



République du Burundi

**PROJET RÉGIONAL DE DÉVELOPPEMENT AGRICOLE INTÉGRÉ
DANS LES GRANDS LACS (PRDAIGL)**

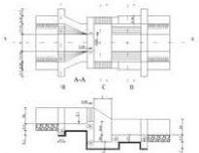
***ETUDES DE FAISABILITÉ TECHNIQUE DÉTAILLÉES DES
TRAVAUX DE DÉVELOPPEMENT ET/OU RÉHABILITATION
DES INFRASTRUCTURES D'IRRIGATION DANS LA PROVINCE
DE CIBITOKÉ (LOT #1)***

Rapport d'Avant-Projet Détaillé



Version Définitive

Mai 2023



Fiche signalétique

Pays	BURUNDI
Projet	Projet Régional de Développement Agricole Intégré dans les Grands Lacs (PRDAIGL)
Étude	Etudes de faisabilité technique détaillées des travaux de développement et/ou réhabilitation des infrastructures d'irrigation dans la Province de Cibitoke (Lot #1)
Phase	Phase 1 - Etudes
Document	Rapport d'Avant-Projet Détaillé
Version	Version Définitive
Consultant	Groupement SHER Ingénieurs Conseils s.a. / Artelia Madagascar

SHER Ingénieurs-conseils S.A.
ARTELIA Madagascar

Référence : BUR 57
Tel : +32 (0) 81 327 980
E-mail : sher@sher.be

N°	Date	Contenu	Préparé par :	Vérfié par :
1	02/2023	Rapport d'Avant-Projet Détaillé – Version provisoire	Michel-Henri Bourge Jean-Thomas Méchin Emmanuel Nshimirimana Tharcisse Barakamfitye Nicolas Gardin Zoé Van Den Bossche Vyckie Moyaux Hychem Rogai Jean Ngendahayo Déo Muhinde Anaclet Nibasumba Leonidas Gahiro Adrien Nintunze	Michel-Henri Bourge
2	04/2023	Version finale	idem	idem
3	05/2023	Version définitive	idem	idem

Tables des matières

1	Introduction.....	1
1.1	Contexte général de l'étude.....	1
1.2	Zone d'étude	3
1.3	Présentation de l'étude.....	6
1.3.1	Données contractuelles.....	6
1.3.2	Objectif général de l'étude.....	6
1.3.3	Objectifs spécifiques.....	6
2	Rappel des conclusions des étapes précédentes (Diagnostic et APS).....	8
3	Etude agro-socio-économique	11
4	Etude foncière	12
4.1	Objectif de l'étude.....	12
4.2	Méthodologie	13
4.2.1	Collecte des informations déjà disponibles.....	14
4.2.2	Méthodologie de collecte de données.....	14
4.3	Résultats	16
4.4	Conclusion	19
5	Contexte physique.....	20
5.1	Levé topographique	20
5.2	Etude pédologique	22
5.2.1	Méthodologie mise en œuvre	22
5.2.2	Enseignements tirés des investigations	22
5.2.3	Classification des sols et aptitude à la culture du riz et du maïs.....	35
5.3	Etude hydrologique	44
5.3.1	Méthodologie mise en œuvre	44
5.3.2	Le bassin de la Kaburantwa	44
5.3.3	Evaluation des apports mensuels.....	46
5.3.4	Evaluation des débits de crue	48
5.3.5	Qualité de l'eau	49
5.3.6	Transport solide.....	50
6	Besoins en eau des cultures	52
6.1	Méthodologie mise en œuvre	52
6.2	Données agro-climatiques.....	52
6.2.1	Pluviométrie	52
6.2.2	Evapotranspiration potentielle mensuelle.....	53
6.2.3	Données sur les cultures	53

6.3	Calcul des besoins en eau nets des cultures	55
6.3.1	Riz 150 jours	55
6.3.2	Maïs	58
6.3.3	Maraîchage.....	59
6.4	Calcul du besoin en eau brut.....	60
6.5	Débit de dimensionnement.....	61
7	Principes généraux d'aménagement.....	62
7.1	Système d'irrigation	62
7.2	Découpage hydraulique et mode de distribution	62
7.3	Dimensionnement des canaux	63
7.4	Réseau de drainage	69
7.5	Pistes d'accès et de circulation	70
7.5.1	Piste d'accès à la prise.....	70
7.5.2	Réhabilitation des pistes transversales	71
7.6	Ouvrages types.....	72
7.6.1	Ouvrages du réseau d'irrigation et de drainage.....	73
7.6.2	Ouvrages du réseau de circulation.....	75
7.7	Entretien des infrastructures	76
8	Propositions d'aménagement	84
8.1	Présentation de l'aménagement proposé.....	84
8.1.1	Organisation du réseau d'irrigation	84
8.1.2	Synthèse des superficies aménagées	87
8.1.3	Bilan hydrique.....	88
8.1.4	Débits d'équipement.....	91
8.2	Infrastructures pour la mobilisation de la ressource en eau	94
8.2.1	Dimensionnement du déversoir du seuil de prise	95
8.2.2	Dimensionnement du canal d'amenée	99
8.2.3	Dimensionnement du dessableur	100
8.2.4	Aire de parking et bâtiment d'opérateur / gardiennage.....	101
8.2.5	Dimensionnement du partiteur.....	102
8.2.6	Dimensionnement de l'aqueduc CTM-RD sur la Kaburantwa.....	102
8.2.7	Dimensionnement des siphons (franchissement Kansega par CTM-RG et Kagengwa CTM-RD)	104
8.2.8	Canal tête morte en rive droite.....	106
8.2.9	Canal tête morte en rive gauche	109
8.3	Réseau d'irrigation	112
8.3.1	Débits de dimensionnement et terrassements des canaux d'irrigation	112
8.3.2	Ouvrages du réseau d'irrigation.....	121

8.3.3	Métré récapitulatif des travaux sur le réseau d'irrigation	122
8.4	Réseau de drainage	123
8.4.1	Débits de dimensionnement des drains.....	126
8.4.2	Terrassement des drains	127
8.4.3	Ouvrages du réseau de drainage.....	127
8.4.4	Métré récapitulatif des travaux sur le réseau de drainage	127
8.5	Réseau de circulation	129
8.5.1	Piste d'accès à la prise.....	129
8.5.2	Réhabilitation des pistes transversales	129
8.6	Devis estimatif.....	132
8.6.1	Infrastructures pour la mobilisation de la ressource en eau	133
8.6.2	Aménagements rive droite de la Kaburantwa	134
8.6.3	Aménagements rive gauche de la Kaburantwa.....	135
8.6.4	Récapitulatif général	136
9	Analyse économique	139
9.1	Hypothèses pour l'analyse économique	139
9.1.1	Production agricole	139
9.1.2	Calcul des charges	140
9.1.3	Redevance eau d'irrigation	142
9.1.4	Analyse de sensibilité et autres paramètres	143
9.2	Résultats	143
9.2.1	Récapitulatif des coûts	143
9.2.2	Résultat de l'analyse financière.....	144
10	Conclusion	145
Annexe 1.	Bibliographie.....	146
Annexe 2.	Liste des plans	148
Annexe 3.	Comptes d'exploitation des différentes cultures	167
Annexe 4.	Contexte géotechnique	168
Annexe 5.	Résultat des essais de laboratoire sur les matériaux de carrière pour les pistes	200
Annexe 6.	Investigations géotechniques pour les canaux primaires	207
Annexe 7.	Investigations géotechniques pour les canaux de tête morte	208

Liste des Figures

Figure 1 – Collines de la Commune de Buganda	4
Figure 2 – Présentation de la zone d'étude	5
Figure 3 – Extrait de la carte pédologique au 1/50.000 pour la zone d'étude (ISABU, 2014)	23
Figure 4 - Sols dominants le long de la coupe transversale de la rive droite de l'Est à l'Ouest	26
Figure 5 - Particularité de la zone de pente à gauche vue de la surface du sol et à droite vue de loin de la zone de pente	26
Figure 6 - Ravin formé à la transversale 4B sur la zone de pente	27
Figure 7 - Zone marécageuse entre la transversale 6B et 7B de la rive droite	27
Figure 8 – Courbes d'infiltration des deux principaux types de sols rencontrés en rive droite de la Kaburantwa	28
Figure 9 – Recommandations de fertilisation de la culture du riz sur ferralsols (représentés par le profil 34)	29
Figure 10 – Recommandations de fertilisation de la culture du maïs sur les sols d'altération récente (représenté par le profil 02)	30
Figure 11 – Occupation des terres observée en rive droite de la Kaburantwa	31
Figure 12 - Haricot semé dans les tiges de sorgho	31
Figure 13 – Courbes d'infiltration des deux principaux types de sols rencontrés en rive gauche de la Kaburantwa	32
Figure 14 – Recommandations de fertilisation de la culture du riz sur régosols (représenté par le sondage 73)	33
Figure 15 – Recommandations de fertilisation de la culture du maïs sur les sols d'altération récente (représenté par le profil 01)	34
Figure 16 – Occupation des terres observée en rive gauche de la Kaburantwa	35
Figure 17 - Périmètres rizicoles de la rive gauche	35
Figure 18 – Cartographie des sols de la rive droite	37
Figure 19 – Carte d'aptitude à la riziculture en rive droite de la Kaburantwa	38
Figure 20 – Carte d'aptitude à la culture du maïs en rive droite de la Kaburantwa	39
Figure 21 - Cartographie des sols de la rive gauche	40
Figure 22 – Carte d'aptitude à la riziculture en rive gauche de la Kaburantwa	41
Figure 23 – Carte d'aptitude à la culture du maïs en rive gauche de la Kaburantwa	42
Figure 24 – Bassin versant de la Kaburantwa : contexte générale	44
Figure 25 – Bassin versant de la Kaburantwa : caractéristiques topographiques	45
Figure 26 – Bassin versant de la Kaburantwa : occupation du sol	46
Figure 27 – Statistiques mensuelles moyennes à la station de Kaburantwa (IGEUBU)	46
Figure 28 - Mparambo - Précipitations mensuelles garanties pour le calcul des apports directs à l'aménagement	53
Figure 29 - Réseau d'irrigation et de drainage - Schéma de principe	63
Figure 30 - Caractéristiques principales des canaux	64
Figure 31 - Profil type des canaux d'irrigation	69
Figure 32 - Profil type des arroseurs	69
Figure 33 - Piste d'accès au site de la prise	71
Figure 34 - Prise pour arroseur	74
Figure 35 – Présentation schématique de l'aménagement proposé	85
Figure 36 - Abaque pour la détermination du coefficient de débit	96
Figure 37 - Dimensions principales (USBR)	96
Figure 38 - Site de prise – Réhabilitation des anciennes carrière d'orpaillage.	98
Figure 39 - Coefficient de trainée pour une particule sphérique	101
Figure 40 - Diagramme de déformation	103
Figure 41 - Cartographie des contraintes	103

Figure 42 – Coupe en travers type du canal tête morte en rive droite.....	107
Figure 43 – Coupe en travers type du canal tête morte en rive gauche.....	110
Figure 44 – Réseau de drainage : localisation des drain et thalwegs.....	125
Figure 45 – Morphologie de la vallée au niveau du seuil de dérivation sur la Kaburantwa	168
Figure 46 – Vue aérienne de la vallée	168
Figure 47 – Rive gauche et rive droite de la zone du seuil.....	169
Figure 48 – Extrait de la carte géologique de Cibitoke 1/100 000ème.....	169
Figure 49 - Granitoïdes au niveau de la carrière	170
Figure 50 - Affleurement de gneiss	170
Figure 51 - Affleurement de gneiss altéré dans les ravines	170
Figure 52 - Affleurement de porphyre	171
Figure 53 - Affleurement de micaschistes (rocher sain et en blocs au niveau de la faille).....	171
Figure 54 - Micaschistes altéré.....	172
Figure 55 - Gneiss migmatitique.....	172
Figure 56 - Gneiss/ micaschistes œillet (affleurement sain et altéré)	172
Figure 57 - Affleurement de quartz.....	173
Figure 58 - Conditions de surface de la rive gauche (talus, blocs et galets)	173
Figure 59 - Conditions de surface de la rive droite (blocs et galets de quartz).....	174
Figure 60 - Affleurement à raser en rive droite.....	174
Figure 61 - Carte des observations géologique de Kaburantwa	174
Figure 62 - Faille en amont du pont, Rive droite et Rive gauche	175
Figure 63 - Localisation de la faille suivant la carte géologique.....	175
Figure 64 - Localisation de la faille suivant l'étude de faisabilité de Kabu 16.....	176
Figure 65 - Relevé de la foliation.....	176
Figure 66 - Localisation et photo des puits au niveau de col (aval de la prise).....	177
Figure 67 - Zone du dessableur	178
Figure 68 - Ravine au niveau du dessableur.....	178
Figure 69 - relevé géologique zone du dessableur.....	179
Figure 70 - Localisation des pénétromètres zone du dessableur.....	179
Figure 71 - Localisation des zones problématiques le long du canal entre le seuil et le dessableur..	180
Figure 72 - Localisation des zones problématiques le long du canal après le dessableur	181
Figure 73 - Localisation des pénétromètres sur le canal d'amenée.....	182
Figure 74 - Localisation de l'aqueduc.....	183
Figure 75 - Blocs recouvrant la zone de l'aqueduc en rive gauche	183
Figure 76 - Rocher altéré au niveau de la rive droite de l'aqueduc	184
Figure 77 - Carte des observations géologiques de la zone de l'aqueduc	184
Figure 78 - Vue aérienne de la zone aqueduc de Kansega.....	185
Figure 79 - Affleurement de gneiss dans la vallée de Kansega	185
Figure 80 - Localisation du siphon de Kansega sur l'extrait de la carte géologique de Cibitoke au 1/100 000ème	186
Figure 81 - Canyon et niveau de galet.....	186
Figure 82 - Vue microscopique des sables fins cohésifs.....	187
Figure 83 - Evolution des sables cohésifs dans l'eau.....	187
Figure 84 - Photo et carte des observations géologique du siphon de Kansega	188
Figure 85 - Localisation des pénétromètres siphon de Kansega.....	189
Figure 86 - Photo et carte des observations géologique du siphon de Kagengwa	190
Figure 87 - Zone d'érosion en rive droite a l'amont du siphon de Kagengwa	190
Figure 88 - Matériaux de fond de vallée, Kagengwa.....	190
Figure 89 - localisation du siphon de Kagengwa sur l'extrait de la carte géologique de Cibitoke au 1/100 000ème	191
Figure 90 - Localisation des pénétromètres siphon de Kagengwa.....	191
Figure 91 - Carrière 1.....	192

Figure 92 - Carrière 2.....	192
Figure 93 - Carrière 3.....	193
Figure 94 - Localisation des carrières pour les pistes.....	193
Figure 95 : Implantation des investigations de la prise.....	194
Figure 96 : Implantation des investigations du dessableur.....	195
Figure 97 : Implantation des investigations du répartiteur et de l'aqueduc	196
Figure 98 : Implantation des investigations du syphon de Kagengwa	197
Figure 99 : Implantation des investigations du syphon de Kansega	198

Liste des Tableaux

Tableau 1 – Liste des collines composant la Commune de Buganda.....	3
Tableau 2 - Répartition des sites à aménager au niveau de la commune Buganda	12
Tableau 3 - Exemple de résultat du questionnaire d'enquête.....	15
Tableau 4 - Répartition des parcelles inventoriées en rive droite de la Kaburantwa par classes de superficie	17
Tableau 5 - Nombre de parcelles par propriétaire en rive droite de la Kaburantwa.....	17
Tableau 6 - Répartition des parcelles inventoriées en rive gauche de la Kaburantwa par classes de superficie	18
Tableau 7 - Nombre de parcelles par propriétaire en rive gauche de la Kaburantwa.....	18
Tableau 8 – Coordonnées des bornes du levé topographique	20
Tableau 9 – Extrait de la légende de la carte pédologique au 1/50.000 (ISABU, 2014).....	24
Tableau 10 – Principales caractéristiques physiques des sols rencontrés en rive droite de la Kaburantwa	27
Tableau 11 – Caractéristiques physico-chimique des sols de la rive droite.....	28
Tableau 12 – Principales caractéristiques physiques des sols rencontrés en rive gauche de la Kaburantwa	32
Tableau 13 – Caractéristiques physico-chimiques des sols de la rive gauche	33
Tableau 14 – Bassin de Kaburantwa : caractéristiques morphologiques et topographiques.....	45
Tableau 15 – Estimation du débit disponible au site de prise	47
Tableau 16 – Evolution des débits turbinés par la centrale KABU-16 en année sèche.....	48
Tableau 17 – Synthèse de l'estimation des débits de crue de la Kaburantwa.....	49
Tableau 18 – Qualité de l'eau de la Kaburantwa – Aptitudes pour l'irrigation.....	49
Tableau 19 – Mesures du transport solide sur la Kaburantwa	50
Tableau 20 - Evapotranspiration de référence pour les sites de Kaburantwa.....	53
Tableau 21 – Calendriers cultureux recommandés pour la zone d'étude	54
Tableau 22 - Coefficients cultureux décadaires (Kc) utilisés	54
Tableau 23 - Besoins en eau nets pour le riz 150j - Saison A.....	55
Tableau 24 - Besoins en eau moyens à l'échelle de l'aménagement pour le riz 150j - Saison A.....	56
Tableau 25 - Besoins en eau nets pour le riz 150j - Saison B	57
Tableau 26 - Besoins en eau moyens à l'échelle de l'aménagement pour le riz 150j - Saison B.....	58
Tableau 27 - Besoins en eau nets pour le maïs - saison A.....	58
Tableau 28 - Besoins en eau nets pour le maïs - saison B.....	59
Tableau 29 - Besoins en eau nets pour le maraîchage - saison A	59
Tableau 30 - Besoins en eau nets pour le maraîchage - saison B.....	59
Tableau 31 - Besoins en eau nets pour le maraîchage - saison C.....	60
Tableau 32 - Besoins en eau de pointe des cultures – Synthèse	60
Tableau 33 - Caractéristiques des canaux en terre (1/2)	66
Tableau 34 - Caractéristiques des canaux en terre (2/2)	66
Tableau 35 - Caractéristiques des canaux en maçonnerie de moellons (1/2)	67
Tableau 36 - Caractéristiques des canaux en maçonnerie de moellons (2/2)	68
Tableau 37 - Vitesse en fonction de la pente dans les canaux arroseurs	69

Tableau 38 - Ouvrages types – Codes et description	73
Tableau 39 - Intervenants et rôles dans les opérations d'entretien	79
Tableau 40 - Etapes à suivre lors de l'entretien	79
Tableau 41 - Besoins et quantités pour travaux d'entretien courant	81
Tableau 42 – Récapitulatif des superficies dominées par le réseau d'irrigation proposé	87
Tableau 43 – Bilan hydrique de l'aménagement proposé : année sèche / double riziculture	89
Tableau 44 – Débits d'équipement en tête de réseaux primaires et secondaires	92
Tableau 45 – Evolution quotidienne du débit disponible à la prise et du débit détourné (première décade d'octobre / année sèche).....	93
Tableau 46 – Evolution quotidienne des débits délivrés aux canaux secondaires (première décade d'octobre / année sèche)	93
Tableau 47 – Paramètres du seuil et de la prise d'eau	96
Tableau 48 – Métré pour la réalisation du seuil et de la prise d'eau.....	97
Tableau 49 – Paramètres pour la réhabilitation des anciennes carrières d'orpaillage à proximité du seuil de prise.....	97
Tableau 50 – Métré pour la réhabilitation des anciennes carrières d'orpaillage à proximité du seuil de prise	97
Tableau 51 – Calcul hydraulique du canal d'amenée rectangulaire en béton.....	99
Tableau 52 – Paramètres du canal d'amenée.....	99
Tableau 53 – Métré pour la réalisation du canal d'amenée	100
Tableau 54 – Paramètres dimensionnels du dessableur.....	101
Tableau 55 – Métré pour la réalisation du dessableur	101
Tableau 56 – Paramètres dimensionnels du partiteur.....	102
Tableau 57 – Paramètres dimensionnels pour la réalisation de l'aqueduc sur la Kaburantwa	103
Tableau 58 – Métré pour la réalisation de l'aqueduc sur la Kaburantwa	103
Tableau 59 – Pertes de charge dans les siphons en rive gauche et droite	105
Tableau 60 – Paramètres dimensionnels pour la réalisation du siphon en rive droite (Kagengwa)...	105
Tableau 61 – Métré pour la réalisation du siphon en rive droite (Kagengwa)	105
Tableau 62 – Paramètres dimensionnels pour la réalisation du siphon en rive gauche (Kansega)....	105
Tableau 63 – Métré pour la réalisation du siphon en rive gauche (Kansega).....	106
Tableau 64 – Dimensionnement du CTM-RD.....	106
Tableau 65 – Métré des travaux pour la réalisation du CTM-RD	107
Tableau 66 – Paramètres dimensionnels - Buse sous canal pour le drainage des eaux de ruissellement en amont du CTM-RD	108
Tableau 67 – Métré pour la réalisation des buses sous canal pour le drainage des eaux de ruissellement en amont du CTM-RD	108
Tableau 68 – Paramètres dimensionnels des Aqueducs- Dalots pour le CTM-RD	108
Tableau 69 – Métré pour la réalisation des Aqueducs- Dalots pour le CTM-RD.....	109
Tableau 70 – Caractéristiques des dalots pour passage CTM-RD sous pistes.....	109
Tableau 71 – Métré pour la réalisation des dalots pour passage CTM-RD sous pistes	109
Tableau 72 – Dimensionnement du CTM-RG en amont de la Kansega	110
Tableau 73 – Métré pour la réalisation du canal CTM-RG	111
Tableau 74 – Métré pour la réalisation des buses et aqueducs- dalots de drainage sous le CTM-RG	112
Tableau 75 – Réseau d'irrigation – Débit de dimensionnement, quantités de terrassement et revêtement des canaux.....	113
Tableau 76 – Ouvrages du réseau d'irrigation	120
Tableau 77 – Avant-Métré récapitulatif - Ouvrage du réseau d'irrigation – Rive Droite.....	121
Tableau 78 – Avant-Métré récapitulatif - Ouvrage du réseau d'irrigation – Rive Gauche.....	121
Tableau 79 – Avant-Métré récapitulatif - Réseau d'irrigation – Rive Droite.....	122
Tableau 80 – Avant-Métré récapitulatif - Réseau d'irrigation – Rive Gauche.....	123
Tableau 81 – Protection des thalwegs en rives droite et gauche	126

Tableau 82 –Réseau de drainage en rive droite de la Kaburantwa : Synthèse superficies drainées et débits de projet.....	127
Tableau 83 – Avant-Métré récapitulatif - Travaux de terrassements sur le réseau de drainage en rive droite de la Kaburantwa.....	127
Tableau 84 - Avant-Métré récapitulatif - Réseau de drainage en rive droite de la Kaburantwa.....	128
Tableau 85 - Avant-Métré récapitulatif: Ouvrages sur le réseau de drainage en rive gauche de la Kaburantwa.....	128
Tableau 86 - Liste des pistes transversales soumises à une intervention.....	129
Tableau 87 - Interventions sur les pistes transversales en rive droite de la Kaburantwa.....	130
Tableau 88 – Interventions sur les pistes transversales en rive gauche de la Kaburantwa.....	130
Tableau 89 – Avant-Métré récapitulatif - interventions sur les pistes transversales en rive droite de la Kaburantwa.....	131
Tableau 90 - Avant-Métré récapitulatif : interventions sur les pistes transversales en rive gauche de la Kaburantwa.....	131
Tableau 91 – Devis quantitatif – Infrastructures pour la mobilisation de la ressource en eau.....	133
Tableau 92 – Devis quantitatif – Aménagements rive droite de la Kaburantwa.....	134
Tableau 93 – Devis quantitatif – Aménagements rive gauche de la Kaburantwa.....	135
Tableau 94 – Devis quantitatif général.....	136
Tableau 95 - Caractéristiques technico-économiques des spéculations principales.....	139
Tableau 96 - Taux d'augmentation du rendement durant les premières années de fonctionnement de l'aménagement.....	140
Tableau 97 - Prix unitaires pour frais de fonctionnement de l'AUE.....	141
Tableau 98 - Augmentation du montant des coûts d'entretien lors de la période de démarrage du périmètre.....	143
Tableau 99 – Montant de la redevance.....	143
Tableau 100 – Assolement sélectionné (% et superficie irrigable).....	144
Tableau 101 – Production et valorisation par option d'aménagement (en tonnes et BIF).....	144
Tableau 102 – Taux de Rentabilité Interne.....	144
Tableau 103 – Valeur Actualisée Nette (10 ³ BIF).....	145
Tableau 104 –Nombre d'années nécessaires pour une Valeur Actualisée Nette positive.....	145
Tableau 105 – Synthèse des investigations à réaliser.....	198
Tableau 106- Synthèse des essais en laboratoire à réaliser.....	199
Tableau 107- Synthèse des résultats d'analyse en laboratoire des échantillons prélevés dans les carrières pour les pistes.....	200

Liste des abréviations

ACSA	Agent Communautaire de Santé Animale
AEP	Adduction en Eau Potable
APD	Avant-Projet Détaillé
APS	Avant-Projet Sommaire
AUE	Association des Usagers de l'Eau
AUM	Association des usagers des Marais
BCG	Bureau Central de Géomatique
BEC	Besoins en eau des Cultures
BPEAE	Bureau Provincial de l'Environnement, de l'Agriculture et de l'Elevage (ex DPAE)
BV	Bassin Versant
CAPAD	Confédération des Associations des Producteurs Agricoles pour le Développement
CLA	Chenille Légionnaire d'Automne
CM	Chef de ménage
CTM	Canal tête morte
DAO	Dossier d'Appel d'Offre
DPAE	Direction Provinciale de l'Agriculture et de l'Elevage
EIES	Etudes d'Impact Environnemental et Social
ETO	Evapotranspiration potentielle
FAO	Food and Agriculture Organization
FIDA	Fonds International pour le Développement Agricole
FOMI	Fertilisants organo-minéraux Industriels
GE	Google Earth
GLCE	Geotechnical Laboratory and Civil Engineering
GPS	Global Positioning System
IGEBU	Institut Géographique du Burundi
IITA	International Institute of Tropical Agriculture
ILRI	International Livestock Research Institute
IRRI	International Rice Research Institute
ISABU	Institut des Sciences Agronomiques du Burundi
Kc	Coefficient Cultural
MNT	Modèle Numérique de Terrain
OBPE	Office Burundais pour la Protection de l'Environnement
ODECA	Office pour le Développement du Café du Burundi
ODP	Objectifs de Développement du Projet
OHP	Office de l'Huile de Palme du Burundi
ONCCS	Office National de Contrôle et de Certification des Semences
ONG	Organisation Non Gouvernementale
OP	Organisation des Producteurs
PADANE	Projet d'Appui au Développement de l'Agriculture, de la Nutrition et de l'Entrepreneuriat
PAR	Plan d'Action de Réinstallation
PDNE	Plan Directeur National de l'Eau
Pe	Pluie efficace
PNSADR-IM	Programme National pour la Sécurité Alimentaire et le Développement Rural des régions de l'Imbo et du Moso
PRDAIGL	Projet Régional de Développement Agricole Intégré dans les Grands Lacs
PROPA-O	Projet pour Accélérer l'Atteinte de l'OMD1c
PROSECEAU	Programme Sectoriel Eau et Assainissement
RDC	République Démocratique du Congo
REGIDESO	Régie de Distribution de l'Eau et de l'Electricité
RN	Route Nationale
SIG	Système d'Information géographique
SRD	Société Régionale de Développement
TDR	Termes de Références
UE	Union Européenne
UP	Unité de production

1 Introduction

1.1 Contexte général de l'étude

Le Programme Régional de Développement Agricole Intégré dans les Grands Lacs (PRDAIGL) est financé par la Banque Mondiale pour : i) revitaliser le développement économique, ii) créer des emplois, et partant, iii) améliorer les conditions de vie des populations dans la région des grands lacs.

Globalement, le projet intervient dans les zones que se partagent les trois pays membres de la Communauté Economique des Pays des Grands Lacs (CEPGL), en l'occurrence : le Burundi, le Rwanda et la République Démocratique du Congo (RDC).

Spécifiquement, au Burundi le programme PRDAIGL intervient dans les zones frontalières du Rwanda, de la RDC et de la Tanzanie. Ces zones se situent dans les provinces de Bujumbura, Cibitoke, Bubanza, Rumonge et Makamba, particulièrement dans la plaine de la Rusizi, dans la plaine de l'Imbo et le long du Lac Tanganyika.

Dans ses interventions, le PRDAIGL cible prioritairement de petits exploitants agricoles où les femmes représentent au moins 35%. Les bénéficiaires sont sélectionnés en fonction d'un certain nombre de critères, notamment le fait :

- D'être petit exploitant agricole : agriculteur, éleveur ou agri-éleveur
- De posséder une propriété d'une superficie moyenne de 0.50 ha
- De pratiquer la culture du riz, du maïs et autres cultures
- De pratiquer un élevage de vaches laitières.

En plus de petits exploitants agricoles, le PRDAIGL s'adresse à des groupes vulnérables comme : les jeunes sans emplois, les femmes, les personnes déplacées et les Batwa.

Pour couronner ses interventions, le PRDAIGL apporte des appuis aux investisseurs privés de l'agro-industrie, aux petites et moyennes entreprises des zones ciblées, aux gestionnaires des coopératives et aux institutions publiques impliquées dans la vulgarisation et la recherche agricole.

Du point de vue opérationnel, le programme PRDAIGL est structuré autour de quatre composantes comme suit :

- **Composante 1** : Amélioration de la productivité et de la production des petits exploitants agricoles
 - Sous-composante 1.1 : Renforcement des organisations de producteurs ;
 - Sous-composante 1.2 : Appui à la production de riz et de maïs ;
 - Sous-composante 1.3 : Appui au développement de la chaîne de valeur des produits laitiers.
- **Composante 2** : Appui aux investissements dans le secteur agro-alimentaire et à l'établissement de liens avec les marchés
 - Sous-composante 2.1 : Création d'un environnement général et d'un climat d'investissement plus favorable à l'agro-industrie ;
 - Sous-composante 2.2 : Appui à l'apport de valeur ajoutée et à l'établissement de liens avec les marchés ;
 - Sous-composantes 2.3 : Amélioration de l'infrastructure routière rurale pour garantir l'accès aux marchés.
- **Composante 3** : Intégration institutionnelle, acquisition de connaissances et diffusions d'informations au niveau régional
 - Sous-composante 3.1 : Coopération régionale et développement des capacités des chercheurs en agriculture ;
 - Sous-composante 3.2 : Développement de technologies rentables et durables ;

- Sous-composante 3.3 : Diagnostic et appui aux services de laboratoire.
- **Composante 4** : Gestion du projet et appui institutionnel
 - Sous-composante 4.1 : Gestion et coordination du projet ;
 - Sous-composante 4.2 : Appui institutionnel, renforcement des capacités, plaidoyer et communication ;
 - Sous-composante 4.3 : Intervention d'urgence.

Au niveau de la sous-composante 1.2 « *Appui à la production de riz et de maïs* », sous le volet « *irrigation et mise en valeur des bassins versants* », le Projet envisage le développement de l'irrigation sur environ 3000 ha de périmètres irrigués. En plus de la réhabilitation ou le développement des infrastructures d'irrigation au travers des études techniques, l'exécution et la supervision des travaux, le Projet vise à encadrer le développement institutionnel afin d'améliorer la gestion des dispositifs d'irrigation par le biais des associations d'usagers de l'eau.

L'aménagement de ces marais et plaines dont le potentiel constitue une opportunité pour la mise en place d'un système de production de riz intensif sous irrigation, permettra à la population locale une exploitation intensive des marais et des plaines par la diversification d'une agriculture à haute valeur marchande. Ainsi, en fonction de la disponibilité en eau, trois campagnes de cultures (A, B, C) seront initiées dans les sites aménagés : double culture de riz irrigué, polyculture, cultures maraichères, etc. Il faut toutefois tenir compte que les sites de marais et plaines, exploités actuellement d'une manière traditionnelle pour l'agriculture sont aussi des écosystèmes fragiles du point de vue environnemental, et que les aménagements futurs doivent, tout en assurant la maîtrise de l'eau, garantir leur protection et durabilité.

Les activités de mise en œuvre du programme d'irrigation porteront sur : (i) la pré-identification des sites, (ii) les études techniques préliminaires (diagnostic et APS, y compris cadre de l'étude d'impact environnemental et social) et études d'Avant-Projets Détaillés (APD) et Dossier d'Appel d'Offres (DAO) et enfin Plan d'Action de Réinstallation (PAR), (iii) la présentation et discussion des propositions de variantes et plans d'aménagement avec la parties prenantes, (iv) l'exécution, la surveillance et le contrôle des travaux, (v) le renforcement des capacités des associations des usagers de l'eau (AUEs) et des agents des services techniques locaux et (vi) la préparation en collaboration avec les parties prenantes d'un programme de gestion et maintenance des réseaux, ouvrages et équipements.

Les critères de sélection des sites à aménager sont basés sur (i) l'absence de conflit foncier potentiel conformément à la politique foncière du Gouvernement et aux principes guidant les financements de la Banque Mondiale, (ii) la proximité des marchés, l'existence d'une piste d'accès fonctionnelle proche du site, (iii) la viabilité économique et financière, (iv) la prise en compte des dimensions environnementales et sociales, et (v) les intérêts des AUEs exprimés et confirmés par leur engagement à réaliser eux-mêmes les travaux de planage et d'aménagement parcellaire ainsi que d'assumer la responsabilité de prendre entièrement en charge la gestion et la maintenance des infrastructures mises en place.

Au stade de la préparation du projet, les sites pré-identifiés ont fait l'objet d'une concertation avec les représentants des communautés locales et des services techniques habilités. La pré-identification s'est également référée aux données et cartes figurant dans l'Atlas Interactif des marais, plaines et bas-fonds élaboré dans le cadre du projet PAIOSA et dans le schéma directeur d'aménagement de la plaine de la Rusizi élaboré dans le cadre de la CEPGL.

Dans le cadre des présentes études techniques détaillées, une étude de diagnostic approfondie a été réalisée en vue de déterminer parmi les sites pré-identifiés ceux pouvant faire l'objet d'une étude de faisabilité/APS. Une étude d'impact environnemental et social a été réalisée en phase APS et est finalisée à la phase d'APD afin de déterminer les impacts négatifs liés à la mise en place des schémas d'aménagements et des ouvrages retenus et de proposer des mesures d'atténuation et les coûts et modalités de leur mise en œuvre. Enfin, un Plan d'Action de Réinstallation (PAR) des populations affectées a été aussi élaboré en phase d'APD.

En complément des travaux de réhabilitation/développement des infrastructures d'irrigation, des activités de conservation et de protection des bassins versants seront menées sur les collines environnantes. Ce programme ne fait pas partie de la présente étude.

C'est dans ce contexte qu'ont été initiées les études techniques détaillées (Diagnostic, APS, APD et DAO) pour la réalisation des aménagements hydro-agricoles des sites de Gasenyi, Kansega, Ndava et Nyamitanga/aval en Province de Cibitoke.

1.2 Zone d'étude

La zone d'étude est située dans la plaine de la Rusizi au Sud de Cibitoke en commune de Buganda.

La Commune de Buganda est l'une des 6 communes qui composent la Province de Cibitoke.

Elle est située au Sud-Ouest de la province et a une superficie de 186,28 Km². Elle est bordée :

- Au Nord-Ouest : par la commune Rugombo ;
- Au Sud : par la commune Gihanga (Province Bubanza) ;
- A l'Est : par la commune Bubanza (Province Bubanza) ;
- Au Nord-Est : par la commune Murwi ;
- A l'Ouest : la frontière avec la République Démocratique du Congo.

La Commune de Buganda est divisée en deux zones et 12 collines de recensement.

Tableau 1 – Liste des collines composant la Commune de Buganda

Collines	
Zone Ndava	Zone Gasenyi
Kansega	Murambi
Muremera	Ruhagarika
Mwunguzi	Gasenyi-rural
Nimba	Gasenyi-centre
Ndava-village	Kaburantwa
Nyamitanga	Cunyu

Source : PCDC commune de Buganda

Figure 1 – Collines de la Commune de Buganda



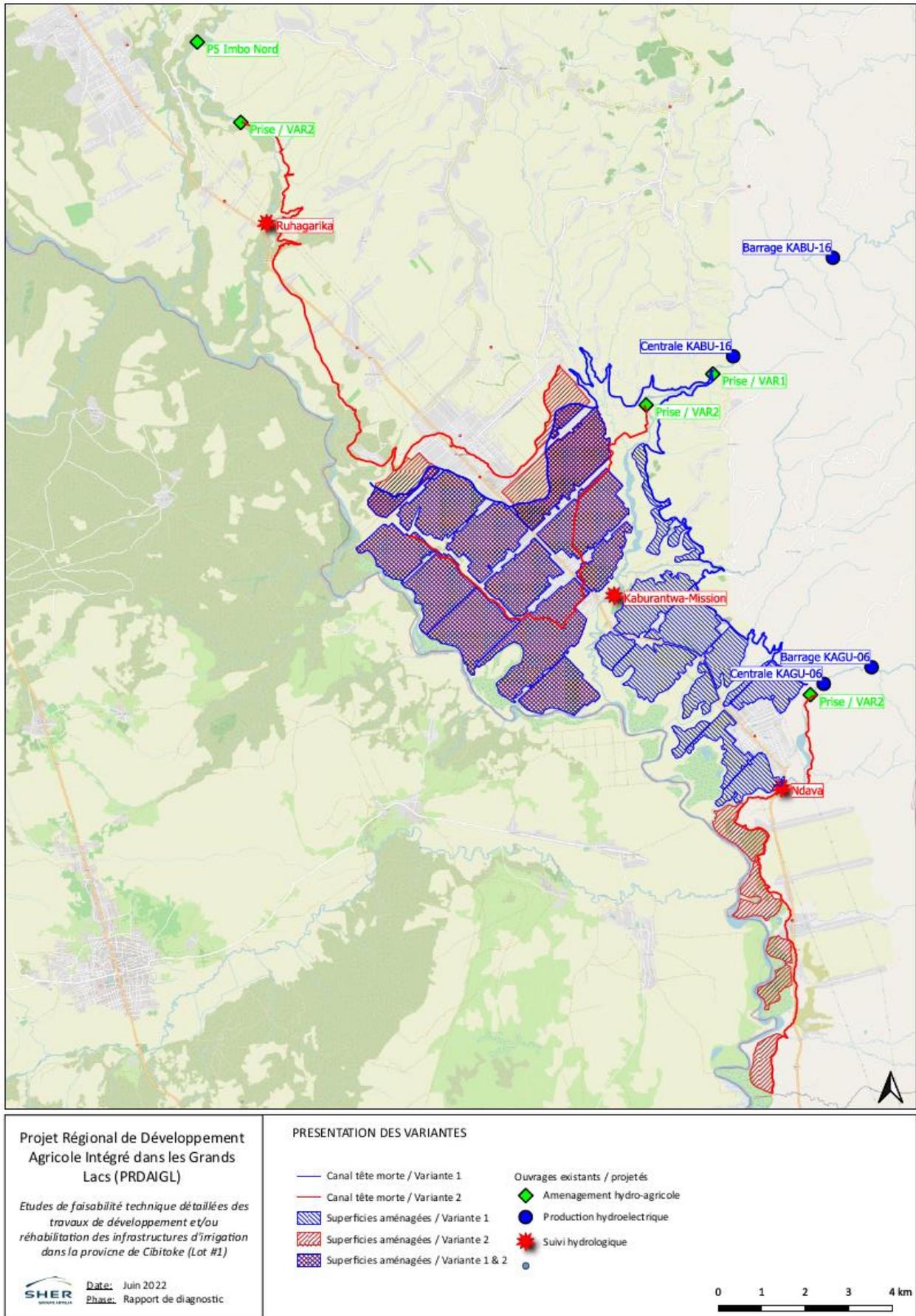
Source : Monographie de la Commune de Buganda (2014-2018)

Les sites potentiellement aménageables sont localisés dans les collines de Gasenyi-Centre, Gasenyi-Rural, Kaburantwa et Kansega et Ndava.

La commune Buganda est accessible par la Route Nationale n°5(RN5) – asphaltée - qui relie Bujumbura au Rwanda, par la frontière de Ruhwa. Cette route traverse la commune Buganda selon un axe Nord-Sud. Elle constitue la principale infrastructure de désenclavement de cette entité administrative.

L'intérieur de la commune est desservi par des pistes secondaires appelées transversales et dorsales qui ont été tracées dans le cadre de l'aménagement des paysannats.

Figure 2 – Présentation de la zone d'étude



1.3 Présentation de l'étude

1.3.1 Données contractuelles

La mission porte sur la réalisation des études techniques détaillées des travaux d'aménagement hydro-agricoles des marais, plaines et bas-fonds dans la Commune de Buganda en Province de Cibitoke.

La mission a été confiée au groupement SHER – Artelia Madagascar, suite à un appel d'offre lancé par le Projet Régional de Développement Agricole Intégré dans les Grands Lacs (PRDAIGL).

Le contrat N° BI-PIU-97351-CS-QCBS-Lot1/SHER_ARTELIA/2021 a été signé le 31 Décembre 2021. Le démarrage des prestations est fixé au 25/01/2022 par ordre de service N°01 PRDAIGL/017/2022 du 10/01/2022.

Pour la Phase 1. Etudes: Conformément aux termes de référence de l'étude et à notre offre technique, les rapports ci-après indiqués, doivent être fournis par le groupement :

- Un rapport de premier établissement ;
- Un rapport de diagnostic de la situation actuelle (version provisoire et version finale) et EIES (version provisoire) ;
- Un rapport d'Avant-Projet Sommaire (APS) des aménagements (version provisoire et version finale) ;
- Un rapport d'Avant-Projet Détaillé (APD) et Dossier d'Appel d'Offre (DAO) (version provisoire et version finale) ;
- Un rapport d'Etude d'Impact Environnemental et Social (EIES) définitif et un rapport de Plan d'Action de Réinstallation (PAR).

Le présent document constitue le "**Rapport d'Avant-Projet Détaillé**".

Sont annexés à ce rapport les dossiers suivants

- Vue générale (1/20.000ème), vues d'ensembles (1/5.000ème et 1/2.000ème), Plans fonciers (1/2.000ème)
- Cahier des plans types du réseau d'irrigation, de drainage et de circulation ;
- Cahier des plans des ouvrages de mobilisation : seuil de dérivation, prise, canal d'aménée, dessableur, canaux de tête morte en rives droite et gauche et les ouvrages de franchissement (aqueduc, siphons inversés, buses, dalot et pont-dalots) ;
- Cahier des plans des pistes transversales (profils en long et en travers) ;
- Cahier des plans de canaux et drains (profils en long et en travers) pour les Bloc-01 à 06 ;
- Rapport d'Etude d'Impact Environnemental et Social (EIES) ;
- Plan d'Action de Réinstallation (PAR).

1.3.2 Objectif général de l'étude

L'objectif général de l'étude est d'établir la faisabilité technique, socio-économique et environnementale de l'aménagement hydro-agricole des sites de Gasenyi, Kansega et Ndava, les avant-projets détaillés ainsi que les dossiers d'appels d'offres pour la réalisation des travaux.

Dans une seconde phase, le Consultant procédera également au contrôle des travaux d'aménagement.

1.3.3 Objectifs spécifiques

De façon spécifique, l'objectif de la phase d'études est d'analyser la situation actuelle des différentes zones à aménager, d'étudier les options pour les approvisionner en eau à partir des ressources en eaux disponibles et d'aboutir à un avant-projet détaillé accompagné des études d'impact environnemental et social et des mesures des sauvegardes sociales pour procéder aux appels d'offres pour les travaux d'aménagement.

Les TDRs insistent sur l'importance de prendre en compte la situation socio-foncière, la cohésion sociale et la motivation des bénéficiaires, en plus des aspects purement techniques ce qui est effectivement essentiel pour assurer une performance optimale et la durabilité de l'aménagement. L'étude devra donc procéder au recensement exhaustif des parcelles traditionnellement exploitées et préparer les plans parcellaires de remembrement en fonction du plan d'aménagement qui sera proposé.

Une étude d'Impact environnemental et social (EIES) des aménagements proposés doit être aussi réalisée. Cette étude comprend le Plan de Gestion Environnementale et Sociale (PGES). Un Plan d'Action de Réinstallation (PAR) détaillé doit en outre être réalisé afin de compenser les personnes affectées par les travaux. Une attention particulière doit être portée tout au long de l'étude aux questions de genre et aux personnes et groupes vulnérables. Des actions concrètes devront être proposées en ce sens.

La phase d'étude est organisée en 3 étapes :

- **Etape 1** : le diagnostic de la situation actuelle à travers des études sectorielles et l'établissement des différentes options d'aménagement des sites ainsi que le cadrage de l'EIES ;
- **Etape 2** : les études de faisabilité/APS des aménagements des sites réalisées en prenant en compte les contraintes physiques (pédologie, hydrologie, topographie, ...), organisationnelles (foncier, mode de gestion, ...) et socio-économiques (filière existante, facilité d'entretien et de maintenance, ...) ;
- **Etape 3** : l'élaboration des études d'avant projets détaillés (APD) des solutions techniques retenues à l'issue des APS et la préparation des dossiers d'appels d'offres (DAO) pour la réalisation des travaux.

A la fin des étapes 1 et 2, il est prévu l'organisation d'un atelier de présentation et de validation. C'est lors de cet atelier que le Projet et les bénéficiaires pourront valider les propositions formulées. A l'étape 3, la validation sera assurée par la commission technique du projet.

2 Rappel des conclusions des étapes précédentes (Diagnostic et APS)

L'aménagement qui sera réalisé doit permettre l'irrigation d'au moins 2000 ha en commune de Buganda.

Deux variantes d'aménagement sont proposées dans les termes de référence de cette étude.

Variante #1 – Aménagement des sites de Gasenyi, Kansega et Ndava (2503 ha)

Cette variante considère l'aménagement de 2503 ha de plaine dans Gasenyi, Kansega et Ndava, c'est-à-dire des rives gauche et droite de la Kaburantwa.

L'alimentation en eau est assurée par une prise unique placée sur la rivière Kaburantwa avec départ de canaux en rives droite et gauche. Cette prise est placée à quelques centaines de mètres en aval de la centrale hydroélectrique KABU-16 en cours de construction.

L'identification des superficies aménageables s'est faite en considérant les superficies dominées par une prise implantée à l'altitude 881 m et sans considération de la pente longitudinale des canaux. Les superficies réellement dominées seront donc inférieures.

Variante #2 – Aménagement des sites de Gasenyi et Nyamitanga/aval (2041 ha)

Cette variante considère l'aménagement de 2041 ha de plaine dans Gasenyi et Nyamitanga, c'est-à-dire la rive droite de la Kaburantwa et la rive gauche de la Kagunuzi.

L'alimentation en eau est assurée par :

- Une prise sur la Muhira avec départ de canal en rive gauche pour irrigation de la zone Gasenyi (rive droite de la Kaburantwa – 1003 ha). Cette prise est placée à 3.200 mètres en aval de la prise construite par le Projet PAIOSA (ENABEL) pour l'irrigation de la plaine de l'Imbo ;
- Une prise sur la Kaburantwa avec départ de canal en rive droite pour irrigation de la zone Kabengwa (rive droite de la Kaburantwa – 730 ha). Il s'agit d'intégrer l'aménagement proposé par ERA International dans le cadre du projet PROPA-O. La prise sur la Kaburantwa est placée en aval de la prise identifiée pour la Variante 1.
- Une prise sur la Kagunuzi avec départ de canal en rive gauche pour irrigation de la zone Nyamitanga (308 ha). Cette prise est placée à quelques dizaines de mètres en aval du site identifié pour la centrale hydroélectrique de KAGU-06.

L'identification des superficies aménageables s'est faite en considérant les superficies dominées par une prise implantée à l'altitude 892 m sur la Muhira et une prise implantée à l'altitude 810 m sur la rivière Kagunuzi et sans considération de la pente longitudinale des canaux. Les superficies réellement dominées seront donc inférieures à celles estimées dans les TdRs.

Les trois rivières identifiées pour l'alimentation de ces variantes sont des affluents en rive gauche de la Rusizi. Il s'agit de cours d'eau permanents qui prennent naissance dans le relief escarpé de la crête Congo-Nil, plus précisément dans (Kaburantwa et Kagunuzi) ou en marge (Muhira) du Parc National de la Kibira.

La Muhira est l'affluent le plus en amont de la Rusizi. Son bassin versant, au niveau de la confluence avec la Rusizi couvre une superficie de 248 km².

La Kaburantwa est le second affluent le plus en amont de la Rusizi. Son bassin versant, au niveau de la confluence avec la Rusizi couvre une superficie de 540 km².

Vient enfin la Kagunuzi, l'affluent le plus en aval. Son bassin versant, au niveau de la confluence avec la Rusizi, couvre une superficie de 427 km².

Des projets existent pour exploiter ces rivières pour l'irrigation ou pour la production hydroélectrique. Il s'agit de projet déjà mis en œuvre, en cours de mise en œuvre ou identifiés.

- Irrigation d'une partie des aménagements de l'Imbo Nord sur 569 ha (périmètres de Murambi au sud de Cibitoke) à partir de la Muhira. La prise sur cette rivière, ainsi que le réseau d'irrigation ont fait l'objet d'une réhabilitation par le Programme PAIOSA (ENABEL). Par ailleurs, le Programme PAIOSA prévoit de construire une nouvelle prise sur la Muhira, plus en amont de la prise existante. Cette prise alimentera un canal de transfert de capacité 1.1 m³/s pour :
 - Alimenter les terroirs de Rusororo (~450 ha) ;
 - Valoriser l'excédent d'eau de la rivière Muhira en la transférant vers la prise sur la Nyamagana afin de renforcer l'alimentation en eau des périmètres irrigués de Cibitoke et Rugombo sur 2700 ha.
- Centrale hydro-électrique (KABU-16) en cours de construction sur la rivière Kaburantwa à 800 m de la position retenue au stade des TdRs pour l'implantation de la prise d'eau d'irrigation. La centrale est alimentée à partir d'un barrage, lui aussi en cours de construction, à 5000 m en amont du site de la centrale. Il s'agit d'une centrale de 20 MW (2 turbines de 10 MW chacune) pour un débit d'équipement de 12.35 m³/s. Le barrage réservoir a pour fonction de constituer une réserve journalière pour répondre à la demande de pointe qui survient en soirée. Il n'y pas de stockage intersaison.
- Site de centrale hydro-électrique identifié sur la rivière Kagunuzi (KAG-006) à 480 m en amont du site identifié pour l'implantation de la prise d'eau d'irrigation du projet PRDAIGL au stade des TdRs. La construction de cette centrale hydro-électrique n'a pas encore été décidée mais reste dans le pipeline de projets du Ministère de l'Energie. Il est prévu que cette centrale soit dotée d'un barrage dont le site se situe à 1300 m en amont de la centrale hydroélectrique.

Chacune de ces trois rivières possède une station limnimétrique à proximité de la RN 5. Les observations de hauteurs d'eau sont enregistrées deux fois par jour depuis 1979. La station hydrologique de Muhira à Ruhagarika est détruite depuis novembre 2015. Elles possèdent cependant des données de complétude assez faible due à une absence d'enregistrement pendant la période de 1995 à 2008.

Les deux variantes ont fait l'objet d'une analyse multicritères lors de la phase diagnostic. Celle-ci a abouti aux conclusions suivantes :

- Les superficies dominées par les infrastructures de la variante 2 sont inférieures à celles dominées par les infrastructures de la variante 1 ;
- Les infrastructures à réaliser dans la variante 2 sont plus importantes (nombre et largeur des prises, longueur des canaux tête morte...) que dans la variante 1. Le coût de la variante 2 sera plus important que celui de la variante 1 ;
- La variante 2 impacte négativement une population non bénéficiaire du projet beaucoup plus importante que dans la variante 1, notamment du fait de la traversée de vastes zones de paysannat par le canal tête morte venant de la Muhira ;
- La vulnérabilité des infrastructures de la variante 2 est beaucoup plus importante que celle de la variante 1 : sites de prise et canaux tête mortes dans des zones d'orpillage, piratage potentiel du canal tête morte par des exploitations agricoles et des activités économiques dans les centres urbains, pollution du canal tête morte dans les centres urbains traversés...
- L'organisation des opérations d'entretien et de maintenance des infrastructures sera plus complexe à organiser dans le cadre de la variante 2 : infrastructures plus nombreuses pour des bénéficiaires moins nombreux, disparité géographique des infrastructures, distances entre infrastructures et bénéficiaires.

La variante 2 est donc plus coûteuse, plus vulnérable, occasionne des impacts négatifs plus importants, et peut être une source de tension et de conflit dans la zone, pour des bénéficiaires moins importants que la variante 1.

Pour toutes ces raisons, la variante 2 apparaît comme non viable. Le présent APD , ainsi que l'APS déjà approuvé par le Projet se sont focalisés donc sur la variante 1.

3 Etude agro-socio-économique

L'étude agro-socio-économique détaillée a été présentée dans le rapport de diagnostic. Le lecteur s'y réfèrera pour bien appréhender les contextes socio-économiques, agronomiques et agroéconomiques de la zone d'étude.

L'étude agro-socio-économique conclut en formulant les conditions de faisabilité du projet et les mesures d'accompagnement qui permettront d'en assurer la durabilité et la rentabilité et maximiser les retombées économiques et sociales des investissements consentis :

- Dans ce cadre il est à noter que, dans le souci de pérenniser les acquis des projets d'aménagements hydro-agricoles, le programme PRDAIGL a commandité une « Etude Juridique et Institutionnelle de Création, Structuration et Fonctionnement des Associations d'Usagers d'Eau (AUE) pour la gestion durable des périmètres aménagés et irrigués au Burundi ».

Cette étude a pour objectif global de contribuer à améliorer, sur des bases durables la gestion des périmètres aménagés et irrigués au Burundi, à travers la création, la structuration et le bon fonctionnement des Associations d'Usagers de l'AUE, ainsi que l'implication d'autres acteurs publics et privés du secteur.

La finalité de cette étude est la production d'un dossier assorti de textes de création officielle des AUE et du plan de renforcement des capacités validé lors d'un atelier national.

Les résultats de l'étude épingle les différentes problématiques qui minent la mise en œuvre et la pérennisation des acquis des projets d'aménagements hydro-agricoles. L'étude formule également des recommandations pertinentes par rapport aux problématiques identifiées.

Les recommandations formulées dans le cadre du diagnostic ont tenu compte du travail en cours.

- Les problématiques identifiées sont multiples et l'étude de diagnostic recommande l'intégration de l'ingénierie sociale dans la mise en œuvre du projet via le recrutement d'une agence chargée spécifiquement de cette question. C'est un prérequis nécessaire avant le démarrage des travaux afin d'assurer une parfaite appropriation des futurs aménagements par les exploitants.

Durant la phase d'aménagement, cette agence (a) traitera de la sécurisation foncière, (b) appuiera les exploitants dans la construction d'une vision de leur projet, (c) favorisera la mise en place d'un schéma d'aménagement vers les revenus élevés et le bien-être des exploitants ainsi que (d) le développement de l'inclusion au niveau communautaire.

Durant la phase d'exploitation, cette agence (a) appuiera la structuration des exploitants, (b) l'opérationnalisation de la mise en place des AUE, des coopératives et de la structure faitière et (c) la mise en place d'un partenariat avec le BPEAE.

4 Etude foncière

4.1 Objectif de l'étude

La réalisation d'un inventaire physique des parcelles couplé au levé topographique du parcellaire existant est d'une importance capitale car cela permet une lecture du paysage (description quantitative, qualitative et cartographique) de la zone concernée par l'aménagement en général et des exploitations en particulier. Cette photographie doit tenir compte des objectifs du volet foncier concerné par l'étude et qui consiste à produire :

- Un plan parcellaire de la situation actuelle ;
- Un inventaire avec caractérisation des parcelles et de leurs exploitants ;
- Une unité parcellaire justifiée et décidée de commun accord avec les différentes parties prenantes au stade de la faisabilité et qui sera formellement approuvé par les futurs exploitants (procès-verbal)

Les études visées concernent les différentes parties du périmètre qui sont reproduites dans le tableau suivant en province de Cibitoke.

Tableau 2 - Répartition des sites à aménager au niveau de la commune Buganda

N°	COMMUNE	COLLINE	SOUS COLLINES	LOCALITES	Superficies en ha
1	BUGANDA	Cunyu	Rugoma II	-	7.64
2	BUGANDA	Gasenyi	Cangugu-Ruhurwe	Aval Tr3-Tr4	40.06
3	BUGANDA	Gasenyi	Cangugu-Ruhurwe	Aval Tr4-Tr5	108.10
4	BUGANDA	Gasenyi	Mataba-Mutumba	Amont Tr3-Tr4	87.74
5	BUGANDA	Gasenyi	Mataba-Mutumba	Amont Tr4-Tr5	149.84
6	BUGANDA	Gasenyi	Mparo	Tr5	7.12
7	BUGANDA	Gasenyi	Musaga-Mugorore	Aval Tr2-Tr3	55.62
8	BUGANDA	Gasenyi	Musaga-Mugorore	Aval Tr3-Tr4	78.34
9	BUGANDA	Gasenyi	Ruhembe	Amont Tr4-Tr5	32.27
10	BUGANDA	Gasenyi	Ruhembe	Amont Tr5-Tr6	148.30
11	BUGANDA	Gasenyi	Ruhembe	Amont Tr6-Tr7	68.20
12	BUGANDA	Gasenyi	Ruhembe	Amont Tr7-RivKabu	20.44
13	BUGANDA	Kaburantwa	Cangugu-Mutumba-Ruhogwe	Aval Tr4-Tr5	472.84
14	BUGANDA	Kaburantwa	Cangugu-Mutumba-Ruhogwe	Aval Tr5-Tr6	264.96
15	BUGANDA	Kaburantwa	Mukingiro-Mwanike-Runyika	Aval Tr6-Tr7	277.14
16	BUGANDA	Kaburantwa	Mukingiro-Mwanike-Runyika	Aval Tr7-Tr8	248.46
17	BUGANDA	Kaburantwa	Ntanganwa-Cumwami	Aval Tr5-Tr6	157.91
18	BUGANDA	Kaburantwa	Ntanganwa-Cumwami	Aval Tr6-Tr7	90.32
19	BUGANDA	Kansega	Bumburu Amont	-	13.73
20	BUGANDA	Kansega	Bumburu Aval	-	136.16
21	BUGANDA	Kansega	Kiziba-Ruhogoti	Amont Tr3-Tr4	273.10
22	BUGANDA	Kansega	Rwarama	Amont Tr3-Tr4	50.89

N°	COMMUNE	COLLINE	SOUS COLLINES	LOCALITES	Superficies en ha
23	BUGANDA	Kansega	Rwarama	Aval Tr3-Tr4	1.44
24	BUGANDA	Kansega	Gihomba	Aval Tr3-Tr4	58.26
25	BUGANDA	Kansega	Gihomba	Aval Tr4-Tr5	31.80
26	BUGANDA	Muremere	Kiryama-Mubanga	-	145.97
27	BUGANDA	Ndava	Mbizi	Tr6	44.51
28	BUGANDA	Ndava	Mboneza	Tr5-Tr6	0.98
29	BUGANDA	Ndava	Muserege	Tr5-Tr6	46.71
30	BUGANDA	Ndava	Ndatwa-Kayange	Tr5-Tr6	62.57
31	BUGANDA	Ndava	Ruke	Amont Tr4-Tr5	47.21
32	BUGANDA	Ndava	Ruke	Amont Tr5-Tr6	49.00
33	BUGANDA	Ndava	Ruke	Aval Tr4-Tr5	106.00
34	BUGANDA	Ndava	Ruke	Aval Tr5-Tr6	40.63
Total*					3 424.23

**Au stade de l'APD l'inventaire complémentaire réalisé a dépassé les superficies nettes irrigables en raison du levé de certaines parcelles qui débordent ou sont en dehors des zones irriguées.*

Le volet foncier décrit avec précision de façon qualitative et surtout quantitative :

- Le levé topographique au GPS du parcellaire existant ;
- L'inventaire et caractérisation des parcelles :
 - Nom de l'exploitant ;
 - Nom du propriétaire ;
 - Identification du statut des parcelles (propriétaire privé, bail...) ;
 - Conflits fonciers quant à la propriété de la parcelle ;
 - La situation de l'exploitant vis-à-vis de la parcelle {Propriétaire, locataire d'une parcelle privée, sous-locataire d'une parcelle privée, parcelle cultivée appartenant au domaine public} ;
 - Le schéma cultural de la parcelle, rotations annuelles pratiquées par l'exploitant (maraichage, maïs et sorgho, riz, haricot et patate douce et autres culture(s) vivrière(s), fourrage, jachère, autre).

Les livrables sont :

- Production d'une base de données sous Excel avec inventaire des parcelles et données enquêtées des exploitants et caractérisation des parcelles et exploitants;
- Production d'une carte du parcellaire au 1 :2000 de chacune des plaines, au format DWG (phase APD);
- Validation du plan parcellaire par tous les exploitants, l'administration communale et les services du BPEAE.

4.2 Méthodologie

La méthodologie adoptée pour mener à bien l'inventaire des exploitants et établir les plans parcellaires est découpée en plusieurs étapes présentées ci-après.

4.2.1 Collecte des informations déjà disponibles

Pour assurer la fiabilité des résultats et diminuer les biais, différentes sources d'informations ont été consultées. Ces sources sont :

- La documentation existante (études thématiques du diagnostic et de l'APS);
- Des entretiens réalisés avec :
 - Les Responsables de l'Administration locale et des services techniques (BPE AE) ;
 - Les exploitants concernés par l'étude.

4.2.2 Méthodologie de collecte de données

4.2.2.1 *Elaboration du questionnaire d'enquête*

L'élaboration du questionnaire d'enquête se base sur les informations listées dans les TDRs. Le questionnaire constitué par un tableau à plusieurs entrées (un exemple est présenté ci-après).

L'inventaire physique comprend : (i) l'évaluation au GPS des superficies de toutes les parcelles individuelles de la zone d'étude ; (ii) la caractérisation des propriétaires et exploitants et leurs parcelles respectives (iii) l'identification du statut des parcelles (propriétaire, locataire d'une parcelle privée, sous-locataire d'une parcelle privée, parcelle cultivée appartenant au domaine public) ; (iv) situation matrimoniale du propriétaire (Mariée, Veuf.ve. Célibataire, Divorcée) ; (iv) indiquer la culture de chacune des rotations (maraîchage, maïs et sorgho, riz, haricot et patate douce et autre culture(s), fourrage, jachère.

Tableau 3 - Exemple de résultat du questionnaire d'enquête

N°	Nom de l'exploitant	Nom du propriétaire	Sexe	Chef de ménage oui ou non	Situation matrimoniale	Statut de la parcelle	Superficie [ares]	Conflit	Culture de rotation par saison			Coordonnées géographiques WGS84 - UTM 35S	
									Saison A	Saison B	Saison C	X	Y
1	MANIRAKIZA J. Barchmans	MANIRAKIZA J. Barchmans	M	Oui	Marié	Propriétaire	11.82	Non	Maïs	Manioc	Jachère	746653	9672948
2	BIKORIMANA Siméon	BIKORIMANA Siméon	M	Oui	Marié	Propriétaire	85.64	Non	Maïs	Manioc	Jachère	746613	9672833
3	BIGIRIMANA Sammuel	BIGIRIMANA Sammuel	M	Oui	Marié	Propriétaire	41.89	Non	Maïs	Manioc, Palmier	Jachère	746590	9672821
4	BANYUZURIYEKO Emmanuel	BANYUZURIYEKO Emmanuel	M	Oui	Marié	Propriétaire	47.07	Non	Maïs	Manioc	Jachère	746581	9672793
5	MANIBONA Josoué	MANIBONA Josoué	M	Non	Marié	Propriétaire	54.58	Non	Maïs	Manioc	Jachère	746541	9672818
6	NZOKIRA M. Rose	NZOKIRA M. Rose	F	Oui	Veuve	Propriétaire	93.13	Non	Maïs	Manioc	Jachère	746552	9672780
7	NSEKAMBABAYE Thérèse	NSEKAMBABAYE Thérèse	F	Oui	Veuve	Propriétaire	121.10	Non	Maïs	Manioc	Jachère	746419	9672863
8	NYAWUHORAHIRIWE Jean	NYAWUHORAHIRIWE Jean	M	Oui	Marié	Propriétaire	116.43	Non	Maïs	Manioc	Jachère	746368	9672870
9	DODORO Sammuel	DODORO Sammuel	M	Oui	Marié	Propriétaire	30.81	Non	Maïs	Manioc	Jachère	746580	9672821
10	NICIMPAYE Claudette	NICIMPAYE Claudette	F	Oui	Veuve	Propriétaire	11.76	Non	Maïs	Haricot, Tomate	Jachère	746697	9672672
11	MPAWENIMANA Jeanne	MPAWENIMANA Jeanne	F	Non	Marié	Propriétaire	9.87	Non	Maïs	Manioc	Jachère	746789	9672567
12	NZEYIMANA Claudine	NZEYIMANA Claudine	F	Non	Marié	Propriétaire	8.69	Non	Maïs	Manioc	Jachère	746833	9672523
13	NICIMPAYE Claudette	NICIMPAYE Claudette	F	Oui	Veuve	Propriétaire	10.14	Non	Maïs	Manioc	Jachère	743888	9672467
14	Inconnu	Inconnu	M	Oui	Marié	Propriétaire	8.85	Non	Maïs	Manioc	Jachère	746926	9672426

4.2.2.2 Formation des enquêteurs

Après le partage du questionnaire avec le projet et l'intégration des observations émises, le superviseur de l'enquête a procédé à la formation des enquêteurs et des agents de saisie.

4.2.2.3 Réunion de sensibilisation des exploitants

Des réunions d'information et de sensibilisation ont été organisées dans la zone visée par l'aménagement. L'objectif était d'amener les exploitants à s'imprégner du but de l'enquête et s'assurer de certaines conditions comme l'adhésion et la participation effective des bénéficiaires. Les exploitants se sont réunis sur les collines Gasenyi Rural, Kaburantwa pour les blocs en rive droite de la rivière Kaburantwa et sur les collines de Kansega et Ndava Village pour les blocs en rive gauche de la rivière Kaburantwa.

En collaboration avec l'administration locale, les services techniques du BPEAE Cibitoke et le responsable de l'équipe d'enquêteurs, plusieurs questions émises par les exploitants ont été débattues pour une bonne préparation du travail d'inventaire.

4.2.2.4 Enquête sur terrain et levé topographique du parcellaire existant

L'inventaire et le levé des parcelles ont été réalisés par sept équipes de quatorze enquêteurs sous la supervision d'un chef d'équipe appuyé par certains représentants des populations bénéficiaires et des représentants de l'administration locale du ressort de la Commune de Buganda.

Dans le souci d'une meilleure organisation, l'identification des propriétaires et exploitants couplée au mesurage des superficies respectives ont été organisés selon un ordre chronologique déterminé. Pour faciliter le travail d'inventaire des parcelles et des exploitants, nous nous sommes constitués en sept équipes pour balayer les différents blocs constituant la zone d'étude. Chaque équipe devrait évoluer en suivant les différentes parcelles localisées sur les transversales constitutives des ex-paysannats de la Commune Buganda plus précisément sur les collines de Gasenyi Rural, Kaburantwa, Kansega et Ndava Village.

La durée de l'inventaire a été de 32 jours pour tous les blocs de la zone d'étude. Le levé topographique a été réalisé par matérialisation au GPS des sommets des parcelles individuelles des exploitants. Le plan topographique réalisé est une carte parcellaire qui montre la position actuelle des parcelles des exploitants. Il est dessiné à l'échelle de 1/2000 sous format numérique DWG au logiciel de dessin AutoCad-Covadis comme indiqué dans les termes de références.

4.3 Résultats

- **En rive droite de la Kaburantwa**, la zone d'étude comporte 9 690 parcelles totalisant une superficie de 2325.1 ha.

La superficie moyenne des parcelles inventoriées est de 31.16 ares, la parcelle la plus grande a une superficie de 6 820 ares, la plus petite parcelle a une superficie de 0.48 ares.

Le tableau ci-dessous donne la répartition des parcelles inventoriées par classe de superficie. Il montre que plus de 50 % des parcelles ont une superficie inférieure à 20 ares.

Tableau 4 - Répartition des parcelles inventoriées en rive droite de la Kaburantwa par classes de superficie

Classe de superficie [are]		Nombre de parcelles	%
De	à exclu		
0	10	2 688	36.4%
10	20	2 595	35.1%
20	30	819	11.1%
30	40	329	4.5%
40	50	200	2.7%
50	60	93	1.3%
60	70	62	0.8%
70	80	68	0.9%
80	90	53	0.7%
90	100	59	0.8%
100	500	411	5.6%
500	Et plus	13	0.2%
-	Total	7 390	100.0%

Un total de 3 442 propriétaires connus a été recensé dans la zone. La majorité des propriétaires (49.99 %) disposent d'une seule parcelle mais certains propriétaires disposent de jusqu'à 19 parcelles. Par contre, il faut noter que les propriétaires qui disposent de plus de 10 parcelles ne représentent que 3.4% de la superficie de la zone d'étude en rive droite de la Kaburantwa.

Tableau 5 - Nombre de parcelles par propriétaire en rive droite de la Kaburantwa

Nombre de parcelles par propriétaire	Propriétaires		Superficie (ares)	
	Nombre	%	Total	%
1	2 798	69.1%	110 414	50.9%
2	689	17.0%	45 511	21.0%
3	273	6.7%	24 540	11.3%
4	131	3.2%	10 580	4.9%
5	65	1.6%	7 294	3.4%
6	36	0.9%	4 256	2.0%
7	25	0.6%	3 604	1.7%
8	13	0.3%	1 287	0.6%
9	9	0.2%	1 697	0.8%
10	13	0.3%	2 570	1.2%
11	3	0.1%	676	0.3%
12	3	0.1%	672	0.3%
13	4	0.1%	1 998	0.9%
14	0	0.0%	0	0.0%
15	1	0.0%	186	0.1%
16	0	0.0%	0	0.0%
17	0	0.0%	0	0.0%
18	0	0.0%	0	0.0%
19	0	0.0%	0	0.0%
20	1	0.0%	1 659	0.8%
Total	4052	-	216 944	-
Inconnu	670		15 561	

- **En rive gauche de la Kaburantwa**, la zone d'étude comporte 2 042 parcelles totalisant une superficie de 899.68 ha.

La superficie moyenne des parcelles inventoriées est de 44.06 ares, la parcelle la plus grande a une superficie de 2 819.92 ares, la plus petite parcelle a une superficie de 0.91 ares.

Le tableau ci-dessous donne la répartition des parcelles inventoriées par classe de superficie. Il montre que plus de 50 % des parcelles ont une superficie inférieure à 20 ares.

Tableau 6 - Répartition des parcelles inventoriées en rive gauche de la Kaburantwa par classes de superficie

Classe de superficie [are]		Nombre de parcelles	%
De	à exclu		
0	10	867	27.3%
10	20	921	29.0%
20	30	442	13.9%
30	40	292	9.2%
40	50	173	5.4%
50	60	83	2.6%
60	70	52	1.6%
70	80	60	1.9%
80	90	34	1.1%
90	100	29	0.9%
100	500	217	6.8%
500	Et plus	7	0.2%
-	Total	3 177	100.0%

Un total de 1167 propriétaires connus a été recensé dans la zone. La plupart des propriétaires (76.36 %) disposent d'au plus deux parcelles mais certains propriétaires disposent de jusqu'à 13 parcelles. Par contre, il faut noter que les propriétaires qui disposent de plus de 5 parcelles ne représentent que 5.4% de la superficie de la zone d'étude en rive gauche de la Kaburantwa.

Tableau 7 - Nombre de parcelles par propriétaire en rive gauche de la Kaburantwa

Nombre de parcelles par propriétaire	Propriétaires		Superficie (ares)	
	Nombre	%	Total	%
1	1247	75.4%	53 037	48.6%
2	261	15.8%	29 706	27.2%
3	76	4.6%	11 861	10.9%
4	37	2.2%	6 867	6.3%
5	17	1.0%	3 527	3.2%
6	10	0.6%	880	0.8%
7	1	0.1%	516	0.5%
8	1	0.1%	1 234	1.1%
9	2	0.1%	320	0.3%
10	2	0.1%	402	0.4%
11	1	0.1%	252	0.2%
12-19	0	0.0%	0	0.0%
20	1	0.1%	630	0.6%
Total	1 654	-	109 232	-
Inconnu	293	-	9 216	-

4.4 Conclusion

Les superficies inventoriées sont légèrement supérieures aux superficies des aménagements car certaines parcelles débordent des limites aménagées.

Il est proposé que l'unité parcellaire, établie sur la base de la distribution des superficies moyennes, soit fixées à 25 ares.

Cette superficie servira de base en phase travaux si un remembrement s'avère nécessaire en raison de la disposition des arroseurs et des canaux. En pratique les arroseurs seront disposés de manière à perturber le moins possible le parcellaire existant.

Si un remembrement devait avoir lieu, les modifications du parcellaire seront matérialisées par la mission de contrôle avec l'accord des propriétaires des parcelles concernées et avec l'appui de la BPEAE /ou d'une éventuelle structure en charge de l'ingénierie sociale.

5 Contexte physique

5.1 Levé topographique

Les levés topographiques ont été réalisés par trois brigades topographiques équipées de stations totales LEICA (modèle TC305, TC405 et TS06), avec enregistrement interne des données et transfert automatique vers l'ordinateur. L'ensemble de la chaîne de traitement jusqu'à la production des fonds de plans topographiques a été réalisé sur ordinateur.

Les levés ont été effectués par la technique des stations enchaînées. Le cheminement polygonal de base a été encadré et orienté à l'aide de points « GPS différentiel ». Les coordonnées fournies sont donc compatibles avec le système du Burundi, pour une utilisation cartographique.

Les levés topographiques ont porté sur :

- L'ensemble des limites aménageables telles que redéfinies suite aux premières visites de terrain ;
- Le tracé des canaux tête morte et le site de l'ouvrage de prise, dessableur, aqueduc et siphons ont également été levés.

Les produits « bruts » des études topographiques sont :

- Un fond de plan topographique avec les courbes de niveau principales espacées de 1 m et les courbes secondaires espacées de 0.25 m en arrière-plan des vues d'ensemble à l'échelle 1/2000;
- Un fichier de l'ensemble des points levés;
- Un fichier des bornes d'appui du levé.

Les courbes de niveau sont présentées sur les vues en plan.

Des bornes d'appui ont été placées systématiquement. Ces points sont matérialisés soit par des bornes en béton, soit par des points marqués à la peinture sur des ouvrages existants.

Les tableaux ci-dessous présentent les références géographiques et altimétriques de ces bornes. Elles apparaissent également sur les différentes vues en plan de l'aménagement, disponibles au cahier des plans.

Ces dernières peuvent être facilement retrouvées au GPS dont le paramétrage doit être conforme au système burundais :

Projection : Universal Transverse Mercator zone 35S

Origine des coordonnées : méridien central 27°E X= 500.000 / Y= 10.000.000

Ellipsoïde WGS84 - Facteur d'échelle $k_0 = 0.9996$

Tableau 8 – Coordonnées des bornes du levé topographique

id	x	y	z
B00	743930.74	9671774.69	876.28
B02	746588.86	9668943.78	829.24
B03	750473.20	9668910.88	902.84
B04	751860.63	9666620.01	877.56
B05	751021.05	9663587.10	824.79
B06	751388.15	9661001.95	800.33
B07	751823.94	9657573.45	827.58
BS03	744655.37	9669084.33	841.63
BS04	744841.08	9668893.36	842.58
BS05	745180.76	9669628.46	848.23
BS06	744933.83	9669688.35	849.84
BS19	746729.57	9668815.22	825.81
BS20	746821.12	9668719.37	821.67
BS21	746639.23	9668617.29	828.72
BS22	746451.27	9666997.19	803.77
BS23	746578.91	9666882.65	804.76
BS24	747654.26	9667642.89	836.17
BS25	747784.92	9667615.30	835.11
BS26	748069.63	9667565.52	831.52
BS27	748137.00	9667551.43	831.81
BS28	749307.27	9668837.28	863.03
BS29	749396.13	9668843.77	864.52

id	x	y	z
BS07	744086.67	9671213.83	862.56
BS08	744048.43	9671165.26	861.14
BS09	742918.35	9671537.49	874.88
BS10	742476.37	9671423.03	882.94
BS11	746207.77	9672337.60	853.98
BS12	746395.39	9672035.70	873.67
BS12	746020.08	9672639.53	873.64
BS13	747034.30	9671049.44	834.97
BS14	746911.66	9671184.55	836.11
BS15	746872.60	9668996.31	826.81
BS16	747072.66	9669266.22	826.09
BS17	744823.36	9668300.80	819.17
BS18	744960.87	9668099.19	818.35

id	x	y	z
BS30	749405.63	9667115.18	838.15
BS31	749512.29	9667009.24	837.26
BS32	749591.24	9666887.99	836.31
BS33	749982.97	9665932.19	832.93
BS34	750070.19	9665831.11	838.09
BS35	750113.45	9667892.26	865.00
BS36	750061.49	9667850.33	862.43
BS37	748451.41	9666446.93	833.80
BS38	748337.34	9666709.23	834.45
BS43	749229.78	9669432.18	859.06
BS44	749124.69	9669636.35	857.91
BS45	748031.81	9672050.53	843.84
BS46	748099.09	9672077.58	853.98

5.2 Etude pédologique

5.2.1 Méthodologie mise en œuvre

Les études pédologiques ont été menées en phase diagnostic. Le rapport diagnostic présente de façon détaillée l'approche mise en œuvre.

Les paragraphes suivants présentent les enseignements tirés de ces investigations

5.2.2 Enseignements tirés des investigations

5.2.2.1 Contexte général

La figure ci-dessous présente un extrait de la carte pédologique du Burundi à l'échelle 1/50.000 pour la zone d'étude (Planches 8/Cibitoke, 9/Ndora et 15/Bubanza) et le tableau qui suit reprend la légende des unités pédologiques identifiées dans la zone d'étude.

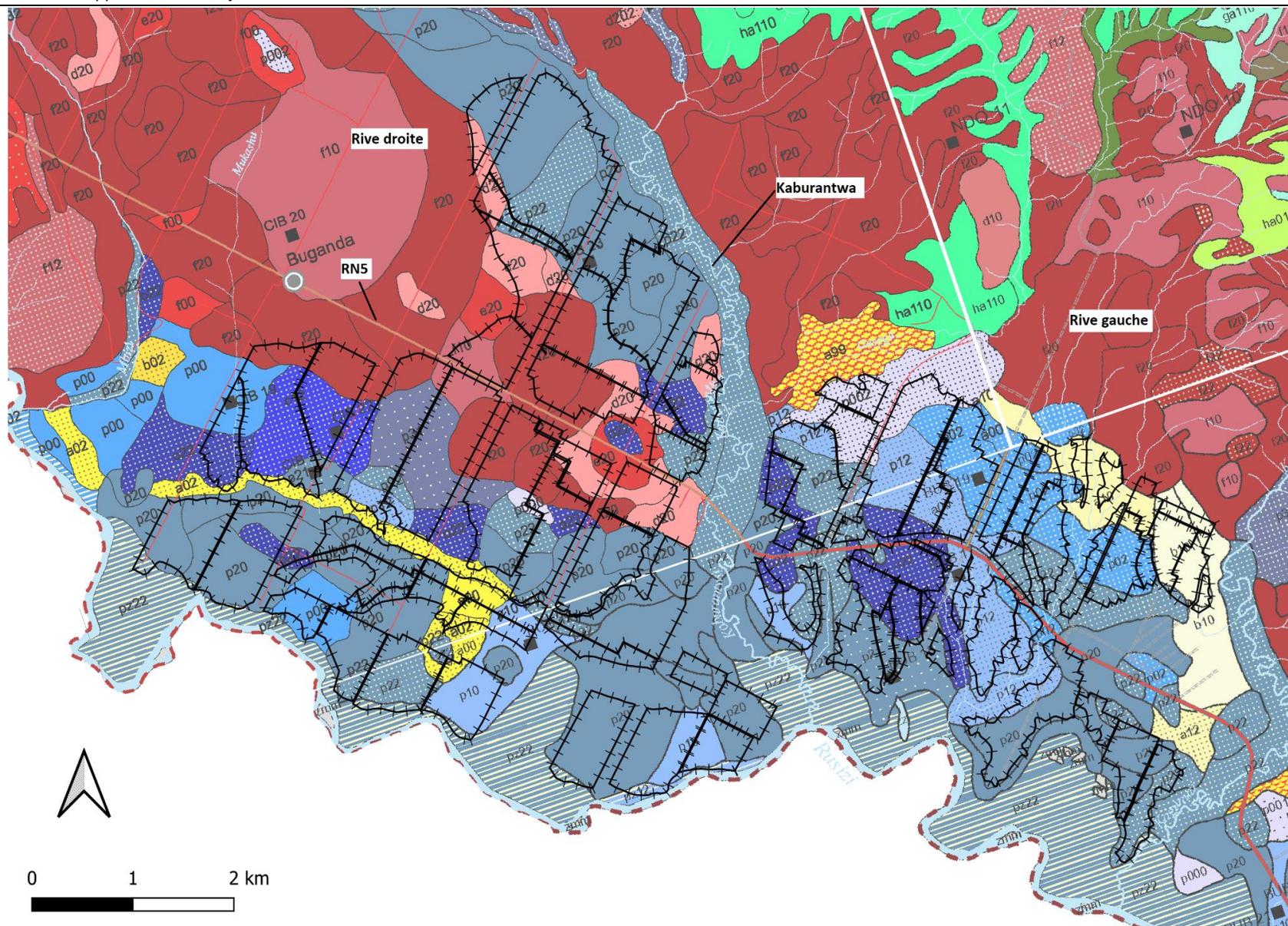


Figure 3 – Extrait de la carte pédologique au 1/50.000 pour la zone d'étude (ISABU, 2014)

Tableau 9 – Extrait de la légende de la carte pédologique au 1/50.000 (ISABU, 2014)

Sols dérivés de matériaux sédimentaires ou faiblement métamorphiques (schiste, micaschiste, quartzite)



a99

Prédominance d'affleurements des formations quartzitiques

Roche ou saprolithe avant 50 cm

Développement Entique (E)



a00

Sols jaunes, bien drainés, limono-argilo-sableux ou limono-sableux, présentant une altération minimale et peu profonde, non limités avant 100 cm par une charge graveleuse ou la roche-mère



a02

Sols jaunes, bien drainés, limono-argilo-sableux ou limono-sableux, présentant une altération minimale et peu profonde, limités avant 50 cm par le saprolithe ou la roche-mère



a10

Sols jaunes, bien drainés, argileux, argilo-sableux ou limono-argileux, présentant une altération minimale et peu profonde, non limités avant 100 cm par une charge graveleuse ou la roche-mère



a12

Sols jaunes, bien drainés, argileux, argilo-sableux ou limono-argileux, présentant une altération minimale et peu profonde, limités avant 50 cm par une charge graveleuse ou la roche-mère

Roche ou saprolithe avant 50 et 100 cm

Développement Cambique (C)



b02

Sols jaunes ou rouges, bien drainés, limono-argilo-sableux, présentant une altération modérée et moyennement profonde, limités avant 50 cm par une charge graveleuse (quartz) et par la roche-mère entre 50 et 100 cm



b10

Sols jaunes ou rouges, bien drainés, limono-argilo-sableux, présentant une altération modérée et moyennement profonde, non limités avant 100 cm par une charge graveleuse

Roche ou saprolithe à plus de 100 cm

Développement Argilique Avancé (A+Ap) et Spodique (S)



d20

Sols jaunes ou rouges, bien drainés, argileux ou argilo-sableux, présentant une altération avancée (A+Ap) et profonde, non limités avant 100 cm par une charge graveleuse

Développement Argilique-Intergrade-Oxique (K)



e20

Sols jaunes ou rouges, bien drainés, argileux ou argilo-sableux, présentant une altération avancée à ultime et profonde, non limités avant 100 cm par une charge graveleuse

Développement Oxique (O)



f10

Sols jaunes ou rouges, bien drainés, limono-argilo-sableux, présentant une altération ultime et profonde, non limités avant 100 cm par une charge graveleuse



f20

Sols jaunes ou rouges, bien drainés, argileux ou argilo-sableux, présentant une altération ultime et profonde, non limités avant 100 cm par une charge graveleuse

Sols dérivés de matériaux alluvionnaires

Sols minéraux

Développement Vertique(V)



o22

Sols très pauvrement à pauvrement drainés, argileux-lourds, non limités avant 100 cm par une charge graveleuse

Développement Entique et Cambique (E+C)



p20

Sols bien drainés, argilo-limoneux, non limités avant 100 cm par une charge graveleuse



p21

Sols imparfaitement à modérément drainés, argileux à limono-argileux, non limités avant 100 cm par une charge graveleuse



p22

Sols très pauvrement à pauvrement drainés, argileux à argileux-lourds, non limités avant 100 cm par une charge graveleuse

	Sols bien drainés, limono-argilo-sableux ou limono-sableux, non limités avant 100 cm par une charge graveleuse
	Sols salins, très pauvrement à pauvrement drainés, argileux à argilo-limoneux, parfois couverts par une épaisse couche organique, non limités avant 100 cm par une charge graveleuse
	Sols bien drainés, argileux à limoneux, non limités avant 100 cm par une charge graveleuse
	Sols très pauvrement à pauvrement drainés, argileux ou limono-argileux, non limités avant 100 cm par une charge graveleuse
	Sols salins, très pauvrement à pauvrement drainés, limono-argilo-sableux à argilo-sableux, parfois couverts par une épaisse couche organique, non limités avant 100 cm par une charge graveleuse
	Sols bien drainés, sableux à sablo-limoneux, non limités avant 100 cm par une charge graveleuse
	Sols très pauvrement à pauvrement drainés, sableux à sablo-limoneux, non limités avant 100 cm par une charge graveleuse
	Sols bien drainés, limono-argilo-sableux ou limono-sableux, non limités avant 100 cm par une charge graveleuse

Cet extrait de carte montre que les zones basses, fréquemment inondées, sont caractérisées par des sols salins (pz12 et pz22). Du fait du risque d'inondation et de la présence de sols salins, ces zones ne sont pas prises en compte dans l'aménagement.

Le lit majeur des principales vallées - Kaburantwa et Kagunuzi notamment - sont occupées par des sols argileux à argileux lourds et profonds.

Les sols des terrasses qui dominent ces vallées sont d'origine alluvionnaire et principalement constitués de sols argilo-limoneux assez profonds. En rive gauche de la Kaburantwa, le contexte pédologique est plus hétérogène, avec des sols argileux à argilo-limoneux mais imparfaitement drainés et caractérisés par la présence d'une charge graveleuse à faible profondeur (< 100 cm).

Enfin, en quittant ces terrasses et en remontant sur les collines, les sols présents sont dérivés de la roche-mère sous-jacente (à plus de 100 cm de profondeur). Il s'agit pour l'essentiel de sols jaunes ou rouges, argileux ou argilo-sableux, limités entre 50 et 100 cm par une charge graveleuse.

Dans ce contexte, la zone à aménager peut-être découpée en deux domaines :

- Domaine 1 – Rive gauche de la Kaburantwa et Rive droite Kaburantwa / Sud RN05 : sols essentiellement d'origine alluvionnaire. A l'extrémité de la zone à aménager en rive gauche, au nord de Ndava, on note la présence d'une zone de sols d'origine sédimentaire (a10, b10) tout le long de la vallée de la Kaburantwa de couleur jaune ou rouge et de type argileux, argilo-sableux à limoneux.
- Domaine 2 – Rive droite de la Kaburantwa / Nord RN05 : sols jaunes ou rouges dérivés de la roche mère sous-jacente, argileux ou argilo-sableux.

Les observations de terrain ont permis d'affiner cette connaissance.

5.2.2.2 Contexte pédologique en rive droite de la Kaburantwa

a. Principaux types de sols

La coupe transversale de la rive droite montre les sols dominants de l'Est à l'Ouest (figure ci-dessous).

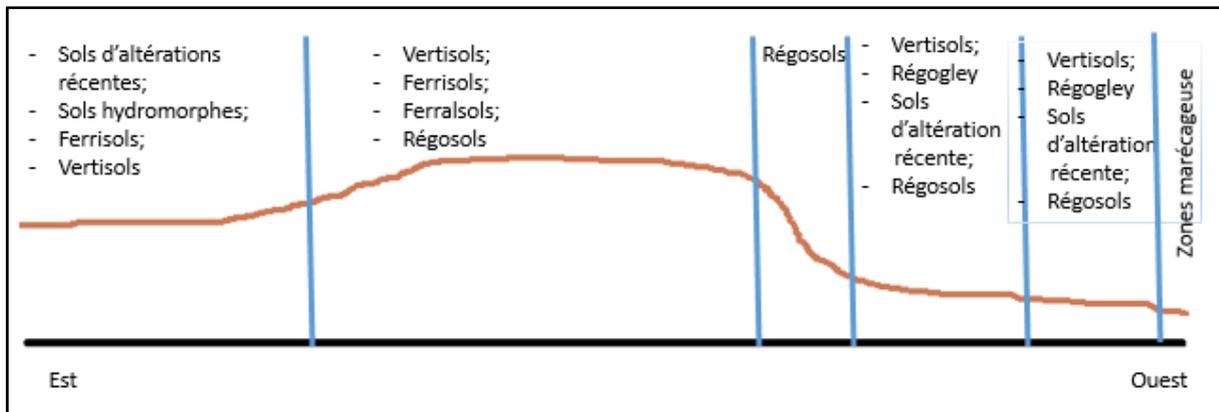


Figure 4 - Sols dominants le long de la coupe transversale de la rive droite de l'Est à l'Ouest

Dans la dépression l'Est on trouve des sols d'altération récente, des sols hydromorphes, des ferrisols et des vertisols. Dans la zone de transition et le plateau se trouvent des vertisols, des ferrisols, des ferralsols et des régosols. Dans la zone de pente, transition vers la dépression de l'Ouest, se trouvent les régosols avec dominance de graviers (arrondis) affleurant à la surface.



Figure 5 - Particularité de la zone de pente à gauche vue de la surface du sol et à droite vue de loin de la zone de pente

Cette zone de pente est très sensible à l'érosion et des ravins ont été observés surtout le long des pistes transversales. La pente et la nature des sols y jouent un rôle très important. La pente et la sensibilité à l'érosion augmente du sud vers le nord.



Figure 6 - Ravin formé à la transversale 4B sur la zone de pente

Dans la zone de dépression de l'Ouest existent des sols d'altération récente, des régoles, des régosols et des vertisols.

L'extrémité de la zone de dépression, à l'Ouest, au contact avec la Rusizi, se trouve une zone marécageuse.



Figure 7 - Zone marécageuse entre la transversale 6B et 7B de la rive droite

b. Caractérisation physique

Le tableau ci-dessous présente une synthèse des principales caractéristiques physiques des sols rencontrés en rive droite de la Kaburantwa.

Tableau 10 – Principales caractéristiques physiques des sols rencontrés en rive droite de la Kaburantwa

Caractéristique (Echantillons = 8)	Moyenne	Max	Min
Ks (cm/mn)	0.40	1.00	0.20
Porosité (%)	0.32	0.46	0.24
Densité apparente	1.50	1.60	1.30

Ces valeurs montrent que les sols ont une bonne aération et une bonne perméabilité. La densité apparente proche de 1.5 confirme la prédominance de sols plus perméables.

La figure suivante présente le détail des essais d'infiltration réalisés en rive droite sur les deux principaux types de sols rencontrés (ferralsol et vertisol).

Cette figure montre que les vertisols sont caractérisés par une vitesse d'infiltration qui décroît très rapidement et se stabilise à une valeur de 0.1 cm/minute. Les ferralsols sont par contre caractérisés par une vitesse d'infiltration très élevée au début et qui met très longtemps (environ 40 minutes) à se stabiliser en cours d'essai. Les ferralsols sont caractérisés par une vitesse d'infiltration de 0.5 cm/min. Ce sont des sols beaucoup plus filtrants que les vertisols.

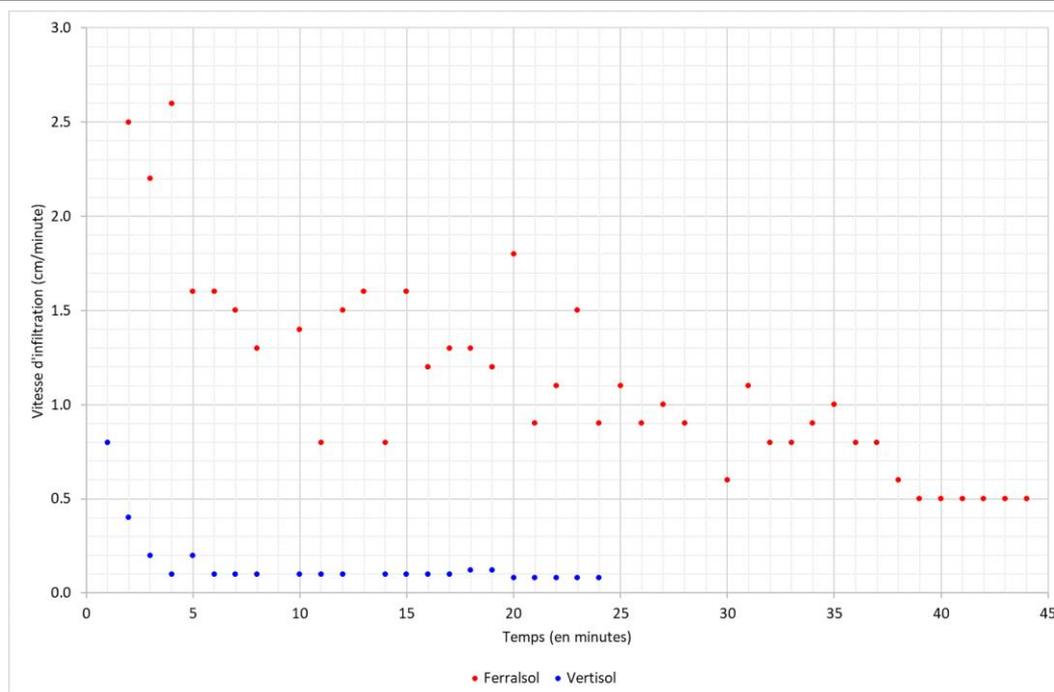


Figure 8 – Courbes d’infiltration des deux principaux types de sols rencontrés en rive droite de la Kaburantwa

c. Caractérisation physico-chimique

Le tableau ci-dessous montre les caractéristiques physico-chimiques des sols de la rive droite.

Les conclusions suivantes peuvent être tirées de ces données:

- (i) Les pHs sont en général dans la gamme de valeurs adéquates (A) sauf pour les ferralsols (P13) ou la valeur de pH était faible. Des valeurs élevées de pH ont été observées surtout dans les horizons de profondeur (B3, G1) pour les sols avec développement verticale ou avec du gley. D’une façon générale, les pHs augmentent avec la profondeur des horizons pour un même profil ;
- (ii) Le carbone organique (Corg) est généralement faible pour tous les sols sauf pour les sols d’altération récente (P2) ;
- (iii) L’azote total est faible pour certaines catégories de sol (ferralsols, régosols, ferrisols) mais élevé pour les autres (sols à développement verticale, les sols d’altération récente et les régogleys) ;
- (iv) Les valeurs de K échangeables sont élevées dans presque la totalité des sols ;
- (v) Les valeurs de la CEC sont en général dans la gamme des valeurs adéquates.

Pour chaque unité cartographique, les valeurs de caractéristiques physico-chimiques du sol seront intégrées dans la détermination de l’aptitude à la culture du riz et du maïs.

Tableau 11 – Caractéristiques physico-chimique des sols de la rive droite

Profil	Horizon	pH (eau)	Corg	Ntotal	P-M3	K éch	CEC	Niveau de fertilité					
								pH (eau)	Corg	Ntotal	P-M3	K éch	CEC
P6	P6 -Ao	7.01	11.2	1.2	5.4	5.7	105.9	A	F	A	F	A	A
	P6 -Ap	6.85	19.0	1.7	18.3	10.8	182.4	A	F	A	F	E	A
	P6 -B2	7.13	10.7	1.3	6.8	8.3	171.4	A	F	A	F	E	A
	P6 -C1	7.04	9.7	1.0	5.1	7.1	164.6	A	F	A	F	E	A
P45	P45 -Ap	6.68	9.7	0.8	5.7	5.5	77.0	A	F	F	F	E	A
	P45 -G1	7.23	2.9	0.4	2.9	5.2	194.4	E	F	F	F	E	A
P23	P23 -Ap	6.56	5.3	0.5	4.7	2.6	42.1	A	F	F	F	E	A
	P23 -B2	6.32	7.0	0.9	3.3	3.7	87.7	A	F	F	F	E	A

Profil	Horizon	pH (eau)	Corg	Ntotal	P-M3	K éch	CEC	Niveau de fertilité					
								pH (eau)	Corg	Ntotal	P-M3	K éch	CEC
P2	P2-Ap	6.43	18.9	1.9	15.0	11.0	131.5	A	A	A	F	E	A
	P2-B2	6.63	6.2	0.8	5.5	4.6	68.5	A	F	F	F	E	A
	P2-C1	6.53	5.2	0.7	5.5	4.6	68.5	A	F	F	F	E	A
P39	P39-Ap	6.65	7.1	0.8	5.2	3.5	48.3	A	F	F	F	E	A
	P39-B3	6.25	4.4	0.5	4.0	2.4	49.5	A	F	F	F	E	A
P25	P25-Ap	7.36	8.2	1.0	4.0	7.1	202.4	E	F	A	F	E	E
P34	P34-Ap	6.96	5.5	0.6	3.5	4.4	85.2	A	F	F	F	E	A
	P34-B3	7.37	4.7	0.6	2.1	4.9	147.1	E	F	F	F	E	A
P37	P37-Ap	6.52	11.9	1.7	18.8	5.7	74.4	A	F	A	F	E	A
P23	P23-Ap	6.49	14.7	1.7	6.5	9.1	172.7	A	F	A	F	E	A
	P23-B1	7.10	12.4	1.4	8.7	6.1	217.1	A	F	A	F	E	E
P13	P13-Ap	6.42	10.8	1.3	11.2	4.2	82.5	A	F	A	F	E	A
	P13-B3	5.65	6.1	0.9	7.3	2.5	55.0	F	F	F	F	A	A
P8	P8-Ap	6.25	8.8	1.1	9.2	4.2	71.9	A	F	A	F	E	A
	P8-B1	6.63	5.0	0.5	4.5	3.0	79.0	A	F	F	A	A	A
P40	P40-Ap	6.69	7.2	0.8	6.8	2.7	51.2	A	F	F	A	E	A
	P40-B3	6.20	5.4	0.5	3.4	2.6	59.5	A	F	F	A	E	A
P33	P33-Ap	6.66	18.0	1.5	13.8	10.1	175.8	A	F	A	F	E	A
	P33-C1	6.39	6.0	0.8	5.8	4.6	97.1	A	F	F	F	E	A
P14	P14-Ap	7.07	9.8	1.1	7.9	5.5	105.1	A	F	A	F	E	A
	P14-B2	6.59	5.1	0.7	3.5	4.6	121.1	A	F	F	F	E	A
P9	P9-Ap	6.90	5.8	0.7	7.6	4.0	50.3	A	F	F	F	E	A
	P9-B3	6.54	3.9	0.4	2.5	3.6	72.6	A	F	F	F	E	A
	P9-C2	6.97	9.2	1.1	5.7	7.5	141.5	A	F	A	F	E	A

*La numérotation est faite comme suit : numéro du profil (les numéros sont ceux qui sont sur les cartes de localisation des profils) et le nom de l'horizon

Couleur verte : valeur adéquate
 Couleur orange : valeur élevée
 Couleur rouge : valeur faible

Les recommandations de fertilisation sur le riz et le maïs ont été formulées à partir des analyses de l'horizon de surface. Les figures ci-dessous montrent les recommandations de fertilisation maximale et minimale pour la rive droite

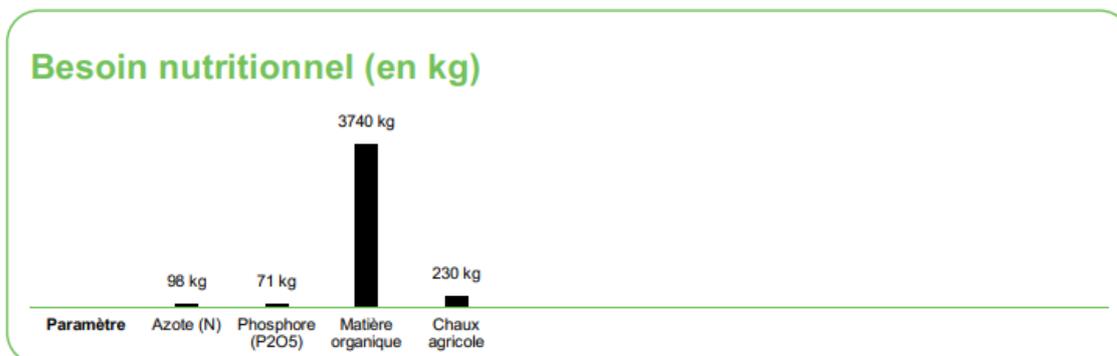


Figure 9 – Recommandations de fertilisation de la culture du riz sur ferralsols (représentés par le profil 34)

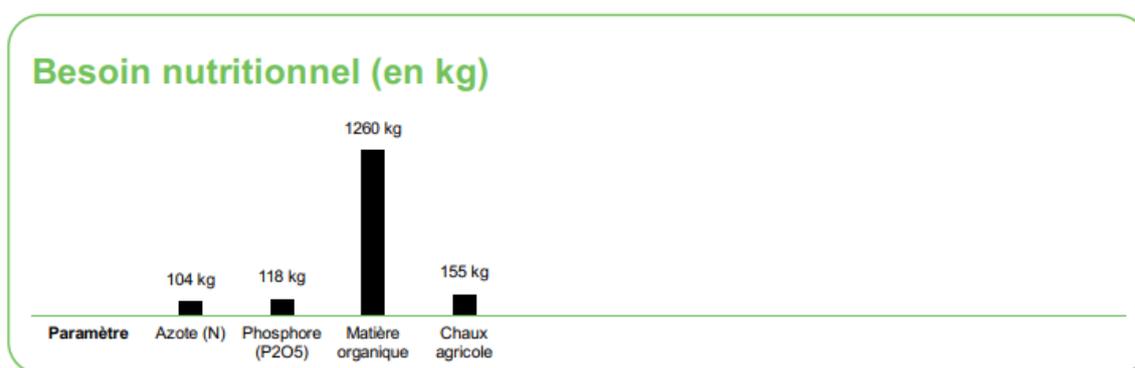


Figure 10 – Recommandations de fertilisation de la culture du maïs sur les sols d’altération récente (représenté par le profil 02)

Les variations des recommandations sont dans les gammes suivantes :

- Carbone organique : pour toutes les cultures, les valeurs varient de 1260 à 3740 tonnes/ha avec des valeurs plus faibles pour les sols d’altération récente, les vertisols et les régogley mélanique alors que les valeurs les plus élevées sont pour les ferralsols et les régogleys ;
- Pour l’azote totale (N) : les valeurs varient de 74 à 101kg/ha pour le riz et 104 à 128 kg/ha pour le maïs avec des valeurs plus faibles pour les sols d’altération récente, les vertisols et les régogley mélanique alors que les valeurs les plus élevées sont pour les ferralsols et les régogleys
- Phosphore (P₂O₅) : l’apport en phosphore n’est pas variable sauf pour les cultures où il faut 71kg/ha pour le riz et 118kg/ha pour le maïs ;
- Potassium (K₂O) : cet élément est nécessaire dans certains types de sol comme les régogleys. Les valeurs varient de 0 à 85kg/ha pour le riz et 0-53 kg/ha pour le maïs ;
- La chaux : les valeurs varient de 40 à 230kg/ha pour toutes les cultures. Les valeurs les plus élevées sont pour les ferralsols et les plus faibles pour régogleys et les vertisols.

Note : avant de changer les formules actuellement recommandées, il faut des essais de vérification car les présentes recommandations ont été réalisées uniquement sur base des analyses de sol.

d. Occupation actuelle des terres

Les observations de l’occupation des terres ont été réalisées durant la campagne de sondages pédologiques, c’est-à-dire durant la période de transition entre saison A et saison B.

Le maïs est la culture dominante en rive droite (33% des points de sondage) suivi par la polyculture, le manioc et la patate douce. Ces 4 cultures représentent à elles seules plus de 75 % des observations faites en rive droite. Le riz n’occupe qu’une place marginale dans ces observations (4 %). Ceci s’explique par l’absence d’apports d’eau dans la zone. D’autres cultures, telles que le soja, la tomate, les haricots... sont aussi observées en rive droite.

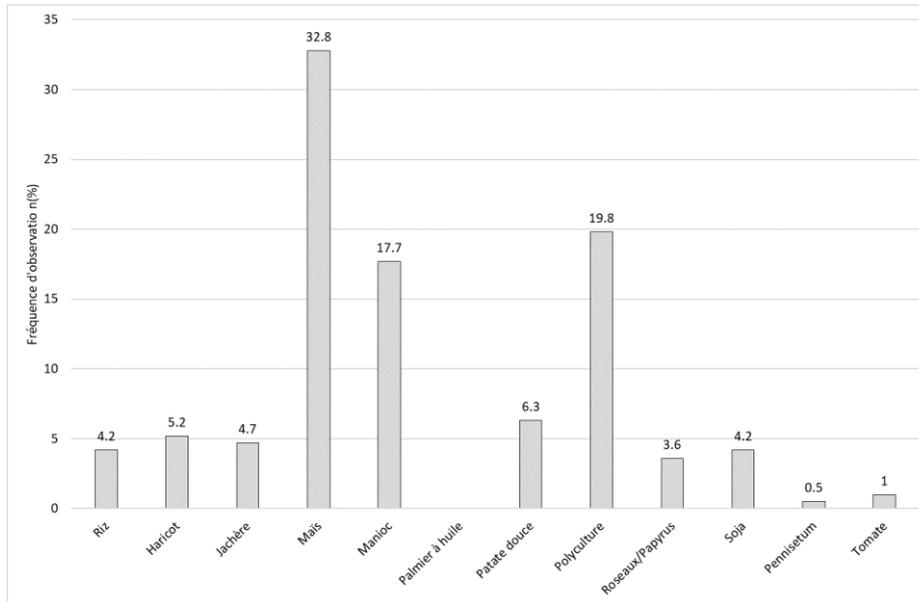


Figure 11 – Occupation des terres observée en rive droite de la Kaburantwa



Figure 12 - Haricot semé dans les tiges de sorgho

5.2.2.3 Contexte pédologique en rive gauche de la Kaburantwa

a. Principaux types de sols

La figure ci-dessous présente une coupe transversale typique, réalisée en rive gauche de la Kaburantwa, d’Est en Ouest. Cette coupe montre l’apparition successive des sols suivants.

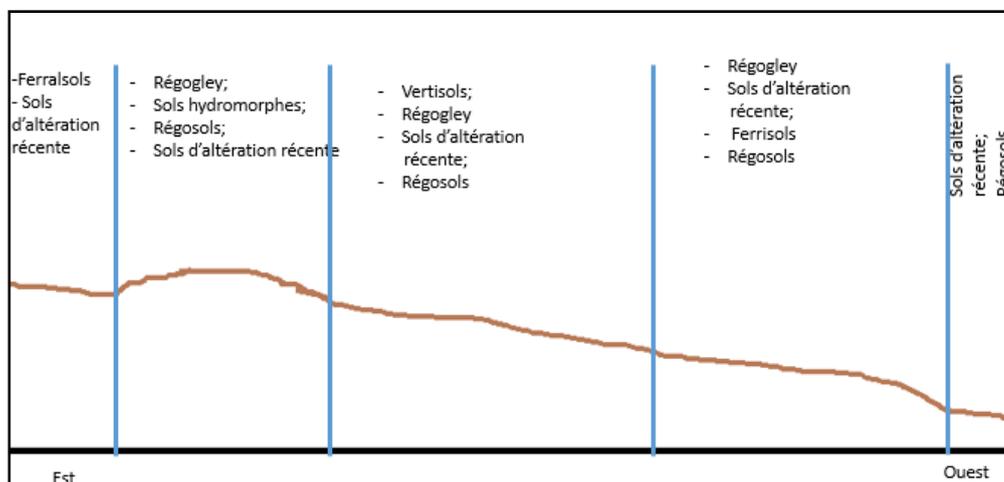


Figure 8 - Sols dominants le long de la coupe transversale de la rive gauche de l’Est à l’Ouest

Les types de sols ne sont pas très différents du contexte qui prévaut en rive droite de la Kaburantwa. Les sols d'altération récente se rencontrent sur tout le transect, les régosols sont partout présents sauf dans la petite dépression de l'est. En plus de ces sols, les régogleys et les vertisols sont les plus dominants.

b. Caractérisation physique

Le tableau ci-dessous présente une synthèse des principales caractéristiques physiques des sols rencontrés en rive gauche de la Kaburantwa.

Tableau 12 – Principales caractéristiques physiques des sols rencontrés en rive gauche de la Kaburantwa

Caractéristique (Echantillons = 6)	Moyenne	Max	Min
Ks (cm/mn)	0.48	0.90	0.20
Porosité (%)	0.54	0.64	0.32
Densité apparente	1.50	1.60	1.30

Ces valeurs montrent que les sols ont une bonne aération et une bonne perméabilité. La densité apparente proche de 1.5 confirme la prédominance de sols plus perméables.

La figure suivante présente le détail des essais d'infiltration réalisés en rive gauche sur les deux principaux types de sols rencontrés (régosol et régogley).

Cette figure montre que les régogley sont caractérisés par une vitesse d'infiltration qui se stabilise à 0.2 cm/min après environ 35 minutes d'essai.

Les régosols sont quant à eux plus filtrant. En début d'essai, la vitesse d'infiltration est très importante (> 6 cm/minute). Elle décroît relativement lentement pour finir par se stabiliser, après plus d'une heure, à une valeur de 0.4 cm/minute qui reste élevée.

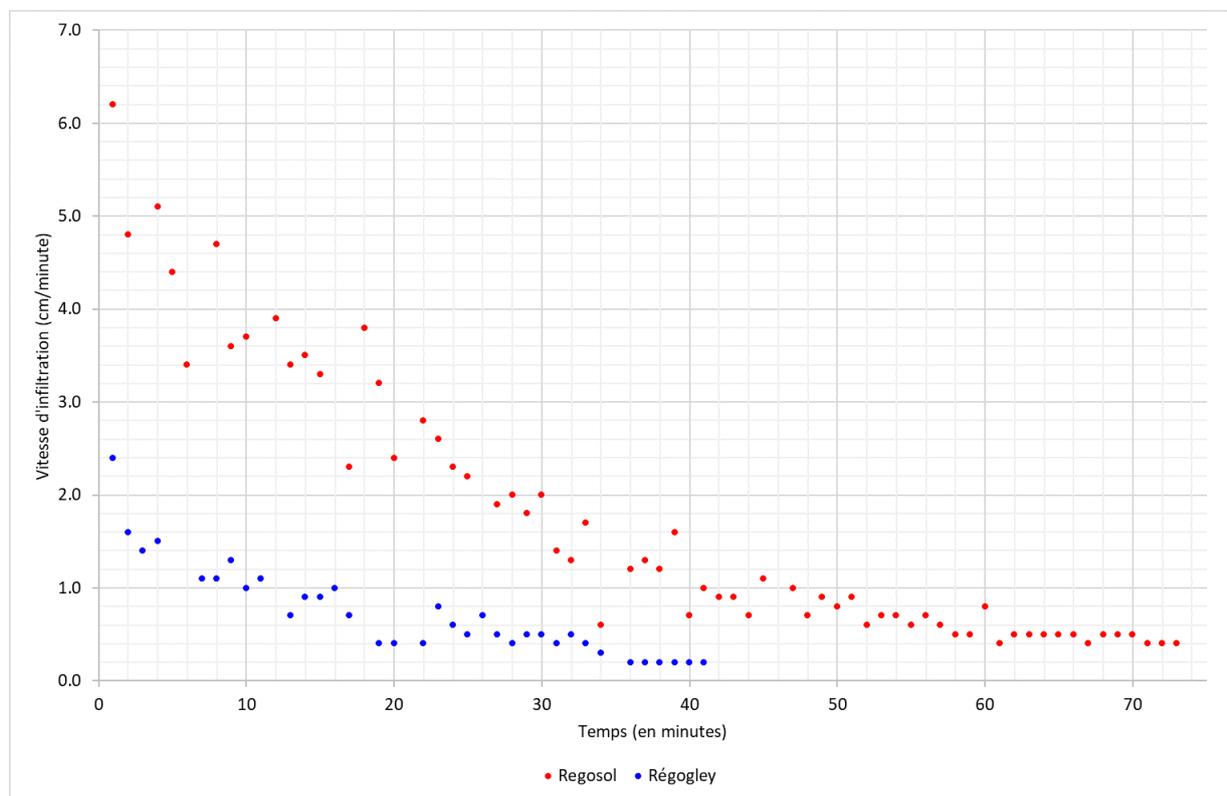


Figure 13 – Courbes d'infiltration des deux principaux types de sols rencontrés en rive gauche de la Kaburantwa

c. Caractérisation physico-chimique

Le tableau ci-dessous montre les caractéristiques physico-chimiques des sols de la rive gauche.

Les conclusions suivantes peuvent être tirées de ces données:

- (i) Les pH sont en général dans la gamme de valeurs adéquates (A) ;
- (ii) Le carbone organique (Corg) est faible pour tous les sols ;
- (iii) L'azote total est faible pour presque tous les sols rencontrés ;
- (iv) Le Phosphore à des valeurs faibles sur toute la rive gauche ;
- (v) Les valeurs de K échangeables sont élevées ou adéquates ;
- (vi) Les valeurs de la CEC sont en général des valeurs adéquates pour les sols à développement vertiques, les sols d'altération récente et des valeurs faibles pour les régosols et les ferralsols.

Pour chaque unité cartographique, les valeurs de caractéristiques physico-chimiques du sol seront intégrées dans la détermination de l'aptitude à la culture du riz et du maïs.

Tableau 13 – Caractéristiques physico-chimiques des sols de la rive gauche

Profil	Horizon*	pH (eau)	Corg	Ntotal	P-M3	K éch	CEC	Niveau de fertilité					
								pHeau	Corg	Ntotal	P-M3	Kéch	CEC
P8	P8-Ap	6.75	7.1	0.8	10.6	3.2	50.3	A	F	F	F	E	F
	P8-B2	6.45	6.5	0.8	3.7	4.3	89.6	A	F	F	F	E	A
P10	P10-Ap	6.95	3.5	0.5	3.2	4.4	137.1	A	F	F	F	E	A
	P10-B2	6.99	7.1	0.8	10.8	2.6	50.1	A	F	F	F	A	F
	P10-B3	6.54	4.6	0.5	3.4	3.0	61.2	A	F	F	F	A	F
P6	P6-Ap	6.89	10.4	1.2	8.5	6.5	112.2	A	F	A	F	E	A
	P6-B2 1	7.28	3.9	0.5	2.6	4.8	161.5	A	F	F	F	E	A
P5	P5-Ap	6.73	8.3	0.9	6.8	3.7	64.9	A	F	F	F	E	F
	P5-B2	6.83	5.8	0.7	3.2	4.0	113.8	A	F	F	F	E	A
P16	P16-Ap	6.45	7.6	0.7	4.5	3.1	48.6	A	F	F	F	E	F
P17	P17-Ap	6.55	6.9	0.7	5.1	2.8	42.6	A	F	F	F	A	F
P6	P9-Ap	7.08	10.8	1.4	20.9	5.2	79.0	A	F	F	A	E	A
P12	P12-Ap	6.69	5.4	0.6	5.4	2.3	38.9	A	F	F	F	A	F

*La numérotation est faite comme suit : numéro du profil (les numéros sont ceux qui sont sur les cartes de localisation des profils) et le nom de l'horizon

Couleur verte : valeur adéquate

Couleur orange : valeur élevée

Couleur rouge : valeur faible

Les recommandations de fertilisation sont sur les graphiques suivantes. Elles ont été proposées à partir des résultats des horizons de surface.

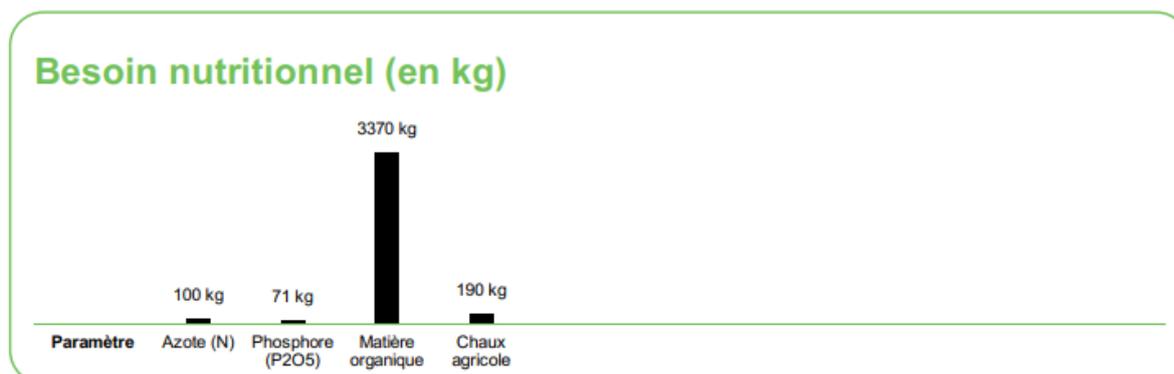


Figure 14 – Recommandations de fertilisation de la culture du riz sur régosols (représenté par le sondage 73)

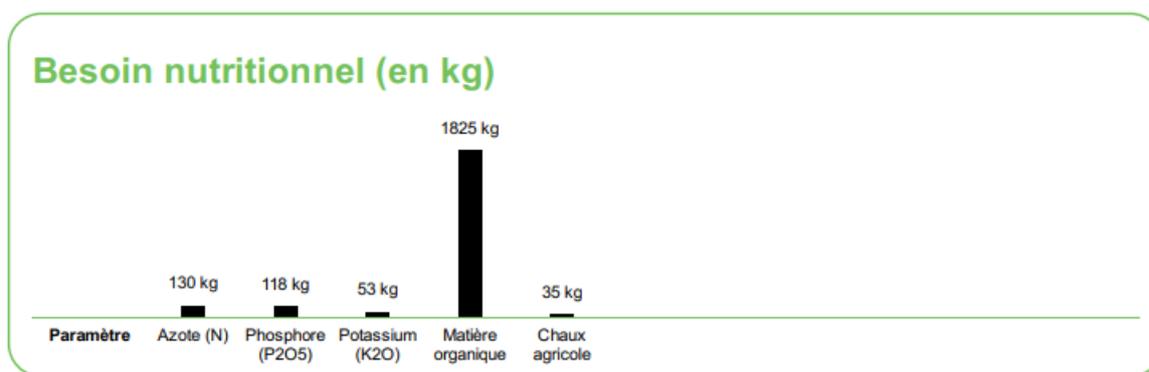


Figure 15 – Recommandations de fertilisation de la culture du maïs sur les sols d’altération récente (représenté par le profil 01)

Les variations des recommandations sont dans les gammes suivantes :

- Carbone organique : pour toutes les cultures, les valeurs varient de 1875 à 3370 tonnes/ha avec des valeurs plus faibles pour les sols d’altération récente, les vertisols et les régogley mélanique alors que les valeurs les plus élevées sont pour les ferralsols et les régogleys ;
- Pour l’azote totale (N) : les valeurs varient de 100 à 101kg/ha pour le riz et 118 à 130 kg/ha pour le maïs avec des valeurs plus faibles pour les sols d’altération récente, les vertisols et les régogley mélanique alors que les valeurs les plus élevées sont pour les ferralsols et les régogleys
- Phosphore (P₂O₅): l’apport en phosphore n’est pas variable sauf pour les cultures où il faut 71kg/ha pour le riz et 118kg/ha pour le maïs ;
- Potassium (K₂O): cet élément est nécessaire dans certains types de sol comme les régogleys. Les valeurs varient de 0 à 85kg/ha pour le riz et 0-53 kg/ha pour le maïs;
- La chaux : les valeurs varient de 35 à 190kg/ha pour toutes les cultures. Les valeurs les plus élevées sont pour les ferralsols et les plus faibles pour régogleys et les vertisols.

NB : avant de changer les formules actuellement recommandées, il faut des essais de vérification car les présentes recommandations ont été réalisées uniquement sur base des analyses de sol.

d. Occupation actuelle des terres

L’occupation des terres en rive gauche est assez différente de celle observée en rive droite. En effet, en rive gauche, le riz est la première culture par son importance et représente plus de 30 % des observations (contre 4 % en rive droite). Cette différence s’explique par la présence d’un aménagement en rive gauche (aménagement CARITAS-PROPAO). L’augmentation de la riziculture en rive gauche se fait au détriment de la culture du maïs qui ne représente plus que 8 % des observations faites (contre près de 33 % en rive droite).

En rive gauche, le riz, le manioc et la polyculture représentent à elles trois, 75 % des observations faites.

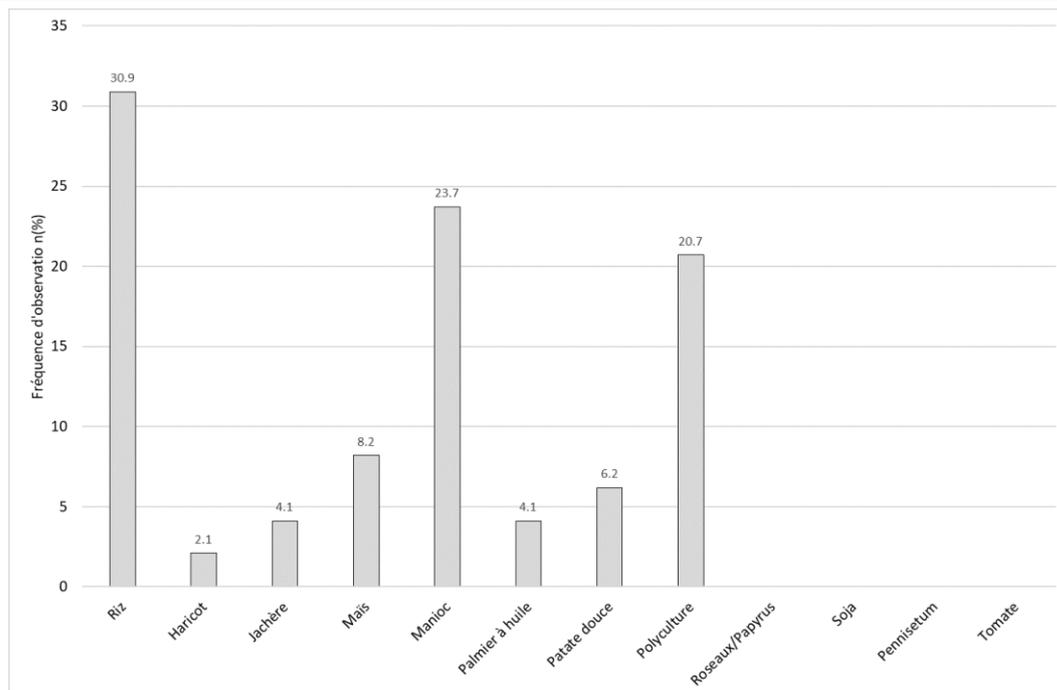


Figure 16 – Occupation des terres observée en rive gauche de la Kaburantwa



Figure 17 - Périmètres rizicoles de la rive gauche

5.2.3 Classification des sols et aptitude à la culture du riz et du maïs

5.2.3.1 Sols et aptitude culturale en rive droite de la Kaburantwa

Les sols présents dans la rive droite sont les suivants :

- Les sols hydromorphes : ce sont des sols caractérisés par l'excès d'eau avec une présence de la nappe phréatique à moins de 60 cm ou montrant des sites d'oxydo-réduction (pseudogley). Ces sols sont par conséquent mal drainés. Dans la rive droite on distingue les sols hydromorphes eutrophes (BE1) avec une accumulation des nutriments et les sols hydromorphes humiques (BGH) riche en matière organique :
- Les sols bruns hydromorphes (BT) : Entraînement mécanique des argiles et du fer par les eaux de gravité le plus souvent verticalement depuis les horizons supérieurs (A et E) vers les horizons profonds du sol (dénommés BT ou BTg). La couche de sol hydromorphe (à excès d'eau non évacué

¹ Les lettres entre parenthèses sont les unités cartographiques qui apparaissent sur la carte

par drainage naturel interne) lié à une nappe plus ou moins temporaire reposant sur un horizon quasi-imperméable montre des sites d'oxydo-réduction (pseudogley).

- Les sols d'altération récente : Ce sont des sols alluvionnaires ou colluvionnaires, biens drainés ou non, limités ou non par une charge graveleuse à moins de 100cm. La texture est souvent de type limono-argilo-sableux. Dans la rive droite, on distingue le sol d'altération récente hydromorphe intergrade sol brun (CB), sol d'altération récente eutrophe (CE) et le sol d'altération récente kaolinitique (CK) ;
- Ferrisols : Ils sont issus de l'altération des minéraux primaires et des minéraux secondaires avec la dominance des oxydes de Fe et d'al ainsi que de la kaolinite. Mais, contrairement aux ferralsols, il y a encore des minéraux d'argile de type 2 :1. Dans la rive droite on distingue le ferrisol intergrade sol brun (FB), le ferrisol humique (FH) et le ferrisol typique (FT) ;
- Les vertisols : vertisol typique (NGV) ;
- Régogleys : Ce sont des sols avec un horizon gleyique dû la présence de fer ferreux confère une couleur gris verdâtre caractéristique. La présence du gley est souvent observée à une profondeur supérieure à 60 cm. Les types de régogleys observés sont le régogley humique (RGH), régogley typique (RGT) et régogley mélanique (NM) ;
- Régosols : Un Régosol est un sol minéral très faiblement développé en matériaux meubles. Dans la zone de l'étude, on distingue le régosol eutrophe (RE), le régosol humique (RH) et le régosol typique (RT) ;
- Ferralsols : Ils sont issus de l'altération des minéraux primaires et des minéraux secondaires avec la dominance des oxydes de Fe et d'al ainsi que de la kaolinite. La profondeur du sol est supérieure à 120cm, les horizons sont nettement différenciés. La texture est argileuse à très argileuse. Le sol n'est ni plastique ni adhérent. La teneur en argile est, sur le terrain, sous-estimée par rapport à celle trouvée à l'analyse. La structure polyédrique fine. Le sol se fragmente aisément, surtout en profondeur en petits agrégats très anguleux. La perméabilité est bonne. La luisance des éléments de la structure et des agrégats est faible. On distingue dans la rive droite les ferralsol eutrophe (YE) plus enrichis en nutriments, ferralsol humique (YH) riche en matière organique et ferralsol typique (YT).

Il a été noté que tous les sols du site sont largement sableux avec une part importante de sol argileux.

La carte ci-dessous présente la distribution de ces différentes unités pédologiques en rive droite de la Kaburantwa.

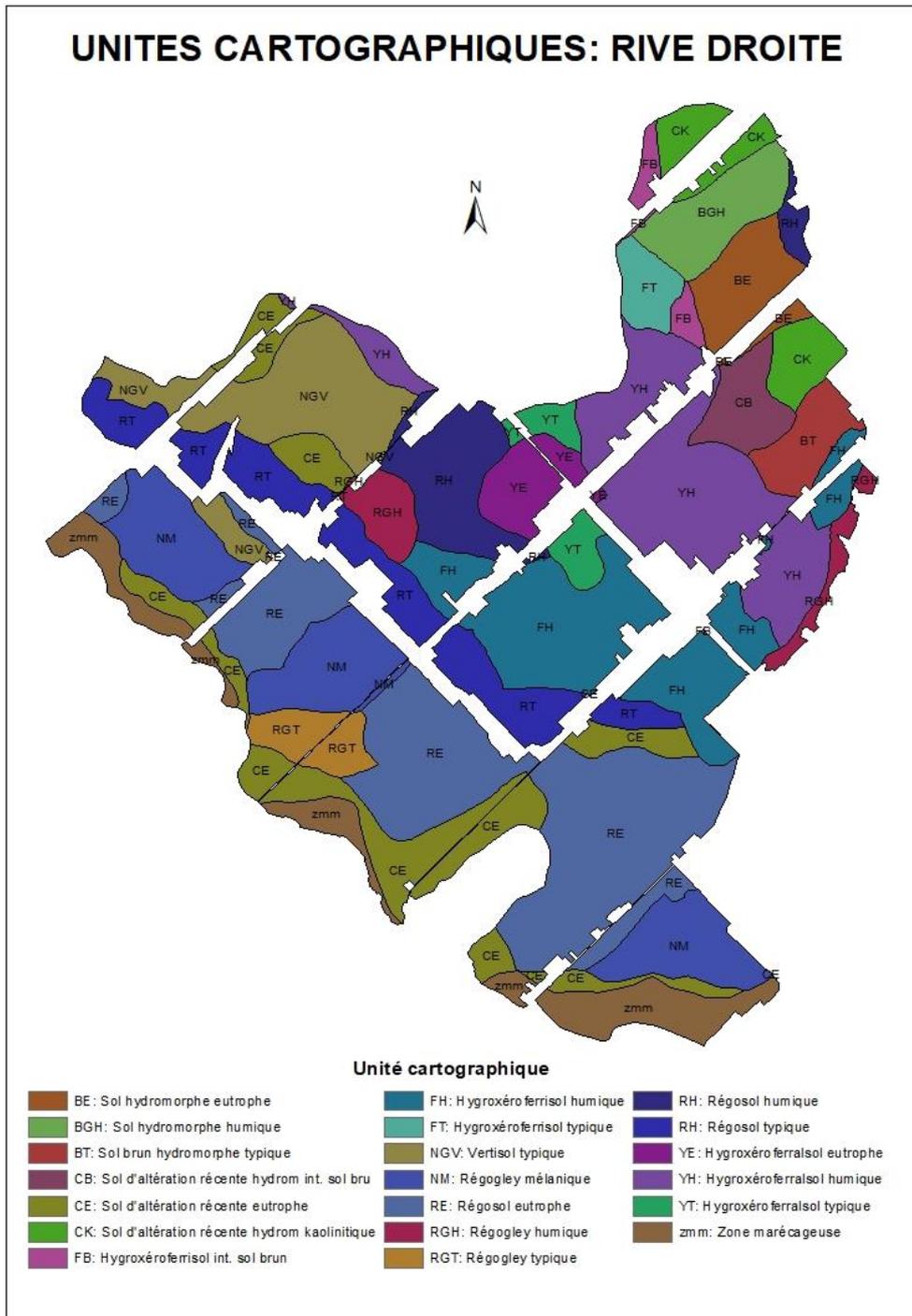
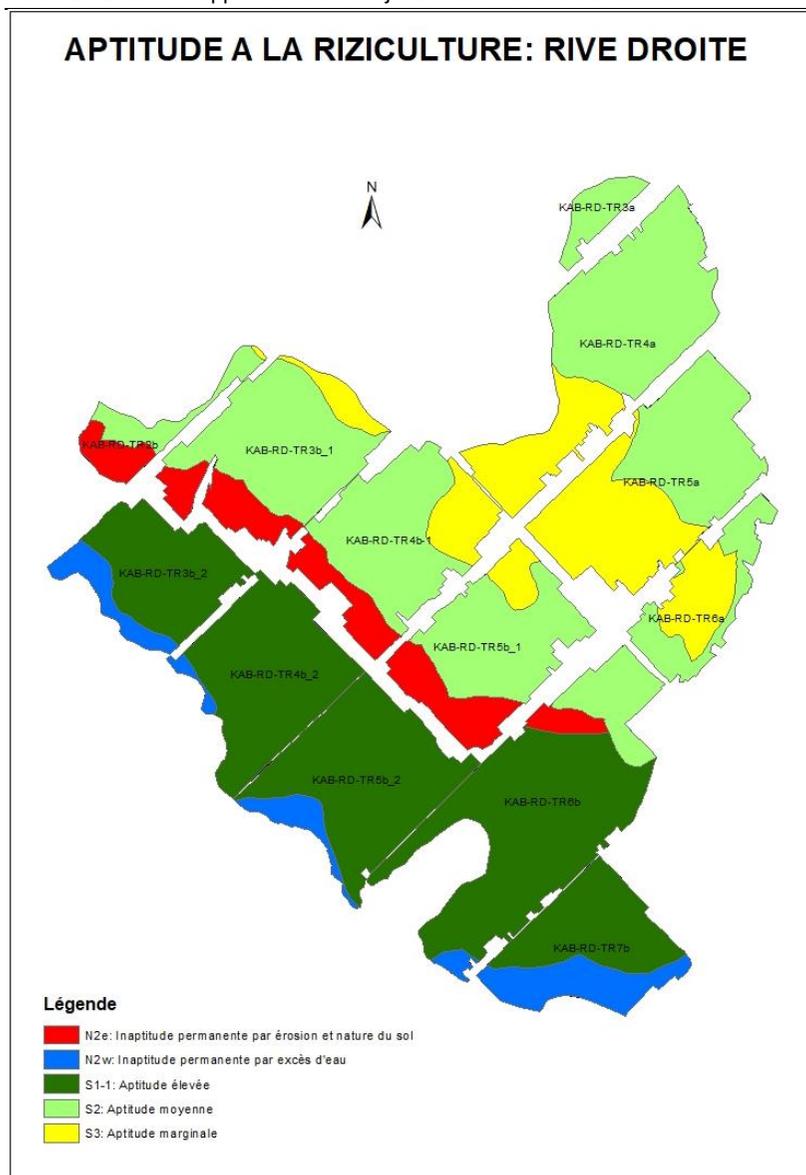


Figure 18 – Cartographie des sols de la rive droite



Par l'analyse des données disponibles, 5 classes d'aptitude à la riziculture ont été inventoriées :

- S1-1 (aptitude élevée) : cette classe d'aptitude concerne les dépressions proches de la Rusizi avec des sols alluvionnaires riches en nutriments, le niveau de drainage est élevé mais le drainage interne/vitesse d'infiltration est moyen permettant de retenir l'eau d'irrigation. La pente est faible (moins de 2%), pas de charge graveleuse et le sol est moyenne profond (entre 50 et 100cm) ;
- S2 (Aptitude moyenne) : cette classe d'aptitude concerne les sols avec des pentes proches de 4% et des sols pauvres en nutriments ;
- S3 (aptitude marginale) : pour des terres avec forte infiltration (régosols et ferralsols), des pentes supérieures à 4 % et des sols pauvres en nutriments ;
- N2e (Inaptitude permanente suite à l'érosion) : cela concerne les sols sur forte pente supérieur à 6% où la charge graveleuse est supérieure à 55 %. Ces sols ne sont pas profonds, très sensibles à l'érosion avec difficulté d'installer des terrasses plates pour la culture du riz. Des ravins/ravines sont déjà observés et l'urgence est la restauration de ces sols ;
- N2w (inaptitude permanente par excès d'eau) : ce sont les zones marécageuses proches de la Ruzizi impossible à travailler dans les conditions actuelles, continuellement inondées.

Figure 19 – Carte d'aptitude à la riziculture en rive droite de la Kaburantwa

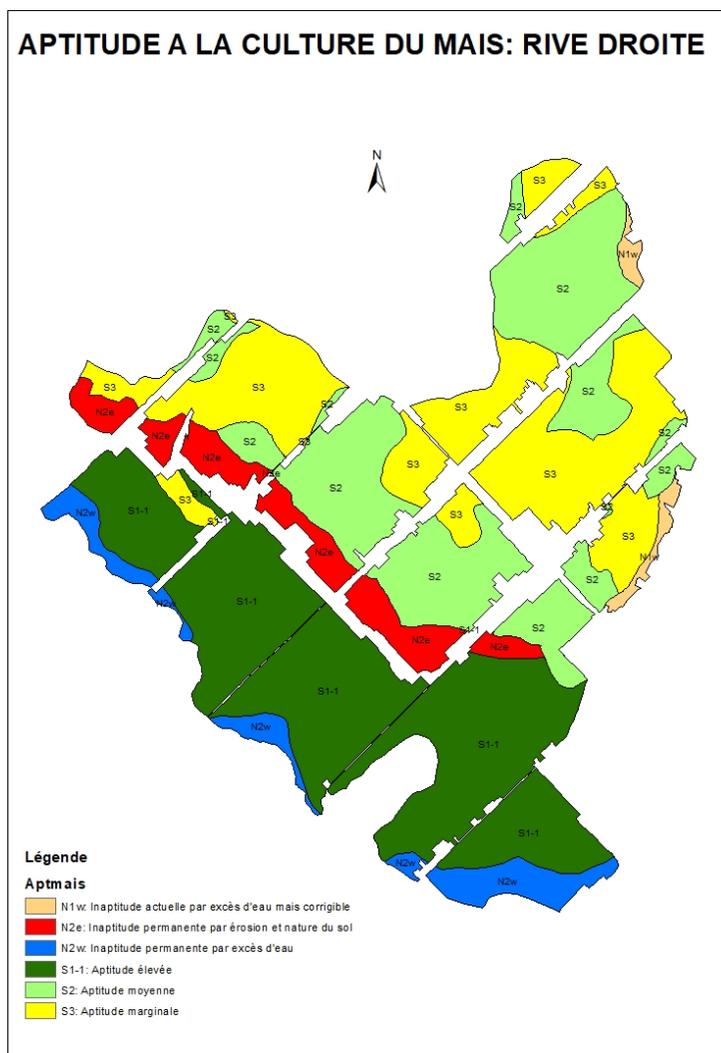


Figure 20 – Carte d'aptitude à la culture du maïs en rive droite de la Kaburantwa

Par l'analyse des données disponibles, 6 classes d'aptitude à la culture du maïs ont été inventoriées :

- S1-1 (aptitude élevée) : cette classe d'aptitude concerne les dépressions proches de la Rusizi avec des sols alluvionnaires riches en nutriments, le niveau de drainage est élevé et le drainage interne/vitesse d'infiltration est moyen. La pente est faible (moins de 2%), pas de charge graveleuse et le sol est moyenne profond (entre 50 et 100cm) ;
- S2 (Aptitude moyenne) : cette classe d'aptitude concerne les sols avec des sols peu profonds à faible drainage interne, les sols avec des teneurs en nutriments inférieurs aux sols de S1-1 ;
- S3 (aptitude marginale) : ce sont des sols à risque d'hydromorphie temporaire notamment dans la partie est attenant aux Mumirwa ou des sols avec des valeurs faibles de nutriments ;
- N1w (inaptitude actuelle par excès d'eau) : concerne surtout les régogleys situés à l'est-sud. Cette partie est continuellement hydromorphe et est sous la culture du riz. Cela nécessitera des travaux de drainage avant d'installer le maïs ;
- N2e (Inaptitude permanente suite à l'érosion) : cela concerne les sols sur forte pente où la charge graveleuse est supérieure à 55 %. Ces sols ne sont pas profonds, très sensibles à l'érosion avec difficulté d'installer des terrasses plates pour la culture du riz. Des ravins/ravines sont déjà observés et l'urgence est la restauration de ces sols ;
- N2w (inaptitude permanente par excès d'eau) : ce sont les zones marécageuses proches de la Rusizi impossible à travailler dans les conditions actuelles, continuellement inondées.

5.2.3.2 Sols et aptitude culturale en rive gauche de la Kaburantwa

Les sols présents en rive gauche sont les suivants :

- Les sols hydromorphes ;
- Les sols d'altération récente ;
- Les vertisols : vertisol typique;
- Régogleys ;
- Régosols ;
- Ferralsols.

La carte ci-dessous présente la distribution de ces différentes unités pédologiques en rive gauche de la Kaburantwa.

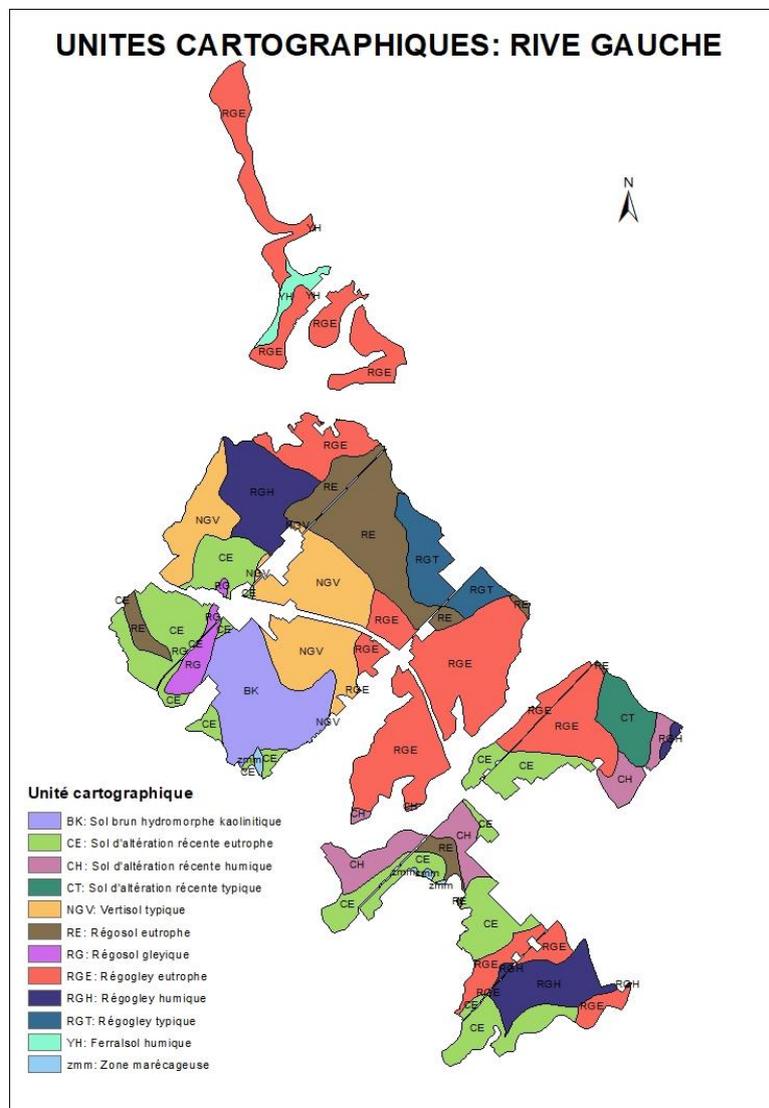


Figure 21 - Cartographie des sols de la rive gauche

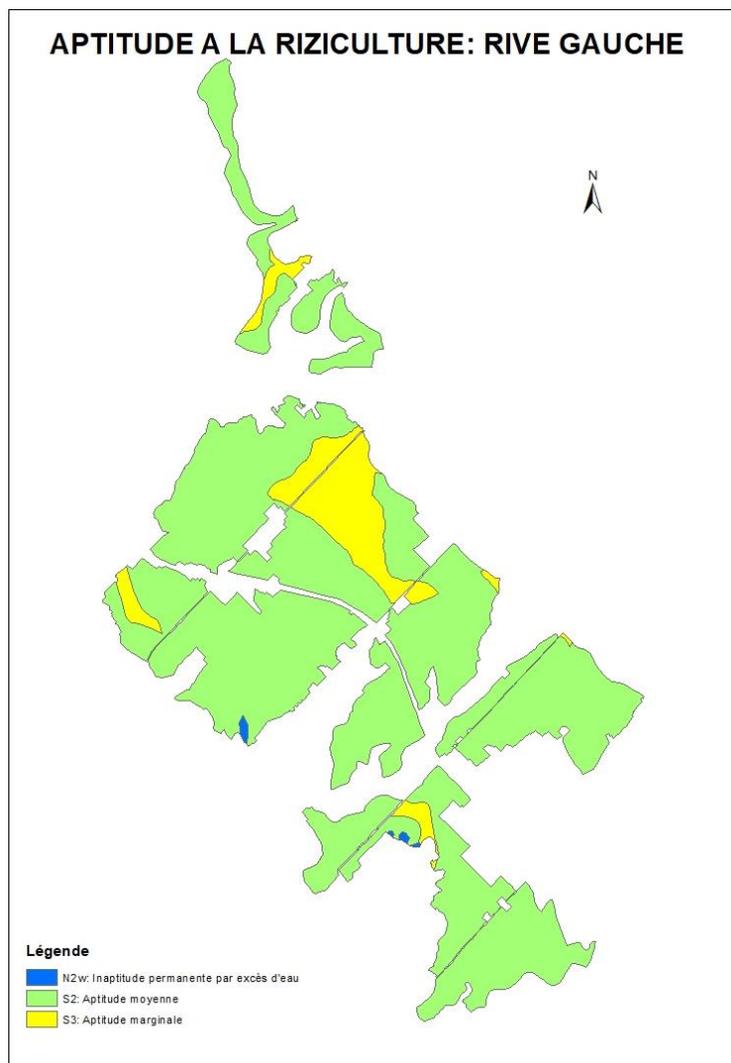


Figure 22 – Carte d'aptitude à la riziculture en rive gauche de la Kaburantwa

Par l'analyse des données disponibles, 3 classes d'aptitude à la riziculture ont été inventoriées :

- S2 (Aptitude moyenne) : cette classe d'aptitude concerne les sols avec des pentes proches de 4% et des sols pauvres en nutriments ;
- S2 (aptitude marginale) : pour des terres avec forte infiltration (régosols et ferralsols), des pentes supérieures à 4 % et des sols pauvres en nutriments ;
- N2w (inaptitude permanente par excès d'eau) : ce sont les zones marécageuses proches de la Rusizi impossible à travailler dans les conditions actuelles, continuellement inondées.

APTITUDE A LA CULTURE DU MAÏS: RIVE GAUCHE

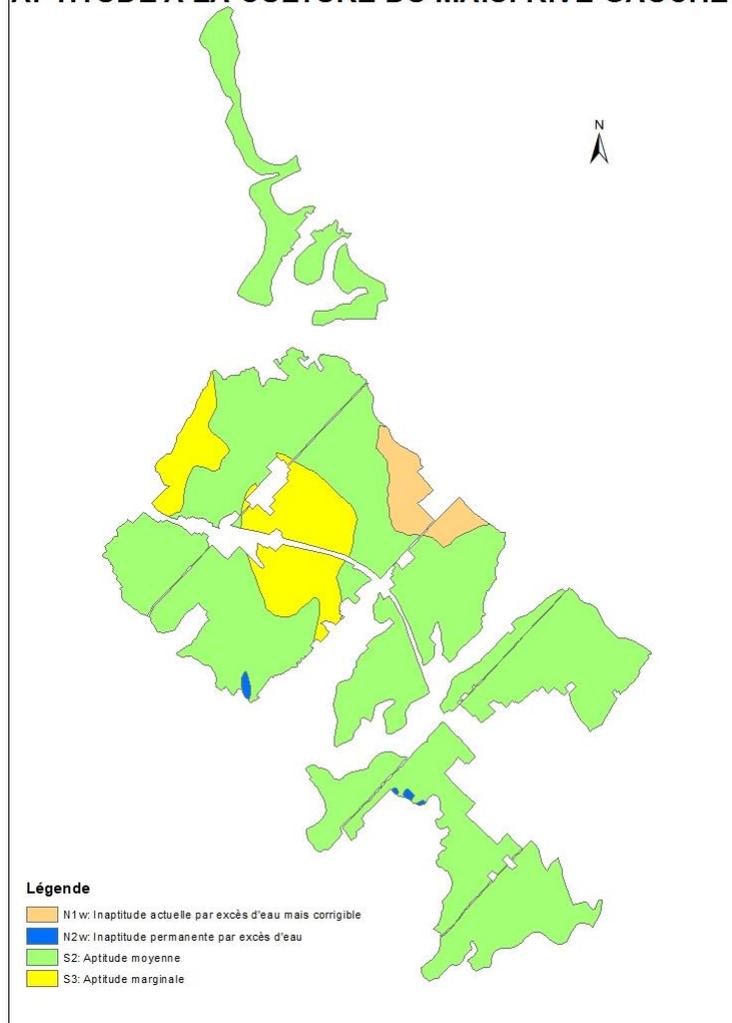


Figure 23 – Carte d'aptitude à la culture du maïs en rive gauche de la Kaburantwa

Par l'analyse des données disponibles, 4 classes d'aptitude à la culture du maïs ont été inventoriées :

- S2 (Aptitude moyenne) : cette classe d'aptitude concerne les sols peu profonds à faible drainage interne, les sols avec des teneurs en nutriments moyennes ;
- S3 (aptitude marginale) : ce sont des sols à risque d'hydromorphie temporaire avec une présence de la nappe à moins de 80 cm. En plus, les sols pauvres en nutriments comme les régosols font partie de cette classe ;
- N1w (inaptitude actuelle par excès d'eau) : concerne surtout les régogleys et autres sols avec nappe affleurant une grande partie de l'année. Cette partie est continuellement hydromorphe et est sous la culture du riz. Cela nécessitera des travaux de drainage avant d'installer le maïs ;
- N2w (inaptitude permanente par excès d'eau) : ce sont les zones marécageuses proches de la Rusizi impossible à travailler dans les conditions actuelles, continuellement inondées.

5.2.3.3 Recommandations générales de fertilisation

De ce fait les recommandations sur la fertilisation des deux cultures qui seront mises en œuvre avant la validation des résultats des essais seront les suivants² :

- Pour apport du carbone : apporter 10 à 20 tonnes/ha de fumiers avec des grandes quantités proposées dans les ferralsols, les régosols et les ferrisols ;
- Apport de la chaux (dolomie): un chaulage d'entretien de 250 kg/ha dans les sols rouges des plateaux (ferrisols et ferralsols) ;
- Pour la culture du riz : 300kg TOTHAZA et 50 kg IMBURA en trois fractions à savoir i) 60kg TOTHAZA et 50 kg IMBURA au repiquage, ii) 120 kg TOTHAZA après trois semaines de repiquage et iii) 120 kg TOTHAZA après 6 semaines de repiquage ;
- Pour la culture du maïs : 270kg IMBURA et 100 kg TOTHAZA par ha.

² Recommandations proposées par l'ISABU

5.3 Etude hydrologique

5.3.1 Méthodologie mise en œuvre

L'étude hydrologique a pour objet de délivrer les informations relatives aux ressources en eau nécessaires au dimensionnement de l'aménagement. Elle est présentée en détail dans le rapport de diagnostic et est complétée dans le rapport APS.

Les paragraphes suivants présentent les enseignements tirés de ces investigations.

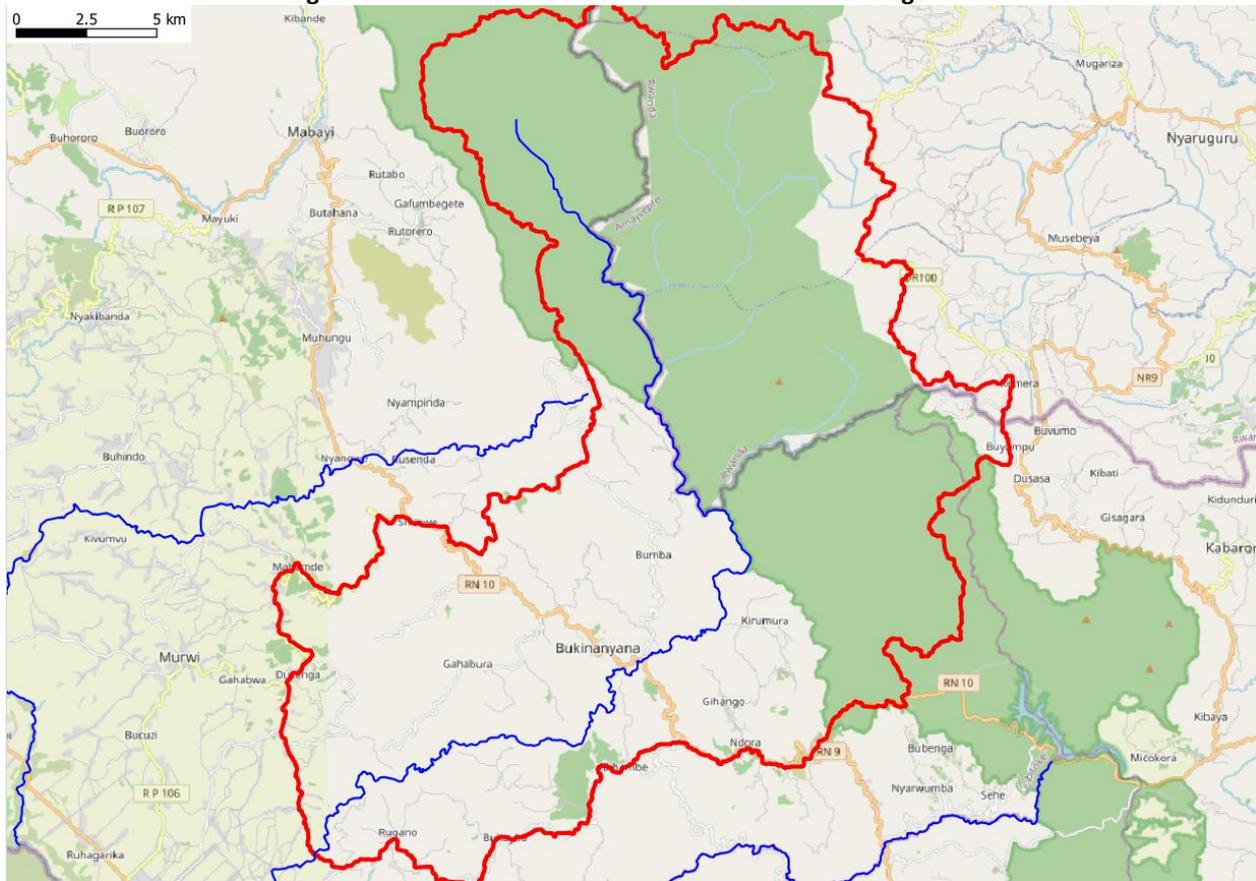
5.3.2 Le bassin de la Kaburantwa

5.3.2.1 Caractéristiques du bassin versant

Le bassin versant de la Kaburantwa, au droit du site de prise identifié par le projet, couvre une superficie de 461 km².

De l'aval vers l'amont, le bassin se développe d'abord, comme le bassin de la Muhira, selon un axe principal Nord-Est / Sud-Ouest jusqu'à atteindre les limites du Parc National de la Kibira. Là, l'orientation générale du bassin adopte une direction Nord-Ouest / Sud-Est. La plus grande longueur du bassin est de l'ordre de 40 km pour une largeur maximale de 12 km. Cette dernière est relativement constante dans toute la partie amont du bassin. Le bassin de la Kaburantwa présente la particularité que près de la moitié de sa superficie se trouve dans le Parc national de la Kibira tandis que près d'un tiers de la superficie du bassin se trouve au Rwanda.

Figure 24 – Bassin versant de la Kaburantwa : contexte générale



L'altitude maximale dans le bassin est de 2660 m, l'altitude minimale est de 880 m. Le tableau ci-dessous fournit les principales caractéristiques morphologiques du bassin ainsi que sa courbe hypsométrique.

Tableau 14 – Bassin de Kaburantwa : caractéristiques morphologiques et topographiques

Paramètres	Valeur	Unité
Superficie	460.9	km ²
Périmètre	189.2	km
Indice de compacité	2.49	
Longueur du rectangle équivalent	90.20	km
Largeur du rectangle équivalent	5.11	km
Altitude minimale	881	m
Altitude maximale	2661	m
Altitude moyenne	1944	m
Altitude médiane	2031	m
Dénivelée H5% - H95%	1250	m
Indice global de pente	13.86	m/km
Dénivelée spécifique	297.52	m
Pente moyenne	36.82	%

Courbe ipsométrique

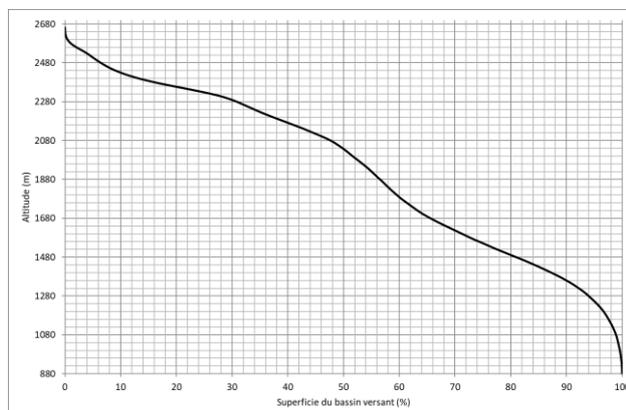
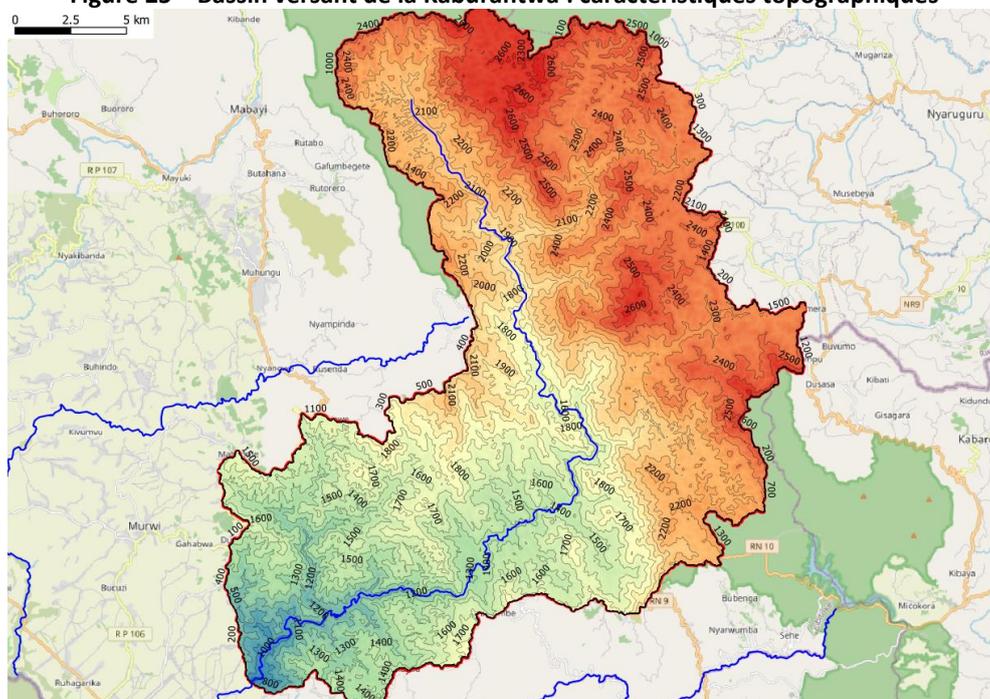
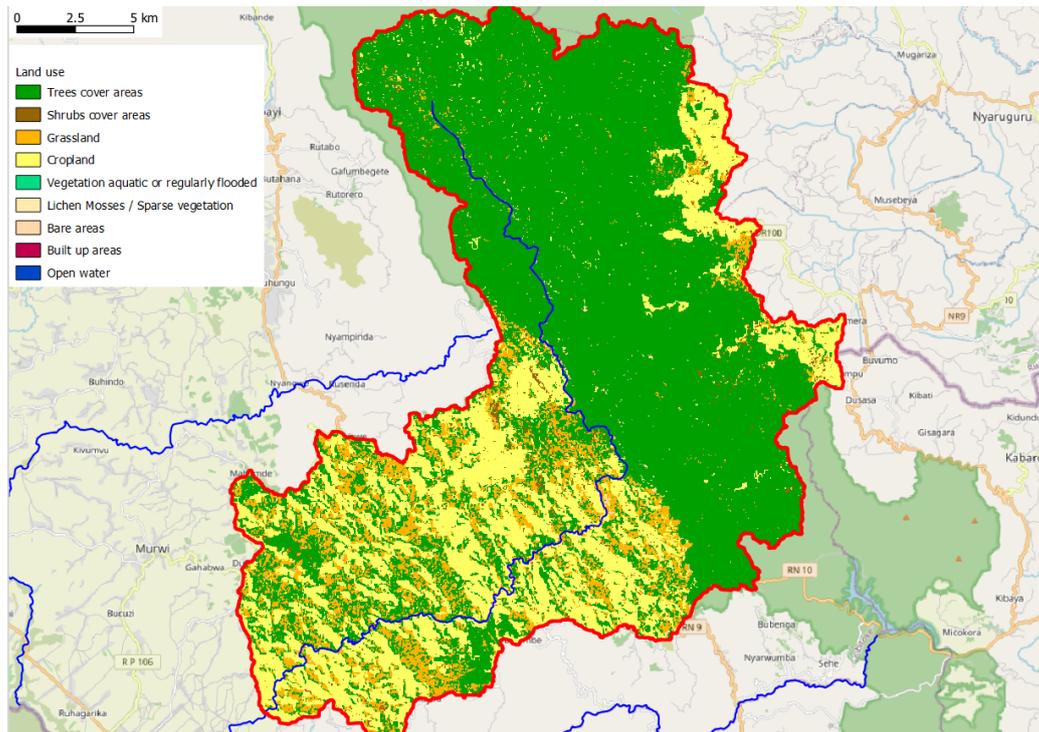


Figure 25 – Bassin versant de la Kaburantwa : caractéristiques topographiques



En ce qui concerne l'occupation du sol, la carte d'occupation du sol établie en 2016 à partir d'image Sentinel 2 montre que dans le bassin de la Kaburantwa, l'occupation de type « Végétation arborée » est largement dominante (63.2 %). Ceci s'explique par le fait qu'une partie importante du bassin se trouve dans le Parc National de la Kibira. Ensuite, comme pour le bassin versant de la Muhira, les deux types d'occupation du sol les plus importants sont les « Pâturage » (11.0 %) et les « Terres cultivées » (24.6 %), ces deux catégories se trouvant pour l'essentiel dans la moitié aval du bassin versant.

Figure 26 – Bassin versant de la Kaburantwa : occupation du sol



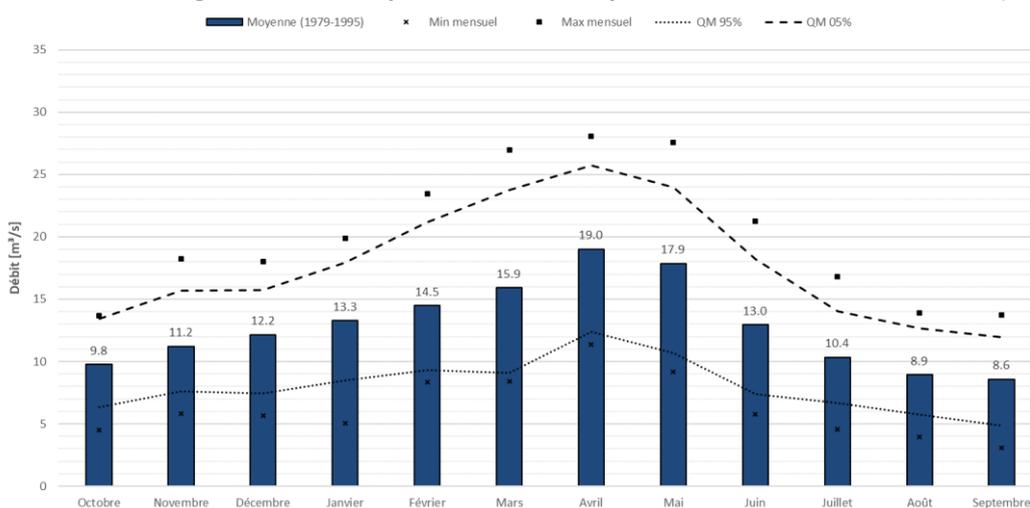
5.3.2.2 Régime hydrologique

La figure ci-dessous, établie sur base des données de l'IGEBU, présente le régime hydrologique de la Kaburantwa au niveau du pont de la RN5.

La période d'étiage de la Kaburantwa débute au mois de juin. Elle s'étend jusqu'au mois de septembre. Les débits maximums moyens sont quant à eux observés durant les mois d'avril et mai.

Le module de la Kaburantwa à la Mission (Paroisse Kaburantwa) est de 9.7 m³/s.

Figure 27 – Statistiques mensuelles moyennes à la station de Kaburantwa (IGEBU)



5.3.3 Evaluation des apports mensuels

L'IGEBU dispose d'une station sur la Kaburantwa. Son bassin versant à une superficie de 532 km². Le bassin versant du site de prise identifié par le projet a une superficie de 461 km², soit 87 % de la superficie du bassin jaugé.

La phase diagnostic a montré que les mesures les plus récentes de l'IGEBU (à partir de 2010) ne pouvaient être exploitées. C'est pourquoi, l'estimation des apports mensuels s'est faite en deux étapes :

- Compilation des données mensuelles antérieures à 2010 ;
- Reconstitution des débits mensuels pour la période postérieure à 2010. La reconstitution des débits s'est faite par modélisation à l'aide du modèle GR2M à partir des données pluviométriques des stations Rwegura et Mabayi et des données d'évapotranspiration estimées à partir des données WorldClim pour la zone.

L'étude a montré que les régimes hydrologiques de la Kaburantwa déduits de ces différentes sources d'information sont tous cohérents entre eux.

Le tableau ci-dessous synthétise l'estimation du site des débits disponibles au niveau du site de prise à partir des débits reconstitués pour la station de Kaburantwa.

Tableau 15 – Estimation du débit disponible au site de prise

		Année	Débit mensuel en m ³ /s											
			Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Juil.	Aou.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
Kaburantwa - Station		Sèche	9.1	10.3	9.1	11.4	11.6	9.7	7.6	6.4	6.2	6.6	8.1	8.8
Sup. BV (km ²)	532	Moyenne	11.8	13.3	13.2	15.5	15.3	12.4	9.6	8.1	7.9	8.6	10.5	11.0
Ratio superficie bassin		87%												
Kaburantwa - Prise		Sèche	7.9	9.0	7.9	9.9	10.0	8.4	6.6	5.6	5.3	5.7	7.0	7.6
Sup. BV (km ²)	461	Moyenne	10.2	11.5	11.4	13.4	13.3	10.7	8.3	7.0	6.8	7.4	9.1	9.6

L'étude diagnostic a montré que la centrale KABU-16 modifiera, durant la journée, le débit turbiné/relâché vers l'aval. Le mode de fonctionnement de la centrale a été présenté dans le rapport diagnostic, 4 périodes sont considérées dans la journée. Chaque période étant caractérisée par des débits turbinés variables de façon à remplir/vider le réservoir de régulation journalière (V) :

- Heures de pointe du soir de 18h à 23 h : le débit turbiné est maximum, il correspond au débit naturel augmenté du volume du réservoir à vider en 5 heures ;

$$Q_{\text{soir}} = \min \left(Q_n + \frac{V}{5 * 3600}; Q_e \right)$$

- Heures de pointe du matin de 8h à 13h : la centrale fonctionne au fil de l'eau, il n'y a ni accumulation d'eau dans le réservoir, ni vidange du réservoir

$$Q_{\text{matin}} = \min (Q_n, Q_e)$$

- Heures pleines d'après-midi de 13 h à 18 h : une partie du débit naturel est turbiné le reste est utilisé pour reconstituer le volume du réservoir

$$Q_{\text{après-midi}} = \min \left(Q_n - \frac{(Q_{\text{soir}} - Q_n) \times 5 - (Q_n - Q_{\text{nuit}}) \times 9}{5}; Q_e \right)$$

- Heures creuses de nuit de 23h à 8h : une partie du débit naturel est turbiné le reste est utilisé pour reconstituer le volume du réservoir. Le débit turbiné est plus faible qu'en heures pleines d'après-midi.

$$Q_{\text{nuit}} = \min \left(Q_n - (Q_{\text{soir}} - Q_n) \times \frac{5}{14} \times 1.25; Q_e \right)$$

Avec :	Q_n	[m ³ /s]	Débit naturel de la Kaburantwa pour le mois considéré
	Q_e	[m ³ /s]	Débit d'équipement de la centrale (12.35 m ³ /s)
	V	[m ³]	Réserve journalière. Celle-ci varie au cours de l'année en fonction du débit naturel et le facteur de charge de la centrale selon $V = \left(\frac{Q_n}{0.6} - Q_n\right) \times 5 \times 3600$
	Q_{soir}	[m ³ /s]	Débit turbiné en heures de pointe du soir (18h à 23h)
	Q_{matin}	[m ³ /s]	Débit turbiné en heures de pointe du matin (8h à 13h)
	$Q_{après-midi}$	[m ³ /s]	Débit turbiné en heures pleines d'après-midi (13h à 18h)
	Q_{nuit}	[m ³ /s]	Débit turbiné en heures creuses de nuit (23h à 8h)

Sur base de ce fonctionnement attendu, le tableau ci-dessous présente l'évolution du débit au cours de la journée pour chaque mois de l'année sèche. Ce tableau montre que le débit relâché vers l'aval est le plus faible en heures creuses de nuit (23h à 8h), période pendant laquelle la réserve journalière est reconstituée.

Tableau 16 – Evolution des débits turbinés par la centrale KABU-16 en année sèche

Paramètres	Mois											
	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Juil.	Aou.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
Débit équipement Q_e [m ³ /s]	12.35	12.35	12.35	12.35	12.35	12.35	12.35	12.35	12.35	12.35	12.35	12.35
Débit naturel Q_n [m ³ /s]	7.90	9.00	7.90	9.90	10.00	8.40	6.60	5.60	5.30	5.70	7.00	7.60
Volume régulation V [x 1000m ³]	94.80	108.00	94.80	118.80	120.00	100.80	79.20	67.20	63.60	68.40	84.00	91.20
Débit par tranche [m ³ /s]	18h-23h Q_{soir}	12.35	12.35	12.35	12.35	12.35	11.00	9.33	8.83	9.50	11.67	12.35
	8h-13h Q_{matin}	7.90	9.00	7.90	9.90	10.00	8.40	6.60	5.30	5.70	7.00	7.60
	13h-18h $Q_{après-midi}$	7.03	8.34	7.03	9.42	9.54	7.62	5.74	4.87	4.61	4.95	6.08
	23h-8h Q_{nuit}	5.91	7.50	5.91	8.81	8.95	6.64	4.64	3.93	3.72	4.00	4.92

Source : Société Angélique International

5.3.4 Evaluation des débits de crue

L'étude s'est concentrée sur l'obtention de débits de crue de période retour T = 10, 25 et 50 ans survenant au niveau du site de prise envisagé.

L'IGEBU dispose d'une station sur la Kaburantwa sur laquelle des mesures de hauteurs d'eau sont faites quotidiennement. Ces mesures sont ensuite converties en débit à partir de la courbe de tarage de la station.

L'étude réalisée en phase diagnostic a montré que les données postérieures à 2012 ne sont pas utilisables, la courbe de tarage n'étant pas stable pour cette période.

Par ailleurs, l'étude réalisée en phase diagnostic a également montré que les jaugeages effectués avant 2012 ont tous été réalisés pour des hauteurs d'eau inférieures (0.2 m à 1.0 m) aux hauteurs d'eau enregistrées en période de crue (1.0 et 2.0 m). Dans ces conditions, l'utilisation de la courbe de tarage pour évaluer les débits journaliers maxima annuels fournit des estimations de débits de pointe entachées d'une très grande imprécision. Une analyse statistique de ces débits maxima annuels perd toute représentativité et les résultats ne doivent pas être utilisés pour dimensionner un ouvrage de prise placé sur cette rivière.

L'analyse statistique des débits journaliers maxima annuels n'est donc pas envisagée ici.

Les débits de crues ont donc été déduits à partir de modèle pluie-débit. Trois méthodes ont été appliquées :

- La méthode CIEH ;
- La méthode CRUPEDIX ;
- La méthode SCS.

Le tableau ci-dessous fournit les résultats ainsi obtenus ainsi que les résultats fournis par les études antérieures.

Tableau 17 – Synthèse de l'estimation des débits de crue de la Kaburantwa

Approche	Paramètre	Unité	Période de retour		
			10	25	50
CIEH	Débit de crue décennal	[m ³ /s]	177		
	Coefficient multiplicateur	[-]	1	1.14	1.25
	Débit projet	[m ³ /s]	177	201	221
CRUPEDIX	Débit de crue décennal	[m ³ /s]	146		
	Coefficient multiplicateur	[-]	1	1.14	1.25
	Débit projet	[m ³ /s]	146	166	182
SCS	Débit projet	[m ³ /s]	136	211	257
SOGREAH / KABU-16	Débit projet	[m ³ /s]	201	229*	265
PROPA-O	Débit projet	[m ³ /s]	199	217*	360

* Période de retour de 20 ans

Ce tableau montre que les différentes approches donnent des débits de crue assez proches les uns des autres en dehors de l'estimation fournie par l'étude PROPA-O pour la crue de période de retour 50 ans qui apparaît anormalement élevée.

A la suite de cette étude, nous recommandons d'utiliser un débit de projet de période de retour 50 ans de 260 m³/s qui correspond à l'estimation la plus probable fournie par les différentes méthodes (SOGREAH, SCS).

5.3.5 Qualité de l'eau

Des échantillons d'eau ont été prélevés sur la Kaburantwa, au droit du site de prise identifié pour analyse de la qualité de l'eau.

Les analyses réalisées dans le cadre d'études précédentes sont présentées dans le tableau suivant. Les résultats montrent que l'eau de la Kaburantwa est de qualité acceptable pour l'irrigation selon les recommandations de la FAO³.

Tableau 18 – Qualité de l'eau de la Kaburantwa – Aptitudes pour l'irrigation

Effet	Paramètre	Unité	Niveau de restriction pour l'irrigation			Valeurs études précédentes			11/2022 [4]
			Aucun	Faible à modéré	Sévère	[1]	[2]	[3]	
Salinité									
	Conductivité électrique ou Total des solides dissous	dS/m mg/l	<0.7 <450	0.7-3.0 450-2000	>3.0 >2000	0.06 -	0.04 -	- 52-68	0.039 -
Toxicité ionique									
	Sodium (Na) (Irrigation de surface)	SAR	< 3.0	3.0 - 9.0	> 9.0	0.37	1.61	1.9-2.1	0.22
Autres effets									
	Azote (NO ₃ - N)	mg/l	< 5.0	5.0 - 30.0	> 30.0	0.16	-	-	-
	pH	-	6.5-8.4	< 6.5 ou > 8.4	> 8.5	6.91	7.2	7.4-7.7	7.3-7.5

³ <https://www.fao.org/3/t0234e/T0234E00.htm#TOC>

- [1] PROPA-O - Etudes techniques d'aménagement de la plaine de Kaburantwa, commune de Buganda, Province de Cibitoke - Etape 3 Etude d'Avant-Projet Détaillé des aménagements de la plaine de Kaburantwa - Volume 5: Etudes d'impact environnemental et social, 2019.
- [2] Balthazar Mpawenayo, 1996. Les eaux de la plaine de la Rusizi
- [3] J. Gourdin, P. Hollebosch, C. Kibiriti, ISABU n°95, 1986. Etude chimique des eaux de la Ruzizi et de ses affluents
- [4] SHER Ing. Conseils s.a. 11/2022 mesures in situ et analyse labo SWDE (Belgique)

5.3.6 Transport solide

Durant son étude, SOGREAH a procédé, en mai 1993, à une campagne de prélèvements d'eau de crue pour estimer le transport solide des rivières de la région.

Le traitement et les résultats tirés de cette campagne ne sont pas connus. Néanmoins, dans son étude d'avant-projet sommaire pour la construction de la centrale KABU-16, SOGREAH utilise les valeurs suivantes de transport solide pour le dimensionnement des vannes de chasse :

- Chasse en période d'étiage (5 à 10 m³/s) : concentration de 0.3 g/l ;
- Chasse en période de crue (10 à 40 m³/s) : concentration de 0.4 g/l.

Il faut noter que l'étude ne prévoit pas d'équiper la centrale KABU-16 d'un dessableur : c'est le barrage qui remplira ce rôle.

En termes d'opération, l'étude prévoit que les chasses se feront essentiellement en période de crue, à une fréquence hebdomadaire. Les chasses en période d'étiage devraient être peu fréquentes dans la mesure où la tranche morte aura une capacité suffisante pour stocker les apports solides jusqu'à la période de crue.

ERA International n'a pas procédé à une étude du transport solide. Néanmoins, le bureau cite les résultats de l'étude du projet d'aménagement de la centrale hydroélectrique de KABU-16 conduite par Angelique International Limited en 2016 qui estime la concentration moyenne des matières en suspension est comprise entre 0.65 et 0.70 g/l avec un maximum compris entre 1.78 et 2.00 g/l.

Enfin, l'IGEBU a réalisé des mesures ponctuelles du transport solide sur la Kaburantwa au cours des 35 dernières années. Le tableau ci-dessous présente les données acquises auprès de l'IGEBU, les mesures de débit correspondantes et enfin le transport solide exprimée en concentration.

Tableau 19 – Mesures du transport solide sur la Kaburantwa

Date	Débit solide [g/s]	Débit [m ³ /s]	Concentration [g/l]	Date	Débit solide [g/s]	Débit [m ³ /s]	Concentration [g/l]
08-11-88	15 221	15.96	0.95	17-11-15	8 985	10.94	0.82
12-07-89	2 565	12.83	0.20	15-03-16	6 140	9.23	0.67
22-08-89	5 517	9.70	0.57	04-07-16	7 019	12.31	0.57
13-03-91	23 382	16.90	1.38	18-07-17	1 908	5.61	0.34
27-06-91	6 651			03-04-18	17 276	24.75	0.70
01-10-91	5 841	9.62	0.61	16-10-18	6 475	10.41	0.62
06-08-92	6 611	7.76	0.85	18-12-18	17 514	10.84	1.62
03-03-93	5 359	9.16	0.59	23-04-19	9 386	15.39	0.61
15-10-93	1 586	3.87	0.41	18-06-19	6 123	4.88	1.25
28-04-98	6 443	15.09	0.43	10-09-19	4 593	5.55	0.83
25-02-15	12 099	9.06	1.34	14-01-20	5 587	22.35	0.25
03-08-15	4 825	8.04	0.60	12-12-20	35 715	26.65	1.34

Ces données montrent une très grande variabilité, avec un débit solide compris entre 1 586 g/s et 35 715 g/s. Les valeurs les plus faibles surviennent le plus souvent entre juin et octobre (saison sèche), les valeurs les plus importantes surviennent essentiellement en saison des pluies. Les débits solides les plus importants correspondent également à la charge solide (concentration) la plus élevée.

En l'état, ces données par leur caractère ponctuelles sont difficilement exploitables, mais comme cela a été expliqué en phase de diagnostic avec l'équipe du projet, si la charge solide d'un cours d'eau doit éventuellement être connue avec précision dans le cadre d'un Projet de barrage d'accumulation – afin de pouvoir estimer sa durée de vie – il n'en est pas de même dans le cadre d'une prise au fil de l'eau équipée d'un dessableur. En effet, le dimensionnement d'un dessableur consiste à fixer :

- Sa section en travers (largeur) pour créer des conditions d'écoulement (vitesse) favorables à la sédimentation des particules en suspension d'une taille donnée ;
- Sa longueur et sa profondeur pour s'assurer que la sédimentation des particules en suspension d'une taille donnée survienne dans le dessableur.

La dynamique de sédimentation est étroitement liée au diamètre des particules selon la loi de Stokes: les particules caractérisées par le diamètre le plus petit seront celles qui mettront le plus de temps pour sédimenter.

Dès lors, le dimensionnement d'un dessableur, présenté dans la section 8.2.3, se fait en fixant un diamètre minimum des particules à sédimenter et le débit solide en tant que tel, n'intervient pas dans le dimensionnement du dessableur. Les débits solides mesurés par IGEBU confirment les observations visuelles réalisées et indiquent la nécessité d'une bonne opération de l'ouvrage de prise avec l'obligation de fermer les vannes de prise en période de crue et d'ouvrir en grand les vannes de chasse afin d'éviter l'accumulation de sédiments à l'amont du seuil.

6 Besoins en eau des cultures

Les besoins en eau des cultures ont été étudiés et présentés en phase APS. Les paragraphes suivants rappellent les éléments clés pris en compte pour la phase APD

6.1 Méthodologie mise en œuvre

Les besoins de pointe en eau d'irrigation doivent être calculés pour fixer les débits d'équipement du réseau et réaliser les bilans en eau à l'échelle de l'aménagement. Les bilans permettent ensuite de déterminer les superficies irrigables.

L'étude agronomique a permis de définir les spéculations les plus couramment pratiquées sur le site à aménager. Celles-ci sont le riz, le maïs/manioc (polyculture), le haricot, la banane et le maraîchage.

Les besoins en eau de ces cultures sont estimés dans les sections suivantes sur base des conditions climatiques et pédologiques qui prévalent dans la zone d'étude. Ces besoins sont calculés, selon un pas de temps décennal, pour l'année sèche.

Outre les besoins en eau au niveau de l'aménagement, pour établir des bilans corrects des rivières, il est important de tenir compte des autres consommateurs d'eau présents ou à venir, en amont et en aval de l'ouvrage de prise.

Les paramètres suivants sont nécessaires pour déterminer les besoins en eau des cultures :

- La pluviométrie ;
- L'évapotranspiration potentielle ;
- Les données des cultures : types de culture, calendriers et coefficients culturaux.

La compilation des données climatiques et culturelles permet de déterminer un déficit en eau théorique de la culture. Ce déficit représente la différence entre les besoins en eau bruts et la fourniture d'eau disponible. Ce déficit permet de chiffrer le manque d'eau à la parcelle et donc les besoins en eau d'irrigation. Les besoins en eau en l/s/ha sont déterminés sur des périodes décennales pour une année sèche et une année moyenne.

L'étude des besoins en eau des cultures a été conduite lors de la phase diagnostic. Le rapport de diagnostic présente en détail l'approche mise en œuvre. Les principaux résultats de cette étude sont présentés dans les sections suivantes.

6.2 Données agro-climatiques

6.2.1 Pluviométrie

L'évaluation des besoins en eau des cultures se fait pour deux régimes climatiques standardisés :

- L'année sèche est une année fictive, dont la précipitation mensuelle de chaque mois est au moins atteinte ou dépassée 4 années sur 5 ;
- L'année moyenne est une année fictive, dont la précipitation mensuelle de chaque mois est au moins atteinte ou dépassée 1 année sur 2.

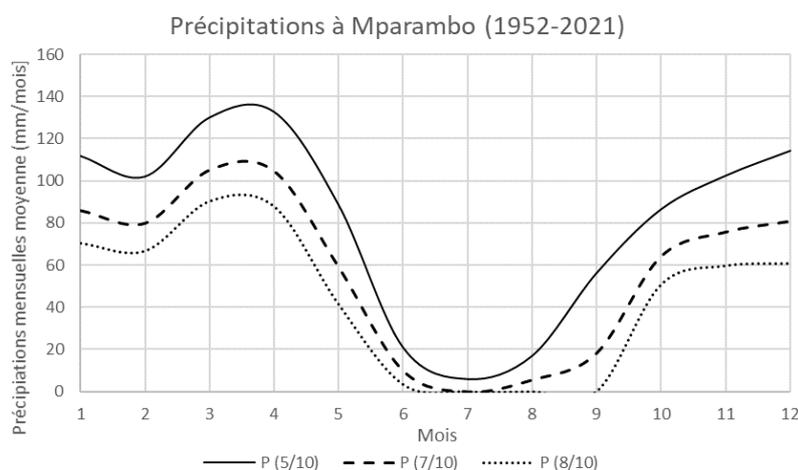
La station de Mparambo a été retenue comme station représentative de l'aménagement. Cette station est située à une vingtaine de kilomètres de la zone d'étude, entre Cibitoke et Rugombo. Son altitude est de 887 m alors que l'altitude des sites étudiés varie entre 800 et 860 m.

Un modèle statistique a été ajusté aux précipitations mensuelles de cette station. Ce modèle utilise la loi normale et permet d'estimer des valeurs de précipitations mensuelles pour différents mois et différentes périodes de retour.

La figure ci-dessous présente les résultats de cet ajustement.

Figure 28 - Mparambo - Précipitations mensuelles garanties pour le calcul des apports directs à l'aménagement

Mois	Précipitation [mm]		
	5/10	7/10	8/10
Jan.	111.7	86.1	70.5
Fév.	101.9	80.1	66.9
Mar.	129.8	105.3	90.5
Avr.	132.6	104.8	88.0
Mai	88.5	59.2	41.5
Juin	20.8	10.0	3.5
Juil.	5.8	0.0	0.0
Aou.	16.8	5.6	0.0
Sep.	56.1	18.2	0.0
Oct.	86.4	64.2	50.8
Nov.	102.3	75.8	59.8
Déc.	114.1	81.0	60.9
Total	966.8	690.4	532.5



Source : IGBU

Les pluviométries mensuelles ainsi estimées ont ensuite été converties en pluviométries décadaires afin de calculer les besoins au pas de temps décadaire et de suivre au mieux le développement de la culture.

Enfin, il convient de noter que ces apports d'eau de pluie directs à la parcelle ne contribuent pas intégralement à l'alimentation en eau des cultures. En effet une partie de ces apports est perdu (pour la plante) par ruissellement et par infiltration en profondeur. Le solde (Pluie – Pertes par ruissellement et percolation) constitue la quantité d'eau effectivement disponible pour la culture.

Ce solde est dénommé 'Précipitation efficace' et c'est la grandeur à prendre en compte pour le calcul des besoins en eau. La pluie efficace est prise à 80% de la pluviométrie décadaire.

6.2.2 Evapotranspiration potentielle mensuelle

L'évapotranspiration potentielle de la zone a été extraite de la base de données du CGIAR⁴. Les valeurs de ETO sont calculées sur base de données WorldClim (monde, 1970-2000) en utilisant l'équation de Hargreaves (1985). Cette équation prend en compte le rayonnement extra-terrestre, la température moyenne et l'impact de la couverture nuageuse sur la proportion de rayonnement extraterrestre atteignant la surface de la terre.

Tableau 20 - Evapotranspiration de référence pour les sites de Kaburantwa

ETO	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Juil.	Aou.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Annuel
mm/mois	116.9	107.8	122.4	113.4	121.3	137.6	151.7	158.5	152.8	140.2	111.6	111.8	1546.2
mm/jour	3.9	3.9	3.9	3.8	3.9	4.6	4.9	5.1	5.1	4.5	3.7	3.6	4.2

Ces données mensuelles ont également été converties en données décadaires afin de calculer les besoins au pas de temps décadaire et ainsi suivre au mieux le développement de la culture.

6.2.3 Données sur les cultures

6.2.3.1 Calendriers cultureux

Le tableau ci-dessous présente les calendriers cultureux recommandés, en phase diagnostic, pour la zone d'étude. Ce tableau considère :

⁴ <https://cgiarcsi.community/2019/01/24/global-aridity-index-and-potential-evapotranspiration-climate-database-v2/>

- La situation optimiste où les cultures de saison A sont mises en place dès la reprise des pluies en année sèche (septembre) ;
- Le cycle cultural du riz à une durée de 150 jours (15 décades), y compris période de pépinière. Le maïs et le maraîchage ont respectivement des cycles culturaux de 14 et 10 décades.

Tableau 21 – Calendriers culturaux recommandés pour la zone d'étude

Saison	Mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Juil.	Aou.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
A	Riz												
	Maïs												
	Maraîchage												
B	Riz												
	Maïs												
	Maraîchage												
C	Maraîchage												

Le calcul des besoins en eau considère en priorité la culture du riz en saisons A et B si les sols présentent une bonne aptitude culturale. Cependant, si les ressources en eau fournies par le réseau hydrographique ne sont pas suffisantes, la riziculture peut être partiellement remplacée par une polyculture irriguée moins exigeante en eau.

Etant donné la superficie de l'aménagement envisagé, l'établissement du besoin en eau des cultures considère que le riz est mis en place sur trois décades successives (septembre pour la saison A et février pour la saison B).

6.2.3.2 Coefficients culturaux

Les coefficients culturaux utilisés correspondent aux données publiées par la FAO⁵ et réparties par décades.

Tableau 22 - Coefficients culturaux décadaires (Kc) utilisés

Décade	Riz_150j	Maïs	Maraichage
1	1.20	0.30	0.70
2	1.06	0.30	0.70
3	1.06	0.32	0.76
4	1.10	0.49	0.88
5	1.10	0.72	1.01
6	1.13	0.95	1.10
7	1.19	1.17	1.10
8	1.25	1.20	1.10
9	1.27	1.20	1.07
10	1.27	1.20	1.02
11	1.27	1.18	
12	1.27	0.97	
13	1.23	0.72	
14	1.18	0.55	
15	1.14		

6.2.3.3 Pratiques culturales

La préparation du sol se déroule durant les trois premières décades après la mise en place de la culture. Durant cette période, la superficie travaillée augmente progressivement. Un taux de mise en valeur de 20, 40 et 80 % est considéré respectivement pour les décades 1 à 3.

⁵ Doorenbos et Kassam, Réponse des rendements à l'eau Bulletin d'Irrigation et de Drainage, FAO n° 33, ROME.

La mise en boue des parcelles rizicoles consomme 2.5 mm/j durant la première décennie, elle augmente ensuite à 5 mm/j durant les deux décennies suivantes. La mise en boue nécessite donc un apport total de 125 mm.

Au terme de la mise en boue, la lame d'eau est maintenue à 50 mm jusqu'à la 7^{ème} décennie. Elle passe ensuite à 100 mm. L'eau apportée à la culture doit non seulement couvrir ses besoins physiologiques (pertes par évaporation) mais également les pertes par percolation.

6.3 Calcul des besoins en eau nets des cultures

Les besoins en eau des cultures sont calculés par décennie sur base des calendriers et des coefficients culturaux, des ETO mensuelles moyennes et de la pluviométrie garantie 8 années sur 10.

Les besoins d'irrigation sont estimés en l/s pour un hectare sur 24h. Les sections suivantes présentent les besoins en eau estimés pour chacune des cultures.

6.3.1 Riz 150 jours

6.3.1.1 Saison A

Comme indiqué plus haut (en section 6.2.3.1), étant donné l'extension de l'aménagement, l'établissement des besoins en eau considère que le riz est mis en place sur 3 décennies successives. Les tableaux suivants présentent les besoins nets pour chacune de ces décennies, en année sèche.

Tableau 23 - Besoins en eau nets pour le riz 150j - Saison A

Décennie	Kc	ETo mm/j	ETc mm/j	Prep. mm/j	Percol mm/j	Bes. mm/déc	Pluie Dec mm/déc	Pluie Eff mm/déc	Besoins en eau Net 24 h	
									mm/déc	l/s/ha
09-1	1.2	5.1	1.2	2.5	0.0	37.2	0.0	0.0	37.2	0.4
09-2	1.06	5.1	2.2	5.0	0.0	71.6	0.0	0.0	71.6	0.8
09-3	1.06	5.1	4.3	5.0	0.0	93.2	0.0	0.0	93.2	1.1
10-1	1.1	4.5	5.0	5.0	0.0	99.7	12.4	9.9	89.8	1.0
10-2	1.1	4.5	5.0	0.0	2.0	69.7	18.6	14.9	54.8	0.6
10-3	1.13	4.5	5.1	0.0	2.0	71.1	19.7	15.8	55.3	0.6
11-1	1.19	3.7	4.4	0.0	2.0	64.3	19.2	15.4	48.9	0.6
11-2	1.25	3.7	4.7	5.0	2.0	116.5	20.2	16.2	100.3	1.2
11-3	1.27	3.7	4.7	0.0	2.0	67.2	20.4	16.3	51.0	0.6
12-1	1.27	3.6	4.6	0.0	2.0	65.8	19.9	15.9	49.9	0.6
12-2	1.27	3.6	4.6	0.0	2.0	65.8	20.0	16.0	49.8	0.6
12-3	1.27	3.6	4.6	0.0	2.0	65.8	21.0	16.8	49.0	0.6
01-1	1.23	3.9	4.8	0.0	2.0	67.9	22.9	18.3	49.6	0.6
01-2	1.18	3.9	4.6	0.0	1.0	56.0	24.0	19.2	36.8	0.4
01-3	1.14	3.9	4.4	0.0	0.0	44.4	23.6	18.9	25.5	0.3

Décennie	Kc	ETo mm/j	ETc mm/j	Prep. mm/j	Percol mm/j	Bes. mm/déc	Pluie Dec mm/déc	Pluie Eff mm/déc	Besoins en eau Net 24 h	
									mm/déc	l/s/ha
09-2	1.2	5.1	1.2	2.5	0.0	37.2	0.0	0.0	37.2	0.4
09-3	1.06	5.1	2.2	5.0	0.0	71.6	0.0	0.0	71.6	0.8
10-1	1.06	4.5	3.8	5.0	0.0	88.4	12.4	9.9	78.4	0.9
10-2	1.1	4.5	5.0	5.0	0.0	99.7	18.6	14.9	84.8	1.0
10-3	1.1	4.5	5.0	0.0	2.0	69.7	19.7	15.8	54.0	0.6
11-1	1.13	3.7	4.2	0.0	2.0	62.0	19.2	15.4	46.7	0.5
11-2	1.19	3.7	4.4	0.0	2.0	64.3	20.2	16.2	48.1	0.6
11-3	1.25	3.7	4.7	5.0	2.0	116.5	20.4	16.3	100.2	1.2
12-1	1.27	3.6	4.6	0.0	2.0	65.8	19.9	15.9	49.9	0.6
12-2	1.27	3.6	4.6	0.0	2.0	65.8	20.0	16.0	49.8	0.6

Décade	Kc	ETo mm/j	ETc mm/j	Prep. mm/j	Percol mm/j	Bes. mm/dec	Pluie Dec mm/dec	Pluie Eff mm/dec	Besoin en eau Net 24 h	
									mm/dec	l/s/ha
12-3	1.27	3.6	4.6	0.0	2.0	65.8	21.0	16.8	49.0	0.6
01-1	1.27	3.9	4.9	0.0	2.0	69.5	22.9	18.3	51.2	0.6
01-2	1.23	3.9	4.8	0.0	2.0	67.9	24.0	19.2	48.7	0.6
01-3	1.18	3.9	4.6	0.0	1.0	56.0	23.6	18.9	37.1	0.4
02-1	1.14	3.9	4.4	0.0	0.0	43.9	21.7	17.4	26.5	0.3

Décade	Kc	ETo mm/j	ETc mm/j	Prep. mm/j	Percol mm/j	Bes. mm/dec	Pluie Dec mm/dec	Pluie Eff mm/dec	Besoin en eau Net 24 h	
									mm/dec	l/s/ha
09-3	1.2	5.1	1.2	2.5	0.0	37.2	0.0	0.0	37.2	0.4
10-1	1.06	4.5	1.9	5.0	0.0	69.2	12.4	9.9	59.2	0.7
10-2	1.06	4.5	3.8	5.0	0.0	88.4	18.6	14.9	73.4	0.9
10-3	1.1	4.5	5.0	5.0	0.0	99.7	19.7	15.8	84.0	1.0
11-1	1.1	3.7	4.1	0.0	2.0	60.9	19.2	15.4	45.5	0.5
11-2	1.13	3.7	4.2	0.0	2.0	62.0	20.2	16.2	45.9	0.5
11-3	1.19	3.7	4.4	0.0	2.0	64.3	20.4	16.3	48.0	0.6
12-1	1.25	3.6	4.5	5.0	2.0	115.1	19.9	15.9	99.2	1.1
12-2	1.27	3.6	4.6	0.0	2.0	65.8	20.0	16.0	49.8	0.6
12-3	1.27	3.6	4.6	0.0	2.0	65.8	21.0	16.8	49.0	0.6
01-1	1.27	3.9	4.9	0.0	2.0	69.5	22.9	18.3	51.2	0.6
01-2	1.27	3.9	4.9	0.0	2.0	69.5	24.0	19.2	50.3	0.6
01-3	1.23	3.9	4.8	0.0	2.0	67.9	23.6	18.9	49.1	0.6
02-1	1.18	3.9	4.5	0.0	1.0	55.4	21.7	17.4	38.1	0.4
02-2	1.14	3.9	4.4	0.0	0.0	43.9	21.3	17.1	26.8	0.3

Le besoin en eau moyen à l'échelle de l'aménagement est donné par la moyenne de ces besoins décennaux. Le tableau ci-dessous présente ces moyennes.

Tableau 24 - Besoins en eau moyens à l'échelle de l'aménagement pour le riz 150j - Saison A

Décade	Besoin en eau Net 24 h	
	mm/dec	l/s/ha
09-1	37.22	0.43
09-2	54.41	0.63
09-3	67.34	0.78
10-1	75.82	0.88
10-2	71.04	0.82
10-3	64.41	0.75
11-1	47.04	0.54
11-2	64.75	0.75
11-3	66.39	0.77
12-1	66.33	0.77
12-2	49.81	0.58
12-3	48.97	0.57
01-1	50.64	0.59
01-2	45.27	0.52
01-3	37.24	0.43
02-1	32.28	0.37
02-2	26.82	0.31

6.3.1.2 Saison B

Comme indiqué plus haut (en section 6.2.3.1), étant donné l'extension de l'aménagement, l'établissement des besoins en eau considère que le riz est mis en place sur 3 décades successives. Les tableaux suivants présentent les besoins nets pour chacune de ces décades, en année sèche.

Tableau 25 - Besoins en eau nets pour le riz 150j - Saison B

Décade	Kc	ETo mm/j	ETc mm/j	Prep. mm/j	Percol mm/j	Bes. mm/dec	Pluie Dec mm/dec	Pluie Eff mm/dec	Besoin en eau Net 24 h	
									mm/dec	l/s/ha
02-1	1.2	3.9	0.9	2.5	0.0	34.2	21.7	17.4	16.9	0.2
02-2	1.06	3.9	1.6	5.0	0.0	66.3	21.3	17.1	49.3	0.6
02-3	1.06	3.9	3.3	5.0	0.0	82.6	23.8	19.1	63.6	0.7
03-1	1.1	3.9	4.3	5.0	0.0	93.4	28.5	22.8	70.7	0.8
03-2	1.1	3.9	4.3	0.0	2.0	63.4	31.2	24.9	38.5	0.4
03-3	1.13	3.9	4.5	0.0	2.0	64.6	30.9	24.7	39.9	0.5
04-1	1.19	3.8	4.5	0.0	2.0	65.0	31.4	25.1	39.9	0.5
04-2	1.25	3.8	4.7	5.0	2.0	117.3	31.1	24.8	92.4	1.1
04-3	1.27	3.8	4.8	0.0	2.0	68.0	25.6	20.5	47.5	0.6
05-1	1.27	3.9	5.0	0.0	2.0	69.7	18.6	14.9	54.8	0.6
05-2	1.27	3.9	5.0	0.0	2.0	69.7	13.5	10.8	58.9	0.7
05-3	1.27	3.9	5.0	0.0	2.0	69.7	9.4	7.5	62.2	0.7
06-1	1.23	4.6	5.6	0.0	2.0	76.4	2.6	2.1	74.4	0.9
06-2	1.18	4.6	5.4	0.0	1.0	64.1	0.6	0.4	63.7	0.7
06-3	1.14	4.6	5.2	0.0	0.0	52.3	0.4	0.3	52.0	0.6

Décade	Kc	ETo mm/j	ETc mm/j	Prep. mm/j	Percol mm/j	Bes. mm/dec	Pluie Dec mm/dec	Pluie Eff mm/dec	Besoin en eau Net 24 h	
									mm/dec	l/s/ha
02-2	1.2	3.9	0.9	2.5	0.0	34.2	21.3	17.1	17.2	0.2
02-3	1.06	3.9	1.6	5.0	0.0	66.3	23.8	19.1	47.2	0.5
03-1	1.06	3.9	3.3	5.0	0.0	83.5	28.5	22.8	60.7	0.7
03-2	1.1	3.9	4.3	5.0	0.0	93.4	31.2	24.9	68.5	0.8
03-3	1.1	3.9	4.3	0.0	2.0	63.4	30.9	24.7	38.7	0.4
04-1	1.13	3.8	4.3	0.0	2.0	62.7	31.4	25.1	37.6	0.4
04-2	1.19	3.8	4.5	0.0	2.0	65.0	31.1	24.8	40.1	0.5
04-3	1.25	3.8	4.7	5.0	2.0	117.3	25.6	20.5	96.8	1.1
05-1	1.27	3.9	5.0	0.0	2.0	69.7	18.6	14.9	54.8	0.6
05-2	1.27	3.9	5.0	0.0	2.0	69.7	13.5	10.8	58.9	0.7
05-3	1.27	3.9	5.0	0.0	2.0	69.7	9.4	7.5	62.2	0.7
06-1	1.27	4.6	5.8	0.0	2.0	78.3	2.6	2.1	76.2	0.9
06-2	1.23	4.6	5.6	0.0	2.0	76.4	0.6	0.4	76.0	0.9
06-3	1.18	4.6	5.4	0.0	1.0	64.1	0.4	0.3	63.8	0.7
07-1	1.14	4.9	5.6	0.0	0.0	55.8	0.0	0.0	55.8	0.6

Décade	Kc	ETo mm/j	ETc mm/j	Prep. mm/j	Percol mm/j	Bes. mm/dec	Pluie Dec mm/dec	Pluie Eff mm/dec	Besoin en eau Net 24 h	
									mm/dec	l/s/ha
02-3	1.2	3.9	0.9	2.5	0.0	34.2	23.8	19.1	15.2	0.2
03-1	1.06	3.9	1.7	5.0	0.0	66.7	28.5	22.8	44.0	0.5
03-2	1.06	3.9	3.3	5.0	0.0	83.5	31.2	24.9	58.6	0.7
03-3	1.1	3.9	4.3	5.0	0.0	93.4	30.9	24.7	68.7	0.8
04-1	1.1	3.8	4.2	0.0	2.0	61.6	31.4	25.1	36.5	0.4
04-2	1.13	3.8	4.3	0.0	2.0	62.7	31.1	24.8	37.9	0.4

Décade	Kc	ETo mm/j	ETc mm/j	Prep. mm/j	Percol mm/j	Bes. mm/dec	Pluie Dec mm/dec	Pluie Eff mm/dec	Besoin en eau Net 24 h	
									mm/dec	l/s/ha
04-3	1.19	3.8	4.5	0.0	2.0	65.0	25.6	20.5	44.5	0.5
05-1	1.25	3.9	4.9	5.0	2.0	118.9	18.6	14.9	104.0	1.2
05-2	1.27	3.9	5.0	0.0	2.0	69.7	13.5	10.8	58.9	0.7
05-3	1.27	3.9	5.0	0.0	2.0	69.7	9.4	7.5	62.2	0.7
06-1	1.27	4.6	5.8	0.0	2.0	78.3	2.6	2.1	76.2	0.9
06-2	1.27	4.6	5.8	0.0	2.0	78.3	0.6	0.4	77.8	0.9
06-3	1.23	4.6	5.6	0.0	2.0	76.4	0.4	0.3	76.1	0.9
07-1	1.18	4.9	5.8	0.0	1.0	67.7	0.0	0.0	67.7	0.8
07-2	1.14	4.9	5.6	0.0	0.0	55.8	0.0	0.0	55.8	0.6

Le besoin en eau moyen à l'échelle de l'aménagement est donné par la moyenne de ces besoins décadaires. Le tableau ci-dessous présente ces moyennes.

Tableau 26 - Besoins en eau moyens à l'échelle de l'aménagement pour le riz 150j - Saison B

Décade	Besoin en eau Net 24 h	
	mm/dec	l/s/ha
02-1	16.86	0.20
02-2	33.21	0.38
02-3	41.99	0.49
03-1	58.45	0.68
03-2	55.18	0.64
03-3	49.12	0.57
04-1	38.01	0.44
04-2	56.80	0.66
04-3	62.94	0.73
05-1	71.24	0.82
05-2	58.87	0.68
05-3	62.18	0.72
06-1	75.58	0.87
06-2	72.48	0.84
06-3	63.98	0.74
07-1	61.77	0.71
07-2	55.79	0.65

6.3.2 Maïs

Tableau 27 - Besoins en eau nets pour le maïs - saison A

Décade	Kc	ETo mm/j	ETc mm/j	Prep. mm/j	Percol mm/j	Bes. mm/dec	Pluie Dec mm/dec	Pluie Eff mm/dec	Besoin en eau Net 24 h	
									mm/dec	l/s/ha
09-1	0.3	5.1	1.5	0.0	0.0	15.3	0.0	0.0	15.3	0.2
09-2	0.3	5.1	1.5	0.0	0.0	15.3	0.0	0.0	15.3	0.2
09-3	0.32	5.1	1.6	0.0	0.0	16.3	0.0	0.0	16.3	0.2
10-1	0.49	4.5	2.2	0.0	0.0	22.2	12.4	9.9	12.2	0.1
10-2	0.72	4.5	3.3	0.0	0.0	32.6	18.6	14.9	17.7	0.2
10-3	0.95	4.5	4.3	0.0	0.0	43.0	19.7	15.8	27.2	0.3
11-1	1.17	3.7	4.4	0.0	0.0	43.5	19.2	15.4	28.2	0.3
11-2	1.2	3.7	4.5	0.0	0.0	44.6	20.2	16.2	28.5	0.3
11-3	1.2	3.7	4.5	0.0	0.0	44.6	20.4	16.3	28.4	0.3
12-1	1.2	3.6	4.3	0.0	0.0	43.3	19.9	15.9	27.4	0.3
12-2	1.18	3.6	4.3	0.0	0.0	42.6	20.0	16.0	26.6	0.3

Décade	Kc	ETo mm/j	ETc mm/j	Prep. mm/j	Percol mm/j	Bes. mm/dec	Pluie Dec mm/dec	Pluie Eff mm/dec	Besoin en eau Net 24 h	
									mm/dec	l/s/ha
12-3	0.97	3.6	3.5	0.0	0.0	35.0	21.0	16.8	18.2	0.2
01-1	0.72	3.9	2.8	0.0	0.0	28.1	22.9	18.3	9.7	0.1
01-2	0.55	3.9	2.1	0.0	0.0	21.4	24.0	19.2	2.2	0.0

Tableau 28 - Besoins en eau nets pour le maïs - saison B

Décade	Kc	ETo mm/j	ETc mm/j	Prep. mm/j	Percol mm/j	Bes. mm/dec	Pluie Dec mm/dec	Pluie Eff mm/dec	Besoin en eau Net 24 h	
									mm/dec	l/s/ha
01-3	0.3	3.9	1.2	0.0	0.0	11.7	23.6	18.9	0.0	0.0
02-1	0.3	3.9	1.2	0.0	0.0	11.6	21.7	17.4	0.0	0.0
02-2	0.32	3.9	1.2	0.0	0.0	12.3	21.3	17.1	0.0	0.0
02-3	0.49	3.9	1.9	0.0	0.0	18.9	23.8	19.1	0.0	0.0
03-1	0.72	3.9	2.8	0.0	0.0	28.4	28.5	22.8	5.7	0.1
03-2	0.95	3.9	3.8	0.0	0.0	37.5	31.2	24.9	12.6	0.1
03-3	1.17	3.9	4.6	0.0	0.0	46.2	30.9	24.7	21.5	0.2
04-1	1.2	3.8	4.5	0.0	0.0	45.4	31.4	25.1	20.3	0.2
04-2	1.2	3.8	4.5	0.0	0.0	45.4	31.1	24.8	20.5	0.2
04-3	1.2	3.8	4.5	0.0	0.0	45.4	25.6	20.5	24.9	0.3
05-1	1.18	3.9	4.6	0.0	0.0	46.2	18.6	14.9	31.3	0.4
05-2	0.97	3.9	3.8	0.0	0.0	38.0	13.5	10.8	27.1	0.3
05-3	0.72	3.9	2.8	0.0	0.0	28.2	9.4	7.5	20.7	0.2
06-1	0.55	4.6	2.5	0.0	0.0	25.2	2.6	2.1	23.2	0.3

6.3.3 Maraîchage

Tableau 29 - Besoins en eau nets pour le maraîchage - saison A

Décade	Kc	ETo mm/j	ETc mm/j	Prep. mm/j	Percol mm/j	Bes. mm/dec	Pluie Dec mm/dec	Pluie Eff mm/dec	Besoin en eau Net 24 h	
									mm/dec	l/s/ha
09-3	0.7	5.1	3.6	0.0	0.0	35.7	0.0	0.0	35.7	0.4
10-1	0.7	4.5	3.2	0.0	0.0	31.7	12.4	9.9	21.7	0.3
10-2	0.76	4.5	3.4	0.0	0.0	34.4	18.6	14.9	19.5	0.2
10-3	0.88	4.5	4.0	0.0	0.0	39.8	19.7	15.8	24.0	0.3
11-1	1.01	3.7	3.8	0.0	0.0	37.6	19.2	15.4	22.2	0.3
11-2	1.1	3.7	4.1	0.0	0.0	40.9	20.2	16.2	24.7	0.3
11-3	1.1	3.7	4.1	0.0	0.0	40.9	20.4	16.3	24.6	0.3
12-1	1.1	3.6	4.0	0.0	0.0	39.7	19.9	15.9	23.8	0.3
12-2	1.07	3.6	3.9	0.0	0.0	38.6	20.0	16.0	22.6	0.3
12-3	1.02	3.6	3.7	0.0	0.0	36.8	21.0	16.8	20.0	0.2

Tableau 30 - Besoins en eau nets pour le maraîchage - saison B

Décade	Kc	ETo mm/j	ETc mm/j	Prep. mm/j	Percol mm/j	Bes. mm/dec	Pluie Dec mm/dec	Pluie Eff mm/dec	Besoin en eau Net 24 h	
									mm/dec	l/s/ha
01-3	0.7	3.9	2.7	0.0	0.0	27.3	23.6	18.9	8.4	0.1
02-1	0.7	3.9	2.7	0.0	0.0	27.0	21.7	17.4	9.6	0.1
02-2	0.76	3.9	2.9	0.0	0.0	29.3	21.3	17.1	12.2	0.1
02-3	0.88	3.9	3.4	0.0	0.0	33.9	23.8	19.1	14.8	0.2
03-1	1.01	3.9	4.0	0.0	0.0	39.9	28.5	22.8	17.1	0.2
03-2	1.1	3.9	4.3	0.0	0.0	43.4	31.2	24.9	18.5	0.2
03-3	1.1	3.9	4.3	0.0	0.0	43.4	30.9	24.7	18.7	0.2
04-1	1.1	3.8	4.2	0.0	0.0	41.6	31.4	25.1	16.5	0.2
04-2	1.07	3.8	4.0	0.0	0.0	40.4	31.1	24.8	15.6	0.2
04-3	1.02	3.8	3.9	0.0	0.0	38.6	25.6	20.5	18.1	0.2

Tableau 31 - Besoins en eau nets pour le maraîchage - saison C

Décade	Kc	ETo mm/j	ETc mm/j	Prep. mm/j	Percol mm/j	Bes. mm/dec	Pluie Dec mm/dec	Pluie Eff mm/dec	Besoin en eau Net 24 h	
									mm/dec	l/s/ha
06-1	0.7	4.6	3.2	0.0	0.0	32.1	2.6	2.1	30.0	0.3
06-2	0.7	4.6	3.2	0.0	0.0	32.1	0.6	0.4	31.7	0.4
06-3	0.76	4.6	3.5	0.0	0.0	34.9	0.4	0.3	34.6	0.4
07-1	0.88	4.9	4.3	0.0	0.0	43.1	0.0	0.0	43.1	0.5
07-2	1.01	4.9	4.9	0.0	0.0	49.4	0.0	0.0	49.4	0.6
07-3	1.1	4.9	5.4	0.0	0.0	53.8	0.0	0.0	53.8	0.6
08-1	1.1	5.1	5.6	0.0	0.0	56.2	0.0	0.0	56.2	0.7
08-2	1.1	5.1	5.6	0.0	0.0	56.2	0.0	0.0	56.2	0.7
08-3	1.07	5.1	5.5	0.0	0.0	54.7	0.0	0.0	54.7	0.6
09-1	1.02	5.1	5.2	0.0	0.0	52.0	0.0	0.0	52.0	0.6

6.4 Calcul du besoin en eau brut

Les besoins en eau brut sont calculés à partir des besoins en eau nets auxquels sont appliqués un facteur d'efficacité du réseau. Ce facteur dépend du type d'irrigation appliqué et traduit l'efficacité du système. Au Burundi, on considère généralement que l'efficacité d'un réseau d'irrigation en riziculture est de 60%.

Le riz est caractérisé par un pic de demande qui, contrairement aux autres cultures, est lié à des opérations culturales (mise en boue, vidange/remplissage des casiers). Ce pic est centré sur une décade et la demande correspondante est très élevée par rapport à la demande physiologique de la culture.

Il importe de tenir compte au mieux de ce pic localisé sur une décade afin d'éviter un surdimensionnement important des infrastructures.

En effet, l'aménagement considéré ici est très étendu. A l'échelle de l'aménagement, il est illusoire de considérer que la mise en place de la riziculture se fera en une seule décade. L'expérience sur d'autres périmètres (périmètre de l'Imbo notamment) montre que cette mise en place est étalée sur au moins 3 décades.

C'est pourquoi, le calcul des besoins en eau bruts considère à la fois le besoin du riz installé durant la décade la plus contraignante (on parlera de besoin « à la parcelle ») mais également le besoin lissé du riz en considérant sa mise en place sur 3 décades (on parlera de besoin « au périmètre »).

Le tableau suivant présente les besoins en eau de pointe des principales cultures envisagées en saison A, B et C en vue de l'équipement des différentes parties du réseau.

Tableau 32 - Besoins en eau de pointe des cultures – Synthèse

Saison A	Culture	Année sèche				
		ETC mm	Pluie eff. mm	Bes. Irr.		Eff. 60% Max. (l/s/ha)
				Tot. (mm)	Max. (l/s/ha)	
	Riz 150 j "à la parcelle"	641.0	193.6	862.8	1.16	1.93
	Riz 150 j "au périmètre"	688.0	228.0	905.8	0.88	1.47
	Maïs	447.7	174.7	272.9	0.33	0.55
	Maraîchage	375.9	137.2	238.7	0.41	0.69
Saison B						
	Riz 150 j "à la parcelle"	666.9	197.9	884.0	1.20	2.01
	Riz 150 j "au périmètre"	721.0	232.3	934.5	0.87	1.46
	Maïs	440.2	250.5	207.7	0.36	0.60
	Maraîchage	364.7	215.2	149.5	0.22	0.36
Saison C						
	Maraîchage	464.5	2.8	461.7	0.65	1.08

6.5 Débit de dimensionnement

Le réseau de canaux proposé pour l'aménagement est hiérarchisé en 4 niveaux (voir section 8).

Plus un canal se trouve « haut » dans la hiérarchie et plus la superficie desservie par ce canal sera importante. A l'inverse, plus un canal se trouve « bas » dans la hiérarchie et plus la superficie desservie par celui-ci sera faible.

Dès lors, les canaux situés le plus bas dans la hiérarchie - c-à-d jusqu'au niveau du canal secondaire - sont dimensionnés en considérant le besoin en eau du Riz 150 j « à la parcelle » en saison B. En effet, on considère que dans ce cas, la probabilité est importante que l'ensemble des parcelles desservies par ce canal adoptent un calendrier cultural identique. Le débit de dimensionnement considéré pour ces canaux est de **2.0 l/s/ha**.

Les canaux situés le plus haut dans la hiérarchie - ici les canaux primaires - sont quant à eux dimensionnés en considérant le besoin en eau du Riz 150 j « au périmètre » en saison A/B. En effet, on considère que dans ce cas, la probabilité est faible que l'ensemble des parcelles desservies par ce canal adoptent le même calendrier cultural. Il y aura étalement de la mise en place du riz. Le débit de dimensionnement considéré pour ces canaux est de **1.45 l/s/ha**.

7 Principes généraux d'aménagement

Les principes généraux d'aménagement ont été présentés en phase APS. Les paragraphes suivants rappellent les éléments clés pris en compte pour la phase APD

7.1 Système d'irrigation

Le réseau d'irrigation est conçu pour être à la fois simple à utiliser, efficace dans l'emploi de l'eau, facile à entretenir et le moins cher possible au vu des autres conditions.

Les principales caractéristiques des réseaux d'irrigation qui répondent à ces prescriptions sont reprises ci-dessous.

- Des canaux tête morte revêtus desservant la totalité des zones aménagées.
- Des canaux primaires /secondaires en terre ou revêtus selon leur capacité et la qualité des terrains de fondation découpant l'intégralité de la zone aménagée sur base du maillage généré par les transversales du paysannat.
- Des canaux tertiaires et quaternaires en terre ou revêtus selon la qualité des terrains de fondation, placés à intervalles réguliers en fonction de la topographie et des spécificités des secteurs à irriguer, de façon à optimiser la distribution de l'eau d'irrigation.
- Des canaux modulaires faciles à transposer à d'autres situations, adaptés au débit à fournir et fonctionnant en tout ou rien pour renforcer leur efficacité et faciliter leur utilisation.
- Un ensemble d'ouvrages types de régulation et de distribution standardisés, réalisés principalement en maçonnerie de moellons faciles à construire et à réparer par des ressources disponibles localement, simples à utiliser et entretenir.

7.2 Découpage hydraulique et mode de distribution

Une **zone** correspond à l'ensemble de la superficie alimentée par un **canal de tête morte**. Elle regroupe un ensemble de blocs. Les aménagements étudiés comportent 2 zones en rive droite et rive gauche de la Kaburantwa.

Une zone comporte plusieurs **blocs** alimentés chacun par un canal primaire. Les zones « Rive Droite » et « Rive Gauche » sont divisées chacune en 3 blocs.

A l'intérieur d'un bloc, chaque **secteur** est alimenté par un canal secondaire à partir d'une prise construite sur le canal primaire dont il dépend. Un secteur peut être subdivisé en **sous-secteurs** alimentés par des canaux tertiaires voire quaternaires en fonction de la complexité du réseau imposé par les contraintes topographiques

Le périmètre à irriguer est situé dans une zone de piémont à morphologie généralement large, entrecoupée par des pistes transversales parallèles le long desquelles des habitations sont construites. Les secteurs ont donc des superficies variables en fonction de l'organisation du terroir et des particularités topographiques.

Le découpage en zones, blocs et secteurs est réalisé pour obtenir des entités à irriguer gérables par un nombre limité d'exploitants.

Chaque secteur est divisé en **quartiers** hydrauliques regroupant plusieurs parcelles irriguées par un **arroiseur** alimenté par une prise simplifiée TOR « tout ou rien » en PVC DN 110 dont le débit est de 12 l/s sous condition standard, à partir du canal secondaire, tertiaire ou quaternaire en fonction des particularités du réseau imposées par la topographie.

Pour assurer le fonctionnement des prises pour les arroseurs sur un canal d'irrigation, celles-ci sont regroupées par 3 ou un multiple de 3 selon la superficie du secteur à irriguer :

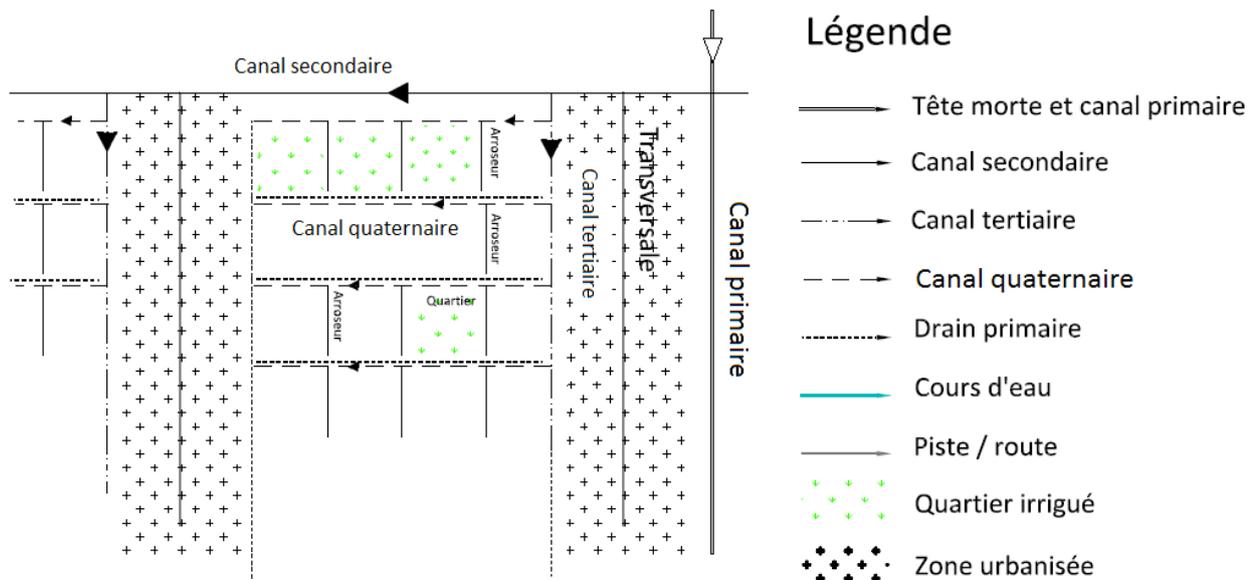
- Pour un canal 36 l/s : on irriguera par groupe de 3 prises pour arroseurs (3 x 12 l/s);

- Pour un canal de 72 l/s : ce sera 6 prises pour arroseurs (6 x 12 l/s) qui seront ouvertes en même temps;
- Pour un canal 108 l/s : ce sera 9 prises (9 x 12 l/s) et ainsi de suite...

Le drainage est assuré par un réseau de drains placés à l'intérieur des quartiers et des secteurs et conduisant au réseau hydrographique naturel le plus proche.

La figure ci-dessous présente le schéma de principe adopté pour le réseau d'irrigation.

Figure 29 - Réseau d'irrigation et de drainage - Schéma de principe



La distribution de l'eau d'irrigation est assurée à partir d'un ensemble de canaux et d'ouvrages qui constituent le réseau d'irrigation. De la ressource en eau jusqu'à la parcelle, on distingue :

- L'ouvrage de prise qui est un seuil de dérivation permettant de prélever l'eau d'irrigation dans la rivière Kaburantwa ;
- Les canaux de tête morte (CTM) alimentés par la prise et qui conduisent l'eau jusqu'aux canaux primaires (CP) ;
- Les canaux primaires (CP) qui transportent l'eau d'irrigation vers des canaux secondaires (CS) en tête de chaque bloc à irriguer ;
- Les canaux tertiaires (CT) qui alimentent un secteur ;
- Les canaux quaternaires (CQ) qui alimentent les différents quartiers et délivrent l'eau aux arroseurs via des prises "TOR" ;
- Les arroseurs qui assurent l'irrigation des parcelles d'un quartier.

7.3 Dimensionnement des canaux

En général, le dimensionnement des canaux, qui porte essentiellement sur leur section (tirant d'eau « Yu », largeur au plafond « b », la pente des berges « m » et la revanche « R »), repose sur l'hypothèse d'un écoulement permanent et uniforme. La formule de Manning-Strickler est utilisée pour les divers calculs (voir encadré ci-dessous).

Chaque quartier est irrigué par un canal arroseur, alimenté à partir d'un canal d'irrigation par une prise simplifiée TOR « tout ou rien ». Les canaux arroseurs sont dimensionnés pour un débit de 12 l/s. Théoriquement, un orifice de diamètre 110 mm, permet de délivrer un débit de 12 l/s sous une charge de 0.3 m d'eau. Un tuyau PVC 110 sera utilisé pour garantir le débit de 12 l/s dans l'arroseur. La charge est

éventuellement obtenue par le placement d'un petit batardeau intégré dans la prise TOR sur le canal au moment de l'arrosage.

Le débit théorique des canaux d'irrigation est calculé en multipliant la superficie du quartier desservi par le débit fictif continu maximum défini par les besoins en eau des cultures majoré d'un coefficient de sécurité. Pour assurer le fonctionnement de groupes de 3, 6 ou 9 prises pour arroseurs, le débit de projet est fixé au multiple de 36 l/s (3 x 12 l/s) directement supérieur au débit théorique calculé.

Le débit des canaux principaux est la somme des débits respectifs des canaux d'irrigation qu'ils alimentent.

Le tableau ci-dessous donne les caractéristiques des canaux et les débits théoriques et nominaux correspondant. La formule de Manning est appliquée.

$Q = SV$	Q : débit en m ³ /s
$S = Yu.B + Yu^2 m$	Yu : hauteur d'eau en m
$P = B + 2Yu\sqrt{1 + m^2}$	b : largeur au fond en m
$R = \frac{S}{P}$	m : pente des berges en m/m
$V = (1/n)R^{\frac{2}{3}}I^{\frac{1}{2}}$ (Manning)	S : section d'écoulement en m ²
	P : périmètre mouillé en m
	Rh : rayon hydraulique en m
	V : vitesse d'écoulement en m/s
	n : coefficient de rugosité
	I : pente en long du canal en m/m

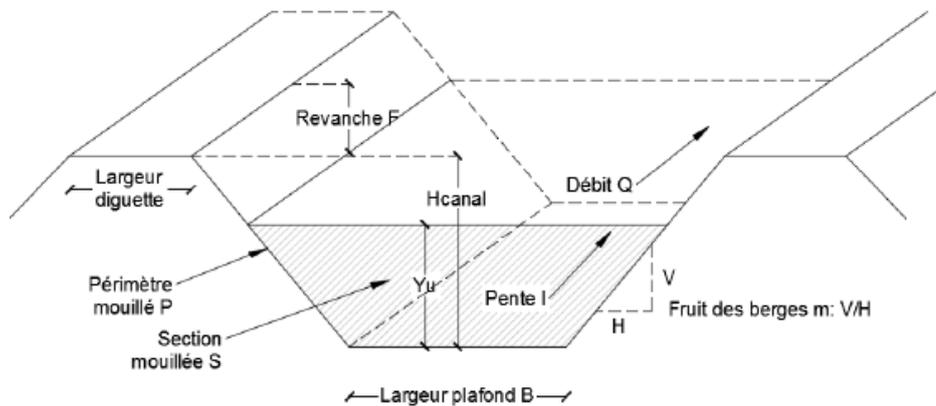


Figure 30 - Caractéristiques principales des canaux

Le coefficient de rugosité (n) est fonction du type de surface du canal : 0.033 pour un canal en terre, 0.025 pour un canal en maçonnerie de moellons.

Le gabarit des canaux d'irrigation est standardisé :

- Pour des petits canaux et les sols comportant une fraction argileuse importante, l'expérience montre qu'une pente de talus de 3V/2H est stable ;
- Une revanche de minimum 0.15 à 0.2 m et une diguette en remblai d'une largeur de 0.5 à 1m doivent être prévues en fonction du débit du canal.

Les vitesses maximales acceptables varient en fonction du type de sol :

- 0.3 à 0.7 m/s pour des sols sableux ;
- 0.5 à 0.7 m/s pour des limons sableux ;
- 0.6 à 0.9 m/s pour des limons argileux ;
- 0.9 à 1.5 m/s pour des sols argileux ;
- 2.5 m/s pour des canaux en maçonnerie de moellons.

Les tableaux ci-dessous présentent les caractéristiques principales des canaux en terre et des canaux revêtus en maçonnerie de moellons.

Tableau 33 - Caractéristiques des canaux en terre (1/2)

Paramètre			Unité	36	72	108	144	180	216	252	288	324	360	396	432	468	504	540	576	612	648	684	720		
Pente m/m	0,001	Débit	Q	m3/s	0.04	0.07	0.11	0.14	0.18	0.22	0.25	0.29	0.32	0.36	0.40	0.43	0.47	0.50	0.54	0.58	0.61	0.65	0.68	0.72	
		Largeur au fond	b	m	0.50	0.50	0.65	0.65	0.75	0.75	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.95	0.95	0.95	0.95	1.05	1.05	1.10	1.10	1.10	
	0,002	Revanche	R	m	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.25	0.25	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
		Fruit des talus v/h	it	m/m	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
	0,003	Largeur diguette	Ldig	m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
		Coef. Manning	n	-	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033
	0,004	Hauteur du canal	Hc	m	0.40	0.50	0.60	0.65	0.65	0.75	0.75	0.75	0.85	0.85	0.85	0.85	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
		Hauteur d'eau	Yu	m	0.22	0.33	0.36	0.42	0.44	0.49	0.51	0.54	0.58	0.62	0.65	0.65	0.68	0.71	0.73	0.72	0.75	0.76	0.78	0.80	0.80
	0,001	Vitesse	Vu	m/s	0.26	0.31	0.34	0.37	0.39	0.41	0.42	0.44	0.45	0.46	0.47	0.48	0.49	0.50	0.51	0.52	0.53	0.53	0.54	0.55	0.55
		Hauteur d'eau	Yu	m	0.18	0.27	0.29	0.35	0.36	0.41	0.41	0.45	0.48	0.51	0.54	0.53	0.56	0.58	0.60	0.59	0.62	0.62	0.64	0.66	0.66
	0,002	Vitesse	Vu	m/s	0.33	0.40	0.44	0.47	0.50	0.52	0.54	0.56	0.58	0.60	0.61	0.62	0.64	0.65	0.66	0.67	0.68	0.69	0.70	0.71	0.71
		Hauteur d'eau	Yu	m	0.16	0.24	0.26	0.31	0.32	0.36	0.37	0.40	0.43	0.45	0.48	0.47	0.50	0.52	0.54	0.53	0.55	0.55	0.57	0.59	0.59
	0,003	Vitesse	Vu	m/s	0.38	0.46	0.51	0.55	0.58	0.52	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.72	0.74	0.75	0.77	0.78	0.79	0.80	0.81	0.82	0.82
		Hauteur d'eau	Yu	m	0.14	0.22	0.24	0.28	0.30	0.36	0.34	0.36	0.39	0.42	0.44	0.43	0.46	0.48	0.49	0.49	0.50	0.51	0.52	0.54	0.54
	0,004	Vitesse	Vu	m/s	0.42	0.51	0.56	0.61	0.64	0.61	0.69	0.72	0.75	0.77	0.79	0.80	0.82	0.84	0.85	0.86	0.88	0.89	0.90	0.91	0.91

Tableau 34 - Caractéristiques des canaux en terre (2/2)

Paramètre			Unité	756	792	828	864	900	936	972	1008	1044	1080	1116	1152	1188	1224	1260	1296	1332	1368				
Pente m/m	0,001	Débit	Q	m3/s	0.76	0.79	0.83	0.86	0.90	0.94	0.97	1.01	1.04	1.08	1.12	1.15	1.19	1.22	1.26	1.30	1.33	1.37			
		Largeur au fond	b	m	1.10	1.10	1.10	1.20	1.20	1.20	1.20	1.30	1.30	1.30	1.30	1.40	1.40	1.40	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50		
	0,002	Revanche	R	m	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	
		Fruit des talus v/h	it	m/m	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	
	0,003	Largeur diguette	Ldig	m	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
		Coef. Manning	n	-	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	
	0,004	Hauteur du canal	Hc	m	1.00	1.05	1.10	1.10	1.10	1.10	1.15	1.20	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	
		Hauteur d'eau	Yu	m	0.82	0.85	0.87	0.85	0.87	0.89	0.91	0.89	0.91	0.93	0.94	0.93	0.94	0.96	0.94	0.96	0.96	0.97	0.99	0.99	
	0,001	Vitesse	Vu	m/s	0.56	0.56	0.57	0.57	0.58	0.59	0.59	0.60	0.60	0.61	0.61	0.62	0.62	0.63	0.63	0.63	0.63	0.64	0.64	0.64	0.64
		Hauteur d'eau	Yu	m	0.68	0.70	0.71	0.70	0.72	0.73	0.75	0.73	0.75	0.76	0.78	0.76	0.77	0.79	0.77	0.78	0.78	0.80	0.81	0.81	0.81
	0,002	Vitesse	Vu	m/s	0.72	0.73	0.74	0.74	0.75	0.76	0.76	0.77	0.78	0.78	0.79	0.79	0.80	0.81	0.81	0.82	0.82	0.82	0.83	0.83	0.83
		Hauteur d'eau	Yu	m	0.60	0.62	0.64	0.62	0.64	0.65	0.67	0.65	0.66	0.68	0.69	0.68	0.69	0.70	0.68	0.70	0.68	0.71	0.72	0.72	0.72
	0,003	Vitesse	Vu	m/s	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.89	0.90	0.91	0.92	0.92	0.93	0.94	0.94	0.95	0.95	0.95	0.96	0.96	0.96
		Hauteur d'eau	Yu	m	0.56	0.57	0.59	0.57	0.59	0.60	0.61	0.60	0.61	0.62	0.64	0.62	0.63	0.64	0.63	0.64	0.63	0.64	0.65	0.66	0.66
	0,004	Vitesse	Vu	m/s	0.93	0.94	0.95	0.95	0.97	0.98	0.99	0.99	1.00	1.01	1.02	1.02	1.03	1.04	1.04	1.05	1.06	1.06	1.07	1.07	1.07

Tableau 35 - Caractéristiques des canaux en maçonnerie de moellons (1/2)

			36	72	108	144	180	216	252	288	324	360	396	432	468	504		
	Paramètre	Unité																
	Largeur au fond	b	m	0.50	0.50	0.65	0.65	0.75	0.75	0.85	0.85	0.90	0.95	0.95	1.00	1.00	1.00	
	Fruit des talus	it	m/m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	
	Cavalier	L	m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	
	Manning	n	-	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	
	Hauteur du canal	Hc	m	0.40	0.50	0.60	0.65	0.65	0.75	0.75	0.85	0.85	0.85	0.95	0.95	1.00	1.00	
	Ep. revêtement	e	m	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	
Pente m/m	0.0005	Débit	Q	m ³ /s	0.04	0.07	0.11	0.14	0.18	0.22	0.25	0.29	0.32	0.36	0.40	0.43	0.47	0.50
		Hauteur d'eau	Yu	m	0.27	0.42	0.45	0.55	0.57	0.64	0.65	0.70	0.73	0.75	0.80	0.81	0.86	0.90
		Revanche	R	m	0.13	0.08	0.15	0.10	0.08	0.11	0.10	0.15	0.12	0.10	0.15	0.14	0.14	0.10
		Vitesse	Vu	m/s	0.24	0.28	0.31	0.34	0.36	0.37	0.39	0.40	0.41	0.42	0.43	0.44	0.45	0.46
	0.001	Débit	Q	m ³ /s	0.04	0.07	0.11	0.14	0.18	0.22	0.25	0.29	0.32	0.36	0.40	0.43	0.47	0.50
		Hauteur d'eau	Yu	m	0.21	0.34	0.36	0.43	0.45	0.51	0.51	0.56	0.58	0.60	0.63	0.65	0.68	0.72
		Revanche	R	m	0.19	0.16	0.24	0.22	0.20	0.24	0.24	0.29	0.27	0.25	0.32	0.30	0.32	0.28
		Vitesse	Vu	m/s	0.31	0.37	0.41	0.44	0.46	0.48	0.50	0.52	0.54	0.55	0.56	0.58	0.59	0.60
	0.0015	Débit	Q	m ³ /s	0.04	0.07	0.11	0.14	0.18	0.22	0.25	0.29	0.32	0.36	0.40	0.43	0.47	0.50
		Hauteur d'eau	Yu	m	0.19	0.29	0.31	0.38	0.39	0.44	0.45	0.49	0.51	0.52	0.56	0.56	0.60	0.63
		Revanche	R	m	0.21	0.21	0.29	0.27	0.26	0.31	0.30	0.36	0.34	0.33	0.39	0.39	0.40	0.37
		Vitesse	Vu	m/s	0.36	0.43	0.47	0.51	0.54	0.56	0.59	0.61	0.62	0.64	0.66	0.67	0.68	0.70
	0.002	Débit	Q	m ³ /s	0.04	0.07	0.11	0.14	0.18	0.22	0.25	0.29	0.32	0.36	0.40	0.43	0.47	0.50
		Hauteur d'eau	Yu	m	0.17	0.27	0.29	0.35	0.36	0.40	0.41	0.44	0.46	0.47	0.50	0.51	0.54	0.57
		Revanche	R	m	0.23	0.23	0.31	0.30	0.29	0.35	0.34	0.41	0.39	0.38	0.45	0.44	0.46	0.43
		Vitesse	Vu	m/s	0.40	0.48	0.53	0.57	0.60	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.73	0.75	0.76	0.78
	0.0025	Débit	Q	m ³ /s	0.04	0.07	0.11	0.14	0.18	0.22	0.25	0.29	0.32	0.36	0.40	0.43	0.47	0.50
		Hauteur d'eau	Yu	m	0.15	0.25	0.26	0.32	0.33	0.37	0.38	0.41	0.43	0.44	0.47	0.48	0.50	0.53
		Revanche	R	m	0.25	0.25	0.34	0.33	0.32	0.38	0.37	0.44	0.42	0.41	0.48	0.47	0.50	0.47
		Vitesse	Vu	m/s	0.43	0.52	0.57	0.62	0.65	0.68	0.71	0.73	0.75	0.77	0.79	0.81	0.83	0.84
	0.003	Débit	Q	m ³ /s	0.04	0.07	0.11	0.14	0.18	0.22	0.25	0.29	0.32	0.36	0.40	0.43	0.47	0.50
		Hauteur d'eau	Yu	m	0.14	0.23	0.25	0.30	0.31	0.35	0.36	0.39	0.40	0.41	0.44	0.45	0.47	0.50
		Revanche	R	m	0.26	0.27	0.35	0.35	0.34	0.40	0.39	0.46	0.45	0.44	0.51	0.50	0.53	0.50
		Vitesse	Vu	m/s	0.45	0.55	0.61	0.66	0.70	0.73	0.76	0.78	0.81	0.83	0.85	0.87	0.89	0.90
	0.0035	Débit	Q	m ³ /s	0.04	0.07	0.11	0.14	0.18	0.22	0.25	0.29	0.32	0.36	0.40	0.43	0.47	0.50
		Hauteur d'eau	Yu	m	0.14	0.22	0.24	0.29	0.30	0.34	0.34	0.37	0.38	0.39	0.42	0.43	0.45	0.47
		Revanche	R	m	0.26	0.28	0.36	0.36	0.35	0.41	0.41	0.48	0.47	0.46	0.53	0.52	0.55	0.53
		Vitesse	Vu	m/s	0.48	0.59	0.64	0.70	0.74	0.77	0.80	0.83	0.85	0.88	0.90	0.92	0.94	0.96
	0.004	Débit	Q	m ³ /s	0.04	0.07	0.11	0.14	0.18	0.22	0.25	0.29	0.32	0.36	0.40	0.43	0.47	0.50
		Hauteur d'eau	Yu	m	0.13	0.21	0.23	0.27	0.28	0.32	0.32	0.35	0.36	0.38	0.40	0.41	0.43	0.45
		Revanche	R	m	0.27	0.29	0.37	0.38	0.37	0.43	0.43	0.50	0.49	0.47	0.55	0.54	0.57	0.55
		Vitesse	Vu	m/s	0.50	0.62	0.68	0.73	0.77	0.81	0.84	0.87	0.90	0.92	0.94	0.96	0.98	1.00
	0.0045	Débit	Q	m ³ /s	0.04	0.07	0.11	0.14	0.18	0.22	0.25	0.29	0.32	0.36	0.40	0.43	0.47	0.50
		Hauteur d'eau	Yu	m	0.13	0.20	0.22	0.26	0.27	0.31	0.31	0.34	0.35	0.36	0.39	0.39	0.41	0.43
		Revanche	R	m	0.27	0.30	0.38	0.39	0.38	0.44	0.44	0.51	0.50	0.49	0.56	0.56	0.59	0.57
		Vitesse	Vu	m/s	0.53	0.64	0.70	0.76	0.80	0.85	0.88	0.91	0.94	0.96	0.99	1.00	1.03	1.05
	0.005	Débit	Q	m ³ /s	0.04	0.07	0.11	0.14	0.18	0.22	0.25	0.29	0.32	0.36	0.40	0.43	0.47	0.50
		Hauteur d'eau	Yu	m	0.12	0.20	0.21	0.25	0.26	0.30	0.30	0.33	0.34	0.35	0.37	0.38	0.40	0.42
		Revanche	R	m	0.28	0.30	0.39	0.40	0.39	0.45	0.45	0.52	0.51	0.50	0.58	0.57	0.60	0.58
		Vitesse	Vu	m/s	0.54	0.67	0.73	0.79	0.84	0.88	0.91	0.94	0.97	1.00	1.02	1.04	1.07	1.09
	0.008	Débit	Q	m ³ /s	0.04	0.07	0.11	0.14	0.18	0.22	0.25	0.29	0.32	0.36	0.40	0.43	0.47	0.50
		Hauteur d'eau	Yu	m	0.11	0.17	0.18	0.22	0.23	0.25	0.26	0.28	0.29	0.30	0.32	0.32	0.34	0.36
		Revanche	R	m	0.29	0.33	0.42	0.43	0.42	0.50	0.49	0.57	0.56	0.55	0.63	0.63	0.66	0.64
		Vitesse	Vu	m/s	0.64	0.79	0.86	0.94	0.99	1.04	1.07	1.12	1.15	1.18	1.21	1.24	1.26	1.29

Tableau 36 - Caractéristiques des canaux en maçonnerie de moellons (2/2)

			540	576	612	648	684	720	1008	1080	1872	2448	2736	2844	2880	3456	
Paramètre	Unité																
Largeur au fond	b	m	1.05	1.05	1.10	1.10	1.15	1.15	1.35	1.40	2.25	2.90	3.25	3.30	3.40	4.00	
Fruit des talus	it	m/m	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	
Cavalier	L	m	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
Manning	n	-	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	
Hauteur du canal	Hc	m	1.05	1.05	1.05	1.10	1.10	1.15	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	
Ep. revêtement	e	m	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	
Pente m/m																	
0.0005	Débit	Q	m³/s	0.54	0.58	0.61	0.65	0.68	0.72	1.01	1.08	1.87	2.45	2.74	2.84	2.88	3.46
	Hauteur d'eau	Yu	m	0.91	0.95	0.95	0.99	0.99	1.02	1.13	1.15	1.15	1.13	1.12	1.13	1.11	1.11
	Revanche	R	m	0.14	0.10	0.10	0.11	0.11	0.13	0.12	0.10	0.10	0.12	0.13	0.12	0.14	0.14
	Vitesse	Vu	m/s	0.47	0.47	0.48	0.49	0.49	0.50	0.55	0.56	0.64	0.68	0.70	0.70	0.70	0.73
0.001	Débit	Q	m³/s	0.54	0.58	0.61	0.65	0.68	0.72	1.01	1.08	1.87	2.45	2.74	2.84	2.88	3.46
	Hauteur d'eau	Yu	m	0.72	0.75	0.76	0.79	0.79	0.81	0.90	0.92	0.91	0.90	0.89	0.90	0.89	0.89
	Revanche	R	m	0.33	0.30	0.29	0.31	0.31	0.34	0.35	0.33	0.34	0.35	0.36	0.35	0.36	0.36
0.0015	Débit	Q	m³/s	0.54	0.58	0.61	0.65	0.68	0.72	1.01	1.08	1.87	2.45	2.74	2.84	2.88	3.46
	Hauteur d'eau	Yu	m	0.63	0.66	0.66	0.69	0.69	0.71	0.79	0.80	0.80	0.79	0.78	0.79	0.78	0.78
	Revanche	R	m	0.42	0.39	0.39	0.41	0.41	0.44	0.46	0.45	0.45	0.46	0.47	0.46	0.47	0.47
0.002	Débit	Q	m³/s	0.54	0.58	0.61	0.65	0.68	0.72	1.01	1.08	1.87	2.45	2.74	2.84	2.88	3.46
	Hauteur d'eau	Yu	m	0.57	0.60	0.60	0.62	0.63	0.65	0.71	0.73	0.73	0.72	0.71	0.72	0.71	0.71
	Revanche	R	m	0.48	0.45	0.45	0.48	0.47	0.50	0.54	0.52	0.52	0.53	0.54	0.53	0.54	0.54
0.0025	Débit	Q	m³/s	0.54	0.58	0.61	0.65	0.68	0.72	1.01	1.08	1.87	2.45	2.74	2.84	2.88	3.46
	Hauteur d'eau	Yu	m	0.53	0.56	0.56	0.58	0.58	0.60	0.66	0.68	0.67	0.67	0.66	0.67	0.66	0.66
	Revanche	R	m	0.52	0.49	0.49	0.52	0.52	0.55	0.59	0.57	0.58	0.58	0.59	0.58	0.59	0.59
0.003	Débit	Q	m³/s	0.54	0.58	0.61	0.65	0.68	0.72	1.01	1.08	1.87	2.45	2.74	2.84	2.88	3.46
	Hauteur d'eau	Yu	m	0.50	0.52	0.52	0.55	0.55	0.57	0.62	0.64	0.64	0.63	0.62	0.63	0.62	0.62
	Revanche	R	m	0.55	0.53	0.53	0.55	0.55	0.58	0.63	0.61	0.61	0.62	0.63	0.62	0.63	0.63
0.0035	Débit	Q	m³/s	0.54	0.58	0.61	0.65	0.68	0.72	1.01	1.08	1.87	2.45	2.74	2.84	2.88	3.46
	Hauteur d'eau	Yu	m	0.48	0.50	0.50	0.52	0.52	0.54	0.59	0.60	0.60	0.60	0.59	0.60	0.59	0.59
	Revanche	R	m	0.57	0.55	0.55	0.58	0.58	0.61	0.66	0.65	0.65	0.65	0.66	0.65	0.66	0.66
0.004	Débit	Q	m³/s	0.54	0.58	0.61	0.65	0.68	0.72	1.01	1.08	1.87	2.45	2.74	2.84	2.88	3.46
	Hauteur d'eau	Yu	m	0.45	0.47	0.48	0.50	0.50	0.51	0.57	0.58	0.58	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57
	Revanche	R	m	0.60	0.58	0.57	0.60	0.60	0.64	0.68	0.67	0.67	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68
0.0045	Débit	Q	m³/s	0.54	0.58	0.61	0.65	0.68	0.72	1.01	1.08	1.87	2.45	2.74	2.84	2.88	3.46
	Hauteur d'eau	Yu	m	0.44	0.46	0.46	0.48	0.48	0.49	0.55	0.56	0.56	0.55	0.54	0.55	0.54	0.54
	Revanche	R	m	0.61	0.59	0.59	0.62	0.62	0.66	0.70	0.69	0.69	0.70	0.71	0.70	0.71	0.71
0.005	Débit	Q	m³/s	0.54	0.58	0.61	0.65	0.68	0.72	1.01	1.08	1.87	2.45	2.74	2.84	2.88	3.46
	Hauteur d'eau	Yu	m	0.42	0.44	0.44	0.46	0.46	0.48	0.53	0.54	0.54	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53
	Revanche	R	m	0.63	0.61	0.61	0.64	0.64	0.67	0.72	0.71	0.71	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72
0.008	Débit	Q	m³/s	0.54	0.58	0.61	0.65	0.68	0.72	1.01	1.08	1.87	2.45	2.74	2.84	2.88	3.46
	Hauteur d'eau	Yu	m	0.36	0.38	0.38	0.39	0.39	0.41	0.45	0.46	0.46	0.46	0.45	0.46	0.45	0.45
	Revanche	R	m	0.69	0.67	0.67	0.71	0.71	0.74	0.80	0.79	0.79	0.79	0.80	0.79	0.80	0.80
	Vitesse	Vu	m/s	1.31	1.34	1.35	1.37	1.39	1.41	1.53	1.55	1.72	1.78	1.80	1.82	1.81	1.85

La figure ci-dessous présente le profil type des canaux.

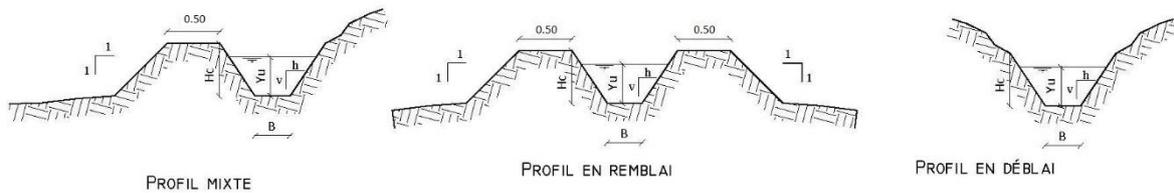


Figure 31 - Profil type des canaux d'irrigation

Les arroseurs ont une largeur de 0.3m en plafond et une profondeur de 0.35 m. Leur pente est adaptée au terrain, mais pour assurer un écoulement gravitaire une pente longitudinale située entre 0.5‰ et 2‰ devra être respectée autant que possible. Cette gamme de pente permet de garder une vitesse de l'eau inférieure à 0.75m/s pour un débit de 12l/s. Le profil type des arroseurs est présenté ci-dessous. La longueur maximale des arroseurs ne doit pas dépasser 300m dans la mesure du possible.

Tableau 37 - Vitesse en fonction de la pente dans les canaux arroseurs

Code	Dénomination	Unité	Valeurs						
			0.0005	0.001	0.002	0.005	0.01	0.02	0.05
ir	Pente longitudinale	m/m	0.0005	0.001	0.002	0.005	0.01	0.02	0.05
Q	Débit	l/s	12						
Yu	Hauteur uniforme	m	0.17	0.14	0.12	0.09	0.07	0.06	0.05
V	Vitesse	m/s	0.15	0.19	0.25	0.34	0.42	0.55	0.79

Les arroseurs sont implantés définitivement au moment de l'exécution des travaux le long des canaux d'irrigation ou à l'intérieur des quartiers hydrauliques de manière à dominer les parcelles et à respecter au mieux le parcellaire.

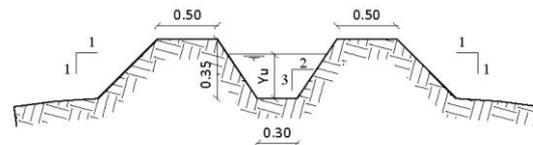


Figure 32 - Profil type des arroseurs

7.4 Réseau de drainage

Le réseau de drainage est constitué des drains et thalwegs naturels et ceux créés spécifiquement pour les besoins de l'aménagement.

Les drains collecteurs conduisent les eaux de drainage au réseau hydrographique existant en suivant un tracé le plus direct possible tout en respectant les contraintes topographiques. C'est pourquoi le réseau de drainage ne suit pas la même organisation que le réseau d'irrigation. En effet, un même drain collecteur peut récolter l'eau de plusieurs blocs.

Pour simplifier et standardiser les ouvrages sur le réseau de drainage, les drains ont une section trapézoïdale et un gabarit multiple de 36 l/ identique à celui pour le réseau d'irrigation.

Le dimensionnement suit aussi les mêmes principes que ceux appliqués pour les canaux d'irrigation : le débit est la somme des débits respectifs générés par les superficies qu'ils drainent.

Les règles suivantes sont adoptées pour le dimensionnement des drains collecteurs:

- Le réseau de drainage doit permettre la vidange des casiers rizicoles - liée aux opérations culturales - dans un délai acceptable pour le périmètre dans son ensemble ;
- Le dimensionnement du réseau de drainage doit tenir compte de la probabilité que la vidange des casiers rizicoles survienne à un moment où les pluies sont les plus abondantes augmentant ainsi le volume d'eau à évacuer ;
- Les pluies les plus dommageables ne sont pas les averses exceptionnelles qui surviennent en début de saison des pluies : elles surviennent en début de cycle cultural, lorsque les casiers ne sont pas encore remplis et l'aménagement consomme beaucoup d'eau d'irrigation. Lorsqu'une telle averse

survient, une partie de celle-ci sera consommée en remplacement de l'eau d'irrigation (remplissage des casiers). Le solde sera rejeté dans le réseau de drainage qui est encore peu sollicité. L'aménagement en lui-même a donc un pouvoir tampon par rapport à ce type d'averse.

- Les averses les plus critiques sont les averses de longue durée, en milieu de cycle cultural, lorsque les casiers sont déjà remplis, que le système consomme peu d'eau d'irrigation et que le réseau de drainage est déjà bien sollicité. Le pouvoir tampon de l'aménagement est alors nul. Si le réseau de drainage n'est pas dimensionné pour ces circonstances, on peut rapidement aboutir à une situation où le périmètre est complètement recouvert d'une lame d'eau difficile à évacuer. Le dimensionnement considère cette situation en supposant que l'ensemble de la précipitation décadaire tombe en une journée.

Le calcul du débit de dimensionnement suppose que :

- La lame d'eau à évacuer lors de la vidange des casiers est de l'ordre de 100 mm ;
- La lame d'eau excédentaire (précipitation – besoin en eau de la culture) de la décade la plus critique est de 50 mm.

⇒ Le débit de dimensionnement retenu est de 2 l/s/ha. Cette capacité permet d'assurer :

- Le drainage de l'eau de lame d'eau excédentaire (lame de 50 mm) : 3 jours
- La vidange des casiers rizicoles en conditions normale (lame d'eau de 100 mm) : 6 jours

Par ailleurs, les drains collecteurs sont des ouvrages en terre qu'il faut protéger des vitesses d'écoulement érosives. La vitesse d'écoulement de l'eau dans les drains ne devra pas dépasser les valeurs renseignées pour les canaux au paragraphe 7.3. Les drains présentent les mêmes gabarits que les canaux d'irrigation et sont réalisés en déblais. Lorsque la pente du terrain naturel excède la gamme de pentes présentées aux Tableau 33 et Tableau 34, les drains collecteurs devront être équipés d'ouvrages de chute.

7.5 Pistes d'accès et de circulation

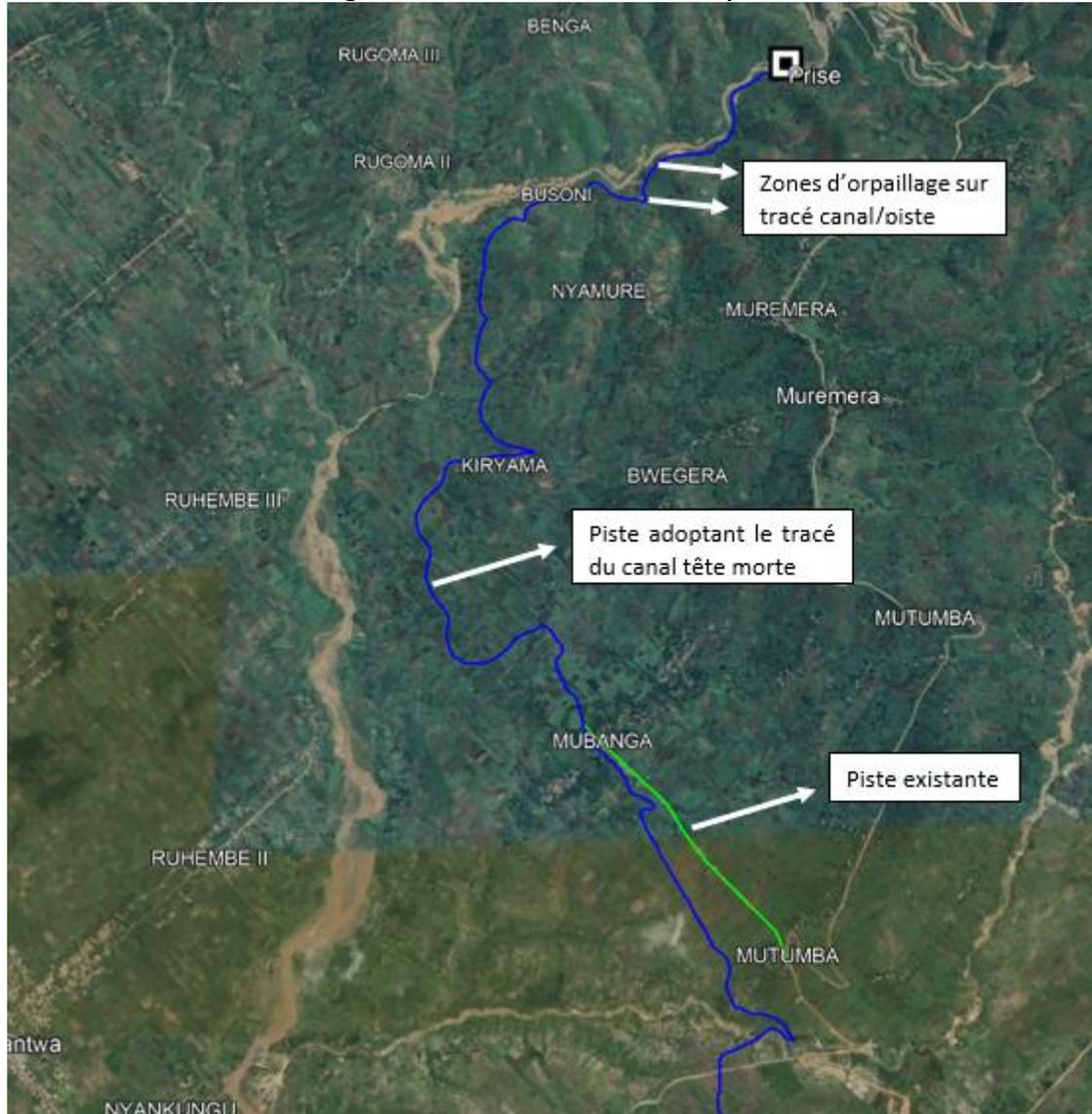
7.5.1 Piste d'accès à la prise

Le diagnostic a montré que l'accès au site de prise par l'amont à partir de la centrale de Kaburantwa ou à partir du réseau de pistes existant était impossible étant donné la topographie de la zone.

La solution retenue consiste à construire une piste longeant le tracé du canal tête morte en rive gauche jusqu'au site de prise.

L'accès à cette piste se fait depuis la piste existante menant au site de chantier de la centrale KABU-16, juste après le franchissement de la Kansega. Il existe à ce niveau une piste praticable (en vert sur la figure ci-dessous) qui permet de rejoindre Mubanga (sur la transversale 2 de la trame 4). A partir de là, la piste rejoint le tracé du canal tête morte en rive gauche. Cette piste existante sera cependant réhabilitée sur toute sa longueur avec un reprofilage et une couche de latérite.

La nouvelle piste est donc réalisée le long du canal tête morte à partir de Mubanga (PM 5+900 du canal tête morte) jusqu'au parking aménagé à côté du dessableur. Le site de prise sera atteint à pied (ou en véhicule mais seulement ceux autorisés pour les entretiens) en suivant le canal d'amenée sur 250 m.

Figure 33 - Piste d'accès au site de la prise

7.5.2 Réhabilitation des pistes transversales

L'accès aux différentes parties des aménagements est réalisé via le réseau de pistes transversales existantes. Il est donc nécessaire que ces pistes soient en bon état, du point de vue de la bande de roulement, du drainage et des ouvrages de franchissement.

Du fait du caractère rural des pistes et du faible trafic prévu :

- Il n'a pas été tenu compte de certains standards usuels tels que des rayons de courbure minimum verticaux et horizontaux. En effet, ce genre de considération nécessite de nombreux déblais-remblais qui sanctionnent très sensiblement le coût des pistes.
- La largeur de la bande de roulement a été limitée à 5 m avec une couche de roulement de 0.2 m.

Les travaux sur les pistes comprennent :

- La mise en forme de la plateforme sur 7 m de largeur : scarification, nettoyage, compactage et terrassement des fossés longitudinaux de 0.50 m de profondeur minimale en profil triangulaire ;
- Les remblais éventuels au profil défini ;

- Le compactage de la couche de roulement en remblai latéritique de 0.20 m d'épaisseur avec pente latérale de 5%.

Le profil type des pistes transversales est présenté dans le cahier des plans.

Une attention particulière a été portée sur le drainage qui est le principal point faible des pistes à réhabiliter. Le drainage de la piste se retrouve à 3 niveaux :

1. Le profil en toit de la piste permet d'évacuer rapidement les eaux de pluie vers les fossés latéraux. Les pentes transversales ont été fixées à 5% étant donné les pentes longitudinales des pistes.
2. Les fossés latéraux de forme triangulaire auront une profondeur de 0.5m. Ils sont conçus pour faciliter le travail à la niveleuse tout en assurant un drainage adéquat. Les pentes (v/h) sont fixées à 1/2 côté piste et à 2/1 côté talus. Pour des pentes longitudinales supérieures à 1%, les fossés sont convertis en caniveau rectangulaire (0.4 x 0.4 m) revêtu par un perré maçonné de 20 cm d'épaisseur.

Les fossés latéraux divergents d'une longueur de 10 m sont aménagés à intervalles réguliers (200 m) pour évacuer les eaux de drainage des pistes vers l'extérieur. Ces fossés latéraux sont surtout nécessaires dans les zones à forte pente sur les pistes transversales où le tracé de la piste est dans le sens de la pente. Le volume de déblai pour les fossés latéraux est fixé à 30 m³/km.

3. Les dalots pour le franchissement des canaux seront réalisés maçonnerie de moellons avec une hauteur/largeur standard de minimum de 0.6 m pour faciliter leur curage. Les murs de tête et murs en aile seront réalisés en maçonnerie de moellons.

Le passage sur les drains et les fossés seront réalisés via des buses en béton de 400 mm avec tête amont et aval en maçonnerie de moellons.

Lorsque la configuration du terrain ne se prête pas à un positionnement suffisamment profond de la buse, pour éviter ouvrages supplémentaires et des sur-profondeurs des fossés, des petits dos-d'âne seront aménagés au droit des dalots.

Les dalots et buses sont positionnés aux points bas et aux emplacements où il est nécessaire de collecter l'eau d'un fossé pour l'évacuer de l'autre côté de la piste, c'est-à-dire en fonction des caractéristiques topographiques ainsi que de la distance séparant deux changements de pente d'un même drain.

7.6 Ouvrages types

Les ouvrages du réseau d'irrigation et de drainage comprennent les ouvrages nécessaires au fonctionnement hydraulique des canaux ainsi que ceux nécessaires au franchissement des obstacles. Ces ouvrages sont pour la plupart des ouvrages types. Ils comprennent les prises de distribution et d'alimentation en eau, les chutes et coursiers, les partiteurs, les dalots, les aqueducs et les ouvrages de décharge.

Les ouvrages types liés à la circulation autour et dans l'aménagement (passerelles, dalots, ponts) sont présentés dans la deuxième section de ce chapitre qui traite de l'accès et de la circulation.

Des ouvrages particuliers sont prévus si leurs dimensions sortent des normes prévues pour les ouvrages types. Il s'agit notamment des ouvrages de mobilisation de la ressource en eau (prise, aqueducs, siphons). Ces ouvrages, leurs plans et les métrés correspondants sont présentés en détail dans le chapitre suivant relatif aux propositions d'aménagement.

Le tableau ci-après présente brièvement les différents ouvrages types et leur fonction. Les plans types de ces ouvrages sont présentés dans le cahier des plans. Les tableaux des cotes variables et les métrés détaillés de ces ouvrages seront présentés en APD.

Note: Il est possible que certains ouvrages ne soient pas prévus dans le cadre du présent aménagement, ils sont néanmoins présentés pour mémoire et référence future.

Tableau 38 - Ouvrages types – Codes et description

Ouvrage	Code	Fonction	N° de plan
Prise de distribution	PRDST	Dérive l'eau du canal de niveau supérieur vers le canal de niveau inférieur	PT 02
Prise d'alimentation	PRAL	Assure la distribution de l'eau à la parcelle à partir du canal d'irrigation (tertiaire ou quaternaire) via un arroseur	PT 03
Chute	CH	Permet de rattraper les différences de niveau entre le canal et le terrain naturel en fonction de la topographie	PT 05
Coursier	CS	Ouvrage placé en remplacement d'une succession de chutes pour rattraper une importante différence de niveau liée à une modification majeure de la topographie sur l'axe du canal	PT 06
Aqueduc	AQ	Permet à un canal de franchir un autre canal ou un drain	PT 08
Partiteur	PA	Permet de diviser le débit d'un canal vers deux canaux	PT 10
Décharge	DE	Permet la décharge d'un drain dans le réseau hydrographique ou un axe d'écoulement existant	PT 11
Dalot canal sous piste	DC	Dalot permettant à un canal de franchir une piste	PT 12
Dalot simple pour piste	DP	Dalot permettant l'évacuation des eaux de ruissellement d'une piste vers un fossé	PT 13
Passerelle piétonne	PP	Passerelle en béton armé pour franchissement de canaux et de drains collecteurs	PT 16
Gabarits de canaux	-	Gabarit des canaux	PT 101

7.6.1 Ouvrages du réseau d'irrigation et de drainage

7.6.1.1 Prises de distribution (PRDST)

Ces ouvrages présentés au *Plan type #02*, sont construits en maçonnerie de moellons, placés sur un canal de niveau supérieur et destinés à alimenter un canal dérivé (de niveau inférieur).

Ils comprennent:

- Une prise équipée d'une vannette en acier avec système de relevage à tige filetée et voile en tôle de 5 mm contrôlant l'admission vers le canal secondaire/tertiaire;
- Un batardeau permettant la régulation du plan d'eau sur le canal primaire; le dispositif ne doit pas bloquer intégralement le débit sur le canal de niveau supérieur, la hauteur du batardeau est donc limitée à la hauteur Yu du canal sur lequel il est placé (cf. caractéristiques des canaux) de manière à permettre un déversement;
- Une dalle en béton armé pour le franchissement du canal principal;
- De manière optionnelle, en fonction de la topographie, l'aval de l'ouvrage sur le canal de niveau supérieur et la sortie vers le canal dérivé peuvent être équipés d'une chute (voir ci-dessous) directement incorporée dans le corps de l'ouvrage.

7.6.1.2 Prise d'alimentation en eau (PRAL)

Ces ouvrages, présentés dans le *Plan type #03*, sont constitués d'un tuyau en PVC type 110 PN6 placé horizontalement dans la berge, calé à 5 cm du fond du canal et ancré dans une tête amont et aval en maçonnerie de moellons.

Le débit qui transite au travers d'une prise est calculé à partir des formules ci-dessous :

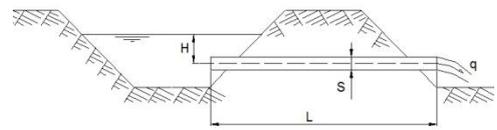
$$q=1000\mu S\sqrt{2gH}$$

$$\mu=\frac{1}{\sqrt{1,62+L\frac{\lambda}{D}}}$$

Avec :

- q : débit en l/s
 μ : coefficient de débit
 S : section d'écoulement en m²
 H : charge sur la prise en m
 L : longueur du tuyau en m
 λ/D : coefficient lié à la rugosité

Figure 34 - Prise pour arroseur



Un système de batardeau est disposé dans l'axe du canal d'alimentation afin de permettre d'augmenter la charge hydraulique et le débit dérivé vers l'arroseur. L'admission de l'eau d'irrigation vers l'arroseur est contrôlée par une petite vannette métallique.

Les têtes amont et aval sont maintenues en place par un petit bloc de maçonnerie de moellons. Le tuyau dépasse de la maçonnerie de 5 cm à chaque extrémité. Le tuyau est fixé sur toute sa longueur dans un manchon de béton non armé de 0.30 x 0.30 m afin d'éviter tout acte de vandalisme.

Les ouvrages de prise pour arroseur peuvent être équipés ou non d'ouvrages de chute si la dénivellée du terrain le nécessite. Dans ce cas, le nombre de chute total à installer sur le canal peut être réparti en ouvrages de chutes simples qui peuvent être placés en fonction de la pente et en ouvrages de chutes joints aux ouvrages de prises. Le fait de joindre l'ouvrage de chute à l'ouvrage de prise permet de réduire le coût total des ouvrages mais implique que la position des chutes soit dictée par la position des arroseurs. Pour cette raison, il n'est pas recommandé de placer toutes les chutes sur les ouvrages de prise mais de laisser certaines chutes indépendantes à placer en fonction de la topographie.

7.6.1.3 Chutes sur canaux (CH)

Cet ouvrage est présenté au *Plan type #05*. La hauteur des chutes varie de 0.25 m à 1.00 m par pas de 0.25 m. Au-dessus de 1 m, ou si une succession de chutes rapprochée s'avère nécessaire, un coursier peut être plus intéressant à réaliser (voir ci-après). Les chutes peuvent servir de régulateur du plan d'eau et sont de ce fait batardeables. Toutes les chutes sont équipées d'un seuil fixe de 0.10 m de hauteur pour améliorer le fonctionnement hydraulique de l'ouvrage.

Les chutes sont des ouvrages en maçonnerie de moellons qui comprennent un seuil, deux parafouilles, un bassin de dissipation et une protection aval du canal par un revêtement de perré sec.

Les dimensions du bassin de dissipation sont calculées de manière à dissiper l'énergie générée par la chute et obtenir un écoulement uniforme à l'aval de l'ouvrage. Le dimensionnement de ces bassins est effectué sur base de d'une formule empiriques (SOGETMA, 1974) :

$$V = Qz/C$$

Avec :

V : le volume en m³

Z : la hauteur de la chute

Q : le débit en l/s

C : un coefficient qui prend la valeur de 150 lorsqu'il s'agit d'un bassin de dissipation et 50 pour un bassin tranquillisation.

7.6.1.4 Coursiers sur canaux (CS)

Ces ouvrages sont présentés au *Plan type #06*. Comme expliqué ci-dessus, il peut être plus économique de placer un coursier lorsque la dénivellée à rattraper dépasse 1.00 m et nécessite la réalisation d'une succession de chutes rapprochées.

Les coursiers sont dimensionnés sur le même principe que les chutes. Le fond du canal du coursier est réalisé en dent de scie de manière à limiter la vitesse d'écoulement à l'extrémité de l'ouvrage, dans le bassin de dissipation.

7.6.1.5 Aqueduc (AQ)

Ces ouvrages présentés dans le *Plan type #08* permettent de faire passer un canal au-dessus d'un autre canal, drain ou émissaire via un aqueduc dont la largeur est fonction du débit du canal "du dessous".

Ils comprennent une tête amont et une tête aval en maçonnerie de moellons avec parafeuilles. Un canal rectangulaire (canal "du dessus"), en béton armé posé sur des culées en maçonnerie de moellons, permet de passer sur le canal "du dessous".

De manière optionnelle une chute est placée à l'aval du canal "du dessus". Le dimensionnement de cette chute suit les principes présentés plus haut.

Ces ouvrages sont prévus pour des canaux dont le gabarit ne dépasse pas 252 l/s. Au-delà, des ouvrages particuliers sont spécifiquement dimensionnés. Ces ouvrages sont présentés dans le cahier des plans au PT-08.1.

7.6.1.6 Partiteur (PA)

Ces ouvrages présentés dans le *Plan type #06* permettent de diviser continuellement et de manière proportionnelle le débit d'un canal vers deux canaux dérivés. Ils sont construits en maçonnerie de moellons et constitués d'un parafeuille amont et aval et de deux têtes aval vers les canaux dérivés. Un seuil fixe dans lequel est ancrée une tôle en acier assure le partage des débits. La cote et les dimensions du seuil sont calées de manière à créer un écoulement critique.

L'ouvrage comporte souvent une chute sur une des branches. Le dimensionnement de cette chute suit les principes présentés plus haut.

7.6.1.7 Décharge (DE)

Afin de protéger les berges des rivières et axes d'écoulement dans lesquelles se déversent les drains, un aménagement de protection en vétiver est prévu à ces endroits particuliers. L'aménagement de protection consiste en la plantation de vétiver sur la surface à protéger (densité 0.15m par 0.25m). Si un phénomène d'érosion est déjà observable, le vétiver peut être renforcé par des plants de bambou.

Si la pente longitudinale de l'émissaire est supérieure à 1%, une fascine doit être mise en place dans le lit mineur à intervalle de 25 m.

Lorsque la dénivelée est trop importante, cette solution basée sur la nature (NBS) peut être remplacée par un ouvrage en maçonnerie de moellons suivant le même principe que les coursiers. Il permet aux drains de se vidanger dans un canal ou un émissaire, sans occasionner une érosion dommageable des berges. Il est constitué d'une tête amont, d'une descente épousant la pente de la berge et d'une tête aval.

Suivant les conditions d'exécution, notamment la possibilité d'atteindre le fond du drain de vidange (cas des rivières), il sera éventuellement nécessaire de placer des gabions pour protéger et asseoir l'ouvrage. Dans ce cas, un soin particulier sera donné à l'exécution des gabions et à leur fondation.

Cet ouvrage est présenté au plan *type #11*.

7.6.2 Ouvrages du réseau de circulation

7.6.2.1 Dalots pour passage des pistes sur les canaux (DC)

Ces ouvrages sont présentés au *Plan type #12*. Ils comprennent une tête amont et une tête aval, une dalle en béton armé et des murs en maçonnerie de moellons avec parafeuilles. La dalle supérieure est composée de dalles préfabriquées en béton armé reliées entre elles par des armatures et recouvertes d'une couche de béton de 0.06 m.

Lorsque cela est nécessaire, deux aqueducs de colature (CO) sont placés de part et d'autre du dalot pour permettre aux eaux de ruissellement canalisées par les fossés des pistes de passer au-dessus des canaux.

7.6.2.2 Dalots simples sur piste (DP)

Ces ouvrages sont présentés au *Plan type #13*. Ils sont construits à intervalles réguliers sur les pistes d'accès pour évacuer les eaux de ruissellement des fossés vers un drain ou pour passer un petit cours d'eau latéral temporaire. Ces ouvrages sont conçus et construits de manière similaire aux dalots permettant aux pistes de franchir les canaux. Ils comprennent une tête amont et une tête aval, une dalle et des murs en maçonnerie de moellons avec parafouilles. La dalle supérieure est réalisée en béton armé. La largeur du dalot est fixée à 1.0 ou à 1.8 m.

7.6.2.3 Passerelles piétonnes (PP)

Les passerelles piétonnes sont présentées au *Plan type #16*. Le franchissement des canaux et des drains collecteurs par les piétons est assuré par la mise en place d'une dalle de béton armé de 0.90 m de large ancrée dans des murs de maçonnerie de moellons.

Une passerelle est placée systématiquement lorsque des pistes piétonnes croisent les canaux et les drains collecteurs principaux. Des passerelles sont en outre placées en moyenne tous les 500 m sur les canaux et les drains collecteurs principaux. Leur implantation exacte sera déterminée avec les associations d'usagers.

7.7 Entretien des infrastructures

Dans le souci de pérenniser les acquis des projets d'aménagements hydro-agricoles, le programme PRDAIGL a commandité une « Etude Juridique et Institutionnelle de Création, Structuration et Fonctionnement des Associations d'Usagers d'Eau (AUE) pour la gestion durable des périmètres aménagés et irrigués au Burundi ».

Cette étude a pour objectif global de contribuer à améliorer, sur des bases durables la gestion des périmètres aménagés et irrigués au Burundi, à travers la création, la structuration et le bon fonctionnement des Associations d'Usagers de l'AUE, ainsi que l'implication d'autres acteurs publics et privés du secteur.

La finalité de cette étude est la production d'un dossier assorti de textes de création officielle des AUE et du plan de renforcement des capacités validé lors d'un atelier national.

Les résultats de l'étude épinglent les différentes problématiques qui minent la mise en œuvre et la pérennisation des acquis des projets d'aménagements hydro-agricoles. L'étude formule également des recommandations pertinentes par rapport aux problématiques identifiées.

Les recommandations formulées dans le cadre de la présente étude et présentées dans le cadre du diagnostic ont tenu compte du travail en cours. Il est notamment hautement recommandé l'intégration de l'ingénierie sociale dans la mise en œuvre du projet. C'est un prérequis nécessaire avant le démarrage des travaux afin d'assurer une parfaite appropriation des futurs aménagements par les exploitants.

Les différents types d'entretiens, les rôles et responsabilités et l'organisation de l'entretien sont présentés dans les chapitres ci-dessous. Cependant, pour plus de détails concernant l'entretien des ouvrages, les interventions spécifiques etc. nous renvoyons au *Manuel d'entretien des aménagements hydroagricoles au Burundi*, produit dans le cadre du projet PAIOSA (Programme d'Appui Institutionnel et Opérationnel au Secteur Agricole) par SHER en 2017. Ce manuel existe en deux versions, une à destination des techniciens des DPAE et une plus simplifiée à destination des AUE.

Une fois l'aménagement opérationnel, l'entretien des structures est un élément majeur pour garantir le bon fonctionnement et la durée de vie de l'aménagement. Si l'entretien n'est pas réalisé correctement :

- la quantité d'eau disponible pour l'irrigation diminue ;
- l'eau d'irrigation ne circule plus comme initialement ;

- il y a des risques d'arrêt de l'irrigation si un ouvrage est détruit ;
- le temps d'irrigation augmente et les paysans commencent à se plaindre par rapport aux quantités d'eau reçues ;
- les ouvrages durent moins longtemps et il faut les réhabiliter plus souvent ;
- les rendements des cultures baissent, car elles manquent d'eau ;
- les dépenses pour remettre en état le réseau sont plus importantes ;
- des conflits apparaissent entre exploitants ;
- les redevances eau d'irrigation ne sont pas payées ;
- l'AUE perd de son autorité ;
- les problèmes ne font que s'aggraver.

Par contre, si l'entretien est réalisé correctement :

- les ouvrages restent en bon état, il y a moins de risque d'arrêt de l'irrigation ;
- chaque exploitant reçoit la quantité d'eau prévue, pour la durée prévue et au moment prévu ;
- les redevances sont collectées plus facilement ;
- les rendements des cultures sont meilleurs ;
- les dépenses pour l'entretien sont réduites et réparties chaque année ;
- un bon climat social s'installe entre les exploitants.

7.7.1 Différents types d'entretien

Les opérations d'entretien correspondent aux inspections et à la réparation régulière des infrastructures de manière à ce qu'elles restent en bon état de fonctionnement pour de nombreuses années. Il s'agit par exemple du curage et du faucardage des canaux et des drains, de la recharge des diguettes des canaux, de l'entretien des talus à l'amont et à l'aval des ouvrages de prise ou des chutes, de l'entretien des pistes piétonnières internes, etc.

Il ne faut pas confondre l'entretien courant/périodique et l'amélioration ou la réhabilitation des infrastructures (entretien structurant et détériorations liées aux catastrophes naturelles). Ces dernières correspondent à des travaux importants qui nécessitent des budgets importants, elles sont réalisées après de nombreuses années et résultent d'un changement des conditions d'exploitation et/ou par l'usure normale des équipements.

Les objectifs d'un bon entretien sont d'assurer que le réseau d'irrigation et de drainage ainsi que les voies d'accès aux différentes parties de l'aménagement sont maintenus en bon état de manière à permettre un bon approvisionnement en eau, un bon drainage et un bon accès dans toutes les parties de l'aménagement.

Un bon entretien doit donc

- prévenir la détérioration des canaux, des drains et des ouvrages qui, s'ils ne sont pas bien entretenus, nécessiteront des travaux de réparation ou de remise en état de plus en plus coûteux ;
- réparer les dégâts qui apparaissent au cours de la saison d'irrigation.

Il est important de comprendre que la plupart des tâches liées à l'entretien courant sont des actions préventives, c.-à-d. des tâches qui permettent de résoudre des petits problèmes avant qu'ils ne deviennent trop importants et très coûteux.

Les interventions d'entretien sont classées en trois types d'action :

- l'entretien courant,
- l'entretien saisonnier / périodique,
- et l'entretien d'urgence.

- **L'entretien courant** est réalisé régulièrement au cours de la saison d'irrigation par les exploitants eux-mêmes sous la supervision du comité de l'AUE, à travers ses aiguadiers, généralement sous forme de travaux collectifs.

Il concerne des petits travaux sur les canaux (par exemple boucher des trous dans les canaux, curage des bassins de dissipation, graissage des vannes). Il s'agit donc d'activités simples ne nécessitant pas de moyens onéreux, mais d'importance capitale pour le bon fonctionnement et la durabilité d'un système d'irrigation et de drainage.

- **L'entretien saisonnier / périodique** concerne les travaux d'entretien plus importants qui doivent être programmés une ou deux fois par an généralement entre deux saisons d'irrigation quand le réseau d'irrigation n'est pas utilisé. Il s'agit par exemple du curage / recalibrage des canaux, faucardage, réparation et peinture des vannes, etc., ainsi que le planage d'entretien.

En plus de la participation des exploitants, il nécessite un budget pour acheter les matériaux de construction et le paiement éventuel de main-d'œuvre spécialisée (par exemple des maçons).

- **L'entretien d'urgence** concerne des travaux qui doivent être réalisés très rapidement suite à un événement exceptionnel afin d'assurer la continuation des activités d'irrigation / éviter des détériorations importantes.

Il s'agit par exemple d'un éboulement de terrain qui bouche un canal, ou de l'érosion du lit et des berges de la rivière à la sortie du bassin de dissipation d'une prise de dérivation, etc. Ces activités peuvent éventuellement nécessiter ponctuellement de la main-d'œuvre spécialisée ou l'intervention d'un appui technique externe.

7.7.2 Rôles et responsabilités

Les Associations des Usagers de l'Eau (AUE) ont un rôle central dans l'organisation de l'entretien. Elles prennent connaissance des problèmes éventuels grâce à leurs aiguadiers qui assurent la distribution de l'eau ou directement via les exploitants.

Les comités des AUE doivent être appuyés par le Technicien du Génie Rural de la DPAE pour les questions techniques et organisationnelles.

Les exploitants contribuent aux entretiens monétairement via la redevance eau d'irrigation et en nature via leur participation aux travaux communautaires.

Les AUE doivent :

- collecter les redevances eau d'irrigation pour financer les travaux, les activités d'exploitation et entretien du réseau et pour constituer un fonds de réserve pour l'entretien ;
- et mobiliser les exploitants du périmètre aménagé pour les travaux manuels d'entretien.
- Les AUE ont aussi la possibilité de :
- recruter un technicien pour les appuyer dans la gestion du réseau, ou recruter un opérateur privé pour la gestion de l'eau et les travaux d'entretien (graissage des vannes, peinture des parties métalliques, etc.) ;
- passer des marchés avec des entreprises pour les gros travaux.

Les statuts de l'AUE lui donnent donc la responsabilité d'organiser l'ensemble des opérations d'entretien du réseau.

Les travaux d'urgence doivent en général, être engagés très rapidement pour éviter des dégâts plus importants. Si l'intervention d'urgence ne demande pas de budget élevé, il n'est pas justifié de convoquer une assemblée générale des exploitants pour obtenir l'approbation des travaux. Il est donc important de définir un montant maximum des travaux d'urgence pour lequel le comité de l'AUE ne doit pas demander l'approbation de l'Assemblée générale.

Le tableau suivant présente les différents intervenants et leur rôle dans les opérations d'entretien.

Tableau 39 - Intervenants et rôles dans les opérations d'entretien

	Intervenant	Rôles dans les opérations d'entretien
Association des Usagers de l'Eau	Comité de l'AUE	Organise l'inspection régulière et les entretiens courants. Organise l'inspection saisonnière, prépare les plans et budgets d'entretien. Obtient l'approbation de l'AG sur les travaux et le budget. Assure la collecte et la bonne gestion des redevances. Organise et contrôle la réalisation des travaux d'entretien.
	Aiguadiers	Constatent les problèmes rencontrés par les exploitants sur les réseaux d'irrigation et informent le comité de l'AUE pour que ce dernier organise la mise en œuvre des mesures correctives. Sous la direction du comité de l'AUE, organisent et contrôlent les travaux. Participent à l'inspection régulière et saisonnière.
	Exploitants	Informent l'aiguadier dont ils dépendent des problèmes rencontrés. Participent aux travaux d'entretien qui nécessitent de la main-d'œuvre non qualifiée. Paient les redevances eau d'irrigation
Tâcherons		Maçons, gabionneurs, etc.
MINAGRIE - DPAE	Technicien Génie Rural (DPAE)	Au nom de l'État, exerce son rôle régalien pour contrôler régulièrement le bon entretien et le bon fonctionnement des ouvrages d'irrigation et de drainage. Constata et évalue les dégâts éventuels sur les ouvrages après des événements exceptionnels. Participe à l'inspection saisonnière et appuie l'AUE pour la préparation des budgets et des modalités techniques pour exécuter les travaux prévus. Appuie l'AUE pour l'organisation et le contrôle des travaux d'entretien périodiques et d'urgence.

7.7.3 Organisation de l'entretien

Les trois étapes à suivre pour entretenir correctement le réseau sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau 40 - Etapes à suivre lors de l'entretien

Inspections	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Identification des travaux d'entretiens courants et périodiques ▪ Constats de dégâts suite à des événements exceptionnels
Planification	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Description des travaux à réaliser – Définition des priorités ▪ Estimation des quantités de matériaux et de main d'œuvre ▪ Calcul du budget ▪ Présentation et approbation en AG
Exécution	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Organisation des travaux d'entretiens courants, périodiques et d'urgence ▪ Contrôle de la qualité des matériaux et des travaux

7.7.3.1 Inspections

On distingue les inspections régulières, les inspections périodiques ou saisonnières et les inspections d'urgence. Les inspections doivent être menées de manière systématique. Il est conseillé d'utiliser un registre d'entretien pour noter systématiquement les problèmes rencontrés et les travaux réalisés au cours de la saison.

Les **inspections régulières** sont réalisées une fois par semaine pendant la période d'irrigation. L'aiguadier doit parcourir les différents canaux dont il a la responsabilité, de l'amont vers l'aval. Il notera la position des problèmes rencontrés : dégradations des diguettes, fuites, érosion autour des ouvrages hydrauliques, fonctionnement des vannes et vannettes, difficultés d'écoulement dans les canaux et tout autre problème qui doit être corrigé rapidement pour éviter des dégradations plus importantes.

L'aiguadier doit demander de l'aide d'un autre membre du comité de l'AUE ou du TGR s'il n'est pas sûr ou estime que certains problèmes dépassent sa compétence.

Les observations notées dans le registre d'entretien ou dans la fiche d'inspection serviront de base pour la planification des travaux. Il est donc important que les notes et les schémas soient clairs et précis.

Les **inspections périodiques ou saisonnières** sont réalisées par le comité de l'AUE, appuyé par les aiguadiers et le Technicien du Génie Rural. L'aménagement sera inspecté de l'amont vers l'aval en suivant les différentes parties du réseau.

Les inspections sont réalisées en fin de période d'irrigation, au moment où les activités agricoles sont réduites, mais quand le réseau est toujours en fonctionnement ce qui permet de détecter les problèmes.

Il faut être attentif de noter les problèmes et dégâts qui doivent être traités en priorité pour éviter qu'ils ne deviennent trop importants la saison suivante. Chaque problème doit être noté dans le registre d'entretien avec un petit schéma si nécessaire ou bien dans une fiche d'inspection.

Ces inspections doivent être réalisées suffisamment à l'avance pour avoir le temps de planifier et exécuter les travaux avant la prochaine saison culturale.

Les **inspections d'urgence** sont réalisées après un événement exceptionnel comme une grosse crue ou une très forte pluie. Il est important de juger si les dégâts doivent être réparés de façon permanente immédiatement ou si cela peut attendre en appliquant des mesures temporaires pour éviter des dégâts plus importants.

On peut par exemple utiliser immédiatement des sacs de sable et des fascines pour protéger les talus d'un ouvrage soumis à une forte érosion et prévoir de reconstruire le remblai et placer des gabions lors des travaux d'entretien ultérieurs.

7.7.3.2 Planification

La planification concerne les étapes suivantes :

- l'estimation des quantités des travaux ;
 - le calcul du budget ;
 - la vérification de la disponibilité des ressources nécessaires ;
 - la programmation réaliste des entretiens ;
 - la présentation et l'approbation de l'AG.

Le montant de la redevance n'est pas négociable à la baisse. Il peut cependant être révisé à la hausse pour augmenter la réserve pour les travaux d'urgence. Pour cela le comité de l'AUE doit prouver à l'Assemblée Générale que les dépenses pour ces entretiens sont plus importantes

e. Estimation des quantités de travaux

Le diagnostic réalisé pendant les inspections du réseau a permis de :

- recenser toutes les dégradations du réseau avec leurs caractéristiques ;
 - définir les priorités pour chacun de ces problèmes.

Sur cette base le comité de l'AUE appuyé par le TGR calculera les quantités de matériaux et de main-d'œuvre nécessaires pour chaque intervention. Le tableau suivant donne les besoins et les quantités généralement appliquées pour les travaux d'entretien courant.

Tableau 41 - Besoins et quantités pour travaux d'entretien courant

Travaux	Matériaux & Équipement	Main-d'œuvre	Quantité
Curage manuel	Pelles, pioches, brouettes, etc.	Pour 1 exploitant	1.5 m ³ /jour
Remblai compacté manuel	Pelles, pioches, brouettes, dames, arrosoir, etc.	Pour 1 exploitant	0.75 m ³ /jour
Faucardage	Machette	Pour 1 exploitant	50 m ² /jour
Maçonnerie de moellons/ briques	Ciment, sable, moellons / briques, pelle, pioche et truelle, sceau, tamis, niveau de maçon, sacs en jute pour éviter le séchage trop rapide des travaux de réparations	Pour 1 maçon + 2 ouvriers	2 m ³ /jour
Bétonnage	Ciment, sable, gravier, pelle, pioche et truelle, sceau, tamis, sacs en jute pour éviter le séchage trop rapide des travaux de réparations	Pour 1 maçon + 2 ouvriers	1.5 m ³ /jour
Gabionnage	Moellons, cages, pince et tenaille	Pour 1 ouvrier expérimenté et 3 ouvriers	6 m ³ /jour
Fascinage	Pieux, branchages/ roseaux, machettes, masse, pelle	Pour 3 exploitants	6 m ² /jour

▪ **Le budget de travaux**

Il découle logiquement des quantités calculées et du coût unitaire des travaux et matériaux :

$$\text{Coût} = \text{quantités} \times \text{prix unitaires}$$

Les prix unitaires à connaître sont :

- le prix de la journée de travail pour les tâcherons et les ouvriers ;
- le prix des matériaux : ciment, sable, moellons, gabions, peinture antirouille, graisse, etc.

Le calcul d'un budget peut paraître difficile au début et nécessiter un appui du TGR. Afin de réduire le montant des redevances, il est bien sûr important d'utiliser en priorité la force de travail des exploitants pour tout ce qui concerne les travaux de curage, faucardage, etc.

Le budget total des travaux comprend :

- la somme de tous les travaux prévus ;
- une réserve pour les travaux imprévus.

Quand le budget est bouclé, le programme des entretiens doit être soigneusement préparé. Pour cela le comité de l'AUE devra préparer, avant l'AG, avec l'appui du TGR, un programme réaliste des travaux sur base des quantités calculées précédemment et le montant effectivement disponible pour les travaux d'entretien.

Le programme d'entretien doit définir :

- quand les travaux vont commencer et le délai maximum d'exécution ;
- combien de jours les exploitants seront mobilisés au titre de la contribution en nature,
- les besoins en main-d'œuvre qualifiée comme les maçons ou les gabionneurs.

Le programme doit être réaliste en termes de délais afin que le réseau soit en bon état de fonctionnement pour la prochaine saison d'irrigation. Pour cela il faut prévoir une marge de sécurité pour tenir compte des difficultés possibles de mobiliser les exploitants. Le budget et le programme des travaux d'entretien peuvent alors être présentés en Assemblée Générale. A cette occasion, les membres de l'AUE souhaiteront connaître :

- l'état des comptes,
- les travaux prévus et les priorités décidées,
- le budget et le programme des travaux,
- les contributions en nature attendues.

A cette occasion, il est important de rappeler les amendes et sanctions qui seront infligées à ceux qui ne participent pas !

Le budget total pour la prochaine saison, divisé par la superficie utile doit être inférieur ou égal à la redevance eau d'irrigation. La superficie utile de l'aménagement est égale à la somme des superficies recensées pour chaque exploitant de l'AUE.

La redevance eau d'irrigation doit permettre de couvrir

- les dépenses pour l'entretien ;
- les frais de gestion de l'AUE.

La redevance est définie par ha. Le montant à payer par chaque exploitant est fonction de la taille de sa parcelle. La redevance eau d'irrigation n'est pas négociable à la baisse. Un montant minimum est calculé pour l'aménagement. Si l'exposé des comptes de l'AUE montre que le budget de la saison précédente n'a pas été dépensé, il faut garder ces économies pour alimenter le fonds de réserve qui permet de faire face à des travaux d'urgence ultérieurs.

7.7.3.3 Exécution des travaux

Le comité de l'AUE porte la pleine responsabilité de l'organisation de l'exécution des travaux d'entretien courant et périodique ainsi que des contrôles nécessaires pour s'assurer de la participation effective de tous les exploitants aux travaux, du respect du programme de travaux ainsi que de la qualité des matériaux et du travail réalisé.

En cas d'absentéisme, le comité de l'AUE devra prendre les sanctions nécessaires conformément au règlement de l'AUE - il sera appuyé au besoin par l'administration locale. Il est très important que les sanctions soient effectivement appliquées pour éviter une diminution progressive de la participation aux travaux. Si un exploitant ne peut pas participer aux travaux, il peut se faire remplacer, mais les statuts de l'AUE doivent préciser l'âge minimal pour participer aux travaux d'entretien

f. Travaux d'entretien courant

Ces travaux sont organisés de manière régulière tout au long de la saison d'irrigation, selon un calendrier et un programme décidé en AG avant de commencer la saison d'irrigation.

La supervision et l'organisation sont généralement assurées par les aiguadiers de chaque secteur : ils mobilisent les exploitants, contrôlent leur présence et signalent au comité de l'AUE les absences.

Les travaux d'entretien courant sont identifiés lors des inspections régulières de l'aiguadier (appuyé éventuellement par le comité AUE et le TGR) et concernent principalement :

- le curage des ouvrages,
- le bouchage des trous, comblement des ravines,
- la réparation de gabions,
- le faucardage et l'enlèvement des débris qui bloquent les ouvrages, les canaux et les drains,
- le graissage et le nettoyage des vannes et vannettes.

L'aiguadier doit organiser les différents exploitants en groupe de travail et les répartir sur les sections de canaux et ouvrages qui nécessitent un entretien. Pour obtenir un avancement satisfaisant de l'entretien, le travail doit être défini "à la tâche" et non pas pour une durée (exemple 10 m de canal par exploitant).

▪ Travaux d'entretien périodique / saisonnier

Sur base du programme de travaux périodiques qui a été décidé préalablement en AG (étape de planification) le comité de l'AUE doit :

- s'assurer que les aigüadiers mobilisent les exploitants du périmètre, contrôlent leur présence, désignent les travaux à réaliser ;
- engager la main-d'œuvre qualifiée et les tacherons pour les travaux de maçonnerie / bétonnage et de gabionnage.

Les travaux d'entretien périodiques s'opèrent aussi au niveau de la parcelle : restructuration des diguettes et planage pour la riziculture.

▪ **Travaux d'entretien d'urgence**

Les réparations d'urgence doivent par définition être réalisées rapidement afin de rétablir l'approvisionnement en eau / éviter la destruction des ouvrages menacés. Il est donc important de définir préalablement en Assemblée Générale un montant maximum des travaux d'urgence pour lequel le comité de l'AUE ne doit pas demander l'approbation de l'Assemblée générale.

L'inspection des dégâts est réalisée par l'aigüadier (appuyé par le comité AUE et le TGR) et un budget est calculé sur base de la solution retenue.

Si l'intervention ne demande pas de budget élevé, il n'est pas justifié de convoquer une assemblée générale des exploitants pour obtenir l'approbation des travaux. Le comité de l'AUE libère les montants requis et organise la mobilisation des exploitants et si nécessaire de la main-d'œuvre spécialisée et des tacherons. Le budget annuel de l'AUE doit prévoir une réserve pour les travaux d'urgence. Il se peut cependant que le montant ne soit pas suffisant ou qu'il soit décidé de ne pas utiliser la totalité du fonds de réserve. Dans ce cas, une cotisation supplémentaire exceptionnelle (éventuellement en nature) des exploitants peut être nécessaire.

7.7.4 Points clés pour une bonne exécution des entretiens

Il est important que les membres de l'AUE soient satisfaits de la manière dont les travaux d'entretien ont été réalisés.

L'exécution des activités d'entretien est spécifique à chaque aménagement et pourra sensiblement varier d'un site à l'autre. Les principes suivants doivent cependant être suivis :

- Une bonne programmation des travaux d'entretien est nécessaire, car le temps et les ressources financières pour l'exécution sont limités ;
- Il est nécessaire de bien contrôler les travaux pour s'assurer qu'ils sont réalisés dans les règles de l'art et que le programme d'exécution est respecté ;
- Tous les exploitants doivent contribuer aux travaux conformément aux décisions prises en AG, en payant la redevance eau d'irrigation et en participant aux travaux collectifs ; le non-respect doit entraîner des sanctions qui doivent être appliquées conformément au règlement de l'AUE ;
- Quand des travaux peuvent être réalisés par une main-d'œuvre non qualifiée, les exploitants s'engagent en priorité ;
- Si les travaux envisagés sont trop compliqués techniquement, il est conseillé d'avoir recours à des ressources extérieures compétentes ;
- La budgétisation, la programmation et l'exécution des travaux d'entretien doit être faite dans la transparence et de l'équité afin de maintenir un climat de confiance entre le comité et les membres de l'AUE.

8 Propositions d'aménagement

8.1 Présentation de l'aménagement proposé

8.1.1 Organisation du réseau d'irrigation

L'aménagement proposé permet l'irrigation de 2546 ha de parcelles agricoles auxquels s'ajoute une superficie de 97 ha correspondant aux jardins de cases et vergers situés dans les zones d'habitat le long des transversales (voir présentation du système des paysannats dans le rapport de diagnostic), soit une superficie totale dominée de 2643 ha.

Ces superficies aménagées se répartissent de part et d'autre de la rivière Kaburantwa, depuis l'agglomération de Buganda, jusqu'à l'agglomération de Ndava.

Elles se répartissent également de part et d'autre de la route nationale RN5, depuis le piémont des collines de la crête Congo-Nil, jusqu'à la rivière Rusizi.

L'alimentation en eau de l'aménagement est assurée par une seule prise sur la Kaburantwa, située à environ 300 m en aval de la centrale KABU-16.

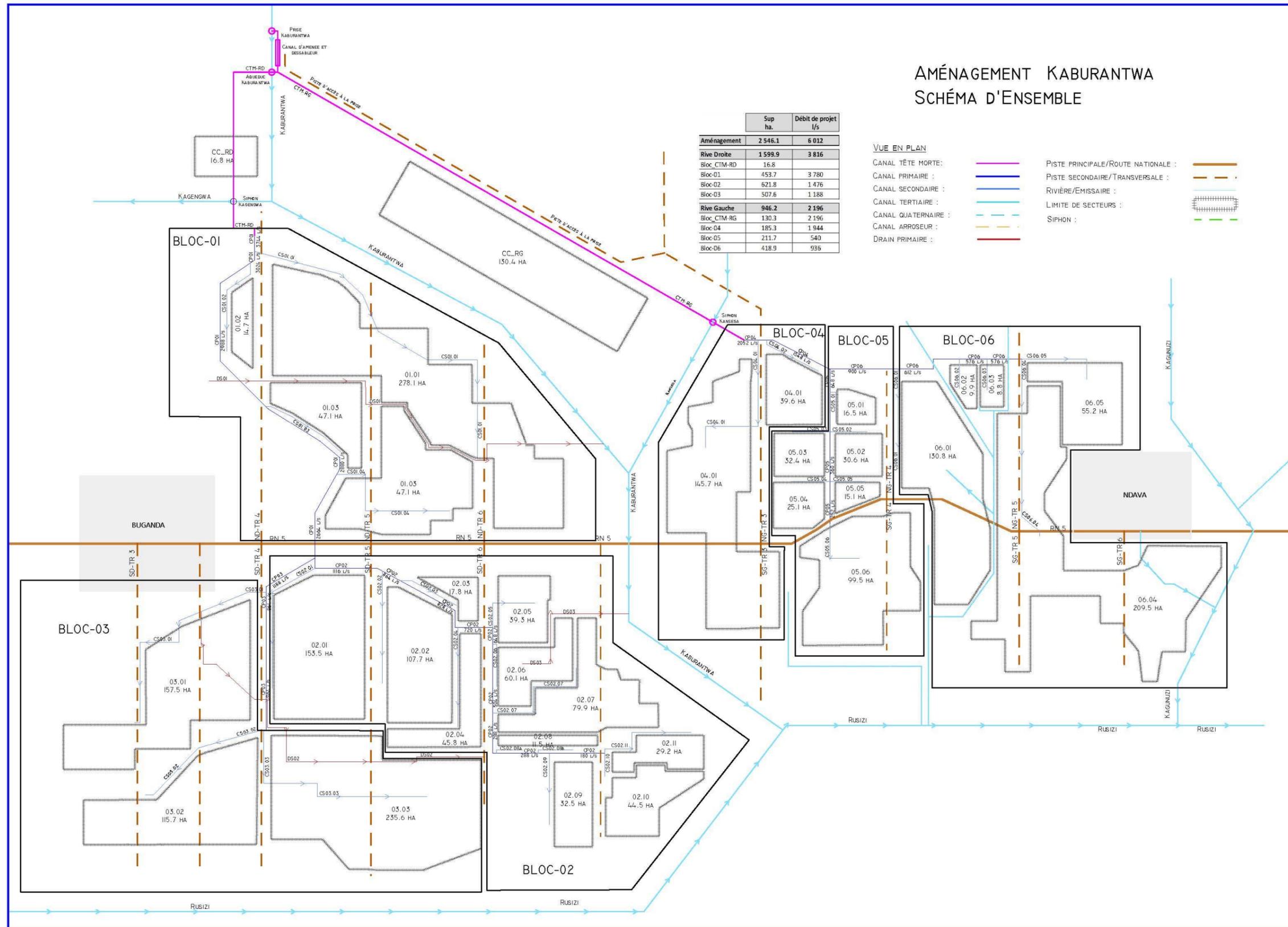
Les paragraphes qui suivent présentent l'aménagement proposé avant de donner le détail des superficies aménagées et de présenter le bilan hydrique de l'aménagement. Ce rapport est accompagné de vues d'ensemble au format A0 qui présentent l'ensemble de l'aménagement à l'échelle 1/5.000^{ème}.

Une présentation schématique de l'aménagement proposé est disponible à la page suivante.

De façon à rendre plus claire la présentation de l'aménagement, celle-ci est organisée en 3 sections se rapportant chacune à une partie de l'aménagement :

- **Infrastructures pour la mobilisation de la ressource en eau** : prise, canal d'amenée, dessableur, partiteur, canaux de tête morte en rives gauche et droite et infrastructures associées (drainage, franchissement de thalwegs, cours d'eau, vallées), piste d'accès ;
- **Infrastructures pour la distribution de l'eau en rive gauche** de la Kaburantwa : réseaux d'irrigation et de drainage ;
- **Infrastructures pour la distribution de l'eau en rive droite** de la Kaburantwa : réseaux d'irrigation et de drainage ;
- **Réseau de circulation** : réhabilitation des pistes transversales.

Figure 35 – Présentation schématique de l'aménagement proposé



8.1.1.1 Infrastructures pour la mobilisation de la ressource en eau

L'étude diagnostic et l'APS ont présenté de façon détaillée l'ensemble des contraintes affectant le choix du site pour le seuil de dérivation : nécessité de placer la prise à une cote altimétrique suffisamment haute dans la vallée pour faciliter le franchissement de la Kansega, présence de la centrale KABU-16, présence de zones d'orpillage, zones de glissement dans la partie haute de la vallée de la Kaburantwa.

Le site de prise retenu se situe à environ 300 m en aval de la centrale KABU-16, dans une partie où la vallée est encore assez large pour accueillir le seuil.

En 5.3.6 il a été montré que le transport solide de la Kaburantwa est relativement important. Celui-ci ne sera pas atténué par le barrage de la centrale KABU-16. En effet, la conception de la centrale prévoit que le barrage est constitué de vannes de type « segment » qui seront ouvertes en grand lors des épisodes de crues pour purger les sédiments accumulés. Ces sédiments seront transportés progressivement vers la prise pour les réseaux d'irrigation. En période de crue, les vannes de purge du seuil de prise devront aussi être ouvertes en grand pour permettre le passage des sédiments.

En saison sèche, la majeure partie de l'écoulement qui alimentera l'aménagement provient de l'eau turbinée par la centrale. La présence de la centrale réduit donc l'apport en sédiments en saison sèche.

Un dessableur est donc prévu en rive gauche de la Kaburantwa, sur une terrasse alluviale en aval de la prise. Son alimentation se fait par un canal d'amenée implanté sur un socle rocheux sur environ 60% de sa longueur, en pied de versants abrupts. Le canal est réalisé sous forme de dalot en béton armé pour limiter le volume de déblais et assurer sa protection. Il est carrossable afin de permettre l'accès à la prise uniquement pour les opérations d'entretien, en temps normal pour les opérations courantes, l'accès à la prise se fera à pied à partir du dessableur.

La figure ci-dessous présente l'emplacement des différentes infrastructures mentionnées dans les paragraphes qui précèdent.

En aval du dessableur, le canal d'amenée se partage en deux branches (CTM = canaux de tête morte) au moyen d'un partiteur vanné:

- CTM-RG : en rive gauche, ce canal amène l'eau à un siphon sur la Kansega qui se prolonge par une section en rive gauche de la Kansega avant d'arriver au périmètre irrigué de la « Rive Gauche » ;
Le CTM-RG est longé par une piste pour accéder au dessableur et à la prise.
- CTM-RD : en rive droite, après avoir franchi la Kaburantwa par un aqueduc, le CTM-RD amène l'eau à un siphon qui permet de franchir la Kagengwa pour l'irrigation des superficies de la « Rive Droite ».

Les CTM-RG et RD franchissent de nombreux thalwegs et quelques pistes à l'aide de dalots.

Les infrastructures de mobilisation de la ressource en eau sont donc constituées:

- Un seuil de dérivation sur la Kaburantwa avec une prise en rive gauche;
- Un canal d'amenée partant du seuil de dérivation vers le partiteur en transitant par un dessableur;
- Un dessableur;
- Un partiteur ;
- Un aqueduc pour le franchissement de la Kaburantwa par le CTM-RD ;
- Un canal tête morte en rive droite ;
- Un siphon inversé pour le franchissement de la Kagengwa par le CTM-RD ;
- Un canal tête morte en rive gauche.
- Un siphon inversé pour le franchissement de la Kasenga par le CTM-RG ;
- Des dalots pour le franchissement des thalwegs et des pistes et des buses pour l'évacuation des eaux de ruissellement tout le long de leur parcours.

8.1.1.2 Infrastructures pour la distribution de l'eau en Rive Droite de la Kaburantwa

Après avoir franchi la Kagengwa, le CTM-RD arrive à proximité de l'extrémité Nord-Est de la Transversale 4. C'est à cet endroit que débute la distribution de l'eau et le CTM-RD devient alors un canal primaire (CP01).

Le CP01 progresse selon une direction globale Nord-Est/Sud-Ouest. Il franchit la RN5 à la limite sud de la localité de Buganda et alimente les CP02 et CP03 qui partent respectivement SUD-OUEST et OUEST vers les terrasses (« flats ») de la plaine de la Ruzizi.

Dans sa partie amont, au Nord de la RN5, le CP01 suit d'abord la topographie afin de dominer le plus de superficies possibles. Ceci l'amène à adopter un parcours en forme de S et à franchir deux fois la transversale 4.

Au Sud de la RN5, le CP02 progresse d'abord parallèlement à la RN5 et puis bifurque pour rejoindre la Transversale 5 qu'il suit jusqu'aux flats de la Ruzizi. Le CP03 rejoint quant à lui la Transversale 4 qu'il longe de la même manière pour rejoindre aussi le flats de la Ruzizi.

8.1.1.3 Infrastructures pour la distribution de l'eau en Rive Gauche de la Kaburantwa

Après avoir franchi la Kansega via un siphon, le CTM-RG traverse une zone très érodée sur environ 170 m avant de rejoindre le CP04 qui franchit la Transversale 3 et progresse selon une direction Nord-Ouest / Sud-Est en longeant le versant des collines de la crête Congo-Nil, en direction de la rivière Kagunuzi.

Le CP04 se divise après 566 m pour alimenter les CP05 et CP06 qui se dirigent respectivement Sud-Ouest et Sud-Est vers les zones à irriguer. Le réseau d'irrigation en Rive Gauche doit franchir à 3 endroits les RN5 (CT04.01.03 – 72 l/s - du Bloc 04, CP05 – 252 l/s du Bloc 05 et CS06.04 – 288 l/s du Bloc 06).

Le tableau ci-dessous présente l'organisation du réseau en Rive Gauche.

8.1.2 Synthèse des superficies aménagées

Le tableau suivant présente la synthèse des superficies aménagées.

Tableau 42 – Récapitulatif des superficies dominées par le réseau d'irrigation proposé et longueur des canaux primaires

	Sup ha.	Longueur totale des canaux d'irrigation primaires m
Aménagement	2 546.1	18 574.0
Rive Droite	1 599.9	11 707.0
Bloc_CTMRD	16.8	
CP01	453.7	4 017.0
CP02	621.8	5 265.0
CP03	507.6	2 425.0
Rive Gauche	946.2	6 867.0
Bloc_CTMRG	130.3	
CP04	185.3	566.0
CP05	211.7	1 573.0
CP06	418.9	4 728.0

8.1.3 Bilan hydrique

La section 5.2 a présenté l'étude pédologique conduite sur la zone en phase diagnostic et montré qu'en terme d'aptitude, les sols sont globalement aptes à la riziculture.

La section 5.3.3 a présenté le régime hydrologique de la Kaburantwa en année sèche et en année moyenne. Elle a également mis en évidence l'influence de la centrale KABU-16 sur la variation du débit journalier, pour chaque mois de l'année.

La section 6.3 a présenté les besoins en eau nets des différentes cultures représentatives des spéculations pratiquées dans la zone.

Enfin, la section précédente (8.1.2) présente le détail de l'ensemble des superficies aménagées.

L'ensemble de ces informations est combiné pour établir le bilan hydrique de l'aménagement. Celui-ci est établi pour les conditions suivantes :

- Situation la plus critique en termes de demande, à savoir une double riziculture pratiquée sur l'ensemble des superficies en année sèche ;
- Situation la plus critique en termes de disponibilité de la ressource, à savoir l'année sèche ;
- Mise en place de la riziculture étalée sur 3 décades à l'échelle du périmètre ;
- Efficience du réseau d'irrigation de 60 %.

Le tableau ci-dessous présente le résultat, décade par décade, du bilan hydrique de l'aménagement dans ces conditions.

Ce tableau montre que la décade la plus critique est la première décade du mois d'octobre. Toutefois, même pour cette décade, le volume des apports reste supérieur au volume des besoins du périmètre avec un excédent de 162 000 m³.

Tableau 43 – Bilan hydrique de l'aménagement proposé : année sèche / double riziculture

Zone	Bloc	Débit requis max (l/s)	Débit requis (l/s)																	
			01-1	01-2	01-3	02-1	02-2	02-3	03-1	03-2	03-3	04-1	04-2	04-3	05-1	05-2	05-3	06-1	06-2	06-3
Rive droite	CC-RD	20.4	13.6	12.2	10.0	7.3	8.4	11.3	15.7	14.9	13.2	10.2	7.0	8.3	9.8	15.9	16.7	20.4	19.5	17.2
	S01	661.4	431.0	394.9	324.8	236.8	271.1	366.3	509.9	481.4	428.5	331.6	226.8	267.6	318.9	513.6	542.4	659.3	632.3	558.1
	S02	900.3	601.3	537.5	442.2	322.3	369.1	498.7	694.1	655.3	583.3	451.4	308.7	364.3	434.1	699.1	738.3	897.5	860.7	759.7
	S03	734.9	490.8	438.7	360.9	263.1	301.3	407.0	566.5	534.8	476.1	368.4	252.0	297.4	354.3	570.6	602.6	732.6	702.5	620.1
Rive gauche	CC-RG	188.7	126.0	112.6	92.7	67.5	77.3	104.5	145.5	137.3	122.2	94.6	64.7	76.3	91.0	146.5	154.7	188.1	180.4	159.2
	S04	268.3	179.2	160.2	131.8	96.1	110.0	148.6	206.9	195.3	173.8	134.5	92.0	108.6	129.4	208.3	220.0	267.5	256.5	226.4
	S05	316.1	211.1	188.7	155.2	113.2	129.6	175.1	243.7	230.1	204.8	158.5	108.4	127.9	152.4	245.4	259.2	315.1	302.2	266.7
	S06	606.5	405.1	362.1	297.9	217.2	248.7	335.9	467.6	441.5	393.0	304.1	208.0	245.5	292.4	471.0	497.4	604.6	579.9	511.8
Total [m ³ /s]			2.46	2.21	1.82	1.32	1.52	2.05	2.85	2.69	2.40	1.85	1.27	1.50	1.78	2.87	3.03	3.68	3.53	3.12
Volume besoin [x1000 m³]			212	191	157	114	131	177	246	232	207	160	110	129	154	248	262	318	305	270
Débit régulé [m ³ /s]	Tranche 8h-13h		7.80	7.90	8.27	8.63	9.00	8.63	8.27	7.90	8.57	9.23	9.90	9.93	9.97	10.00	9.47	8.93	8.40	7.80
	Tranche 13h-18h		6.91	7.03	7.46	7.90	8.34	7.90	7.46	7.03	7.82	8.62	9.42	9.46	9.50	9.54	8.90	8.26	7.62	6.91
	Tranche 18h-23h		12.35	12.35	12.35	12.35	12.35	12.35	12.35	12.35	12.35	12.35	12.35	12.35	12.35	12.35	12.35	12.35	12.35	12.35
	Tranche 23h-8h		5.77	5.91	6.44	6.97	7.50	6.97	6.44	5.91	6.88	7.84	8.81	8.85	8.90	8.95	8.18	7.41	6.64	5.77
Volume apports [x1000 m³]			674	683	714	746	778	746	714	683	740	798	855	858	861	864	818	772	726	674
Bilan apports - besoins [x1000 m³]			462	492	557	632	647	569	468	450	533	638	746	729	707	616	556	454	421	404

Zone	Bloc	Débit requis max (l/s)	Débit requis (l/s)																	
			07-1	07-2	07-3	08-1	08-2	08-3	09-1	09-2	09-3	10-1	10-2	10-3	11-1	11-2	11-3	12-1	12-2	12-3
Rive droite	CC-RD	20.4	11.1	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	9.8	18.1	20.4	19.1	17.3	12.7	8.4	8.9	9.0	13.4	13.2
	S01	661.4	359.2	162.2	0.0	0.0	0.0	0.0	108.2	316.4	587.4	661.4	619.7	561.9	410.3	273.1	287.7	290.2	434.5	427.2
	S02	900.3	489.0	220.8	0.0	0.0	0.0	0.0	147.3	430.7	799.6	900.3	843.6	764.9	558.5	371.8	391.6	395.1	591.5	581.5
	S03	734.9	399.1	180.2	0.0	0.0	0.0	0.0	120.3	351.6	652.6	734.9	688.5	624.3	455.9	303.5	319.7	322.5	482.8	474.6
Rive gauche	CC-RG	188.7	102.5	46.3	0.0	0.0	0.0	0.0	30.9	90.3	167.6	188.7	176.8	160.3	117.0	77.9	82.1	82.8	123.9	121.9
	S04	268.3	145.7	65.8	0.0	0.0	0.0	0.0	43.9	128.4	238.3	268.3	251.4	227.9	166.4	110.8	116.7	117.7	176.3	173.3
	S05	316.1	171.7	77.5	0.0	0.0	0.0	0.0	51.7	151.2	280.7	316.1	296.2	268.5	196.1	130.5	137.5	138.7	207.7	204.2
	S06	606.5	329.4	148.8	0.0	0.0	0.0	0.0	99.3	290.2	538.7	606.5	568.3	515.3	376.3	250.5	263.8	266.2	398.5	391.7
Total [m³/s]			2.01	0.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	1.77	3.28	3.70	3.46	3.14	2.29	1.53	1.61	1.62	2.43	2.39
Volume besoin [x1000 m³]			173	78	0	0	0	0	52	153	284	319	299	271	198	132	139	140	210	206
Débit régulé [m³/s]	Tranche 8h-13h		7.20	6.60	6.27	5.93	5.60	5.50	5.40	5.30	5.43	5.57	5.70	6.13	6.57	7.00	7.20	7.40	7.60	7.70
	Tranche 13h-18h		6.26	5.74	5.45	5.16	4.87	4.78	4.69	4.61	4.72	4.84	4.95	5.33	5.71	6.08	6.26	6.43	6.67	6.79
	Tranche 18h-23h		12.00	11.00	10.44	9.89	9.33	9.17	9.00	8.83	9.06	9.28	9.50	10.22	10.94	11.67	12.00	12.33	12.35	12.35
	Tranche 23h-8h		5.06	4.64	4.40	4.17	3.93	3.86	3.79	3.72	3.82	3.91	4.00	4.31	4.61	4.92	5.06	5.20	5.48	5.62
Volume apports [x1000 m³]			622	570	541	513	484	475	467	458	469	481	493	530	567	605	622	639	657	665
Bilan apports - besoins [x1000 m³]			449	492	541	513	484	475	414	305	186	162	193	259	369	473	483	499	447	459

8.1.4 Débits d'équipement

La section 6.4 a montré que le débit de pointe « à la parcelle » est de 2 l/s/ha.

La section 7.3 a présenté les principes de dimensionnement des canaux et notamment, le fait que les prises pour arroseur sont dimensionnées pour délivrer un débit de 12 l/s (main d'eau). Une prise pour arroseur délivre le débit nécessaire à l'irrigation d'une superficie de 6 ha de riziculture.

Ces prises sont prévues pour fonctionner par groupe de 3. Le débit de projet des canaux qui alimentent ces prises pour arroseur est donc fixé au multiple de 36 l/s (18 ha) directement supérieur au débit théorique calculé.

Cette approche permet de standardiser les débits d'équipement et par conséquent les gabarits de canaux et les ouvrages de distribution. Elle est indispensable à la bonne exécution des travaux d'aménagement.

Néanmoins, cette standardisation conduit à un surdimensionnement inévitable des infrastructures lorsque la superficie desservie par un canal arroseur est inférieure à 6 ha ce qui est souvent le cas en raison de la topographie de la zone. Ces surdimensionnements s'additionnent en remontant dans la hiérarchie des canaux. En conséquence, la consommation d'eau réelle de l'aménagement serait plus importante que la consommation théorique présentée dans la section précédente basée sur le débit fictif continu (donc non standardisé). Ce phénomène est d'autant plus important que l'aménagement est étendu et alimenté par un réseau d'irrigation ramifié comportant de nombreux canaux en raison des contraintes topographiques.

A contrario, plus le périmètre est étendu, moins il est probable que la campagne rizicole soit lancée simultanément (durant la même décennie) sur l'ensemble des superficies. Elle sera logiquement étalée sur plusieurs décades, ce qui conduit à un « lissage » du besoin de pointe du périmètre et justifie l'introduction de la notion de besoins de pointe « à la parcelle » et « au périmètre » discutée en 6.4 :

- Le besoin (brut) de pointe « à la parcelle » est celui résultant d'une mise en place de la riziculture sur une seule décennie. Il est de 2 l/s/ha ;
- Le besoin (brut) de pointe « au périmètre » est celui considérant la mise en place de la riziculture étalée sur 3 décades. Il est de 1.45 l/s/ha.

La prise en compte de ce postulat permet de ne pas surdimensionner les canaux primaires en adoptant les règles suivantes :

- Les canaux secondaires, tertiaires et quaternaires qui alimentent directement les secteurs sont dimensionnés pour le débit de pointe « à la parcelle » (2 l/s/ha);
- Les débits des canaux secondaires sont obtenus en sommant les débits des canaux tertiaires qu'ils alimentent, eux-mêmes étant obtenus en sommant les débits des quaternaires qu'ils alimentent.

Cette incrémentation ne se fait cependant pas automatiquement quand un canal quaternaire ou tertiaire alimente de petites superficies car cela conduirait à surdimensionner les canaux secondaires.

- Les canaux primaires sont dimensionnés quant à eux en sommant les débits de pointe « au périmètre » (1.45 l/s/ha) des différents secteurs alimentés.

La section 8.3.1 présente le résultat détaillé de l'application de ces règles au réseau d'irrigation proposé. Le tableau ci-dessous présente le débit d'équipement en tête des canaux primaires et de canaux secondaires qu'ils alimentent.

Tableau 44 – Débits d'équipement en tête de réseaux primaires et secondaires

Canal tête morte / Canal Primaire	Débit équipement l/s	Canal secondaire	Superficie irriguée ha	Débit équipement l/s
Aménagement	6 012			
Rive gauche	3 816			
CTM-RD	3 816	CS_RD_01	16.8	36
CP01	3 780	CS01.01	278.5	792
	3 060	CS01.02	14.7	36
	3 024	CS01.03	46.9	108
	2 916	CS01.04	113.6	288
CP02	1 476	CS02.01	153.2	396
	1 116	CS02.02	105.3	252
	864	CS02.03	17.8	36
	828	CS02.04	47.8	108
	720	CS02.05	39.0	108
	648	CS02.06	62.4	144
	504	CS02.07	79.4	252
	288	CS02.08a	2.9	72
	288	CS02.08b	8.2	36
	252	CS02.09	33.2	72
	180	CS02.10	44.0	108
	CS02.11	28.6	72	
CP03	1 188	CS03.01	157.7	360
	864	CS03.02	117.2	324
	540	CS03.03	232.7	540
Rive gauche	2 196			
CTM-RG	2 196	CS_RG_01	33.9	72
	2 124	CS_RG_02	62.1	144
	2 016	CS_RG_03	34.3	72
CP04	1 944	CS04.01	145.7	360
	1 476	CS04.02	39.6	108
CP05	540	CS05.01	16.3	36
	504	CS05.02	30.6	72
	432	CS05.03	31.9	72
	432	CS05.04	25.0	72
	360	CS05.05	15.0	36
	252	CS05.06	92.9	252
CP06	936	CS06.01	135.5	288
	648	CS06.02	9.9	36
	612	CS06.03	8.8	36
	612	CS06.04	209.5	540
	144	CS06.05	55.2	144

A ce débit, il faut rajouter les quantités qui seront éventuellement consommées pour la chasse du dessableur et pour les jardins de case le long des transversales. Un débit de projet de 6.2 m³/s sera donc prévu d'être dérivé par le seuil de prise sur la Kaburantwa.

L'exploitation de la centrale KABU-16 alternant dans la même journée des phases d'accumulation d'eau au niveau de la retenue et des phases de turbinage, va engendrer des variations quotidiennes du débit disponible au niveau de la prise de l'aménagement.

L'analyse du bilan hydrique de l'aménagement a montré que la décade la plus critique est la première décade d'octobre. Le tableau ci-dessous présente, pour cette décade et pour l'année sèche, l'évolution quotidienne du débit disponible à la prise et du débit détourné (fonction du débit d'équipement).

Tableau 45 – Evolution quotidienne du débit disponible à la prise et du débit détourné (première décade d'octobre / année sèche)

Tranche horaire	Débit disponible [m ³ /s]	Débit détourné [m ³ /s]
8h-13h	5.57	5.57
13h-18h	4.84	4.84
18h-23h	9.28	6.20
23h-8h	3.91	3.91

Il reste à vérifier que, tenant compte de ces variations de débit à la prise et des débits d'équipement en tête de secondaires, chaque bloc reçoit le volume d'eau nécessaire à ses besoins.

Cette vérification se base sur le fait que les prises pour canal secondaire délivrent une fraction constante du débit présent dans le canal primaire. Le tableau ci-dessous présente l'évolution, au cours de la journée, du débit délivré à chaque canal secondaire pour la première décade d'octobre en année sèche. Il montre (dernière colonne « V délivré – V besoin »), que le volume d'eau délivré à chaque bloc répond aux besoins de ce bloc.

Tableau 46 – Evolution quotidienne des débits délivrés aux canaux secondaires (première décade d'octobre / année sèche)

Canal	Superficie [ha]	Déb. Req. Continu [l/s]	Vol. requis [m ³]	Déb. Equip. [l/s]	Débit délivré [l/s]				Vol. délivré [m ³]	Vol. délivré – Vol. besoin [m ³]
					8h-13h	13h-18h	18h-23h	23h-8h		
CTM-RD	1 600	2 320	200 472	3 780	3 521	3 060	3 922	2 473	269 180	68 708
CC-RD	14.1	20.5	1 766	36	34	29	37	24	2 564	797
CP01	456.8	662.3	57 224	1 080	1 006	874	1 120	707	76 908	19 684
CP02	621.8	901.6	77 899	1 476	1 375	1 195	1 531	966	105 108	27 209
CP03	507.5	735.9	63 582	1 188	1 107	962	1 233	777	84 599	21 017
CTM-RG	953	1382	119367	2196	2046	1 778	2 278	1 437	156 380	37 014
CC-RG	130.3	188.9	1 6324	252	235	204	261	165	17 945	1 621
CP04	185.3	268.7	23 214	468	436	379	486	306	33 327	10 113
CP05	218.3	316.5	27 349	540	503	437	560	353	38 454	11 106
CP06	418.9	607.4	52 480	936	872	758	971	612	66 654	14 174

8.2 Infrastructures pour la mobilisation de la ressource en eau

Les infrastructures pour la mobilisation de l'eau sont localisées sur le plan PT-OM-01. Elles sont constituées des ouvrages principaux suivants :

1. Un seuil de prise en béton armé qui comprend

- a. Un seuil déversoir de type labyrinthe sélectionné en raison de l'importance de la crue de projet (Q_{50} 260 m³/s) et de la largeur relativement réduite du site. Ce type de seuil permet, pour une largeur de site donnée de réduire la hauteur de la lame d'eau sur un déversoir.
- b. Bassin de dissipation d'énergie.
- c. Une prise latérale à 95°, située sur la rive gauche, munie de trois vannes, de batardeaux pour l'entretien et d'une grille grossière pour éliminer les éléments flottants.

Une petite aire de parking est prévue pour les véhicules utilisés lors des entretiens.

La prise sera située juste en aval d'une ancienne zone d'orpillage dont les activités ont été arrêtées suite à la mise en défens de la zone dans le cadre du projet de la centrale hydroélectrique KABU-16. Ces zones en rive droite et gauche caractérisées par des talus instables seront réhabilitées et stabilisées à l'aide de gradins de gabions et la plantation d'espèces végétales fixatrices comme les bambous et le vétiver.

2. Un canal d'amenée en béton armé, de section transversale rectangulaire de 240 m de long jusqu'au dessableur, couvert par une dalle en béton armé carrossable pour permettre les gros entretiens. Il se prolonge de 105 m par un canal en béton armé rectangulaire à ciel ouvert après le dessableur pour rejoindre la partiteur qui délivre le débit aux canaux de tête morte en rive gauche et en rive droite.

3. Un dessableur pour piéger les sédiments de diamètre inférieur à 0.3 mm. Le dessableur comporte deux compartiments identiques pour permettre un approvisionnement continu des réseaux d'irrigation. Ces compartiments sont gérés par deux vannes d'entrée et deux vannes de sortie ainsi qu'une vanne de chasse pour chacun.

A l'amont du dessableur, le canal d'amenée est équipé d'un déversoir de sécurité. Ce déversoir rejoint le coursier de la purge vers la rivière.

4. Une aire de parking (20 x 10 m) est aussi prévue à proximité du dessableur. Une barrière permettra de contrôler l'accès à la prise uniquement pour les véhicules d'entretien.

En raison de l'exiguïté du site au niveau de l'ouvrage de prise, l'abris du gardien ainsi que les toilettes seront aussi construits adjacents au parking.

5. Un partiteur en béton armé, qui permet de répartir le débit du canal d'amenée entre les canaux de tête morte (CTM) de la rive gauche et la rive droite. Le partiteur est équipé de vannes de sectionnement et de régulation pour distribuer le débit vers les CTM-RG et RF ainsi que d'un déversoir de sécurité et un coursier pour rejoindre la rivière.

6. Le canal de tête morte rive droite (CTM-RD) sera construit en maçonnerie de moellons véhiculera un débit de 3.82 m³/s sur une longueur de 3 252 m. Le canal est de section sub-rectangulaire avec des parois très légèrement inclinée (0.1 m sur toute la hauteur).

Un aqueduc en béton armé permet le franchissement de la Kaburantwa par le CTM-RD. Un coursier en marches d'escalier en maçonnerie de moellons fait la jonction entre le partiteur et l'aqueduc.

Le franchissement des thalwegs se fera par des pont-canaux reposant sur des dalots de dimensions variables adaptés à la largeur du lit des thalwegs traversés.

Le franchissement de la Kagengwa, se fera aussi au moyen d'un siphon inversé partiellement enterré. Deux chambres de mise en charge/décharge sont installées aux extrémités.

Une chambre de purge est requise au point bas pour évacuer les dépôts d'éventuels sédiments. Les extrémités de la conduite sont munies de grilles de protection.

Le choix de favoriser un siphon relativement long par rapport au contournement des vallées est dicté par des considérations économiques et opérationnelles. En effet les études montrent que le canal CTM-RD coûte environ 650 USD/ml de canal. En raison des contraintes topographiques imposées par le réseau hydrographique, le tracé additionnel du contournement des vallées mesure environ 5.7 km soit un coût d'environ 3.7 MUSD. Le siphon envisagé coûte quant à lui moins cher (voir devis confidentiel).

7. **Le canal de tête morte en rive gauche (CTM-RG)** véhiculera un débit de 2.2 m³/s sur une longueur de 7 728 m avant le siphon sur la Kasenga et prolongé de 170 m pour rejoindre le canal primaire de la Rive Gauche. Le canal est de section sub-rectangulaire avec des parois très légèrement inclinée (0.1 m sur toute la hauteur).

Ce canal est combiné sur 6 210 m avec une piste de 4 m de large pour accéder aux infrastructures de la prise.

Le franchissement des thalwegs se fera par des pont-canaux reposant sur des dalots de dimensions variables adaptés à la largeur du lit des thalwegs traversés.

Le **franchissement de la Kansega** se fera au moyen d'un siphon inversé aérien. Deux chambres de mise en charge/décharge sont installées au niveau des extrémités

Une chambre de purge est requise au point bas pour évacuer les dépôts d'éventuels sédiments. Les extrémités de la conduite sont munies de grilles de protection.

8. **La protection des canaux de tête morte** sera assurée de part et d'autre de leur emprise par une bande de 5 m végétalisée avec du vétiver et une haie vive d'Umunyari.

En raison de leur profondeur (~1.7 m), les canaux seront en outre équipés de garde-corps tout le long des traversées des villages.

9. Afin de faciliter le **passage des piétons** d'une rive à l'autre du canal, des passerelles en béton armé équipées de garde-corps sont prévues tous les 500 m.

8.2.1 Dimensionnement du déversoir du seuil de prise

Le déversoir sera de type « labyrinthe ». Ce type de déversoir dispose d'une capacité d'évacuation élevée pour des crues de grande ampleur sur des sites de faible largeur comme c'est le cas pour la prise sur la Kaburantwa. Le calcul se réfère aux normes USBR.

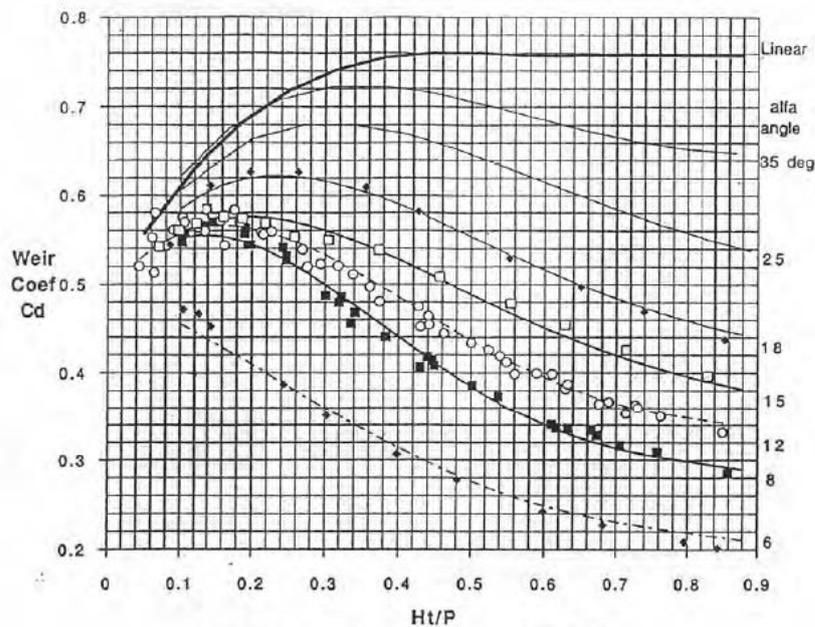
L'essentiel, dans le calcul de la capacité d'un déversoir de type labyrinthe, est la détermination du coefficient de débit, μ , qui dépend aussi bien de la profondeur de la lame d'eau que de la hauteur du déversoir, ce qui ramène à un calcul itératif dans la formule du calcul de la capacité d'évacuation :

$$Q = \frac{2}{3} C_d L \sqrt{2g} H^{1.5}$$

Où

- Q : la capacité du déversoir, en m³/s
- Cd : est le coefficient de débit donné par l'abaque ci-dessous ;
- L : la longueur effective du déversoir, en m
- H : la profondeur de la lame d'eau déversante, en m.

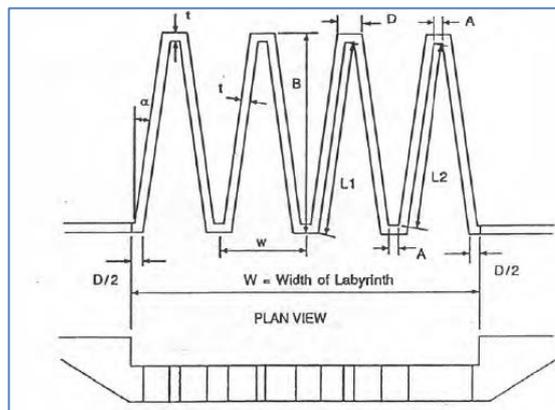
Figure 36 - Abaque pour la détermination du coefficient de débit



Nous obtenons les résultats suivants :

Figure 37 - Dimensions principales (USBR)

P	3.40 m
g	9.77 m/s ²
Q	260.00 M ³ /s
N	8.00 cycle
t	0.35 m
A	0.50 m
D	1.11 m
L1	4.00 m
L2	3.65 m
α	8.00 deg
a	0.56 m
w	2.72 m
W	21.78 m
L _{crete-cycle}	8.31
L _{crete-Total}	66.45
Cd	0.299
H	2.70 m



$R=P/12$	t	P/12	
	0.35	0.28	OK
$t < A < 2t$	A	t	
	0.50	0.35	OK
$H/P < 0.9$	H/P =	0.79	OK

Conditions à satisfaire

Résultats

Les tableaux ci-dessous synthétisent les paramètres du seuil et de la prise d'eau, ainsi que la réhabilitation des zones d'orpaillage adjacentes et présentent le métré correspondant.

Tableau 47 – Paramètres du seuil et de la prise d'eau

Paramètres	Unité	Valeur
Cote crête déversoir	m	877.4
Cote TN fonds rivière	m	874.3
Longueur crête / longueur développée	m	21.77/ 76.86
Crue de projet	m ³ /s	260
Lame sur déversoir crue de projet	m	2.70
Cote /radier vanne de chasse	m	875
Vanne de chasse (bxh) - Nb et dimensions(bxh)	m	2 pces - 1.2 x 1.2
Débit de projet prise	m ³ /s	6.5

Paramètres	Unité	Valeur
Cote seuil prise d'eau	m	877.02
Vanne prise d'eau - Nb et dimensions(bxh)	m	3 pces – 2.20X1.58

Tableau 48 – Métré pour la réalisation du seuil et de la prise d'eau

Num	Description	Unité	Quantité
205	Dérivation temporaire pour construction d'ouvrage en rivière	ff	1.0
212	Déblais en terrain varié y/c débroussaillage	m ³	1 332.1
213.2	Déblais en terrain rocheux y/c débroussaillage	m ³	570.9
304	Remblais technique contigu pour ouvrages	m ³	123.0
341	Béton de propreté dosé à 150 kg de ciment par m ³	m ³	47.8
344	Béton armé dosé à 350 kg de ciment par m ³	m ³	487.9
385	Fourniture et pose de géotextile équivalent bidim® S51 ou Kaytech® U34	m ²	100.0
630	Vanne de chasse pour seuil-barrage 1.2x1.2 (fourniture et pose, y compris béton 2è phase anti retrait)	pce	2.0
631	Vanne de prise 3.25x2.5 (fourniture et pose, y compris béton 2è phase anti retrait)	pce	3.0
640	Fourniture et pose de caillebotis métallique	m ²	7.9
642	Fourniture et pose de grilles métalliques	kg	200.0
643	Garde-corps pour passerelle (hauteur=1.10m, fixation sur poutre tous les mètres, double barre horizontale)	ml	21.4
651.2	Batardeau 1.5 x 6.8 y compris cadre (fourniture et pose, y compris béton 2è phase anti-retrait)	ff	2.0
651.3	Batardeau 2.5 x 4.8 y compris cadre (fourniture et pose, y compris béton 2è phase anti-retrait)	ff	3.0

Tableau 49 – Paramètres pour la réhabilitation des anciennes carrières d'orpillage à proximité du seuil de prise

Paramètres	Unité	Valeur
Longueur en rive droite	m	90
Hauteur moyenne talus en rive droite	m	5
Longueur gabions en rive gauche zone 1	m	195
Hauteur moyenne gradin	m	2
Longueur gabions en rive gauche zone 2	m	105
Hauteur moyenne gradin	m	2

Tableau 50 – Métré pour la réhabilitation des anciennes carrières d'orpillage à proximité du seuil de prise

Num	Description	Unité	Quantité
212	Déblais en terrain varié y/c débroussaillage	m ³	97.5
322	Fourniture et pose de gabions	m ³	1 050.0
385	Fourniture et pose de géotextile équivalent bidim® S51 ou Kaytech® U34	m ²	1 575.0
1002	Protection en vétiver (écartement 0.15*0.25)	m ²	2 100.0

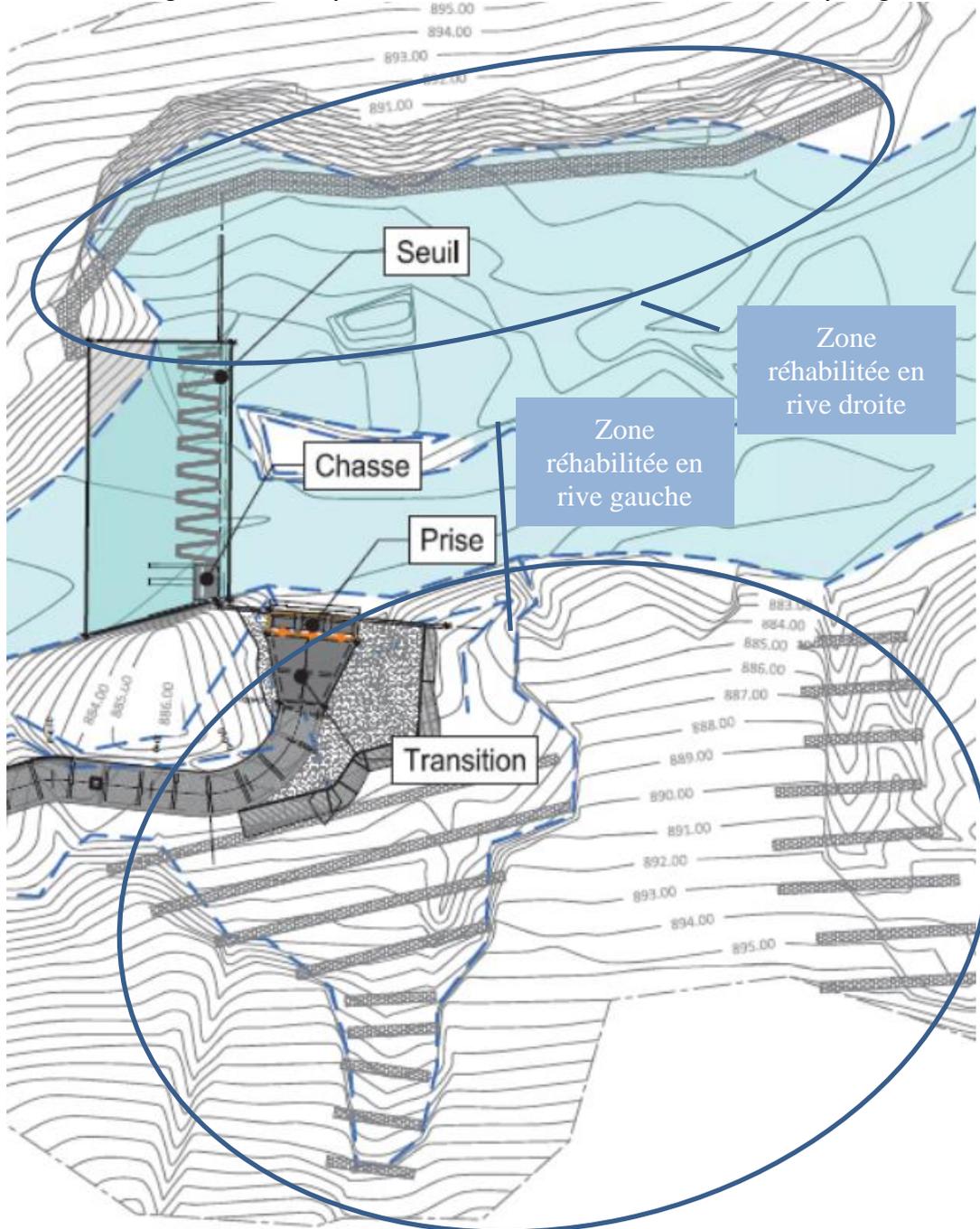
Réhabilitation des anciennes carrières dans la zone du seuil et de la prise

La prise sera située juste en aval d'une ancienne zone d'orpillage dont les activités ont été arrêtées suite à la mise en défens de la zone dans le cadre du projet de la centrale hydroélectrique KABU-16. Ces zones en rive droite et gauche caractérisées par des talus instables seront réhabilitées et stabilisées à l'aide de gradins de gabions et la plantation d'espèces végétales fixatrices comme les bambous et le vétiver.

La zone en rive droite bénéficiera d'un gradin de gabions de 5 m de hauteur en moyenne sur une longueur de 90 m.

La zone en rive gauche comporte 2 lentilles qui doivent être stabilisées via l'installation de gradins de gabions de 2 m de haut espacés de 5 m comme cela est montré sur la figure ci-dessous . La zone sera en outre revégétalisée sur 700 m² avec du bambou et du vétiver.

Figure 38 - Site de prise – Réhabilitation des anciennes carrière d'orpillage.



8.2.2 Dimensionnement du canal d'amenée

La formule de Manning est utilisée pour le dimensionnement du canal d'amenée :

$$V = \frac{1}{n} R_h^{2/3} i^{1/2}$$

Où :

- n : est le coefficient de Manning exprimant la rugosité de la paroi du canal, considéré 0.014 pour une paroi en béton.
- V : est la vitesse d'écoulement en m ;
- Rh : est le rayon hydraulique, en m, qui est le rapport de la section transversale plane de l'eau par le périmètre hydraulique correspondant à la longueur de contact entre l'eau et la paroi du canal.
- i : est la pente du canal

Nous obtenons les hauteurs d'eau suivantes pour le canal d'amenée :

Tableau 51 – Calcul hydraulique du canal d'amenée rectangulaire en béton

Avant dessableur		Après dessableur	
C Manning	0.014	C Manning	0.014
I	0.0005	I	0.0005
Angle	90 deg	Angle	90 deg
h	1.38 m	h	1.38 m
B	3.50 m	B	3.30 m
Sh	4.84 m ²	Sh	4.55 m ²
Ph	6.26 m	Ph	6.06 m
Rh	0.77 m	Rh	0.75 m
Q	6.50 m ³ /s	Q	6.01 m ³ /s
V	1.34 m/s	V	1.32 m/s

Le tableau ci-dessous synthétise les paramètres et le métré du canal d'amenée

Tableau 52 – Paramètres du canal d'amenée

Paramètres	Unité	Valeur
Matériau	-	Béton
Avant dessableur : Dimension intérieures – Rectangulaire (bxh)	m	3.5 x 1.88
Après dessableur : Dimension intérieures – Rectangulaire (bxh)	m	3.3 x 1.88
Débit de projet	m ³ /s	6.50
Pente	m/m	0.0005
Manning	-	0.014
Hauteur d'eau	m	1.38
Cote fond de canal départ prise	m	877.02
Longueur bief #1 jusque dessableur	m	240
Cote fond de canal arrivée dessableur	m	876.91
Cote fond de canal sortie dessableur	m	876.88
Longueur bief #2 jusque partiteur	m	106
Cote fond de canal partiteur	m	876.83
Cote plan d'eau entrée partiteur	m	878.21

Tableau 53 – Métré pour la réalisation du canal d'amenée

Num	Description	Unité	Quantité
212	Déblais en terrain varié y/c débroussaillage	m ³	5 580.7
213.2	Déblais en terrain rocheux y/c débroussaillage	m ³	3 128.7
304	Remblais technique contigu pour ouvrages	m ³	350.5
341	Béton de propreté dosé à 150 kg de ciment par m ³	m ³	165.9
344	Béton armé dosé à 350 kg de ciment par m ³	m ³	1 509.1
351	Maçonnerie de moellons au mortier de ciment y compris sable de propreté	m ³	72.0
371	Bande d'étanchéité de type water stop pour joints de construction	ml	1 500.0
372	Bande d'étanchéité de type water stop pour joints de dilatation	ml	140.0
634	Vanne de partiteur 1.5x1.7 (fourniture et pose, y compris béton 2è phase anti retrait)	pce	3.0
643	Garde-corps pour passerelle (hauteur=1.10m, fixation sur poutre tous les mètres, double barre horizontale)	ml	7.0
651.5	Batardeau 2.5x2.2 y compris cadre (fourniture et pose, y compris béton 2è phase anti-retrait)	ff	2.0
651.6	Batardeau 3.05x2.2 y compris cadre (fourniture et pose, y compris béton 2è phase anti-retrait)	ff	2.0

8.2.3 Dimensionnement du dessableur

▪ Principe de dimensionnement

Le principe du dimensionnement du dessableur est de déterminer la longueur nécessaire pour que les particules solides d'une taille donnée décantent jusqu'au fond. Ces particules sont ensuite évacuées à travers des vannes de chasse.

Pour ce faire, la vitesse dans le dessableur doit être réduite en augmentant la section d'écoulement. Le dessableur est conçu en deux compartiments dont chacun véhicule 3 m³/s.

La vitesse de chaque particule véhiculée par l'écoulement comporte 2 composantes :

- l'une horizontale correspondant à la vitesse de l'écoulement ;
- et l'autre verticale due à son poids propre mais auquel s'oppose la poussée d'Archimède. Pour déterminer, cette vitesse, on fait intervenir le coefficient de traînée pour lequel on suppose la forme de la particule comme sphérique. Cette vitesse est donnée par la formule :

$$V_p = \sqrt{\frac{4(\rho_p - \rho_w)gd}{3\rho_w C_D}}$$

Où :

- ρ_p et ρ_w sont respectivement les poids spécifiques de la particule (2600 kg/m³) et de l'eau (1000 kg/m³);
- d est le diamètre de la particule (0.3E-3 m);
- g : accélération de la pesanteur (9.77 m/s²)
- $C_D \equiv f_n(R_{ep})$ est le coefficient de traînée donné par le graphique ci-dessous;
- Et le nombre de Reynolds de la particule: $R_{ep} = \rho_w V_p d / \mu$

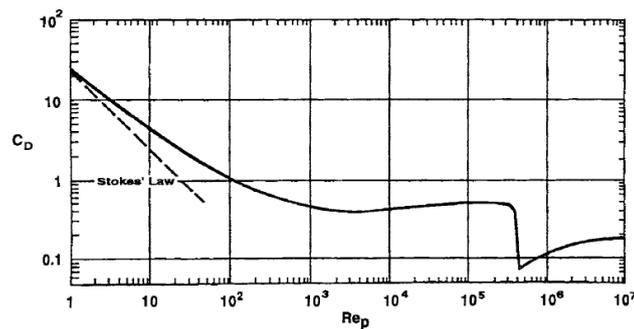


Figure 39 - Coefficient de traînée pour une particule sphérique

▪ Dimensions du dessableur

Le tableau ci-dessous synthétise les paramètres et le métré du dessableur.

Tableau 54 – Paramètres dimensionnels du dessableur

Paramètres	Unité	Valeur
Matériau	-	Béton armé
Longueur divergent	m	11.70
Longueur bassin décantation	m	38.0
Profondeur bassin décantation	m	3.95
Nombre de bassins	-	2
Largeur bassin	m	3.2
Diamètre minimum des particules captées	mm	0.3
Vannes de sectionnement (bxh)	m	(4) - 1.55 x 1.65
Vannes de chasse (bxh)	m	(2)- 0.5 x 0.5

Tableau 55 – Métré pour la réalisation du dessableur

Num	Description	Unité	Quantité
212	Déblais en terrain varié y/c débroussaillage	m ³	3 288.0
213.1	Déblais en terrain dur y/c débroussaillage	m ³	822.0
304	Remblais technique contigu pour ouvrages	m ³	417.6
341	Béton de propreté dosé à 150 kg de ciment par m ³	m ³	42.4
344	Béton armé dosé à 350 kg de ciment par m ³	m ³	961.3
351	Maçonnerie de moellons au mortier de ciment y compris sable de propreté	m ³	49.8
371	Bande d'étanchéité de type water stop pour joints de construction	ml	54.0
632	Vanne de chasse dessableur 0.5x0.5 (fourniture et pose, y compris béton 2è phase anti retrait)	pce	2.0
633	Vanne pour dessableur 1.55x1.65 (fourniture et pose, y compris béton 2è phase anti retrait)	pce	4.0
643	Garde-corps pour passerelle (hauteur=1.10m, fixation sur poutre tous les mètres, double barre horizontale)	ml	29.6
646	Fourniture et pose d'échelle en acier galvanisé	pce	1.0

8.2.4 Aire de parking et bâtiment d'opérateur / gardiennage

Une aire de parking de 605 m² est prévue à côté du dessableur. Elle sera équipée d'une barrière qui permettra le contrôle de l'accès des véhicules au canal d'amenée et à la prise.

Un bâtiment de gardiennage, adjacent au parking, de 12.8 x 8.0 m, comprendra un bureau, un débarras, 2 chambres, une toilette / douche et une cuisine – ce bâtiment fera partie des installations de chantiers et sera ensuite utilisé pour l'opérateur

8.2.5 Dimensionnement du partiteur

Le partiteur permettra le partage du débit du canal d'amenée entre les deux rives. Le partiteur est conçu de manière à permettre une flexibilité de choix des débits pour alimenter chaque rive moyennant une régulation de vannes prévues à sa sortie. Une plateforme d'exploitation est prévue pour permettre la manipulation des vannes et des batardeaux.

À la fin des travaux, et avant réception du projet, un calibrage est nécessaire afin de déterminer avec exactitude la hauteur d'ouverture des vannes pour les tranches de débits choisies.

Le partiteur est muni également de batardeaux en cas de maintenance ou de réparation des vannes. Comme pour les vannes, un calibrage du nombre de batardeau avec les débits correspondant est nécessaire.

Théoriquement, le débit permis par l'ouverture de vanne est régi par la formule suivante :

$$Q = C_c \times h \times B \times \sqrt{2g \times (H - C_c \times h)} = 22m^3/s$$

Où :

Q : Débit (m³/s)

C_c : Coefficient de Contraction, égal à 0.6

h : Hauteur d'ouverture (m)

B : Largeur d'ouverture (m)

H : Hauteur d'eau amont de la vanne (m)

g : accélération de la pesanteur égale à 9.77 m/s²

À titre d'exemple, le calcul théorique nous permet d'estimer les valeurs d'ouverture suivantes pour une vanne de la rive droite :

h (m)=	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.56
Q (m ³ /s)=	0.76	1.49	2.18	2.83	3.44	3.78

Le partiteur est muni d'un déversoir en amont des vannes en cas de fermeture urgente de celle-ci alors que la prise est ouverte. Ce déversoir servira aussi si le débit sortant choisi est inférieur au débit admis à travers la prise. Cette différence de débit est déversée sur un coursier en marches d'escalier en moellons vers la rivière.

Tableau 56 – Paramètres dimensionnels du partiteur

Paramètres	Unité	Valeur
Matériau	-	Béton armé
Vanne de sectionnement (bxh) – CTM-RG	m	2.5x1.88
Vanne de sectionnement (bxh) – CTM-RD	m	(2) 2.5x1.88
Déversoir latéral amont partiteur	m	27
Longueur coursier (maçonnerie de moellons)	m	27.5

Le métré du partiteur est compris dans celui du canal d'amenée.

8.2.6 Dimensionnement de l'aqueduc CTM-RD sur la Kaburantwa

L'ouvrage est réalisé en béton armé. La section du canal de forme rectangulaire est dimensionnée avec la formule Manning exposée plus haut.

Un coursier, en marches d'escalier à l'aval du partiteur permet de rejoindre l'ouvrage

L'ouvrage repose sur des piles en béton armé, espacées de 8 m et de 7 m de haut au maximum.

La conception pour le dimensionnement structurel du canal considère ce dernier comme une poutre continue en « U » composée de 7 travées et qui repose sur des appuis simples (les piles). Comme en témoigne le diagramme de déformation et la cartographie des contraintes ci-dessous, le radier du canal est principalement sollicité par les moments en travée, et les couvertures conçues au droit des appuis sont conçues afin de reprendre les contraintes des moments en appuis.

Figure 40 - Diagramme de déformation

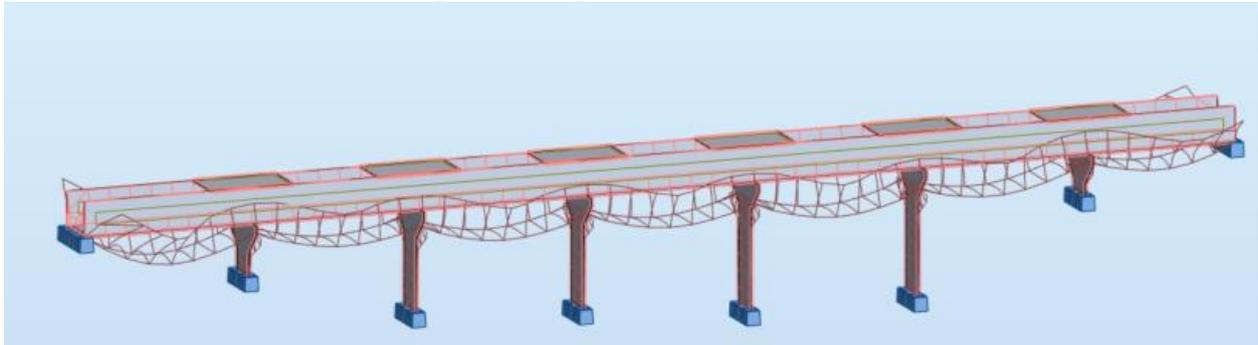
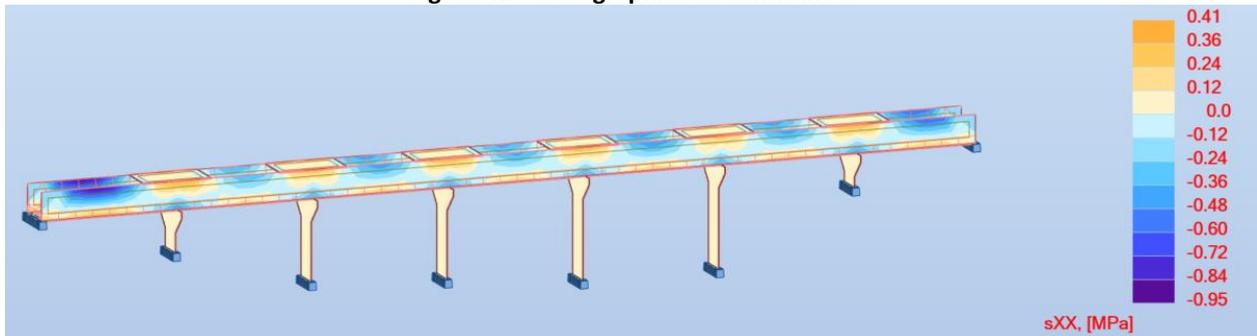


Figure 41 - Cartographie des contraintes



Une passerelle avec garde-corps pour piétons est prévue pour permettre le passage entre les deux rives de la rivière. Le tableau ci-dessous synthétise les paramètres et le métré pour la réalisation de l'aqueduc sur la Kaburantwa.

Tableau 57 – Paramètres dimensionnels pour la réalisation de l'aqueduc sur la Kaburantwa

Paramètres	Unité	Valeur
Matériau	-	Béton
Longueur totale	m	57.5
Nombre de piles / travées	m	(7) – 7
Débit transitant	m ³ /s	3.878
Pente	m	0.0005
Manning	m	0.014
Section intérieure (bxh)	m	2.25 x 1.70
Hauteur d'eau	m	1.43

Tableau 58 – Métré pour la réalisation de l'aqueduc sur la Kaburantwa

Num	Description	Unité	Quantité
205	Dérivation temporaire pour construction d'ouvrage en rivière	ff	1.0
212	Déblais en terrain varié y/c débroussaillage	m ³	555.8
213.1	Déblais en terrain dur y/c débroussaillage	m ³	139.0
304	Remblais technique contigu pour ouvrages	m ³	151.2
341	Béton de propreté dosé à 150 kg de ciment par m ³	m ³	17.5
344	Béton armé dosé à 350 kg de ciment par m ³	m ³	249.3
351	Maçonnerie de moellons au mortier de ciment y compris sable de propreté	m ³	19.4
643	Garde-corps pour passerelle (hauteur=1.10m, fixation sur poutre tous les mètres, double barre horizontale)	ml	115.0

8.2.7 Dimensionnement des siphons (franchissement Kansega par CTM-RG et Kagengwa CTM-RD)

▪ Calcul de la submergence à l'entrée des conduites

L'entrée de la conduite est encastrée dans les murs de la chambre de mise en charge. Elle doit être suffisamment immergée afin d'éviter un entrainement d'air par effet de vortex.

Le calcul de la profondeur minimale de la génératrice supérieure de la conduite par rapport au niveau du plan d'eau, est réalisé à l'aide de la formule de Gordon :

$$s = c \times v \times \sqrt{D}$$

Où :

- S : est la profondeur de submergence, en m, telle que définie ci-dessus ;
- C : est un coefficient, pris égal à 0.54 (cas symétrique) ;
- V : vitesse de l'écoulement dans la conduite, en m/s ;
- D : diamètre de la conduite.

Les résultats de calcul sont les suivants :

Rive gauche	Rive droite
V : 1.97 m/s	V : 3.34 m/s
D : 1.2 m	D : 1.2 m
S=1.17 m	S=1.98 m

▪ Traitement des pertes de charge linéaires dans les siphons

Les pertes de charges linéaires dans les conduites, en charge, des siphons sont calculées à l'aide de la formule de Darcy-Weissbach :

$$HL_f = f \times \frac{L * V^2}{2 \times g \times D}$$

Où:

- L : Longueur de la conduite;
- V : Vitesse de l'écoulement ;
- g : Accélération de la gravité;
- D : Diamètre intérieur de la conduite;
- f : Coefficient de frottement ; calculé itérativement par le biais de la formule de Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \times \log_{10} \times \left(\frac{e/D}{3.7} + \frac{2.51}{R_e \times \sqrt{f}} \right)$$

Où "e" est la rugosité de la paroi du tuyau, prise égale à 0.1 mm. Cette valeur étant conservatrice et correspond à une paroi de conduit neuve.

et R_e le nombre de Reynolds, calculé par la formule de Reynolds suivante:

$$R_e = \frac{V \times D}{\mu_k}$$

Où μ_k est la viscosité cinématique de l'eau, prise égale à $1.31 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ (à 10 °C).

▪ Traitement des pertes de charge singulières dans les siphons

Les pertes de charge singulières sont calculées pour les coudes et les extrémités des conduites à l'aide de la formule :

$$HL_i = K \times \frac{V^2}{2 \times g}$$

Où :

- V est la Vitesse, en m/s;
- g l'accélération de la gravité, en m/s²
- K est le coefficient de perte de charge singulières obtenu à partir de la littérature

▪ Résultats des pertes de charge

Tableau 59 – Pertes de charge dans les siphons en rive gauche et droite

Pertes de charge	Rive gauche	Rive droite
Perte de charge linéaire (m)	0.28	4.61
Perte de charge singulière (m)	0.64	0.32
Pertes de charge totales	0.92	4.92
Perte de charge totale avec majoration (1.15)	1.06	5.66

Les tableaux ci-dessous synthétisent les paramètres et les métrés pour la réalisation des siphons.

Tableau 60 – Paramètres dimensionnels pour la réalisation du siphon en rive droite (Kagengwa)

Paramètres	Unité	Valeur
Matériau conduite /DN /PN	-	Acier DN1200 PN6
Longueur	m	792
Cote plan d'eau départ	m	871.49
Cote plan d'eau sortie	m	864.18
Débit transitant	m ³ /s	3.78
Dénivelée / Pertes de charge	m	7 >5.66

Tableau 61 – Métré pour la réalisation du siphon en rive droite (Kagengwa)

Num	Description	Unité	Quantité
212	Déblais en terrain varié y/c débroussaillage	m ³	6 279.7
213.1	Déblais en terrain dur y/c débroussaillage	m ³	1 569.9
253	Lit de sable 10 cm d'épaisseur pour pose pour conduites	m ³	135.0
304	Remblais technique contigu pour ouvrages	m ³	6 135.2
341	Béton de propreté dosé à 150 kg de ciment par m ³	m ³	17.9
344	Béton armé dosé à 350 kg de ciment par m ³	m ³	137.9
1201	Conduite acier soudé DN1200 PN6 (fourniture et pose)	ml	843.9
1204	Vanne de vidange DN200 PN6 (fourniture et pose)	pièce	1.0

Tableau 62 – Paramètres dimensionnels pour la réalisation du siphon en rive gauche (Kansega)

Paramètres	Unité	Valeur
Matériau conduite /DN /PN	-	Acier DN1200 PN6
Longueur	m	135.5
Cote plan d'eau départ	m	874.24
Cote plan d'eau sortie	m	872.99
Débit transitant	m ³ /s	2.23
Dénivelée / Pertes de charge	m	1.25- > 1.06

Tableau 63 – Métré pour la réalisation du siphon en rive gauche (Kansega)

Num	Description	Unité	Quantité
212	Déblais en terrain varié y/c débroussaillage	m ³	725.8
213.2	Déblais en terrain rocheux y/c débroussaillage	m ³	181.4
341	Béton de propreté dosé à 150 kg de ciment par m ³	m ³	23.9
343	Béton dosé à 350 kg de ciment par m ³	m ³	193.7
344	Béton armé dosé à 350 kg de ciment par m ³	m ³	226.3
1201	Conduite acier soudé DN1200 PN6 (fourniture et pose)	ml	135.5
1202	Adaptateur Viking Johnson DN1200 PN6 (fourniture et pose)	U	7.0
1203	Berceau métallique de support de conduite DN1200 (fourniture et pose)	ml	7.0
1204	Vanne de vidange DN200 PN6 (fourniture et pose)	pièce	1.0

8.2.8 Canal tête morte en rive droite

Le canal tête morte en rive droite sera construit en maçonnerie de moellons véhiculera un débit de 3.82 m³/s sur une longueur de 3 252 m et une pente de 0.5/1000.

Le canal est de section sub-rectangulaire avec les parois intérieures très légèrement inclinées (0.1 m sur toute la hauteur)

En amont, il est connecté à la sortie de l'aqueduc permettant le franchissement de la Kaburantwa, tandis qu'en aval, il se termine à l'entrée du siphon inversé permettant le franchissement de la Kagengwa.

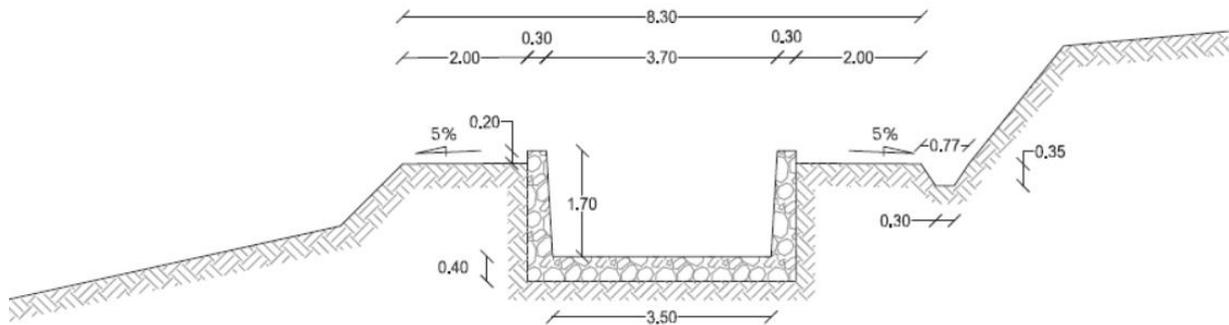
Une plateforme est réalisée préalablement à l'implantation du canal. La largeur de la plateforme est telle qu'elle déborde de 2 m de part et d'autre du canal en plus de l'emprise nécessaire à la mise en place d'un drain en pied de talus permettant de récolter et d'évacuer l'eau de ruissellement. Ce drain a une largeur au plafond de 0.30 m, une profondeur de 0.35 m et des pentes de talus (h/v) de 2/3.

Le radier du canal a une épaisseur de 0.40 m, les murs ont une épaisseur de 0.40 m à la base et 0.30 m au sommet. La plateforme est arrasée à 0.20 m en dessous du sommet des murs du canal. La hauteur de revanche est prise égale à ~20% de la hauteur d'eau maximale dans le canal. Le dimensionnement se fait par l'équation de Manning. Le tableau ci-dessous présente le détail du dimensionnement.

Tableau 64 – Dimensionnement du CTM-RD

Paramètres	Unité	Valeur
Revêtement		Maçonnerie
Section		Rectangulaire
Coef. Manning	[-]	0.025
Débit équipement	[m ³ /s]	3.82
Largeur au plafond	[m]	3.50
Largeur en gueule	[m]	3.70
Hauteur d'eau	[m]	1.39
Pente de talus (h/v) intérieur	[m/m]	0.06
Pente longitudinale	[m/m]	0.0005
Vitesse d'écoulement	[m/s]	0.75
Revanche	[m]	0.31
Hauteur totale	[m]	1.70

La figure ci-dessous présente la coupe en travers type du canal tête morte en rive droite.

Figure 42 – Coupe en travers type du canal tête morte en rive droite

La protection du canal de tête morte sera réalisée de part et d'autre de son emprise sur une bande de 5 m végétalisée avec du vétiver (densité 0.5 x 0.5 m) et une haie vive d'Umunyari (Euphorbe - 1 plant par mètre), ce qui représente une superficie protégée de 3 ha, 117 400 plants de vétiver et 5 870 pieds d'Umunyari.

En raison de sa profondeur (~1.7 m), le canal sera en outre équipé de garde-corps tout le long des traversées des villages, soit environ 400 m.

Enfin, pour faciliter le passage d'une rive à l'autre du canal, des passerelles en béton armé équipées de garde-corps sont prévues tous les 500 m soit 7 passerelles.

Le tableau ci-dessous présente le métré récapitulatif pour l'ensemble des travaux sur le canal tête morte en rive droite.

Tableau 65 – Métré des travaux pour la réalisation du CTM-RD

Num	Description	Unité	Quantité
212	Déblais en terrain varié y/c débroussaillage	m ³	50 288.4
213.1	Déblais en terrain dur y/c débroussaillage	m ³	12 572.1
222	Remblais en provenance d'emprunts	m ³	3 875.6
344	Béton armé dosé à 350 kg de ciment par m ³	m ³	6.3
351	Maçonnerie de moellons au mortier de ciment y compris sable de propreté	m ³	9 353.5
643	Garde-corps pour passerelle (hauteur=1.10m, fixation sur poutre tous les mètres, double barre horizontale)	ml	428.7
1004.0	Zone tampon 5 m - Haie Umunyari + vétiver	ml	3 250.0

A intervalle régulier, l'eau drainée par le contre-drain est renvoyée vers la vallée en franchissant le canal tête morte. Le franchissement se fait par un ouvrage de type buse sous canal. Cet ouvrage est présenté dans le cahier des plans.

Ces ouvrages sont prévus à raison de 1 ouvrage tous les 300 m de canal environ. Ces ouvrages ainsi que leur paramètres dimensionnels sont présentés dans le cahier des plans. L'implantation de ces ouvrages est détaillée dans le profil en long du CTM-RD présenté dans le cahier des plans.

Les tableaux ci-dessous donnent les paramètres, le nombre et le métré de cet ouvrage.

Tableau 66 – Paramètres dimensionnels - Buse sous canal pour le drainage des eaux de ruissellement en amont du CTM-RD

Paramètres	Unité	Valeur
Largeur au plafond du canal	[m]	3.50
Hauteur du canal	[m]	1.70
Hauteur d'enfouissement du canal	[m]	1.20
Epaisseur radier canal (MM)	[m]	0.40
Epaisseur mur canal (MM)	[m]	0.30
Emprise de la plateforme en rive droite	[m]	2.00
Emprise de la plateforme en rive gauche	[m]	2.00
Diamètre buse	[m]	0.80
Profondeur buse sous plateforme	[m]	2.85
Longueur buse	[m]	8.10
Nombre d'ouvrages	[-]	8.00

Tableau 67 – Métré pour la réalisation des buses sous canal pour le drainage des eaux de ruissellement en amont du CTM-RD

Métré			
Num	Description	Unité	Quantité
301	Fouilles d'ouvrages en terrain meuble	m ³	333.6
302.2	Fouilles d'ouvrages en terrain dur	m ³	1 334.2
304	Remblais technique contigu pour ouvrages	m ³	414.5
351	Maçonnerie de moellons au mortier de ciment y compris sable de propreté	m ³	104.9
413	Fourniture et pose de buses en béton armé DN 800	ml	59.9

Le canal croise 5 axes d'écoulement temporaires (PM 0+505, PM 0+931, PM 1+048, PM 1+290, PM 2+088). En fonction de la topographie et des dimensions du thalweg, le passage de ces écoulements sous le canal se fait soit au moyen des buses décrites ci-dessus soit au moyen d'un aqueduc reposant sur un dalot en béton armé.

Etant donné le débit d'équipement du canal, l'ouvrage aqueduc- dalot est composé d'un canal de section rectangulaire en béton armé posé sur un dalot simple ou double également en béton armé. Cet ouvrage est présenté dans le cahier des plans. Le tableau ci-dessous présente les principales caractéristiques de l'ouvrage et le métré des travaux nécessaires à la réalisation des 5 ouvrages.

Les tableaux ci—dessous présentent les paramètres dimensionnels et le métré de ces ouvrages

Tableau 68 – Paramètres dimensionnels des Aqueducs- Dalots pour le CTM-RD

Paramètres	Unité	Valeur
Nombre d'ouvrages	[-]	5
Canal supérieur		
Largeur au plafond	[m]	3.5
Pente talus (h/v)	[m/m]	0
Hauteur du canal	[m]	1.7
Pente longitudinale	[m/m]	0.0005
Dalot sous canal		
Longueur dalot	[m]	4.0
Largeur dalot	[m]	2.5
Hauteur dalot	[m]	1.7

Tableau 69 – Métré pour la réalisation des Aqueducs- Dalots pour le CTM-RD

Num	Description	Unité	Quantité
301	Fouilles d'ouvrages en terrain meuble	m ³	92.3
302.2	Fouilles d'ouvrages en terrain dur	m ³	369.2
321.1	Enrochements de protection - moellons de 20 à 30 kg	m ³	43.4
322	Fourniture et pose de gabions	m ³	28.8
385	Fourniture et pose de géotextile équivalent bidim® S51 ou Kaytech® U34	m ²	57.5

Le canal croise également 2 pistes d'une largeur de 6 m (PM 2+635, PM 3+025). Un dalot en béton armé est installé pour le passage du canal sous chacune de ces pistes. Le dalot est de section rectangulaire avec un convergent à l'entrée et un divergent à la sortie du dalot pour adapter les sections respectives du canal et du dalot.

Les tableaux ci-dessous présentent les principales caractéristiques de l'ouvrage et le métré des travaux nécessaires à la réalisation de ces ouvrages.

Tableau 70 – Caractéristiques des dalots pour passage CTM-RD sous pistes

Paramètres	Unité	Valeur
Nombre d'ouvrages	-	2
Nombre de dalots par ouvrage	-	1
Longueur dalot	m	4.0
Largeur dalot	m	2.5
Hauteur dalot	m	1.7

Tableau 71 – Métré pour la réalisation des dalots pour passage CTM-RD sous pistes

Métré			
Num	Description	Unité	Quantité
301	Fouilles d'ouvrages en terrain meuble	m ³	49.1
302.2	Fouilles d'ouvrages en terrain dur	m ³	196.3
344	Béton armé dosé à 350 kg de ciment par m ³	m ³	42.41

8.2.9 Canal tête morte en rive gauche

Le canal tête morte en rive gauche est composé de plusieurs biefs :

- Bief #1 – 2 196 l/s - PM 0+000 – 3+750. Ce bief commence après le partiteur en aval du dessableur et se termine à la première prise pour irriguer des terres adjacentes dans la colline Kiryama
- Bief #2 – 2 124 l/s - PM 3+750 – 5+415. Ce bief se termine à la deuxième prise pour irriguer les terres adjacentes dans les collines de Kiryama et Mubanga.
- Bief #3 – 2 016 l/s - PM 5+415 – 6+735. Ce bief se termine à la troisième prise après être passé par le village Mubanga au 6+210.

Au village Mubanga la piste d'accès qui longe le CTM-RG depuis la prise d'eau, rejoint une piste existante qui sera reprofilée sur 800 m et recouverte d'une couche de roulement latéritique.

Le terrassement prévu pour la piste d'accès le long du CTM-RG et le reprofilage de la piste existante sont compris dans ceux du CTM-RG dans la mesure où ces travaux seront réalisés concomitamment.

- Bief #4 – 1 944 l/s - PM 6+735 – 7+725. Ce bief ne comporte que le canal (sans piste adjacente) et se prolonge jusqu'à l'entrée du siphon installé pour le franchissement de la Kansega.

- Bief #5 : 1 944 l/s, longueur 140 m démarre de la sortie du siphon installé pour le franchissement de la Kasenga jusqu'au début du CP04, le premier canal primaire en rive gauche.

Comme cela est expliqué plus haut Entre les PM 0+000 et 6+210, le canal est longé par une piste qui permet l'accès aux infrastructures de prise (voir 8.5.1). Le canal est creusé dans une plateforme réalisée préalablement et dont la largeur est définie par

- le talus côté aval (2 m),
- l'emprise totale du canal 3.1 m),
- la bande de circulation de la piste (4 m)
- et l'emprise totale d'un fossé installé en pied de talus.

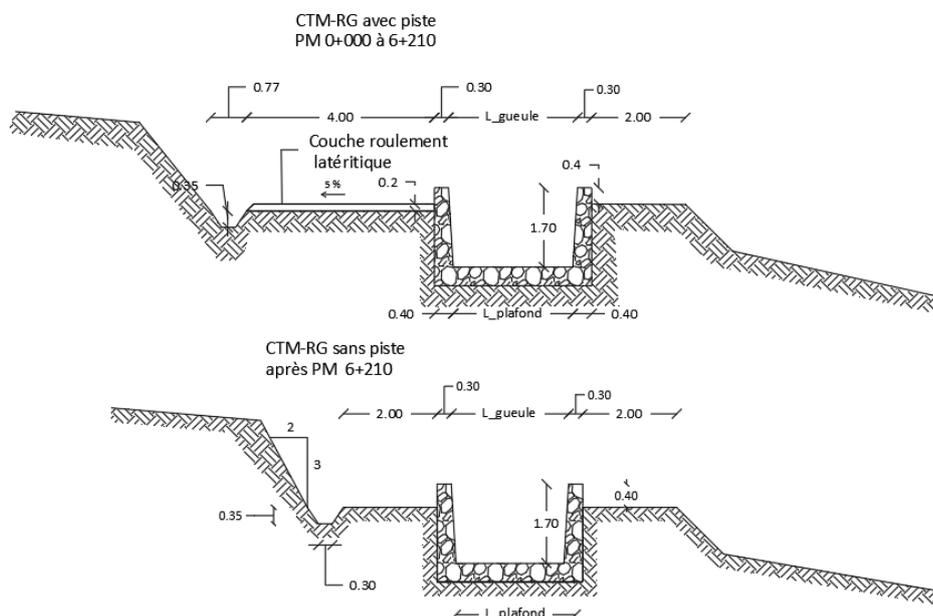
Le radier du canal a une épaisseur de 0.40 m, les murs ont une épaisseur de 0.40 m à la base et 0.30 m au sommet. La plateforme est arrasée à 0.20 m en dessous du sommet des murs du canal. La hauteur de revanche est prise égale à 0.30 m au-dessus de la hauteur d'eau maximale dans le canal. Le dimensionnement se fait par l'équation de Manning. Le tableau ci-dessous présente le détail du dimensionnement.

Tableau 72 – Dimensionnement du CTM-RG en amont de la Kasenga

Paramètres	Unité	Bief #01	Bief #02	Bief #03	Bief #04	Bief #05
Revêtement	-	Maçonnerie de moellons				
Section	-	Sub-rectangulaire				
Coef. Manning	-	0.025				
Débit équipement	m ³ /s	2.196	2.124	2.016	1.944	1.944
Largeur au plafond	m	2.32	2.25	2.17	2.10	2.10
Largeur en gueule	m	2.52	2.45	2.37	2.30	2.30
Hauteur d'eau	m	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
Pente de talus (h/v)	m/m	0.006				
Pente longitudinale	m/m	0.0005				
Revanche	m	0.3				
Hauteur totale	m	1.7				

La figure ci-dessous présente la coupe en travers type du canal tête morte en rive gauche.

Figure 43 – Coupe en travers type du canal tête morte en rive gauche



La protection du canal de tête morte sera réalisée de part et d'autre de son emprise sur une bande de 5 m végétalisée avec du vétiver (densité 0.5 x 0.5 m) et une haie vive d'Umunyari (Euphorbe - 1 plant par mètre), ce qui représente une superficie protégée de 7.8 ha, 308 000 plants de vétiver et 15 400 pieds d'Umunyari.

En raison de sa profondeur (~1.7 m), le canal sera en outre équipé de garde-corps tout le long des traversées des villages, soit environ 550 m.

Enfin, pour faciliter le passage d'une rive à l'autre du canal, des passerelles en béton armé équipées de garde-corps sont prévues tous les 500 m soit 16 passerelles.

Le tableau ci-dessous présente le métré récapitulatif pour l'ensemble des travaux sur le canal tête morte en rive droite.

Tableau 73 – Métré pour la réalisation du canal CTM-RG

Métré			
Num	Description	Unité	Quantité
212	Déblais en terrain varié y/c débroussaillage	m ³	116 004.4
213.2	Déblais en terrain rocheux y/c débroussaillage	m ³	29 001.1
222	Remblais en provenance d'emprunts	m ³	4 719.1
223	Remblais en grande masse en provenance d'emprunts	m ³	8.7
301	Fouilles d'ouvrages en terrain meuble	m ³	602.7
331.1	Perré sec de protection de 0.20 m sur couche de pose de 0.10 m de gravier tout venant	m ²	26.1
344	Béton armé dosé à 350 kg de ciment par m ³	m ³	14.4
351	Maçonnerie de moellons au mortier de ciment y compris sable de propreté	m ³	18 833.9
643	Garde-corps pour passerelle (hauteur=1.10m, fixation sur poutre tous les mètres, double barre horizontale)	ml	615.6
704	Couche de roulement en latérite de 0.2m pour plateforme de 5m	ml	1 427.0
701	Mise en forme de la plateforme - nouvelle piste	ml	800.0
1001	Fascine	ml	20.0
1002	Protection en vétiver (écartement 0.15*0.25)	m ²	40.0
1003	Pied de bambou pour renforcement vétiver	pce	40.0
1004.0	Zone tampon 5 m - Haie Umunyari + vétiver	ml	7 865.0

Le canal croise 28 axes d'écoulement. Le passage de ces écoulements sous le canal se fait soit au moyen des buses décrites ci-dessus soit au moyen d'un aqueduc reposant sur un dalot en fonction de la largeur de l'axe à franchir. Etant donné le débit d'équipement du canal, l'ouvrage aqueduc/dalot est composé d'un canal de section rectangulaire en béton armé posé sur un dalot simple ou double également en béton armé. Cet ouvrage est présenté dans le cahier des plans.

Le canal croise également 6 pistes, un dalot en béton armé est installé pour le passage du canal sous chacune de ces pistes. Le dalot est de section rectangulaire avec un convergent à l'entrée et un divergent à la sortie du dalot pour adapter les sections respectives du canal et du dalot.

Le tableau ci-dessous présente le métré des travaux nécessaires à la réalisation de ces différents ouvrages de drainage et de franchissement dont les principales caractéristiques de ces ouvrages sont présentées dans le cahier des plans.

Tableau 74 – Métré pour la réalisation des buses et aqueducs- dalots de drainage sous le CTM-RG

Num	Description	Unité	Quantité
301	Fouilles d'ouvrages en terrain meuble	m ³	1 487.0
302.2	Fouilles d'ouvrages en terrain dur	m ³	4 391.9
304	Remblais technique contigu pour ouvrages	m ³	1 553.6
321.1	Enrochements de protection - moellons de 20 à 30 kg	m ³	71.0
322	Fourniture et pose de gabions	m ³	47.0
344	Béton armé dosé à 350 kg de ciment par m ³	m ³	666.0
351	Maçonnerie de moellons au mortier de ciment y compris sable de propreté	m ³	273.6
385	Fourniture et pose de géotextile équivalent bidim® S51 ou Kaytech® U34	m ²	94.0
413	Fourniture et pose de buses en béton armé DN 800	ml	153.4

8.3 Réseau d'irrigation

Le réseau d'irrigation est dimensionné sur base des besoins en eau du Riz de 150 jours.

Pour rappel (8.1.4), les canaux situés le plus bas dans la hiérarchie sont dimensionnés en considérant le besoin en eau du Riz 150 j « à la parcelle » en saison B, c'est-à-dire 2.0 l/s/ha. Les canaux de niveau supérieur (canaux primaires principalement) sont dimensionnés en considérant le besoin en eau du Riz 150 j « au périmètre » en saison A/B. Il s'agit d'un débit de 1.45 l/s/ha.

Les levés topographiques détaillés réalisés sur la zone à aménager ont permis de tracer l'ensemble du réseau de canaux primaires, secondaires, tertiaires et quaternaires ainsi que les arroseurs.

Suivant la qualité des terrains de fondation, certains tronçons de canaux seront revêtus pour limiter le risque de pertes par infiltration. Pour la zone de l'aménagement se situant en rive droite de la Kaburantwa, il s'agit des canaux dont les sols de fondation sont de type régosol typique. Pour la zone de l'aménagement se situant en rive gauche de la Kaburantwa, il s'agit des canaux dont la fondation est un sol de type régosol eutrophe. Les investigations à la tarière sur les fondations des canaux principaux ont permis de déterminer la nécessité au pas de les revêtir. Les profils réalisés, les types de sols rencontrés et les biefs qui doivent être revêtus sont présentés dans les profils en long repris dans le cahier des plans annexé au rapport.

8.3.1 Débits de dimensionnement et terrassements des canaux d'irrigation

Les superficies irriguées et les gabarits des canaux correspondant aux débits de projets du réseau primaire, et secondaire, tertiaire, quaternaire et arroseurs sont présentés dans les tableaux des pages suivantes.

Le réseau d'irrigation est constitué de canaux en terre et de canaux revêtus quand les sols sont trop perméables. Les canaux sont réalisés principalement en déblais, les sections en remblais sont autant que possible minimisées. Le cas échéant, les terres en déblais seront utilisées pour la confection des diguettes et cavaliers. Les tableaux des pages suivantes présentent les quantités de terrassements estimées pour les réseaux primaires, secondaires, tertiaires et quaternaires. Le tableau des pages suivantes présente les quantités de terrassement et de revêtement prévues.

Les sections revêtues des canaux primaires ont été déterminées sur base d'investigations géotechniques à la tarière présentées en annexe. Ces investigations visaient essentiellement à repérer la présence de couches perméables ou à faible cohésion caractérisées par la présence de sable. Les sections sont localisées sur les profils en long des canaux primaires. La décision finale de revêtir ces biefs sera prise lorsque les fouilles des biefs concernés auront été exécutées et que les risques d'infiltration trop élevée auront été confirmés.

Le cas échéant le revêtement sera réalisé avec une maçonnerie de moellons de 0.30 m d'épaisseur. Les quantités correspondantes sont prises en compte dans le métré relatif aux travaux sur les canaux.

Tableau 75 – Réseau d'irrigation – Débit de dimensionnement, quantités de terrassement et revêtement des canaux

Canal	Sup	Longueur	Débit d'équipement	Déblais	Remblais de déblais	Remblais de d'emprunt	Revêtement	Arroseurs	
	ha.							m	l/s
Aménagement	2 546.1	145 571		97 674	30 699	612	10 129	139 728	26 083
Rive Droite	1 599.9	93 590	3 816.0	65 287	21 885	460	5 666	88 574	16 534
Jardins	96.5								
Bloc_CTM-RD	16.8	180		42	20	-	-	1 140	213
CS_RD_01	16.8	180	36.0	42	20	-	-	1 140	213
Bloc_01	453.7	29 057		33 998	8 834	-	228	26 836	5 009
CP01	453.7	4 017	3 780.0	22 932	4 414	-	228	-	-
CS01.01	278.5	4 016	792.0	3 593	1 909	-	-	15 748	2 940
CT01.01.01	68.1	1 105	180.0	534	171	-	-	-	-
<i>CQ01.01.01a</i>	14.3	400	36.0	109	50	-	-	-	-
<i>CQ01.01.01b</i>	11.6	415	36.0	121	39	-	-	-	-
<i>CQ01.01.01c</i>	16.8	425	36.0	145	27	-	-	-	-
<i>CQ01.01.01d</i>	12.8	505	36.0	130	76	-	-	-	-
<i>CQ01.01.01e</i>	12.6	500	36.0	150	37	-	-	-	-
CT01.01.02	29.1	1 225	72.0	396	168	-	-	-	-
CT01.01.03	20.7	960	72.0	328	83	-	-	-	-
CT01.01.04	22.0	670	72.0	177	138	-	-	-	-
<i>CQ01.01.04a</i>	8.5	210	36.0	100	12	-	-	-	-
CT01.01.05	7.3	300	36.0	103	24	-	-	-	-
CT01.01.06	65.2	680	180.0	262	128	-	-	-	-
<i>CQ01.01.06a</i>	16.0	770	36.0	223	91	-	-	-	-
<i>CQ01.01.06b</i>	12.5	375	36.0	266	35	-	-	-	-
<i>CQ01.01.06c</i>	12.8	420	36.0	116	39	-	-	-	-
<i>CQ01.01.06d</i>	12.8	430	36.0	143	29	-	-	-	-
<i>CQ01.01.06e</i>	11.1	430	36.0	137	44	-	-	-	-
CT01.01.07	10.1	435	36.0	167	20	-	-	-	-

Canal	Sup ha.	Longueur m	Débit d'équipement l/s	Déblais m ³	Remblais de déblais m ³	Remblais de d'emprunt m ³	Revêtement m ³	Arroseurs	
								m	m ³
CT01.01.08	46.2	483	144.0	317	79	-	-	-	-
CT01.01.08a	16.7	760	36.0	209	69	-	-	-	-
CT01.01.08b	8.6	510	36.0	215	56	-	-	-	-
CT01.01.09	9.8	855	36.0	221	113	-	-	-	-
CS01.02	14.7	620	36.0	140	67	-	-	1 104	206
CS01.03	46.9	1 036	108.0	356	105	-	-	4 107	767
CS01.03a	8.2	-	36.0	-	-	-	-	-	-
CT01.03.01	21.4	570	36.0	303	40	-	-	-	-
CT01.02.02	14.8	195	36.0	48	29	-	-	-	-
CS01.03b	2.5	-	36.0	-	-	-	-	-	-
CS01.04	113.6	1 515	288.0	804	372	-	-	5 876	1 097
CT01.04.01	18.7	515	36.0	117	50	-	-	-	-
CT01.04.02	26.1	1 060	72.0	341	82	-	-	-	-
CT01.04.03	15.0	605	36.0	214	55	-	-	-	-
CT01.04.04	22.3	900	72.0	272	68	-	-	-	-
CT01.04.05	15.9	570	36.0	184	43	-	-	-	-
CT01.04.06	15.6	575	36.0	126	73	-	-	-	-
Bloc_02	621.8	33 793		16 004	7 014	458	4 041	34 385	6 418
CP02	621.8	5 265	1 476.0	6 915	2 506	15	3 332	-	-
CS02.01	153.2	1 550	396.0	954	541	-	-	8 393	1 567
CT02.01.01	13.6	420	36.0	114	47	-	-	-	-
CT02.01.02	4.8	250	36.0	69	26	-	-	-	-
CT02.01.03	26.6	850	72.0	222	119	-	-	-	-
CT02.01.04	26.8	940	72.0	242	104	-	-	-	-
CT02.01.05	22.0	900	72.0	226	110	-	-	-	-
CT02.01.06	24.3	875	72.0	226	108	-	-	-	-
CT02.01.07	35.1	920	72.0	221	122	-	-	-	-
CS02.02	105.3	1 000	252.0	404	384	-	-	5 093	951
CT02.02.01	14.2	540	36.0	106	80	-	-	-	-

Canal	Sup	Longueur	Débit d'équipement	Déblais	Remblais de déblais	Remblais de d'emprunt	Revêtement	Arroseurs	
	ha.							m	l/s
CT02.02.02	15.9	605	36.0	106	105	-	-	-	-
CT02.02.03	12.4	665	36.0	124	110	-	-	-	-
CT02.02.04	37.9	945	72.0	269	52	272	153	-	-
						25	59	-	-
CT02.02.05	24.9	890	72.0	264	75	-	-	-	-
CS02.03	17.8	585	36.0	173	49	-	-	881	165
CS02.04	47.8	1 145	108.0	519	105	22	60	2 539	474
CT02.04.01	8.7	325	36.0	117	36	-	-	-	-
CT02.04.02	11.0	610	36.0	162	64	-	-	-	-
CS02.05	39.0	660	108.0	171	61	-	-	1 761	329
CT02.05.01	24.5	435	72.0	119	103	-	-	-	-
CS02.06	62.4	515	144.0	191	75	-	-	3 271	611
CT02.06.01	15.6	545	36.0	139	43	-	-	-	-
CT02.06.02	35.3	1 110	72.0	304	133	-	-	-	-
CT02.06.03	11.5	370	36.0	96	30	-	-	-	-
CS02.07	79.4	1 521	252.0	867	492	-	-	4 947	924
CT02.07.01	17.2	710	36.0	167	111	-	-	-	-
CT02.07.02	32.2	345	108.0	131	64	-	-	-	-
<i>CQ02.07.02a</i>	<i>13.4</i>	<i>1 035</i>	<i>36.0</i>	<i>318</i>	<i>94</i>	<i>45</i>	<i>65</i>	<i>-</i>	<i>-</i>
<i>CQ02.07.02b</i>	<i>6.9</i>	<i>630</i>	<i>36.0</i>	<i>136</i>	<i>111</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>
CT02.07.03	7.1	450	36.0	103	43	-	-	-	-
CS02.08a	2.9	360	72.0	87	26	-	-	367	69
CS02.08b	8.2	600	36.0	178	15	-	-	796	149
CS02.09	33.2	654	72.0	238	50	5	54	2 132	398
CT02.09.01	7.2	180	36.0	31	29	-	-	-	-
CT02.09.02	4.8	280	36.0	116	1	-	-	-	-
CT02.09.03	8.6	283	36.0	52	31	-	-	-	-
CT02.09.04	12.6	190	36.0	40	22	-	-	-	-

Canal	Sup ha.	Longueur m	Débit d'équipement l/s	Déblais m ³	Remblais de déblais m ³	Remblais de d'emprunt m ³	Revêtement m ³	Arroseurs	
								m	m ³
CS02.10	44.0	250	108.0	104	73	-	-	2 242	419
CT02.10.01	16.8	530	36.0	118	75	-	-	-	-
CT02.10.02	27.2	1 160	72.0	404	388	51	231	-	-
CS02.11	28.6	1 030	72.0	245	112	-	-	1 963	366
CT02.11.01	16.1	670	36.0	217	87	22	86	-	-
BLOC_03	507.6	30 559		15 243	6 018	2	1 397	26 214	4 893
CP03	507.6	2 425	1 188.0	4 840	1 621	-	1 232	-	-
CS03.01	157.7	3 050	360.0	1 682	967	-	-	8 238	1 538
CT03.01.01	15.9	515	36.0	108	68	-	-	-	-
CT03.01.02	21.2	770	36.0	205	78	-	-	-	-
CT03.01.03	3.3	300	36.0	72	23	-	-	-	-
CT03.01.04	62.0	895	144.0	360	148	-	-	-	-
CT03.01.05	24.6	775	72.0	253	52	-	-	-	-
<i>CQ03.01.05a</i>	-	215	36.0	95	9	-	-	-	-
CT03.01.06	14.2	875	36.0	200	83	-	-	-	-
CT03.01.07	16.5	800	36.0	263	48	-	-	-	-
CS03.02	117.2	1 205	324.0	812	313	-	-	6 157	1 149
CT03.02.01	9.1	405	36.0	89	44	-	-	-	-
CT03.02.02	51.1	710	144.0	279	81	-	-	-	-
<i>CQ03.02.02a</i>	10.4	577	36.0	138	55	-	-	-	-
<i>CQ03.02.02b</i>	16.4	577	36.0	219	12	-	-	-	-
<i>CQ03.02.02c</i>	14.6	591	36.0	144	92	-	-	-	-
<i>CQ03.02.02d</i>	9.7	418	36.0	104	29	-	-	-	-
CT03.02.03	13.4	350	36.0	86	32	-	-	-	-
CT03.02.04	29.9	615	72.0	261	44	-	-	-	-
<i>CQ03.02.04a</i>	14.3	585	36.0	141	58	-	-	-	-
<i>CQ03.02.04b</i>	15.6	665	36.0	155	62	-	-	-	-
CT03.02.05	13.7	881	36.0	519	23	-	-	-	-
CS03.03	232.7	2 780	540.0	1 654	886	-	-	11 819	2 206

Canal	Sup	Longueur	Débit d'équipement	Déblais	Remblais de déblais	Remblais de d'emprunt	Revêtement	Arroseurs	
	ha.							m	l/s
CT03.03.01	39.2	1 580	108.0	349	363	-	-	-	-
<i>CQ03.03.01a</i>	8.5	310	36.0	144	38	-	-	-	-
CT03.03.02	25.2	315	72.0	82	19	-	-	-	-
CT03.03.03	21.6	900	36.0	141	135	-	-	-	-
CT03.03.04	33.0	370	72.0	115	15	-	-	-	-
<i>CQ03.03.04a</i>	14.1	518	36.0	127	47	-	-	-	-
<i>CQ03.03.04b</i>	18.9	610	36.0	175	32	-	-	-	-
CT03.03.05	16.3	936	36.0	192	105	-	-	-	-
CT03.03.06	36.3	517	72.0	179	94	-	-	-	-
<i>CQ03.03.06a</i>	9.0	389	36.0	110	14	-	-	-	-
<i>CQ03.03.06b</i>	19.9	443	36.0	142	33	-	-	-	-
<i>CQ03.03.06c</i>	7.4	470	36.0	90	72	-	-	-	-
CT03.03.07	15.3	968	36.0	316	70	-	-	-	-
CT03.03.08.01	9.9	530	36.0	94	91	-	-	-	-
CT03.03.08.02	35.9	725	72.0	307	62	2	165	-	-
Rive Gauche	946.2	51 981	2 196.0	32 387	8 814	151	4 463	51 154.1	9 548.8
Jardins									
Bloc_CTM-RG	130.3	4 296		2 267	217	-	-	6 158.5	1 149.6
CS_RG_01	33.9	1 376	72.0	708	21	-	-	6 158.5	1 149.6
CS_RG_02	62.1	1 450	144.0	862	131	-	-	-	-
<i>CT_RG_02_01</i>	17.7	850	36.0	255	66	-	-	-	-
CS_RG_03	34.3	620	72.0	442	-	-	-	-	-
Bloc_04	185.3	9 604		5 792	1 691	-	888	7 930.8	1 480.4
CP04	185.3	566	1 944.0	1 500	415	-	888	-	-
CS04.01	145.7	1 750	360.0	1 239	724	-	-	6 380.1	1 191.0
CT04.01.01	25.0	218	72.0	61	12	-	-	-	-
<i>CQ04.01.01a</i>	8.2	260	36.0	63	40	-	-	-	-
<i>CQ04.01.01b</i>	16.8	580	36.0	124	59	-	-	-	-

Canal	Sup	Longueur	Débit d'équipement	Déblais	Remblais de déblais	Remblais de d'emprunt	Revêtement	Arroseurs	
	ha.							m	l/s
CT04.01.02	22.3	175	72.0	49	15	-	-	-	-
<i>CQ04.01.02a</i>	11.5	460	36.0	145	4	-	-	-	-
<i>CQ04.01.02b</i>	10.8	275	36.0	72	15	-	-	-	-
CT04.01.03	58.6	2 565	144.0	1 468	255	-	-	-	-
CT04.01.04	37.1	860	72.0	331	60	-	-	-	-
CS04.02	39.6	500	108.0	173	41	-	-	1 550.7	289.5
CT04.02.01	15.9	575	36.0	242	7	-	-	-	-
CT04.02.02	12.9	450	36.0	193	6	-	-	-	-
CT04.02.03	10.8	370	36.0	131	40	-	-	-	-
Bloc_05	211.7	12 209		5 948	1 103	151	1 137	11 569.1	2 159.6
CP05	211.7	1 573	540.0	2 083	356	-	960	-	-
CS05.01	16.3	355	36.0	141	15	-	-	730.7	136.4
CS05.02	30.6	360	72.0	157	10	-	-	1 193.5	222.8
CT05.02.01	10.0	410	36.0	240	5	-	-	-	-
CT05.02.02	10.0	405	36.0	237	14	-	-	-	-
CT05.02.03	10.6	405	36.0	189	23	-	-	-	-
CS05.03	31.9	393	72.0	136	25	-	-	1 393.7	260.2
CT05.03.01	9.9	385	36.0	171	10	-	-	-	-
CT05.03.02	10.0	380	36.0	125	21	-	-	-	-
CT05.03.03	12.0	380	36.0	198	5	-	-	-	-
CS05.04	25.0	382	72.0	157	35	-	-	813.3	151.8
CT05.04.01	8.9	225	36.0	89	12	-	-	-	-
CT05.04.02	9.0	225	36.0	67	18	-	-	-	-
CT05.04.03	7.1	225	36.0	68	29	-	-	-	-
CS05.05	15.0	380	36.0	130	17	-	-	408.4	76.2
CS05.06	92.9	464	252.0	204	113	-	-	7 029.4	1 312.2
CT05.06.01	8.7	335	36.0	81	38	-	-	-	-
CT05.06.02	14.1	1 340	36.0	490	111	-	-	-	-
CT05.06.03	10.1	385	36.0	138	12	-	-	-	-

Canal	Sup	Longueur	Débit d'équipement	Déblais	Remblais de déblais	Remblais de d'emprunt	Revêtement	Arroseurs	
	ha.							m	l/s
CT05.06.04	34.1	407	72.0	183	12	-	-	-	-
<i>CQ05.06.04a</i>	17.6	740	36.0	191	30	47	46	-	-
<i>CQ05.06.04b</i>	9.0	280	36.0	86	10	-	-	-	-
CT05.06.05	16.7	840	36.0	202	88	-	-	-	-
CT05.06.06	9.2	935	36.0	185	93	104	131	-	-
Bloc_06	418.9	25 872		18 381	5 803	-	2 439	25 495.6	4 759.2
CP06	418.9	4 728	936.0	8 563	2 568	-	-	-	-
CS06.01	135.5	1 030	288.0	820	186	-	2 439	8 058.9	1 504.3
CT06.01.01	45.2	1 780	72.0	700	113	-	-	-	-
CT06.01.02	7.3	225	36.0	48	36	-	-	-	-
CT06.01.03	7.7	215	36.0	46	24	-	-	-	-
CT06.01.04	7.5	220	36.0	52	22	-	-	-	-
CT06.01.05	6.5	210	36.0	43	28	-	-	-	-
CT06.01.06	61.3	825	144.0	466	153	-	-	-	-
<i>CQ06.01.06a</i>	33.8	980	72.0	322	82	-	-	-	-
<i>CQ06.01.06b</i>	10.7	490	36.0	121	43	-	-	-	-
CS06.02	9.9	330	36.0	109	23	-	-	981.7	183.2
CS06.03	8.8	250	36.0	84	14	-	-	609.2	113.7
CS06.04	209.5	1 879	540.0	1 656	956	-	-	12 289.7	2 294.1
CT06.04.01	14.3	620	36.0	177	66	-	-	-	-
CT06.04.02	16.3	1 020	36.0	371	59	-	-	-	-
CT06.04.03	32.6	945	72.0	467	42	-	-	-	-
CT06.04.04	29.3	1 750	72.0	736	128	-	-	-	-
CT06.04.05	117.0	2 080	324.0	1 435	575	-	-	-	-
<i>CQ06.04.05a</i>	12.9	430	36.0	125	40	-	-	-	-
<i>CQ06.04.05b</i>	15.1	680	36.0	187	40	-	-	-	-
<i>CQ06.04.05c</i>	22.6	1 130	72.0	289	158	-	-	-	-
<i>CQ06.04.05d</i>	16.4	850	36.0	392	129	-	-	-	-
<i>CQ06.04.05e</i>	9.3	555	36.0	125	94	-	-	-	-

Canal	Sup ha.	Longueur m	Débit d'équipement l/s	Déblais m ³	Remblais de déblais m ³	Remblais de d'emprunt m ³	Revêtement m ³	Arroseurs	
								m	m ³
<i>CQ06.04.05f</i>	12.6	570	36.0	142	75	-	-	-	-
CS06.05	55.2	680	144.0	354	49	-	-	3 556.1	663.8
CT06.05.01	19.9	600	72.0	249	36	-	-	-	-
CT06.05.02	25.8	800	72.0	301	63	-	-	-	-

Tableau 76 – Ouvrages du réseau d'irrigation

Ouvrages réseau irrigation	Prises canaux primaires (CP)		Prises canaux secondaires (CS) / tertiaires (CT)		Chutes		Prises pour arroseurs		Aqueducs		Buses arroseurs	Dalot canaux	Passerelles
	Simple	Double	Simple	Double	CP	CS/CT/CQ	Simple	Double	AQ Simple	AQ Particuliers	BU	DC	PA
	PRCP- X1	PRCP- X2	PRCS/CT- X1	PRCS/CT- X2	CH- CP	CH-CS	PRAR- X1	PRAR- X2					
Aménagement	26	7	79	27	69	1 146	387	140	13	17	27	23	193
Rive Droite	14	4	52	21	45	535	252	86	10	10	23	15	120
Bloc_CTM-RD	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	2	-	-
Bloc_01	4	-	14	10	-	263	73	25	-	5	7	7	43
Bloc_02	8	3	14	8	32	170	105	38	1	2	1	4	41
Bloc_03	1	1	24	3	13	102	74	22	9	3	13	4	36
Rive Gauche	12	3	27	6	24	611	135	54	3	7	4	8	73
Bloc_CTM-RG	3	-	1	-	-	33	18	2	-	-	-	4	4
Bloc_04	3	-	6	1	-	118	24	5	-	-	1	2	16
Bloc_05	3	2	8	2	24	157	28	10	1	-	-	2	10
Bloc_06	3	1	12	3	-	303	65	37	2	7	3	-	43

8.3.2 Ouvrages du réseau d'irrigation

Le tableau de la page précédente présente l'inventaire des ouvrages prévus sur le réseau d'irrigation en rive droite et en rive gauche de la Kaburantwa.

Il est prévu de construire au total 2186 ouvrages sur le réseau d'irrigation dont 1219 sur les blocs en rive droite et 967 sur les blocs en rive gauche.

Le tableau de cotes variables et le métré détaillé de chaque ouvrage ainsi que leur position sur les profils en long sont présentés dans le cahier des plans types et le cahier des plans de chaque bloc.

Tableau 77 – Avant-Métré récapitulatif - Ouvrage du réseau d'irrigation – Rive Droite

Num	Description	Unité	Quantité
211	Déblais en terrain meuble y/c débroussaillage	m ³	88 574.4
221	Remblais tout venant	m ³	65 286.9
222	Remblais en provenance d'emprunts	m ³	21 884.7
301	Fouilles d'ouvrages en terrain meuble	m ³	13 275.2
304	Remblais technique contigu pour ouvrages	m ³	213.7
331.1	Perré sec de protection de 0.20 m sur couche de pose de 0.05 m de gravier tout venant	m ²	3 917.5
331.2	Perré sec de protection de 0.30 m sur couche de pose de 0.10 m de gravier tout venant	m ²	4.8
344	Béton armé dosé à 350 kg de ciment par m ³	m ³	475.0
351	Maçonnerie de moellons au mortier de ciment y compris sable de propreté	m ³	14 059.1
411	Fourniture et pose de buses en béton armé DN 600	ml	115.0
421	Fourniture et pose de tuyaux en PVC DN 110 mm PN 6	ml	127.2
510	Fourniture et pose de batardeaux en bois: 7 cm x h: 15 cm	ml	477.5
611	Fourniture et pose de vannette métallique (h x l x e): 150 x 150 x 5 mm	pce	46.0
612	Fourniture et pose de vannette métallique (h x l x e):250 x 250 x 5 mm	pce	77.0
613	Fourniture et pose de vanne métallique à crémaillère (h x l x e):500 x 500 x 5 mm	pce	28.0
614	Fourniture et pose de vanne métallique à crémaillère (h x l x e):750 x 750 x 5 mm	pce	9.0
644	Fourniture et pose d'échelle limnimétrique	ml	117.3
651	Fourniture et assemblage de profilés aciers (U/HEA selon plan) pour guides de batardeaux	kg	504.0

Tableau 78 – Avant-Métré récapitulatif - Ouvrage du réseau d'irrigation – Rive Gauche

Num	Description	Unité	Quantité
211	Déblais en terrain meuble y/c débroussaillage	m ³	51 154.1
221	Remblais tout venant	m ³	32 387.3
222	Remblais en provenance d'emprunts	m ³	8 814.1
301	Fouilles d'ouvrages en terrain meuble	m ³	9 654.1
304	Remblais technique contigu pour ouvrages	m ³	37.2
331.1	Perré sec de protection de 0.20 m sur couche de pose de 0.05 m de gravier tout venant	m ²	2 301.2
331.2	Perré sec de protection de 0.30 m sur couche de pose de 0.10 m de gravier tout venant	m ²	3.9
344	Béton armé dosé à 350 kg de ciment par m ³	m ³	133.5

Num	Description	Unité	Quantité
351	Maçonnerie de moellons au mortier de ciment y compris sable de propreté	m ³	10 539.6
411	Fourniture et pose de buses en béton armé DN 600	ml	20.0
421	Fourniture et pose de tuyaux en PVC DN 110 mm PN 6	ml	72.9
510	Fourniture et pose de batardeaux en bois: 7 cm x h: 15 cm	ml	270.5
611	Fourniture et pose de vannette métallique (h x l x e): 150 x 150 x 5 mm	pce	30.0
612	Fourniture et pose de vannette métallique (h x l x e):250 x 250 x 5 mm	pce	28.0
613	Fourniture et pose de vanne métallique à crémaillère (h x l x e):500 x 500 x 5 mm	pce	14.0
614	Fourniture et pose de vanne métallique à crémaillère (h x l x e):750 x 750 x 5 mm	pce	13.0
644	Fourniture et pose d'échelle limnimétrique	ml	54.0
651	Fourniture et assemblage de profilés aciers (U/HEA selon plan) pour guides de batardeaux	kg	214.0

8.3.3 Métré récapitulatif des travaux sur le réseau d'irrigation

Les tableaux ci-après présentent les métrés récapitulatifs des terrassements et des ouvrages du réseau d'irrigation en rive gauche et droite de la Kaburantwa.

Tableau 79 – Avant-Métré récapitulatif - Réseau d'irrigation – Rive Droite

Num	Description	Unité	Quantité
211	Déblais en terrain meuble y/c débroussaillage	m ³	88 574.4
221	Remblais tout venant	m ³	65 286.9
222	Remblais en provenance d'emprunts	m ³	21 884.7
301	Fouilles d'ouvrages en terrain meuble	m ³	13 311.3
304	Remblais technique contigu pour ouvrages	m ³	213.7
331.1	Perré sec de protection de 0.20 m sur couche de pose de 0.05 m de gravier tout venant	m ²	3 917.5
331.2	Perré sec de protection de 0.30 m sur couche de pose de 0.10 m de gravier tout venant	m ²	6.3
344	Béton armé dosé à 350 kg de ciment par m ³	m ³	488.2
351	Maçonnerie de moellons au mortier de ciment y compris sable de propreté	m ³	14 146.9
411	Fourniture et pose de buses en béton armé DN 600	ml	115.0
421	Fourniture et pose de tuyaux en PVC DN 110 mm PN 6	ml	127.2
510	Fourniture et pose de batardeaux en bois: 7 cm x h: 15 cm	ml	477.5
611	Fourniture et pose de vannette métallique (h x l x e): 150 x 150 x 5 mm	pce	46.0
612	Fourniture et pose de vannette métallique (h x l x e):250 x 250 x 5 mm	pce	77.0
613	Fourniture et pose de vanne métallique à crémaillère (h x l x e):500 x 500 x 5 mm	pce	28.0
614	Fourniture et pose de vanne métallique à crémaillère (h x l x e):750 x 750 x 5 mm	pce	9.0
644	Fourniture et pose d'échelle limnimétrique	ml	117.3
651	Fourniture et assemblage de profilés aciers (U/HEA selon plan) pour guides de batardeaux	kg	504.0

Tableau 80 – Avant-Métré récapitulatif - Réseau d'irrigation – Rive Gauche

Num	Description	Unité	Quantité
211	Déblais en terrain meuble y/c débroussaillage	m ³	51 154.1
221	Remblais tout venant	m ³	32 387.3
222	Remblais en provenance d'emprunts	m ³	8 814.1
301	Fouilles d'ouvrages en terrain meuble	m ³	9 661.2
304	Remblais technique contigu pour ouvrages	m ³	37.2
331.1	Perré sec de protection de 0.20 m sur couche de pose de 0.05 m de gravier tout venant	m ²	2 301.2
331.2	Perré sec de protection de 0.30 m sur couche de pose de 0.10 m de gravier tout venant	m ²	4.2
344	Béton armé dosé à 350 kg de ciment par m ³	m ³	136.3
351	Maçonnerie de moellons au mortier de ciment y compris sable de propreté	m ³	10 558.4
411	Fourniture et pose de buses en béton armé DN 600	ml	20.0
421	Fourniture et pose de tuyaux en PVC DN 110 mm PN 6	ml	72.9
510	Fourniture et pose de batardeaux en bois: 7 cm x h: 15 cm	ml	270.5
611	Fourniture et pose de vannette métallique (h x l x e): 150 x 150 x 5 mm	pce	30.0
612	Fourniture et pose de vannette métallique (h x l x e):250 x 250 x 5 mm	pce	28.0
613	Fourniture et pose de vanne métallique à crémaillère (h x l x e):500 x 500 x 5 mm	pce	14.0
614	Fourniture et pose de vanne métallique à crémaillère (h x l x e):750 x 750 x 5 mm	pce	13.0
644	Fourniture et pose d'échelle limnimétrique	ml	54.0
651	Fourniture et assemblage de profilés aciers (U/HEA selon plan) pour guides de batardeaux	kg	214.0

8.4 Réseau de drainage

Le réseau de drainage est constitué de drains collecteurs et des thalwegs du réseau hydrographique existant. Les drains collecteurs sont dimensionnés suivant les mêmes principes que les canaux d'irrigation le débit est la somme des débits respectifs générés par les superficies qu'ils drainent.

Les levés topographiques détaillés réalisés sur l'ensemble de la zone ont permis de tracer le réseau de drainage. Les drains collecteurs conduisent les eaux de drainage au réseau hydrographique existant en suivant un tracé le plus direct possible tout en respectant les contraintes topographiques. C'est pourquoi le réseau de drainage ne suit pas la même organisation que le réseau d'irrigation. En effet, un même drain collecteur peut récolter l'eau de plusieurs blocs. Le réseau de drainage est structuré selon le réseau hydrographique dont il est l'affluent, avec une numérotation des drains collecteurs de l'amont vers l'aval.

Tout comme les canaux d'irrigation, les profils des drains devront tenir compte des pentes importantes présentes sur certains tronçons. Des ouvrages de chutes ainsi que des ouvrages de franchissement, dalots et passerelles piétonnes, devront également être ajoutés au réseau de drainage. Finalement, des ouvrages de décharge sont présents là où le drain collecteur rejoint le réseau hydrographique existant. Ces ouvrages sont constitués de solutions basées sur la nature (NBS) avec un emploi de fascines, vétiver et bambou.

En rive droite il est prévu de réaliser les terrassements sur 4 drains collecteurs sur environ 8787 m. A ces travaux sur des nouveaux, s'ajoutent les travaux de protection des thalwegs existants, certains étant fortement érodés. En rive droite, il est ainsi prévu de protéger un linéaire de 1805 m de thalwegs.

En rive gauche la topographie est plus accentuée et le réseau hydrographique mieux marqué. Il n'est donc pas prévu d'ouvrir des drains en plus des thalwegs de drainage existants. Il est par contre nécessaire de protéger l'intégralité de la longueur de ces thalwegs car ils sont soumis à une érosion régressive active qui pourrait menacer à moyen terme le CP06. En rive gauche il est ainsi prévu de protéger un linéaire de 8081 m de thalwegs. Le détail est donné dans le tableau et à la figure ci-dessous.

Le traitement de protection de ces thalwegs consiste à placer des fascines tous les 25 m sur la largeur de l'axe d'écoulement suivie de 2m de plantation de vétiver en aval. Cette protection est complétée par la plantation de bambou sur les pieds de talus, en quinconce, tous les 5 m.

Les têtes de ravines sont protégées de l'érosion régressive par la mise en place d'un ouvrage en gradins de gabions suivi d'un bassin de dissipation. Le traitement des ravines est inclus dans les métrés récapitulatifs ci-dessous. La figure ci-dessous illustre l'emplacement des drains et thalwegs qui feront l'objet de travaux en rives droite et gauche.

Figure 44 – Réseau de drainage : localisation des drain et thalwegs

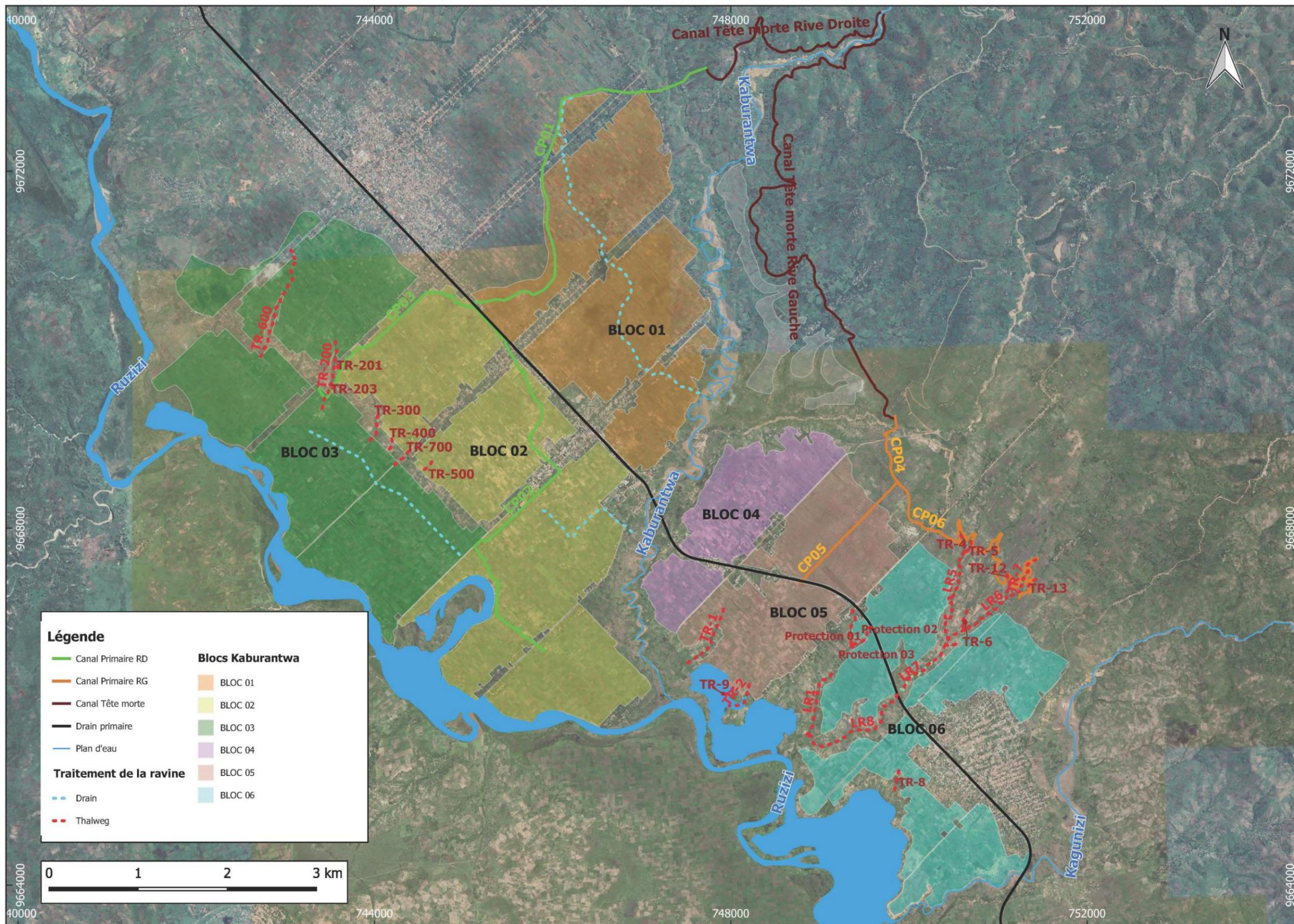


Tableau 81 – Protection des thalwegs en rives droite et gauche

Description	Longueur m	Protection Oui/Non/?	Longueur Protection m	Ouvrage Protection Oui/Non/?
Rive droite	3 270		1 875	
TR-200	843	Oui	485	Non
TR-201	85	Oui	84.8	Oui
TR-202	52	Oui	52	Oui
TR-203	71	Oui	71	Non
TR-204	32	Oui	32	Non
TR-300	341	Oui	341	Oui
TR-400	118	Non	0	Non
TR-500	124	Oui	124	Non
TR-600	1 371	Oui	685.5	Non
TR700	233	Non	0	Non
Rive gauche	9 178		8 081	
LR1	625	Oui	312	Non
LR5	1 175	Oui	1175	Non
LR6	874	Oui	874	Non
LR7	1 026	Oui	1026	Non
LR8	1 400	Oui	1400	Non
Prot0-1	411	Oui	274	Non
Prot -02	342	Non	0	Non
Prot- 03	29	Non	0	Non
TR-01	842	Oui	842	Non
TR-02	388	Oui	388	Non
TR-04	212	Oui	212	Oui
TR-05	167	Oui	166.9	Non
TR-06	237	Oui	180	Oui
TR-07	467	Oui	467	Non
TR-08	232	oui	150	Non
TR-09	121	oui	120	Non
TR-10	54	Oui	54	Non
TR-11	53	Oui	53	Non
TR-12	249	Oui	166	Non
TR-13	159	Oui	106	Non
TR-14	116	Oui	116	Oui
TR-300	341	Oui	341	Oui
TR-400	118	Non	118	Non
TR-500	124	Oui	124	Non
TR-600	1 371	Oui	685.5	Non
TR700	233	Non	233	Non

8.4.1 Débits de dimensionnement des drains

Les superficies drainées et les gabarits des drains collecteurs correspondants, en rive droite de la Kaburantwa, sont présentés dans le tableau ci-dessous. Comme cela est expliqué plus haut, le réseau de drainage de la rive gauche de la Kaburantwa utilise les thalwegs existants qui ne doivent pas être recalibrés

Tableau 82 –Réseau de drainage en rive droite de la Kaburantwa : Synthèse superficies drainées et débits de projet

Nom	De	A	Longueur m	Aire BV amont ha	Q amont l/s
DS01	0+000	1+650	1 650	164.6	324
	1+650	2+100	450	342	684
	2+100	3+175	1 075	406.5	828
	3+175	3+750	575	492.8	972
	3+750	4+483	733	588.4	1188
DS02	0+000	2+450	2 450	-	36
DS03	0+000	1+384	1 384	26.6	72
RN01	0+000	0+470	1 346	213.2	36

8.4.2 Terrassement des drains

Le réseau de drainage est constitué de canaux en terre. Les canaux sont réalisés principalement en déblais, les sections en remblais sont autant que possible minimisées, le cas échéant, les terres en déblais seront utilisées pour la confection des diguettes et cavaliers.

Les tableaux ci-dessous présentent les quantités de terrassements, en rive droite de la Kaburantwa, estimées pour le réseau de drains collecteurs. Il n'y a pas de terrassements prévus pour la rive gauche comme expliqué plus étant donné que le réseau hydrographique naturel est utilisé pour cette partie-là.

Tableau 83 – Avant-Métré récapitulatif - Travaux de terrassements sur le réseau de drainage en rive droite de la Kaburantwa

Code	Description	Unité	Quantité
211	Déblais en terrain meuble y/c débroussaillage	m ³	8 853
222	Remblais en provenance d'emprunts	m ³	2 535

8.4.3 Ouvrages du réseau de drainage

Sur le réseau de drainage il est prévu de réaliser 32 ouvrages de chute afin de maintenir la vitesse d'écoulement inférieure à 1 m/s. Les dalots, buses, aqueduc etc. qui doivent être construits à l'intersection du réseau de drainage (existant ou à construire) avec les réseaux d'irrigation et de circulation sont déjà compris dans leurs inventaires relatifs

8.4.4 Métré récapitulatif des travaux sur le réseau de drainage

Les tableaux ci-après présentent les métrés récapitulatifs des terrassements et des ouvrages du réseau de drainage en rive gauche et droite de la Kaburantwa.

Tableau 84 - Avant-Métré récapitulatif - Réseau de drainage en rive droite de la Kaburantwa

Num	Description	Unité	Quantité
211	Déblais en terrain meuble y/c débroussaillage	m ³	8 852.6
221	Remblais tout venant	m ³	2 535.1
301	Fouilles d'ouvrages en terrain meuble	m ³	701.0
322	Fourniture et pose de gabions	m ³	72.0
331.1	Perré sec de protection de 0.20 m sur couche de pose de 0.05 m de gravier tout venant	m ²	991.8
344	Béton armé dosé à 350 kg de ciment par m ³	m ³	22.2
351	Maçonnerie de moellons au mortier de ciment y compris sable de propreté	m ³	1 398.1
385	Fourniture et pose de géotextile équivalent Bidim® S51 ou Kaytech® U34	m ²	108.0
1001	Fascine	ml	275.0
1002	Protection en vétiver (écartement 0.15*0.25)	m ²	550.0
1003	Pied de bambou pour renforcement vétiver	pce	525.0

Tableau 85 - Avant-Métré récapitulatif: Ouvrages sur le réseau de drainage en rive gauche de la Kaburantwa

Num	Description	Unité	Quantité
301	Fouilles d'ouvrages en terrain meuble	m ³	27.0
322	Fourniture et pose de gabions	m ³	108.0
385	Fourniture et pose de géotextile équivalent Bidim® S51 ou Kaytech® U34	m ²	162.0
1001	Fascine	ml	1 655.0
1002	Protection en vétiver (écartement 0.15*0.25)	m ²	3 310.0
1003	Pied de bambou pour renforcement vétiver	pce	3 239.0

8.5 Réseau de circulation

8.5.1 Piste d'accès à la prise

La piste le long du CTM-RG sera réalisée en même temps que ce dernier. Les travaux sont donc inclus dans ceux présentés plus haut dans la section relative au CTM-RG (8.2.9).

Ces caractéristiques sont les suivantes:

- Bande de circulation de 4 m présentant une pente latérale de -5 % vers le fossé en pied de talus;
- Fossé le long de la piste côté talus de 0.5 m de profondeur.
- La piste est recouverte d'une couche de roulement en latérite de 15 cm d'épaisseur.

L'accès à la piste du CTM-RG se fait depuis la piste existante menant au site de chantier de la centrale KABU-16. Juste après le franchissement de la Kansega, une piste praticable part vers la gauche pour rejoindre le village Mubanga (sur la transversale 2 de la trame 4). Cette piste est en bon état et ne nécessite qu'une réhabilitation légère sur toute sa longueur avec un reprofilage et une couche de latérite. Ces travaux sont prévus dans le cadre de l'aménagement de la piste d'accès à la prise et sont déjà pris en compte dans cette rubrique.

8.5.2 Réhabilitation des pistes transversales

Les visites diagnostic et d'APS ont mis en évidence l'état variables des pistes transversales. En effet, certaines pistes ont fait l'objet d'une réhabilitation récente, avec plus de 90% de leur tronçon en bon état, et ne nécessitent pas d'intervention supplémentaires. Le tableau ci-dessous présente les pistes retenues pour une intervention de réhabilitation ou pour un nouveau tracé.

Tableau 86 - Liste des pistes transversales soumises à une intervention

N° transversale	Orientation RN5	Rive Kaburantwa	Code	Longueur totale (m)	Etat		Intervention
					Bon		
					Long. (m)	%	
Transversale 3	Sud	Droite	SD-TR3	2 561	1 452	57%	Oui
Transversale 4	Sud	Droite	SD-TR4	3 016	0	0%	Oui
Transversale 4	Nord	Droite	ND-TR4	3 087	2 834	92%	Non
Transversale 5	Sud	Droite	SD-TR5	3 386	1 562	46%	Oui
Transversale 5	Nord	Droite	ND-TR5	2 353	0	0%	Oui
Transversale 6	Sud	Droite	SD-TR6	3 419	3 202	94%	Non
Transversale 6	Nord	Droite	ND-TR6	1 889	1 720	91%	Non
Transversale 7	Sud	Droite	SD-TR7	3 206	146	5%	Oui
Transversale 3	Sud	Gauche	SG-TR3	919	919	100%	Non
Transversale 3	Nord	Gauche	NG-TR3	2 508	2 468	98%	Non
Transversale 4	Sud	Gauche	SG-TR4	1 539	0	0%	Oui
Transversale 4	Nord	Gauche	NG-TR4	1 450	1 450	100%	Non
Transversale 5	Sud	Gauche	SG-TR5	1 291	848	66%	Oui
Transversale 5	Nord	Gauche	NG-TR5	2 071	0	0%	Oui
Total				32 695	16 601	51%	19 423

Les interventions retenues pour le chiffrage des travaux de réhabilitation de la piste sont :

- La mise en place d'une couche de roulement latéritique de 0.2m d'épaisseur ;
- Le reprofilage d'une piste existante avec mise en forme de la plateforme ;
- La profilage d'une nouvelle piste avec mise en forme de la plateforme ;
- La réalisation de fossés triangulaires de profondeur 0.5m de part et d'autre de la piste ;
- La réalisation de caniveau rectangulaire revêtu (0.4 x 0.4 m) de part et d'autre de la piste si la pente longitudinale est supérieure à 1% ;
- La création de fossé divergeant d'une longueur de 10 m et d'une profondeur de 0.5 m tous les 200 m ;

- La réalisation de dalots sous piste de dimensions variables au croisement des axes de drainage.

Les tableaux suivants présentent les travaux et ouvrages prévus en rive gauche et droite de la Kaburantwa. Les ouvrages à l'intersection avec le réseau d'irrigation (buses, dalots) sont déjà pris en compte dans ce dernier.

Les profils en long des pistes avec les ouvrages prévus sont présentés dans le cahier des plans.

Tableau 87 - Interventions sur les pistes transversales en rive droite de la Kaburantwa

Code	Description	Unité	SD-TR3	SD-TR4	SD-TR5	ND-TR5	SD-TR7
703	Déblais pour plateforme de piste	m ³	4 076	3 870	4 619	2 977	4 293
711	Remblais pour plateforme de piste en provenance d'emprunt	m ³	1 029	575	972	291	355
721	Couche de roulement latéritique	m ³	2 310	2 437	2 554	1 793	2 256
351	Maçonnerie de moellons au mortier de ciment, y compris sable de propreté	m ³	873	593	484	338	572
	Dalot pour piste (dimensions variables)	pce	2	3	1	1	3
	Buse pour piste (dimensions variables)	pce	-	1	3	-	-
	Pont sur piste (dimensions variables)	pce	1	1	-	-	-

Tableau 88 – Interventions sur les pistes transversales en rive gauche de la Kaburantwa

Code	Description	Unité	SG-TR4	SG-TR5	NG-TR5
703	Déblais pour plateforme de piste	m ³	2 245	1 935	2 300
711	Remblais pour plateforme de piste en provenance d'emprunt	m ³	593	259	675
721	Couche de roulement latéritique	m ³	1 178	990	1 358
351	Maçonnerie de moellons au mortier de ciment, y compris sable de propreté	m ³	238	387	541
	Dalot pour piste (dimensions variables)	pce	3	2	1
	Buse pour piste (dimensions variables)	pce	-	-	1
	Pont sur piste (dimensions variables)	pce	-	-	0

Métré récapitulatif des travaux sur les pistes**Tableau 89 – Avant-Métré récapitulatif - interventions sur les pistes transversales en rive droite de la Kaburantwa**

Num	Description	Unité	Quantité
301	Fouilles d'ouvrages en terrain meuble	m ³	3 237.0
304	Remblais technique contigu pour ouvrages	m ³	37.2
331.1	Perré sec de protection de 0.20 m sur couche de pose de 0.05 m de gravier tout venant	m ²	9.0
331.2	Perré sec de protection de 0.30 m sur couche de pose de 0.10 m de gravier tout venant	m ²	60.0
343	Béton dosé à 350 kg de ciment par m ³	m ³	1.8
344	Béton armé dosé à 350 kg de ciment par m ³	m ³	38.8
351	Maçonnerie de moellons au mortier de ciment y compris sable de propreté	m ³	3 201.2
411	Fourniture et pose de buses en béton armé DN 600	ml	20.0
702	Déblais pour plateforme de piste	m ³	19 360.4
703	Remblais pour plateforme en provenance d'emprunt	m ³	3 221.3
704	Couche de roulement en latérite pour plateforme	m ³	11 349.4
714	Fossé divergent vers exutoire de longueur 10m et profondeur 0.5m (par ml de piste)	m ³	472.9

Tableau 90 - Avant-Métré récapitulatif : interventions sur les pistes transversales en rive gauche de la Kaburantwa

Num	Description	Unité	Quantité
301	Fouilles d'ouvrages en terrain meuble	m ³	1 255.1
304	Remblais technique contigu pour ouvrages	m ³	9.3
331.1	Perré sec de protection de 0.20 m sur couche de pose de 0.05 m de gravier tout venant	m ²	2.3
344	Béton armé dosé à 350 kg de ciment par m ³	m ³	15.6
351	Maçonnerie de moellons au mortier de ciment y compris sable de propreté	m ³	1 306.4
411	Fourniture et pose de buses en béton armé DN 600	ml	5.0
702	Déblais pour plateforme de piste	m ³	6 333.3
703	Remblais pour plateforme en provenance d'emprunt	m ³	1 526.3
704	Couche de roulement en latérite pour plateforme	m ³	3 525.0
714	Fossé divergent vers exutoire de longueur 10m et profondeur 0.5m (par ml de piste)	m ³	146.9

8.6 Devis estimatif

Le dossier financier confidentiel annexé présente le devis estimatif général par parties des aménagements :

- Infrastructures de mobilisation de la ressource en eau jusqu'aux périmètres irrigués en rives droite et gauche de la Kaburantwa:
 - le seuil de dérivation et la prise d'eau,
 - le canal d'amenée jusqu'au dessableur,
 - le dessableur,
 - le canal d'amenée entre le dessableur et le partiteur CTM-RG / CTM-RD,
 - Les canaux de tête morte en rive droite et gauche, la piste d'accès (couplée au CTM-RG) ainsi que les différents ouvrages de franchissement (aqueduc, siphons, dalots, buses et pont-dalots)

- Les aménagements proposés en rive droite de la Kaburantwa:
 - les réseaux d'irrigation et de drainage, ainsi que les mesures de protection et de stabilisation des ravines et thalwegs dans les superficies aménagées,
 - et la réhabilitation des pistes transversales.

- Les aménagements proposés en rive gauche de la Kaburantwa:
 - les réseaux d'irrigation et de drainage, ainsi que les mesures de protection et de stabilisation des ravines et thalwegs dans les superficies aménagées,
 - enfin la réhabilitation des pistes transversales.

Les tableaux des pages suivantes présente le devis quantitatif des différentes parties de l'aménagement.

8.6.1 Infrastructures pour la mobilisation de la ressource en eau

- Infrastructures de mobilisation de la ressource en eau jusqu'aux périmètres irrigués en rives droite et gauche de la Kaburantwa:
 - le seuil de dérivation et la prise d'eau,
 - le canal d'amenée jusqu'au dessableur et au partiteur CTM-RG / CTM-RD,
 - le dessableur et le partiteur.
 - Les canaux de tête morte en rive droite et gauche, la piste d'accès (couplée au CTM-RG) ainsi que les différents ouvrages de franchissement (aqueduc, siphons, dalots, buses et pont-dalots)

Tableau 91 – Devis quantitatif – Infrastructures pour la mobilisation de la ressource en eau

Num	Description	Unité	Quantité
100	Généralités		
103	Installation de chantier Type 3 - grand aménagement – Génie Civil	ff	1.0
111	Fourniture des plans de recollement	ff	1.0
112	Repli de chantier	ff	1.0
113	Construction d'un abri pour opérateur et gardiennage	ff	1.0
200	Terrassements		
205	Dérivation temporaire pour construction d'ouvrage en rivière	ff	2.0
212	Déblais en terrain varié y/c débroussaillage	m ³	184 152.3
213.1	Déblais en terrain dur y/c débroussaillage	m ³	15 103.0
213.2	Déblais en terrain rocheux y/c débroussaillage	m ³	32 882.1
222	Remblais en provenance d'emprunts	m ³	8 594.7
223	Remblais en grande masse en provenance d'emprunts	m ³	8.7
253	Lit de sable 10 cm d'épaisseur pour pose pour conduites	m ³	135.0
300	Ouvrages en pierres, bétons et maçonneries		
301	Fouilles d'ouvrages en terrain meuble	m ³	2 564.7
302.2	Fouilles d'ouvrages en terrain dur	m ³	6 291.6
304	Remblais technique contigu pour ouvrages	m ³	9 145.6
321.1	Enrochements de protection - moellons de 20 à 30 kg	m ³	114.4
322	Fourniture et pose de gabions	m ³	1 125.8
331.1	Perré sec de protection de 0.20 m sur couche de pose de 0.05 m de gravier tout venant	m ²	26.1
341	Béton de propreté dosé à 150 kg de ciment par m ³	m ³	315.4
343	Béton dosé à 350 kg de ciment par m ³	m ³	193.7
344	Béton armé dosé à 350 kg de ciment par m ³	m ³	4 466.1
351	Maçonnerie de moellons au mortier de ciment y compris sable de propreté	m ³	28 707.1
371	Bande d'étanchéité de type water stop pour joints de construction	ml	1 554.0
372	Bande d'étanchéité de type water stop pour joints de dilatation	ml	140.0
385	Fourniture et pose de géotextile équivalent Bidim® S51 ou Kaytech® U34	m ²	1 826.5
400	Buses et tuyauteries		
413	Fourniture et pose de buses en béton armé DN 800	ml	213.3
600	Accessoires métalliques, vannes		
630	Vanne de chasse pour seuil-barrage 1.2x1.2 (fourniture et pose, y compris béton 2ème phase anti-retrait)	pce	2.0
631	Vanne de prise 3.25x2.5 (fourniture et pose, y compris béton 2ème phase anti retrait)	pce	3.0
632	Vanne de chasse dessableur 0.5x0.5 (fourniture et pose, y compris béton 2ème phase anti retrait)	pce	2.0
633	Vanne pour dessableur 1.55x1.65 (fourniture et pose, y compris béton 2ème phase anti retrait)	pce	4.0

Num	Description	Unité	Quantité
634	Vanne de partiteur 2.5x1.9 (fourniture et pose, y compris béton 2ème phase anti retrait)	pce	3.0
640	Fourniture et pose de caillebotis métallique	m ²	7.9
642	Fourniture et pose de grilles métalliques	kg	200.0
643	Garde-corps pour passerelle (hauteur=1.10m, fixation sur poutre tous les mètres, double barre horizontale)	ml	1 217.3
646	Fourniture et pose d'échelle en acier galvanisé	pce	1.0
651.2	Batardeau 1.5 x 6.8 y compris cadre (fourniture et pose, y compris béton 2è phase anti-retrait)	ff	2.0
651.3	Batardeau 2.5 x 4.8 y compris cadre (fourniture et pose, y compris béton 2è phase anti-retrait)	ff	3.0
651.5	Batardeau 2.5 x 2.2 y compris cadre (fourniture et pose, y compris béton 2è phase anti-retrait)	ff	3.0
700	Pistes d'accès		
701	Mise en forme de la plateforme - reprofilage piste existante	ml	800.0
704	Couche de roulement en latérite pour plateforme	m ³	1 427.0
1000	Bio-ingénierie végétale		
1001	Fascine	ml	20.0
1002	Protection en vétiver (écartement 0.15*0.25)	m ²	2 140.0
1003	Pied de bambou pour renforcement vétiver	pce	40.0
1004	Zone tampon 5 m - Haie Umunyari + vétiver	ml	11 115.0
1200	Tuyauterie en acier et en fonte et raccords		
1201	Conduite acier soudé DN1200 PN6 (fourniture et pose)	ml	979.4
1202	Adaptateur Viking Johnson DN1200 PN6 (fourniture et pose)	U	7.0
1203	Berceau métallique de support de conduite DN1200 (fourniture et pose)	ml	7.0
1204	Vanne de vidange DN200 PN6 (fourniture et pose)	pièce	2.0

8.6.2 Aménagements rive droite de la Kaburantwa

- Les aménagements proposés en rive droite de la Kaburantwa:
 - les réseaux d'irrigation et de drainage, ainsi que les mesures de protection et de stabilisation des ravines et thalwegs dans les superficies aménagées,
 - et la réhabilitation des pistes transversales.

Tableau 92 – Devis quantitatif – Aménagements rive droite de la Kaburantwa

Num	Description	Unité	Quantité
100	Généralités		
102	Installation de chantier Type 2 - grand aménagement – Périmètre irrigué et piste	ff	1.0
111	Fourniture des plans de recollement	ff	1.0
112	Repli de chantier	ff	1.0
200	Terrassements		
211	Déblais en terrain meuble y/c débroussaillage	m ³	97 427.0
221	Remblais tout venant	m ³	67 821.9
222	Remblais en provenance d'emprunts	m ³	21 884.7
300	Ouvrages en pierres, bétons et maçonneries		
301	Fouilles d'ouvrages en terrain meuble	m ³	17 213.2
304	Remblais technique contigu pour ouvrages	m ³	250.9
322	Fourniture et pose de gabions	m ³	72.0
331.1	Perré sec de protection de 0.20 m sur couche de pose de 0.05 m de gravier tout venant	m ²	4 918.3

Num	Description	Unité	Quantité
331.2	Perré sec de protection de 0.30 m sur couche de pose de 0.10 m de gravier tout venant	m ²	64.8
343	Béton dosé à 350 kg de ciment par m ³	m ³	1.8
344	Béton armé dosé à 350 kg de ciment par m ³	m ³	536.0
351	Maçonnerie de moellons au mortier de ciment y compris sable de propreté	m ³	18 658.3
385	Fourniture et pose de géotextile équivalent Bidim® S51 ou Kaytech® U34	m ²	108.0
400	Buses et tuyauteries		
411	Fourniture et pose de buses en béton armé DN 600	ml	135.0
421	Fourniture et pose de tuyaux en PVC DN 110 mm PN 6	ml	127.2
500	Ouvrages en bois		
510	Fourniture et pose de batardeaux en bois l: 7 cm x h: 15 cm	ml	477.5
600	Accessoires métalliques, vannes		
611	Fourniture et pose de vannette métallique (h x l x e): 150 x 150 x 5 mm	pce	46.0
612	Fourniture et pose de vannette métallique (h x l x e) : 250 x 250 x 5 mm	pce	77.0
613	Fourniture et pose de vanne métallique à crémaillère (h x l x e) : 500 x 500 x 5 mm	pce	28.0
614	Fourniture et pose de vanne métallique à crémaillère (h x l x e) : 750 x 750 x 5 mm	pce	9.0
644	Fourniture et pose d'échelle limnimétrique	ml	117.3
651	Fourniture et assemblage de profilés aciers (U/HEA selon plan) pour guides de batardeaux	kg	504.0
700	Pistes d'accès		
702	Déblais pour plateforme de piste	m ³	19 360.4
703	Remblais pour plateforme en provenance d'emprunt	m ³	3 221.3
704	Couche de roulement en latérite pour plateforme	m ³	11 349.4
714	Fossé divergent vers exutoire de longueur 10m et profondeur 0.5m (par ml de piste)	m ³	472.9
1000	Bio-ingénierie végétale		
1001	Fascine	ml	275.0
1002	Protection en vétiver (écartement 0.15*0.25)	m ²	550.0
1003	Pied de bambou pour renforcement vétiver	pce	525.0

8.6.3 Aménagements rive gauche de la Kaburantwa

- Les aménagements proposés en rive gauche de la Kaburantwa:
 - les réseaux d'irrigation et de drainage, ainsi que les mesures de protection et de stabilisation des ravines et thalwegs dans les superficies aménagées,
 - enfin la réhabilitation des pistes transversales.

Tableau 93 – Devis quantitatif – Aménagements rive gauche de la Kaburantwa

Num	Description	Unité	Quantité
100	Généralités		
102	Installation de chantier Type 2 - grand aménagement	ff	1.0
111	Fourniture des plans de recollement	ff	1.0
112	Repli de chantier	ff	1.0
200	Terrassements		
211	Déblais en terrain meuble y/c débroussaillage	m ³	51 154.1
221	Remblais tout venant	m ³	32 387.3
222	Remblais en provenance d'emprunts	m ³	8 814.1
300	Ouvrages en pierres, bétons et maçonneries		
301	Fouilles d'ouvrages en terrain meuble	m ³	10 936.3
304	Remblais technique contigu pour ouvrages	m ³	46.5

Num	Description	Unité	Quantité
322	Fourniture et pose de gabions	m ³	108.0
331.1	Perré sec de protection de 0.20 m sur couche de pose de 0.05 m de gravier tout venant	m ²	2 303.5
331.2	Perré sec de protection de 0.30 m sur couche de pose de 0.10 m de gravier tout venant	m ²	3.9
344	Béton armé dosé à 350 kg de ciment par m ³	m ³	149.1
351	Maçonnerie de moellons au mortier de ciment y compris sable de propreté	m ³	11 846.0
385	Fourniture et pose de géotextile équivalent Bidim® S51 ou Kaytech® U34	m ²	162.0
400	Buses et tuyauteries		
411	Fourniture et pose de buses en béton armé DN 600	ml	25.0
421	Fourniture et pose de tuyaux en PVC DN 110 mm PN 6	ml	72.9
500	Ouvrages en bois		
510	Fourniture et pose de batardeaux en bois l: 7 cm x h: 15 cm	ml	270.5
600	Accessoires métalliques, vannes		
611	Fourniture et pose de vannette métallique (h x l x e): 150 x 150 x 5 mm	pce	30.0
612	Fourniture et pose de vannette métallique (h x l x e): 250 x 250 x 5 mm	pce	28.0
613	Fourniture et pose de vanne métallique à crémaillère (h x l x e): 500 x 500 x 5 mm	pce	14.0
614	Fourniture et pose de vanne métallique à crémaillère (h x l x e): 750 x 750 x 5 mm	pce	13.0
644	Fourniture et pose d'échelle limnimétrique	ml	54.0
651	Fourniture et assemblage de profilés aciers (U/HEA selon plan) pour guides de batardeaux	kg	214.0
700	Pistes d'accès		
702	Déblais pour plateforme de piste	m ³	6 333.3
703	Remblais pour plateforme en provenance d'emprunt	m ³	1 526.3
704	Couche de roulement en latérite pour plateforme	m ³	3 525.0
714	Fossé divergent vers exutoire de longueur 10m et profondeur 0.5m (par ml de piste)	m ³	146.9
1000	Bio-ingénierie végétale		
1001	Fascine	ml	1 655.0
1002	Protection en vétiver (écartement 0.15*0.25)	m ²	3 310.0
1003	Pied de bambou pour renforcement vétiver	pce	3 239.0

8.6.4 Récapitulatif général

Tableau 94 – Devis quantitatif général

Num	Description	Unité	Quantité
100	Généralités		
102	Installation de chantier Type 2 - grand aménagement – Périmètres Irrigués et pistes	ff	1.0
103	Installation de chantier Type 2 - grand aménagement Génie Civil	ff	1.0
111	Fourniture des plans de recollement	ff	1.0
112	Repli de chantier	ff	1.0
113	Construction d'un abri pour opérateur et gardiennage	ff	1.0
200	Terrassements		
205	Dérivation temporaire pour construction d'ouvrage en rivière	ff	2.0
211	Déblais en terrain meuble y/c débroussaillage	m ³	148 581.1
212	Déblais en terrain varié y/c débroussaillage	m ³	184 152.3
213.1	Déblais en terrain dur y/c débroussaillage	m ³	15 103.0
213.2	Déblais en terrain rocheux y/c débroussaillage	m ³	32 882.1
221	Remblais tout venant	m ³	100 209.3

Num	Description	Unité	Quantité
222	Remblais en provenance d'emprunts	m ³	39 293.5
223	Remblais en grande masse en provenance d'emprunts	m ³	8.7
253	Lit de sable 10 cm d'épaisseur pour pose pour conduites	m ³	135.0
300	Ouvrages en pierres, bétons et maçonneries		
301	Fouilles d'ouvrages en terrain meuble	m ³	30 714.2
302.2	Fouilles d'ouvrages en terrain dur	m ³	6 291.6
304	Remblais technique contigu pour ouvrages	m ³	9 442.9
321.1	Enrochements de protection - moellons de 20 à 30 kg	m ³	114.4
322	Fourniture et pose de gabions	m ³	1 305.8
331.1	Perré sec de protection de 0.20 m sur couche de pose de 0.05 m de gravier tout venant	m ²	7 247.9
331.2	Perré sec de protection de 0.30 m sur couche de pose de 0.10 m de gravier tout venant	m ²	68.7
341	Béton de propreté dosé à 150 kg de ciment par m ³	m ³	315.4
343	Béton dosé à 350 kg de ciment par m ³	m ³	195.5
344	Béton armé dosé à 350 kg de ciment par m ³	m ³	5 151.2
351	Maçonnerie de moellons au mortier de ciment y compris sable de propreté	m ³	59 211.5
371	Bande d'étanchéité de type water stop pour joints de construction	ml	1 554.0
372	Bande d'étanchéité de type water stop pour joints de dilatation	ml	140.0
385	Fourniture et pose de géotextile équivalent Bidim® S51 ou Kaytech® U34	m ²	2 096.5
400	Buses et tuyauteries		
411	Fourniture et pose de buses en béton armé DN 600	ml	160.0
413	Fourniture et pose de buses en béton armé DN 800	ml	213.3
421	Fourniture et pose de tuyaux en PVC DN 110 mm PN 6	ml	200.1
500	Ouvrages en bois		
510	Fourniture et pose de batardeaux en bois l: 7 cm x h: 15 cm	ml	748.0
600	Accessoires métalliques, vannes		
611	Fourniture et pose de vannette métallique (h x l x e): 150 x 150 x 5 mm	pce	76.0
612	Fourniture et pose de vannette métallique (h x l x e): 250 x 250 x 5 mm	pce	105.0
613	Fourniture et pose de vanne métallique à crémaillère (h x l x e): 500 x 500 x 5 mm	pce	42.0
614	Fourniture et pose de vanne métallique à crémaillère (h x l x e): 750 x 750 x 5 mm	pce	22.0
630	Vanne de chasse pour seuil-barrage 1.2x1.2 (fourniture et pose, y compris béton 2ème phase anti retrait)	pce	2.0
631	Vanne de prise 3.25x2.5 (fourniture et pose, y compris béton 2ème phase anti retrait)	pce	3.0
632	Vanne de chasse dessableur 0.5x0.5 (fourniture et pose, y compris béton 2ème phase anti retrait)	pce	2.0
633	Vanne pour dessableur 1.55x1.65 (fourniture et pose, y compris béton 2ème phase anti retrait)	pce	4.0
634	Vanne de partiteur 2.5x1.9 (fourniture et pose, y compris béton 2ème phase anti retrait)	pce	3.0
640	Fourniture et pose de caillebotis métallique	m ²	7.9
642	Fourniture et pose de grilles métalliques	kg	200.0
643	Garde-corps pour passerelle (hauteur=1.10m, fixation sur poutre tous les mètres, double barre horizontale)	ml	1 217.3
644	Fourniture et pose d'échelle limnimétrique	ml	171.3
646	Fourniture et pose d'échelle en acier galvanisé	pce	1.0

Num	Description	Unité	Quantité
651	Fourniture et assemblage de profilés aciers (U/HEA selon plan) pour guides de batardeaux	kg	718.0
651.2	Batardeau 1.5 x 6.8 y compris cadre (fourniture et pose, y compris béton 2è phase anti-retrait)	ff	2.0
651.3	Batardeau 1.55x1.65 y compris cadre (fourniture et pose, y compris béton 2è phase anti-retrait)	ff	3.0
651.5	Batardeau 2.5 x 2.2 y compris cadre (fourniture et pose, y compris béton 2è phase anti-retrait)	ff	3.0
700	Pistes d'accès		
701	Mise en forme de la plateforme - reprofilage piste existante	ml	800.0
702	Déblais pour plateforme de piste	m ³	25 693.8
703	Remblais pour plateforme en provenance d'emprunt	m ³	4 747.5
704	Couche de roulement en latérite pour plateforme	m ³	16 301.4
714	Fossé divergent vers exutoire de longueur 10m et profondeur 0.5m (par ml de piste)	m ³	619.8
1000	Bio-ingénierie végétale		
1001	Fascine	ml	1 950.0
1002	Protection en vétiver (écartement 0.15*0.25)	m ²	6 000.0
1003	Pied de bambou pour renforcement vétiver	pce	3 804.0
1004	Zone tampon 5 m - Haie Umunyari + vétiver	ml	11 115.0
1200	Tuyauterie en acier et en fonte et raccords		
1201	Conduite acier soudé DN1200 PN6 (fourniture et pose)	ml	979.4
1202	Adaptateur Viking Johnson DN1200 PN6 (fourniture et pose)	U	7.0
1203	Berceau métallique de support de conduite DN1200 (fourniture et pose)	ml	7.0
1204	Vanne de vidange DN200 PN6 (fourniture et pose)	pièce	2.0

9 Analyse économique

9.1 Hypothèses pour l'analyse économique

Différentes hypothèses de travail sont utilisées pour l'analyse économique, pour le volet agricole, elles ont été posées sur base des informations issues :

- D'enquêtes et d'échanges avec les exploitants/des propriétaires fonciers. Ces enquêtes ont été faites par les experts agro-socio-économiques mandatés par le Consultant ;
- De publications techniques agronomiques ;
- D'estimations du consultant compte tenu de son expérience sur des projets similaires.

La cohérence des données des différentes composantes (génie rural, production agricole, commercialisation) a été vérifiée. Toutefois, il n'est pas possible de prédire l'évolution des prix, des conditions climatiques, ou encore l'adoption effective des itinéraires techniques recommandés avec l'appui d'un projet mis en place parallèlement à l'aménagement. Ceci compte tenu des multiples facteurs qui influenceront ce projet et non maîtrisables à ce stade de l'étude.

Ces hypothèses sont donc utiles pour une comparaison, toutes choses étant égales par ailleurs, des différentes options d'aménagement proposées au niveau économique, comme support d'aide à la décision. Mais elles ne sauraient être utilisées hors cadre de cette analyse, comme reflétant parfaitement la réalité du terrain.

9.1.1 Production agricole

Pour permettre une estimation de la production agricole, un jeu de fiches technico-économiques a été dressé. Ce jeu contient une fiche par spéculiation couramment pratiquée par les exploitants agricoles de la région et donne des renseignements tels que le prix de la production 'bord de champ', les rendements observés et attendus et les charges de production. Les fiches sont reprises en Annexe.

La production est envisagée dans deux cas de figure : 'Sans' aménagement, c'est-à-dire pour une production de base sans facilités liées aux investissements hydroagricoles ; et 'Avec' aménagement, qui prend en compte l'amélioration de productivité liée à l'amélioration de la gestion de la ressource en eau ainsi que le respect d'un itinéraire technique et l'utilisation des intrants.

Les rendements 'Avec' projet renseignés sont des rendements moyens et non les meilleurs résultats qui pourraient être obtenus toutes conditions étant optimales.

Les renseignements relatifs aux spéculations sont synthétisés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 95 - Caractéristiques technico-économiques des spéculations principales

Culture	Aménagement	Rdt. moyen kg/ha	Produit BIF	Intrants BIF	M-O BIF	Autres charges BIF	Total charge BIF	Excédent brut BIF
Patate douce	Sans	6 500	3 400 000	700 000	825 000	120 000	1 645 000	1 755 000
	Avec	9 750	5 100 000	700 000	1 325 000	200 000	2 225 000	2 875 000
Haricot	Sans	1 000	1 300 000	225 000	475 000	60 000	760 000	540 000
	Avec	1 750	2 250 000	261 500	730 000	70 000	1 061 500	1 188 500
Riz Paddy	Sans	2 250	2 775 000	128 000	1 075 000	225 000	1 428 000	1 347 000
	Avec	5 000	6 100 000	262 600	1 775 000	240 000	2 277 600	3 822 400
Maïs	Sans	2 000	1 850 000	185 000	800 000	70 000	1 055 000	795 000
	Avec	3 000	2 700 000	490 000	1 100 000	80 000	1 670 000	1 030 000

Culture	Aménagement	Rdt. moyen kg/ha	Produit BIF	Intrants BIF	M-O BIF	Autres charges BIF	Total charge BIF	Excédent brut BIF
Tomate	Sans	7 500	4 000 000	540 000	700 000	275 000	1 515 000	2 485 000
	Avec	11 000	5 900 000	640 000	1 325 000	225 000	2 190 000	3 710 000
Pastèque	Sans	6 250	2 875 000	340 000	900 000	270 000	1 510 000	1 365 000
	Avec	11 500	5 350 000	540 000	1 225 000	225 000	1 990 000	3 360 000

Suite à la réalisation d'un nouvel aménagement hydroagricole, bien que les pics de productivité puissent théoriquement être attendus dès la première année, par exemple parce que pour certains sites le sol est à son potentiel maximal, par hypothèse conservatoire, il est projeté que les rendements augmentent progressivement suite à l'appui des services techniques et à la bonne maîtrise de l'eau :

- En année 1, année de réalisation des travaux de l'aménagement, il est considéré que le domaine est cultivé comme précédemment, sans modification de superficies ni d'assolement par rapport aux conditions initiales ;
- À partir de l'année 2, la totalité de la surface irrigable du périmètre est considérée comme fonctionnelle. Cependant, les cultures mises en place connaissent une augmentation de rendement graduelle décrite dans le tableau ci-dessous.

Tableau 96 - Taux d'augmentation du rendement durant les premières années de fonctionnement de l'aménagement

Année	Augmentation du rendement
Année 1	0%
Année 2	50%
Année 3	75%
Année 4	100%

Si les ressources en eau ne permettent pas de satisfaire entièrement les besoins des cultures sur la totalité de la superficie irrigable, deux solutions peuvent être envisagées : soit la superficie effectivement exploitée pendant la saison critique est réduite pour exploiter à plein rendement les cultures mises en place, soit la totalité de la superficie est tout de même mise en culture, moyennant un rendement moins performant. Une décote de -20% est dès lors appliquée au rendement pour prendre en compte cette diminution de la production (voir analyse de sensibilité ci-après).

9.1.2 Calcul des charges

9.1.2.1 Charges d'exploitation

Les charges totales par hectare mis en culture sont extraites des comptes d'exploitation. Ces comptes d'exploitation sont présentés par culture, avant et après aménagement en Annexe du présent document.

Les charges comprennent : les semences, les engrais, les produits phytosanitaires, la main d'œuvre, les autres charges.

Les charges après aménagement sont calculées de manière à obtenir les rendements voulus post aménagements. La manière d'atteindre ces rendements a été discutée et présentée en phase de diagnostic.

9.1.2.2 Redevance

Le montant de la redevance est basé sur la méthode et la feuille de calcul élaborée dans le cadre de l'Atlas des Marais, Plaines et Bas-fonds⁶ et mise en place doit permettre de couvrir les dépenses pour l'entretien et les frais de gestion de l'AUE.

On se référera en outre à l'étude juridique et institutionnelle pour la création, la structuration et le fonctionnement des AUE au niveau national qui est en cours de validation définitive dans le cadre du PRDAIGL. Cette étude définit comment sera perçue et gérée la redevance hydraulique dans les périmètres aménagés et irrigués.

La redevance est définie par hectare. Le montant à payer par chaque exploitant est fonction de la taille de sa parcelle. La redevance doit permettre de couvrir :

- Les frais d'entretiens imprévus et les travaux d'urgence (réparation de maçonneries et perrés, gabionnages terrassements) qui sont par définition imprévisibles et pour lesquels un fonds de réserve doit être constitué dès la mise en service de l'aménagement; ces frais sont susceptibles de varier d'un aménagement à l'autre en fonction de la vulnérabilité du site (présence de crues importantes; dégradation du bassin versant à l'amont de l'aménagement), de la qualité du dimensionnement de l'aménagement est des travaux de construction, etc. ;
- Les frais de fonctionnement de l'AUE qui prennent en compte les salaires, les frais de transport, et les frais administratifs.

La feuille de calcul Excel est constituée de différents onglets à savoir :

- **Liste des prix unitaires.** Les prix utilisés pour les matériaux sont les mêmes que ceux utilisés pour la réalisation des infrastructures (Annexe 2). La liste comprend également les salaires, frais de fonctionnement et frais administratifs présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 97 - Prix unitaires pour frais de fonctionnement de l'AUE

Code	Poste	Unité	Montant (BIF)
600	Salaires		
601	Gardien	h.mois	40 000
602	Aiguadier	h.mois	50 000
603	Gérant (500 ha min)	h.mois	750 000
604	Trésorier (500 ha min)	h.mois	650 000
605	Expertise technique externe	h.mois	1 500 000
700	Frais de déplacement		
701	Bicyclette (amortissement 3 ans)	pce/mois	10 833
702	Moto (Amortissement 3 ans sur 500 ha min)	pce /mois	41 667
703	Carburant et entretien moto	ff/mois/ha	50 000
704	Transport public	ff/mois	10 000
800	Frais administratifs et de bureau		
801	Matériel de bureau	ff/mois	30 000
802	Fourniture de bureau	ff/mois	3 333
803	Frais réunion de bureau	ff/mois	15 000
804	Frais maintenance compte bancaire	ff/mois	15 000

- **Le récapitulatif des infrastructures de l'aménagement** à savoir les mètres linéaires de canaux par gabarit, les mètres linéaires de drains collecteurs, les pièces d'ouvrage sur le réseau d'irrigation et de circulation, le nombre de seuil de dérivation ;

⁶ PAIOSA 2017 – Appui à la maîtrise d'ouvrage par la mise en place d'un atlas interactif des plaines, marais et bas-fonds et bassins versants et élaboration de manuels de conception de maintenance et de gestion des aménagements hydroagricoles.

- **Le calcul de coûts d'entretien saisonniers et périodiques** (ce montant n'est pas repris dans la redevance), il est appliqué directement aux coûts récurrents de l'aménagement (9.1.3) ;
- **Le calcul des coûts d'imprévus et d'urgence** qui reprend la liste des travaux possibles mais qui ne pas prévisibles. La probabilité de devoir réaliser des réparations sur des ouvrages du réseau dépend de nombreux facteurs dans la qualité des travaux et la vulnérabilité de l'aménagement. La quantification objective de ce type de travaux n'est pas aisée au début de l'exploitation d'un aménagement mais avec l'expérience il sera possible de mieux cadrer les frais imprévus mais probables. Ce calcul s'effectue également sur base normes pour les quantités de travaux et de fréquence de réalisation mais aussi de la proportion d'ouvrages à prendre à compte. Dans le cadre de la présente étude, les frais sont calculés pour une fréquence de 1 fois toutes les 10 saisons et sur 10% des ouvrages du réseau d'irrigation. Pour les seuils de dérivation, les frais sont calculés pour l'entièreté de l'ouvrage sur une fréquence de 1 sur 10 saisons et pour le colmatage des ravines et la protection des talus toutes les deux saisons.
- **Les frais de fonctionnement de l'AUE** qui reprennent les salaires du personnel, les frais de déplacement et le frais administratifs. En première approximation, le calcul du nombre de mois d'embauche par an est pris proportionnellement à la superficie de l'aménagement; par exemple 12 mois/500 ha x sup. de l'aménagement. Le calcul des frais de déplacement du gérant sont calculés de la même manière.

Enfin, une sécurité de 5% est ajoutée à la réserve d'urgence et un taux de recouvrement de 95% de la redevance est appliqué afin de la majorer pour faire face aux pertes éventuelles liées au non-paiement.

Les calculs sont réalisés par saison. Les résultats sont donc multipliés par deux pour obtenir une valeur annuelle tenant compte de 2 saisons pleines de mise en culture par an. Les résultats annuels sont présentés par site dans les chapitres suivants.

9.1.3 Redevance eau d'irrigation

Ces coûts reprennent les frais pour les entretiens saisonniers, annuels et pluriannuels (reprofilage des canaux en terre, des drains et des pistes), les entretiens d'urgence et les imprévus (fond de réserve constitué après chaque saison) ainsi que les frais de fonctionnement de l'AUE. Ces coûts annuels sont ensuite divisés pour obtenir une valeur de redevance à l'hectare par saison de culture. Une estimation de la contribution directe des exploitants pour les travaux d'entretien est aussi valorisée.

Les frais d'entretien sont définis en fonction des infrastructures à aménager. Les frais sont calculés par mètre linéaire de canaux et drains et pièces d'ouvrages (prise pour arroseur, chute, etc.) et pour les entretiens suivants :

- **Entretien courant et saisonnier** qui comprend le débroussaillage, faucardage, curage des canaux, des drains et des ouvrages, pistes intérieures. Cet entretien est réalisé 2 fois par saison ;
- **Entretien périodique** qui comprend la peinture des ouvrages vannées et l'entretien des batardeaux. Cet entretien est réalisé une fois toutes les 10 saisons ;
- **La réserve pour les travaux d'urgence et les imprévus** est comptabilisée dans le montant de la redevance.

Le calcul se base sur des normes pour les quantités de travaux, la fréquence de réalisation et la modalité de réalisation (participation en main d'œuvre ou contribution monétaire).

Par ailleurs pour tenir compte fait du moindre coût de l'entretien les premières années de fonctionnement du périmètre, une augmentation progressive des coûts d'entretien est prévue telle que reprise dans le tableau ci-dessous.

Tableau 98 - Augmentation du montant des coûts d'entretien lors de la période de démarrage du périmètre

Année 1*	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5	Année 6
0 %	25 %	50 %	75 %	100 %	100 %

**l'année 1 est celle de la réalisation des travaux*

9.1.4 Analyse de sensibilité et autres paramètres

L'analyse de sensibilité est réalisée pour les scénarios suivants :

- Conditions normalement prévues ;
- Supplément de 10% sur le montant des investissements et des entretiens (totaux) ;
- Supplément de 20% sur le montant des investissements et des entretiens (totaux) ;
- Déficit de 10% sur le montant des recettes générées par la vente de la production ;
- Déficit de 20% sur le montant des recettes générées par la vente bord de la production ;
- Supplément de 10% sur le montant des recettes générées par la vente de la production ;
- Supplément de 20% sur le montant des investissements et des entretiens (totaux) et déficit de 10% sur le montant des recettes générées par la vente de la production.

Les calculs de rentabilité ont été effectués sur une période de 20 ans. Le taux d'actualisation est pris à 8%.

Aux coûts totaux des investissements présentés dans les devis estimatifs par site viennent s'ajouter les coûts de surveillance des travaux. Le taux d'application est de 8% du montant total de l'investissement. Pour cette raison, les coûts totaux et par hectare présentés dans ce chapitre diffèrent légèrement des ceux présentés dans les tableaux des coûts totaux des devis estimatifs.

9.2 Résultats

9.2.1 Récapitulatif des coûts

Le tableau récapitulatif des coûts d'investissement pour l'aménagement envisagé est présenté dans le dossier financier confidentiel.

Le tableau ci-dessous donne un récapitulatif du montant de la redevance eau d'irrigation pour l'aménagement envisagé.

Tableau 99 – Montant de la redevance

Coût entretien annuel	1 574 675 268	BIF/an
Réserve travaux d'urgence/ an	216 008 169	BIF/an
Coût opérationnel / an	209 853 000	BIF/an
Valeur totale de la redevance /an	2 000 536 437	BIF/an
Valeur totale de la redevance /ha/ an		
	392 878	BIF/ha/an
dont		
Charge exploitant/ha/saison*	85 041	BIF/ha/saison
Contribution directe exploitant/ha/saison	62	h.j/ha/saison

() Y compris les pertes pour recouvrement (5%)*

Actuellement, la superficie est emblavée en polyculture en saison A, en riz et en polyculture en saison B et en polyculture en saison C.

Deux options d'assolement sont définies après aménagement

- Assolement #01 : en saison A et B, le site est cultivé en riziculture à 100% ; en saison C, le maraîchage est pratiqué sur 50% de la superficie.
- Assolement #02 : en saison A et B, le site est cultivé en riziculture à 80% et 20% en polyculture céréalière; en saison C, le maraîchage est pratiqué sur 50% de la superficie.

Tableau 100 – Assolement sélectionné (% et superficie irrigable)

	Sans aménagement		Après aménagement			
			Assolement #01		Assolement #02	
	%	ha	%	ha	%	ha
A - Riz	-	-	100%	2546	80%	2037
A - Patate douce	-	-	-	-	-	-
A - Polyculture	80%	2037	-	-	20%	509
A - Maraîchage	-	-	-	-	-	-
B - Riz	20%	509	100%	2546	80%	2037
B - Patate douce	-	-	-	-	-	-
B - Polyculture	80%	2037	-	-	20%	509
B - Maraîchage	-	-	-	-	-	-
C - Riz	-	-	50%	1273	50%	1273
C - Patate douce	-	-	-	-	-	-
C - Polyculture	-	-	-	-	-	-
C - Maraîchage	20%	509	50%	1273	50%	1273

Les superficies ainsi définies, multipliées par les rendements indiqués dans les fiches technico-économiques, puis par le prix de vente, permettent d'estimer la production agricole du périmètre pour chaque saison.

Tableau 101 – Production et valorisation par option d'aménagement (en tonnes et BIF)

	Sans aménagement		Après aménagement			
			Assolement #1		Assolement #1	
	Tonnes	BIF	Tonnes	KBIF	Tonnes	KBIF
A - Riz	-	-	12 730.5	15 276 600	10 184.4	12 221 280
A - Patate douce	-	-	-	-	-	-
A - Polyculture	4 073.8	3 462 696	-	-	1 527.7	1 298 511
A - Maraîchage	-	-	-	-	-	-
B - Riz	1 145.7	1 374 894	12 730.5	15 276 600	10 184.4	12 221 280
B - Patate douce	-	-	-	-	-	-
B - Polyculture	4 073.8	3 462 696	-	-	1 527.7	1 298 511
B - Maraîchage	-	-	-	-	-	-
C - Riz	-	-	-	-	-	-
C - Patate douce	-	-	-	-	-	-
C - Polyculture	-	-	-	-	-	-
C - Maraîchage	7 994.8	7 235 252	19 986.9	18 088 131	19 986.9	18 088 131

9.2.2 Résultat de l'analyse financière

Le tableau suivant synthétise le calcul de Taux de Rentabilité Interne (TRI) de l'aménagement suivant les scénarii présentés en hypothèses et ce pour les assolements considérés.

Tableau 102 – Taux de Rentabilité Interne

Assolement	normal	invest. + 10%	invest. + 20%	recettes - 10%	recettes - 20%	recettes + 10%	invest. + 20%
							recettes - 10%
#01	66.5%	60.9%	56.2%	60.1%	53.7%	72.8%	50.4%
#02	60.8%	55.7%	51.3%	54.9%	49.0%	66.6%	45.9%

Les tableaux suivants synthétisent le calcul de la Valeur Actualisée Nette (VAN) d'aménagement suivant les scénarii présentés en hypothèses et les nombres d'années nécessaires pour obtenir une VAN positive. Le taux d'actualisation a été pris à 8%.

Tableau 103 – Valeur Actualisée Nette (10³ BIF)

Assolement	normal	invest. + 10%	invest. + 20%	Recettes - 10%	recettes - 20%	Recettes + 10%	invest. + 20%
							recettes - 10%
#01	210 182 389	206 763 796	203 345 202	184 635 362	159 088 334	235 729 416	175 577 785
#02	186 005 858	182 587 264	179 168 671	162 876 483	139 747 109	209 135 232	153 818 907

Tableau 104 – Nombre d'années nécessaires pour une Valeur Actualisée Nette positive

Assolement	normal	invest. + 10%	invest. + 20%	recettes - 10%	recettes - 20%	recettes + 10%	invest. + 20%
							recettes - 10%
#01	3	4	4	4	4	3	4
#02	4	4	4	4	4	3	4

10 Conclusion

Les études d'avant-projet détaillé ont confirmé la faisabilité de l'aménagement de 2 546 ha en rives droite et gauche de la Kaburantwa. Les investissements nécessaires pour ce projet sont présentés dans un document confidentiel séparé.

Par rapport à l'APS le coût à l'hectare irrigué a pu être diminué notamment par une augmentation des superficies irriguées via une optimisation du réseau d'irrigation. L'analyse économique montre que l'investissement est rentable et robuste comme en témoigne l'analyse de sensibilité.

Annexe 1. Bibliographie

Bell, F. C. (1976). The areal reduction factor in rainfall frequency estimation.

C. Puech, D. Chabi Gonni (1984). Méthode de calcul des débits de crue décennale pour les petits et moyens bassins versants en Afrique de l'Ouest et centrale, Ouagadougou, Burkina Faso : comité interafricain d'études hydrauliques

Climwat <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/climwat-for-cropwat/fr/>

Cropwat <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/fr/>

Demarée, G. R., & Vyver, H. (2013). Construction of intensity-duration-frequency (IDF) curves for precipitation with annual maxima data in Rwanda, Central Africa. *Advances in Geosciences*, 35, 1-5. <https://adgeo.copernicus.org/articles/35/1/2013/>

ERA International, 2019. *Etudes techniques d'aménagements de la plaine de Kaburantwa, Commune de Buganda, Province de Cibitoke - Etude d'Avant-Projet Détaillé*. Ministère de l'Environnement, de l'Agriculture et de l'Elevage / PROPA-O

FAO Irrigation and Drainage Paper n°56. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements

Main Stormwater Design Manual, 2006

Manuel de conception d'un projet d'aménagement hydroagricole de marais et de plaine au Burundi – SHER Ingénieur – Conseils – Agence Belge de Développement PAIOSA 2017

National Engineering Handbook pour toute la partie hydrologie (United States Department of Agriculture - National Resources Conservation Service),

<https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/national/water/manage/hydrology/?cid=stelprdb1043063>

Ndimubanda J., 2022. *Etude juridique et institutionnelle de création, structuration et fonctionnement des associations d'usagers de l'eau (AUE) pour la gestion durable des périmètres aménagés et irrigués au Burundi. Rapport Provisoire*. Projet Régional de Développement Agricole Intégré. Ministère de l'Environnement, de l'Agriculture et de l'Elevage.

NRCS, U. (2004). National engineering handbook: Part 630—hydrology. *USDA Soil Conservation Service: Washington, DC, USA*.

Plan Directeur National de l'Eau, Avril 1998, Ministère de l'Energie et des Mines

Schéma directeur des villes de Gitega, Ngozi et Rumonge, 2014

Service météorologique du Burundi,

<https://www.gfdr.org/sites/default/files/Etat%20des%20lieux%20SHMN%20Burundi.pdf>

SHER, 2012. *Etude sur l'amélioration de la gestion des terres et de l'eau en plaine de l'Imbo (Province de Cibitoke)*. Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage / PADAP Cibitoke

SHER/MHYLAB, 2012. *Hydropower - KAGU006 - Feasibility study report*. African Power and Water

SHER/Artelia Madagascar, 2014. *Maîtrise d'œuvre générale relative à la remise en état des périmètres irrigués de l'Imbo Nord en Province de Cibitoke - Avant-Projet Sommaire des zones 4-5*. Programme d'Appui Institutionnel et Opérationnel au Secteur Agricole (PAIOSA)

SHER/Artelia Madagascar, 2015. *Maîtrise d'œuvre générale relative à la remise en état des périmètres irrigués de l'Imbo Nord en Province de Cibitoke - Avant-Projet Détaillé de la zone 5*. Programme d'Appui Institutionnel et Opérationnel au Secteur Agricole (PAIOSA)

SOGREAH Ingénierie, 1955. *Etude de pré-faisabilité et de faisabilité des aménagements hydroélectriques de Kabu 16, Kabu 23, Masango et Rushisha - Rapport définitif de faisabilité de l'aménagement de Kabu 16*. Ministère de l'Energie et des Mines.

Veneziano, D., & Langousis, A. (2005). The areal reduction factor: A multifractal analysis. *Water Resources Research*, 41(7)

Wagesho, N., & Claire, M. (2016). Analysis of rainfall intensity-duration-frequency relationship for Rwanda. *Journal of Water Resource and Protection*, 8(07), 706. https://www.scirp.org/html/3-9402850_67398.htm

Annexe 2. Liste des plans

Numéro du plan	Description	Format	Echelle
Vues générales et d'ensembles – Plans fonciers			
KAB-VG-00	Vue Générale	A0	1/20 000
KAB-VG-01/06	Vue Générale	A0	1/5 000
BLOC-01 VE-01/03	Vue d'Ensemble Bloc-01	A0	1/2 000
BLOC-02 VE-01/04	Vue d'Ensemble Bloc-02	A0	1/2 000
BLOC-03 VE-01/04	Vue d'Ensemble Bloc-03	A0	1/2 000
BLOC-04 VE-01/02	Vue d'Ensemble Bloc-04	A0	1/2 000
BLOC-05 VE-01/02	Vue d'Ensemble Bloc-06	A0	1/2 000
BLOC-06 VE-01/04	Vue d'Ensemble Bloc-06	A0	1/2 000
BLOC-01 PF-01/03	Plan Foncier Bloc-01	A0	1/2 000
BLOC-02 PF-01/04	Plan Foncier Bloc-02	A0	1/2 000
BLOC-03 PF-01/04	Plan Foncier Bloc-03	A0	1/2 000
BLOC-04 PF-01/02	Plan Foncier Bloc-04	A0	1/2 000
BLOC-05 PF-01/02	Plan Foncier Bloc-06	A0	1/2 000
BLOC-06 PF-01/04	Plan Foncier Bloc-06	A0	1/2 000

N° du plan	Description	Echelle	Format
Plans types			
PT-01.1	Plan type - Prise sur canal principal et secondaire PRCP/CS	1/75	A3
PT-01.2	Plan type - Gabarit vannes	1/50	A3
PT-02	Plan type - Chute canal (CH)	1/50	A3
PT-03	Plan type - Prise pour arroseur (PRARR)	1/50	A3
PT-04.1	Plan type - Aqueduc pour canaux secondaire / tertiaires (AQ-CS)	1/50	A3
PT-04.2	Plan type - Aqueduc pour canaux primaires (AQ-CP)	1/50	A3
PT-05.1	Plan type - Dalot canal sous piste avec aqueduc de fossé (DCF)	1/50	A3
PT-05.2	Plan type - Dalot piste (DCS) et buse simple piste	1/50	A3
PT-06	Plan type - Pont et ponceau (PT)	1/50	A3
PT-07	Plan type - Passerelles sur CP et CS (PS)	1/50	A3

Ouvrages de mobilisation de la ressource en eau			
N° du plan	Description	Echelle	Format
PT-OM-01	Ouvrages de prise, canal d'amenée et dessableur -Vue d'ensemble	1/600	A1
PT-OM-02.1	Seuil de dérivation et prise-Plan d'implantation	1/150	A1
PT-OM-02.2	Seuil de dérivation et prise – Vue en plan	1/75	A1
PT-OM-02.3	Seuil de dérivation et prise - Coupes A-A, B-B, C-C, D-D	1/75	A1
PT-OM-03.1	Canal d'amenée- Vue en plan, Coupes A-A, B-B	1/100	A1
PT-OM-03.2/3/4	Canal d'amenée - Sections en travers	1/125	A1
PT-OM-04.1	Dessableur - Vue plan d'implantation	1/150	A1
PT-OM-04.2	Dessableur - Vue en Plan et Coupe A-A	1/100	A1
PT-OM-04.3	Dessableur-Coupe B-B , C-C , et D-D	1/100	A1
PT-OM-05	Partiteur - Vue en plan, Coupe A-A,B-B,Transition sortie aqueduc	1/75	A1
PT-OM-06.1	Aqueduc CTM-RD sur Kaburantwa -Plan d'implantation	1/125	A1
PT-OM-06.2	Aqueduc CTM-RD sur Kaburantwa - Plan,Coupe A-A, B-B,C-C,D-D,E-E	1/125	A1
PT-OM-07.1	Siphon CTM-RD sur Kagengwa - Vue d'ensemble	1/600	A1
PT-OM-07.2	Siphon CTM-RD sur Kagengwa - Profil en long, plan et coupe	Variable	A1
PT-OM-08.1	Franchissements CTM-RD - Buse drainage fossés	1/75	A3
PT-OM-08.2	Franchissements CTM-RD - Dalot thalwegs	1/75	A3
PT-OM-08.3	Franchissements CTM-RD - Pont dalot pistes	1/75	A3
PT-OM-09.1	Siphon RG sur Kansega - Plan d'implantation	1/400	A1
PT-OM-09.2	Siphon CTM-RG sur Kansega - Vue en plan Coupe A-A, CMC, CD, CP	1/400	A1
PT-OM-09.3	Siphon CTM-RG sur Kansega - Anchor bloc- Vue en plan et Coupes	1/50	A1
PT-OM-09.4	Siphon CTM-RG sur Kansega - Support bloc- Vue en plan et Coupes	1/50	A1
PT-OM-10.1	Franchissements CTM-RG + piste - Buse drainage fossés	1/50	A3
PT-OM-10.2	Franchissements CTM-RG simple - Buse drainage fossé	1/50	A3
PT-OM-10.3	Franchissements CTM-RG - Dalot - piste Thalwegs - Vue en plan	1/50	A3
PT-OM-10.4	Franchissements CTM-RG - Dalot - piste Thalwegs - Plan et coupes	1/50	A3
PT-OM-10.5	Franchissements CTM-RG + piste - Pont dalot piste	1/50	A3
PT-OM-10.6	Franchissements CTM-RG simple - Pont dalot piste	1/50	A3
PT-OM-11.1	Bâtiment Opérateur - Vue en plan	1/50	A3
PT-OM-11.2	Bâtiment Opérateur - Façades	1/75	A3
PT-OM-11.3	Bâtiment Opérateur - Coupe A-A	1/50	A3
PT-OM-11.4	Bâtiment Opérateur - Fondations	1/50	A3

Ouvrages de mobilisation de la ressource en eau			
N° du plan	Description	Echelle	Format
Canal tête morte en rive droite – CTM-RD			
PL-CTM-RD-01/05	Profils en long canal CTM-RD 0+000 – 3+252	H :1/2000 – V :1/200	A3
SV-CTM-RD-01/12	Profils en travers canal CTM-RD 0+000 – 3+252	1/200	A3
Canal tête morte en rive gauche – CTM-RG			
PL-CTM-RG1-01/11	Profils en long canal CTM-RG1 0+000 – 7+725	H :1/2000 – V :1/200	A3
SV-CTM-RG1-01/22	Profils en travers canal CTM-RG1 0+000 – 7+725	1/200	A3
PL-CTM-RG2-01/01	Profils en long canal CTM-RG2 0+000 – 0+147	H :1/2000 – V :1/200	A3
SV-CTM-RG2-01/01	Profils en travers canal CTM-RG2 0+000 – 0+147	1/200	A3
PL-CTM-RG2-DR1-01/01	Profils en long drain CTM-RG2_DR1 0+000 – 0+333	H :1/2000 – V :1/200	A3
SV-CTM-RG2_DR1-01/01	Profils en travers drain CTM-RG2_DR1 0+000 – 0+333	1/200	A3

N° du plan	Description	Echelle	Format
Pistes transversales			
Pistes Transversales - Profils en long et en travers			
PL-SD-TR3/01-05	Profils en long et vue en plan - Piste SD-TR3	H 1/2.000 - V 1/200	A3
SV-SD-TR3/01-04	Profils en travers - Piste SD-TR3	1/200	A3
PL-SD-TR4/01-05	Profils en long et vue en plan - Piste SD-TR4	H 1/2.000 - V 1/200	A3
SV-SD-TR4/01-04	Profils en travers - Piste SD-TR4	1/200	A3
PL-SD-TR5/01-05	Profils en long et vue en plan - Piste SD-TR5	H 1/2.000 - V 1/200	A3
SV-SD-TR5/01-04	Profils en travers - Piste SD-TR5	1/200	A3
PL-ND-TR5/01-04	Profils en long et vue en plan - Piste ND-TR5	H 1/2.000 - V 1/200	A3
SV-ND-TR5/01-03	Profils en travers - Piste ND-TR5	1/200	A3
PL-SD-TR7/01-05	Profils en long et vue en plan - Piste SD-TR7	H 1/2.000 - V 1/200	A3
SV-SD-TR7/01-04	Profils en travers - Piste SD-TR7	1/200	A3
PL-SG-TR4/01-03	Profils en long et vue en plan - Piste SG-TR4	H 1/2.000 - V 1/200	A3
SV-SG-TR4/01-02	Profils en travers - Piste SG-TR4	1/200	A3
PL-SG-TR5/01-02	Profils en long et vue en plan - Piste SG-TR5	H 1/2.000 - V 1/200	A3
SV-SG-TR5/01-02	Profils en travers - Piste SG-TR5	1/200	A3
PL-NG-TR5/01-03	Profils en long et vue en plan - Piste NG-TR5	H 1/2.000 - V 1/200	A3
SV-NG-TR5/01-02	Profils en travers - Piste NG-TR5	1/200	A3

N° du plan	Description	Echelle	Format
Profils en long – vues en plan et profils en travers – BLOC-01			
PL-CS-RD-01-01/01	Profils en long et vues en plan CS-RD-01 PM 0+000 – 0+185	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CS-RD-01-01/01	Profils en travers CS-RD-01	1/200	A3
PL-CP01-01/06	Profils en long et vues en plan CP01 PM 0+000 - 4+017	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CP01-01/06	Profils en travers CP01	1/200	A3
PL-CP01-G01/G06	Reconnaissance géotechnique CP01 PM 0+000 - 4+017	H: 1/2000 V: 1/200	A3
PL-CS01.01-01/06	Profils en long et vues en plan CS01.01 PM 0+000 - 4+016	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CS01.01-01/04	Profils en travers CS01.01	1/200	A3
PL-CT01.01.01-01/02	Profils en long et vues en plan CT01.01.01 PM 0+000 - 1+105	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT01.01.01-01/02	Profils en travers CT01.01.01	1/200	A3
PL-CQ01.01.01a-01/01	Profils en long et vues en plan CQ01.01.01a PM 0+000 - 0+400	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CQ01.01.01a-01/01	Profils en travers CQ01.01.01a	1/200	A3
PL-CQ01.01.01b-01/01	Profils en long et vues en plan CQ01.01.01b PM 0+000 - 0+415	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CQ01.01.01b-01/01	Profils en travers CQ01.01.01b	1/200	A3
PL-CQ01.01.01c-01/01	Profils en long et vues en plan CQ01.01.01c PM 0+000 - 0+425	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CQ01.01.01c-01/01	Profils en travers CQ01.01.01c	1/200	A3
PL-CQ01.01.01d-01/01	Profils en long et vues en plan CQ01.01.01d PM 0+000 - 0+505	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CQ01.01.01d-01/01	Profils en travers CQ01.01.01d	1/200	A3
PL-CQ01.01.01e-01/01	Profils en long et vues en plan CQ01.01.01e PM 0+000 - 0+500	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CQ01.01.01e-01/01	Profils en travers CQ01.01.01e	1/200	A3
PL-CT01.01.02-01/02	Profils en long et vues en plan CT01.01.02 PM 0+000 - 1+225	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT01.01.02-01/02	Profils en travers CT01.01.02	1/200	A3
PL-CT01.01.03-01/02	Profils en long et vues en plan CT01.01.03 PM 0+000 - 0+960	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT01.01.03-01/02	Profils en travers CT01.01.03	1/200	A3
PL-CT01.01.04-01/01	Profils en long et vues en plan CT01.01.04 PM 0+000 - 0+670	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT01.01.04-01/01	Profils en travers CT01.01.04	1/200	A3

N° du plan	Description	Echelle	Format
Profils en long – vues en plan et profils en travers – BLOC-01			
PL-CQ01.01.04a-01/01	Profils en long et vues en plan CQ01.01.04a PM 0+000 - 0+210	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CQ01.01.04a-01/01	Profils en travers CQ01.01.04a	1/200	A3
PL-CT01.01.05-01/01	Profils en long et vues en plan CT01.01.05 PM 0+000 - 0+300	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT01.01.05-01/01	Profils en travers CT01.01.05	1/200	A3
PL-CT01.01.06-01/01	Profils en long et vues en plan CT01.01.06 PM 0+000 - 0+680	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT01.01.06-01/01	Profils en travers CT01.01.06	1/200	A3
PL-CQ01.01.06a-01/02	Profils en long et vues en plan CQ01.01.06a PM 0+000 - 0+770	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CQ01.01.06a-01/01	Profils en travers CQ01.01.06a	1/200	A3
PL-CQ01.01.06b-01/01	Profils en long et vues en plan CQ01.01.06b PM 0+000 - 0+375	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CQ01.01.06b-01/01	Profils en travers CQ01.01.06b	1/200	A3
PL-CQ01.01.06c-01/01	Profils en long et vues en plan CQ01.01.06c PM 0+000 - 0+420	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CQ01.01.06c-01/01	Profils en travers CQ01.01.06c	1/200	A3
PL-CQ01.01.06d-01/01	Profils en long et vues en plan CQ01.01.06d PM 0+000 - 0+430	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CQ01.01.06d-01/01	Profils en travers CQ01.01.06d	1/200	A3
PL-CQ01.01.06e-01/01	Profils en long et vues en plan CQ01.01.06e PM 0+000 - 0+430	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CQ01.01.06e-01/01	Profils en travers CQ01.01.06e	1/200	A3
PL-CT01.01.07-01/01	Profils en long et vues en plan CT01.01.07 PM 0+000 - 0+435	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT01.01.07-01/01	Profils en travers CT01.01.07	1/200	A3
PL-CT01.01.08-01/01	Profils en long et vues en plan CT01.01.08 PM 0+000 - 0+483	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT01.01.08-01/01	Profils en travers CT01.01.08	1/200	A3
PL-CQ01.01.08a-01/02	Profils en long et vues en plan CQ01.01.08a PM 0+000 - 0+760	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CQ01.01.08a-01/02	Profils en travers CQ01.01.08a	1/200	A3
PL-CQ01.01.08b-01/01	Profils en long et vues en plan CQ01.01.08b PM 0+000 - 0+510	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CQ01.01.08b-01/01	Profils en travers CQ01.01.08b	1/200	A3
PL-CT01.01.09-01/02	Profils en long et vues en plan CT01.01.09 PM 0+000 - 0+855	H: 1/2000 V: 1/200	A3

N° du plan	Description	Echelle	Format
Profils en long – vues en plan et profils en travers – BLOC-01			
SV-CT01.01.09-01/01	Profils en travers CT01.01.09	1/200	A3
PL-CS01.02-01/01	Profils en long et vues en plan CS01.02 PM 0+000 - 0+620	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CS01.02-01/01	Profils en travers CS01.02	1/200	A3
PL-CS01.03-01/02	Profils en long et vues en plan CS01.03 PM 0+000 - 1+036	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CS01.03-01/01	Profils en travers CS01.03	1/200	A3
PL-CT01.03.01-01/01	Profils en long et vues en plan CT01.03.01 PM 0+000 - 0+570	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT01.03.01-01/01	Profils en travers CT01.03.01	1/200	A3
PL-CT01.03.02-01/01	Profils en long et vues en plan CT01.03.02 PM 0+000 - 0+195	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT01.03.02-01/01	Profils en travers CT01.03.02	1/200	A3
PL-CS01.04-01/03	Profils en long et vues en plan CS01.04 PM 0+000 - 1+515	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CS01.04-01/02	Profils en travers CS01.04	1/200	A3
PL-CT01.04.01-01/01	Profils en long et vues en plan CT01.04.01 PM 0+000 - 0+515	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT01.04.01-01/01	Profils en travers CT01.04.01	1/200	A3
PL-CT01.04.02-01/02	Profils en long et vues en plan CT01.04.02 PM 0+000 - 1+060	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT01.04.02-01/02	Profils en travers CT01.04.02	1/200	A3
PL-CT01.04.03-01/01	Profils en long et vues en plan CT01.04.03 PM 0+000 - 0+605	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT01.04.03-01/01	Profils en travers CT01.04.03	1/200	A3
PL-CT01.04.04-01/02	Profils en long et vues en plan CT01.04.04 PM 0+000 - 0+900	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT01.04.04-01/02	Profils en travers CT01.04.04	1/200	A3
PL-CT01.04.05-01/01	Profils en long et vues en plan CT01.04.05 PM 0+000 - 0+570	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT01.04.05-01/01	Profils en travers CT01.04.05	1/200	A3
PL-CT01.04.06-01/01	Profils en long et vues en plan CT01.04.06 PM 0+000 - 0+575	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT01.04.06-01/01	Profils en travers CT01.04.06	1/200	A3
PL-DS01-01/07	Profils en long et vues en plan drain DS01 PM 0+000 – 4+483	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-DS01-01/06	Profils en travers drain DS01	1/200	A3

N° du plan	Description	Echelle	Format
Profils en long – vues en plan et profils en travers – BLOC-02			
PL-CP02-01/08	Profils en long et vues en plan CP02 PM 0+000 - 5+265	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CP02-01/06	Profils en travers CP02	1/200	A3
PL-CP02-01/08	Reconnaissance géotechnique CP02 PM 0+000 - 5+265	H: 1/2000 V: 1/200	A3
PL-CS02.01-01/03	Profils en long et vues en plan CS02.01 PM 0+000 - 1+550	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CS02.01-01/02	Profils en travers CS02.01	1/200	A3
PL-CT02.01.01-01/01	Profils en long et vues en plan CT02.01.01 PM 0+000 - 0+420	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT02.01.01-01/01	Profils en travers CT02.01.01	1/200	A3
PL-CT02.01.02-01/01	Profils en long et vues en plan CT02.01.02 PM 0+000 - 0+250	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT02.01.02-01/01	Profils en travers CT02.01.02	1/200	A3
PL-CT02.01.03-01/02	Profils en long et vues en plan CT02.01.03 PM 0+000 - 0+850	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT02.01.03-01/01	Profils en travers CT02.01.03	1/200	A3
PL-CT02.01.04-01/02	Profils en long et vues en plan CT02.01.04 PM 0+000 - 0+940	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT02.01.04-01/02	Profils en travers CT02.01.04	1/200	A3
PL-CT02.01.05-01/02	Profils en long et vues en plan CT02.01.05 PM 0+000 - 0+900	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT02.01.05-01/01	Profils en travers CT02.01.05	1/200	A3
PL-CT02.01.06-01/02	Profils en long et vues en plan CT02.01.06 PM 0+000 - 0+875	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT02.01.06-01/01	Profils en travers CT02.01.06	1/200	A3
PL-CT02.01.07-01/02	Profils en long et vues en plan CT02.01.07 PM 0+000 - 0+920	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT02.01.07-01/01	Profils en travers CT02.01.07	1/200	A3
PL-CS02.02-01/02	Profils en long et vues en plan CS02.02 PM 0+000 - 1+000	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CS02.02-01/01	Profils en travers CS02.02	1/200	A3
PL-CT02.02.01-01/01	Profils en long et vues en plan CT02.02.01 PM 0+000 - 0+540	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT02.02.01-01/01	Profils en travers CT02.02.01	1/200	A3
PL-CT02.02.02-01/01	Profils en long et vues en plan CT02.02.02 PM 0+000 - 0+605	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT02.02.02-01/01	Profils en travers CT02.02.02	1/200	A3

N° du plan	Description	Echelle	Format
Profils en long – vues en plan et profils en travers – BLOC-02			
PL-CT02.02.03-01/01	Profils en long et vues en plan CT02.02.03 PM 0+000 - 0+665	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT02.02.03-01/01	Profils en travers CT02.02.03	1/200	A3
PL-CT02.02.04-01/02	Profils en long et vues en plan CT02.02.04 PM 0+000 - 0+945	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT02.02.04-01/01	Profils en travers CT02.02.04	1/200	A3
PL-CT02.02.05-01/02	Profils en long et vues en plan CT02.02.05 PM 0+000 - 0+890	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT02.02.05-01/01	Profils en travers CT02.02.05	1/200	A3
PL-CS02.03-01/01	Profils en long et vues en plan CS02.03 PM 0+000 - 0+585	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CS02.03-01/01	Profils en travers CS02.03	1/200	A3
PL-CS02.04-01/02	Profils en long et vues en plan CS02.04 PM 0+000 - 1+145	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CS02.04-01/01	Profils en travers CS02.04	1/200	A3
PL-CT02.04.01-01/01	Profils en long et vues en plan CT02.04.01 PM 0+000 - 0+325	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT02.04.01-01/01	Profils en travers CT02.04.01	1/200	A3
PL-CT02.04.02-01/01	Profils en long et vues en plan CT02.04.02 PM 0+000 - 0+610	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT02.04.02-01/01	Profils en travers CT02.04.02	1/200	A3
PL-CS02.05-01/01	Profils en long et vues en plan CS02.05 PM 0+000 - 0+660	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CS02.05-01/01	Profils en travers CS02.05	1/200	A3
PL-CT02.05.01-01/01	Profils en long et vues en plan CT02.05.01 PM 0+000 - 0+435	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT02.05.01-01/01	Profils en travers CT02.05.01	1/200	A3
PL-CS02.06-01/01	Profils en long et vues en plan CS02.06 PM 0+000 - 0+515	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CS02.06-01/01	Profils en travers CS02.06	1/200	A3
PL-CT02.06.01-01/01	Profils en long et vues en plan CT02.06.01 PM 0+000 - 0+545	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT02.06.01-01/01	Profils en travers CT02.06.01	1/200	A3
PL-CT02.06.02-01/02	Profils en long et vues en plan CT02.06.02 PM 0+000 - 1+110	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT02.06.02-01/01	Profils en travers CT02.06.02	1/200	A3
PL-CT02.06.03-01/01	Profils en long et vues en plan CT02.06.03 PM 0+000 - 0+370	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT02.06.03-01/01	Profils en travers CT02.06.03	1/200	A3

N° du plan	Description	Echelle	Format
Profils en long – vues en plan et profils en travers – BLOC-02			
PL-CS02.07-01/03	Profils en long et vues en plan CS02.07 PM 0+000 - 1+521	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CS02.07-01/02	Profils en travers CS02.07	1/200	A3
PL-CT02.07.01-01/01	Profils en long et vues en plan CT02.07.01 PM 0+000 - 0+710	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT02.07.01-01/01	Profils en travers CT02.07.01	1/200	A3
PL-CT02.07.02-01/01	Profils en long et vues en plan CT02.07.02 PM 0+000 - 0+345	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT02.07.02-01/01	Profils en travers CT02.07.02	1/200	A3
PL-CQ02.07.02a-01/02	Profils en long et vues en plan CQ02.07.02a PM 0+000 - 1+030	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT02.07.02a-01/01	Profils en travers CT02.07.01a	1/200	A3
PL-CQ02.07.02b-01/01	Profils en long et vues en plan CQ02.07.02b PM 0+000 - 0+630	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CQ02.07.02b-01/01	Profils en travers CQ02.07.02b	1/200	A3
PL-CT02.07.03-01/01	Profils en long et vues en plan CT02.07.03 PM 0+000 - 0+450	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT02.07.03-01/01	Profils en travers CT02.07.03	1/200	A3
PL-CS02.08a-01/01	Profils en long et vues en plan CS02.08a PM 0+000 - 0+207	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CS02.08a-01/01	Profils en travers CS02.08a	1/200	A3
PL-CS02.08b-01/01	Profils en long et vues en plan CS02.08b PM 0+000 - 0+600	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CS02.08b-01/01	Profils en travers CS02.08b	1/200	A3
PL-CS02.09-01/01	Profils en long et vues en plan CS02.09 PM 0+000 - 0+654	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CS02.09-01/01	Profils en travers CS02.09	1/200	A3
PL-CT02.09.01-01/01	Profils en long et vues en plan CT02.09.01 PM 0+000 - 0+188	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT02.09.01-01/01	Profils en travers CT02.09.01	1/200	A3
PL-CT02.09.02-01/01	Profils en long et vues en plan CT02.09.02 PM 0+000 - 0+288	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT02.09.02-01/01	Profils en travers CT02.09.02	1/200	A3
PL-CT02.09.03-01/01	Profils en long et vues en plan CT02.09.03 PM 0+000 - 0+283	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT02.09.03-01/01	Profils en travers CT02.09.03	1/200	A3
PL-CT02.09.04-01/01	Profils en long et vues en plan CT02.09.04 PM 0+000 - 0+194	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT02.09.04-01/01	Profils en travers CT02.09.04	1/200	A3

N° du plan	Description	Echelle	Format
Profils en long – vues en plan et profils en travers – BLOC-02			
PL-CS02.10-01/01	Profils en long et vues en plan CS02.10 PM 0+000 - 0+254	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CS02.10-01/01	Profils en travers CS02.10	1/200	A3
PL-CT02.10.01-01/01	Profils en long et vues en plan CT02.10.01 PM 0+000 - 0+533	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT02.10.01-01/01	Profils en travers CT02.10.01	1/200	A3
PL-CT02.10.02-01/02	Profils en long et vues en plan CT02.10.02 PM 0+000 - 1+161	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT02.10.02-01/02	Profils en travers CT02.10.02	1/200	A3
PL-CS02.11-01/02	Profils en long et vues en plan CS02.11 PM 0+000 - 1+040	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CS02.11-01/02	Profils en travers CS02.11	1/200	A3
PL-CT02.11.01-01/01	Profils en long et vues en plan CT02.11.01 PM 0+000 - 0+675	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT02.11.01-01/01	Profils en travers CT02.11.01	1/200	A3
PL-DS02-01/04	Profils en long et vues en plan drain DS02 PM 0+000 – 2+450	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-DS02-01/03	Profils en travers drain DS02	1/200	A3
PL-DS03-01/02	Profils en long et vues en plan drain DS03 PM 0+000 – 1+384	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-DS03-01/03	Profils en travers drain DS03	1/200	A3
PL-RN1-01/01	Profils en long et vues en plan drain RN1 PM 0+000 - 0+470	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-RN1-01/01	Profils en travers drain RN1	1/200	A3

N° du plan	Description	Echelle	Format
Profils en long – vues en plan et profils en travers – BLOC-03			
PL-CP03-01/04	Profils en long et vues en plan CP03 PM 0+000 - 2+428	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CP03-01/03	Profils en travers CP03 PM 0+000 - 2+428	1/200	A3
PL-CP03-G01/G04	Reconnaissance géotechnique	H: 1/2000 V: 1/200	A3
PL-CS03.01-01/05	Profils en long et vues en plan CS03.01 PM 0+000 - 3+050	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CS03.01-01/03	Profils en travers CS03.01	1/200	A3
PL-CT03.01.01-01/01	Profils en long et vues en plan CT03.01.01 PM 0+000 - 0+515	H: 1/2000 V: 1/200	A3

N° du plan	Description	Echelle	Format
Profils en long – vues en plan et profils en travers – BLOC-03			
SV-CT03.01.01-01/01	Profils en travers CT03.01.01	1/200	A3
PL-CT03.01.02-01/02	Profils en long et vues en plan CT03.01.02 PM 0+000 - 0+770	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT03.01.02-01/01	Profils en travers CT03.01.02	1/200	A3
PL-CT03.01.03-01/01	Profils en long et vues en plan CT03.01.03 PM 0+000 - 0+300	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT03.01.03-01/01	Profils en travers CT03.01.03	1/200	A3
PL-CT03.01.04-01/02	Profils en long et vues en plan CT03.01.04 PM 0+000 - 0+895	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT03.01.04-01/01	Profils en travers CT03.01.04	1/200	A3
PL-CT03.01.05-01/02	Profils en long et vues en plan CT03.01.05 PM 0+000 - 0+775	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT03.01.05-01/01	Profils en travers CT03.01.05	1/200	A3
PL-CQ03.01.05a-01/01	Profils en long et vues en plan CQ03.01.05a PM 0+000 - 0+215	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CQ03.01.05a-01/01	Profils en travers CQ03.01.05a	1/200	A3
PL-CT03.01.06-01/02	Profils en long et vues en plan CT03.01.06 PM 0+000 - 0+875	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT03.01.06-01/01	Profils en travers CT03.01.06	1/200	A3
PL-CT03.01.07-01/02	Profils en long et vues en plan CT03.01.07 PM 0+000 - 0+800	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT03.01.07-01/01	Profils en travers CT03.01.07	1/200	A3
PL-CS03.02-01/02	Profils en long et vues en plan CS03.02 PM 0+000 - 1+205	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CS03.02-01/01	Profils en travers CS03.02	1/200	A3
PL-CT03.02.01-01/01	Profils en long et vues en plan CT03.02.01 PM 0+000 - 0+405	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT03.02.01-01/01	Profils en travers CT03.02.01	1/200	A3
PL-CT03.02.02-01/01	Profils en long et vues en plan CT03.02.02 PM 0+000 - 0+710	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT03.02.02-01/01	Profils en travers CT03.02.02	1/200	A3
PL-CQ03.02.02a-01/01	Profils en long et vues en plan CQ03.02.02a PM 0+000 - 0+577	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CQ03.02.02a-01/01	Profils en travers CQ03.02.02a	1/200	A3
PL-CQ03.02.02b-01/01	Profils en long et vues en plan CQ03.02.02b PM 0+000 - 0+577	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CQ03.02.02b-01/01	Profils en travers CQ03.02.02b	1/200	A3
PL-CQ03.02.02c-01/01	Profils en long et vues en plan CQ03.02.02c PM 0+000 - 0+591	H: 1/2000 V: 1/200	A3

N° du plan	Description	Echelle	Format
Profils en long – vues en plan et profils en travers – BLOC-03			
SV-CQ03.02.02c-01/01	Profils en travers CQ03.02.02c	1/200	A3
PL-CQ03.02.02d-01/01	Profils en long et vues en plan CQ03.02.02d PM 0+000 - 0+418	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CQ03.02.02d-01/01	Profils en travers CQ03.02.02d	1/200	A3
PL-CT03.02.03-01/01	Profils en long et vues en plan CT03.02.03 PM 0+000 - 0+350	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT03.02.03-01/01	Profils en travers CT03.02.03	1/200	A3
PL-CT03.02.04-01/01	Profils en long et vues en plan CT03.02.04 PM 0+000 - 0+615	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT03.02.04-01/01	Profils en travers CT03.02.04	1/200	A3
PL-CQ03.02.04a-01/01	Profils en long et vues en plan CQ03.02.04a PM 0+000 - 0+585	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CQ03.02.04a-01/01	Profils en travers CT03.02.04	1/200	A3
PL-CQ03.02.04b-01/01	Profils en long et vues en plan CQ03.02.04b PM 0+000 - 0+665	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CQ03.02.04b-01/01	Profils en travers CQ03.02.04b	1/200	A3
PL-CT03.02.05-01/02	Profils en long et vues en plan CT03.02.05 PM 0+000 - 0+881	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT03.02.05-01/01	Profils en travers CT03.02.05	1/200	A3
PL-CS03.03-01/04	Profils en long et vues en plan CS03.03 PM 0+000 - 2+780	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CS03.03-01/03	Profils en travers CS03.03	1/200	A3
PL-CT03.03.01-01/03	Profils en long et vues en plan CT03.03.01 PM 0+000 - 1+579	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT03.03.01-01/02	Profils en travers CT03.03.01	1/200	A3
PL-CT03.03.02-01/01	Profils en long et vues en plan CT03.03.02 PM 0+000 - 0+315	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT03.03.02-01/01	Profils en travers CT03.03.02	1/200	A3
PL-CT03.03.03-01/02	Profils en long et vues en plan CT03.03.03 PM 0+000 - 0+900	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT03.03.03-01/01	Profils en travers CT03.03.03	1/200	A3
PL-CQ03.03.01a-01/01	Profils en long et vues en plan CQ03.03.01a PM 0+000 - 0+310	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CQ03.03.01a-01/01	Profils en travers CQ03.03.01a	1/200	A3
PL-CT03.03.04-01/01	Profils en long et vues en plan CT03.03.04 PM 0+000 - 0+370	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT03.03.04-01/01	Profils en travers CT03.03.04	1/200	A3
PL-CQ03.03.04a-01/01	Profils en long et vues en plan CQ03.03.04a PM 0+000 - 0+518	H: 1/2000 V: 1/200	A3

N° du plan	Description	Echelle	Format
Profils en long – vues en plan et profils en travers – BLOC-03			
SV-CQ03.03.04a-01/01	Profils en travers CQ03.03.04a	1/200	A3
PL-CQ03.03.04b-01/01	Profils en long et vues en plan CQ03.03.04b PM 0+000 - 0+610	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CQ03.03.04b-01/01	Profils en travers CQ03.03.04b	1/200	A3
PL-CT03.03.05-01/02	Profils en long et vues en plan CT03.03.05 PM 0+000 - 0+936	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT03.03.05-01/01	Profils en travers CT03.03.05	1/200	A3
PL-CT03.03.06-01/01	Profils en long et vues en plan CT03.03.06 PM 0+000 - 0+517	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT03.03.06-01/01	Profils en travers CT03.03.06	1/200	A3
PL-CQ03.03.06a-01/01	Profils en long et vues en plan CQ03.03.06a PM 0+000 - 0+389	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CQ03.03.06a-01/01	Profils en travers CQ03.03.06a	1/200	A3
PL-CQ03.03.06b-01/01	Profils en long et vues en plan CQ03.03.06b PM 0+000 - 0+443	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CQ03.03.06b-01/01	Profils en travers CQ03.03.06b	1/200	A3
PL-CQ03.03.06c-01/01	Profils en long et vues en plan CQ03.03.06c PM 0+000 - 0+470	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CQ03.03.06c-01/01	Profils en travers CQ03.03.06c	1/200	A3
PL-CT03.03.07-01/02	Profils en long et vues en plan CT03.03.07 PM 0+000 - 0+968	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT03.03.07-01/01	Profils en travers CT03.03.07	1/200	A3
PL-CT03.03.08.01-01/01	Profils en long et vues en plan CT03.03.08.01 PM 0+000 - 0+530	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT03.03.08.01-01/01	Profils en travers CT03.03.08.01	1/200	A3
PL-CT03.03.08.02-01/01	Profils en long et vues en plan CT03.03.08.02 PM 0+000 - 0+725	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT03.03.08.02-01/01	Profils en travers CT03.03.08.02	1/200	A3

N° du plan	Description	Echelle	Format
Profils en long – vues en plan et profils en travers – BLOC-04			
PL-CS-RG-01-01/02	Profils en long et vues en plan CS-RG-01 PM 0+000 – 1+376	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CS-RG-01-01/03	Profils en travers CS-RG-01	1/200	A3
PL-CS-RG-02-01/03	Profils en long et vues en plan CS-RG-01 PM 0+000 – 1+450	H: 1/2000 V: 1/200	A3

N° du plan	Description	Echelle	Format
Profils en long – vues en plan et profils en travers – BLOC-04			
SV-CS-RG-02-01/02	Profils en travers CS-RG-02	1/200	A3
PL-CT-RG-02-01/02	Profils en long et vues en plan CT-RG-01 PM 0+000 – 0+850	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT-RG-02-01/02	Profils en travers CS-RG-02	1/200	A3
PL-CS-RG-03-01/01	Profils en long et vues en plan CS-RG-01 PM 0+000 – 0+624	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CS-RG-03-01/01	Profils en travers CS-RG-03	1/200	A3
PL-CP04-01/01	Profils en long et vues en plan CP04 PM 0+000 - 0+566	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CP04-01/01	Profils en travers CP04	1/200	A3
PL-CP04-G01/G01	Reconnaissance géotechnique CP04 PM 0+000 - 0+566	H: 1/2000 V: 1/200	A3
PL-CS04.01-01/03	Profils en long et vues en plan CS04.01 PM 0+000 - 1+750	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CS04.01-01/02	Profils en travers CS04.01	1/200	A3
PL-CT04.01.01-01/01	Profils en long et vues en plan CT04.01.01 PM 0+000 - 0+218	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT04.01.01-01/01	Profils en travers CT04.01.01	H: 1/2000 V: 1/200	A3
PL-CQ04.01.01a-01/01	Profils en long et vues en plan CQ04.01.01a PM 0+000 - 0+260	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CQ04.01.01a-01/01	Profils en travers CQ04.01.01a	1/200	A3
PL-CQ04.01.01b-01/01	Profils en long et vues en plan CQ04.01.01b PM 0+000 - 0+580	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CQ04.01.01b-01/01	Profils en travers CQ04.01.01b	1/200	A3
PL-CT04.01.02-01/01	Profils en long et vues en plan CT04.01.02 PM 0+000 - 0+175	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT04.01.02-01/01	Profils en travers CT04.01.02	1/200	A3
PL-CQ04.01.02a-01/01	Profils en long et vues en plan CQ04.01.02a PM 0+000 - 0+460	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CQ04.01.02a-01/01	Profils en travers CQ04.01.02a	1/200	A3
PL-CQ04.01.02b-01/01	Profils en long et vues en plan CQ04.01.02b PM 0+000 - 0+275	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CQ04.01.02b-01/01	Profils en travers CQ04.01.02b	1/200	A3
PL-CT04.01.03-01/04	Profils en long et vues en plan CT04.01.03 PM 0+000 - 2+565	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT04.01.03-01/03	Profils en travers CT04.01.03	1/200	A3
PL-CT04.01.04-01/02	Profils en long et vues en plan CT04.01.04 PM 0+000 - 0+860	H: 1/2000 V: 1/200	A3

N° du plan	Description	Echelle	Format
Profils en long – vues en plan et profils en travers – BLOC-04			
SV-CT04.01.04-01/01	Profils en travers CT04.01.04	1/200	A3
PL-CS04.02-01/01	Profils en long et vues en plan CS04.02 PM 0+000 - 0+500	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CS04.02-01/01	Profils en travers CS04.02	1/200	A3
PL-CT04.02.01-01/01	Profils en long et vues en plan CT04.02.01 PM 0+000 - 0+575	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT04.02.01-01/01	Profils en travers CT04.02.01	1/200	A3
PL-CT04.02.02-01/01	Profils en long et vues en plan CT04.02.02 PM 0+000 - 0+450	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT04.02.02-01/01	Profils en travers CT04.02.02	1/200	A3
PL-CT04.02.03-01/01	Profils en long et vues en plan CT04.02.03 PM 0+000 - 0+370	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT04.02.03-01/01	Profils en travers CT04.02.03	1/200	A3

N° du plan	Description	Echelle	Format
Profils en long – vues en plan et profils en travers – BLOC-05			
PL-CP05-01/03	Profils en long et vues en plan CP05 PM 0+000 - 0+700	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CP05-01/02	Profils en travers CP05	1/200	A3
PL-CP05-G01/G03	Reconnaissance géotechnique CP05 PM 0+000 - 0+700	H: 1/2000 V: 1/200	A3
PL-CS05.01-01/01	Profils en long et vues en plan CS05.01 PM 0+000 - 0+355	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CS05.01-01/01	Profils en travers CS05.01	1/200	A3
PL-CS05.02-01/01	Profils en long et vues en plan CS05.02 PM 0+000 - 0+360	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CS05.02-01/01	Profils en travers CS05.02	1/200	A3
PL-CS05.03-01/01	Profils en long et vues en plan CS05.03 PM 0+000 - 0+393	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CS05.03-01/01	Profils en travers CS05.03	1/200	A3
PL-CS05.04-01/01	Profils en long et vues en plan CS05.04 PM 0+000 - 0+382	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CS05.04-01/01	Profils en travers CS05.04	1/200	A3
PL-CS05.05-01/01	Profils en long et vues en plan CS05.05 PM 0+000 - 0+380	H: 1/2000 V: 1/200	A3

N° du plan	Description	Echelle	Format
Profils en long – vues en plan et profils en travers – BLOC-05			
SV-CS05.05-01/01	Profils en travers CS05.05	1/200	A3
PL-CS05.06-01/01	Profils en long et vues en plan CS05.06 PM 0+000 - 0+464	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CS05.06-01/01	Profils en travers CS05.06	1/200	A3
PL-CT05.02.01-01/01	Profils en long et vues en plan CT05.02.01 PM 0+000 - 0+410	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT05.02.01-01/01	Profils en travers CT05.02.01	1/200	A3
PL-CT05.02.02-01/01	Profils en long et vues en plan CT05.02.02 PM 0+000 - 0+405	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT05.02.02-01/01	Profils en travers CT05.02.02	1/200	A3
PL-CT05.02.03-01/01	Profils en long et vues en plan CT05.02.03 PM 0+000 - 0+405	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT05.02.03-01/01	Profils en travers CT05.02.03	1/200	A3
PL-CT05.03.01-01/01	Profils en long et vues en plan CT05.03.01 PM 0+000 - 0+385	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT05.03.01-01/01	Profils en travers CT05.03.01	1/200	A3
PL-CT05.03.02-01/01	Profils en long et vues en plan CT05.03.02 PM 0+000 - 0+380	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT05.03.02-01/01	Profils en travers CT05.03.02	1/200	A3
PL-CT05.03.03-01/01	Profils en long et vues en plan CT05.03.03 PM 0+000 - 0+380	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT05.03.03-01/01	Profils en travers CT05.03.03	1/200	A3
PL-CT05.04.01-01/01	Profils en long et vues en plan CT05.04.01 PM 0+000 - 0+225	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT05.04.01-01/01	Profils en travers CT05.04.01	1/200	A3
PL-CT05.04.02-01/01	Profils en long et vues en plan CT05.04.02 PM 0+000 - 0+225	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT05.04.02-01/01	Profils en travers CT05.04.02	1/200	A3
PL-CT05.04.03-01/01	Profils en long et vues en plan CT05.04.03 PM 0+000 - 0+225	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT05.04.03-01/01	Profils en travers CT05.04.03	1/200	A3
PL-CT05.06.01-01/01	Profils en long et vues en plan CT05.06.01 PM 0+000 - 0+335	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT05.06.01-01/01	Profils en travers CT05.06.01	1/200	A3
PL-CT05.06.02-01/02	Profils en long et vues en plan CT05.06.02 PM 0+000 - 1+340	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT05.06.02-01/02	Profils en travers CT05.06.02	1/200	A3

N° du plan	Description	Echelle	Format
Profils en long – vues en plan et profils en travers – BLOC-05			
PL-CT05.06.03-01/01	Profils en long et vues en plan CT05.06.03 PM 0+000 - 0+385	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT05.06.03-01/01	Profils en travers CT05.06.03	1/200	A3
PL-CT05.06.04-01/01	Profils en long et vues en plan CT05.06.04 PM 0+000 - 0+407	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT05.06.04-01/01	Profils en travers CT05.06.04	1/200	A3
PL-CQ05.06.04a-01/02	Profils en long et vues en plan CQ05.06.04a PM 0+000 - 0+740	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CQ05.06.04a-01/01	Profils en travers CQ05.06.04a	1/200	A3
PL-CQ05.06.04b-01/01	Profils en long et vues en plan CQ05.06.04b PM 0+000 - 0+280	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CQ05.06.04b-01/01	Profils en travers CQ05.06.04b	1/200	A3
PL-CT05.06.05-01/02	Profils en long et vues en plan CT05.06.05 PM 0+000 - 0+840	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT05.06.05-01/01	Profils en travers CT05.06.05	1/200	A3
PL-CT05.06.06-01/02	Profils en long et vues en plan CT05.06.06 PM 0+000 - 0+935	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT05.06.06-01/01	Profils en travers CT05.06.06	1/200	A3

N° du plan	Description	Echelle	Format
Profils en long – vues en plan et profils en travers – BLOC-06			
PL-CP06-01/07	Profils en long et vues en plan CP06 PM 0+000 - 4+728	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CP06-01/08	Profils en travers CP06	1/200	A3
PL-CP06-G01/G07	Reconnaissance géotechnique CP06 PM 0+000 - 4+728	H: 1/2000 V: 1/200	A3
PL-CS06.01-01/02	Profils en long et vues en plan CS06.01 PM 0+000 - 1+030	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CS06.01-01/02	Profils en travers CS06.01	1/200	A3
PL-CT06.01.01-01/03	Profils en long et vues en plan CT06.01.01 PM 0+000 - 1+780	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT06.01.01-01/03	Profils en travers CT06.01.01	1/200	A3
PL-CT06.01.02-01/01	Profils en long et vues en plan CT06.01.02 PM 0+000 - 0+225	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT06.01.02-01/01	Profils en travers CT06.01.02	1/200	A3

N° du plan	Description	Echelle	Format
Profils en long – vues en plan et profils en travers – BLOC-06			
PL-CT06.01.03-01/01	Profils en long et vues en plan CT06.01.03 PM 0+000 - 0+215	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT06.01.03-01/01	Profils en travers CT06.01.03	1/200	A3
PL-CT06.01.04-01/01	Profils en long et vues en plan CT06.01.04 PM 0+000 - 0+220	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT06.01.04-01/01	Profils en travers CT06.01.04	1/200	A3
PL-CT06.01.05-01/01	Profils en long et vues en plan CT06.01.05 PM 0+000 - 0+210	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT06.01.05-01/01	Profils en travers CT06.01.05	1/200	A3
PL-CT06.01.06-01/02	Profils en long et vues en plan CT06.01.06 PM 0+000 - 0+825	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT06.01.06-01/02	Profils en travers CT06.01.06	1/200	A3
PL-CQ06.01.06a-01/02	Profils en long et vues en plan CQ06.01.06a PM 0+000 - 0+980	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CQ06.01.06a-01/02	Profils en travers CQ06.01.06a	1/200	A3
PL-CQ06.01.06b-01/01	Profils en long et vues en plan CQ06.01.06b PM 0+000 - 0+490	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CQ06.01.06b-01/0--	Profils en travers CQ06.01.06b	1/200	A3
PL-CS06.02-01/01	Profils en long et vues en plan CS06.02 PM 0+000 - 0+330	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CS06.02-01/01	Profils en travers CS06.02	1/200	A3
PL-CS06.03-01/01	Profils en long et vues en plan CS06.03 PM 0+000 - 0+250	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CS06.03-01/01	Profils en travers CS06.03	1/200	A3
PL-CS06.04-01/03	Profils en long et vues en plan CS06.04 PM 0+000 - 1+879	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CS06.04-01/03	Profils en travers CS06.04	1/200	A3
PL-CT06.04.01-01/01	Profils en long et vues en plan CT06.04.01 PM 0+000 - 0+620	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT06.04.01-01/01	Profils en travers CT06.04.01	1/200	A3
PL-CT06.04.02-01/02	Profils en long et vues en plan CT06.04.02 PM 0+000 - 1+020	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT06.04.02-01/02	Profils en travers CT06.04.02	1/200	A3
PL-CT06.04.03-01/02	Profils en long et vues en plan CT06.04.03 PM 0+000 - 0+945	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT06.04.03-01/02	Profils en travers CT06.04.03	1/200	A3
PL-CT06.04.04-01/03	Profils en long et vues en plan CT06.04.04 PM 0+000 - 1+750	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT06.04.04-01/03	Profils en travers CT06.04.04	1/200	A3

N° du plan	Description	Echelle	Format
Profils en long – vues en plan et profils en travers – BLOC-06			
PL-CT06.04.05-01/03	Profils en long et vues en plan CT06.04.05 PM 0+000 - 2+080	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT06.04.05-01/03	Profils en travers CT06.04.05	1/200	A3
PL-CQ06.04.05a-01/01	Profils en long et vues en plan CQ06.04.05a PM 0+000 - 0+430	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CQ06.04.05a-01/01	Profils en travers CQ06.04.05a	1/200	A3
PL-CQ06.04.05b-01/01	Profils en long et vues en plan CQ06.04.05b PM 0+000 - 0+680	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CQ06.04.05b-01/01	Profils en travers CQ06.04.05b	1/200	A3
PL-CQ06.04.05c-01/02	Profils en long et vues en plan CQ06.04.05c PM 0+000 - 1+130	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CQ06.04.05c-01/02	Profils en travers CQ06.04.05c	1/200	A3
PL-CQ06.04.05d-01/02	Profils en long et vues en plan CQ06.04.05d PM 0+000 - 0+850	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CQ06.04.05d-01/02	Profils en travers CQ06.04.05d	1/200	A3
PL-CQ06.04.05e-01/01	Profils en long et vues en plan CQ06.04.05e PM 0+000 - 0+550	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CQ06.04.05e-01/01	Profils en travers CQ06.04.05e	1/200	A3
PL-CQ06.04.05f-01/01	Profils en long et vues en plan CQ06.04.05f PM 0+000 - 0+570	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CQ06.04.05f-01/01	Profils en travers CQ06.04.05f	1/200	A3
PL-CS06.05-01/01	Profils en long et vues en plan CS06.05 PM 0+000 - 0+680	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CS06.05-01/01	Profils en travers CS06.05	1/200	A3
PL-CT06.05.01-01/01	Profils en long et vues en plan CT06.05.01 PM 0+000 - 0+600	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT06.05.01-01/01	Profils en travers CT06.05.01	1/200	A3
PL-CT06.05.02-01/02	Profils en long et vues en plan CT06.05.02 PM 0+000 - 0+800	H: 1/2000 V: 1/200	A3
SV-CT06.05.02-01/01	Profils en travers CT06.05.02	1/200	A3

Annexe 3. Comptes d'exploitation des différentes cultures

Comptes d'exploitation avant aménagement

Culture	Rendement moyen [t/ha]	Produit [BIF/ha]	Intrants [BIF/ha]	Main d'œuvre [BIF/ha]	Revenu brut agricole [BIF/ha]
Oignon	17.5	11 750 000	902 000	1 410 000	9 438 000
Manguiers	2.8	8 125 000	615 160	450 000	7 059 840
Tomate	14.0	20 800 000	2 108 000	1 590 000	17 102 000
Aubergine	12.5	7 250 000	1 781 500	825 000	4 643 500
Riz Paddy	5.0	6 600 000	565 000	1 617 000	4 418 000
Banane	9.0	3 700 000	922 000	1 692 500	1 085 500
Maïs	2.5	2 275 000	538 500	765 000	971 500
Soja	1.0	1 560 000	310 000	419 000	831 000
Sorgho	1.5	1 872 500	270 850	663 000	938 650
Coton	1.0	720 000	51 000	413 000	256 000

Les cultures surlignées sont celles qui devraient voir leur revenu brut agricole augmenter avec le projet d'aménagement.

Comptes d'exploitation après aménagement

Culture	Rendement moyen [t/ha]	Produit [BIF/ha]	Intrants [BIF/ha]	Main d'œuvre [BIF/ha]	Revenu brut agricole [BIF/ha]
Oignon	18.5	13 325 000	902 000	1 410 000	11 013 000
Manguiers	2.8	8 400 000	615 160	450 000	7 334 840
Tomate	15.0	23 750 000	2 108 000	1 590 000	20 052 000
Aubergine	13.5	8 475 000	1 781 500	825 000	5 868 500
Riz Paddy	6.0	8 500 000	565 000	1 617 000	6 318 000
Banane	9.0	3 700 000	922 000	1 692 500	1 085 500
Maïs	2.6	2 580 000	538 500	765 000	1 276 500
Soja	1.1	1 687 500	310 000	419 000	958 500
Sorgho	1.5	1 948 750	270 850	663 000	1 014 900
Coton	1.0	770 000	51 000	413 000	306 000

Annexe 4. Contexte géotechnique

Une visite préliminaire a été faite en avril 2022 sur le projet de prise d'eau sur la Kaburantwa pour la phase APS. Une visite plus approfondie a été réalisée par le géologue géotechnicien en novembre 2022 pour la phase APD. Cette visite a permis de vérifier les conditions géologiques des différents ouvrages qui composent le projet. Cette annexe présente les conditions géologiques et géotechniques des différents ouvrages.

1. Seuil de dérivation et prise d'eau

1.1 Géomorphologie :

La prise d'eau était initialement prévue juste en amont du pont au début de la gorge resserrée, elle se situe maintenant plus en amont dans une zone où les berges présentent des pentes plus faibles et où des phénomènes d'érosion affectent les terrains de couverture.



Figure 45 – Morphologie de la vallée au niveau du seuil de dérivation sur la Kaburantwa



Figure 46 – Vue aérienne de la vallée

Les zones d'érosions visibles au niveau du seuil semblent avoir pour origine un double phénomène d'initiation :

- En rive droite elles seraient liées à la recherche d'or : l'orpaillage ayant fragilisé le pied de talus, une érosion des terrains de surface s'est produite.
- En rive gauche le sommet de la zone d'érosion correspond à l'exutoire de plusieurs canaux de drainage des eaux pluviales ; pendant la visite des orpailleurs ont été rencontrés, à la recherche de matériaux aurifères en pieds de talus. Tous ces facteurs ont donné lieu à des érosions importantes.

Probablement les variations du niveau d'eau dans la rivière poursuivent le travail d'érosion initié par ces mécanismes, évolution qui progresse vers les rives.



Figure 47 – Rive gauche et rive droite de la zone du seuil

1.2. Géologie :

1.2.1. Substratum : la zone de prise de Kaburantwa est à la limite entre le complexe de Buganda-Ruhanga (Bg RU) et les granites de Kaburantwa. Au niveau de la rivière cette limite est marquée par une faille. Les roches du complexe de Buganda sont composées de gneiss migmatitique, de micaschistes, d'amphibolites, d'orthogneiss, de para-gneiss et de lentilles de calcaire dolomitiques et de quartzites. Les granitoïdes de Kaburantwa sont à texture porphyrique a deux micas, devenant gneissique en bordure de formation.

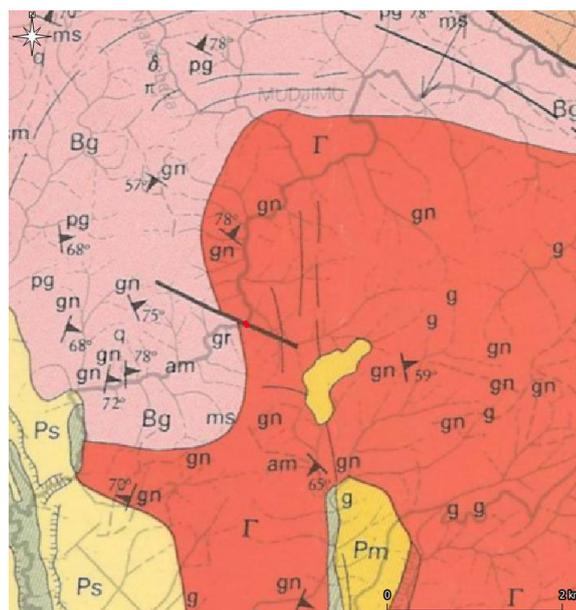


Figure 48 – Extrait de la carte géologique de Cibitoke 1/100 000ème

L'étude plus détaillée de la zone a permis d'identifier six faciès principaux, qui pourraient s'apparenter aux formations régionales suivantes :

- **Formation des granitoïdes de la Kaburantwa**

- Granites francs : ce facies est visible au niveau de la carrière exploitée pour la construction de la centrale en amont du projet, il n'a pas été identifié aux abords immédiats du projet.



Figure 49 - Granitoïdes au niveau de la carrière

- Gneiss à grains fins affleurant au niveau de la rivière, souvent présents dans les ravines.



Figure 50 - Affleurement de gneiss



Figure 51 - Affleurement de gneiss altéré dans les ravines

- Gneiss / granitoïde porphyrique : ce faciès est facilement identifiable car il présente une matrice formée de minéraux de petite taille et de cristaux bien formés de taille centimétrique, ils sont visibles au niveau des berges de la rivière et des blocs sont présents dans les zones d'érosions. Il semble que la majorité des blocs visibles ne sont pas en place.



Figure 52 - Affleurement de porphyre

- **Formation de Buganda :**

- Micaschistes, rouge à gris très riche en muscovite, visibles au niveau de la rivière et souvent altérés dans les pentes, notamment au sommet de la zone d'érosion de la rive gauche ; on les retrouve également au niveau de la faille proche du pont, où ils se présentent en blocs décimétriques.



Figure 53 - Affleurement de micaschistes (rocher sain et en blocs au niveau de la faille)



Figure 54 - Micaschistes altéré

- Gneiss / micaschiste migmatitique et/ou œillet : les migmatites présentent des bancs de quartz d'une 5 à 10 centimètres d'épaisseur, quelquefois plissés dans une matrice gneissique à grain fin.

Les gneiss œillets sont plus ou moins riche en muscovite et sont proche des micaschistes, ils sont à grains fins et présentent des nodules centimétriques de couleur violacée lorsqu'ils sont frais, ces nodules résistent bien à l'altération, ils ressortent clairement de la matrice altérée et sont dans ce cas très oxydés. Ces nodules par leurs duretés et leurs oxydations lorsqu'ils sont altérés évoquent des grenats.

Les gneiss œillets sont bien visibles au niveau du contact gneiss micaschistes au niveau du seuil.



Figure 55 - Gneiss migmatitique



Figure 56 - Gneiss/ micaschistes œillet (affleurement sain et altéré)

- Quartzites, ce facies forme le verrou bien marqué dans le lit de la rivière au niveau du pont, qui est d'ailleurs construit sur ce banc de quartz d'une puissance de plusieurs mètres. D'autres bancs sont visibles notamment au niveau du col présent dans la zone d'érosion de la rive gauche. De nombreux blocs de quartz riche en muscovite sont également présents sur l'ensemble du site (souvent non en place).



Figure 57 - Affleurement de quartz

Comme nous venons de le voir il existe des gneiss dans les deux formations régionales, il est très difficile de déterminer avec précision la transition entre ces deux complexes régionaux. Le site se trouvant à la frontière de ces deux formations la transition se fait peut-être graduellement, et/ou sous forme de bancs ou lambeaux, ce qui expliquerait que l'on retrouve des gneiss aussi bien au sein des micaschistes et des granitoïdes (la carte géologique précise que les granitoïdes deviennent gneissiques à la frontière des deux facies).

1.2.2. Conditions de surface

En rive gauche l'érosion fait apparaître un talus (de hauteur métrique) en forme de triangle, le fond de cette surface laisse apparaître des gros blocs de micaschistes altérés en partie haute et les ravines en partie basse laissent apparaître les gneiss altérés. Une grande partie de cette zone est recouverte de galets de taille pluri-centimétrique majoritairement quartzitiques. La zone d'érosion est séparée de la partie aval par un col qui semble correspondre à une zone de quartzique (gros blocs de quartz très riches en muscovite).



Figure 58 - Conditions de surface de la rive gauche (talus, blocs et galets)

La rive droite est limitée par un talus constitué de sol latéritique rouge de 5 à 10 m de haut environ. La partie la plus amont de ce talus laisse apparaître des gneiss plus ou moins altérés. Les berges de la rivière sont composées essentiellement de gneiss sain, et comme en rive gauche de très gros blocs, de taille pluri-décimétrique à métrique, sont présents (de nature diverse), on retrouve également des plages de galets de quartz. Des affleurements de gneiss dans les talus des petits talwegs sont présents dans cette zone.



Figure 59 - Conditions de surface de la rive droite (blocs et galets de quartz)

Le seuil est positionné juste en aval d'un affleurement de gneiss, qui devra être arasé pour des questions hydrauliques. Cette roche de nature gneissique est très dure mais il est découpé par des plans ouverts qui limite les différents bancs. Il sera certainement possible de d'araser cet affleurement à l'aide d'un brise roche.



Figure 60 - Affleurement à araser en rive droite

Les zones de répartition des différents faciès et de la faille cartographiés sont présentées dans la figure suivante :

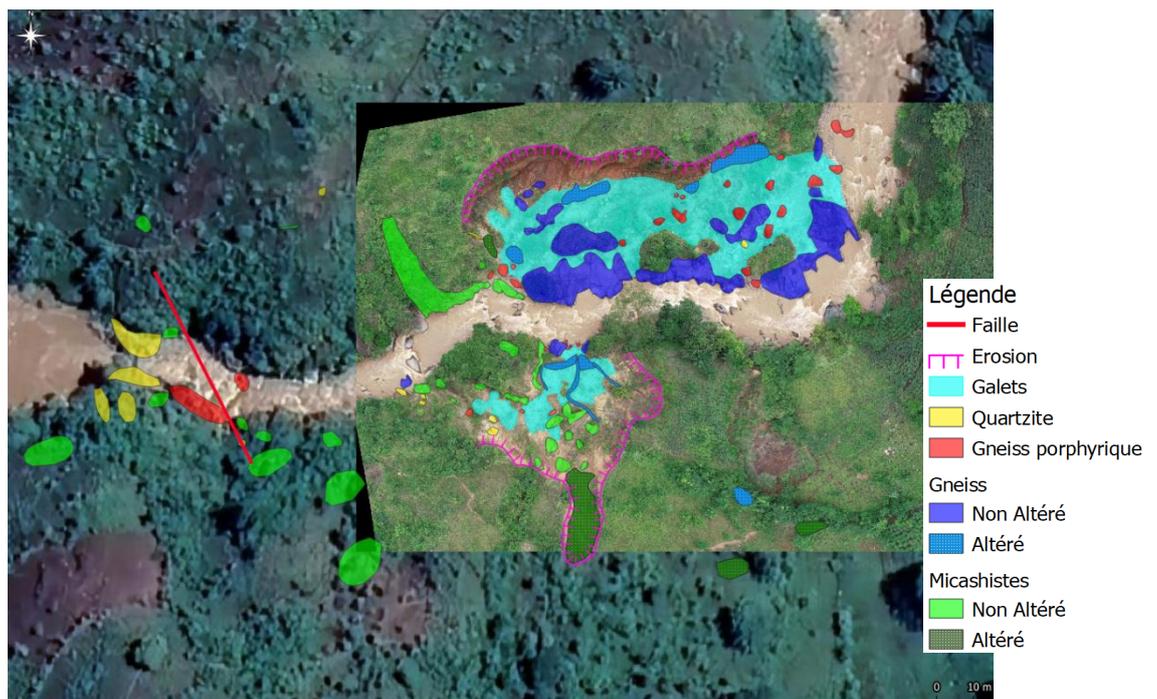


Figure 61 - Carte des observations géologique de Kaburantwa

1.2.3 Géologie structurale, seuil

Pendant la visite de site seule la faille au niveau du pont a été identifiée. Cette faille est visible au niveau de la rivière et son extension en rive est difficile à déterminer, elle se perd sous les sols de couverture.



Figure 62 - Faille en amont du pont, Rive droite et Rive gauche

La faille mentionnée dans la carte géologique est quant à elle non identifiée sur le site d'étude, aucune zone broyée n'a été observée et aucune continuité en grand dans les talwegs n'a été mise en évidence. La recherche de faille à partir de la topographie SRTM n'a pas permis de l'identifier dans la zone immédiate du projet.

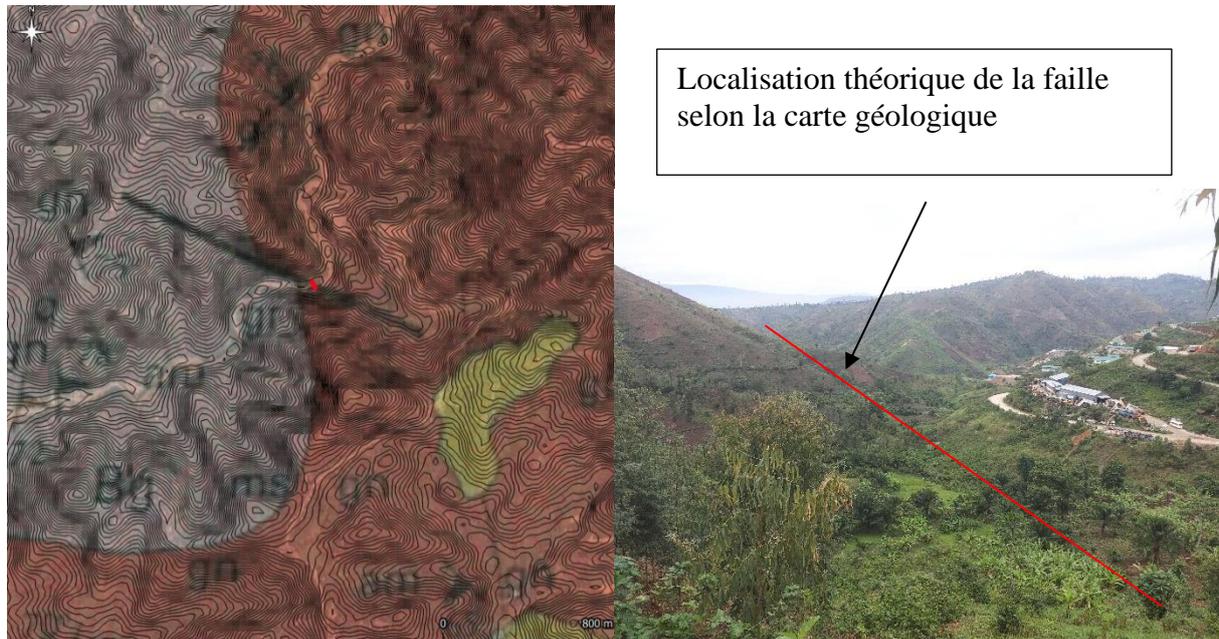


Figure 63 - Localisation de la faille suivant la carte géologique

Le rapport de faisabilité de l'aménagement Kabu 16 de 1995 [1] localise cette faille proche de la centrale. Il est mentionné qu'elle est marquée par un jalonnement de quartz. Cette possibilité semble cohérente avec la topographie et les données géologiques du site.

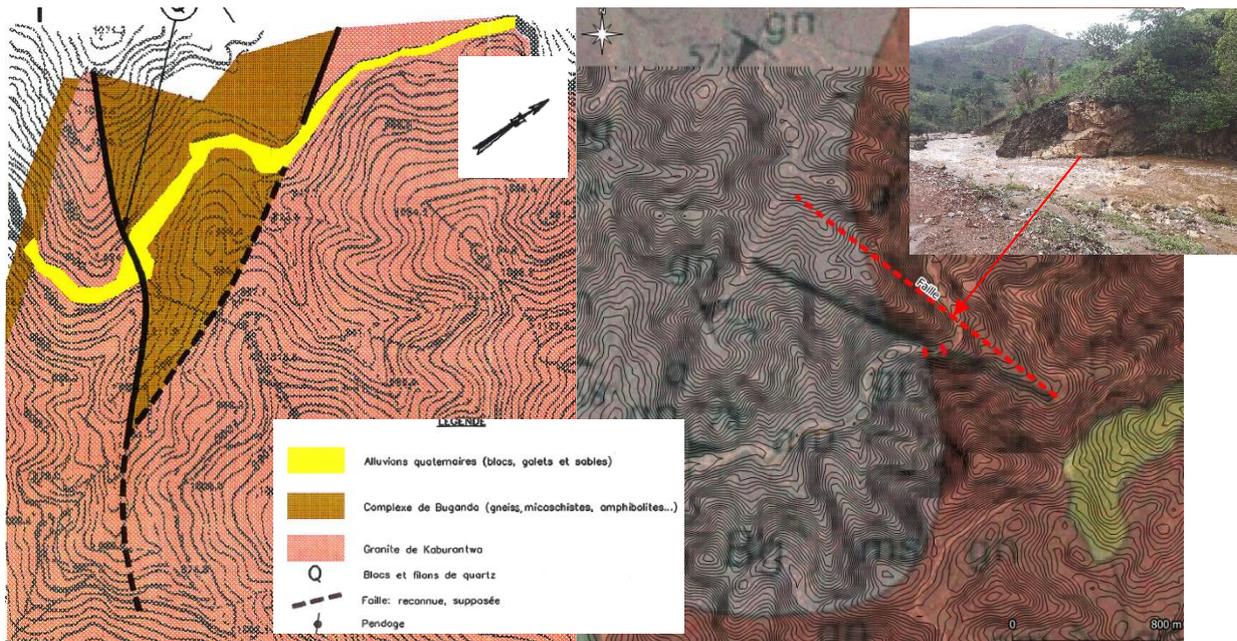


Figure 64 - Localisation de la faille suivant l'étude de faisabilité de Kabu 16.

La roche présente une orientation suivant la foliation ainsi que des fractures / diaclases associées.

La foliation est de direction Nord-Sud avec un pendage très redressé de 44 à 89° vers l'Est.



Figure 65 - Relevé de la foliation

Les fractures / diaclases sont perpendiculaires à la foliation, de direction globalement Est-Ouest à pendage vers le Nord ou le Sud avec une pente comprise entre 13 et 86°. Il est à noter que dans la zone du seuil les diaclases sont difficiles à mesurer car une bonne partie des blocs sont basculés. Ces diaclases semblent peu ouvertes au niveau des affleurements proches de la rivière dans la zone du seuil.

1.2.4 Géotechnique, seuil

Deux puits ont été réalisés au niveau du col en aval de la prise. Ces deux puits ont mis en évidence des blocs et galets sur 1 m de profondeur puis le substratum de micaschistes très altérés.



Figure 66 - Localisation et photo des puits au niveau de col (aval de la prise)

1.2.5 Seuil - Conclusions

Le site de la prise se situe dans des zones d'érosion, les talus de ces érosions devront être confortés (par gabion par exemple) lors de la construction afin d'éviter une aggravation de ce phénomène. Les eaux devront être canalisées et drainées avec des dispositions particulières pour éviter que les écoulements ne se déplacent ou ne détériorent le confortement mis en place. Une surveillance des activités d'orpillage est également à mettre en place pour ne pas mettre en péril les ouvrages construits.

Le seuil est localisé à la limite entre des affleurements de micaschistes et de gneiss. A défaut d'investigations plus poussées, l'examen visuel montre que ces roches paraissent relativement compétentes et devraient supporter la charge plutôt faible du seuil et des vannes.

La destruction de l'îlot de gneiss en rive droite devrait être possible avec un brise-roche car les bancs sont d'ordre métriques. Un matériel pour l'excavation à l'explosif est à provisionner sur site pendant la phase de construction en cas d'impossibilité d'excavation au brise-roche.

Les gneiss altérés de la rive gauche devront être excavés pour fonder les ouvrages sur le toit du rocher non rippable.

Pour faciliter les travaux, un nettoyage de la zone est nécessaire, il consiste à l'évacuation des gros blocs et à la réalisation de plateforme « plane ».

Lors de la construction et notamment l'excavation pour la fondation, une analyse précise des conditions géologiques est à réaliser, afin de s'assurer de la nature et de l'état du rocher et que le substratum non rippable est bien atteint.

Le pendage général des couches vers l'amont est favorable par rapport à la position de l'ouvrage, les écoulements le long de ces discontinuités sont peu probables. Lors du relevé géologique de la fondation il sera nécessaire de vérifier les diaclases, qui elles sont défavorables, car elles coupent perpendiculairement le seuil (dans le sens de la rivière) et peuvent induire des écoulements amont-aval sous l'ouvrage.

1.3 Dessableur

1.3.1 Conditions géologiques, dessableur

Le dessableur est localisé dans une zone de pente faible (d'environ 10-15°), ces terrains sont cultivés et aucun affleurement n'est visible dans cette zone. Cependant des petites ravines (quelques mètres de haut) sont présentes sur la tête nord du dessableur. D'après la carte géologique le substratum est formé des roches du complexe de Buganda-Ruhanga



Figure 67 - Zone du dessableur



Figure 68 - Ravine au niveau du dessableur

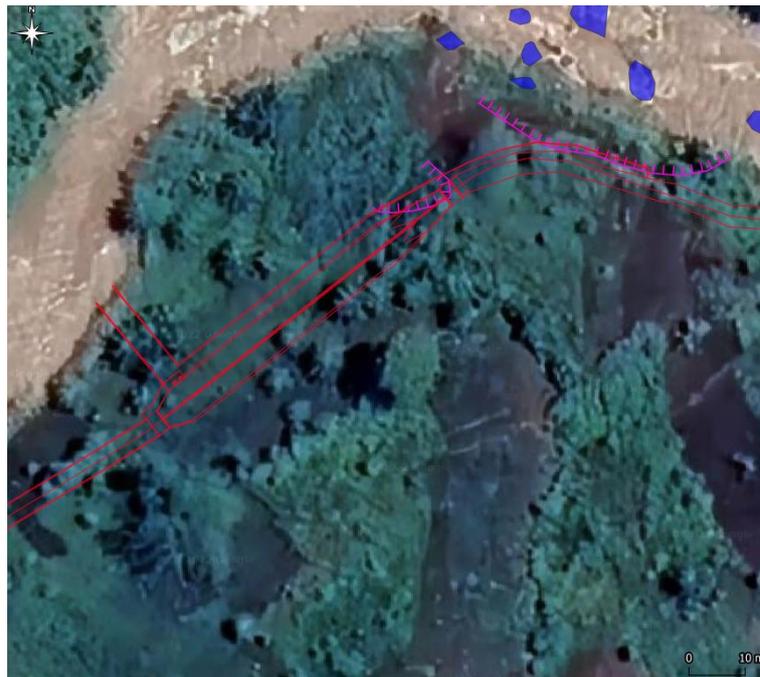


Figure 69 - relevé géologique zone du dessableur

1.3.2 Géotechnique, dessableur

Sept (7) sondages au pénétromètres dynamique ont été réalisés dans la zone du dessableur, la résistance de pointe est de l'ordre de 2MPa dans les 1 à 2 premier mètres puis augmente jusqu'au refus. Les profondeurs maximales atteintes sont de 1.3 à 3.1 m avec une moyenne de 2.4 m (les résultats sont présentés en annexe).

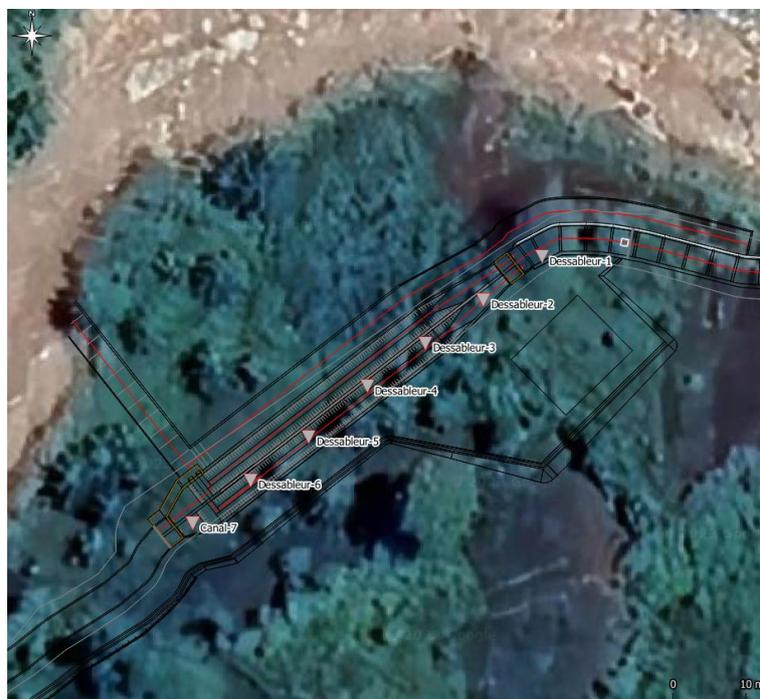


Figure 70 - Localisation des pénétromètres zone du dessableur

1.3.5 Dessableur – Conclusion

La zone du dessableur ne pose pas de problème majeur, en raison de ses dimensions et de sa faible charge. Il sera fondé dans les sols, les petites ravines seront peut-être à traiter en fonction de sa position finale.

1.4 Canal d'amenée

1.4.1 Conditions géologiques – canal d'amenée

Deux zones peuvent être individualisées selon la topographie :

La première zone se situe entre le seuil et le dessableur où le versant est abrupt avec des pentes fortes (avoisinant les 30-40°) jusqu'à la fin du resserrement de la gorge où se trouve le pont.

Trois zones d'affleurement rocheux ont été identifiées : la première est au niveau du col au début du canal, ce col est marqué par des affleurements de quartz ; la deuxième est entre le seuil et le pont avec des affleurements de micaschistes dans les fortes pentes. La troisième est une au niveau du pont avec le banc de quartz. Ces trois zones devront certainement être excavées à l'explosif pour la construction du canal.

En aval du pont une surface d'érosion apparaît proche de la rivière, celle-ci devra être remblayée et confortée (par gabion par exemple) lors de la construction.

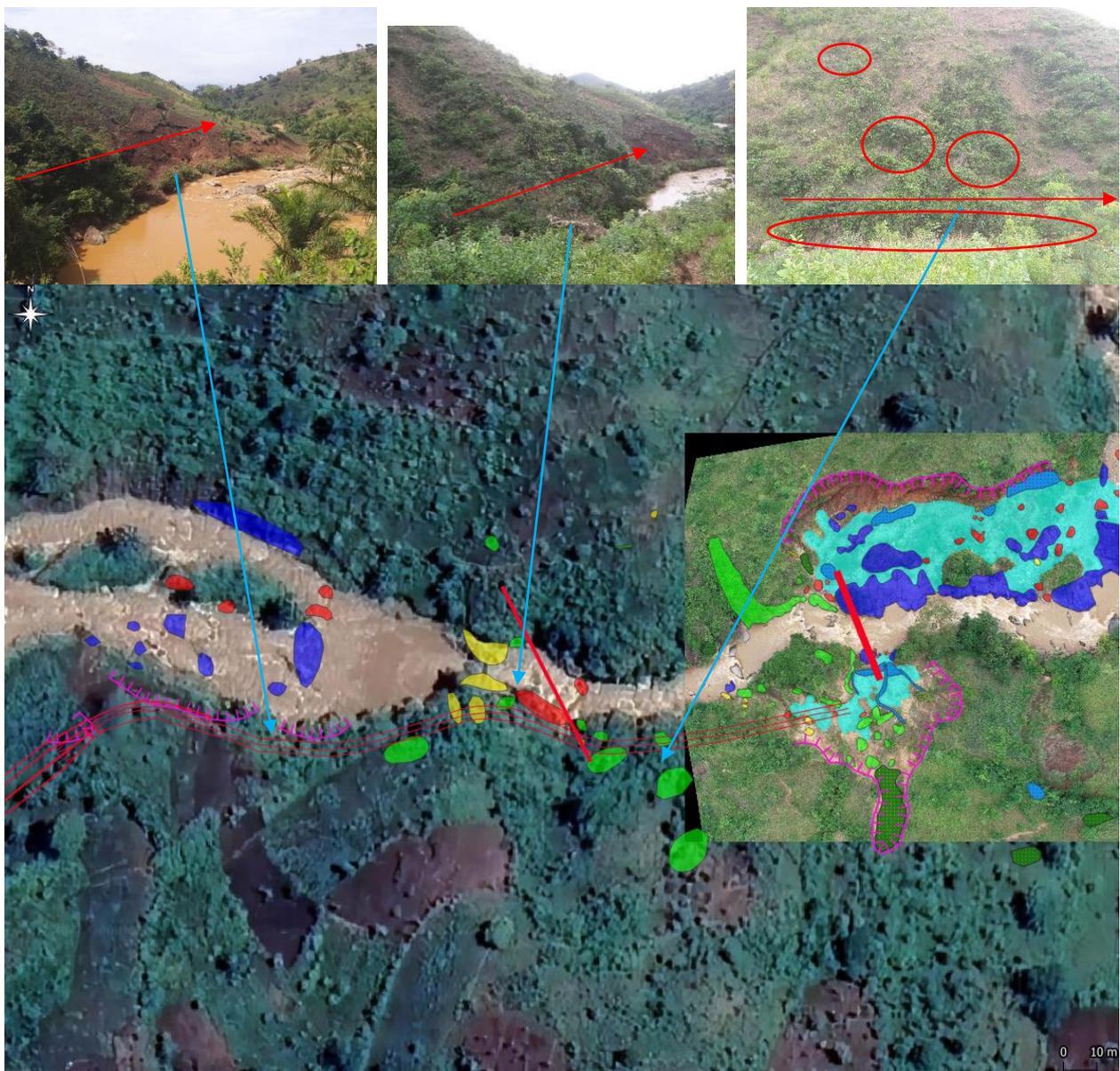


Figure 71 - Localisation des zones problématiques le long du canal entre le seuil et le dessableur

La deuxième zone commence après le dessableur, où le canal sinue le long des berges en pentes douces.

Dans cette zone les pentes sont plus douces et des ravines d'érosion recoupent ou avoisinent le tracé du canal. Elles se situent essentiellement dans le premier kilomètre du tracé. Dans certains champs des blocs gneissiques sont apparents et laisse penser que le substratum peut ne pas être très profond.

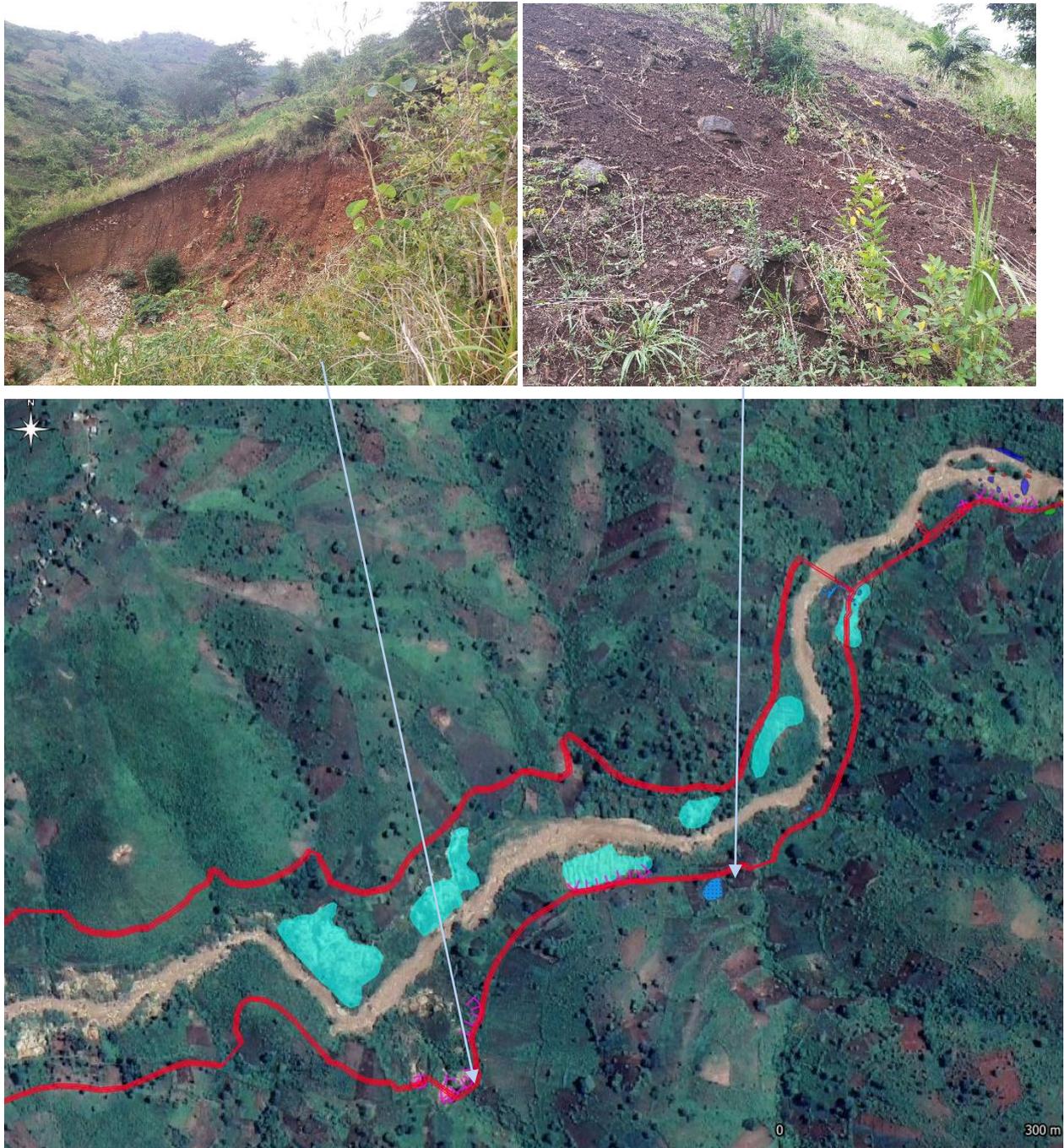


Figure 72 - Localisation des zones problématiques le long du canal après le dessableur

1.4.2 Géotechnique - Canal d'amenée :

Neuf (9) sondages au pénétromètres dynamique ont été réalisés dans le canal d'amenée.

La résistance de pointe augmente jusqu'au refus dans les sondages proches des affleurements rocheux (1,2,4,9), ils ont atteint une profondeur qui varie entre 0.9 et 1.7 m avec une profondeur moyenne de 1.4 m.

Pour les autres la résistance de pointe est de l'ordre de 2MPa dans les 1 à 2 premiers mètres puis augmente jusqu'au refus (sauf pour le sondage 3 ou la résistance est de l'ordre de 4MPa). Les profondeurs maximales atteintes sont de 1.3 à 3 m, avec une moyenne de 2.2 m (les résultats sont présentés en annexe).

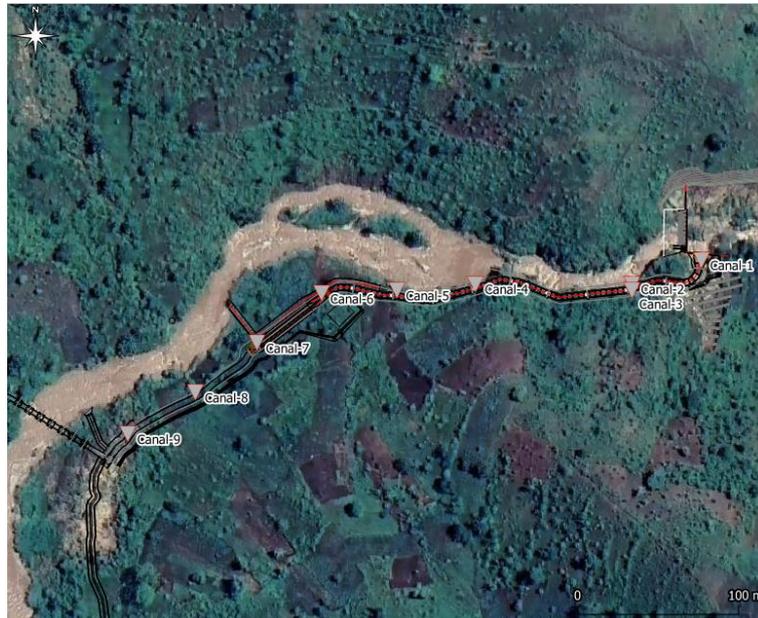


Figure 73 - Localisation des pénétrromètres sur le canal d'amenée

1.4.3 Canal d'amenée - Conclusion

En conclusion, le canal est essentiellement situé dans les matériaux meubles, mais depuis la prise plusieurs zones plus difficiles sont à franchir :

La zone du col après la prise d'eau zone ou des blocs de quartz sont présents, une excavation à l'explosif est à envisager

Le passage entre le col et le pont, dans les micaschistes, là aussi une excavation à l'explosif est à envisager

La zone du pont, construit sur un banc de quartz, l'excavation à l'explosif est à envisager

Ensuite la problématique est issue des zones d'érosion, les talus devront être protégés pour garantir la pérennité du canal.

1.5. Aqueduc

1.5.1 Conditions géologiques - aqueduc

Au niveau du passage de la rivière en aqueduc la rive gauche est une terrasse relativement plate, elle est recouverte majoritairement de blocs centimétriques à décimétriques d'origine diverse parfois arrondis. Mais des blocs de taille métrique sont également présents.



Figure 74 - Localisation de l'aqueduc



Figure 75 - Blocs recouvrant la zone de l'aqueduc en rive gauche

Les zones découvertes sans galet laissent apparaître un substratum rocheux très altéré de couleur gris à orangé, à grain fin. Il semble être de nature gneissique, toutefois peu de muscovite est visible dans cette zone. Ce rocher altéré sera à purger pour fonder les piles de l'aqueduc ainsi que pour la construction du canal. Un déroctage à l'explosif est peut-être à envisager en fonction de la côte du fond de canal.



Figure 76 - Rocher altéré au niveau de la rive droite de l'aqueduc

La rive droite ne présente peu ou pas de rocher dans les pentes, qui sont recouvertes de sols qui semblent cultivés. La roche est présente sur les berges de la rivière uniquement.

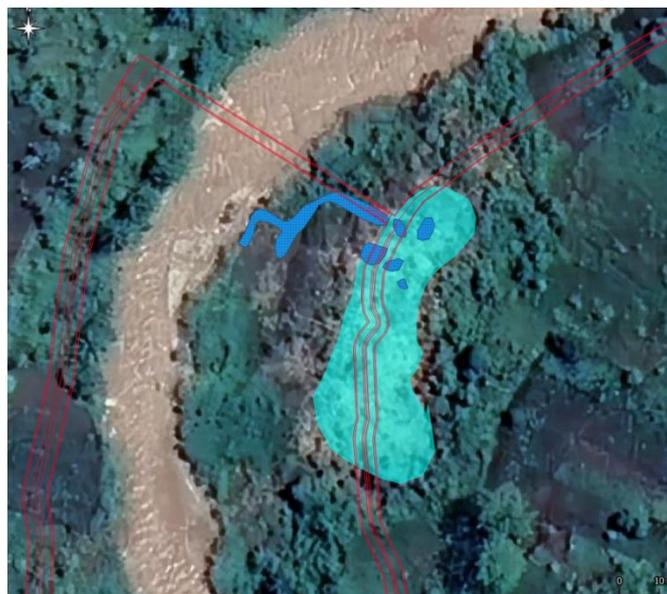


Figure 77 - Carte des observations géologiques de la zone de l'aqueduc

1.5.2 Géotechnique – aqueduc - Conclusion

Une partie du canal et le départ de l'aqueduc en rive droite se trouve sur une zone avec beaucoup de blocs et galets, ils devront être évacués.

La fondation de l'aqueduc devra se faire sur le toit du rocher non rippable. En fonction de la profondeur du canal une excavation à l'explosif est à envisager.

1.6 Siphon rive droite - Kansega

1.6.1 Conditions géologiques - siphon Kansega

Le site de l'aqueduc de Kansega est implanté dans une gorge resserrée qui est beaucoup plus large en aval et laisse apparaître des canyons avec des altérations poussées sur les berges.

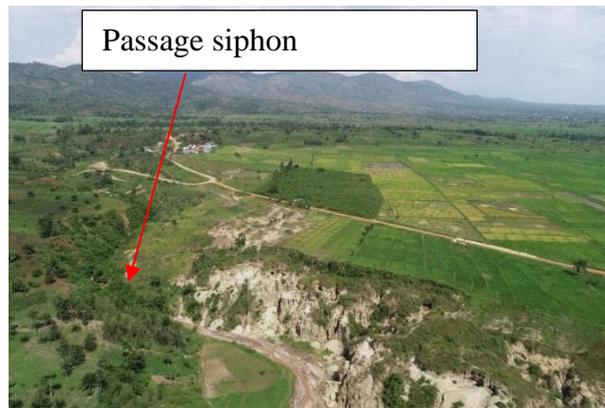


Figure 78 - Vue aérienne de la zone aqueduc de Kansega

Le siphon de Kansega passe dans une vallée étroite et profonde où des gneiss sont affleurants. Un peu plus en amont dans la gorge les gneiss sont de nature migmatitique avec présence de bancs de quartz d'épaisseur décimétrique.



Figure 79 - Affleurement de gneiss dans la vallée de Kansega

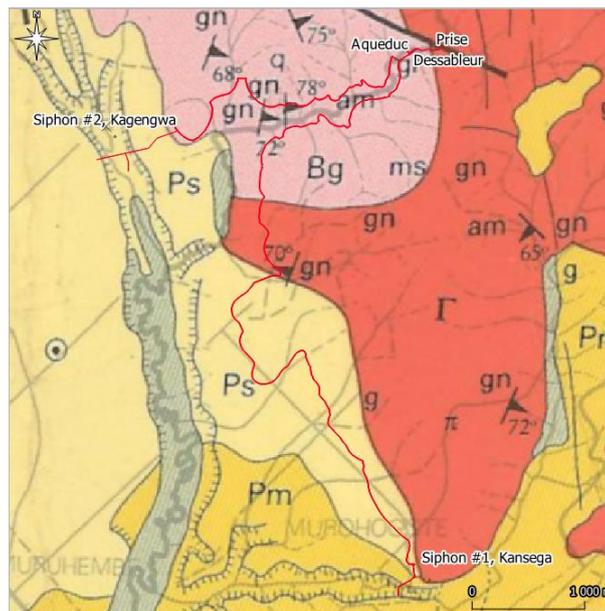


Figure 80 - Localisation du siphon de Kansega sur l'extrait de la carte géologique de Cibitoke au 1/100 000ème

En aval du siphon, une formation plus meuble au faciès fin est présente. Largement altérée, elle forme des canyons dans le paysage. Cette formation est composée de sable très fin siliceux (non-effervescence à l'acide), qui sont cohésifs à sec, comme cela est visible sur la vue au microscope (Figure 82). Cependant, en présence d'eau, ces matériaux se dissolvent totalement en quelques secondes, indiquant une forte dispersivité, ce qui explique certainement la présence de canyons le long des écoulements des eaux pluviales. En effet, un échantillon pris sur site et déposé dans un verre d'eau se désagrège en moins de 30 secondes, avec une effervescence marquée. Ce phénomène peut être dû à la présence de sel de sulfate dans ce dépôt (Figure 83). Des niveaux plus grossiers à galets pluri-centimétriques ont également été observés dans cette formation.



Figure 81 - Canyon et niveau de galet

D'après la carte géologique de Cibitoke, le siphon de Kansega est implanté dans les formations fluviolacustres du pléistocène allant de sable grossier à des dépôts fins silto-argileux et des cailloutis de galets rouges transformés localement en conglomérat ferrugineux.

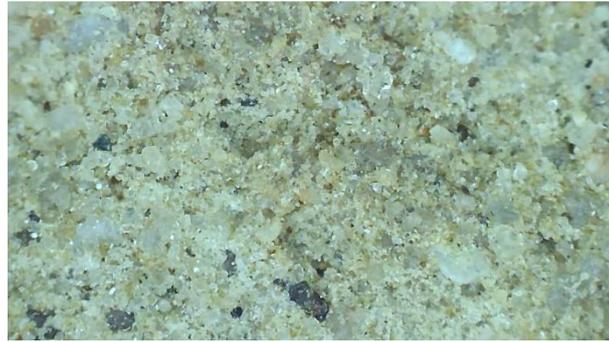


Figure 82 - Vue microscopique des sables fins cohésifs

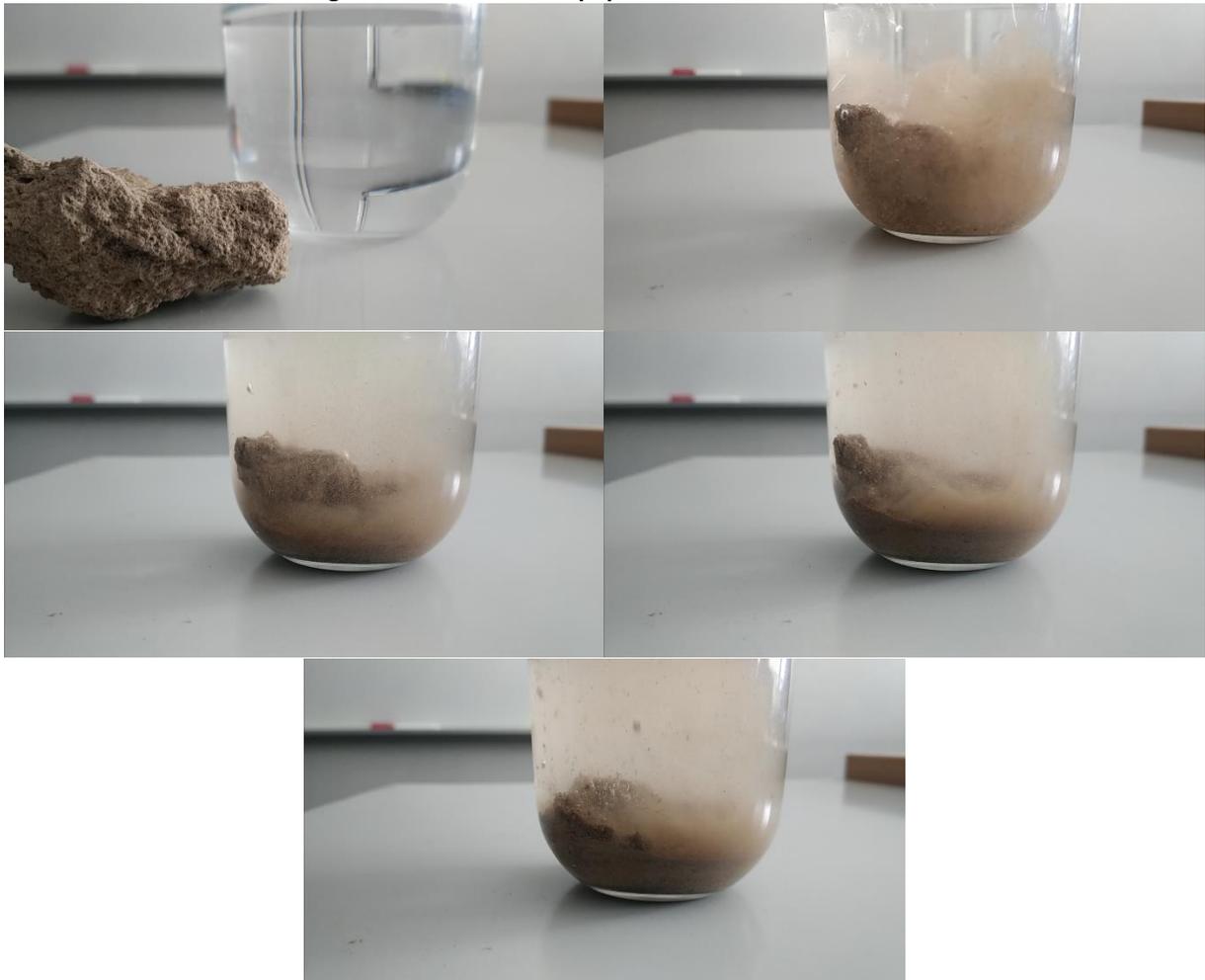


Figure 83 - Evolution des sables cohésifs dans l'eau

Après le siphon le canal chemine dans ces formations sensibles à l'eau, il sera impératif d'éviter toute fuite du canal pour ne pas entamer une érosion de ces matériaux. Une protection spécifique est peut-être à envisager si le canal est trop près du début des ravines qui s'étendent et « grignotent » le haut du talus.

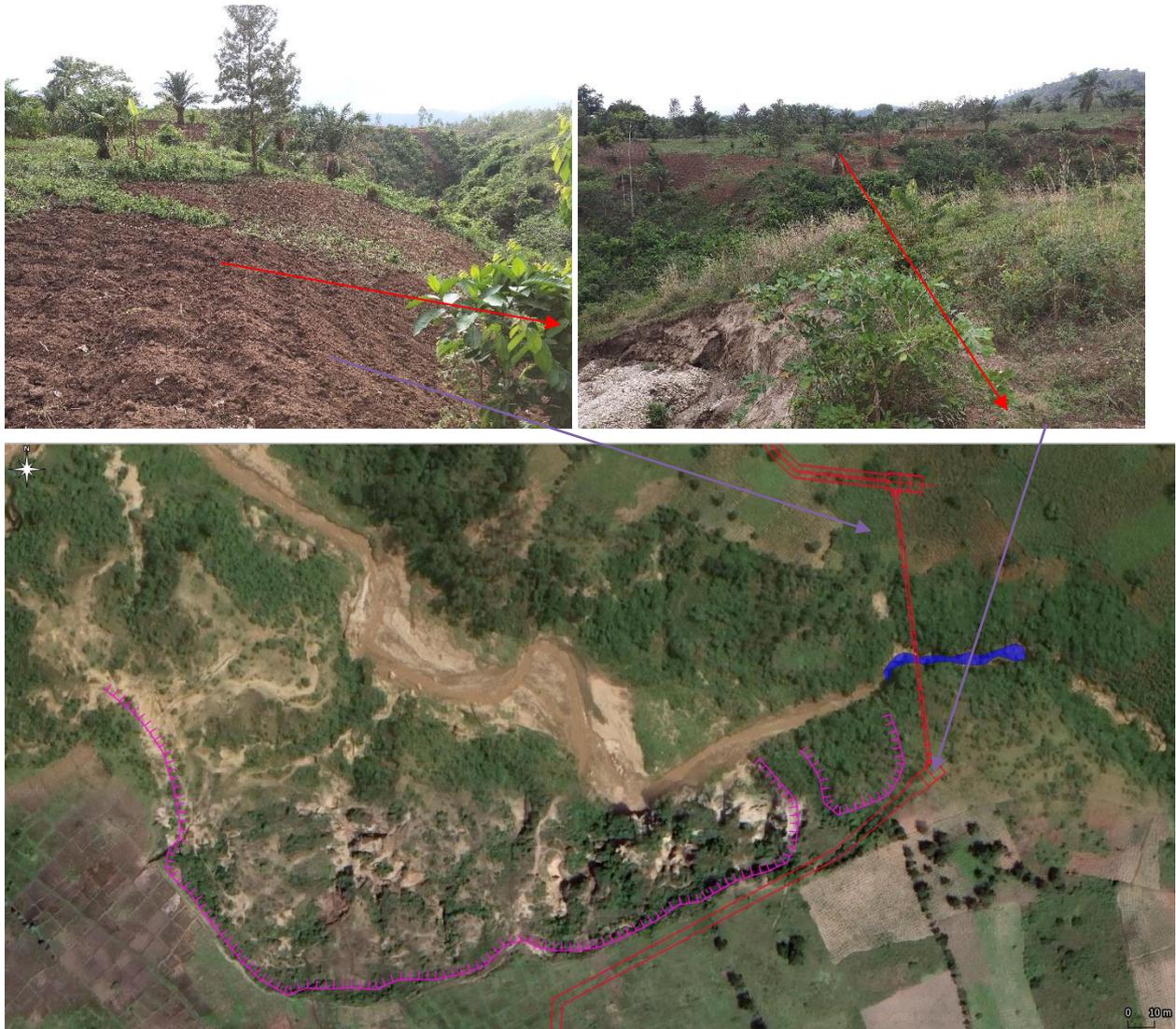


Figure 84 - Photo et carte des observations géologique du siphon de Kansega

1.6.2 Conditions géotechniques, siphon Kansega

Cinq (5) sondages au pénétromètre dynamique ont été réalisés dans la zone du siphon de Kansega.

Globalement la résistance de pointe augmente jusqu'au refus dans presque tous les sondages, sauf pour le sondage numéro 1 qui a une résistance de pointe qui augmente ou diminue par palier mais c'est le seul sondage à avoir atteint une profondeur de 3.9 m. Sur les autres sondages les profondeurs de refus sont comprises entre 0.8 et 1.6 m avec une moyenne de 1.1 m (les résultats sont présentés en annexe).

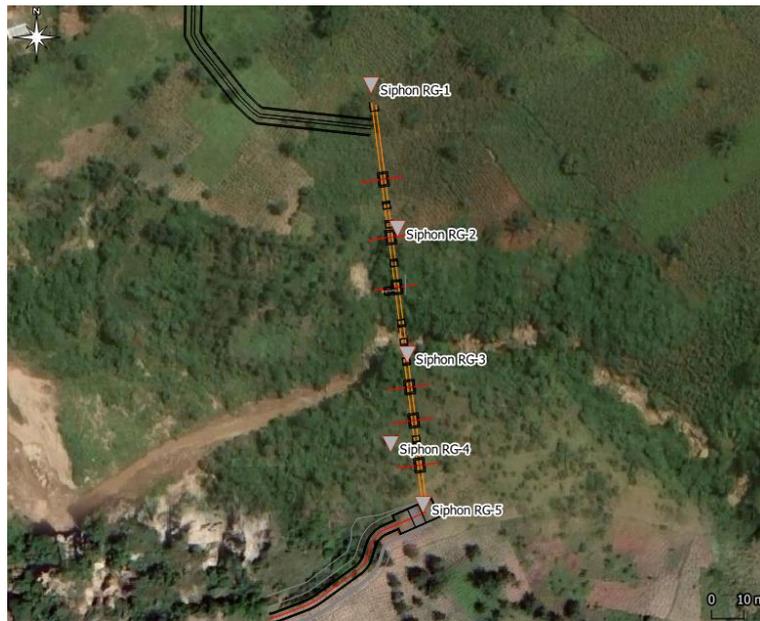


Figure 85 - Localisation des pénétrromètres siphon de Kansega

1.6.3 Siphon Kansega - Conclusion

Le siphon de Kansega apparaît être positionné dans une zone favorable. Le canal doit ensuite éviter au maximum les matériaux fins sableux très sensible à l'eau, ou éviter la mise en contact de l'eau avec ces matériaux. Un drainage le long du canal avec un exutoire hors de ces matériaux est à prévoir. Le canal étant très proche des talus d'érosion, un confortement serait souhaitable. Pour la pérennité des ouvrages une interdiction de l'orpillage aux alentours des ouvrages des confortements est également à mettre en place.

1.7 Siphon 2, Kagengwa (rive droite)

1.7.1 Conditions géologiques - siphon de Kagengwa

Le siphon de Kagengwa est localisé dans une vaste plaine fluviale de 50 à 100 m de large, limitée par un talus de quelques mètres en rive gauche et par une butte en pente douce en rive droite. Les matériaux constitutifs des berges sont de nature limono-argileux à sableuse de couleur marron clair à passages de blocs et galets. Le fond de la plaine est couvert majoritairement par des matériaux sableux très fins avec quelques galets. Aucun affleurement n'a été observé dans cette zone.





Figure 86 - Photo et carte des observations géologique du siphon de Kagengwa

Le siphon a été déplacé plus au sud par rapport à sa position initiale pour éviter la zone d'érosion visible en rive droite.



Figure 87 - Zone d'érosion en rive droite a l'amont du siphon de Kagengwa



Figure 88 - Matériaux de fond de vallée, Kagengwa

Le siphon de Kagengwa est lui aussi implanté dans les formations fluvi-lacustres du pléistocène allant de sable grossier à des dépôts fins silto-argileux et des cailloutis de galets rouges transformés localement en conglomérat ferrugineux.

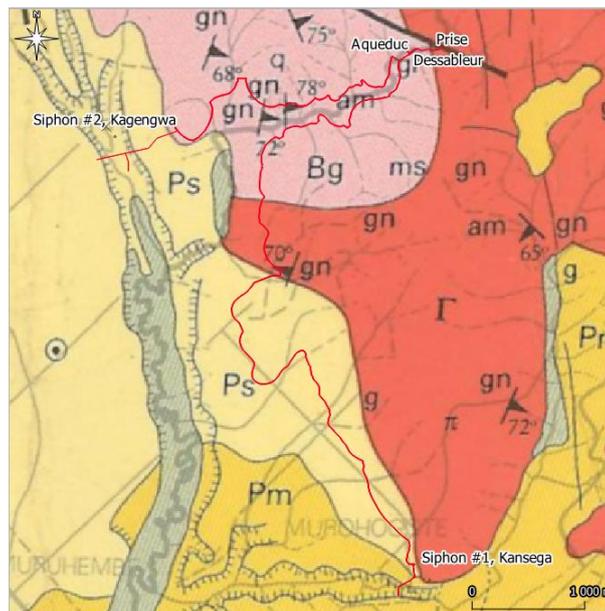


Figure 89 - localisation du siphon de Kagengwa sur l'extrait de la carte géologique de Cibitoke au 1/100 000ème

1.7.2 Géotechnique, siphon de Kagengwa

Neuf (9) sondages au pénétromètres dynamique ont été réalisés dans la zone du siphon de Kagengwa.

Sur les sondages 1,4,7 et 8 on atteint des valeurs de résistance de pointe supérieure à 5MPa rapidement (entre 0.3 et 1.3 m), ces sondages ont eu le refus entre 2.6 et 4m, 3.65 en moyenne.

Les sondages 2,3 et 6 ont globalement une résistance de pointe augmente jusqu'au refus compris entre 1.1 et 1.6 m, moyenne à 1.2 m.

Les sondages 5 et 9 ont un premier palier entre 2 et 3MPa de résistance de pointe puis une augmentation jusqu'au refus. La profondeur du refus est de 2.7 et 3.4 m.

L'ensemble des résultats est présenté en annexe de ce rapport.

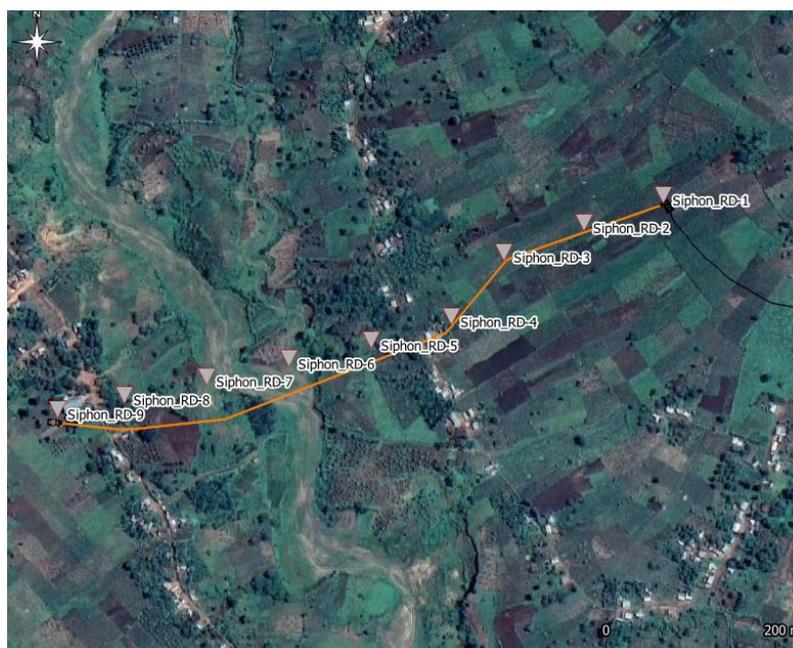


Figure 90 - Localisation des pénétromètres siphon de Kagengwa

1.6.2 Siphon Kagengwa - Conclusion

L'essentiel des formations observées sont des sols meubles ou des alluvions dans le fond de vallée. La seule contrainte relevée est le glissement situé en rive droite en amont du siphon.

1.7. Carrière pour les pistes

Deux carrières pour la réalisation de piste ont été identifiées, ces deux carrières ont déjà été exploitées mais une grande quantité de matériaux est toujours présent sur les sites. Les matériaux sont de nature limono- argileuse latéritique rouge à galets de quartz.

Deux prélèvements ont été fait dans la carrière 1 et 2 avec des essais en laboratoire (granulométrie, teneur en eau, limites d'Atterberg et Proctor), les résultats sont présentés en annexe et concluent à une bonne qualité des matériaux de ces carrières.

Une troisième carrière potentielle a été signalée sur la route d'accès à la centrale de Kabu 16, mais elle semble moins évidente à exploiter car elle est le long de la route et des habitations sont présentes au-dessus du talus.



Figure 91 - Carrière 1



Figure 92 - Carrière 2



Figure 93 - Carrière 3



Figure 94 - Localisation des carrières pour les pistes

2. Programme d'investigations complémentaire à réaliser en phase d'exécution

En phase d'exécution, une campagne d'investigation est à réaliser avant la construction des différents ouvrages. La campagne comportera à minima les investigations décrites dans les paragraphes suivants. Des sondages et essais complémentaires pourront être réalisés suivants les besoins.

2.1. Prise d'eau et seuil

Trois sondages carottés à 10m de profondeur, deux en rive droite sous le seuil et un en rive gauche au niveau de la prise. Ils seront réalisés après le nettoyage de la zone, ils devront permettre de vérifier l'état du substratum depuis le toit du rocher non rippable jusqu'au rocher sain. Des essais d'eau type Lugeon (par passe de 1 à 3m) permettront de définir la perméabilité sous le seuil et vérifier qu'il n'y a pas de possibilité de fuites importantes. Si la perméabilité est forte un système d'étanchéité est à mettre en place sous le seuil.



Figure 95 : Implantation des investigations de la prise

2.2 Dessableur

Deux sondages carottés à 10m de profondeur, avec essais SPT tous les mètres, afin de s'assurer de la nature de la fondation (sol et roche). Des échantillons intacts seront prélevés dans les sols pour des essais en laboratoire.

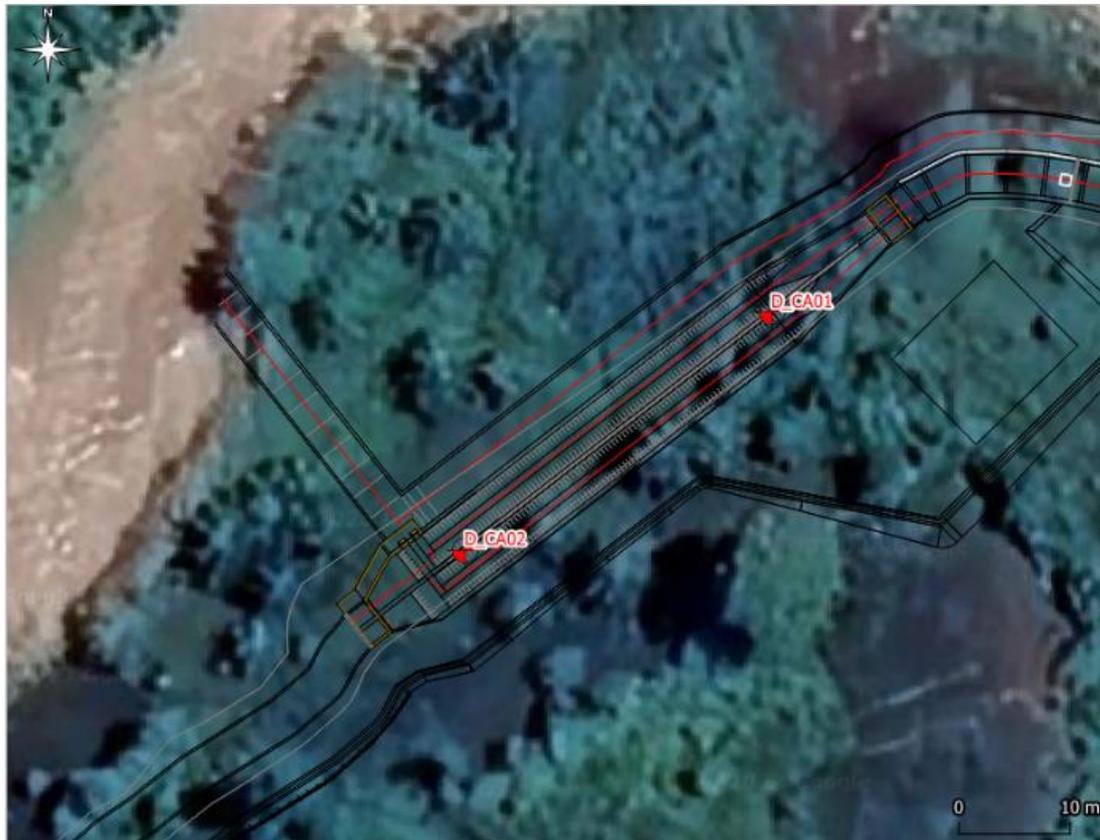


Figure 96 : Implantation des investigations du dessableur

2.3 Partiteur et aqueduc

Quatre sondages carottés à 8m de profondeur ou 5m dans la roche saine. Des essais SPT seront réalisés tous les mètres dans les sols du carotté de la rive droite, ainsi que le prélèvement d'échantillons intacts pour des essais en laboratoire.

Les sondages carottés en rive gauche devraient trouver le rocher altéré peu profondément (substratum altéré sub-affleurant). Le dernier sondage est positionné dans la rivière sous la pile ayant le plus de sollicitation.



Figure 97 : Implantation des investigations du répartiteur et de l'aqueduc

2.4 Siphon de Kagengwa

Deux sondages carottés à 10m de profondeur ou 5m dans le rocher sain, avec essais SPT tous les mètres dans les sols, afin de s'assurer de la nature de la fondation (sol et roche). Des échantillons intacts seront prélevés dans les sols pour des essais en laboratoire. Ces sondages sont positionnés dans les zones où la pente est la plus forte.



Figure 98 : Implantation des investigations du syphon de Kagengwa

2.5 Siphon de Kansega

Deux sondages carottés à 10m de profondeur ou 5m dans le rocher sain, avec essais SPT tous les mètres dans les sols, afin de s'assurer de la nature de la fondation (sol et roche). Des échantillons intacts seront prélevés dans les sols pour des essais en laboratoire. Ces sondages sont positionnés sur les plateaux qui dominent la gorge de part de d'autre de la rivière. Il faudra limiter le fluide de forage du sondage de la rive gauche (KAN-CA02) car les terrains en place sont très sensibles à l'eau.

Le fond de la gorge est recouvert d'alluvion et le substratum ne doit pas être très profond, lors de la construction un nettoyage des alluvions avec un excavateur devrait laisser apparaître le substratum, les conditions de fondation des piles pourront être vérifiées visuellement par un géologue.

Après les travaux de débroussaillage de la végétation sur les pentes de la gorge, une inspection visuelle des conditions géologiques pourra être menée.



Figure 99 : Implantation des investigations du syphon de Kansega

2.6 Synthèse de la campagne d'investigation

Le tableau suivant synthétise les investigations proposées :

Tableau 105 – Synthèse des investigations à réaliser

Localisation	Sondage	Profondeur	SPT	Essais d'eau	Echantillon intact	Remarques
Prise	P-CA01	10	-	3	-	Lugeon par passe de 3m dans la roche saine
	P-CA02	10	-	3	-	Lugeon par passe de 3m dans la roche saine
	P-CA03	10	-	3	-	Lugeon par passe de 3m dans la roche saine
Dessableur	D-CA01	10	9	-	2	SPT dans les sols tous les mètres
	D-CA02	10	9	-	2	SPT dans les sols tous les mètres
Partiteur et Aqueduc	A-CA01	8	-	-	-	8m ou 5m dans la roche saine
	A-CA02	8	-	-	-	8m ou 5m dans la roche saine
	A-CA03	8	-	-	-	8m ou 5m dans la roche saine
	A-CA04	8	5	-	2	SPT dans les sols tous les mètres
Syphon Kagengwa	KAG-CA01	10	9	-	1	10m ou 5m dans la roche saine SPT dans les sols tous les mètres
	KAG-CA03	10	9	-	1	10m ou 5m dans la roche saine SPT dans les sols tous les mètres

Localisation	Sondage	Profondeur	SPT	Essais d'eau	Echantillon intact	Remarques
Syphon Kansega	KAN-CA01	10	9	-	2	
	KAN-CA02	10	9	-	2	

2.7 Essais en laboratoire

Des essais de cisaillement à la boîte de Casagrande (essai lent et rapide), en laboratoire, seront réalisés sur les échantillons intacts (12) afin d'obtenir la cohésion et l'angle de frottement des matériaux fins (à court et long terme). Ils seront complétés par des essais d'identifications (granulométrie, sédimentométrie, Limite d'Atterberg, densité) afin de caractériser au mieux ces matériaux.

En complément pendant les tracements du canal des essais au scissomètre devraient être fait afin de vérifier la cohésion et l'angle de frottement des matériaux fins.

Lors du terrassement du canal et du seuil dans les matériaux rocheux, des échantillons devront être prélevés afin de vérifier leur possible réemploi en matériaux de construction (agrégat béton). Les essais à réaliser sont les suivants :

- Absorption d'eau
- Densité
- Compression simple
- Los Angeles
- Alkali réaction

L'essai de compression étant normalisé sur échantillon issu d'un carotté, les échantillons seront prélevés dans les caisses des sondages réalisés, dans des faciès similaires aux matériaux excavés et testés.

Les roches très quartzieuses ne sont pas à tester, car les quartz sont souvent la sources des phénomènes d'alkali réaction.

Tableau 106- Synthèse des essais en laboratoire à réaliser

Sol		Roche	
Densité	12*	Densité	9*
Granulométrie	12*	Absorption d'eau	9*
Sédimentométrie	12*	Compression simple	9*
Limite d'Atterberg	12*	Los Angeles	9*
Cisaillement à la boîte de Casagrande [essai lent (C', φ') et rapide (c_u, φ_u)]	12*	Alkali réaction	9*

* quantités estimées et données de façon indicative car très dépendant des résultats des sondages

Références

Rapport définitif de faisabilité de l'aménagement de Kabu 16 (SOGREAH, Novembre 1995)

Carte géologique de Cibitoke 1/100 000ème

Une Conclusion pour chaque sous-chapitre des investigations géotechniques pour tous les ouvrages et les sites d'emprunts des carrières pour les pistes est recommandée !!

Annexe 5. Résultat des essais de laboratoire sur les matériaux de carrière pour les pistes

Les investigations géotechniques présentées ci-dessus ont identifié 3 carrières.

Les échantillons prélevés ont été analysés au laboratoire⁷. Comme le montrent les résultats des analyses, ces matériaux conviennent pour la réalisation des pistes.

En phase d'exécution, les matériaux de piste devront être analysés de manière régulière par tranches de volume exploité des carrières, définies dans les prescriptions techniques.

Pour cela, deux échantillons représentatifs des matériaux des dits sites ont été livrés au Bureau GLCE et les essais suivants ont été réalisés :

- 2 essais d'analyse granulométrique
- 2 essais pour déterminer les Limites d'Atterberg
- 2 essais de compactage Proctor
- 2 essais pour déterminer la teneur en eau

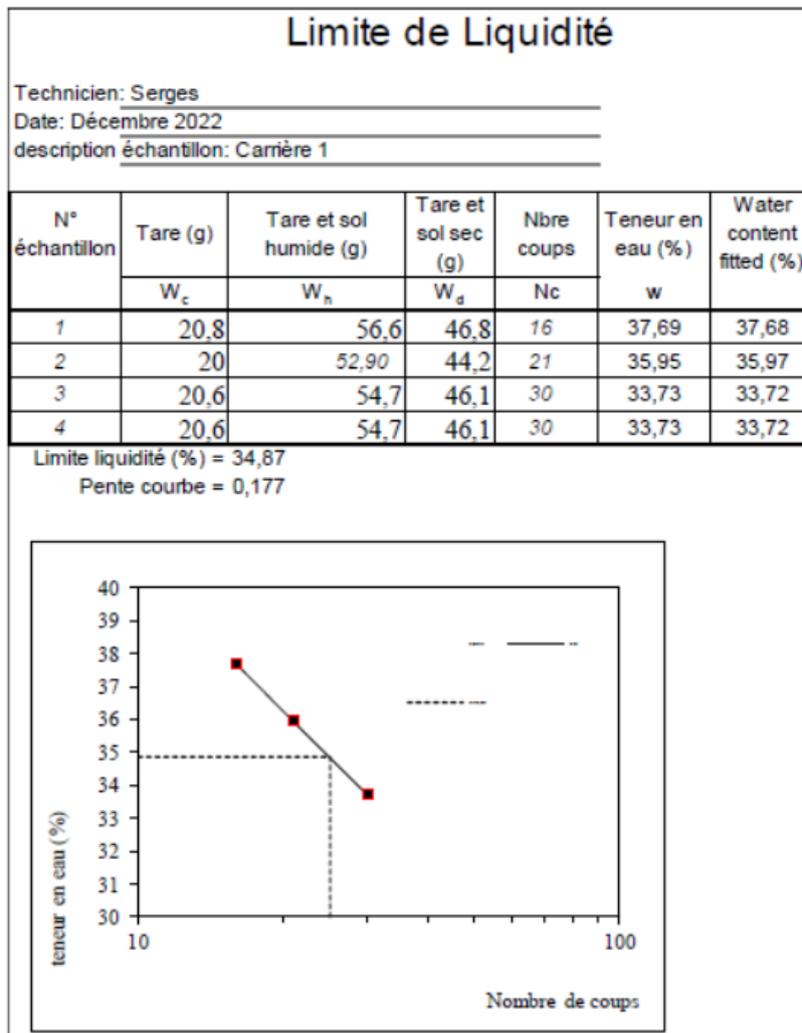
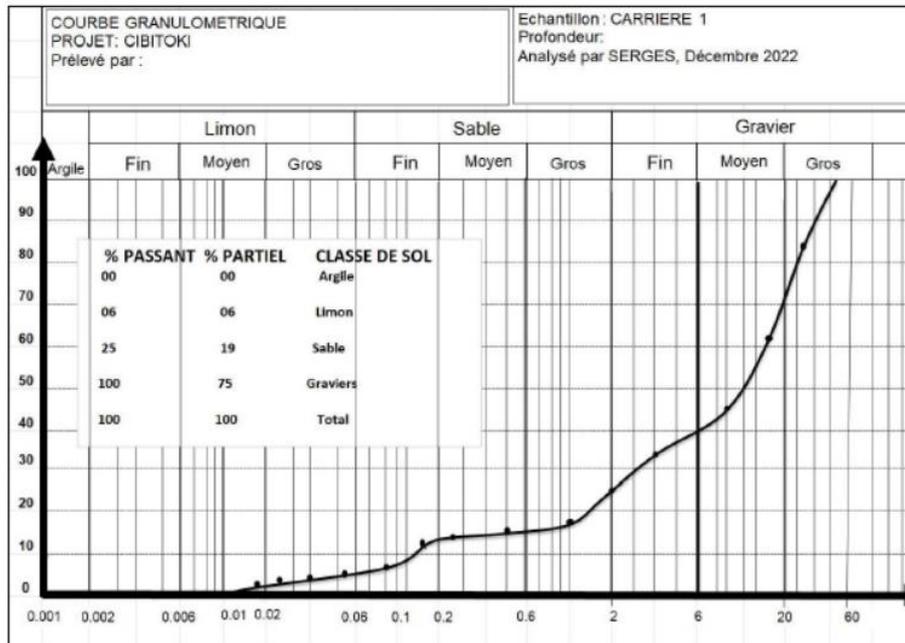
Les résultats résumés dans le tableau suivant montrent que les deux échantillons analysés s'apprêtent bien au compactage. En effet, l'allure de la courbe Proctor est plate, donc il sera facile d'obtenir la densité sèche maximale sans trop se préoccuper de la teneur en eau.

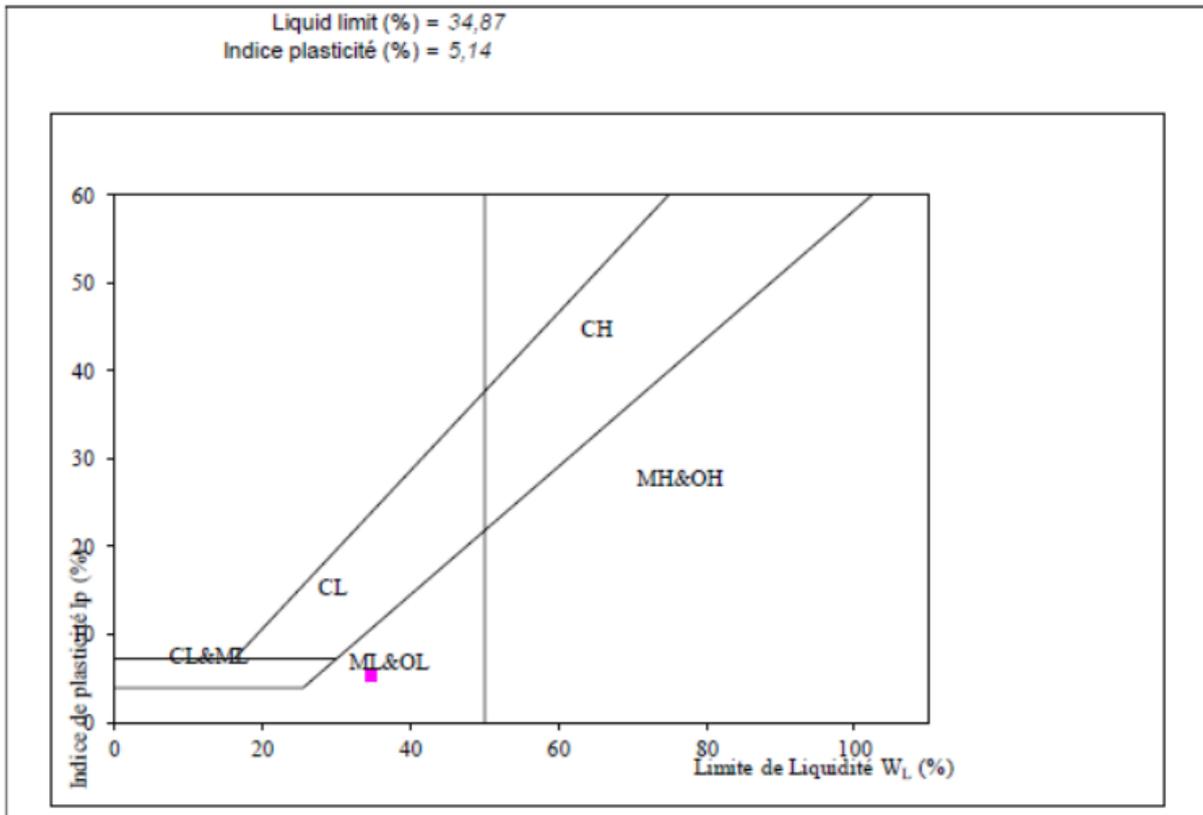
Tableau 107- Synthèse des résultats d'analyse en laboratoire des échantillons prélevés dans les carrières pour les pistes

Echantillon No.	Description	Classification	Teneur en eau %	Limite d'Atterberg			Analyse granulométrique					Constituant				Compaction	
		USBR		WL	WP	IP	< 75 µm	< 4,75 mm	d ₆₀ (mm)	d ₃₀ (mm)	d ₁₀ (mm)	Gravier	Sable	Limon	Argile	Teneur en eau optimale %	Poids volumique sec maximum (kN/m ³)
Carrière 1	Gravier sablonneux avec peu de limon	GM	10	34,87	29,73	5,14	5	35	13	3	0,12	75	19	6	0	11,45	22,9
Carrière 2	Gravier sablonneux avec peu de limon	GM	6,5	36,31	31,07	5,24	13	46	10	0,6	0,057	62	26	12	0	8,17	22,7

⁷ Bureau GLCE – Geotechnical Laboratory and Civil Engineering
 Gasekebuye, rue Mutsama n°12, Bujumbura Mairie
 Tél : +257-75761761 ; +257-68761005 Mail : pmasek2000@yahoo.fr

CARRIÈRE 1





Compaction test

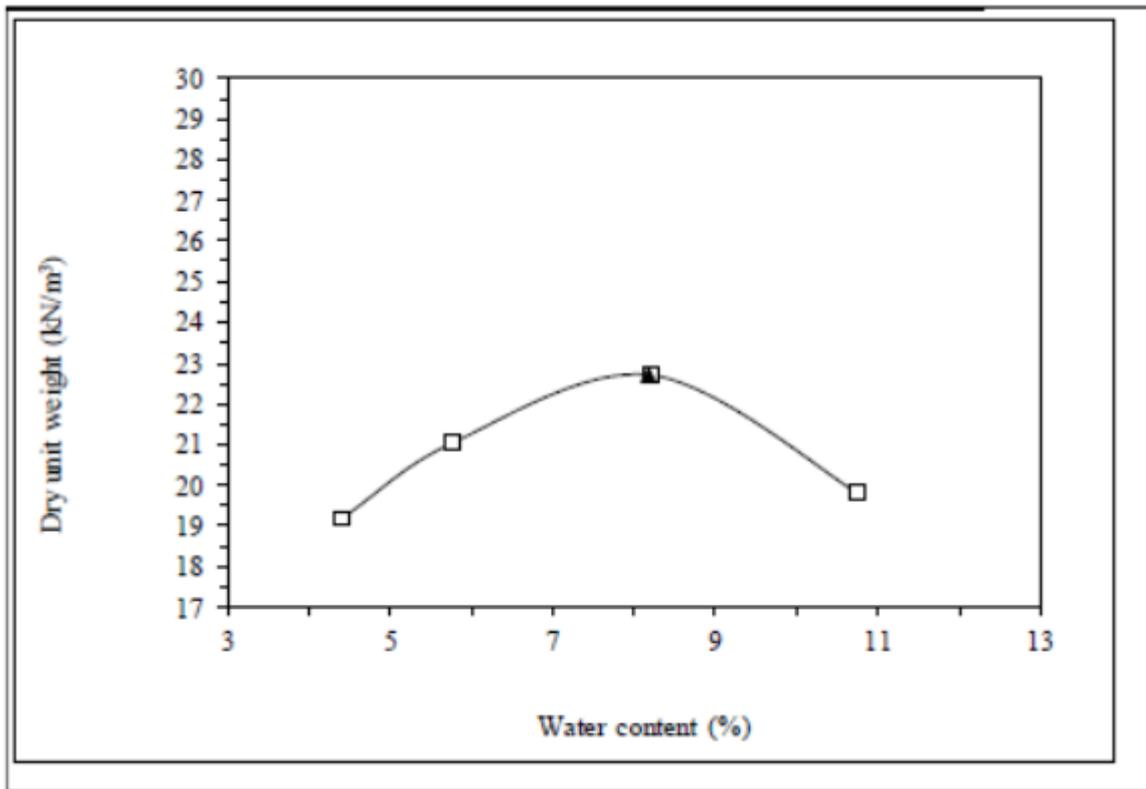
Analyst name: *Serges*
Test date: 20-12-22
Echantillon: *Carrière 1*

Diameter of mold $d = 15,30$ cm
Height of mold $h = 12,00$ cm
Mass of mold $M_m = 17490,00$ g
Specific gravity $G_s = 2,65$

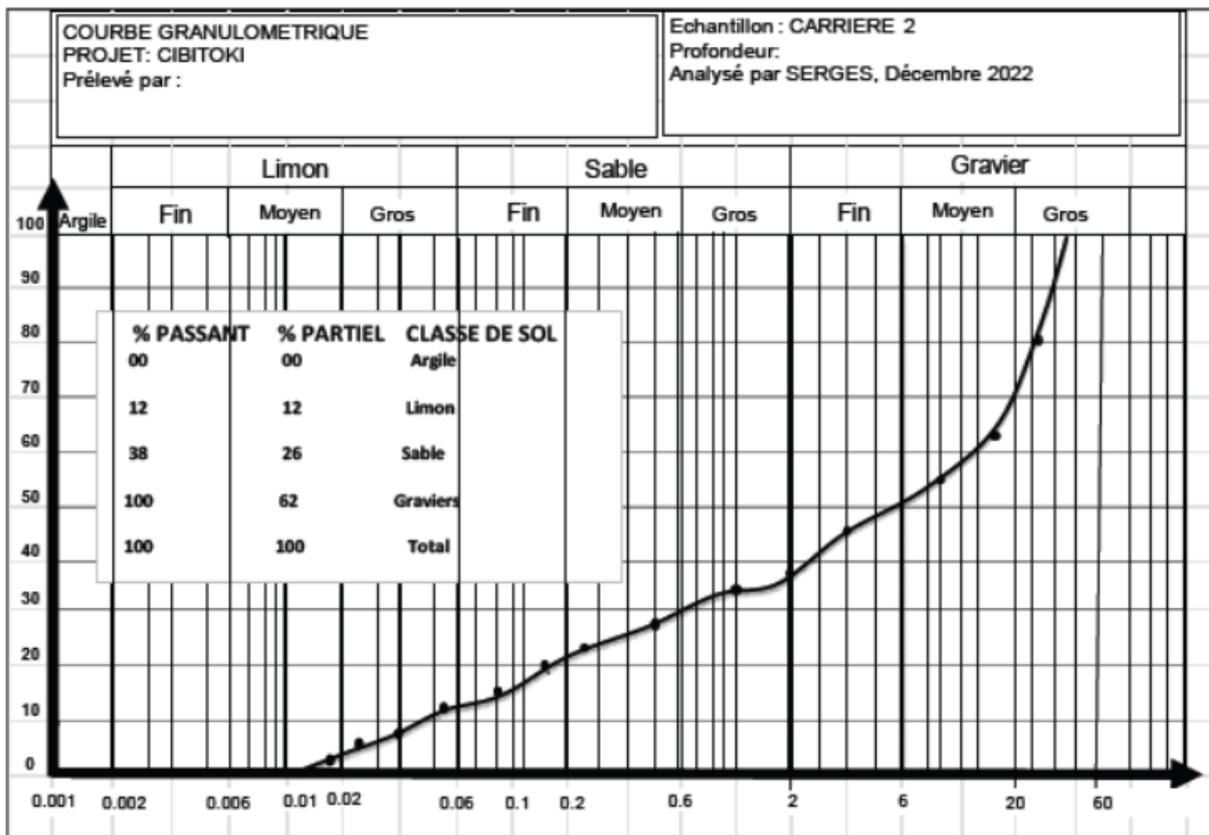
Mass of soil and mold (g)	Mass of can and wet soil (g) M_w	Mass of can and dry soil (g) M_d	Mass of can (g) M_c	Water content (%)
22000,00	220,60	214,7	80,60	4,40
22500,00	223,90	216,00	79,00	5,77
23020,00	227,80	216,60	80,20	8,21
22430,00	251,60	237,10	102,20	10,75
22430,00	251,60	237,10	102,20	10,75

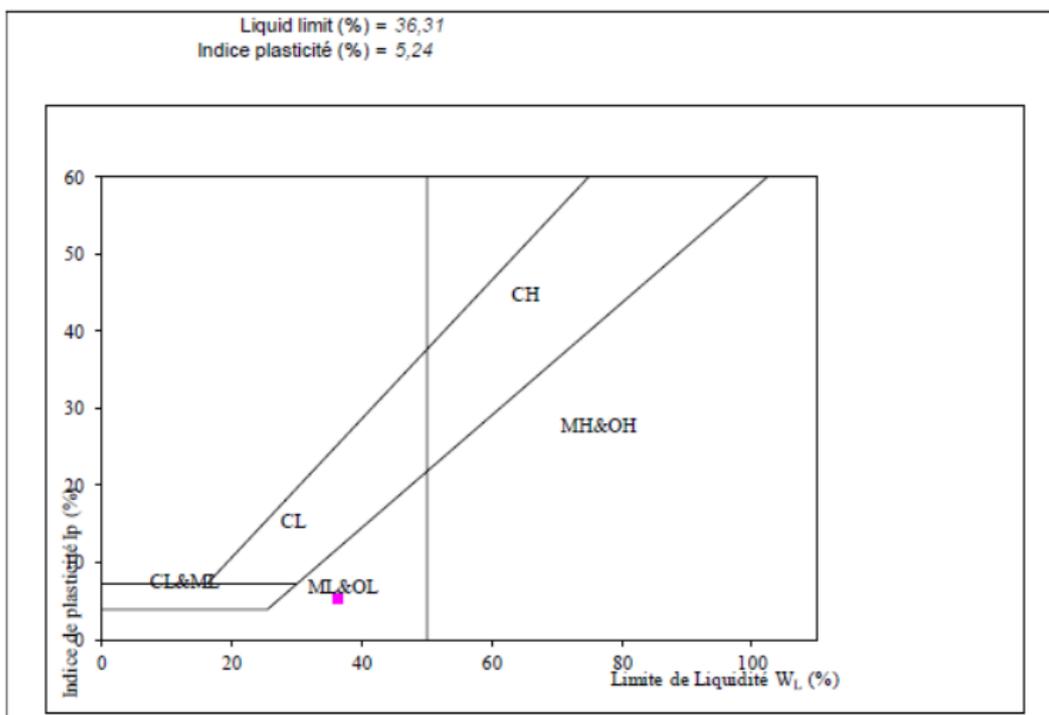
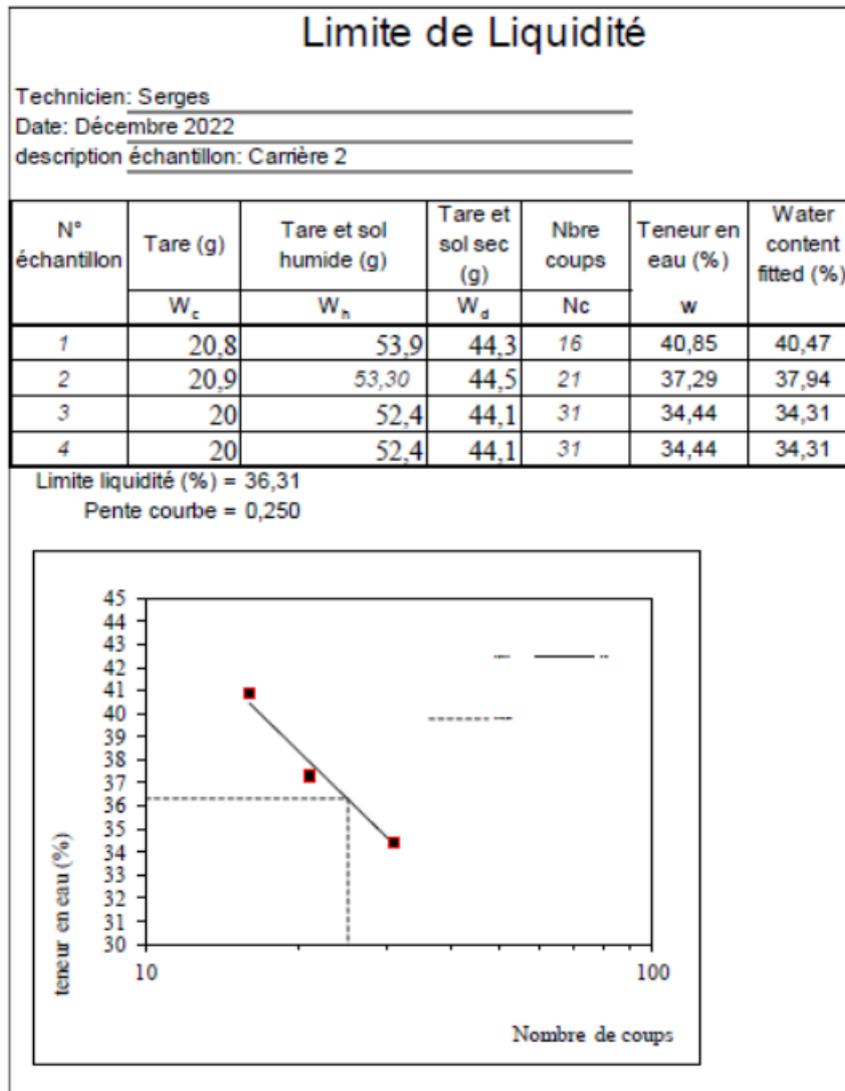
Mass of soil and mold (g) M	Average water content (%) w	Dry unit weight (kN/m^3) γ_d
22000,00	4,40	19,19
22500,00	5,77	21,04
23020,00	8,21	22,70
22430,00	10,75	19,81
22430,00	10,75	19,81

Optimum moisture (%) =	8,17
Maximum dry unit weight (kN/m^3) =	22,70



CARRIÈRE 2





Compaction test

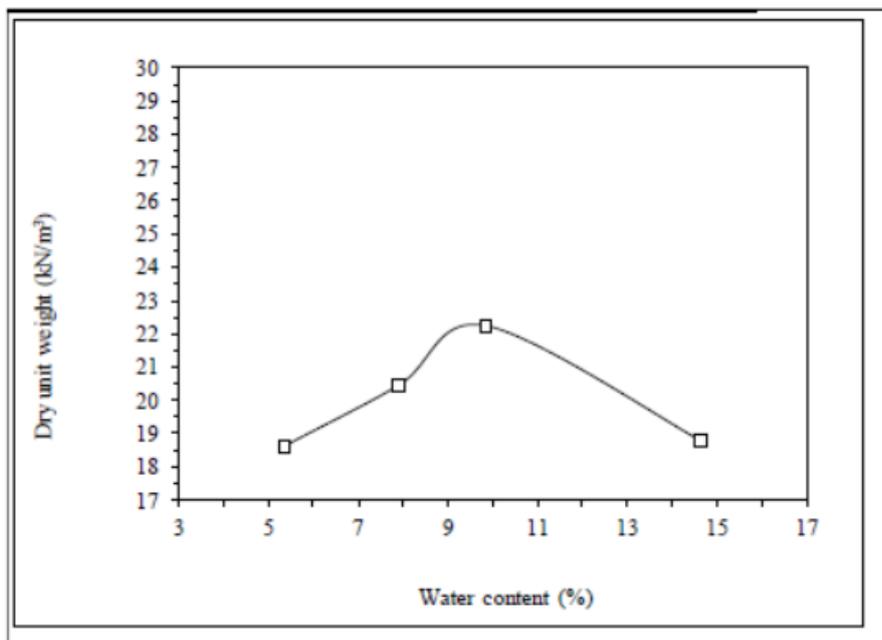
Analyst name: *Serges*
 Test date: *20-12-22*
 Echantillon: *Carrière 2*

Diameter of mold $d = 15,30$ cm
 Height of mold $h = 12,00$ cm
 Mass of mold $M_m = 17490,00$ g
 Specific gravity $G_s = 2,65$

Mass of soil and mold (g)	Mass of can and wet soil (g) M_w	Mass of can and dry soil (g) M_d	Mass of can (g) M_c	Water content (%)
21910,00	289,10	278,8	86,50	5,36
22460,00	180,30	172,60	75,20	7,91
22990,00	191,70	181,60	79,00	9,84
22340,00	248,60	230,20	104,50	14,64
22340,00	248,60	230,20	104,50	14,64

Mass of soil and mold (g) M	Average water content (%) w	Dry unit weight (kN/m^3) g_d
21910,00	5,36	18,64
22460,00	7,91	20,46
22990,00	9,84	22,24
22340,00	14,64	18,79
22340,00	14,64	18,79

Optimum moisture (%) =	11,45
Maximum dry unit weight (kN/m^3) =	22,90



DETERMINATION DE LA TENEUR EN EAU

Echantillon N°	CARRIERE 1	CARRIERE 2
Profondeur (m)		
Tare +échantillon + Echantillon humide (g)	813,9	851,2
Tare +échantillon sec (g)	769,7	819,1
Tare (g)	329,1	326,9
Echantillon sec (g)	440,6	492,2
Eau (g)	44,2	32,1
Teneur en eau (%)	10	6,5

Annexe 6. Investigations géotechniques pour les canaux primaires

L'objectif de la reconnaissance géotechnique des canaux de tête morte est d'identifier les tronçons présentant une perméabilité trop élevée et donc des risques de pertes en eau importante. Les tronçons identifiés comme plus perméables doivent alors être revêtus afin de stopper complètement l'infiltration d'eau à ces endroits.

La reconnaissance a été effectuée de manière qualitative par sondages à la tarière manuelle d'une profondeur maximale de 1.25 m. Ces sondages ont été réalisés tous les 100 m au droit des canaux primaires.

Les échantillons de sol ont été observés par couche de 5 cm et classés selon leur texture sur la base du triangle textural INEAC simplifié (Tessens, 1992). Ce triangle retient les classes granulométriques suivantes auxquelles des classes intermédiaires ont également été considérées car elles représentent les transitions entre les grands groupes :

- I Argileux
- IO Argileux tendant vers argileux lourd
- Argileux lourd
- Ô Argileux très lourd
- OÔ Argileux lourd tendant vers argileux très lourd
- A Argilo-sableux
- AI Argilo-sableux tendant vers argileux
- U Sablo-argileux
- UE Sablo-argileux tendant vers sableux
- E Sableux
- CL Concrétion latéritique
- GS Grains de sable

En outre, les observations suivantes sont consignées de telle manière à noter le degré d'hydromorphie des sols rencontrés et caractériser éventuellement la charge graveleuse observée :

MO		Horizon humifère prononcé
Ψ		Pseudogley
G		Gley
+g		Charge graveleuse +
+gg		Charge graveleuse ++

Les couches sablo-argileuses et sableuses sont celles qui doivent retenir une attention particulière pour ce qui concerne les risques de perméabilité excessive et dans une moindre mesure pour les stabilités des talus du canal.

Les résultats ont été mis en forme afin de correspondre aux profils en long des canaux correspondants et sont présentés dans les profils en long correspondants du cahier de plans.

L'interprétation qualitative de ces résultats montre de manière très uniforme des sols argileux, avec éventuellement la présence de couches sablo-argileuse ou sableuses. Les biefs potentiellement à revêtir sont indiqués sur les profils en long. La décision finale de revêtir ces biefs sera prise lorsque les fouilles des biefs concernés auront été exécutées et que les risques d'infiltration trop élevée auront été confirmés.

Le cas échéant le revêtement sera réalisé avec une maçonnerie de moellons de 0.30 m d'épaisseur. Les quantités correspondantes sont prises en compte dans le métré relatif à cet ouvrage.

Annexe 7. Investigations géotechniques pour les canaux de tête morte.

Les investigations géotechniques sur les canaux de tête morte en rives droite et gauche ont été réalisées au pénétromètre afin de déterminer la profondeur relative des horizons meubles, durs et rocheux. Ces investigations ne portaient pas sur la perméabilité des sols dans la mesure où les canaux de tête morte seront de toute façon revêtus.

Le tableau ci-après montre une profondeur moyenne de 1.8 m de l'horizon dur en rive droite et 2.0 m en rive gauche.

Les valeurs indiquées dans le tableau donnent la résistance à la pointe en Mpa.

R. Droite	CTM_RD_01	CTM_RD_02	CTM_RD_03	CTM_RD_04	CTM_RD_05	CTM_RD_06	CTM_RD_07	CTM_RD_08	CTM_RD_09	CTM_RD_10	CTM_RD_11	CTM_RD_12	CTM_RD_13	CTM_RD_14
Prof max	-1.2	-0.8	-2.1	-3	-1.3	-1.3	-1	-1.3	-1.6	-2.4	-4	-0.8	-0.6	-4
0.00														
-0.10	0.56	1.11	0.56	0.56	1.67	1.11	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	1.11	2.78	1.67
-0.20	0.56	1.11	0.56	0.56	2.22	5.56	2.78	0.56	1.11	1.11	1.11	2.22	7.23	2.22
-0.30	0.56	1.11	0.56	0.56	3.89	3.89	2.78	1.11	0.56	1.11	1.11	6.67	8.90	2.78
-0.40	0.56	1.67	1.11	1.11	3.89	3.34	3.34	1.67	0.56	1.67	1.11	7.79	10.01	2.78
-0.50	1.11	1.67	2.78	1.11	3.34	3.89	2.78	1.67	1.11	1.11	2.22	7.23	12.24	2.22
-0.60	0.56	2.78	2.22	2.22	4.45	3.89	3.89	2.22	1.11	1.11	3.34	2.22	16.69	2.22
-0.70	0.56	3.34	2.22	1.11	3.34	2.78	3.89	3.34	1.11	1.11	3.34	4.45	0.00	2.78
-0.80	1.11	16.69	2.78	1.67	3.89	4.45	3.89	3.89	1.67	1.11	4.45	16.69	0.00	2.78
-0.90	0.56	0.00	2.22	2.22	3.34	3.89	3.89	5.56	2.22	1.11	5.01	0.00	0.00	3.34
-1.00	1.00	0.00	2.50	2.00	3.00	3.00	15.02	7.01	2.00	1.00	5.51	0.00	0.00	3.50
-1.10	2.00	0.00	3.00	2.00	2.50	4.51	0.00	8.01	3.00	1.00	7.01	0.00	0.00	5.01
-1.20	15.02	0.00	2.50	2.00	3.50	8.01	0.00	10.01	5.01	1.50	9.51	0.00	0.00	5.51
-1.30	0.00	0.00	2.00	2.50	15.02	15.02	0.00	13.02	5.01	1.50	9.51	0.00	0.00	5.51
-1.40	0.00	0.00	2.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	4.01	2.00	9.01	0.00	0.00	6.01
-1.50	0.00	0.00	2.50	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	8.01	2.50	7.51	0.00	0.00	7.01
-1.60	0.00	0.00	2.50	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.02	2.00	6.51	0.00	0.00	7.51
-1.70	0.00	0.00	3.50	4.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.50	5.51	0.00	0.00	8.01
-1.80	0.00	0.00	5.01	8.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	5.01	0.00	0.00	8.01
-1.90	0.00	0.00	9.51	10.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.01	5.51	0.00	0.00	8.01
-2.00	0.00	0.00	9.11	9.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.74	4.10	0.00	0.00	6.83
-2.10	0.00	0.00	13.66	9.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.11	5.01	0.00	0.00	5.01
-2.20	0.00	0.00	0.00	8.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.56	8.65	0.00	0.00	7.28
-2.30	0.00	0.00	0.00	8.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.02	7.28	0.00	0.00	8.19
-2.40	0.00	0.00	0.00	9.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.75	6.83	0.00	0.00	9.11
-2.50	0.00	0.00	0.00	9.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.92	0.00	0.00	9.11
-2.60	0.00	0.00	0.00	10.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.46	0.00	0.00	8.65
-2.70	0.00	0.00	0.00	9.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.10	0.00	0.00	8.65
-2.80	0.00	0.00	0.00	10.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.92	0.00	0.00	6.83
-2.90	0.00	0.00	0.00	10.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.01	0.00	0.00	5.01
-3.00	0.00	0.00	0.00	11.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.43	0.00	0.00	4.17
-3.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.59	0.00	0.00	4.17
-3.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.01	0.00	0.00	4.17
-3.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.59	0.00	0.00	6.68
-3.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.43	0.00	0.00	8.35
-3.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.43	0.00	0.00	8.77
-3.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.01	0.00	0.00	9.18
-3.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.01	0.00	0.00	8.77
-3.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.59	0.00	0.00	8.35
-3.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.01	0.00	0.00	8.77
-4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.78	0.00	0.00	8.48

Rive gauche	CTM_RG_01	CTM_RG_02	CTM_RG_03	CTM_RG_04	CTM_RG_05	CTM_RG_06	CTM_RG_07	CTM_RG_08	CTM_RG_09	CTM_RG_10	CTM_RG_11	CTM_RG_12	CTM_RG_13	CTM_RG_14	CTM_RG_15
Prof max	-0.3	-2	-2.1	-1.4	-2.9	-1.2	-0.6	-0.5	-0.7	-1.2	-1	-4	-1.9	-2.5	-0.6
0.00															
-0.10	4.45	0.56	0.56	1.11	0.56	3.34	1.11	2.22	0.56	0.56	1.11	0.56	1.11	1.11	0.56
-0.20	10.57	1.11	1.67	2.22	1.11	2.78	1.67	3.34	1.67	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11
-0.30	16.69	0.56	1.67	5.56	1.11	2.78	2.78	6.12	1.67	1.11	1.11	1.11	1.11	1.67	2.78
-0.40	-	1.11	2.22	7.23	1.67	2.22	8.90	8.34	2.22	1.11	1.11	2.22	1.67	1.67	3.89
-0.50	-	0.56	2.22	6.12	1.67	2.22	7.79	16.69	2.22	1.11	1.11	2.22	1.67	1.67	3.89
-0.60	-	1.11	2.22	7.79	2.22	2.22	16.69	-	5.01	2.22	0.56	1.67	2.22	1.67	16.69
-0.70	-	0.56	5.01	4.45	2.78	1.67	-	-	16.13	4.45	0.56	2.78	2.78	1.67	-
-0.80	-	1.11	10.57	4.45	3.34	2.22	-	-	-	8.34	2.22	2.22	2.78	1.67	-
-0.90	-	2.22	13.90	5.01	3.34	1.11	-	-	-	11.12	12.24	2.78	3.34	2.22	-
-1.00	-	3.50	9.01	10.01	2.50	1.00	-	-	-	8.01	15.02	3.00	2.50	3.00	-
-1.10	-	3.50	4.01	10.51	3.50	3.50	-	-	-	9.01	-	3.00	3.00	4.51	-
-1.20	-	5.51	4.01	12.02	3.00	15.02	-	-	-	15.02	-	3.50	3.00	5.01	-
-1.30	-	7.01	4.01	11.02	2.50	-	-	-	-	-	-	3.00	3.00	7.51	-
-1.40	-	5.01	8.51	15.02	4.01	-	-	-	-	-	-	4.01	3.00	7.51	-
-1.50	-	4.51	9.01	-	4.01	-	-	-	-	-	-	3.50	3.50	9.01	-
-1.60	-	6.01	10.01	-	4.51	-	-	-	-	-	-	3.50	4.01	9.51	-
-1.70	-	8.51	8.51	-	5.51	-	-	-	-	-	-	2.50	10.01	11.02	-
-1.80	-	7.01	5.51	-	5.51	-	-	-	-	-	-	3.50	9.01	12.02	-
-1.90	-	9.01	6.01	-	5.01	-	-	-	-	-	-	3.50	15.02	12.02	-
-2.00	-	13.66	5.92	-	3.19	-	-	-	-	-	-	3.19	-	10.02	-
-2.10	-	-	13.66	-	3.19	-	-	-	-	-	-	2.73	-	9.56	-
-2.20	-	-	-	-	4.10	-	-	-	-	-	-	4.10	-	10.02	-
-2.30	-	-	-	-	5.01	-	-	-	-	-	-	3.64	-	10.47	-
-2.40	-	-	-	-	6.37	-	-	-	-	-	-	5.01	-	12.29	-
-2.50	-	-	-	-	8.65	-	-	-	-	-	-	8.19	-	13.66	-
-2.60	-	-	-	-	10.47	-	-	-	-	-	-	6.37	-	-	-
-2.70	-	-	-	-	10.02	-	-	-	-	-	-	6.37	-	-	-
-2.80	-	-	-	-	10.02	-	-	-	-	-	-	7.74	-	-	-
-2.90	-	-	-	-	13.66	-	-	-	-	-	-	7.28	-	-	-
-3.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.26	-	-	-
-3.10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.51	-	-	-
-3.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.35	-	-	-
-3.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.77	-	-	-
-3.40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.35	-	-	-
-3.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.51	-	-	-
-3.60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.60	-	-	-
-3.70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.77	-	-	-
-3.80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.18	-	-	-
-3.90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.35	-	-	-
-4.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.48	-	-	-

Rive gauche	CTM_RG_16	CTM_RG_17	CTM_RG_18	CTM_RG_19	CTM_RG_20	CTM_RG_21	CTM_RG_22	CTM_RG_23	CTM_RG_24	CTM_RG_25	CTM_RG_26	CTM_RG_27	CTM_RG_28	CTM_RG_29	CTM_RG_30	CTM_RG_31
Prof max	-1.4	-2.2	-2.8	-1.3	-1.8	-2	-3	-2.1	-2.1	-1.9	-4	-2.8	-3	-4	-3.6	-2.1
0.00																
-0.10	0.56	0.56	0.56	0.56	1.11	0.56	1.11	0.56	0.56	0.56	1.11	2.22	0.56	0.56	0.56	0.56
-0.20	1.67	2.22	0.56	1.11	3.34	0.56	1.11	1.11	1.11	0.56	1.11	1.67	1.11	1.67	0.56	1.11
-0.30	2.22	2.78	1.11	2.22	3.34	1.67	1.67	1.67	1.11	0.56	1.11	2.22	1.11	1.11	1.11	1.11
-0.40	2.22	3.89	1.11	3.89	2.22	2.22	2.22	1.11	1.11	1.11	0.56	2.22	1.11	1.67	1.67	1.67
-0.50	2.78	3.34	1.11	4.45	3.34	2.78	2.78	1.67	1.11	1.11	0.56	2.22	1.67	1.67	1.67	1.67
-0.60	3.34	3.89	2.22	6.67	3.89	3.34	2.78	1.67	2.22	2.22	0.56	2.22	1.67	1.67	2.22	1.11
-0.70	5.01	3.34	2.22	6.67	3.89	4.45	2.78	2.22	1.67	2.78	0.56	2.78	1.67	1.67	1.67	1.67
-0.80	6.12	3.34	2.78	8.90	5.01	6.12	2.22	3.34	2.22	3.89	1.11	2.78	1.67	1.67	1.67	1.67
-0.90	7.23	3.89	3.34	8.90	7.79	6.67	2.22	3.89	1.67	4.45	2.22	4.45	1.67	1.67	1.67	2.22
-1.00	7.51	3.50	4.01	8.51	9.51	6.01	2.00	4.01	1.50	4.01	1.50	4.01	1.50	1.50	1.50	2.50
-1.10	9.01	3.50	4.51	11.02	9.01	6.01	2.50	5.01	2.00	5.01	2.50	3.00	2.00	1.50	1.50	3.00
-1.20	11.52	3.50	6.01	14.02	4.01	6.51	3.00	5.51	4.01	6.01	2.00	3.50	1.50	2.00	1.50	4.01
-1.30	12.52	4.51	5.51	15.02	5.51	7.01	4.01	6.51	3.50	7.01	2.00	3.50	2.00	2.00	1.50	4.51
-1.40	15.02	4.51	6.01	-	8.01	9.01	5.01	7.51	7.01	7.51	2.00	3.50	2.00	1.50	2.00	6.01
-1.50	-	6.01	7.01	-	9.01	8.51	6.01	8.01	11.02	8.51	2.00	4.51	2.50	1.50	2.00	6.51
-1.60	-	5.51	8.51	-	8.51	9.51	6.01	9.01	11.02	10.51	2.00	4.51	3.00	2.00	2.00	7.51
-1.70	-	5.51	8.01	-	11.52	9.01	7.01	9.51	13.02	11.52	2.00	5.01	3.50	2.00	2.50	10.01
-1.80	-	5.01	8.51	-	15.02	9.01	6.51	11.52	6.01	12.52	3.00	5.01	3.00	2.50	2.50	9.51
-1.90	-	6.01	8.51	-	-	11.02	6.51	10.51	9.51	14.52	4.01	6.01	3.50	2.50	2.50	11.02
-2.00	-	6.83	9.11	-	-	13.66	6.37	11.84	10.93	-	4.10	5.92	4.10	2.73	2.73	10.47
-2.10	-	10.93	8.65	-	-	-	6.83	13.66	13.66	-	5.46	5.92	5.46	1.82	3.19	13.66
-2.20	-	13.66	9.56	-	-	-	7.74	-	-	-	5.46	7.28	5.92	1.82	3.64	-
-2.30	-	-	10.02	-	-	-	8.65	-	-	-	5.92	8.19	6.83	2.28	3.64	-
-2.40	-	-	10.02	-	-	-	8.65	-	-	-	6.37	10.02	7.74	2.28	3.64	-
-2.50	-	-	10.02	-	-	-	8.19	-	-	-	6.37	9.56	8.65	2.28	3.19	-
-2.60	-	-	11.84	-	-	-	9.11	-	-	-	5.92	9.11	9.56	3.64	4.10	-
-2.70	-	-	11.84	-	-	-	10.02	-	-	-	6.37	10.02	9.11	3.64	4.55	-
-2.80	-	-	13.66	-	-	-	10.02	-	-	-	6.37	13.20	10.93	3.64	5.01	-
-2.90	-	-	-	-	-	-	10.47	-	-	-	6.37	-	12.29	4.55	5.92	-
-3.00	-	-	-	-	-	-	11.27	-	-	-	5.84	-	12.52	4.17	6.68	-
-3.10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.26	-	-	4.17	6.68	-
-3.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.51	-	-	3.76	8.35	-
-3.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.10	-	-	3.76	9.18	-
-3.40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.26	-	-	3.76	10.02	-
-3.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.68	-	-	5.01	10.43	-
-3.60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.51	-	-	5.43	11.69	-
-3.70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.51	-	-	5.84	-	-
-3.80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.51	-	-	6.68	-	-
-3.90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.68	-	-	7.10	-	-
-4.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.17	-	-	7.32	-	-

