)	YNd1
9	Type de refroidissement	ONAN/ONAF
	Démarrage séquentiel des ventilateurs Nombre de ventilateurs	
10	Niveau de bruit à une distance de 2m (tous les ventilateurs en service)	Max. 75 dB(A)
11	Température ambiante maximale	45 °C
12	Échauffement	
	Huile supérieure	55°C
	Enroulements Enroulement	60°C 68°C
13	Phase et fréquence	3 PH 50 Hz
14	Tension primaire	225 kV
15	Tension secondaire	30 kV
16	Matériel des enroulements	Cuivre
17	Impédance de court-circuit	<=10 %
18	Tension de tenue aux chocs de foudre	
	Enroulement primaire 225 kV	950 kV _{crête}
	Enroulement secondaire 30 kV Traversée primaire	170 kV _{crête} 1050 kV _{crête}
19	Tension de tenue à la fréquence industrielle	
	Enroulement primaire 225 kV Enroulement secondaire 30 kV	395 kV _{eff} 70 kV _{eff}
20	Charge max. du neutre	100%
21	Tension à vide	110%
22	Induction nominale à la tension et fréquence assignée	Max. 1.7 tesla
23	Surexcitation et sous excitation dans la limite des échauffements	10%
24	Installation	extérieure
25	Altitude d’installation	< 1000m au poste de Koukoutamba

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A9 – Evacuation de l’Energie – Postes Electriques

		>1000m au poste de Labé
26	Type de noyau	Colonne
27	Type de cuve	Couvercle boulonné
28	Changeur de prises en charge	± 15 %
	Nombre de prises	15
	Tension à la prise principale	225 kV
29	Pertes	kW
	Pertes à vide	Max. 0,2%
	Courant à vide	Max. 1,12 W/kg à 1,00 T
	Pertes dues à la charge	kW
30	Type d’isolement	Gradué
	Enroulement 1	Uniforme
	Enroulement 2	Uniforme
	Enroulement 3	Uniforme
31	Isolement du neutre du secondaire	Oui
	Mise à la terre du neutre	17,5kV
	Niveau de tension assignée	38 kV
	Tension de tenue à fréquence industrielle	95 kV
32	Tenue contre les chocs de foudre	
	Ligne de fuites minimales des traversées	
32	Primaire (phases/neutre)	6 125/440 mm
	Secondaire (phase/neutre)	900/900 mm
33	Poids	
	Poids total en ordre de marche	kg
	Poids de transport	kg
	Poids de décufrage	kg
	Poids de l’huile	kg
	Dimensions hors tout	
	Hauteur	mm
	Largeur	mm
	Longueur	mm
	Dimensions de transport	
	Hauteur	mm
	Largeur	mm
	Longueur	mm
	Hauteur de décufrage	mm
34	Plans et description à joindre en annexe	
	Plan d’encombrement	
	Diagramme de connexion	
	Liste détaillée des accessoires	
	Conditions de transport	
	Instruction d’opération	
35	Description générale	
	Changeur de prise en charge	
	Constructeur	
	Type	
	Courant assigné	60 A

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A9 – Evacuation de l'Energie – Postes Electriques

	Courant de tenue au court-circuit Tension de tenue au choc de foudre Tension de tenue à fréquence industrielle Courant de courte durée 3sec valeur.max Commande à moteur Type tension d'alimentation	A eff 350 kV crête 140 kV eff 6 kA 15 kA
36	Essais de type (10.1.2 de CEI 60076-1)	À joindre avec l'offre
37	Essais individuels (10.1.1 de CEI 60076-1)	oui
38	Essais spéciaux (selon cahier 4)	oui

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A9 – Evacuation de l’Energie – Postes Electriques

Tableau A9. 7 - FICHE TECHNIQUE N° 2 - Sectionneurs 225 kV à ouverture latérale ou semi-pantographe

DESCRIPTION		Valeur spécifiée
1	Fabricant	
2	Tension assignée	245 kV
3	Type	Tripolaire
4	Normes applicables	CEI 62271-102 CEI 60694
5	Courant nominal	2 000 A
6	Durée de court-circuit assignée	1 sec
7	Courant de courte durée assigné	40 kA _{eff}
8	Valeur de crête du courant admissible assigné	100 kA crête
9	Fréquence assignée	50 Hz
10	Tension de tenue aux chocs de foudre À la terre et entre pôles Sur la distance de sectionnement	1 050 kV _{crête} 1 210 kV _{crête}
11	Tension de tenue à la fréquence industrielle À la terre et entre pôles Sur la distance de sectionnement	460 kV _{eff} 530 kV _{eff}
12	Ligne de fuites minimales Distances d'air minimales	6 125 mm 2 100 mm
13	Efforts mécaniques assignés sur les bornes Effort vertical Effort longitudinal Effort transversal	110 daN 85 daN 40 daN
14	Alimentation courant continu	125 V.c.c.
15	Essais de type	Jointés à l'offre
16	Essais individuels de la série cf. CEI-62271-102	oui

Tableau A9. 8 - FICHE TECHNIQUE N° 3 - Disjoncteurs de lignes 225 kV unipolaires

DESCRIPTION		Valeur spécifiée
1	Fabricant	
2	Utilisation	Unipolaire
3	Type	Isolé au SF ₆ , à cuve sous tension
4	Installation	Extérieur
5	Normes applicables	CEI 62271-100 CEI 60694
6	Tension assignée	245 kV
7	Courant assigné en service continu	3 150 A
8	Courant de courte durée admissible (1s)	40 kA eff
9	Valeur de crête du courant admissible assigné	100 kA
10	Fréquence	50 Hz
11	Tension de tenue aux chocs de foudre (kV crête)	1 050 kV
12	Tension de tenue à fréquence industrielle (1 min. à sec)	460kV
13	Séquence de manœuvre assignée	O-0,3s-FO-1min.-FO
14	Pouvoir de coupure assignée en court - circuit (sym.)	100 kA
15	Pouvoir de coupure assignée en court - circuit (asym.)	kA
16	Pouvoir de fermeture assigné en court - circuit	kA
17	Pouvoir de coupure des lignes à vide	A
18	Durée de coupure assignée	40 ms
19	Durée maximale de fermeture	100 ms
20	Valeur de crête de la TTR	364 kV _{crête}
21	Pouvoir de coupure assigné de batterie unique des condensateurs	400 kV _{crête}
22	Facteur de premier pôle	1,3
23	Ligne de fuites minimales Distances d’air minimales	6 125 mm 2 100 mm
24	Nombre de cycle d’opérations minimal	2 000
25	Efforts mécaniques assignés sur les bornes Effort vertical Effort longitudinal Effort transversal	125 daN 125 daN 100 daN
26	Tension d’alimentation des dispositifs et circuits auxiliaires Bobines de déclenchement et enclenchement Circuit de chauffage Moteurs de réarmement	125 V _{cc} 230 V _{ca} 125 V _{cc}
27	Essais de type CEI 62271-100 – tableau 7	Jointés à l’offre
28	Essais Individuels CEI 62271-100 – 7.1, 7.3 et 7.101 CEI 62271-101	oui

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A9 – Evacuation de l’Energie – Postes Electriques

Tableau A9. 9 - FICHE TECHNIQUE N° 4 - Disjoncteurs d’usage général tripolaires

DESCRIPTION		Valeur spécifiée
1	Fabricant	
2	Utilisation	Tripolaire
3	Type	Isolé au SF ₆ , à cuve sous tension
4	Installation	Extérieur
5	Normes applicables	CEI 62271-100 CEI 60694
6	Tension assignée	245 kV
7	Courant assigné en service continu	3 150A
8	Courant de courte durée admissible (1s)	40 kA
9	Valeur de crête du courant admissible assigné	100 kA
10	Fréquence	50 Hz
11	Tension de tenue aux chocs de foudre (kV crête)	1 050 kV
12	Tension de tenue à fréquence industrielle (1 min. à sec) kV	460 kV
13	Séquence de manœuvre assignée	O-3min.FO-3min.-FO
14	Pouvoir de coupure assignée en court-circuit (sym.)	100 kA
15	Pouvoir de coupure assignée en court-circuit (asym.)	kA
16	Pouvoir de fermeture assigné en court-circuit	kA
17	Pouvoir de coupure des lignes à vide	A
18	Durée de coupure assignée	40 ms
19	Durée maximale de fermeture	100 ms
20	Valeur de crête de la TTR	364 kV crête
21	Pouvoir de coupure assigné de batterie unique des condensateurs	400 kV crête
22	Facteur de premier pôle	1.3
23	Ligne de fuites minimales Distances d’air minimales	6 125 mm 2 100 mm
24	Nombre de cycle d’opérations minimal	2 000
25	Efforts mécaniques assignés sur les bornes Effort vertical Effort longitudinal Effort transversal	125 daN 125 daN 100 daN
26	Tension d’alimentation des dispositifs et circuits auxiliaires Bobines de déclenchement et enclenchement Circuit de chauffage Moteurs de réarmement	125 V _{cc} 230 V _{ca} 125 V _{cc}
27	Essais de type CEI 62271-100 – tableau 7	Jointés à l’offre
28	Essais Individuels CEI 62271-100 – 7.1, 7.3 et 7.101 CEI 62271-101	oui

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A9 – Evacuation de l’Energie – Postes Electriques

Tableau A9. 10- FICHE TECHNIQUE N° 5 - Transformateurs de courant 225 kV

DESCRIPTION		Valeur spécifiée
1	Fabricant	
2	Type	
3	Normes applicables	CEI 60044-1
4	Tension la plus élevée pour l'équipement	245 kV
5	Tension de tenue à la fréquence industrielle	460 kV eff
6	Tension de tenue aux chocs de foudre	1 050 kV crête
7	Courant de court-circuit thermique assigné	40 kA eff
8	Courant dynamique assigné	100 kA crête
9	Nombre d'enroulements primaires	1
10	Nombre d'enroulements secondaires	
	Travée ligne monoterne	4
	Travée ligne biterne	3
	Travée d'inductance shunt 25 MVar	3
11	Rapport de transformation :	
	Travée ligne monoterne	800/400 :1/1/1/1
	Travée ligne biterne	500 : 1/1/1
	Travée d'inductance shunt 25 MVar	100/50 :1/1/1
12	Travée de transformateur 20 MVA	100/50 :1/1/1
	Puissance de précision	
13	Mesure	30 VA
	Protection	30 VA
14	Classe de précision	
	Mesure	0,2/0,5
15	Protection	5P20
	Ligne de fuites minimales	6 125 mm
16	Distance air minimal	2 100 mm
	Essais de type CEI 60044-1	Jointes à l'offre
	Essais individuels CEI 60044-1	oui

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A9 – Evacuation de l’Energie – Postes Electriques

Tableau A9. 11 - FICHE TECHNIQUE N° 6 - Transformateurs de tension 225 kV

DESCRIPTION		Valeur spécifiée
1	Fabricant	
2	Type	classique
3	Normes applicables	CEI 60044-2
4	Tension la plus élevée pour l'équipement	245 kV
5	Tension de tenue à la fréquence industrielle	460 kV _{eff}
6	Tension de tenue aux chocs de foudre	1 050 kV _{crête}
7	Courant de court-circuit thermique assigné	40 kA _{eff}
8	Valeur de tension assignée : Tension primaire Tension secondaire	225/ $\sqrt{3}$ kV 110/ $\sqrt{3}$ V
9	Puissance de précision Mesure Protection	200 VA 100 VA
10	Classe de précision Mesure Protection	0,2/0,5 3P
11	Situation du neutre du réseau	Neutre effectivement à la terre
12	Nombre de noyaux primaires	1
13	Nombre de noyaux secondaires	2
14	Ligne de fuites minimales Distance air minimal	6 125 mm 2 100 mm
15	Essais de type CEI 60044-2	Joints à l'offre
16	Essais individuels CEI 60044-2	oui

Tableau A9. 12 - FICHE TECHNIQUE N° 7 - Transformateurs de tension capacitif 225 kV

1	Fabricant	
2	Type	capacitif
3	Normes applicables	CEI 60044-5
4	Tension la plus élevée pour l'équipement	245 kV
5	Tension de tenue à la fréquence industrielle	460 kV _{eff}
6	Tension de tenue aux chocs de foudre	1050 kV _{crête}
7	Courant de court-circuit thermique assigné	40 kA _{eff}
8	Valeur de tension assignée :	
	Tension primaire	225/√3 kV
	Tension secondaire	110/√3 V
9	Puissance de précision	
	Mesure	200 VA
	Protection	100 VA
10	Classe de précision	
	Mesure	0,2/0,5
	Protection	3P
11	Situation du neutre du réseau	Neutre effectivement à la terre
12	Nombre de noyaux primaires	1
13	Nombre de noyaux secondaires	2
14	Ligne de fuites minimales	6 125 mm
	Distance air minimale	2 100 mm
15	Essais de type CEI 60044-2	Joints à l'offre
16	Essais individuels CEI 60044-2	oui

Tableau A9. 13 - FICHE TECHNIQUE N° 8 - Parafoudres 225 kV

DESCRIPTION		Valeur spécifiée
1	Fabricant	
2	Type	Oxyde de zinc sans éclateur (ZnO) avec compteur de décharge unipolaire
3	Normes applicables	CEI 60099-4
4	Tension assignée (U_t)	192 kV
5	Tension de régime permanent (U_c)	156 kV
6	Courant nominal de décharge	10 kA
7	Courant maximal de décharge	100 kA
8	Ligne de fuite	3 920 mm
9	Temps de décharge de ligne de longue durée	3 sec.
10	Tension de tenue aux chocs de foudre	950 kV
11	Tension de tenue à fréquence industrielle (1min.)	395 kV
12	Tenue aux chocs de courant de longue durée 2000 μ s	1 000 A
13	Tensions résiduelles maximales	
	Pour une onde de courant à front raide à 10 kA (1 μ s)	650 kV _{crête}
	Pour une onde de courant de foudre à 10 kA (8/20 μ s)	470 kV _{crête}
	Pour une onde de courant de choc de manœuvre à 1 kA (30 μ s)	410 kV _{crête}
14	Régime de neutre du réseau	Neutre effectivement à la terre
15	Montage	Vertical
16	Capacité d'absorption d'énergie	8 kJ/kV
17	Essais de type (sect. 7 – CEI 60099-4)	oui
18	Essais individuels (sect. 8.1 - CEI 60099-4)	oui
19	Essais de réception (sect. 8.2.1 - CEI 60099-4)	oui

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A9 – Evacuation de l’Energie – Postes Electriques

Tableau A9. 14 - FICHE TECHNIQUE N° 9 - Élément des chaînes d’isolateur type capot et tige

DESCRIPTION		Valeur spécifiée
1	Fabricant	
2	Type	Aérodynamique conforme OMVS
3	Normes applicables	CEI 60305 - 4 CEI 60383 - 1
4	Matériau d’isolation	Verre trempé couleur verte
5	Effort de rupture mécanique	190 kN
6	Diamètre nominal maximum de la partie isolante	380 mm
7	Pas nominal	145 mm
8	Ligne de fuite minimale	350 mm
9	Tension de tenue à la fréquence industrielle (1min) À sec Sous pluie	60 kV _{eff} 55 kV _{eff}
10	Tension de tenue aux ondes de choc 1,2 / 50	95 kV _{crête}
11	Tension de perforation à 50 Hz dans l’huile	130 kV
12	Matériau du capot	Fonte galvanisée
13	Matériau de la tige	Acier forgé galvanisé
14	Matériau de la goupille	Acier inoxydable
15	Nature du scellement	Ciment alumineux fondu
16	Essais de type (art. 6.1 sect. 3 – CEI 60383-1)	Joint à l’offre
17	Essais sur prélèvements (art. 6.2 sect. 3 – CEI 60383-1)	oui
18	Essais individuels (art. 6.3 sect. 3 – CEI 60383-1)	oui

A9.14.1.1 Tableau A9. 15 - FICHE TECHNIQUE N° 10 - Fil de garde aluminium-acier

DESCRIPTION		Valeur spécifiée
1	Fabricant	
2	Type ACSR	Phlox
3	Normes applicables	CEI 60889 et 61089
4	Section	94,1 mm ²
5	Diamètre nominal	12,6 mm
6	Nombre de fils en acier	19
7	Nombre de fils en aluminium	15
8	Diamètre des fils d’acier	1,68 mm
9	Diamètre des fils d’aluminium	2,10 mm
8	Masse du câble	0,486 kg/km
10	Résistance électrique maximale à 20 °C	0,642 Ω/km
11	Coefficient de dilatation linéaire	14,7 x 10 ⁻⁶ / °C
12	Module d’élasticité	11 600 daN / mm ²
13	Charge de rupture calculée	8 035 daN
14	Essais de type	Joints avec l’offre
15	Essais individuels	oui

Tableau A9. 16 - FICHE TECHNIQUE N° 11 - Bobine de réactance 225 kV – 25Mvar

DESCRIPTION		Valeur spécifiée
	Fabricant	
	Pays d’origine de la construction	
	Normes applicables Bobine de réactance Pour l’huile	CEI 60076 CEI 60289 CEI 60296
	Caractéristiques générales Type / Type Noyau Cuve Enroulements Installation	Triphasé Colonne Couvercle soudée 1 Extérieur
	Puissance assignée	25 MVar
	Tension assignée (U _t)	225 kV
	Charge max. du neutre	100 %
	Fréquence assignée	50 Hz
	Symbole de couplage	YN
	Tension max. admissible (2sec)	173 % de U _n
	Induction nominale (à tension et fréquence nominale)	Max.1.25 Tesla
	Tension de saturation	155 % de U _n
	Temperature max. ambiante	45°C
	Échauffements (au-delà de la température max. ambiante) -Huile supérieure -Enroulements (maximum)	55°C 60°C
	Refroidissement	ONAN
	Niveau de bruit à une distance de 2m (tous les ventilateurs en service)	Max. 75 dB(A)
	Altitude d’installation	< 1000 m
	Pertes à vide Courant à vide Pertes dans le noyau (W17/50) à 1.5T Pertes due à la charge	kW A Max.1.12 W/kg kW
	Isolement Tension de tenue à fréquence industrielle, 1min -Phase	395 kV _{eff}

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A9 – Evacuation de l’Energie – Postes Electriques

	-Neutre Tension de tenue aux chocs de foudre -Phase -Neutre -Traversée Tension de tenue aux chocs de manœuvre	38 kV _{eff crête} 950 kV _{crête} 95 kV _{crête} 1050 kV _{crête} 850 kV _{crête}
19	Lignes de fuites minimales des traversées -Enroulements (min.) -Neutre (min.)	6125 mm 440 mm
20	Poids Poids total en ordre de marche Poids de transport Poids de décufrage Poids de l’huile Dimensions hors tout Hauteur Largeur Longueur Dimensions de transport Hauteur Largeur Longueur Hauteur de décufrage	 kg Kg kg kg mm Mm mm mm Mm mm mm
21	Plans et description à joindre en annexe -Plan d’encombrement -Diagramme de connexion -Liste détaillée des accessoires -Conditions de transport -Instruction d’opération -Description générale	
22	Essais de type (10.1.2 de CEI 60076-1)	À joindre avec l’offre
23	Essais individuels (10.1.1 de CEI 60076-1)	oui
24	Essais spéciaux (selon cahier 4)	oui

Tableau A9. 17 - FICHE TECHNIQUE N° 12 - Appareillage sous enveloppe métallique 30 kV

DESCRIPTION		Valeur spécifiée
1	Cellule 30 kV	
	Fabricant	
	Norme	CEI 62271-200 CEI 60694 (CEI 60932)
	Type	Préfabriqué blindé
2	Tension assignée	36 kV
3	Configuration des jeux de barres	Monorame
4	Matériel constituant les jeux de barres	Cuivre
5	Courant nominal des barres	800 A
6	Température ambiante maximale	45 °C
7	Niveau d’isolement assigné -Tenue à la fréquence industrielle (1 min) -Tenue aux chocs de foudre	70 kV _{eff} 170 kV _{crête}
8	Phase et fréquence	3 PH 50 Hz
9	Courant de courtes durées admissibles assignées	25 kA _{eff}
10	Valeur de crête du courant admissible assigné	63 kA _{crête}
11	Durée de court-circuit assignée	1 sec
12	Mode d’opération du sectionneur de mise à la terre des arrivées et départs	Manuel seulement
13	Dimension d’une cellule	
	-Longueur	- mm
	- Largeur	- mm
	-Hauteur	- mm
	Poids d’une cellule	- kg
14	Degré de protection selon CEI 60529	IP45
15	Essais de type	À joindre à l’offre
16	Essais individuels	oui
17	Disjoncteurs 30 kV	Débrochable
	-Type	Coupure dans le SF ₆
	-Normes	CEI 60694
	-Courant assigné en service continu	
	○ arrivées	630 A
	○ départs	200 A
	Séquence de manœuvre assignée	O-0,3 s-FO-3min-FO
Manœuvre et armement	Électromécanique à ressort	
Tension assignée d’alimentation	125 Vcc	
Contacts auxiliaires requis	5 du type « a », 5 du type « b »	
18	Transformateurs de courant	
	-Type	À résine, moulé

Avant-Projet Détaillé
 Chapitre A9 – Evacuation de l’Energie – Postes Electriques

	<ul style="list-style-type: none"> -Normes applicables -Nombre d’enroulements primaires -Nombre d’enroulements secondaires -Courant primaire assigné <ul style="list-style-type: none"> o Arrivées o départs -Courant secondaire assigné -Rapport de transformation <ul style="list-style-type: none"> o arrivées o départs Puissance de précision -Mesure -Protection Classe de précision -Mesure -Protection 	<ul style="list-style-type: none"> CEI 60044-1 1 1 630 A 200 A 1 A 500:1 A 150:1 A 20 VA 20 VA 0,5 5P20
19	<ul style="list-style-type: none"> Transformateurs de tension (avec fusibles) -Type -Normes applicables -Valeur de tension assignée primaire -Valeur de tension assignée secondaire Puissance de précision -Mesure -Protection Classe de précision -Mesure -Protection Nombre de noyaux primaires Nombre de noyaux secondaires 	<ul style="list-style-type: none"> Débrochable Inductif avec corps en époxy CEI 60044-2 30/√3 kV 110/√3 V 50 VA 25 VA 0,5 3P
20	<ul style="list-style-type: none"> Sectionneurs 30 kV (Auxiliaires) -Type / Type -Normes applicable 	<ul style="list-style-type: none"> Tripolaire CEI 60694

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A9 – Evacuation de l’Energie – Postes Electriques

	<ul style="list-style-type: none"> -Courant nominal Tension de tenue aux chocs de foudre -Sur la distance de sectionnement Tension de tenue à la fréquence industrielle -Sur la distance de sectionnement Alimentation courant continu 	<p>80 kV_{eff}</p> <p>195 kV_{crête}</p> <p>125 Vcc</p>
21	<ul style="list-style-type: none"> Sectionneurs de mise à la terre 30 kV -Type / Type -Normes applicable -Courant nominal Tension de tenue aux chocs de foudre -Sur la distance de sectionnement Tension de tenue à la fréquence industrielle -Sur la distance de sectionnement Alimentation courant continu 	<p>Tripolaire</p> <p>CEI 60694</p> <p>200 A</p> <p>80 kV_{eff}</p> <p>195 kV_{crête}</p> <p>125 Vcc</p>
22	<ul style="list-style-type: none"> Témoin lumineux de présence de tension (capacitif) -Type -Normes applicables 	
23	<ul style="list-style-type: none"> Fusible (auxiliaire) -Type -Normes applicables -Courant nominal 	

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A9 – Evacuation de l’Energie – Postes Electriques

Tableau A9. 18 - FICHE TECHNIQUE N° 13 - Transformateurs de services auxiliaires 30 kV-0,4 kV

DESCRIPTION		Valeur spécifiée
1.	Fabricant	
2.	Type	Triphasé / Extérieur isolé à l'huile
3.	Normes applicables -Transformateur -Pour l'huile	CEI 60076 CEI 60296
4.	Puissance	200 kVA
5.	Raccordement des enroulements (3 enroulements)	D, yn
6.	Type de refroidissement	ONAN
7.	Tension nominale	
	-Primaire	30 kV
	-Secondaire	0.415 kV mini
	Tension la plus élevée du réseau	36 kV
8.	Commutateur de prise hors charge	2 x ± 2,5%
9.	Phase et fréquence	3 PH 50 Hz
10	Matériel des enroulements	Cuivre
11	Impédance	4 %
12	Tension de tenue assignée à la fréquence industrielle - Primaire -Secondaire	70 kV _{eff} 3 kV _{eff}
13	Type de noyau	Colonne
14	Type de cuve	Couvercle boulonné
15	Courant à vide	- %
	Pertes à vide	- kW
	Pertes due à la charge	- kW
16	Traversées primaires	Pour fiches embrochables porcelaine
	Traversées secondaires	
17	Dimensions	- mm
	-Longueur	- mm
	- Largeur	- mm
	-Hauteur Poids	- kg
18	Essais de type (10.1.2 de CEI 60076-1)	oui
19	Essais individuels (10.1.1 de CEI 60076-1)	oui

Tableau A9. 19 - FICHE TECHNIQUE N° 14 - Parafoudres 30 kV

DESCRIPTION		Valeur spécifiée
1.	Fabricant	
2.	Type	Oxyde de zinc sans éclateur
3.	Normes	CEI 60099-4
4.	Tension assignée (U_t)	36 kV
5.	Tension de régime permanent (U_c)	24 kV
6.	Courant nominal de décharge	10 kA
7.	Courant maximal de décharge	100 kA
8.	Ligne de fuite	mm
9.	Temps de décharge de ligne de longue durée	3 sec.
10.	Tension de tenue aux chocs de foudre	170 kV
11.	Tension de tenue à fréquence industrielle (1 min.)	70 kV
12.	Tenue aux chocs de courant de longue durée 2 000 μ s	1 000 A
13.	Tensions résiduelles maximales	kV crête
	-Pour une onde de courant à front raide à 10 kA (1 μ s)	kV crête
	-Pour une onde de courant de foudre à 10 kA (8/20 μ s)	kV crête
	-Pour une onde de courant de choc de manœuvre à 1 kA (30 μ s)	kV crête
14.	Régime du neutre du réseau	Mise à la terre par résistance verticale
15.	Montage	Vertical
16.	Capacité d'absorption d'énergie	8 kJ/kV crête
17.	Essais de type (sect. 7 de CEI 60099-4)	oui
19.	Essais individuels (sect. 8.1 de CEI 60099-4)	oui

Tableau A9. 20 - FICHE TECHNIQUE N° 15 - Résistance de mise à la terre du réseau 30 kV

	DESCRIPTION	Valeur spécifiée
1.	Fabricant	
2.	Normes applicables	
3.	Tension assignée du réseau	30 kV
4.	Type	Extérieur
5.	Courant admissible de longue durée	10 A
6.	Courant admissible de courte durée	500 A
7.	Résistance nominale	34,6 ohms
8.	Transformateur de courant sensible de recherche de terre résistante attaché	Oui
9.	Matériau constituant	Acier inoxydable

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A9 – Evacuation de l’Energie – Postes Electriques

Tableau A9. 21 - FICHE TECHNIQUE N° 16 - Câble de puissance 30 kV

	DESCRIPTION	Valeur spécifiée
1.	Fabricant	
2.	Type	
3.	Normes applicables	CEI 60502
4.	Tension nominale	30 kV
5.	Tension la plus élevée	36 kV
6.	Tension assignée	18 kV
7.	Tension d’essais cond./écran à 50 Hz/5min	45 kV
8.	Tension d’essais de 4 heures	54 kV
9.	Matériau de l’enveloppe isolante	XPLE
10.	Matériau de la gaine extérieure	PE/PVC
11.	Âme conductrice	Cu
	-Écran sur l’âme conductrice	Oui
	-Écran sur l’enveloppe isolante	Oui
	-Armure métallique	Oui
	-Matériau de l’écran	Cu
12.	Courant assigné de court-circuit (1sec) :	
	- Âme conductrice	15 kA
	-Écran	2 kA
13.	Température assignée maximale de l’âme :	
	-En service normal	90°C
	-Après un court-circuit	250°C

Tableau A9. 22 - FICHE TECHNIQUE N° 17 - Transformateur de courant (neutre a la terre)

DESCRIPTION		Valeur spécifiée
1.	Fabricant	
2.	Type	
3.	Normes applicables	CEI 60044-1
1.	Tension la plus élevée pour l'équipement	36 kV
2.	Tension de tenue à la fréquence industrielle	70 kV _{eff}
3.	Tension de tenue aux chocs de foudre	170 kV _{crête}
4.	Courant de court-circuit thermique assigné	25 kA _{eff}
5.	Courant dynamique assigné	63 kA _{crête}
6.	Nombre d'enroulements primaires	1
7.	Nombre d'enroulements secondaires	1
8.	Rapport de transformation : -Neutre de transformateur à la terre	300/1
9.	Puissance de précision	
	-Mesure	20VA
	-Protection	20VA
10.	Classe de précision	0
	-Mesure	0.5
	-Protection	5P20

SOMMAIRE DU CHAPITRE A10

EVACUATION DE L'ENERGIE – LIGNES HAUTE TENSION

A10.1 GÉNÉRALITÉS	1
A10.1.1 Sommaire du projet des lignes de transport	1
A10.1.1.1 Description générale	1
A10.1.1.2 Découpage en tronçons	1
A10.1.2 Présentation des lots de lignes	2
A10.1.3 Type de pylônes	3
A10.1.3.1 Famille de pylônes	3
A10.1.3.2 Composition d'une famille de pylônes	3
A10.1.3.3 Caractéristiques géométriques – recherche de la silhouette	6
A10.1.3.4 Définition d'une famille de supports pour la réalisation des lignes	6
A10.1.3.5 Désignation des pylônes	6
A10.2 CHOIX DU TRACE DES LIGNES D'INTERCONNEXION	14
A10.2.1 Revue des études de corridors et de tracé	14
A10.2.2 Contraintes et critères pris en compte	15
A10.2.2.1 Critères et contraintes en phase d'étude de faisabilité	15
A10.2.2.2 Critères et directives de localisation du tracé en avant-projet détaillé	17
A10.3 RÉPARTITION DES SUPPORTS	21
A10.3.1 Généralités	21
A10.3.2 Portée équivalente (portée courante)	21
A10.3.3 Dégagements électriques	22
A10.3.4 Portées caractéristiques	23
A10.4 FONDATION	25
A10.4.1 Charges de conception	25
A10.4.2 Facteurs de sécurité	25

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A10 – Evacuation de l’Energie - Lignes Haute Tension

A10.4.3	Facteurs de sécurité	25
A10.4.4	Autres critères généraux	26
A10.4.5	Diversité requise pour les fondations	26
A10.4.6	Types de fondations spécifiées	26
A10.4.7	Critères de conception et méthodes de calcul	29
A10.4.7.1	Généralités	29
A10.5	PYLÔNES	31
A10.5.1	Description générale	31
A10.5.2	Types et utilisations des pylônes (famille des pylônes)	32
A10.5.2.1	Dimensionnement	32
A10.5.2.2	Épaisseur et section minimale	32
A10.5.3	Matériaux	32
A10.5.3.1	Acier de charpente	32
A10.5.3.2	Connexions	34
A10.5.4	Ceinture anti-escalade	34
A10.6	CONDUCTEURS ET CÂBLES DE GARDE	35
A10.6.1	Caractéristiques de base du conducteur des lignes monoternes et biternes	35
A10.6.2	Liaisons avec fibres optiques	37
A10.6.2.1	Répéteurs	37
A10.6.2.2	Épissures	37
A10.6.2.3	Atelier d’énergie pour répéteurs solaires	38
A10.6.3	Conditions de service	39
A10.7	ISOLATEURS ET ACCESSOIRES	41
A10.7.1	Généralités	41
A10.7.2	Isolateurs	43
A10.7.3	Chaînes d’isolateurs	43
A10.7.4	Accessoires pour l’attache des câbles	43
A10.7.4.1	Pinces de suspension	43
A10.7.4.2	Dispositifs d’amorçage	44
A10.7.4.3	Ancrage et jonction	44

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A10 – Evacuation de l’Energie - Lignes Haute Tension

A10.7.4.4	Amortisseurs de vibration	45
A10.8	EMPRISES	46
A10.8.1	Généralités	46
A10.8.2	Chemin d’accès	46

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A10 – Evacuation de l’Energie - Lignes Haute Tension

LISTE DES FIGURES :

FIGURE A10. 1- SCHEMA DE TRANSPOSITION DES PHASES.....	5
FIGURE A10. 2 - SILHOUETTE DU PYLONE 225kV - TYPE T (EGALEMENT APPELE DE TYPE A SELON LE STANDARD OMVS)	7
FIGURE A10. 3 - SILHOUETTE DU PYLONE 225kV - TYPE DT	8
FIGURE A10. 4 - SILHOUETTE DU PYLONE 225kV - TYPE A+0 (EGALEMENT APPELE DE TYPE B SELON LE STANDARD OMVS)	9
FIGURE A10. 5 - SILHOUETTE DU PYLONE 225kV - TYPE WA30 (EGALEMENT APPELE DE TYPE C SELON LE STANDARD OMVS)	10
FIGURE A10. 6 - SILHOUETTE DU PYLONE 225kV - TYPE WA60 (EGALEMENT APPELE DE TYPE D SELON LE STANDARD OMVS)	11
FIGURE A10. 7 - SILHOUETTE DU PYLONE 225kV - TYPE DWA.....	12
FIGURE A10. 8 - SILHOUETTE DU PYLONE 225kV - TYPE TR.....	13
FIGURE A10. 9 - FONDATIONS	28
FIGURE A10. 10 - CONDITIONS IMPOSEES DES MEMBRURES	33
FIGURE A10. 11 - SCHEMA D’INSTALLATION DES REPETEURS	37
FIGURE A10. 12 - SCHEMA D’INSTALLATION DES EPISSURES	38
FIGURE A10. 13 - ASSEMBLAGE DE SUSPENSION ET D’ANCRAGE DES CONDUCTEURS	42
FIGURE A10. 14 - LARGEUR DES EMPRISES	47

LISTE DES TABLEAUX :

TABLEAU A10. 1 - LONGUEURS DES TRONÇONS DES LIGNES	2
TABLEAU A10. 2- REPARTITION DES TRONÇONS DE LA LIGNE PAR PAYS.....	2
TABLEAU A10. 3 - DESCRIPTION DES LOTS DE LIGNE	3
TABLEAU A10. 4 - DEFINITION DES SUPPORTS D’ANCRAGE EN ANGLE.....	4
TABLEAU A10. 5- FAMILLE DES SUPPORTS	6
TABLEAU A10. 6 - ACTIVITES RELATIVES A LA DEFINITION DU TRACE DE LA LIGNE REALISEES EN AVANT-PROJET DETAILLE	14
TABLEAU A10. 7 - CLASSES D’APTITUDE DES TERRES POUR L’IMPLANTATION DE LA LIGNE D’INTERCONNEXION	16
TABLEAU A10. 8 - STATISTIQUES POUR LA LIGNE 225 kV KOUKOUTAMBA – LABE.....	18
TABLEAU A10. 9 - STATISTIQUES POUR LA LIGNE 225 kV KOUKOUTAMBA - MANANTALI.....	20
TABLEAU A10. 11 - DEGAGEMENTS ELECTRIQUES	22
TABLEAU A10. 12 - PORTEES CARACTERISTIQUES DES SUPPORTS RETENUS	24
TABLEAU A10. 12 - FACTEUR DE SECURITE	25
TABLEAU A10. 13 - DESCRIPTION DES SOLS	26
TABLEAU A10. 15 - CHOIX DU TYPE DE FONDATION	27
TABLEAU A10. 15 – CARACTERISTIQUES DE CONCEPTION DES SOLS DE FONDATIONS	29
TABLEAU A10. 16 – CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX POUR LA CONCEPTION DES FONDATIONS	29
TABLEAU A10. 17 - CARACTERISTIQUES DU CONDUCTEUR ASTER 570	35
TABLEAU A10. 18 - CARACTERISTIQUES DU CABLE DE GARDE ACSR DE TYPE PHLOX	36
TABLEAU A10. 19 - CARACTERISTIQUES DU CABLE DE GARDE CGFO (CONFORME AUX NORMES CEI).....	36

CHAPITRE A10

EVACUATION DE L'ENERGIE – LIGNES HAUTE TENSION

A10.1 GÉNÉRALITÉS

A10.1.1 Sommaire du projet des lignes de transport

A10.1.1.1 *Description générale*

L'Aménagement hydroélectrique de Koukoutamba sera interconnecté aux réseaux interconnecté de Manantali (RIMA), ainsi que celui de la Guinée, non encore actuellement raccordé au RIMA.

Il est à noter que :

- le poste de Labé est implanté de manière à s'inscrire dans le développement de réseau en projet de l'OMVG ainsi que dans l'éventualité d'un développement ouest du RIMA avec les aménagements de Félou et Gouina,
- le poste existant de Manantali fait déjà partie intégrante des réseaux de l'OMVS depuis 2000.

Le présent document constitue l'Avant-Projet Détaillé de ces lignes à haute tension et a pour objet:

- la définition du tracé sur la base du tracé approuvé par le Maître d'Ouvrage en phase d'Avant-Projet Sommaire,
- la définition des conditions climatiques de la région à retenir pour le calcul des ouvrages,
- la définition d'une famille de supports,
- la définition d'un catalogue de fondations.

Il est complété par une estimation des quantités des matériels nécessaires à la réalisation.

A10.1.1.2 *Découpage en tronçons*

Les deux lignes de transport, respectivement vers Labé et Manantali suivront le même tracé depuis leur départ du poste de Koukoutamba jusqu'à leur point de séparation situé près du village de Loukoudein, après environ 38 km de tronçon commun.

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A10 – Evacuation de l'Energie - Lignes Haute Tension

NOTE IMPORTANTE : Il est à noter que pour des questions liées à la sécurité des installations et à l'optimisation de fonctionnement du réseau, et indépendamment de la priorité à donner aux travaux des lignes vers Labé ou Manantali, il conviendra, lors de la construction initiale du tronçon commun, d'équiper les deux ternes des pylônes de leurs conducteurs respectifs.

Le tracé de la ligne est découpé en trois tronçons de ligne. Ce découpage résulte de la présence des deux postes auxquels s'ajoute un point de jonction supplémentaire près de Loukoudein (Guinée). A cet endroit se fait la jonction entre deux lignes monoterne qui se rejoignent et deviennent une ligne biterne.

Le tableau ci-après présente les longueurs respectives de chacun de ces 3 tronçons.

Tableau A10. 1 - Longueurs des tronçons des lignes

Tronçon de ligne		Longueur de ligne (km)		
N°	Nom	Monoterne	Biterne	Total
1	Koukoutamba - Loukoudein		29	29
2	Loukoudein Labé	82		82
3	Loukoudein Manantali	252		252
Total		334	29	363

Pour les besoins des diverses administrations de chacun des pays, une segmentation du tracé par pays a aussi été réalisée. Le Tableau A10. 2 présente cette segmentation des longueurs de ligne par pays.

Tableau A10. 2- Répartition des tronçons de la ligne par pays

Tronçon de ligne		Longueur de ligne (km)			
N°	Nom	Monoterne	Biterne	Total	
Guinée	1	Koukoutamba - Loukoudein		29	29
	2	Loukoudein-Labé	82		82
	3	Loukoudein – frontière Guinée/Mali	125		125
Mali	4	frontière- Manantali	127		127
Total		207	29	363	

A10.1.2 Présentation des lots de lignes

En prévision de la préparation des documents d'appel d'offres (DAO), le projet de ligne est constitué d'un seul lot dans lequel l'entreprise adjudicataire du marché pourra recourir à 4 équipes de travail.

Il conviendra de confirmer avec le Maître d'ouvrage le découpage en lots proposé.

Tableau A10. 3 - Description des lots de ligne

Lot	Equip e de travail I N°	Type de ligne	Longueur par tronçon		Longueur par pays		Total lot (km)
			Tronçon	km	Pays	km	
1	1	Biterne	Koukoutamba - Loukoudein	29	Guinée	29	236
	2	Monoterne	Loukoudein - Labé	82		82	
	3	Monoterne	Loukoudein – frontière Guinée/Mali	252		125	
	4	Monoterne	Frontière Guinée/Mali - Manantali		Mali	127	127

A10.1.3 Type de pylônes

Les supports des lignes d'interconnexion seront réalisés en acier galvanisé. Ils sont à quatre pieds séparés, du type treillis boulonné avec disposition des conducteurs en nappe voûte, « tête de chat » ou double drapeau.

A10.1.3.1 Famille de pylônes

A10.1.3.2 Composition d'une famille de pylônes

Dans la composition d'une famille de pylônes pour une tension électrique donnée, le nombre maximal de types de supports (une famille) ne devra pas dépasser cinq (5) pour une section de conducteurs, et une tension électrique donnée.

A titre indicatif, les possibilités principales de chacun des supports constituant une famille sont indiquées ci-après.

- **Pylône d'alignement - Type T ou DT** : pylône d'alignement pouvant supporter la portée courante avec câbles de garde pour un angle souple jusqu'à 3 degrés ; Il sert uniquement à supporter la ligne et n'est utilisé que dans des cheminements rectilignes ou pour des angles de déflexion de ligne inférieurs ou égaux à 3 degrés.

Il est conçu pour permettre des variations de hauteur du fût de + 3m, - 3m par rapport à sa hauteur normale T+0.

Ces variations sont codifiées sous les désignations respectives :

- simple terne : T+0, T+3, T-3 ;
- double terne : DT+0, DT+3, DT-3.

Il conviendra de vérifier si d'autres extensions ou réductions de hauteur sont nécessaires en fonction du relief des zones traversées.

- **Pylône d'ancrage en alignement / Anti-cascade - Type A** : pylône d'ancrage en alignement pouvant servir de pylône anti-cascade permettant l'arrêt des conducteurs de phase et câbles de garde jusqu'à un angle de ligne égal ou inférieur à dix degrés ;

Il sert à créer un point de fixation pour chaque canton de ligne et n'est utilisé que dans les cheminements rectilignes ou pour des angles de déflexion de ligne inférieurs ou égaux à 3 degrés. En règle générale, les points de fixation des cantons sont implantés à intervalles de 10 portées afin de limiter les dommages des installations en cas d'incident mécanique éventuel. Il est conçu pour permettre des variations de hauteur du fût de + 3m ou -3m par rapport à sa hauteur normale (désignation A+3, A-3). Les supports A seront également utilisés comme pylône d'arrêt de fin de ligne. Il supporte donc unilatéralement la totalité de la traction des câbles.
- **Pylône d'ancrage en angle - Type WA ou DWA**: pylônes d'ancrage et d'angle pouvant supporter l'arrêt de ligne et les angles de ligne jusqu'à 30 ou 60 degrés;

Il sert à créer un point de fixation de la ligne et à supporter en outre l'angle de déflexion de la ligne supérieur à 3 degrés.

De manière à réduire le nombre de types de pylônes d'ancrage en angle en fonction de l'angle de déflexion maximum qu'ils peuvent supporter, une classe de supports est définie et précisée dans le tableau suivant.

Tableau A10. 4 - définition des supports d'ancrage en angle

<i>CLASSE</i>	<i>DESIGNATION</i>	<i>ANGLE MAX [degrés]</i>
1	WA30	30
2	WA60	60

Les pylônes d'ancrage en angle sont conçus pour permettre des variations de hauteur du fût de + 6 m ou -6 m par rapport à leurs hauteurs normales :

Simple terne: WA30+3; WA30-3; WA60+3; WA60-3.

Double terne : DWA30+3 ; DWA30-3 ; DWA60+3 ; DWA60-3.

- **Pylône de fin de ligne - Type LE** : pylône de fin de ligne type « drapeau » pouvant supporter un angle de ligne supérieur à 60 degrés ; Ce support est utilisé comme pylône de départ d'un poste dans le cas particulier où l'angle de déflexion de ligne excède 60 degrés.

Il est conçu pour supporter la totalité de la traction unilatérale des conducteurs de ligne ainsi que la composante de traction des conducteurs en portée molle vers le portique du poste.

La distance entre le portique du poste et ce support d'arrêt LE ne doit pas excéder 100 mètres

Pylône de transposition - Type TR : pylône de transposition de phases, permettant d'équilibrer les constantes linéiques de la ligne. Ces pylônes présentent, compte tenu de leur fonction spécifique, un armement en tête de chat ou triangle. Voir Figure A10. 1.

On admet également que les pylônes quadripodes puissent être à pieds dissymétriques.

Avant-Projet Détaillé
 Chapitre A10 – Evacuation de l’Energie - Lignes Haute Tension

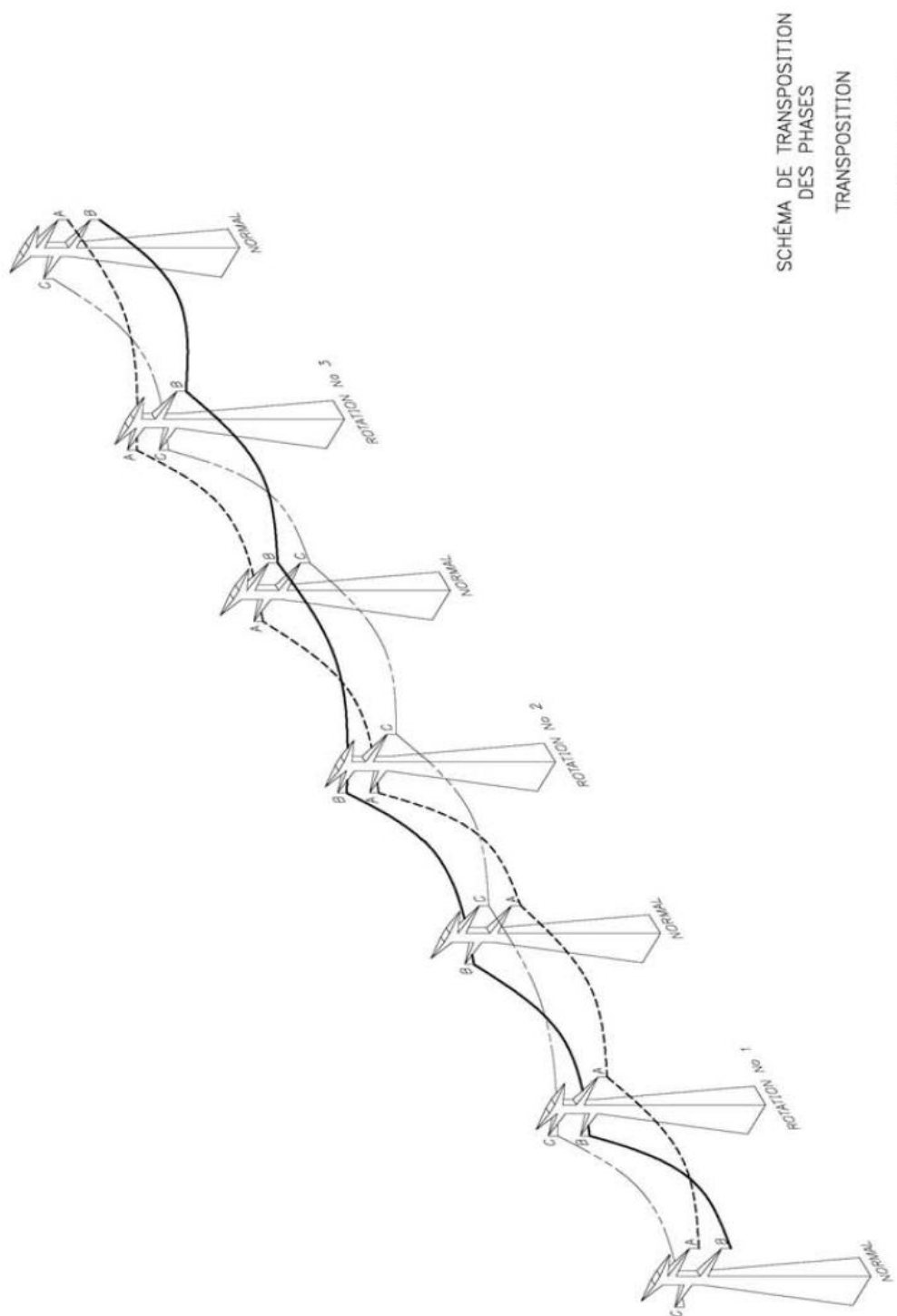


Figure A10. 1- Schéma de transposition des phases

A10.1.3.3 *Caractéristiques géométriques – recherche de la silhouette*

En solution de base, le pylône de portée courante sera du type à treillis métallique, à 4 pieds auto stables.

Les supports sont à armement nappe-voûte (pylône tête de chat) avec deux (2) câbles de garde.

A10.1.3.4 *Définition d'une famille de supports pour la réalisation des lignes*

Les différents types de pylônes retenus pour la réalisation des lignes sont:

- le support de suspension,
- le support d'ancrage d'alignement,
- le support d'ancrage d'angle ou fin de ligne,

Au vu de la longueur totale de la ligne Koukoutamba - Manantali, il est prévu des supports de transposition (en ré-équilibrage des impédances). Des pylônes anti-cascade sont prévus et sont installés lorsque la longueur de chaque canton justifiera la mise en place de tel dispositif.

A10.1.3.5 *Désignation des pylônes*

Le tableau ci-dessous résume les différents types de pylônes, ainsi que leurs caractéristiques spécifiées.

Tableau A10. 5- Famille des supports

DESIGNATION DES SUPPORTS	UTILISATION	ANGLE DE DEFLEXION DE LIGNE [degrés]
T (-3, +0, +3, +6)	alignement	0 - 3
A (-3, +0, + 3)	ancrage d'alignement	3 - 10
WA30 (-3, +0, +3)	ancrage d'angle	> 3 - 30
WA60 (-3, +0, +3)	ancrage d'angle	> 30 - 60
LE	fin de ligne	> 60 - 100
TR	transposition	0 - 3

Avant-Projet Détaillé
 Chapitre A10 – Evacuation de l’Energie - Lignes Haute Tension

Les silhouettes de pylônes présentées dans les figures suivantes sont données à titre d’exemple et pourront faire l’objet de modifications par le Maitre de l’Ouvrage (OMVS).

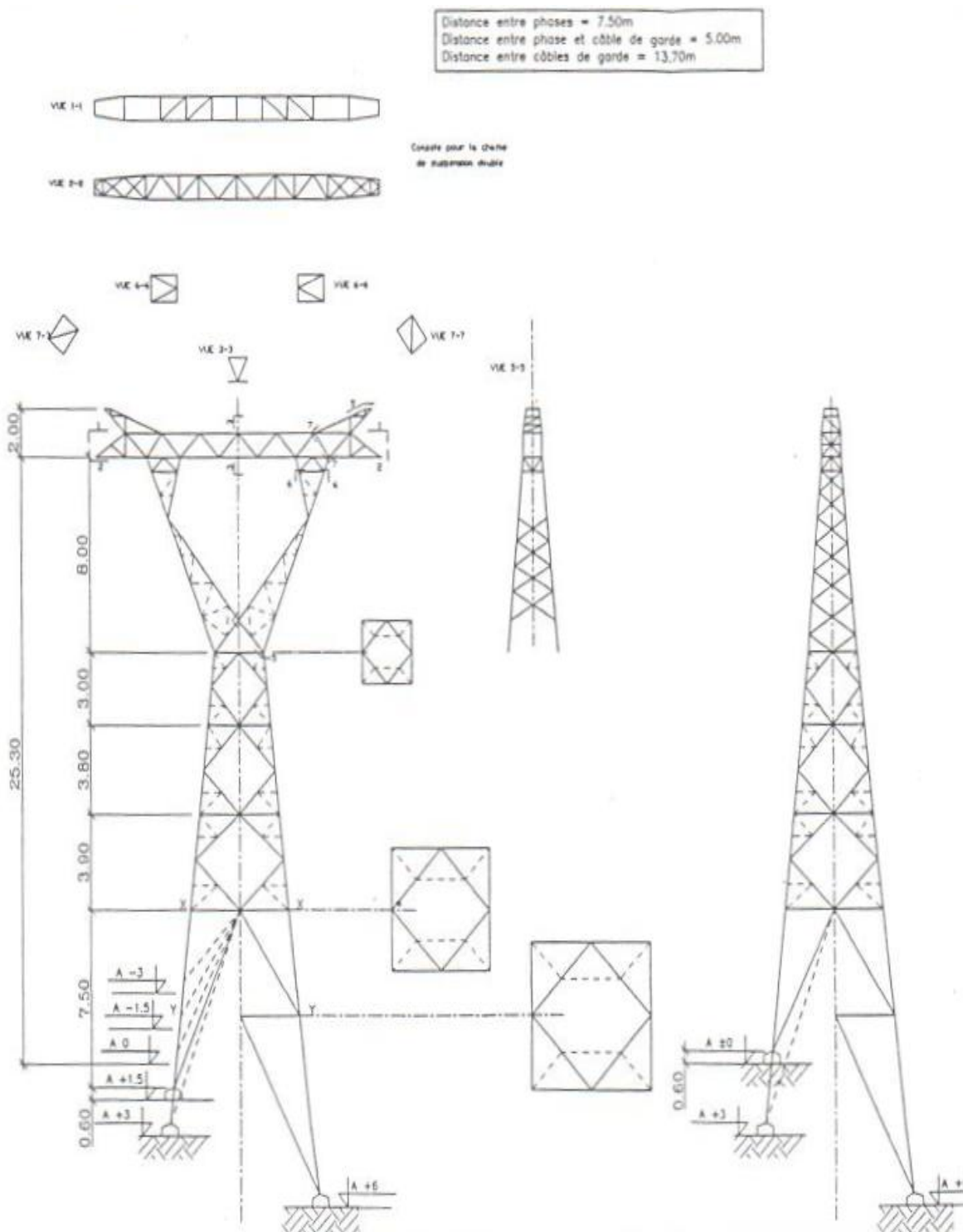


Figure A10. 2 - Silhouette du pylône 225kV - type T (également appelé de type A selon le standard OMVS)

Avant-Projet Détaillé
 Chapitre A10 – Evacuation de l’Energie - Lignes Haute Tension

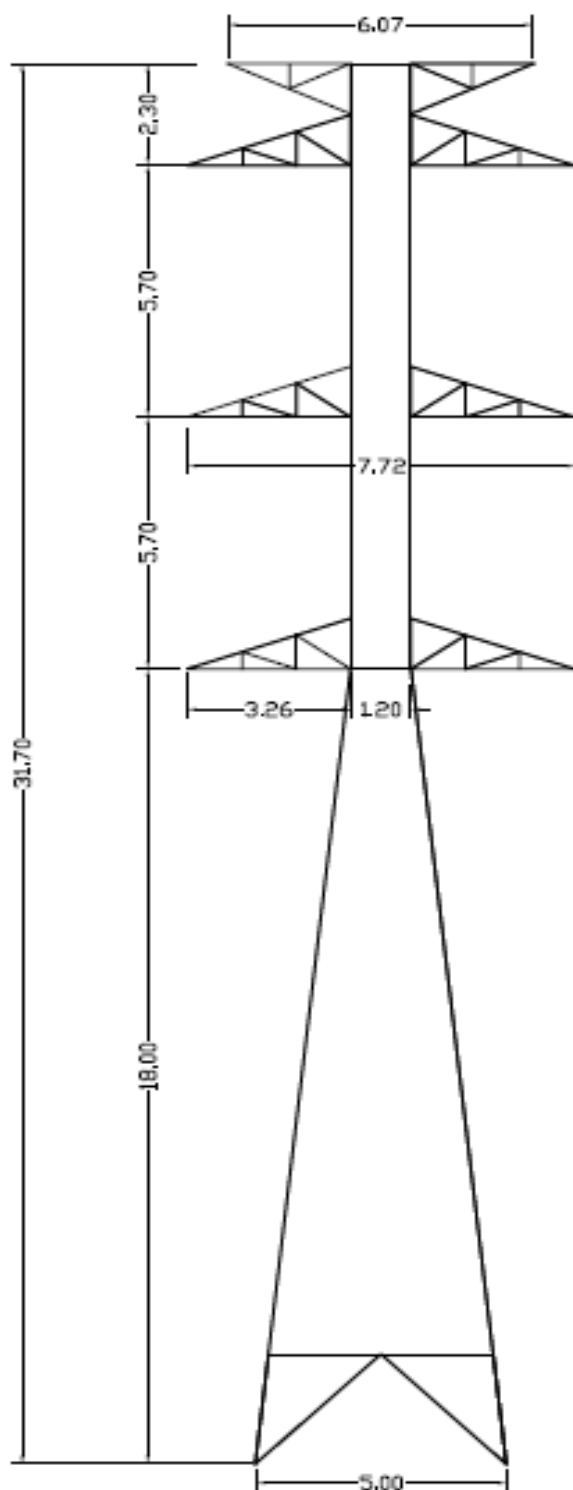


Figure A10. 3 - Silhouette du pylône 225kV - type DT

Avant-Projet Détaillé
 Chapitre A10 – Evacuation de l’Energie - Lignes Haute Tension

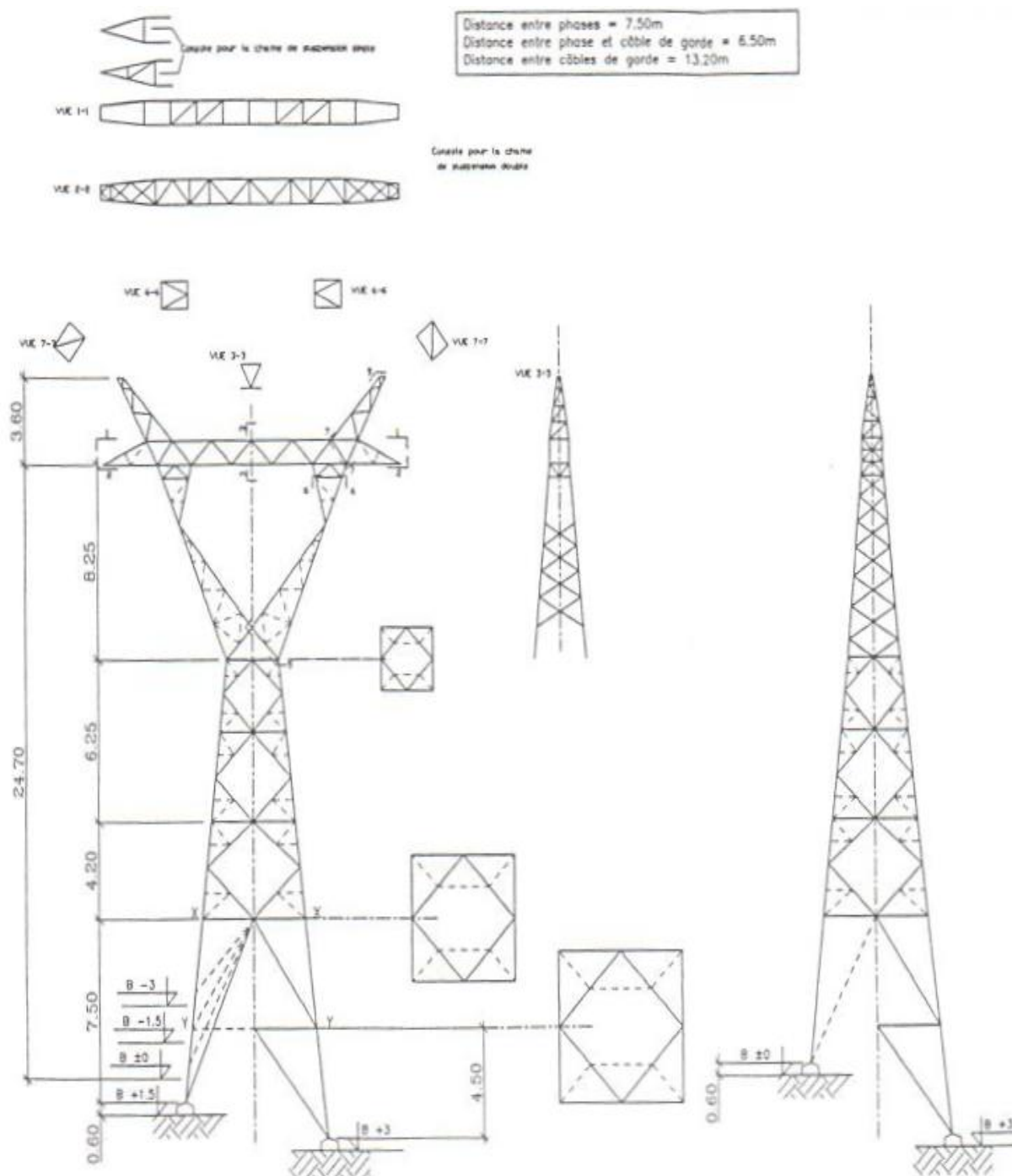


Figure A10. 4 - Silhouette du pylône 225kV - type A+0 (également appelé de type B selon le standard OMVS)

Avant-Projet Détaillé
 Chapitre A10 – Evacuation de l’Energie - Lignes Haute Tension

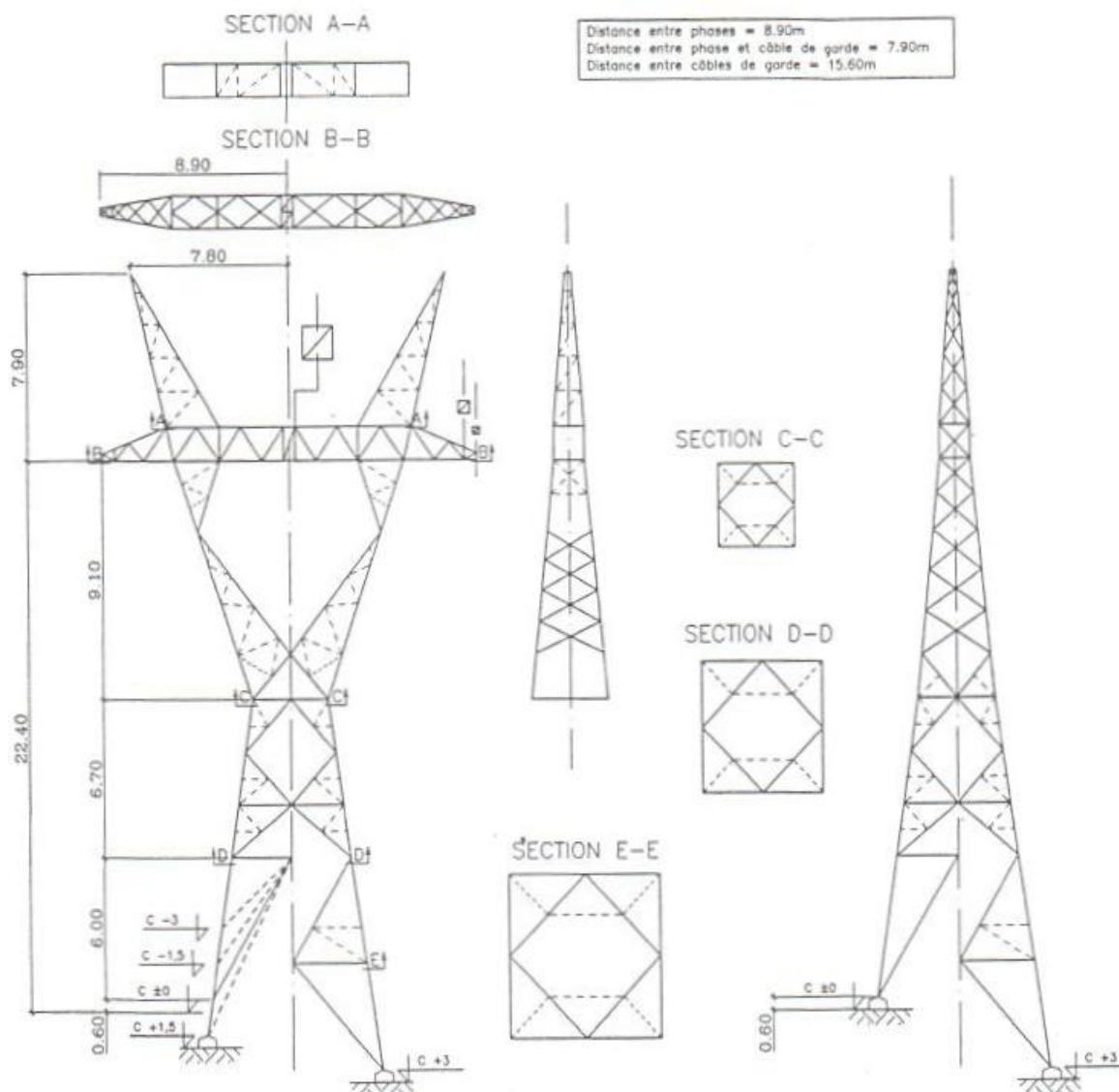


Figure A10. 5 - Silhouette du pylône 225kV - type WA30 (également appelé de type C selon le standard OMVS)

Avant-Projet Détaillé
 Chapitre A10 – Evacuation de l’Energie - Lignes Haute Tension

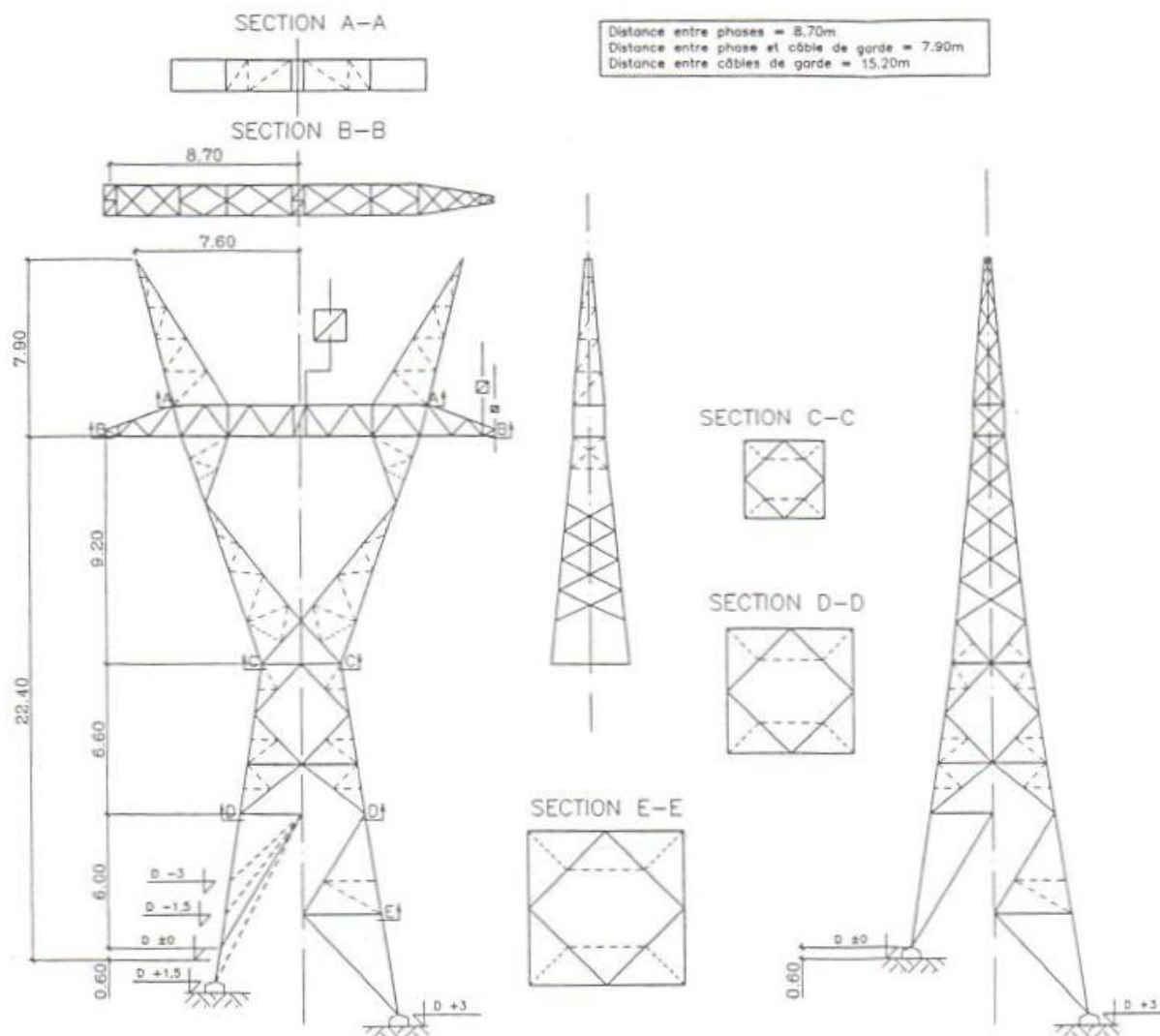


Figure A10. 6 - Silhouette du pylône 225kV - type WA60 (également appelé de type D selon le standard OMVS)

Avant-Projet Détaillé
 Chapitre A10 – Evacuation de l’Energie - Lignes Haute Tension

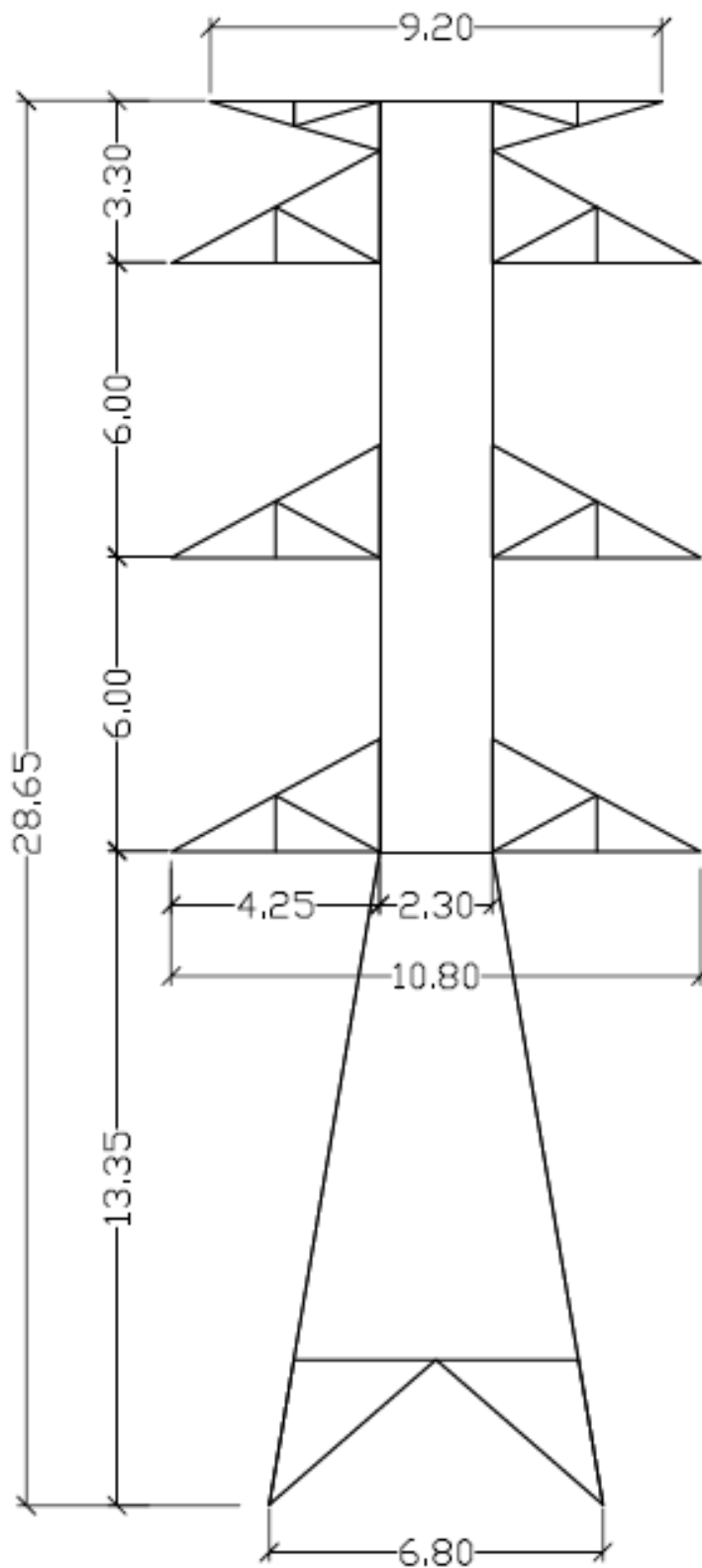


Figure A10. 7 - Silhouette du pylône 225kV - type DWA

Avant-Projet Détaillé
 Chapitre A10 – Evacuation de l’Energie - Lignes Haute Tension

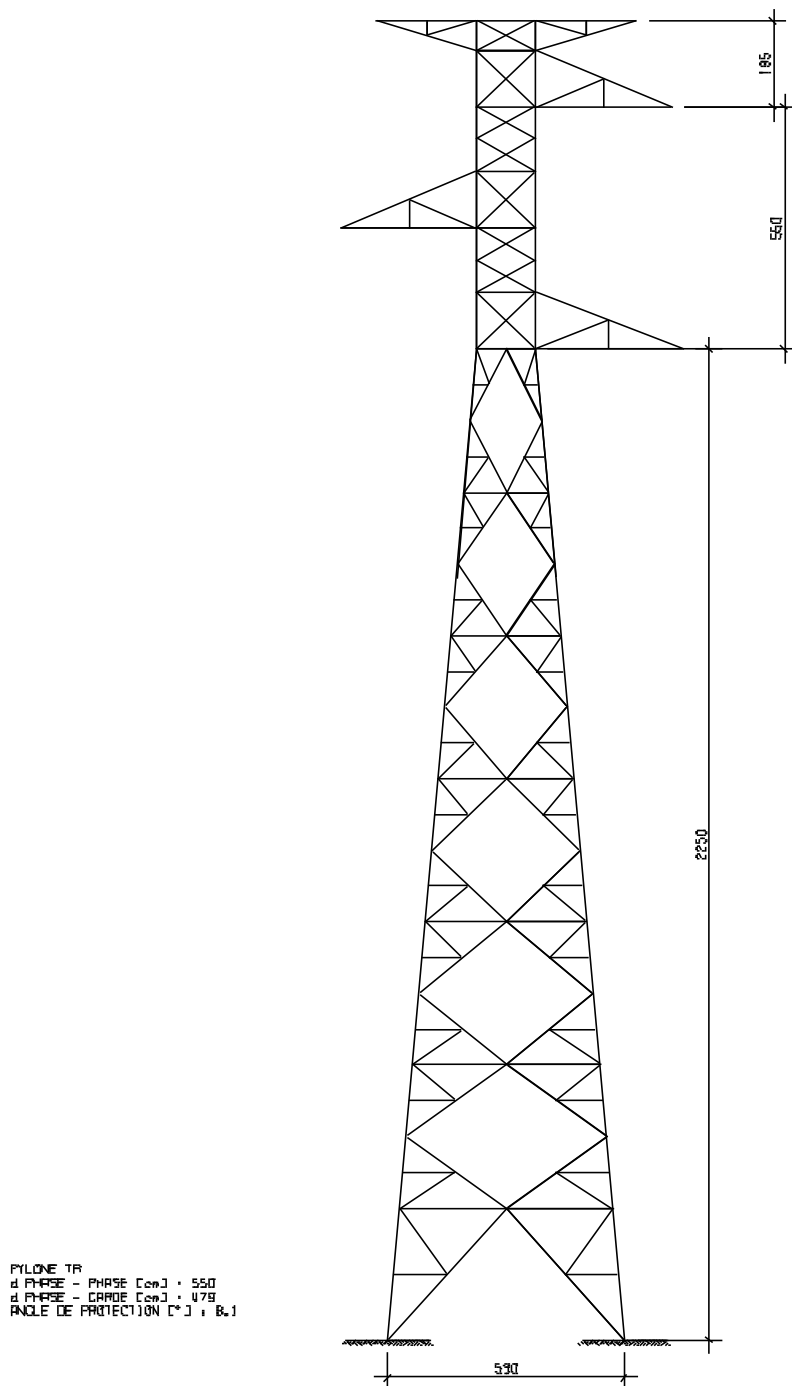


Figure A10. 8 - Silhouette du pylône 225kV - type TR

A10.2 CHOIX DU TRACÉ DES LIGNES D'INTERCONNEXION

A10.2.1 Revue des études de corridors et de tracé

Le choix des corridors et l'établissement du tracé des lignes d'interconnexion sont le fruit d'un processus impliquant plusieurs étapes et activités. Le choix des corridors des lignes et la définition des tracés préliminaires ont été effectuées dans le cadre de l'étude de faisabilité, terminée en 2011.

Les plans représentatifs des tracés des lignes sont consultables dans les plans KTB-II-04-LE-PT-001-A à KTB-II-04-LE-PT-0012A

Les diverses étapes et activités réalisées dans le cadre de la présente étude d'avant-projet détaillé sont présentées sur le Tableau A10. 6. Ces activités ont permis de valider les choix réalisés antérieurement, de produire un tracé optimal du point de vue technique et environnemental, et de choisir le périmètre à réserver pour l'aménagement du poste de Labé. Le poste de Manantali étant déjà existant.

Tableau A10. 6 - Activités relatives à la définition du tracé de la ligne réalisées en Avant-Projet Détaillé

Étude d'avant-projet détaillé	<p>1. Choix du périmètre et de l'emprise du poste de Labé</p> <p>a. Identification des contraintes techniques et environnementales au site d'accueil envisagé pour le poste de Labé.</p> <p>b. Définition du périmètre d'emprise à réserver pour le poste de Labé.</p> <p><u>Produit</u> : Plans de localisation préliminaire de l'emprise du poste de Labé.</p> <p>2. Validation du tracé optimisé</p> <p>a. Ajustement du tracé et de l'emplacement du poste de Labé.</p> <p><u>Produit</u> : tracé optimisé.</p>
--------------------------------------	---

A10.2.2 Contraintes et critères pris en compte

A10.2.2.1 Critères et contraintes en phase d'étude de faisabilité

A10.2.2.1.1 Considérations générales

Le choix des corridors a tenu compte des contraintes et considérations générales ci-après qui ont une incidence sur la faisabilité technique et environnementale du projet et les coûts de réalisation :

- être le plus court et le plus direct possible de façon à minimiser les coûts,
- éviter de traverser des zones problématiques, impliquant des solutions techniques non standard et plus coûteuses : large plan d'eau, montagnes, mangroves, etc.
- passer à l'écart des secteurs urbanisés,
- éviter de traverser des espaces protégés : parc, réserve naturelle, etc.
- éviter de traverser des espaces touristiques ou des sites panoramiques importants.

A10.2.2.1.2 Aptitude des terres pour l'implantation de pylônes

La notion d'aptitude des terres tient compte :

- de la nature et des propriétés géotechniques des formations géologiques de surface qui supporteront les pylônes : capacité portante, sensibilité à l'érosion, etc.
- de la topographie et morphologie générale du terrain : pente du terrain, dénivellation.
- des processus géomorphologiques actifs : zones sujettes à des mouvements de terrain (éboulis, glissement, etc.), zones inondables, zones d'ensablement, zones d'érosion des sols ou ravinement, etc.

L'aptitude des terres a été divisée en quatre classes : très bonne, bonne, mauvaise et très mauvaise.

Toutefois, l'évaluation précise de l'aptitude des terres est laissée à la charge de l'Entrepreneur adjudicataire du marché des travaux des lignes.

Le Tableau A10. 7 qui suit présente les caractéristiques de ces quatre classes d'aptitude des terres pour l'implantation des lignes d'interconnexion dans les zones à l'étude.

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A10 – Evacuation de l’Energie - Lignes Haute Tension

Tableau A10. 7 - Classes d’aptitude des terres pour l’implantation de la ligne d’interconnexion

Aptitude des terres	Caractéristiques générales
Très bonne	Zone plane ou légèrement ondulée sur des sols latéritiques, cuirasses ferrugineuses, affleurements rocheux ou autres de bonne capacité portante.
Bonne	Zone plane ou moyennement ondulée sur des sols sensibles à l’érosion ou de moins bonne capacité portante : dépôts de sables éoliens, argiles marines.
Mauvaise	<ul style="list-style-type: none"> • Zone de topographie accidentée avec forts dénivelés : escarpements, collines, ravins. • Zone de sols sujets à des mouvements de masse : talus d’éboulis, ou; • Zone exposée à des inondations; • Zone de marécage de grande étendue. •
Très mauvaise	Zone sur sols de faible capacité portante posant des difficultés techniques : argiles molles, sols des mangroves; Large plan d’eau

A10.2.2.1.3 Contraintes environnementales

En plus des contraintes et critères liés à l’aptitude des terres, le choix des corridors et des tracés durant l’étude de faisabilité a cherché à éviter le plus possible les éléments environnementaux sensibles à l’intérieur des zones à l’étude dont la liste est comme suit :

- Espace protégé par une loi
 - Parc national (actuel ou prévu)
 - Réserves (naturelles, de faune, ornithologique)
 - Forêts classées

- Espace forestier et végétation
 - Forêts et îlots forestiers
 - Plantations (pins, anacardiens, arbres fruitiers)
 - Forêts-galeries et cordons rupicoles
 - Mangrove
 - Autres écosystèmes humides
 - Espèces menacées et espèces d’intérêt social, économique, culturel et scientifique

- Espace faunique
 - Corridor de migration d’oiseaux et aires de rassemblement
 - Habitats fauniques reconnus
 - Espèces menacées

Les forêts classées contournées sont listées ci-dessous et représenté sur les plans KTB II 04 LE PT 011 A et 012 A :

- Au nord du village de Balabori (Guinée), les forêts de Dokoro, Bakoun, Boula, Sobory
- Au nord du village de Tounboundi (Mali), les forêts de Kouroufing, Wongo, forêt classé du Gombo

Le contournement de ces forêts classées contrarie la proposition de tracé le plus court et simple possible. Il conviendra au Maitre d'ouvrage de confirmer ou remettre en cause le contournement proposé de ces forêts.

A10.2.2.2 Critères et directives de localisation du tracé en avant-projet détaillé

Au début de l'étude d'avant-projet détaillé, le tracé de la ligne a été optimisé à l'intérieur du corridor de façon à minimiser les impacts sur l'environnement et à réduire les coûts de construction. Les principales directives qui ont été appliqués à cette étape d'optimisation sont :

- réduire le nombre de points d'angle,
- maintenir les types de supports au minimum,
- ajustement du tracé pour adopter des critères de conception le moins coûteux possible
- positionner les points d'angle aux endroits les plus propices.

A10.2.2.2.1 Tracé de la ligne Koukoutamba – Labé

La ligne à haute tension qui alimentera le poste de Labé à partir de l'aménagement hydro-électrique de Koukoutamba suit plus ou moins près la route RN27 selon une orientation générale Est-Ouest :

- le départ du poste de Koukoutamba se fait par l'Est,
- l'arrivée sur le poste de Labé se fait également par l'Est,
- l'orientation moyenne de la ligne est pratiquement Est-Ouest,
- l'altitude moyenne du terrain est de l'ordre de 816 m ; il est à noter que la ligne chemine sur les treize derniers kilomètres à plus de 1 000 mètres d'altitude (1 120m).
- la latitude moyenne (moyenne arithmétique des latitudes) est de 11 ° Nord,
- la Longueur totale de la ligne est d'environ 115 km,

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A10 – Evacuation de l’Energie - Lignes Haute Tension

- le tracé de la ligne est montré sur les cartes 1/200 000 ou 1/300 000 fournies en annexe,
- l'accessibilité à la ligne se fera au travers de pistes d’inspection à construire sur des terrains secs et arides,

La plupart des points d'angles se trouvent près de la route RN27 sinueuse, la ligne s’en éloigne dans ses tronçons rectilignes.

Statistiques de la ligne Koukoutamba – Labé

Le Tableau A10. 8 suivant donne la longueur des cantons et le nombre de pylônes d’angle / arrêt définis pour le tracé de la ligne entre le poste de Koukoutamba et le poste de Labé.

Tableau A10. 8 - Statistiques pour la ligne 225 kV Koukoutamba – Labé

AMENAGEMENT DE KOUKOUTAMBA													
LIGNE 225kV POSTE HT DE KOUKOUTAMBA - POSTE HT DE LABE													
POINTS D'ANGLE ET DISTANCES													
Point d'angle	Angle de ligne (degrés)*		Location	Altitude (m)	Latitude NORD	Longitude OUEST	Distance cumulée (km)	Distance point-à-point (km)	Pylône anti-cascade	Remarques	Orientation générale des cantons de ligne (azimut)		
P0	0	Portique	Poste de Koukoutamba	471	11°16'7" N	11°22'42" W		0.0					
P1	59	DWA60	Arrêt de ligne	473	11° 16' 5" N	11° 22' 40" W	0	0.1		2T	P0	P1	128 °
P2	61	DWA70		552	11° 16' 12" N	11° 22' 19" W	1	0.7		2T	P1	P2	69 °
P3	46	DWA60	Balabori	631	11° 17' 13" N	11° 22' 10" W	3	1.9		2T	P2	P3	8 °
P4	30	DWA60	Peteguate	868	11° 20' 29" N	11° 26' 59" W	13	10.6	2	2T	P3	P4	54 °
P5	7	DA		830	11° 21' 3" N	11° 34' 2" W	26	12.9	2	2T	P4	P5	84 °
P6	9	DA	Loukoudein	768	11° 21' 22" N	11° 35' 37" W	29	2.9		2T	P5	P6	77 °
P7	3	DA	Arrêt / Fin du 2ème circuit	692	11° 21' 32" N	11° 36' 4" W	30	0.9		1T	P6	P7	68 °
P8	31	WA60		870	11° 23' 2" N	11° 40' 50" W	39	9.1	2	1T	P7	P8	71 °
P9	29	WA30	Kenian	841	11° 22' 9" N	11° 44' 37" W	46	7.1	1	1T	P8	P9	102 °
P10	36	WA60	Diolda	740	11° 20' 41" N	11° 46' 18" W	50	4.1	1	1T	P9	P10	131 °
P11	6	A		690	11° 19' 19" N	11° 58' 49" W	73	22.9	4	1T	P10	P11	95 °
P12	11	WA30		808	11° 19' 22" N	12° 8' 19" W	90	17.3	3	1T	P11	P12	89 °
P13	23	WA30		863	11° 19' 40" N	12° 9' 52" W	93	2.9		1T	P12	P13	78 °
P14	60	WA70		1003	11° 18' 39" N	12° 14' 30" W	102	8.6	1	1T	P13	P14	101 °
P15	41	WA60	Périphérie de Labé	1019	11° 17' 41" N	12° 14' 49" W	104	1.9		1T	P14	P15	161 °
P16	35	WA60	Périphérie de Labé	1083	11° 16' 47" N	12° 16' 18" W	107	3.2		1T	P15	P16	120 °
P17	5	A	Périphérie de Labé / Bendekhouré	1051	11° 16' 56" N	12° 18' 28" W	111	4.0		1T	P16	P17	85 °
P18	1	LE	Périphérie de Labé	1038	11° 16' 52" N	12° 20' 54" W	115	4.5	1	1T	P17	P18	90 °
LAB_KK		Portique	Poste HT de Labé	1037	11° 16' 52" N	12° 20' 57" W	115	0.1		1T	P18	LAB_KK	89 °
				Altitude moyenne	816 m			Longueur totale de ligne		115 km			
								<i>Longueur de ligne double terme</i>		30 km			
								<i>Longueur de ligne simple terme</i>		85 km			
								Nbr. De pylônes anti-cascade		17			

* = valeur estimée

Il est à noter que sur les treize derniers km, la ligne chemine à une altitude supérieure à 1 000m.

A10.2.2.2.1 *Tracé de la ligne Koukoutamba – Manantali*

La ligne à haute tension qui alimentera le poste de Manantali à partir de l'aménagement hydro-électrique de Koukoutamba suit de plus ou moins près la route RN27 selon une orientation générale Est-Ouest pendant quelques kilomètres en parallèle à la ligne Koukoutamba-Labé.

Le départ du poste de Koukoutamba se fait par l'Est ; l'approche à l'aménagement de Manantali se fait par le Sud . L'orientation moyenne de la ligne est pratiquement Sud-Nord Est.

L'altitude moyenne du tracé de la ligne est de l'ordre de 443 m. La latitude moyenne (moyenne arithmétique des latitudes) est de 11,6 ° Nord.

La Longueur totale de la ligne est d'environ 280 km.

Le tracé de la ligne est montré sur la carte 1/200 000 fournie en annexe.

L'accessibilité à la ligne se fera au travers de pistes d'inspection à construire sur des terrains secs et arides. La plupart des points d'angles devraient être accessibles à partir des chemins de brousse, la ligne s'en éloigne dans ses tronçons rectilignes.

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A10 – Evacuation de l’Energie - Lignes Haute Tension

Statistiques de la ligne Koukoutamba – Manantali

Le Tableau A10. 9 suivant donne la longueur des cantons et le nombre de pylônes d’angle / arrêt définis pour le tracé de la ligne entre le poste de Koukoutamba et le poste de Manantali.

Tableau A10. 9 - Statistiques pour la ligne 225 kV Koukoutamba - Manantali

AMENAGEMENT DE KOUKOUTAMBA													
LIGNE 225kV			POSTE HT DE KOUKOUTAMBA				POSTE HT DE MANANTALI						
POINTS D'ANGLE ET DISTANCES													
Point d'angle	Angle de ligne (degrés)*		Location	Altitude (m)	Latitude NORD	Longitude OUEST	Distance cumulée (km)	Distance point-à-point (km)	Pylône anti-cascade	Remarques	Orientation générale des cantons de ligne (azimut)		
P0	0		POSTE HT DE KOUKOUTAMBA	467	11°16'7" N	11°22'42" W		-					
P1	59	DWA60	Arrêt de ligne	469	11° 16' 5" N	11° 22' 40" W	0	0.10		2T	P0	P1	128 °
P2	61	DWA70		551	11° 16' 12" N	11° 22' 19" W	1	0.66		2T	P1	P2	69 °
P3	46	DWA60	Balabori	635	11° 17' 13" N	11° 22' 10" W	3	1.87		2T	P2	P3	8 °
P4	30	DWA60	Peteguete	871	11° 20' 29" N	11° 26' 59" W	13	10.63	2	2T	P3	P4	54 °
P5	7	DA		833	11° 21' 3" N	11° 34' 2" W	26	12.89	2	2T	P4	P5	84 °
P6	9	DA	Loukoudein	766	11° 21' 22" N	11° 35' 37" W	29	2.93		2T	P5	P6	77 °
P7	65	DWA70	Arrêt / Fin du double terme	693	11° 21' 32" N	11° 36' 4" W	30	0.87		1T	P6	P7	68 °
P8	0	LE	Arrêt de ligne	689	11° 21' 39" N	11° 36' 4" W	30	0.20		1T	P7	P8	3 °
P9	24	WA30	Kenian	691	11° 22' 24" N	11° 36' 8" W	32	1.38		1T	P8	P9	3 °
P10	10	WA30	Diolda	696	11° 26' 8" N	11° 34' 13" W	39	7.74	1	1T	P9	P10	27 °
P11	1	T		701	11° 30' 26" N	11° 32' 54" W	48	8.28	1	1T	P10	P11	17 °
P12	16	WA30		761	11° 35' 35" N	11° 34' 40" W	58	10.01	2	1T	P11	P12	18 °
P13	38	WA60		595	11° 37' 1" N	11° 34' 37" W	60	2.67		1T	P12	P13	2 °
P14	19	WA30		549	11° 39' 13" N	11° 32' 44" W	66	5.29	1	1T	P13	P14	40 °
P15	21	WA30		550	11° 41' 26" N	11° 31' 53" W	70	4.38		1T	P14	P15	21 °
P16	54	WA60		462	11° 43' 45" N	11° 31' 55" W	74	4.27		1T	P15	P16	0 °
P17	7	A		434	11° 45' 0" N	11° 30' 8" W	78	3.99		1T	P16	P17	54 °
P18	1	T		348	11° 58' 10" N	11° 15' 43" W	114	35.70	7	1T	P17	P18	47 °
P19	28	WA30		290	12° 0' 53" N	11° 12' 49" W	121	7.25	1	1T	P18	P19	46 °
P20	32	WA60		287	12° 1' 29" N	11° 10' 39" W	125	4.10		1T	P19	P20	74 °
P21	8	A		362	12° 4' 56" N	11° 7' 26" W	134	8.63	1	1T	P20	P21	42 °
P22	17	WA30		196	12° 7' 48" N	11° 3' 59" W	142	8.20	1	1T	P21	P22	50 °
P23	0	LE	Arrêt / Frontière	172	12° 12' 49" N	11° 0' 40" W	153	11.03	2	1T	P22	P23	33 °
P24	0	LE	Arrêt / Frontière	180	12° 12' 59" N	11° 0' 34" W	153	0.37		1T	P23	P24	33 °
P25	3	T		219	12° 23' 12" N	10° 53' 49" W	176	22.46	4	1T	P24	P25	33 °
P26	20	WA30	Kouroubodala	267	12° 37' 47" N	10° 45' 10" W	207	31.10	6	1T	P25	P26	30 °
P27	15	WA30		264	12° 39' 13" N	10° 43' 23" W	211	4.19		1T	P26	P27	50 °
P28	3	T		248	12° 44' 42" N	10° 39' 26" W	224	12.37	2	1T	P27	P28	35 °
P29	23	WA30		411	12° 57' 0" N	10° 31' 37" W	250	26.74	5	1T	P28	P29	32 °
P30	12	WA30		437	12° 59' 38" N	10° 31' 11" W	255	4.90		1T	P29	P30	9 °
P31	3	T		367	13° 7' 9" N	10° 28' 10" W	270	14.92	3	1T	P30	P31	21 °
P32	6	A		241	13° 10' 39" N	10° 26' 34" W	277	7.08	1	1T	P31	P32	24 °
P33	52	WA60		165	13° 11' 54" N	10° 26' 9" W	280	2.41		1T	P32	P33	18 °
P34	31	WA60		166	13° 11' 56" N	10° 26' 2" W	280	0.21		1T	P33	P34	70 °
P35	20	WA30		169	13° 11' 55" N	10° 25' 55" W	280	0.24		1T	P34	P35	101 °
MAN_KK			Portique intérieur au poste HT de Manantali	170	13° 11' 33" N	10° 25' 54" W	280	0.05		1T	P35	MAN_KK	121 °
				Altitude moyenne	442 m		Longueur totale de ligne		280 km				
									Nbr. De pylônes anti-cascade		42		

* = valeur estimée

A10.3 RÉPARTITION DES SUPPORTS

A10.3.1 Généralités

La répartition des supports est prévue pour satisfaire les critères ci-après:

- pour les pylônes de suspension, le rapport des portées adjacentes n'est pas plus grand que 1,5 : 1,0;
- pour les pylônes d'ancrage, le rapport des portées équivalentes adjacentes ne doit pas être plus grand que 2,0 : 1,0;
- relation portée vent/portée poids n'est pas supérieure à la relation maximale spécifiée;
- ni le pylône ni les fondations ne sont sollicités au-delà de leurs charges de conception (quel que soit l'utilisation du support, soit en alignement, soit pour couvrir un petit angle de déviation);

A10.3.2 Portée équivalente (portée courante)

La portée équivalente d'une section de ligne comprise entre deux structures avec chaînes d'arrêt est une portée simple fictive qui se comporte de façon similaire à la section complète en regard à ces variations de tension sur l'effet de variation de température ou de surcharge. La portée équivalente est déterminée par la relation suivante :

$$Ar = \sqrt{\left(\frac{\sum A_n^3}{\sum A_n}\right)}$$

où

Ar : longueur de la portée équivalente

An : longueur des portées individuelles (n = 1, 2, ...n)

A10.3.3 Dégagements électriques

Les dégagements électriques à respecter lors de la répartition des supports sont tels qu’indiqués au tableau suivant :

Tableau A10. 10 - Dégagements électriques

Désignation	Dégagement minimal en mètres
Routes et terrains non normalement accessibles aux véhicules routiers	7,50
Terrains agricoles	7,50
Routes et terrains normalement accessibles aux véhicules routiers	8,50
Voies ferrées	10,0
Tout mur, bâtiment ou autre construction accessible à toute personne	5,5
Toute ligne de télécommunications et de transport d’énergie électrique	3,00
Traversée de fleuve	20,0
Traversée des autres cours d’eau	10,0

Ces dégagements pourront faire l’objet de modifications du maitre de d’ouvrage.

A10.3.4 Portées caractéristiques

Chaque type de pylône est caractérisé par un ensemble de portées appelées "portées caractéristiques" dont les valeurs interviennent non seulement dans le calcul des distances entre phases, distances à la masse, hauteur par rapport au sol, mais également dans le calcul des efforts agissant sur les structures.

Ces portées caractéristiques sont :

- la portée normale : La portée normale est la distance horizontale la plus économique séparant deux pylônes consécutifs. Elle est à la base de la détermination de la hauteur du point d'attache au-dessus du sol du conducteur le plus bas. Elle conditionne donc principalement la hauteur normale du support.
- la portée maximum : la portée maximum est la distance horizontale maximum pouvant séparer deux pylônes consécutifs. Elle est à la base de la détermination des dimensions caractéristiques de l'armement du support et principalement des distances entre câbles conducteur et de garde.
- la portée vent : elle sert principalement à déterminer l'effort horizontal agissant sur la structure du pylône au niveau du point d'accrochage d'une chaîne de suspension ou des chaînes d'ancrage.

Pour les supports d'ancrage, la portée vent est la distance sur laquelle le vent est censé agir perpendiculairement au câble. Elle est égale à la moyenne arithmétique des portées adjacentes d'un support.

Pour les pylônes de suspension, elle peut être indépendante ou fonction de l'angle de déflexion de la ligne.

Lorsqu'elle est définie indépendamment de l'angle de déflexion de la ligne, elle est égale à la moyenne des portées adjacentes pour un angle de déflexion (α) égal à 0.

Lorsqu'elle est définie en tenant compte de l'angle de déflexion de la ligne, elle est variable en fonction de l'angle (α) suivant la relation ci-dessous :

$$P_v = P_v(\alpha = 0) - 2 \cdot \frac{T \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{c \cdot q \cdot d}$$

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A10 – Evacuation de l'Energie - Lignes Haute Tension

Compte tenu des angles du tracé, il est recommandé de retenir la deuxième définition de la portée vent.

la portée poids : La portée poids est la distance horizontale séparant les points où les tangentes aux chaînettes représentant les conducteurs de deux portées adjacentes sont horizontales.

La portée poids représente donc, exprimée en mètres de câble, l'effort vertical que les câbles de deux portées adjacentes appliquent à l'extrémité de la console à laquelle ils sont fixés.

La portée poids intervient dans le calcul statique des structures mais est surtout utilisée en corrélation avec la portée vent pour estimer l'angle de balancement des chaînes de suspension perpendiculairement à la ligne sous l'action du vent.

Tableau A10. 11 - Portées caractéristiques des supports retenus

TYPES DE SUPPORTS	ANGLE MAXI	PORTEES CARACTERISTIQUES [m](*)			
	degrés	normale	maximum	Vent (P.V.)	Poids (P.P)
T	Inférieur à 3°	400	520	560	590
A	de 3° à 10°	400	520	560	590
WA30	de 10° à 30°	400	520	560	590
WA60	de 30° à 60°	400	520	560	590
LE	100	-	-	-	-
TR	3	400	520	560	590

NOTE :

(*) les valeurs indiquées doivent faire l'objet d'une vérification ainsi que d'une confirmation par le constructeur

A10.4 FONDATION

A10.4.1 Charges de conception

Les fondations sont prévues pour reprendre les charges maximales transmises par les pylônes. Les charges limites s'obtiennent en multipliant les charges de service par les facteurs de sécurité sur les chargements donnés au Tableau A5.1-1.

Les cas de chargement critiques pour les fondations sont vérifiés, particulièrement les cas suivants :

cas de tension ou arrachement maximal dans l'axe des jambes des pylônes;

cas de compression maximale dans l'axe des jambes des pylônes;

cas d'efforts horizontaux ou de cisaillement maximal à la hauteur et/ou au-dessous du niveau du terrain.

Les fondations sont prévues en tenant compte des charges propres à chaque cas de chargement ainsi que des critères énoncés aux paragraphes suivants.

A10.4.2 Facteurs de sécurité

Tableau A10. 12 - Facteur de sécurité

Cas de charge de service	Acier de charpente	Capacité portante	Soulèvement	Stabilité
Vent maximum	1,1	1,5	1,25	1,5
Délestage longitudinal	1,1	1,5	1,25	1,5
Bris d'un câble	1,0	1,5	1,25	1,5
Montage et entretien	2,2	2,2	2,2	2,2
Charge continue	s/o	3,0	2,0	2,0

A10.4.3 Facteurs de sécurité

Les facteurs de sécurité contre l'arrachement et le renversement des fondations sont égaux à 1,0.

A10.4.4 Autres critères généraux

Pour chaque site de pylône le type de fondation est sélectionné en fonction de la reconnaissance des sols qui seront effectuée pendant les études d’exécution et à l’issue du balisage du tracé.

Les fondations seront dimensionnée éventuellement en tenant compte ou de la présence de l’eau et ce en utilisant, entre autres, les densités déjàugées du sol, et des matériaux.

Les dimensions des cornières d’encastrement (embases) sont au moins égales à celles des membrures principales du pylône auxquelles elles sont reliées.

A10.4.5 Diversité requise pour les fondations

La diversité des fondations susceptible d’être rencontrée couvre la gamme des sols définie au tableau ci-dessous.

Tableau A10. 13 - Description des sols

Classe de sol	Description de sol/roc	
A	Latérites, Argiles et silts mous	Sable très lâche
B	Latérites, Argiles et silts fermes	Sable lâche
C	Latérites, Argiles et silts raides	Sables compacts
	Silts sableux, sable silteux et sables argileux compacts et enduré	Sables et graviers compacts
	Cuirasse latéritiques très compact	
D	Silts sableux, sables silteux et sables argileux durs (sol latérite)	Phosphate de chaux, argiles feuilletées, grès tendre, dolomie
E	Roc : quartzite, schiste métamorphique, grauwacke, roches éruptives	

A10.4.6 Types de fondations spécifiées

En solution de base, les types de fondation spécifiés, selon la classe de sol présentés au Tableau A10. 13, sont ceux définis dans le Tableau A10. 14

Les fondations types à considérer sont celles montrés sur la figure Figure A10. 9.

Tableau A10. 14 - Choix du type de fondation

Zone	Description	Type de fondation
Zones inondables	Une zone est considérée inondable dans le cas où il y a au moins une inondation pendant les 10 dernières années. Dans ces zones, le grillage en acier n'est pas acceptable, sauf avec la dalle enrobée en béton.	- Béton ou -Grillage enrobé en béton
Zones avec sols corrosifs :	Une zone est considérée corrosive dans le cas où la concentration de sulfate ou chlorure est supérieure à : -0,1 % dans le sol; -150 PPM dans la nappe phréatique.	-Béton -Caissons en béton -Pieux préfabriqués (usine) en béton - Tube d'acier avec béton
Traversées des grands plans d'eau	Pour les pylônes de suspension et les pylônes d'ancrage adjacents.	-Béton -Pieux ou caissons en béton ou acier-béton

Avant-Projet Détaillé
 Chapitre A10 – Evacuation de l’Energie - Lignes Haute Tension

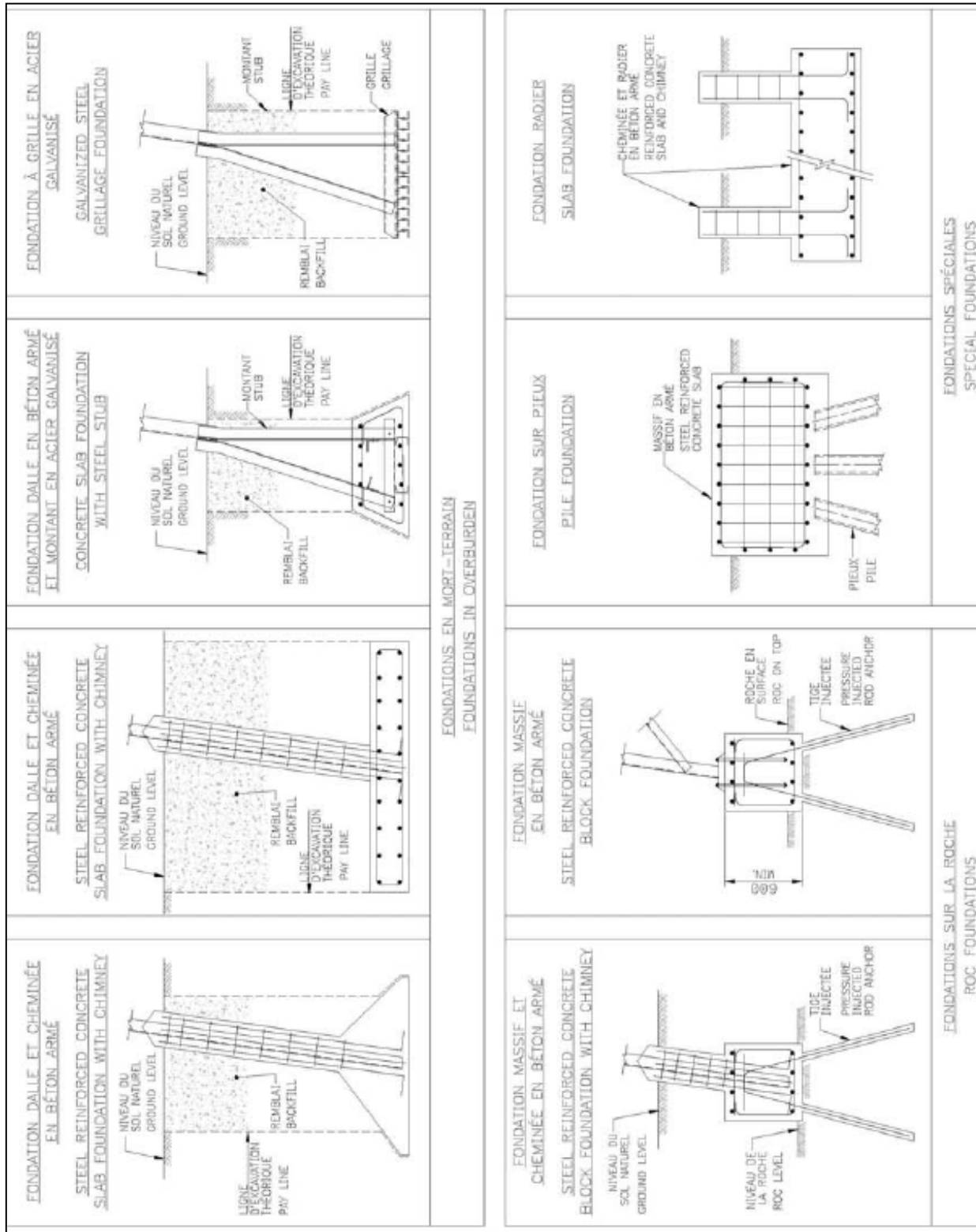


Figure A10. 9 - Fondations

A10.4.7 Critères de conception et méthodes de calcul

A10.4.7.1 Généralités

Les fondations doivent être prévues suivant les critères et les méthodes décrites dans la norme NF EN 2007 – Calcul géotechnique pour leur aspect stabilité et la norme NF EN 1992 – calcul des structure en béton pour les aspect structurel.

Les paramètres géotechnique pris en compte pour la conception des fondations sont donnés dans les Tableau A10. 15 et Tableau A10. 16. Naturellement ceux-ci sont donné à titre indicatif et devront être confirmés lors des reconnaissances géotechniques ;

Tableau A10. 15 – Caractéristiques de conception des sols de fondations

Type de sol	Capacité portante admissible nette (kPa)	Poids (1) volumique γ (kg/m ³)		Angle de soulèvement (1) (deg.)		Type de fondation
		Sol sec	Sol submergé	Fondations sans redan	Fondations (3) avec redan	
A	< 50	1600	1000	0°	--	Spéciale
B	≥ 50	1600	1000	10°	15°	Pieux ou dalle, béton/grillage (4)
C	≥ 100	1800	1000	20°	25°	Béton/grillage (4)
D	≥ 400	1900	1000	20° (2)	30°	Béton/grillage (4)
E	≥ 1000	2300	--	45° 30°	Sain Fracturé	Roc

(1) Dans une zone inondable, le poids volumique des sols est de 1 000 kg/m³ et l'angle de soulèvement doit être réduit de 5°.

(2) Pour fondation en béton coulé directement contre les parois du sol non remanié; sinon il faut utiliser un angle de 10°.

(3) Lorsqu'il y a un redan, la résistance à l'arrachement du cône de sol est égale à 1,5 fois son poids calculé avec l'angle donné. Ceci est valable pour les sols ayant de la cohésion comme, par exemple, les argiles et silts fermes ou les sables silteux durs. La fondation avec redan n'est pas considérée pour les fondations composées seulement d'une grille métallique ou en béton avec grille métallique.

Empattement en béton ou grille métallique ou une combinaison des deux.

Tableau A10. 16 – Caractéristiques des matériaux pour la conception des fondations

Description	Unité	Valeur
Poids volumique du béton	kN/m ³	22,0
Résistance min. du béton en compression à 28 jours	MPa	25,0

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A10 – Evacuation de l'Energie - Lignes Haute Tension

Limite élastique de l'acier d'armature	MPa	500,0
Limite élastique min. des profilés d'acier	MPa	275,0
Adhérence de l'acier galvanisé au béton	MPa	1,0
Adhérence de l'acier non galvanisé au béton	MPa	1,25
Adhérence des barres d'acier crénelées au béton	MPa	2,35

A10.5 PYLÔNES

A10.5.1 Description générale

Les supports sont constitués d'une charpente rigide à treillis en acier entièrement galvanisé à chaud.

La géométrie et les dimensions générales des pylônes d'alignement s'inspireront de la Figure A10. 2 et Figure A10. 3. Toutes les dimensions y figurant, ainsi que les distances sont des minimums.

Les faces opposées des pylônes sont identiques. En bas du niveau de la console inférieure, les quatre faces du pylône sont identiques.

Ces figures sont fournies à titre indicatif seulement et devront être confirmées lors des études d'exécution.

Les connexions sont réalisées à l'aide de boulons, écrous et rondelles de blocage.

Chaque type de pylône doit être conçu pour que la hauteur du pylône puisse être augmentée en utilisant des tronçons de rallonge ou des rallonges de pieds. Les rallonges de pieds doivent être compatibles et pouvoir s'adapter au fût standard du pylône ou aux tronçons de rallonge.

Des rallonges de pieds individuelles (dissymétriques) doivent être utilisées pour s'adapter aux variations de la topographie du terrain. Les rallonges de pieds individuelles doivent être interchangeables quelle que soit la combinaison et doivent être compatibles et pouvoir être connectées directement au fût standard du pylône et aux tronçons de rallonge.

Les espacements minimaux entre les conducteurs et/ou les câbles de garde doivent être tels qu'indiqués sur les dessins.

La silhouette du pylône doit permettre de respecter la distance minimale des conducteurs à la structure de support. On tiendra compte du trajet des conducteurs et des bretelles de continuité pour vérifier ces dégagements.

Toutes les normes mentionnées font référence à la dernière édition.

A10.5.2 Types et utilisations des pylônes (famille des pylônes)

La conception des autres types de pylônes, angles et arrêt, des familles monoterne et biterne s'inspirera de la géométrie des pylônes d'alignement.

A10.5.2.1 Dimensionnement

Les barres d'aciers constituant la structure métallique du pylône sont prévus pour être dimensionnées selon les règles de la norme européenne NF EN 1993 – Calcul des structures en acier.

A10.5.2.2 Épaisseur et section minimale

Les matériaux galvanisés seront, avant galvanisation, d'épaisseurs égales ou supérieures aux valeurs suivantes :

- membrures principales, tirants des consoles et éléments de fondations enfouis dans le sol : 5 mm;
- goussets : 6 mm;
- toute autre membrure : 3 mm.

A10.5.3 Matériaux

A10.5.3.1 Acier de charpente

Les classes d'acier utilisées pour les membrures des pylônes et les fondations à grille métallique sont des aciers laminés de qualité conforme à la Norme européenne EN 10025 ou similaire pour les nuances d'acier S 275 à S 355 JR et JO respectivement.

CONDITIONS IMPOSÉES:

LES MEMBRURES SECONDAIRES DOIVENT ÊTRE CONÇUES POUR RÉSISTER À UNE CONTRAINTE DE 2,5% DE LA CHARGE DE LA MEMBRURE EN COMPRESSION QU'ELLES SUPPORTENT.

2,5% DE LA CHARGE DANS LA PATTE = X

CHARGE DE CONCEPTION POUR MEMBRURE SECONDAIRE ① = $X \cdot \frac{b}{a} = P$

CHARGE DE CONCEPTION POUR MEMBRURE SECONDAIRE ② = $P \cdot \frac{c}{b}$

CHARGE DE CONCEPTION POUR MEMBRURE SECONDAIRE ③ = $X \cdot \frac{b'}{a'} = P'$

CHARGE DE CONCEPTION POUR MEMBRURE SECONDAIRE ④ = $P' \cdot \frac{c'}{b'}$

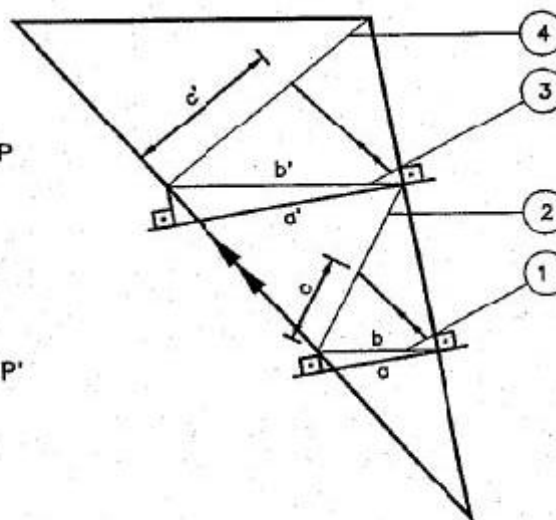


Figure A10. 10 - Conditions imposées des membrures

A10.5.3.2 Connexions

Les connexions sont boulonnées. Les boulons et écrous sont à tête hexagonale de type 150 métriques.

Les boulons des pylônes et fondations de même diamètre sont de même classe d'acier. Le diamètre minimal sera de 12 mm (1/2").

La distance au bord des connexions boulonnées ne doit pas être inférieure à 1,5 fois le diamètre spécifié des boulons.

A10.5.4 Ceinture anti-escalade

Les pylônes sont garnis à une hauteur comprise entre 3 et 6 m du sol d'une ceinture de défenses comportant une rangée de pointes dirigées vers l'intérieur et vers l'extérieur du pylône d'au moins 0,20 m de longueur et fixées de telle sorte que l'escalade du pylône soit rendue difficile sans moyens spéciaux.

Si nécessaire, cette ceinture sera complétée par des défenses fixées sur les bancs de contreventement situées éventuellement dans le même plan.

La ceinture anti-escalade doit être pourvue d'une porte d'accès localisée près du montant pourvus de boulons échelons. La porte doit être pourvue de charnières et d'un système de verrouillage constitué de boulon, écrou et rondelle de blocage.

Concevoir la ceinture anti-escalade de façon à pouvoir l'adapter sans problème à toutes les combinaisons de montage des pylônes quel que soit le type de tronçon de rallonge ou rallonge de pieds utilisé.

A10.6 CONDUCTEURS ET CÂBLES DE GARDE

A10.6.1 Caractéristiques de base du conducteur des lignes monoternes et biternes

Chaque phase est composée d'un faisceau de deux (2) conducteurs, en alliage d'aluminium ASTER 570, espacé horizontalement de 460 mm.

Tableau A10. 17 - Caractéristiques du conducteur Aster 570

Conducteur	ASTER 570 mm ²
Nombre de conducteurs par phase :	2
Type :	AAAC
Section totale aluminium :	570,22 mm ²
Diamètre extérieur du câble :	31,05 mm
Nombre de fils x section élémentaire	61 x 3.45
Résistance ultime à la traction :	18 533 daN
Masse linéique :	1 576 kg/m
Température d'utilisation :	de 10 °C à 75 °C
Coefficient de dilatation	$23 \times 10^{-6}/K$
Module l'élasticité (E) GPa : -Final GPa :	54 000 MPa
Résistance électrique (en courant continu) à + 20°C:	0,0585 ohm/km

Le faisceau de deux conducteurs est maintenu écarté par des entretoises de type « rigide » ou de type « amortisseur ».

Le câble de garde à fibres optiques incorporées est dimensionné avec douze (12) fibres optiques monomodes dont la longueur d'onde est de 1 550 nm.

À titre indicatif, les caractéristiques du câble de garde à fibres optiques incorporées sont données aux Tableau A10. 18 et Tableau A10. 19

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A10 – Evacuation de l'Energie - Lignes Haute Tension

Tableau A10. 18 - Caractéristiques du câble de garde ACSR de type PHLOX

Diamètre nominal	12,6 mm
Section aluminium	51,95 mm ²
Section acier	42,12 mm ²
Section totale	94.1 mm ²
Poids	0,486 kg/m
Formation	15 alu x 2,10 mm 19 acier x 1,68 mm
Résistance à +20 °C/km	0,642 Ω/km
Module d'élasticité	11600 daN/mm ²
Coefficient de dilatation par °C	14,7 x 10 ⁻⁶ /°C
Charge de rupture (UTS)	8035 daN
Tension maximale (tous les jours)	20 % UTS
Tension maximale d'opération	65 % UTS
Température (tous les jours)	27 °C

Tableau A10. 19 - Caractéristiques du câble de garde CGFO (conforme aux normes CEI)

Diamètre total	12,6 mm
Section alliage aluminium	64 mm ²
Section Acs fils	25 mm ²
Poids	0,367 kg/m
Résistance à +20 °C/km	0,455 Ω/km
Module d'élasticité	86,5 kN/mm ²
Coefficient de dilatation par °C	17,7 x 10 ⁻⁶ /°C
Charge de rupture (UTS)	49,5 kN
Tension maximale (tous les jours)	20 % UTS
Tension maximale d'opération	65 % UTS
Température d'entreposage	-40 / +85 °C
Température d'installation	-10 / +50 °C
Température (tous les jours)	27 °C
Nombre de fibres	12
Type de fibres	Monomode (1550 nm)

A10.6.2 Liaisons avec fibres optiques

A10.6.2.1 Répéteurs

Afin de respecter les atténuations préconisées, des répéteurs sont prévus tous les 80/90 km afin d'amplifier le signal optique.

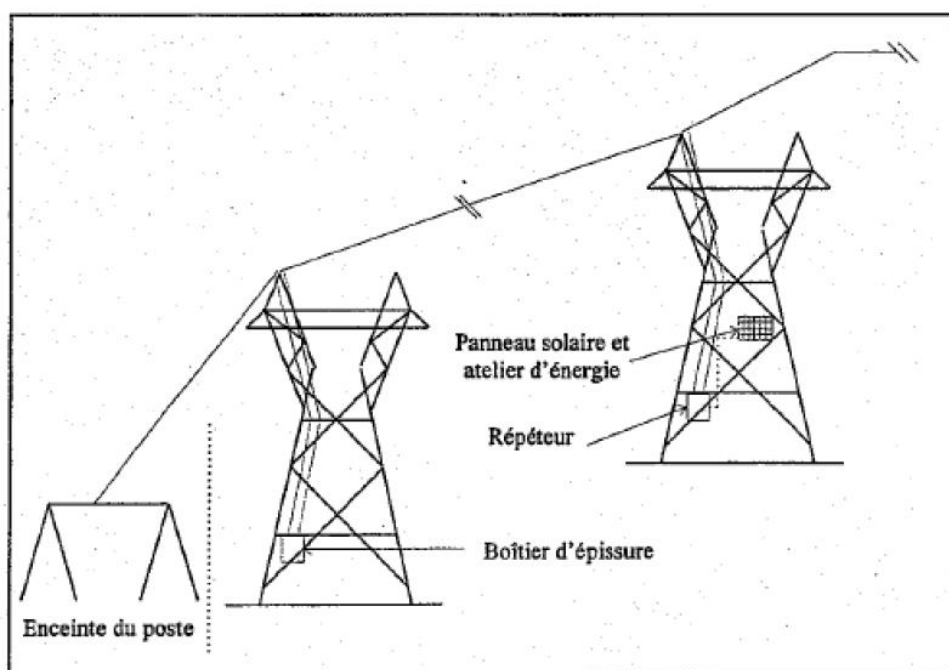


Figure A10. 11 - Schéma d'installation des répéteurs

A10.6.2.2 Épissures

Des épissures sont réalisées sur les fibres optiques au niveau des pylônes (tous les 3 à 5 km). Ces épissures permettent de raccorder les fibres optiques provenant de tourets de câble différents.

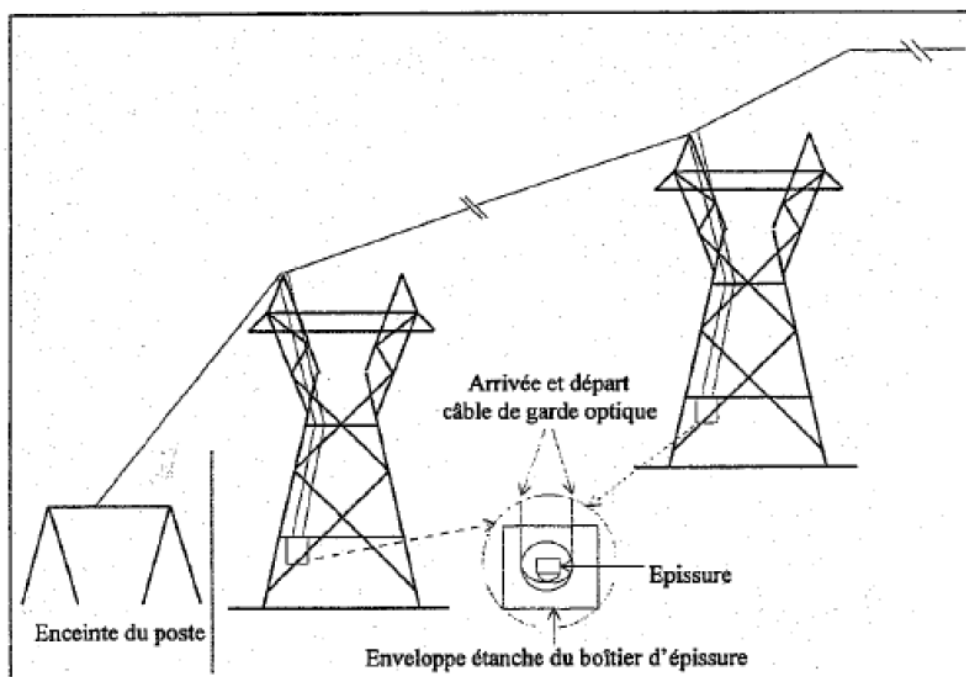


Figure A10. 12 - Schéma d'installation des épissures

A10.6.2.3 Atelier d'énergie pour répéteurs solaires

L'atelier d'énergie solaire est constitué d'un ensemble piles photovoltaïques, régulateur, batterie, tableau de distribution. La tension nominale d'utilisation sera de 48 V DC.

L'atelier d'énergie solaire sera installé sur les pylônes retenus pour installer les répéteurs optiques.

Il constituera sur ce site la source d'énergie électrique primaire non secourue; il sera dimensionné pour fournir, de façon permanente, la consommation des équipements répéteurs.

Les éléments de fixation des panneaux sont conçus pour supporter les contraintes liées à l'environnement :

- résistance à la corrosion,
- tenue aux vents extrêmes > 60 m/s.

A10.6.3 Conditions de service

Les températures de service, les pressions de vent et les tensions limites à considérer pour les câbles de garde et conducteurs.

Les tensions limites données ci-dessous sont en pourcentage de la résistance ultime à la traction des câbles.

	Sans vent		Vent max	
	Initiale à 10 °C	Finale à 27 °C	Finale à 27 °C	Pression de vent (kPa)
Conducteur (ACSR)	25 %	20 %	70 %	1,417
Câble de garde (CGFO)	25 %	20 %	65 %	1,470

La flèche du câble de garde ne devra pas être supérieure à 90 % de la flèche du conducteur dans les conditions journalières sans vent à 27 °C.

En régime permanent la température maximale de fonctionnement des conducteurs est limitée à 60 °C. En régime de surcharge temporaire, 20 minutes, cette température ne devra pas dépasser 75 °C.

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A10 – Evacuation de l'Energie - Lignes Haute Tension

A10.7 ISOLATEURS ET ACCESSOIRES

A10.7.1 Généralités

Les éléments ci-après sont prévus :

- Les chaînes d'isolateurs requises pour l'ancrage et la suspension des conducteurs. Les chaînes sont constituées avec des accessoires (ferrures) permettant l'entretien sous tension.
- Les chaînes d'ancrage des conducteurs incluant celles de raccordement aux structures des postes d'extrémités sont pourvues d'un tendeur à lanterne.
- Les manchons d'ancrage des câbles sont de type à compression.
- Tous les autres accessoires et matériels de lignes nécessaires telles que les manchons de jonction et de réparation, les amortisseurs de vibrations y compris ceux nécessaires pour le CGFO et les entretoises ou les entretoises amortisseurs des conducteurs, de même que toutes les pinces et raccords nécessaires pour la mise à la terre du câble de garde du type ACSR.
- Toutes les chaînes d'isolateurs, de suspension et d'ancrage, avec dispositif d'amorçage à chaque extrémité de la chaîne (corne-raquette).

Avant-Projet Détaillé
 Chapitre A10 – Evacuation de l’Energie - Lignes Haute Tension

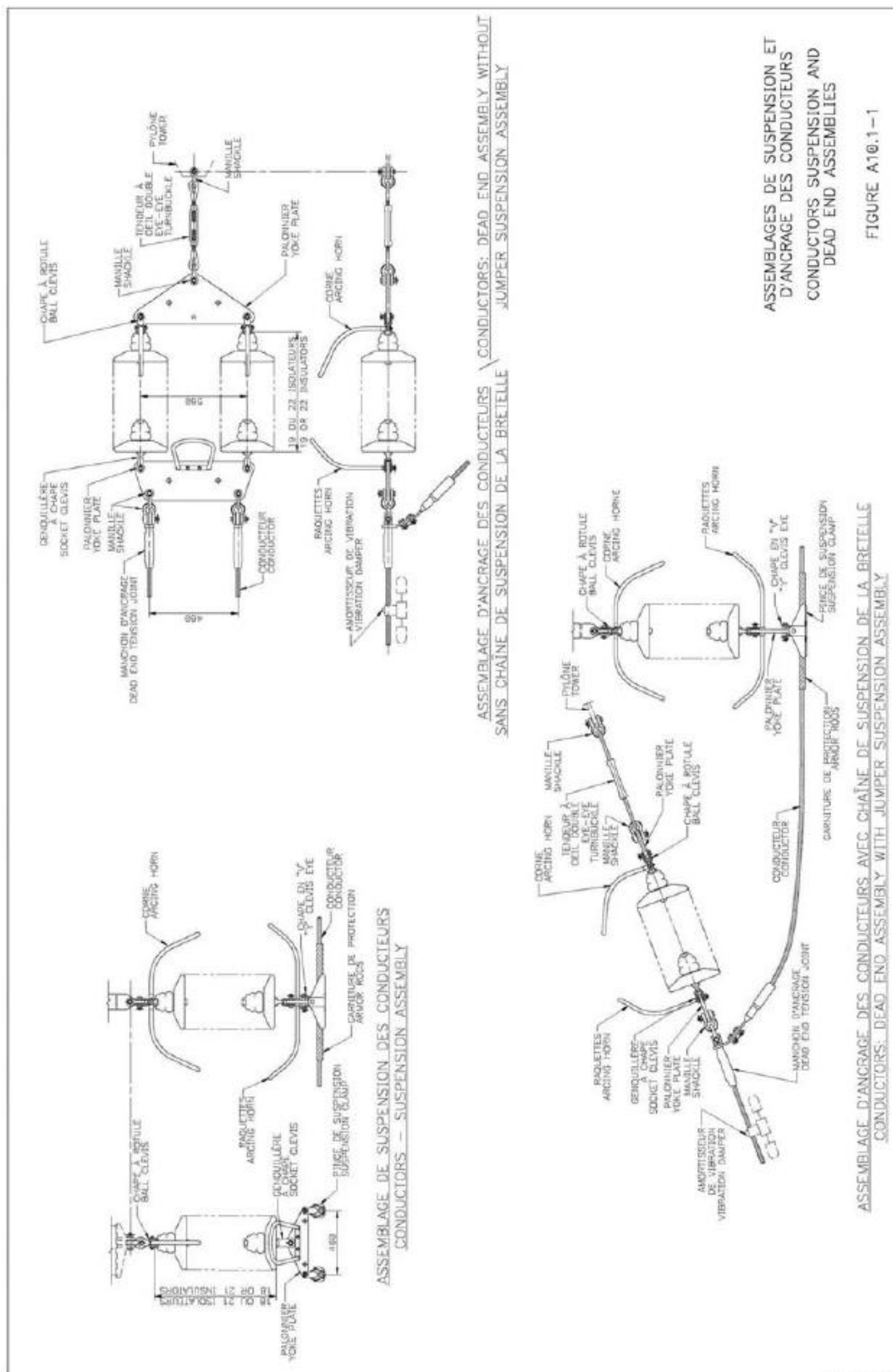


Figure A10. 13 - Assemblage de suspension et d'ancrage des conducteurs

A10.7.2 Isolateurs

Les isolateurs sont de type capot et tige, aérodynamique en verre trempé. Il sont à rotule et logement de rotule sans nervure (profil ouvert) avec un pas de 130 mm, un diamètre de 380 mm, une ligne de fuite minimum de 350 mm et une résistance électromécanique de 120 kN pour les chaînes d'ancrage et de suspension. Tous les isolateurs sont munis d'une bague anticorrosion en zinc et d'une goupille en acier inoxydable.

A10.7.3 Chaînes d'isolateurs

En zone interne, les chaînes de suspension ont 18 isolateurs par chaîne en I. Les chaînes d'ancrage doivent avoir 2 files de 19 isolateurs par chaîne.

En zone côtière, les chaînes de suspension ont 21 isolateurs par chaîne en I. Les chaînes d'ancrage doivent avoir 2 files de 22 isolateurs par chaîne.

Pour les cas où l'entrée des conducteurs aux portiques des postes doit se faire suivant un angle d'arrivée vers le sol (due à une grande différence de niveau entre les points d'attache aux pylônes terminaux et ceux aux portiques des postes) on doit pouvoir installer les chaînes de façon inversée (c'est-à-dire avec les capots d'isolateurs face au conducteur).

A10.7.4 Accessoires pour l'attache des câbles

Les critères de conception des ferrures sont les suivantes :

- Possibilité d'entretien sous tension.
- l'augmentation de température, lorsque énergisée, n'est pas supérieure à celle du conducteur.
- la surface d'appui entre les ferrures de liaison de même que le fini de surface des ferrures ne sont pas susceptibles de causer des concentrations d'efforts ou effluves couronne indues.
- Les pièces devant assurer une bonne liaison électrique ont des surfaces de contact adéquates, et être prévues de façon à minimiser toute forme de corrosion éventuelle, d'usure excessive et prématurée ou toute action préjudiciable causée par des métaux diélectriquement incompatibles.

A10.7.4.1 Pincés de suspension

La résistance minimale des pincés mises à l'essai en suspension est au moins égale à celle des isolateurs.

Avant-Projet Détaillé
Chapitre A10 – Evacuation de l'Energie - Lignes Haute Tension

Les pinces sont prévues pour tenir les charges différentielles longitudinales de service du câble (conducteur et câbles de garde) tout en assurant une charge de glissement inférieure à la capacité nominale du câble.

Les pinces de suspension des conducteurs et du câble de garde « ACSR » sont à brides de serrage et les parties directement en contact avec les câbles sont en alliage d'aluminium.

Les pinces sont prévues pour permettre toute liberté d'oscillation dans le plan vertical, autour d'un axe transversal à la direction de la ligne. La pince du câble de garde est pourvue d'une triple articulation permettant une liberté d'oscillation maximale.

Le rayon de courbure de la partie inférieure des pinces doit être de dimension suffisante pour assurer au câble un angle de sortie non-inférieur à l'angle maximal de service du câble correspondant. Les rayons de courbures enveloppant le câble en fond de gorge doivent être au moins égaux à celui du câble suspendu.

La pince de suspension du câble de garde « ACSR » est prévue pour assurer ou permettre une bonne liaison électrique du câble de garde au pylône pour fin de mise à la terre du câble de garde.

L'usage de garniture de protection fait de fils torsadés (Armor Rods) est requis aux assemblages de suspension des câbles de garde et des conducteurs.

A10.7.4.2 Dispositifs d'amorçage

Un dispositif d'amorçage sera fixé à chaque extrémité des chaînes. Cette protection ou pièces de garde sera orienté pour donner une direction prédéterminée à l'arc, en dehors de la chaîne d'isolateurs. Les pièces de garde sont constituées, côté masse, par des cornes et côté conducteur, par des raquettes ou des anneaux ouverts métalliques.

La conception doit être faite pour réduire de façon la plus raisonnable possible les dommages aux conducteurs, pinces, assemblage de l'isolateur, cornes de garde, et cela sous toutes conditions. La résistance mécanique des raquettes à l'extrémité sous tension doit être suffisante pour résister à un poids de 1 000 Newtons appliqué à l'extrémité.

A10.7.4.3 Ancrage et jonction

Les manchons pour le câble de garde de type « ACSR » sont composés d'un manchon en acier et d'un manchon en alliage d'aluminium, du type à compression. Les manchons doivent être fournis avec un composé de remplissage approprié.

Les manchons d'ancrage et de jonction doivent résister à 95 % de la résistance nominale en tension du câble sans rupture du manchon ou du câble et sans glissement du câble dans la partie comprimée du manchon.

Les manchons d'ancrage sont prévus pour faciliter le raccordement des bretelles de continuité électrique des câbles.

Les plages de raccordement électrique des manchons d'ancrage et du manchon de raccordement des bretelles de continuité électriques doivent être temporairement protégées par l'application en usine d'un produit approprié, tel qu'une pellicule de plastique ou autre.

A10.7.4.4 Amortisseurs de vibration

Le nombre d'amortisseurs par portée est au moins égale à :

- deux amortisseurs par conducteur et par portée de longueur jusqu'à 370 m;
- quatre amortisseurs par conducteur et par portée de longueur entre 370 m et 670 m;
- six amortisseurs par conducteur et par portée de longueur plus grande que 670 m.

A10.8 EMPRISES

A10.8.1 Généralités

En zone de savane ou en zone très peu boisée, la largeur de l'emprise pour les lignes monoterne et biterne à 225 kV est de 40 m (voir figure ci-après). Cette valeur est compatible avec la pratique généralement admise en Afrique de l'Ouest.

En zone boisée, après répartition des pylônes et si cela est requis, la largeur de l'emprise sera ajustée afin de minimiser l'abattage des arbres tout en assurant un dégagement sécuritaire qui soit compatible avec les exigences d'installation et d'entretien.

A10.8.2 Chemin d'accès

La construction d'un chemin d'accès carrossable utilisable pour la construction de la ligne et plus tard pour la surveillance, l'inspection et l'entretien est prévue là où les accès existants sont insuffisants. Le chemin d'accès aura une largeur de 3,0 m (voir figure ci-après).

Avant-Projet Détaillé
 Chapitre A10 – Evacuation de l’Energie - Lignes Haute Tension

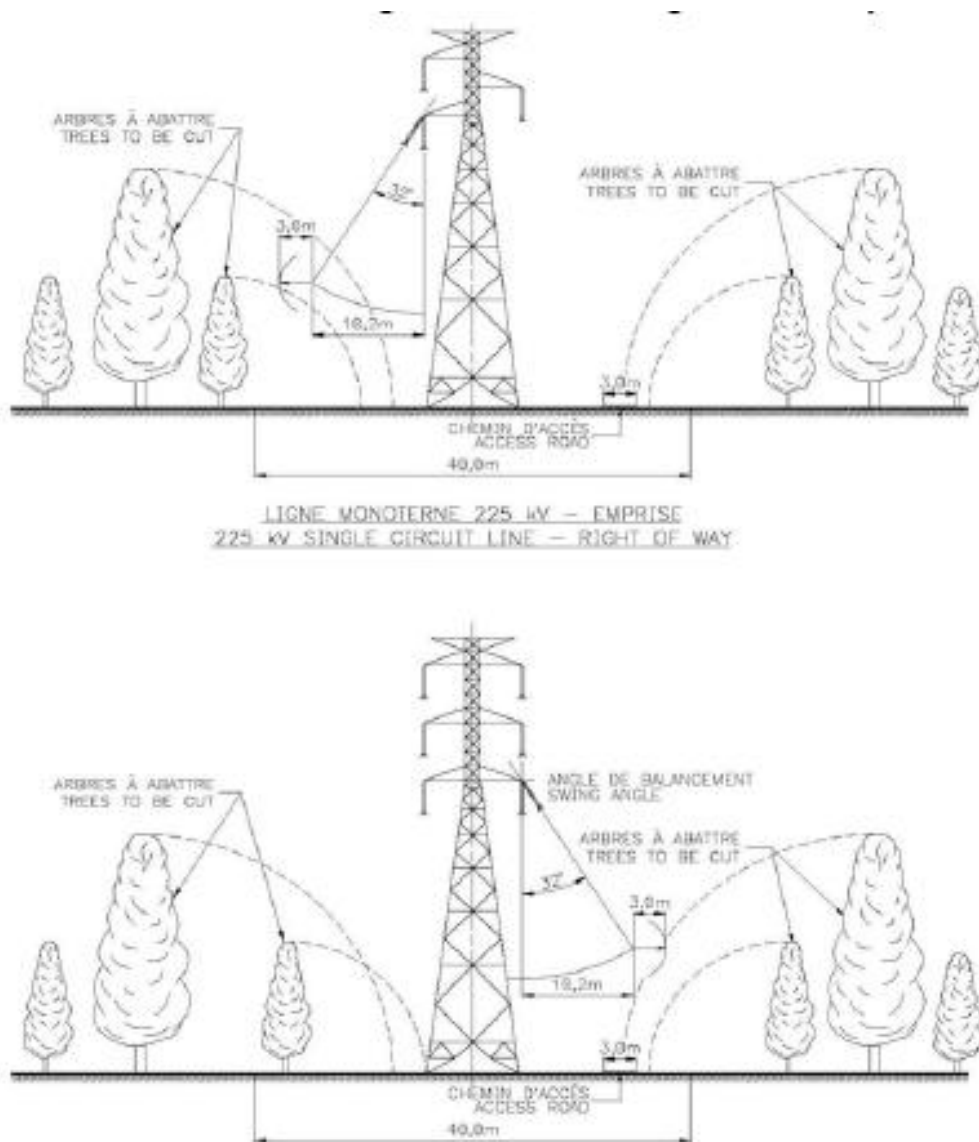


Figure A10. 14 - Largeur des emprises

SOMMAIRE DU CHAPITRE 11

A11.1 AVANT PROPOS	3
A11.2 OPTIMISATION DE LA PRODUCTION HYDROELECTRIQUE	3
A11.2.1 Rappel sur la production hydroélectrique	3
A11.2.2 Niveaux d'exploitation	5
A11.2.3 Organes d'exploitation	6
A11.2.4 Régulation des niveaux d'eau	6
A11.2.5 Gestion du niveau d'eau dans la retenue	7
A11.3 GESTION COORDONNEE AVEC LE BARRAGE AVAL DE MANANTALI	8
A11.4 PREMIER REMPLISSAGE DU RESERVOIR	9

LISTE DES FIGURES :

Figure A11.1 : Apports mensuels moyen à Koukoutamba	4
Figure A11.2 : Loi Hauteur Surface Volume du réservoir	5
Figure A11.3 : Distribution des volumes annuels calculés à partir des apports reconstitués entre 1951 et 2008.....	8
Figure A11.4 : Apports mensuels moyens naturels et influencés à l'entrée de Manantali (hm ³ /mois) ...	9
Figure A11.5 : Simulation de remplissage du réservoir	11

LISTE DES TABLEAUX :

Néant

CHAPITRE A11

MANUEL DE GESTION DE LA RETENUE

A11.1 AVANT PROPOS

L'aménagement de Koukoutamba est un ouvrage qui a pour vocation la production d'énergie hydraulique. Il n'y a pas différents usages de l'eau en concurrence et l'opération de l'aménagement doit être réalisée pour maximiser d'abord la production d'énergie primaire (énergie garantie) et ensuite l'énergie secondaire.

Par ailleurs, cet aménagement est situé en amont du barrage de Manantali. La simulation de la production d'énergie de l'aménagement de Koukoutamba a montré que son exploitation a un effet globalement positif sur l'exploitation de Manantali. Le laminage de la retenue de Koukoutamba permet de stocker des apports qui étaient précédemment déversés sur le barrage de Manantali sans être turbinés. Ceux-ci sont ensuite restitués pendant la saison sèche, augmentant ainsi l'énergie garantie de ce dernier.

Le présent manuel donne des indications générales nécessaires à la rédaction en fin de construction, des consignes d'exploitation permettant d'une part d'optimiser la production d'énergie, et d'autre part de faire bénéficier Manantali de la régulation des apports.

Ce document ne se substitue pas aux Consignes d'exploitation qui doivent faire partie des documents finaux, transmis par l'Entrepreneur en fin de construction de l'ouvrage.

A11.2 OPTIMISATION DE LA PRODUCTION HYDROELECTRIQUE

A11.2.1 Rappel sur la production hydroélectrique

La puissance hydroélectrique dépend directement de deux facteurs : le débit turbiné, et la hauteur de la chute. A niveau d'eau équivalent, l'énergie produite augmente lorsque le débit augmente. De même, à débit constant, la puissance est plus élevée lorsque la chute est plus importante.

Pour optimiser la production hydroélectrique, il convient d'abord de différencier l'énergie primaire de l'énergie secondaire.

Avant-Projet détaillé
Chapitre A11 – Manuel de Gestion de la Retenue

La puissance que l'aménagement est capable de fournir à tout moment s'appelle la puissance garantie. Pour tenir compte des incertitudes de l'hydrologie et des différences pouvant avoir lieu d'une année sur l'autre, il est accepté un taux de défaillance de 5% sur cette puissance garantie. L'énergie correspondant à cette puissance garantie s'appelle l'énergie primaire. Bien entendu, cette puissance garantie est un minimum, généralement atteint pendant la saison sèche. En saison des pluies, les apports sont plus importants et par conséquent la puissance disponible l'est également. L'énergie produite en supplément de l'énergie primaire s'appelle énergie secondaire.

Les règles de gestions données ci-après permettent de maximiser l'énergie primaire, c'est-à-dire la puissance garantie. Cet optimum ne correspond pas nécessairement à la maximisation de l'énergie totale.

L'optimisation de l'énergie primaire sous-entend de moyenniser sur l'année les réserves en eau. Celles-ci proviennent d'une part des apports, et d'autre part de la capacité utile du réservoir. L'hydrologie sur le site de Koukoutamba est fortement marquée par une saison des pluies de juillet à novembre et une saison sèche de décembre à juin. En moyenne, les apports en saison des pluies sont supérieurs à dix fois ceux de la saison de la saison sèche, qui sont pratiquement nuls (cf. figure a11.1).

On comprend aisément que si on turbine trop rapidement le volume d'eau stocké dans la retenue, à la fin de la saison sèche seuls les apports entrant dans la retenue seront disponibles, ce qui correspond à une puissance très faible. Il est donc important de se conformer aux consignes d'exploitation qui définissent la vitesse maximale à laquelle peut être vidé la retenue afin d'éviter de se retrouver dans cette configuration.

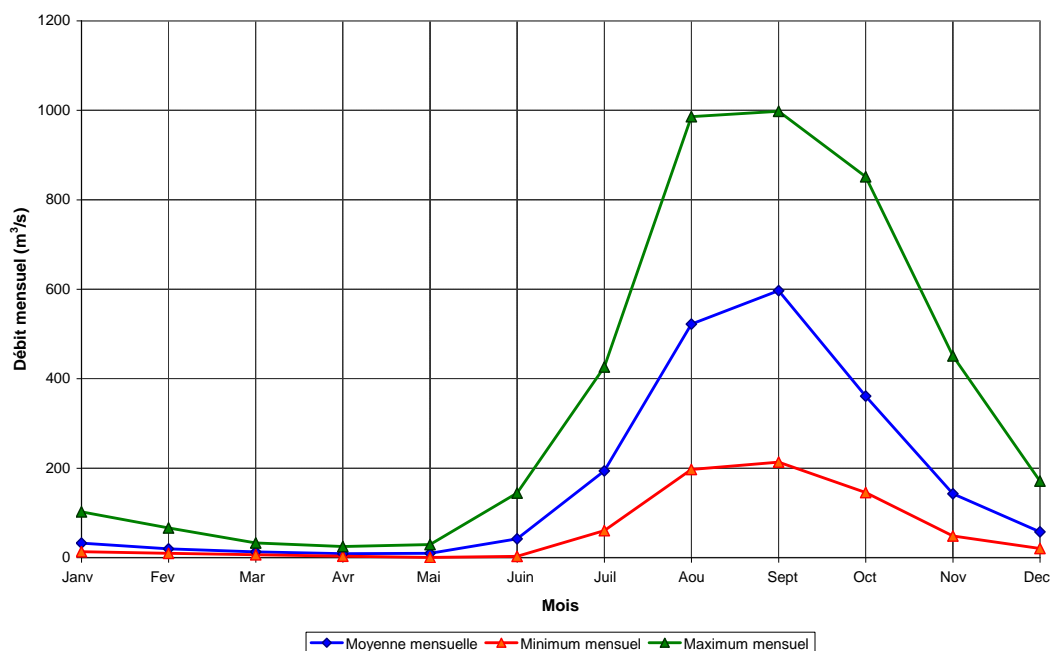


Figure A11.1 : Apports mensuels moyen à Koukoutamba

A11.2.2 Niveaux d'exploitation

La retenue du Koukoutamba sera exploitée entre les cotes 510 et 545, soit une chute comprise entre 50 et 85 mètres.

Le Niveau Minimal d'Exploitation à 510 assure une capacité utile du réservoir de 4000 hm³, soit environ 95% du volume total du réservoir à la fin de la construction. Le volume correspondant au Niveau Minimal d'Exploitation de 221 hm³ englobe également le volume mort estimé à 7,5 hm³ correspondant à 50 ans de transport solide (cf. figure a11.2). Lorsque le niveau d'eau atteint la cote 510, l'usine doit être arrêtée, ou la production réduite et limitée aux apports entrant dans la retenue.

La cote de Retenue normale est à 545. Elle correspond au niveau du seuil de l'évacuateur de crue (seuil libre) sur la partie en BCR du barrage.

Lors de crue, le niveau d'eau dans la retenue peut monter jusqu'à la cote 545,40 (cote des Plus Hautes Eaux). La gestion des crues ne nécessite aucune action de la part des opérateurs pour gérer l'évacuateur de crue, hormis le renforcement de la surveillance des ouvrages bien évidemment nécessaire lors d'évènement exceptionnel.

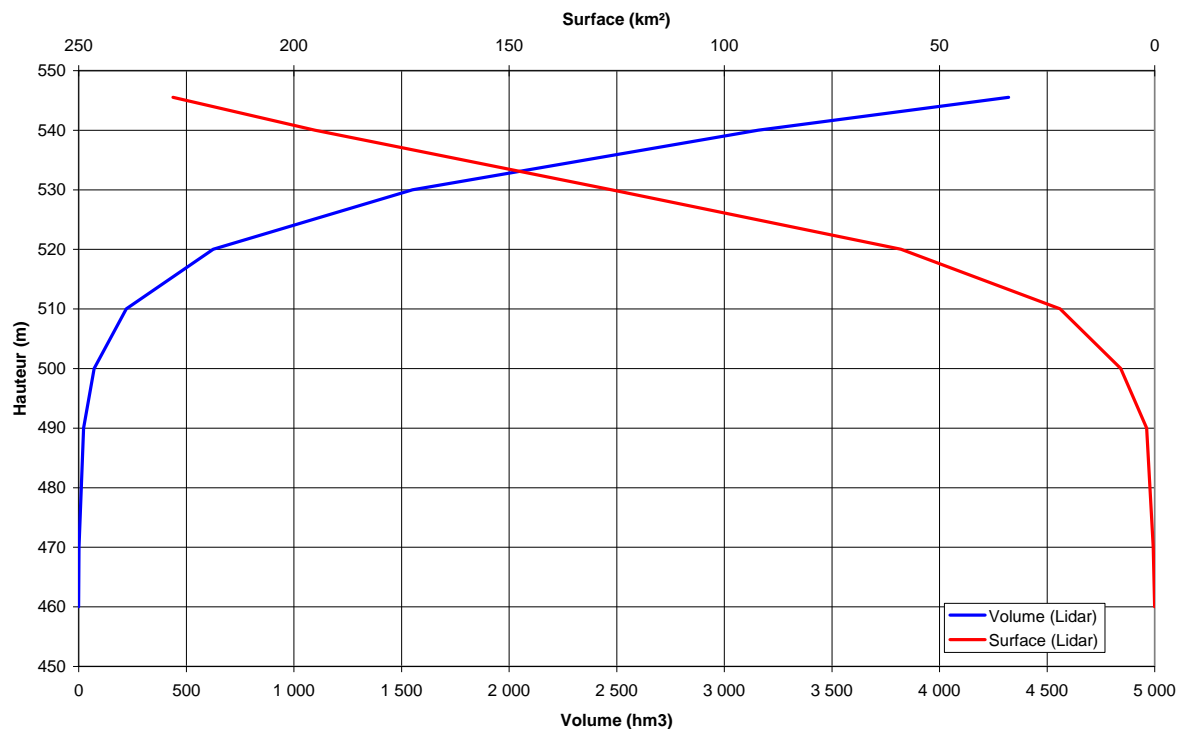


Figure A11.2 : Loi Hauteur Surface Volume du réservoir

A11.2.3 Organes d'exploitation

L'aménagement de Koukoutamba comporte les organes d'exploitation suivants :

Organe	Réglage	Débit Maximum (sous RN)	Commentaires
Restitution RD	2 vannes secteur 2,5m (large) x 3m (hauteur)	245 m ³ /s	Régulation des débits à restituer
	Vanne de garde	-	Vanne de sécurité. Coupe le débit en cas de problème sur la canne de régulation
Evacuateur	Seuil libre Creager	1 100 m ³ /s sous PHE	Pas d'intervention humaine
Prise d'eau (incorporée dans le barrage)	Vanne de garde	-	Vanne de sécurité. Coupe le débit en cas de problème sur le chemin d'eau aval
	Batardeau	-	Permet la maintenance de la vanne de garde. Ne permet pas de couper le débit
	Grille	-	Retiens les embâcles
	Dégrilleur	-	Nettoie la grille lorsque les pertes de charges sont trop importantes.

A11.2.4 Régulation des niveaux d'eau

La régulation du niveau d'eau est assurée par :

- i. L'ouvrage de restitution pour contrôler les débits relâchés à l'aval.
- ii. L'évacuateur de crue, situé dans le bloc central en béton, constitué d'un seuil libre (Creager) déversant de 120 mètres de longueur. Les débits sont déversés automatiquement sans action nécessaire de la part des opérateurs. La loi de débit de l'évacuateur est donnée en annexe 5.
- iii. Le niveau de la retenue est ensuite contrôlé par l'opération de l'usine. Des consignes de fonctionnement sont données ci-après.

A11.2.5 Gestion du niveau d'eau dans la retenue

L'aménagement de Koukoutamba est prévu pour assurer une puissance garantie de 81 MW. Cette puissance garantie repose sur des simulations du réservoir avec les apports reconstitués entre janvier 1951 et juin 2008.

Cette puissance garantie impose néanmoins une gestion intelligente du réservoir afin d'assurer une régulation des apports : stocker les apports de la saison des pluies pour les restituer lors de la saison des pluies. En effet si la retenue est vidée trop tôt (niveau à 510), l'usine devra être arrêtée.

La gestion de la demande en période de déficit en eau nécessite de déterminer un ordre de priorité entre les usages lorsqu'il y en a plusieurs. Pour la régularisation de Koukoutamba seul, aucun ordre de priorité n'est à définir puisque seule la production d'énergie est considérée (l'usine étant en pied de barrage, le débit réservé est également turbiné). Néanmoins, pour supprimer les effets négatifs de Koukoutamba sur Manantali, les priorités suivantes doivent être respectées dans l'usage de l'eau :

- 1) **Débit réservé.** Un débit réservé de 10 m³/s, correspondant au débit réservé de Manantali doit être pris en compte. L'usine étant située en pied du barrage, ces débits réservés peuvent être turbinés et sont pris en compte dans la production d'énergie primaire. En cas d'arrêt de l'usine, l'ouvrage de restitution prendra le relais.
- 2) **Production d'électricité primaire.** Les débits turbinés correspondent à une puissance de 81 MW. (sauf si le niveau de réservoir atteint la cote 510, auquel cas il faudra arrêter la production). Cette énergie est garantie 95% du temps.
- 3) **Remplissage du réservoir.** Lorsque l'énergie primaire est assurée et que la cote du réservoir est inférieure au niveau RN, les apports excédentaires sont stockés dans le réservoir (remplissage). Ce cas intervient essentiellement pendant la saison des pluies.
- 4) **Production d'énergie secondaire.** Lorsque la retenue est pleine, les débits excédentaires peuvent être turbinés.
- 5) **Evacuateur de crue.** Lorsque les débits turbinés correspondent aux débits d'équipement, l'eau excédentaire est évacuée par l'évacuateur de crue.

La répartition des volumes d'eau qui produisent l'énergie primaire, secondaire et sont déversés est rappelée à titre d'information par la figure a11.3.

Avant-Projet détaillé
Chapitre A11 – Manuel de Gestion de la Retenue

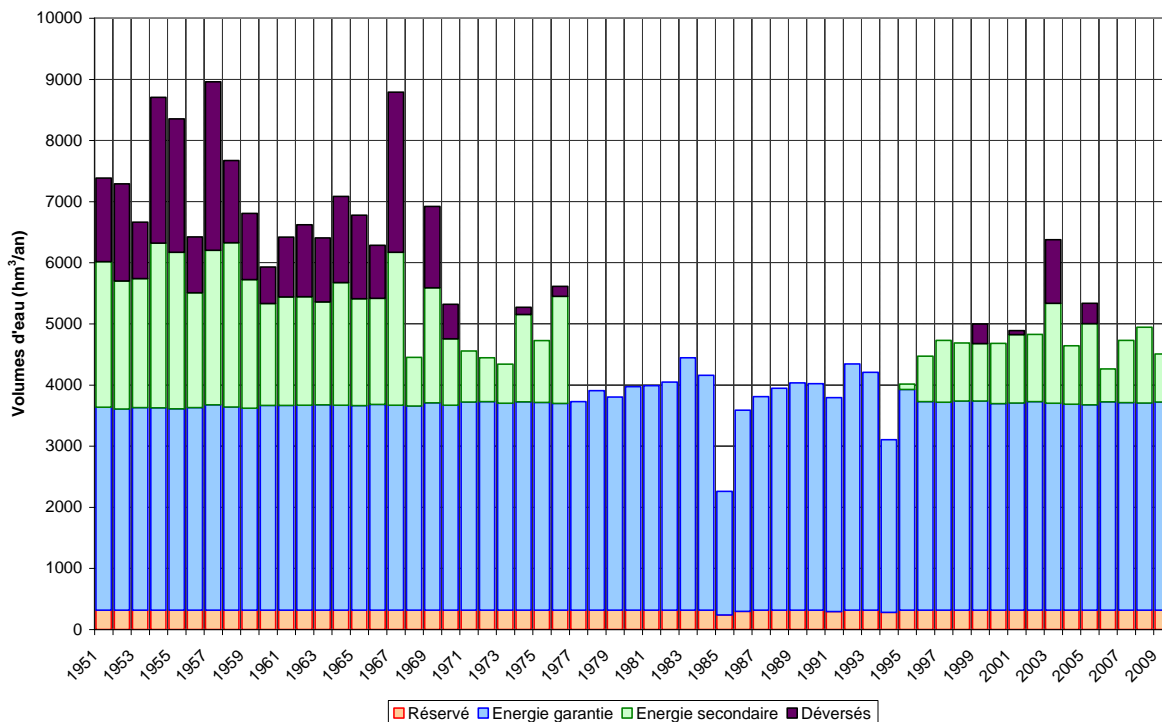


Figure A11.3 : Distribution des volumes annuels calculés à partir des apports reconstitués entre 1951 et 2008

A11.3 GESTION COORDONNEE AVEC LE BARRAGE AVAL DE MANANTALI

L'aménagement de Koukoutamba se situe en amont de Manantali.

Les apports moyens mensuels arrivant à Manantali avec et sans Koukoutamba sont présentés à la figure a11.4. Sans aménagement en amont de Manantali, seulement 9 % des apports arrivent à ce barrage pendant la saison sèche (de décembre à juin). En gestion coordonnées avec Koukoutamba, les apports influencés arrivant à Manantali pendant la saison sèche passent à 25 % des apports totaux annuels : les apports influencés sont plus forts en saison sèche (de décembre à juin), ce qui réduit la sévérité des étiages à Manantali, et plus faibles en saison humide (de juillet à octobre). Ces différences traduisent bien l'effet de la régularisation des débits par l'ouvrage amont : stockage d'eau dans le réservoir de Koukoutamba pendant l'hivernage, et turbinage d'un volume constant en saison sèche pour la production d'énergie.

Avant-Projet détaillé
Chapitre A11 – Manuel de Gestion de la Retenue

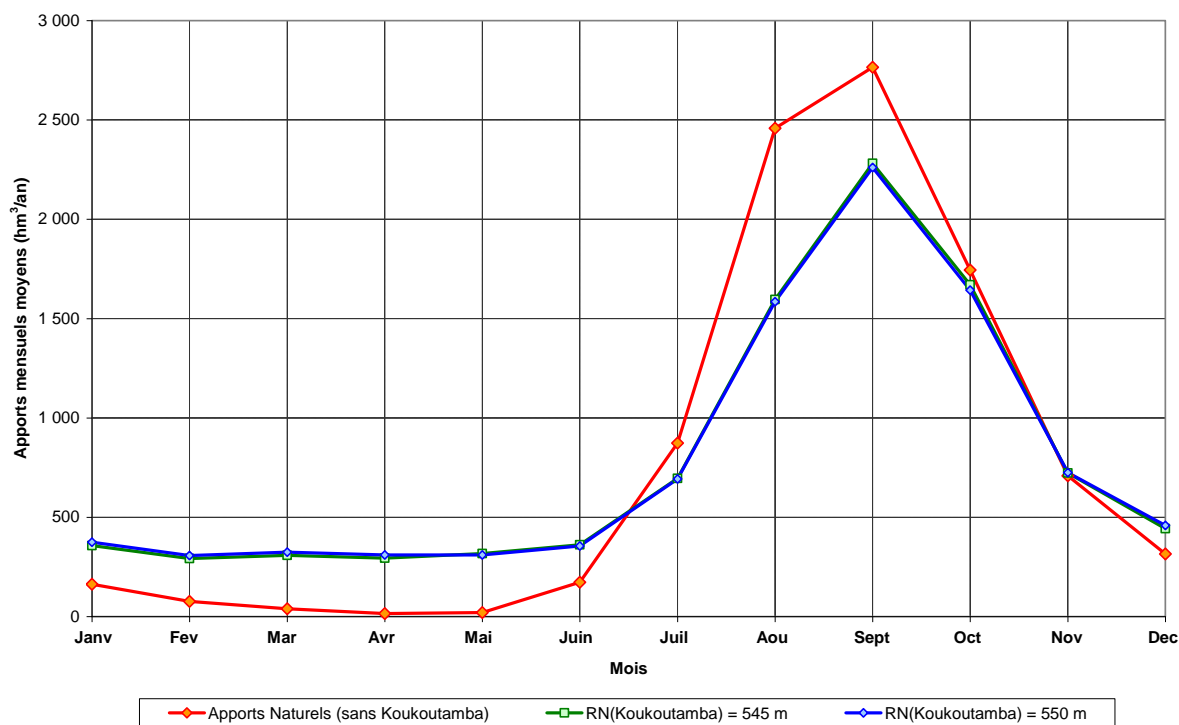


Figure A11.4 : Apports mensuels moyens naturels et influencés à l'entrée de Manantali (hm³/mois)

L'effet régulateur de Koukoutamba a donc un effet bénéfique sur Manantali, en augmentant les apports pendant la saison sèche, la plus critique, et en les diminuant pendant la saison des pluies, ce qui réduit les déversements (figure a11.4).

En fonctionnement normal de Koukoutamba, la production de l'énergie garantie permet la restitution d'un débit réduisant l'influence de la saison sèche de Manantali. En cas d'arrêt de production, il conviendrait de restituer un débit équivalent afin de bénéficier de la régularisation des apports sur Manantali.

A11.4 PREMIER REMPLISSAGE DU RESERVOIR

Le premier remplissage d'un barrage constitue toujours un évènement particulier.

Il doit être réalisé de manière coordonnée et réserver le débit nécessaire aux activités aval. Il marque également le début des opérations de surveillance et d'auscultation du barrage. L'ensemble du dispositif devra être installé et opérationnel. Il est d'usage de marquer quelques paliers de remplissage, à niveau constant pour surveiller les dérives des mesures effectuées sur le barrage (déplacements, niveaux piézométriques, débits...).

Avant-Projet détaillé
Chapitre A11 – Manuel de Gestion de la Retenue

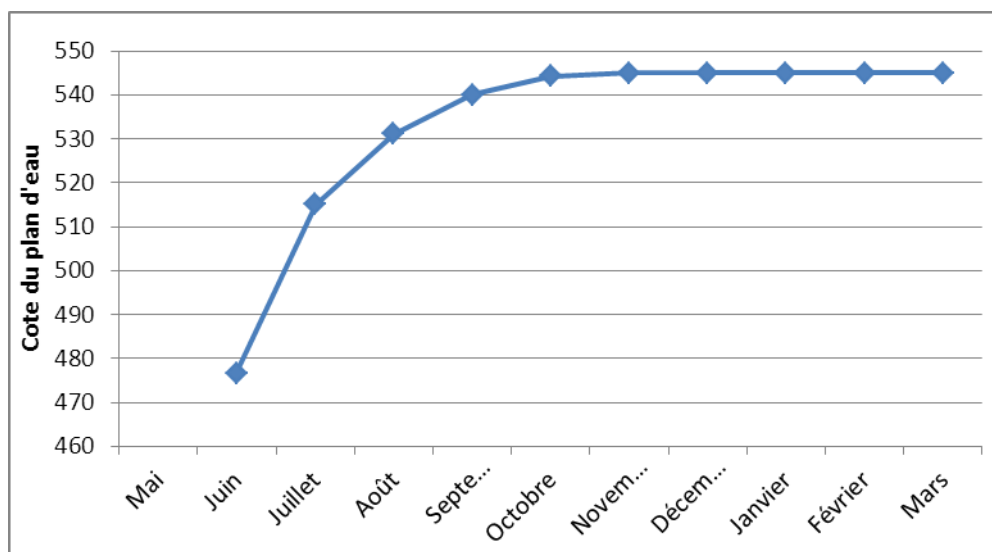
Le volume du réservoir est estimé à 4 300 hm³ pour des apports moyens annuels de 5 000 hm³, essentiellement concentré pendant la saison de pluies.

Mois	Apports (hm ³)
Janvier	87
Février	48
Mars	35
Avril	23
Mai	26
Juin	109
Juillet	519
Août	1 398
Septembre	1 547
Octobre	967
Novembre	370
Décembre	154
Total	5 064

Les apports pendant la saison sèche deviennent presque nul. Le remplissage ne pourra donc avoir lieu que pendant la saison des pluies.

Les simulations de production d'énergie ont montré que l'aménagement de Koukoutamba avait un impact favorable sur la production d'électricité à Manantali. En opération normale, le débit minimal turbiné est d'environ 100 m³/s. Il est donc proposé au cours du remplissage, de garantir un tel débit réservé. Les vannes de l'ouvrage de restitution sera laissée à Guelle bée, jusqu'à ce que le débit restitué atteigne 100 m³/s, débit qui sera alors maintenu pendant tout le remplissage.

Une simulation de ce remplissage a été réalisée avec ces hypothèses. Les résultats sont présentés dans la figure ci-après.

Avant-Projet détaillé
Chapitre A11 – Manuel de Gestion de la Retenue**Figure A11.5 : Simulation de remplissage du réservoir**

Cette figure montre que le remplissage sera très rapide, sans pouvoir aménager de paliers de remplissage pendant la saison des pluies.

Néanmoins, le phasage des travaux prévoit de submerger une partie du BCR pendant la saison des pluies. La retenue sera donc partiellement remplie chaque année, entre juin et septembre. A défaut de palier de remplissage, il conviendra donc d'exploiter les mesures d'auscultation pendant la construction du barrage lors de ces remplissages partiels, à minima les mesures des sous pressions.

