

**ÉTUDE DE COLLECTE DE DONNÉES DE BASE  
POUR LE DÉVELOPPEMENT DE L'IRRIGATION  
DANS LE DISTRICT DE NGOMA  
DANS LA PROVINCE DE L'EST  
EN RÉPUBLIQUE DU RWANDA**

**Rapport Final**

**Juillet 2012**

**Agence Japonaise de Coopération Internationale  
(JICA)**

**Sanyu Consultants Inc.**

RD
JR
12-068

## **PRÉFACE**

L'Agence Japonaise de Coopération Internationale (JICA), suite à la requête présentée par le Gouvernement de la République du Rwanda, a décidé de mener une étude de collecte de données de base pour le Développement d'Irrigation dans le District de Ngoma dans la Province de l'Est au Rwanda, et l'a confiée à Sanyu Consultants Inc..

La mission d'étude a tenu au cours de la période allant de mars à juin 2012, une série de discussions avec les autorités concernées du Gouvernement du Rwanda et a effectué les études sur le terrain dans les zones objet du projet. Après le retour de la mission au Japon, l'étude a été approfondie et le présent rapport a été finalisé.

Je souhaite que le présent rapport puisse contribuer à la promotion du projet et au renforcement des relations amicales entre nos deux pays.

En terminant, je tiens à exprimer mes sincères remerciements aux autorités concernées du Gouvernement de la République du Rwanda pour leur étroite coopération apportées aux membres de la mission d'étude.

Août 2012

Teruyoshi KUMASHIRO  
Département du développement rural  
Agence Japonaise  
de Coopération Internationale

# **RESUMÉ**

## **1. Arrière-plan du Projet**

La JICA a réalisé, jusqu'au présent, dans le domaine du développement de l'irrigation en République du Rwanda (ci-après désignée par « le Rwanda » « l'Étude préparatoire pour le programme de coopération au développement d'irrigation dans la province de l'Est (Agriculture irriguée) » (février – juillet 2009) et « l'Étude préparatoire pour le projet de développement d'irrigation dans les zones collinaires (Étude I) (mars – mai 2010). Suite à l'étude de plusieurs sites dans le cadre desdites études, un site dont le potentiel de réserve d'eau est élevé a été identifié (Ngoma-22) et la viabilité d'irrigation par barrage y compris l'aspect coût a été examinée, mais l'analyse n'a pas abouti à une conclusion. D'autre part, pour la province de l'Est du Rwanda, en ce qui concerne le programme LWH (LWH : Land-husbandry, Water harvesting and Hillside-irrigation - Aménagement de sols, Collecte des Eaux et Irrigation Collinaire) mis en œuvre par le Ministère de l'Agriculture et des Ressources Animales (MINAGRI) qui envisage les différentes méthodes d'irrigation afin d'améliorer la productivité agricole, il sera nécessaire de collecter les données qui font défaut et de poursuivre l'étude sur l'agriculture irriguée dans ces zones, notamment l'étude comparative des coûts et l'examen de la possibilité du réserve d'eau.

Par ailleurs, dans la province de l'Est qui comprend le district de Ngoma, dont une grande partie est en zone collinaire, il faut améliorer la productivité agricole par voie de la construction des infrastructures notamment celles d'irrigation, d'autant plus que c'est une province où le regroupement de populations y compris celles rapatriées de pays voisins notamment la République Démocratique du Congo se poursuit dans le cadre de la politique de Imidugudu (villagisation forcée).

Par conséquent, dans le cadre de la présente étude, pour le développement de l'agriculture irriguée dans le district de Ngoma de la province de l'Est, les informations détaillées en matière d'agriculture locale ont été collectées et la faisabilité de la coopération par la JICA au programme LWH a été étudiée sous l'aspect de la construction des infrastructures d'une part et sous l'aspect de l'amélioration de la compétence d'exécution de la partie rwandaise à long terme d'autre part.

## **2. Objectifs de l'Étude**

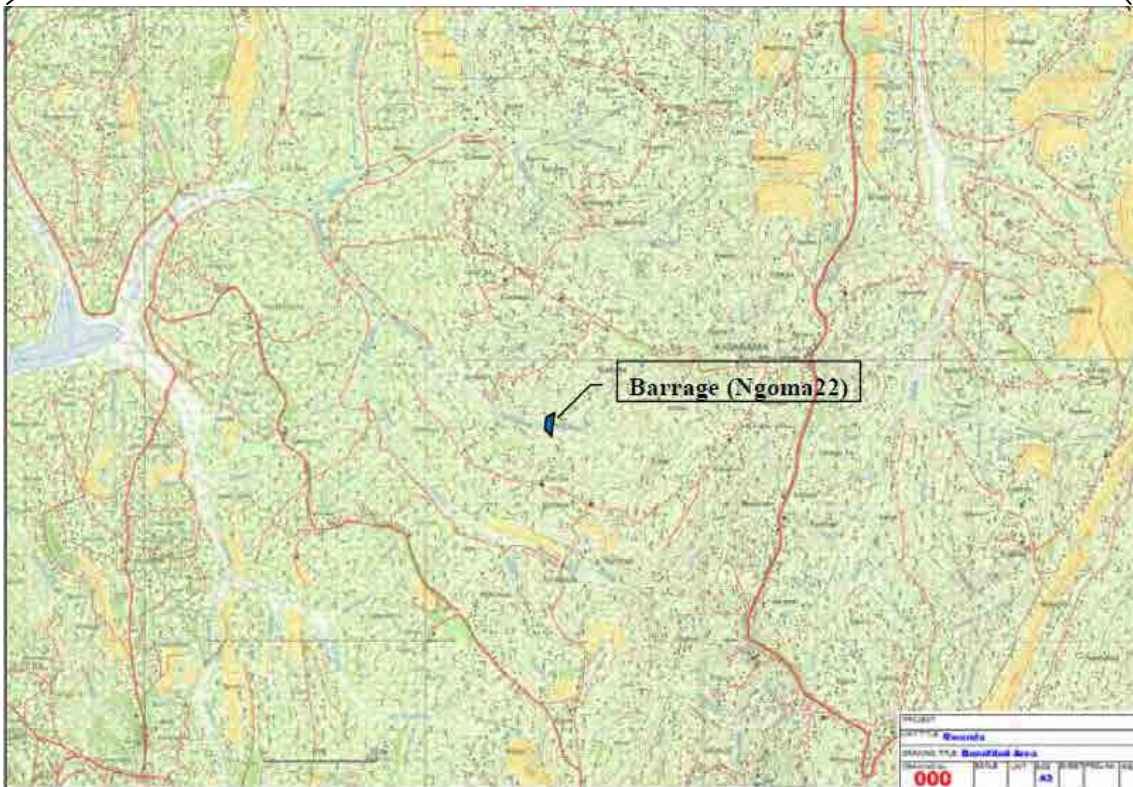
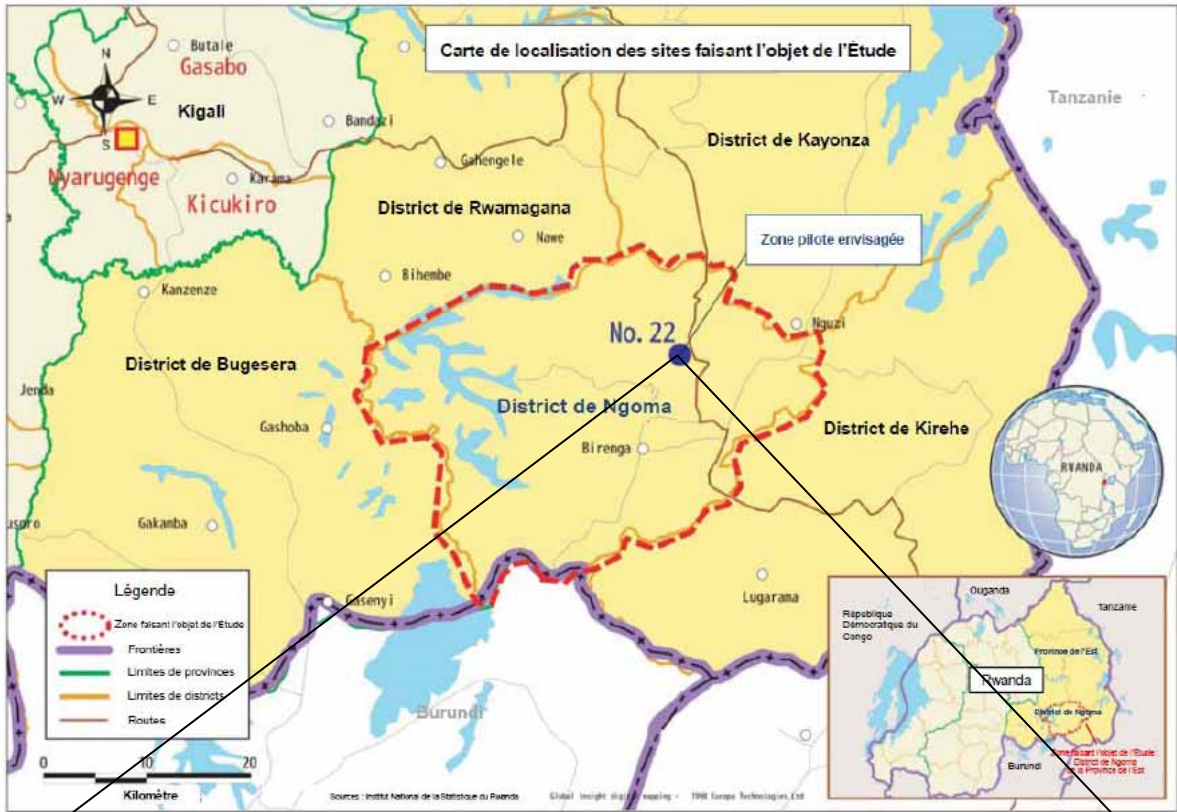
- (1) Assimiler les grandes lignes du secteur de l'irrigation (les mesures politiques, les organisations s'y rapportant, les programmes/projets de développement, la situation actuelle concernant l'aide des donateurs, etc.) au Rwanda ;
- (2) Effectuer l'étude du site et collecter les informations de base relatives à l'aménagement des infrastructures d'irrigation dans le district de Ngoma 22 dans la province de l'Est sur la base du résultat de l'étude (1) ci-dessus ;

- (3) Examiner sur la base des résultats des points 1) et 2) ci-dessus la possibilité de la coopération (secteurs, régions et grandes lignes possibles) de la JICA.

### **3. Zone objet de l'étude**

District de Ngoma dans la province de l'Est de la République du Rwanda

(Voir la carte présentée à la page suivante).



## **【Concept général (synthèse)】**

**【Coût total du Projet】** : 560 millions de yens ( 7 000 000 USD, calculé sur la base des coûts unitaires des travaux au Rwanda)

Ventilation :

- Corps de barrage et déversoir : 150 millions de yens
- Installations de prise d'eau et d'irrigation : 340 millions de yens
- Installations provisoires : 70 millions de yens

\* : Le coût des infrastructures d'irrigation occupe une grande partie en raison de l'augmentation du coût des canaux d'irrigation terminaux due à l'introduction de l'irrigation par pompes et l'irrigation économique en eau.

**【Superficie de la zone desservie】** : 275 ha (champs sec : 240 ha, rizière inondée 35 ha)

- Superficie des périmètres irrigués par gravité (champs sec : 114 ha + rizière inondée : 35ha)
- Superficie des périmètres irrigués par pompes 126 ha (champs sec : 126 ha)

**【Plan de source d'eau】**

- Quantité du débit fluvial disponible : 709 000 m<sup>3</sup> (correspondant au débit d'une année de sécheresse d'une probabilité de 3/10 ans)
- Quantité de l'eau souterraine et de l'eau de surface : 158 000 m<sup>3</sup> (ressource d'eau supplémentaire)

**【Installations des ressources d'eau】**

### Spécifications du barrage

- Hauteur de la digue : 13,55 m (y compris la profondeur de la fouille de fondation de 1,5 m, la hauteur de la nappe déversante sur le déversoir de 0,35 m et la hauteur de marge de 1,1 m)
- Volume de la digue : 86 400 m<sup>3</sup> (digue proprement dit 48 700 m<sup>3</sup>, tapis 37 800 m<sup>3</sup>)
- Capacité totale du réservoir : 700 000 m<sup>3</sup> (capacité utile du réservoir 450 000 m<sup>3</sup>, volume d'eau morte 250 000 m<sup>3</sup>)

### Installations des eaux souterraines (ressource d'eau supplémentaire)

- Lieux d'installation : 3 points

**【Canaux d'irrigation】**

- Canaux principaux et canaux latéraux : 27,3 km (canaux du type découvert) + 2,5 km (conduite)
- Canaux secondaires : 36 km

**【Station de pompe de relevage】** : 17 points (chacune équipée d'une pompe solaire)

**【Plan d'exécution des travaux】**

- Délai d'exécution des travaux : 1 an
- Essai de mise en eau : 1 an

**【Principaux produits cultivés】**

- Principaux produits cultivés : riz, maïs, haricots, légumes (carotte, tomate, choux, tamarillo), café
- Taux annuel d'utilisation du terrain (culture) : 185 %

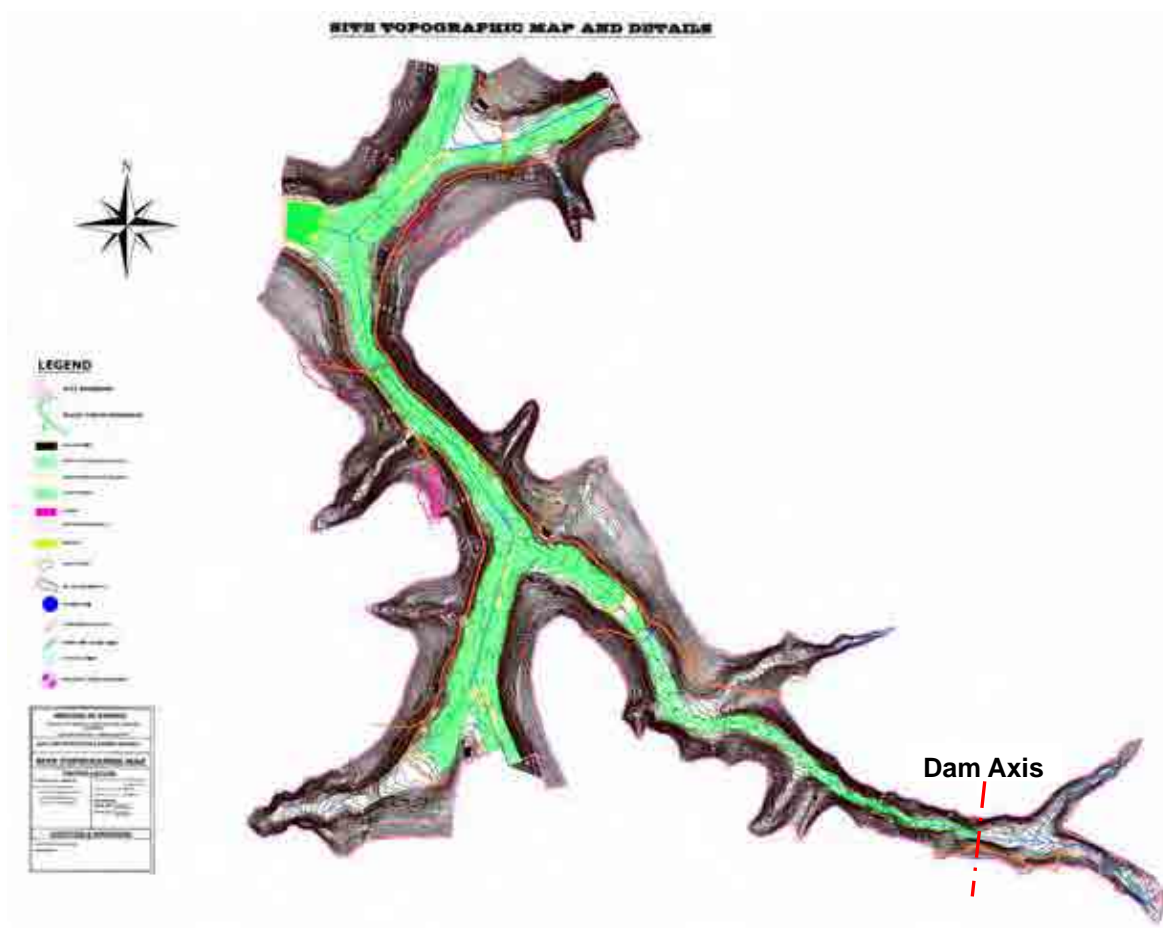
**【Evaluation du Projet】**

- Taux de rendement interne (IRR) : économiquement 12,1 %, financièrement 15,7 %
- Ratio bénéfice-coût (BC) : économiquement 1,01, financièrement 1,36
- Valeur actualisée nette (NPV) : économiquement 23 000, financièrement 1 550 000

#### 4. Plan du projet d'irrigation

(1) Superficie de périmètres desservis : 275 ha

- Par type de culture : champs secs 240 ha, rizière inondée 35 ha
- Par type d'irrigation : Irrigation gravitaire 149 ha (champs secs 114 ha + rizière inondée 35 ha), irrigation par pompe 126 ha (champs secs 126 ha)



Vue en plan de la zone desservie

(2) Plan de ressources d'eau (eau d'irrigation)

##### a. Rivière

- Année de référence : 1970 (à l'instar du programme LHW, l'année 1970 est adoptée comme année de référence, du fait qu'elle est proche de la probabilité de 3/10)
- Débit disponible : 709 000m<sup>3</sup>
  - \*1) *Le modèle de réservoir d'écoulement d'averse est élaboré sur la base des données du débit de rivière des 22 sites de Ngoma et des données de précipitations aux environs des sites pendant la période de février à mai 2012.*
  - \*2) *La situation de la rivière des 22 sites de Ngoma est reproduite en application du modèle de réservoir susmentionné, en utilisant les données de précipitation de 34 ans (1960 – 1993) relevées à la station d'observation de Gahororo se trouvant près du site.*



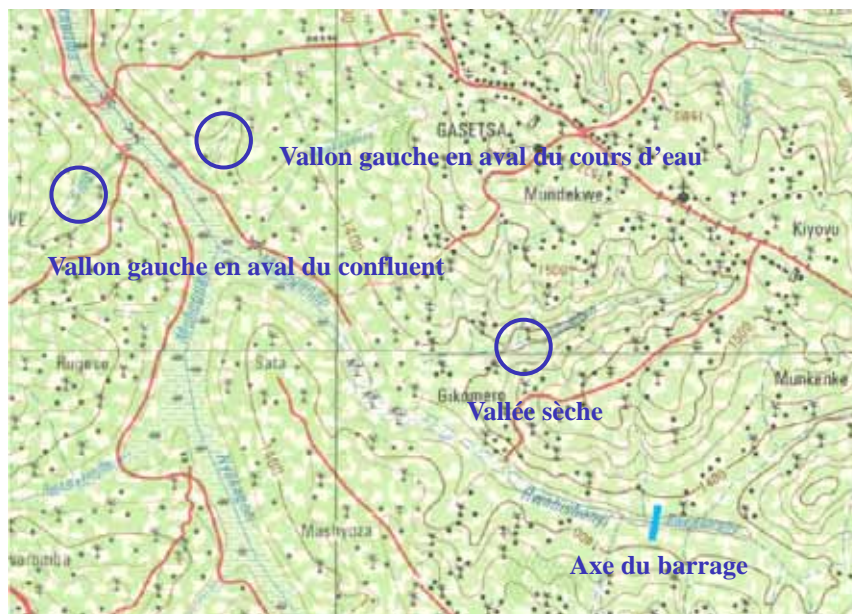
- \*3) Le débit de rivière de 1970 (709 000m<sup>3</sup>) qui est proche du débit en année sèche de la probabilité 3/10 an du programme LWH (697 149m<sup>3</sup>) est adopté comme débit disponible.



Carte de situation de la station d'observation de Gahororo

- b. Eau souterraine et eau de surface (source d'eau supplémentaire)

- Potentiel : 158 000m<sup>3</sup> (source d'eau supplémentaire)



Carte de situation des eaux de jaillissement disponibles

(3) Plan des principaux ouvrages

- a. Installations de source d'eau

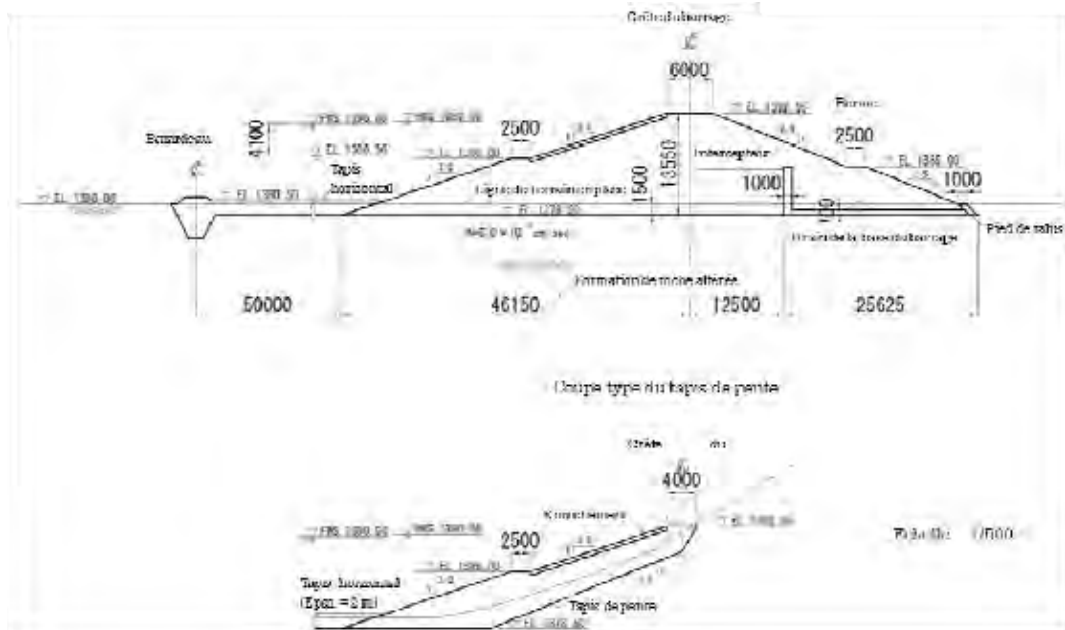
Barrage

- Superficie du bassin versant : 8,8 km<sup>2</sup>

- Type de barrage : Barrage en tête homogène
- Hauteur de la digue : 13,55 m (y compris la profondeur de la fouille de fondation de 1,5 m, la hauteur de la nappe déversante sur le déversoir de 0,35 m et la hauteur de marge de 1,1 m)
- Longueur de la crête de barrage : 180m
- Volume de la digue : 86 500m<sup>3</sup> (digue proprement dit 48 700 m<sup>3</sup> , tapis 37 800 m<sup>3</sup>)
- Traitement de fondation : méthode de tapis
- Capacité totale du réservoir : 700 000 m<sup>3</sup>
- Capacité utile du réservoir : 450 000m<sup>3</sup>  
(Profondeur d'eau disponible : 4,1m = FWS 1 390,60 m – DWS 1 386,50 m)
- Volume d'eau morte : 250,000m<sup>3</sup> (profondeur d'élévation d'eau : 6,5m = DWS 1 386,50 m – EL. 1 380,00 m , y compris le volume de sédiment de 30 000 m<sup>3</sup>)
- Superficie maximale de la surface d'eau : 14,96 ha



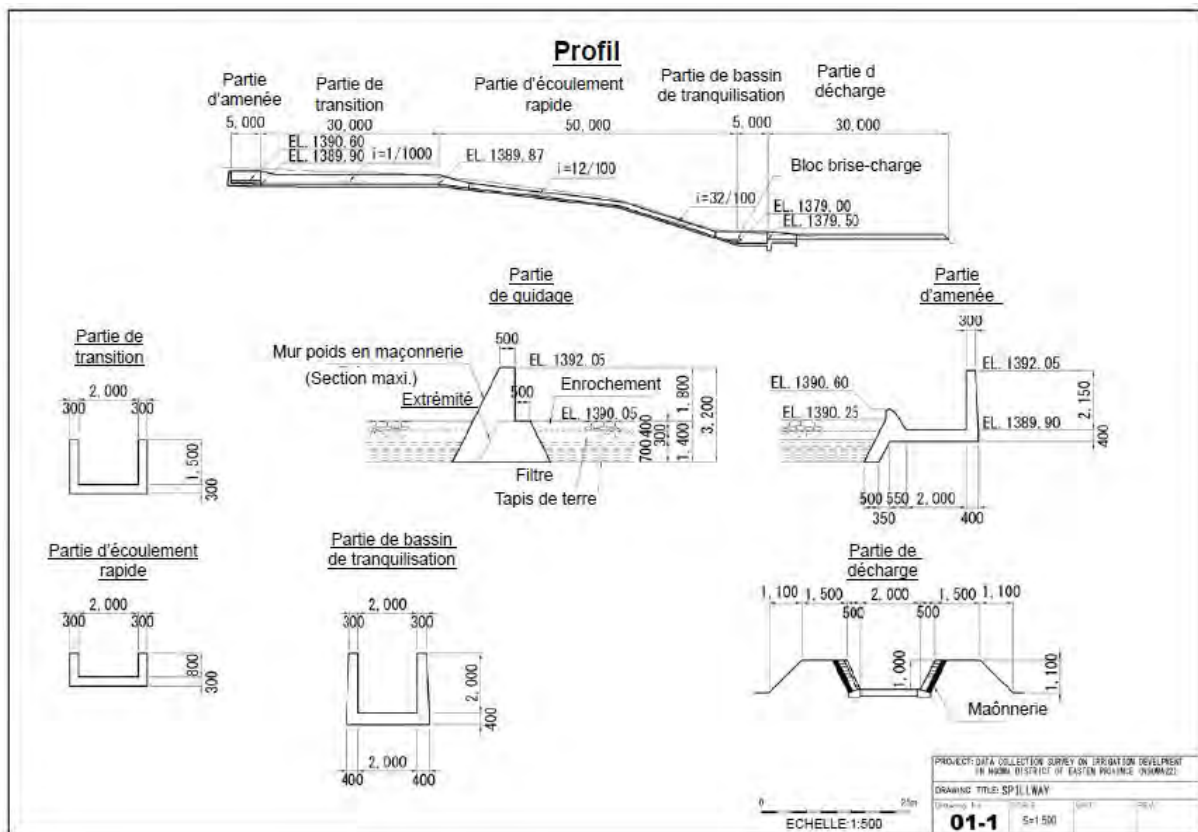
Vue en plan générale du barrage



Vue en coupe générale du corps de barrage

Déversoir

- Type de déversoir : déversement latéral
- Débit de déversement de calcul :  $2,2 \text{ m}^3/\text{sec}$  (probabilité de 50 ans)
- Hauteur de la nappe déversante :  $0,35 \text{ m}$  (= HWS 1 390,95 m – FWS 1 390,60 m)
- 



Plan standard du déversoir

### Installations de prise d'eau

- Type des installations : Tour de prise d'eau + vidange de fond
- Méthode de prise d'eau : Prise d'eau sur la surface d'eau au moyen d'une vanne de prise d'eau

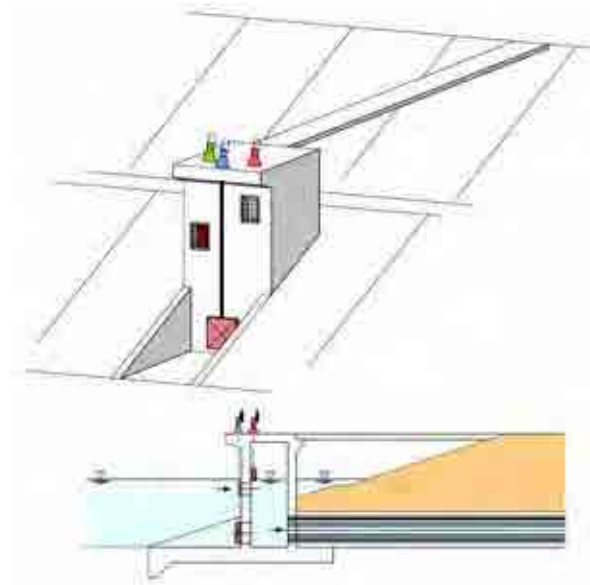
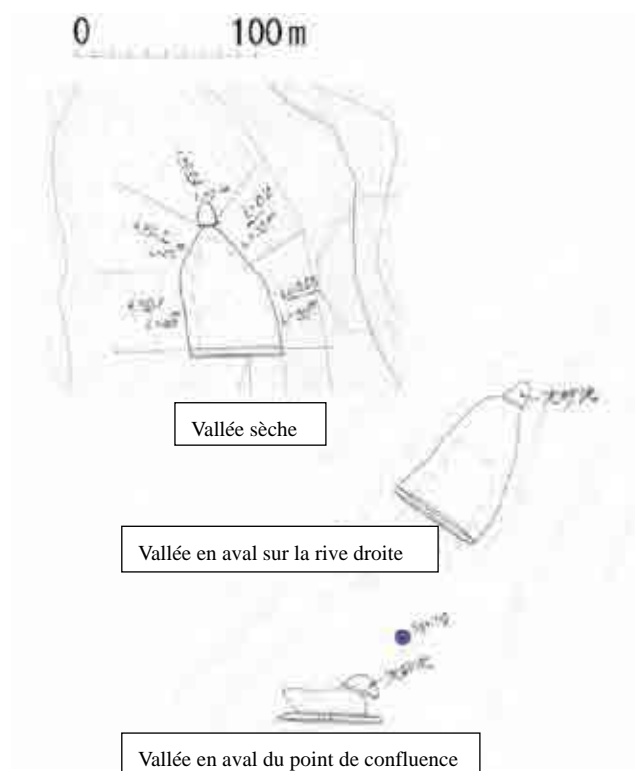


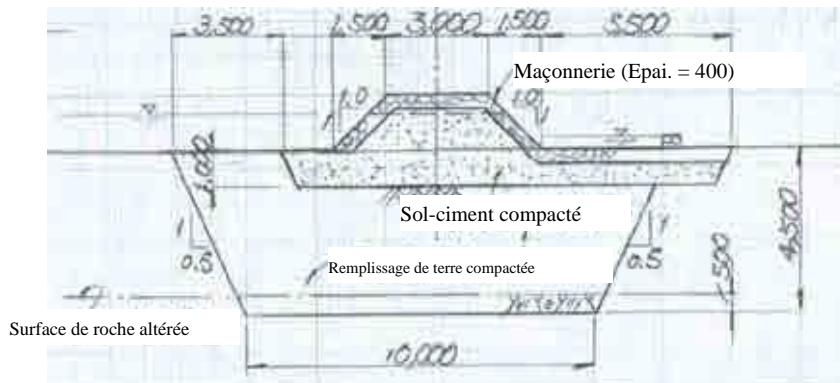
Image des installations de prise d'eau

### Installations de prise d'eau souterraine (source d'eau supplémentaire)

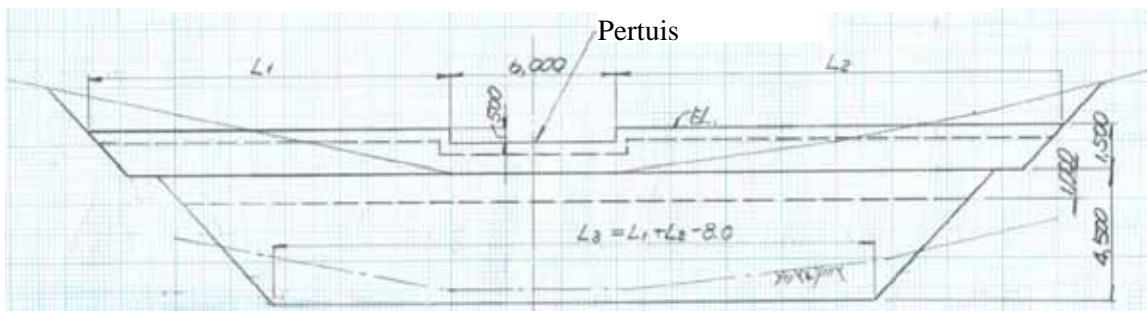
- Type : ouvrage d'endiguement (sol-ciment, 3 endroits)



Vue en plan de l'ouvrage d'endiguement



Vue en coupe standard de l'ouvrage d'endiguement



Vue de face de l'ouvrage d'endiguement

Vallée	Altitude de la crête	Longueur de la crête du barrage	L1	L2	L3	Capacité du réservoir
Vallée sèche	EL.1397,0	35,5 m	13,2 m	16,3m	21,5 m	1 300 m <sup>3</sup>
Vallée en aval sur la rive droite	EL.1378,0	51,0 m	24,0 m	21,0m	37,0 m	3 000 m <sup>3</sup>
Vallée en aval du point de confluence	EL.1370,5	53,0 m	19,0 m	28,0m	39,0 m	470 m <sup>3</sup>



b. Installations d'irrigation

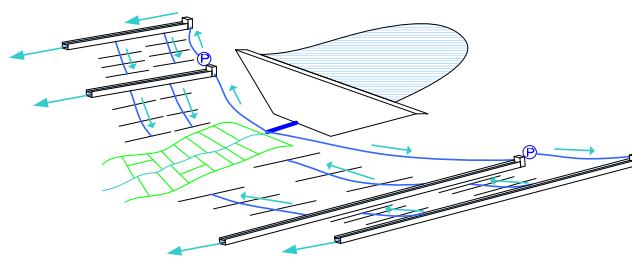
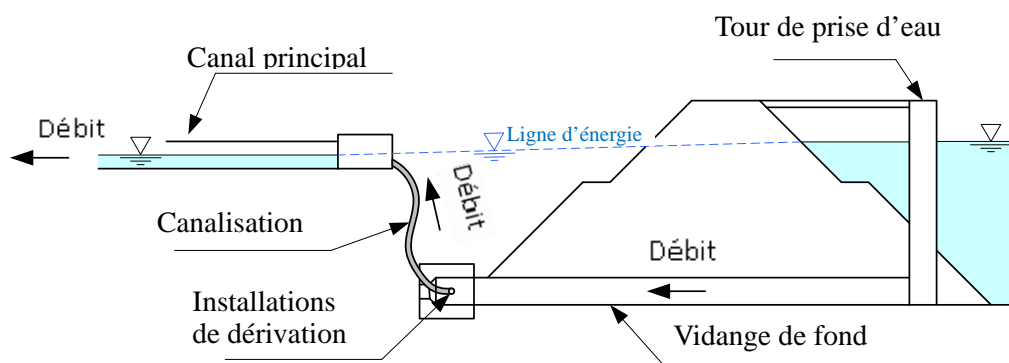


Image de dérivation d'eau vers les canaux principaux

Installations d'irrigation de champs secs

i. Canaux principaux

- Structure : Canal en perré maçonné
- Longueur : 14,3 km (rive gauche : 5,3 km , rive droite : 9,0 km)

ii. Installations de pompe (pompe solaire)

- Nombre d'unités installées : 17 unités (surface irriguée 7,6 ha/unité)
- Puissance de sortie : 3,7 kw
- Hauteur de refoulement : 20 m
- Quantité de pompage moyenne : 5,6 /sec

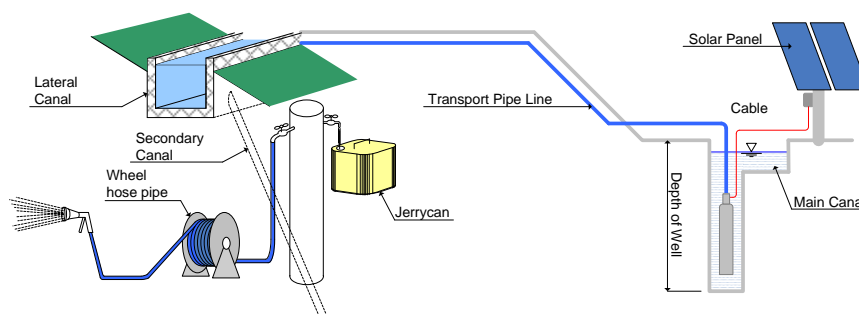


Image d'irrigation par pompes

iii. Canaux latéraux

- Structure : Canal en perré maçonné
- Longueur : 13,0 km (rive gauche : 4,7 km , rive droite : 8,3 km)

iv. Canaux secondaires (canaux au sein de champs)

- Structure : Conduite (tuyau en polyéthylène à haute densité (HDPE) )
- Longueur : 36 km

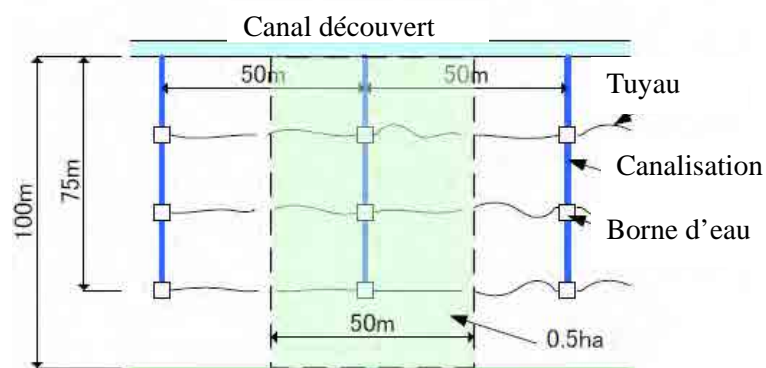
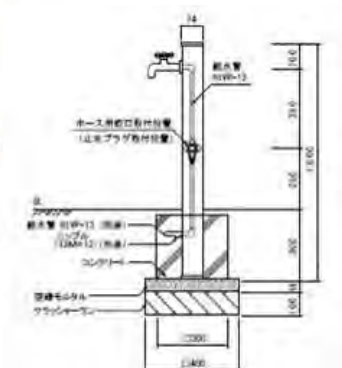


Image de canaux secondaires



Images de bornes d'eau et tuyaux flexibles

Installations d'irrigation de rizières inondées

- Installations de prise d'eau : écluses (installées dans la rivière actuelle, 20 endroits (intervalle de 200 m))
- Canaux d'irrigation : canaux en perré maçonné sur 3 faces

## PLAN DU RESEAU D'IRRIGATION

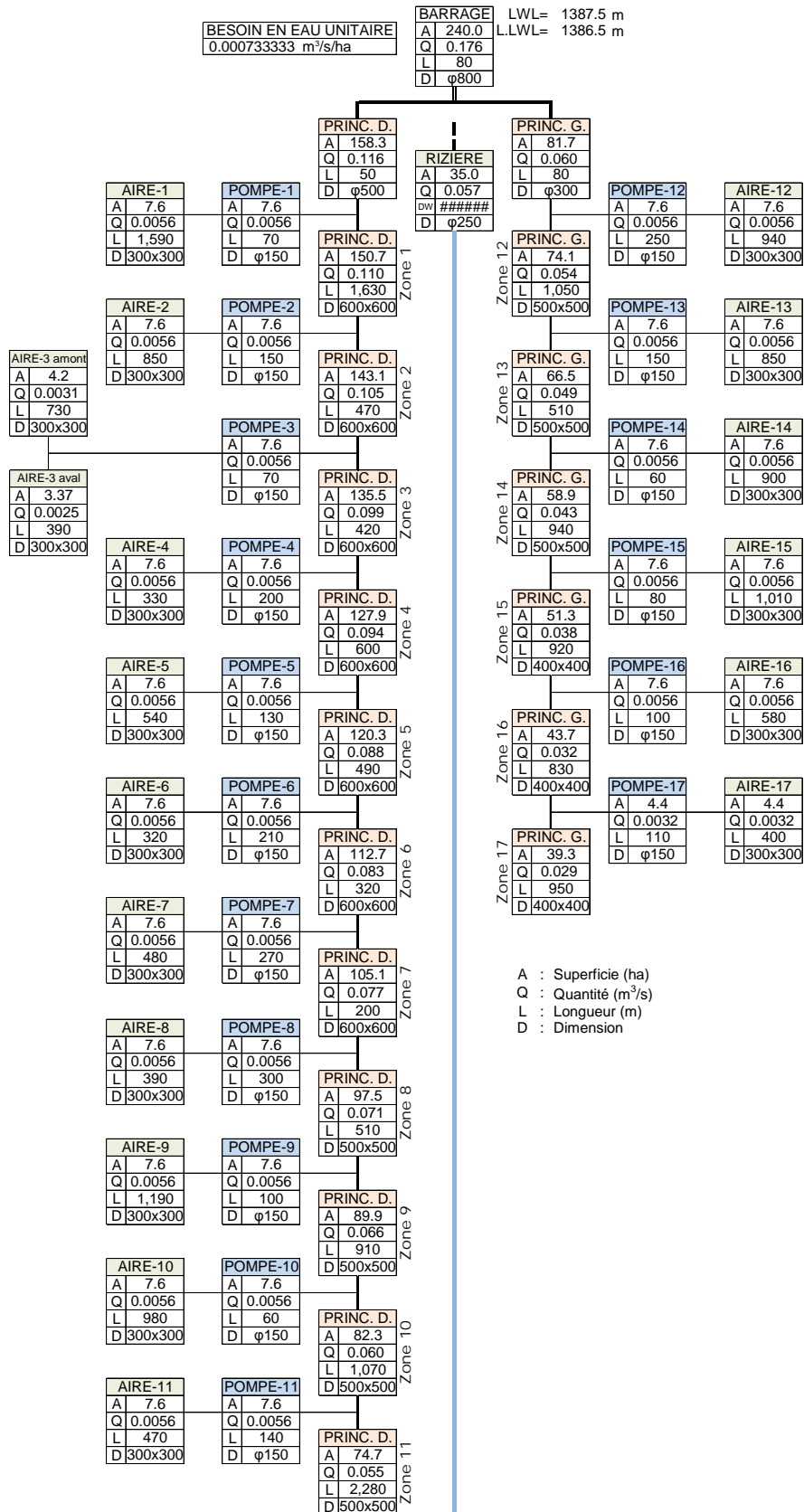
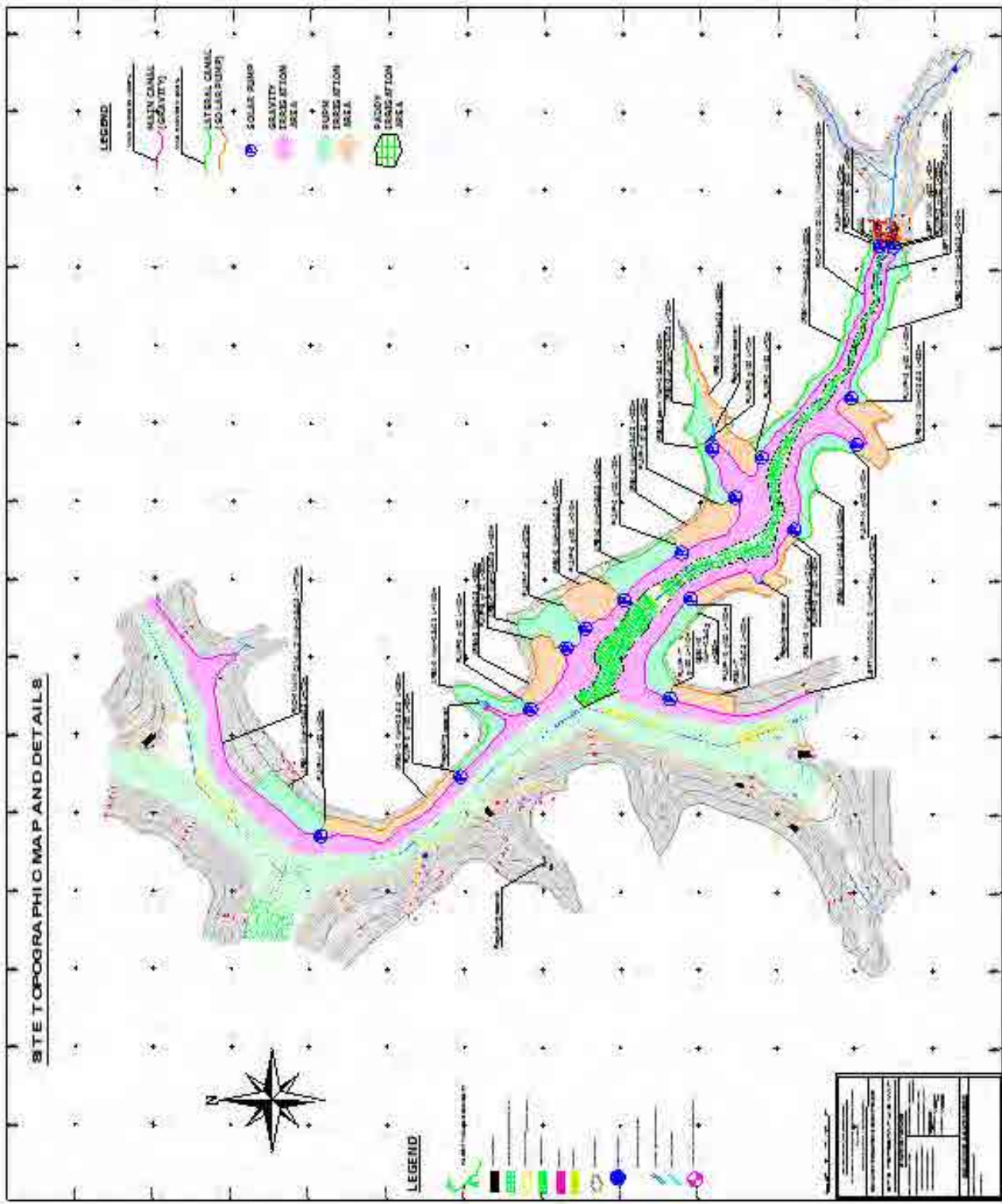


Schéma du réseau d'irrigation du Projet





c. Plan d'exécution des travaux

- Période d'exécution des travaux : 1 an
- Essai de mise en eau : 1 an

Corps d'état	Mois											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Aménagement de routes	■	■										
Préparation du site	■	■										
Bureau de chantier		■										
Laboratoire de chantier	■	■										
Abattage et déracinage d'arbres			■									
Routes provisoires												
Construction des installations de prise d'eau			■	■	■							
Excavation des fondations de barrage		■	■									
Batardeau				■	■							
Tapis horizontal				■	■							
Tapis du talus						■	■	■	■	■	■	
Remblayage du digue						■	■	■	■	■	■	
Enrochement								■	■	■	■	
Protection de la crête du barrage											■	■
Enherbement de protection du talus										■	■	■
Construction du déversoir								■	■	■	■	■
Construction de canaux principaux			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Construction de canaux latéraux							■	■	■	■	■	■
Installation de pompes solaires							■	■	■	■	■	■
Construction de caux terminaux									■	■	■	■
Autres										■	■	■
Repliement												■

Calendrier d'exécution des travaux

d. Coût du Projet

● Travaux provisoires	:	RWF	467 485 000	(	61 816 198 yens	)
● Corps du barrage	:	RWF	1 099 675 600	(	145 411 650 yens	)
● Déversoir	:	RWF	67 042 000	(	8 865 058 yens	)
● Installations de prise d'eau	:	RWF	266 256 000	(	35 207 405 yens	)
● Installations d'irrigation	:	RWF	2 315 325 000	(	306 158 678 yens	)
● Coût total du Projet	:	RWF	4 215 783 600	(	557 458 988 yens	)

\*) 1 US\$ = 605 RWF = 80 yens japonais

(4) Plan de culture

a. Principe de base

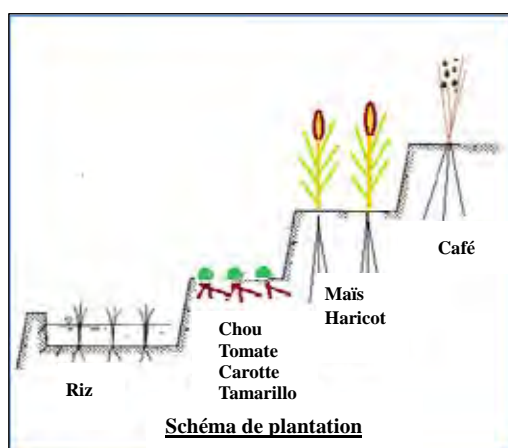
- Potentiel commercial : Cultures rentables et lucratives par le biais de l'irrigation.
- Productivité : Cultures pouvant être facilement introduites, prenant en considération le niveau de connaissance des techniques culturales courantes.
- Sécurité alimentaire : L'ensemencement de maïs est recommandé en tant que mesure permettant d'assurer l'approvisionnement alimentaire, dans le cas où l'approvisionnement alimentaire dans la région concernée pourrait être menacé, ou en tant que culture commerciale effective et à très fort potentiel de vente.

b. Produits

Riz, maïs, haricots, légumes (carotte, tomate, choux, tamarillo), café

c. Taux annuel d'utilisation du terrain (culture) : 185 %

Produit	Zone	Jan.	Fev.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Juil.	Aoû.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	
Riz	38 ha (13 %)	R-B	Riz A						Riz B					
Maïs+Haricot	140 ha (51 %)		Maïs						Haricot					
Légume-1	20 ha (7 %)	Cho	Carotte						Chou					
Légume-2	40 ha (15 %)	Cho	Tomate						Chou					
Légume-3	20 ha (7 %)	Tamarillo						Tamarillo						
Café	20 ha (7 %)	Café												
Total	278 ha (100 %)	<b>Assolement</b>												



(5) Evaluation du Projet et analyse de sensibilité

a. Evaluation du Projet

Taux de rendement interne (%)		Ratio bénéfice/coût *)		Valeur actualisée nette (000 Rwf) *)	
Économique	Financier	Économique	Financier	Économique	Financier
12,1	15,7	1,01	1,36	23 000	1 550 000

\*) Taux de réduction : 12 %

b. Analyse de sensibilité

Taux de rendement de base	Coût du Projet + 10%	Profit - 10%	Coût du Projet +10% + Profit+10%	Rendement unitaire de calcul -10%	Prix unitaire de culture -10%
12,1	11,1	10,9	10,0	10,4	10,6

c. Effets escomptés à l'avenir

Effets			Bénéficiaires			
			Résidents	Utilisateurs de l'eau à usage agricole	Utilisateurs du bassin de barrage	Pêcheurs en eau douce
Communauté locale	Économie locale	Contribution à la pêche en eau douce			+	+
		Contribution à l'écosystème	+		+	
	Environnement	Amélioration du paysage du bord du bassin du barrage	+		+	
		Amélioration de l'écosystème pour les oiseaux et les plantes		+		+

**5. Examen de la pertinence de la mise en œuvre de la coopération et de l'étendue/de l'envergure adéquates de la coopération**

(1) Pertinence de la mise en œuvre de la coopération

La mise en œuvre du présent Projet de coopération dans le cadre de la coopération non remboursable du gouvernement japonais est jugée pertinente pour les raisons suivantes.

- (a) Il existe 5 programmes/plans en tant que plans supérieurs au présent projet au Rwanda, à savoir 1) Vision 2020 du Rwanda, 2) Plan quinquennal, 3) Politiques agricoles nationales, 4) Stratégie pour la transformation de l'agriculture au Rwanda, et 5) Programme d'aménagement des sols, de collecte d'eaux et d'irrigation collinaire. Ces programmes/plans ont fixé comme objectifs la réduction de la pauvreté, la croissance économique, et la sécurité alimentaire. Le présent projet fait partie du programme d'aménagement des sols, de collecte d'eaux et d'irrigation collinaire du point 5)

ci-dessus, correspond au plan de développement à moyen et long terme des plans supérieurs du Rwanda, et a pour but de contribuer à la réalisation de ces objectifs.

- (b) Le programme LWH - aménagement des sols, collecte d'eaux et irrigation collinaire du Rwanda a pour objectif la construction de réservoirs pour usage agricole sur 101 sites dans l'ensemble du pays en s'appuyant sur le principe qui est « la mise en œuvre d'une agriculture axée sur le marché à travers l'amélioration des terres agricoles, l'aménagement de terres cultivables et l'irrigation collinaire ainsi que le renforcement de la structure des organisations concernées et de leur personnel». Ce projet, qui met l'accent sur la culture maraîchère sur les pentes montagneuses, se conforme aux objectifs mis en avant par le programme d'aménagement des sols, de collecte d'eaux et d'irrigation collinaire.
- (c) Le gouvernement japonais s'est engagé, à l'occasion de la quatrième Conférence internationale de Tokyo sur le développement de l'Afrique (TICAD IV) à fournir une aide axée principalement sur 1) l'augmentation de la production alimentaire et l'amélioration de la productivité agricole, 2) l'amélioration de la gestion de l'utilisation des ressources en eau et des terres, 3) le développement des infrastructures dans le secteur de l'eau, 4) la réduction des risques de catastrophes, 5) l'amélioration de l'accès à l'eau potable salubre. Ce projet qui a pour objectif le développement des ressources en eau par le biais de la construction d'un barrage et la modernisation de l'agriculture doit contribuer à la réalisation et à la mise en œuvre de tous les engagements susmentionnés.
- (d) Outre la technologie de base se rapportant à la planification et à la conception de réservoirs de stockage, le présent projet, qui propose des nouvelles idées notamment l'introduction de pompes solaires pour l'irrigation en zone montagneuse et la prise des eaux souterraines à faible profondeur sur une section rétrécie au moyen d'un barrage, devrait devenir un modèle du développement de l'irrigation à petite échelle au Rwanda. Les points suivants sont concrètement mis en avant.
  - i) Évaluation générale du bilan hydrique de tous les affluents de Ngoma-22 et examen de leur utilisation avec une attention particulière sur les cours d'eau naturels, après mise en évidence, sur la base de relevés des précipitations et apports d'eau, que le débit de ruissellement était inférieur aux hypothèses initiales.
  - ii) Confirmation des possibilités de prise d'eau pour l'irrigation des champs en amont par le biais d'efforts de rationalisation et d'économie de l'eau pour les rizières, sur la base d'une étude sur les conditions des rizières existantes, étant donné qu'une superficie assez importante de rizières inondées existent dans le bassin versant. (Le fait de satisfaire les conditions de prise d'eau et de distribution équitable de l'eau d'irrigation dans le secteur d'utilisation peut également contribuer aux activités des associations des usagers des eaux agricoles en facilitant par exemple la production stable de riz, la collecte des redevances de l'eau et la maintenance et la gestion des installations)

- iii) Examen des mesures d'utilisation concrètes notamment des méthodes de prise d'eau des eaux souterraines en tant que ressources supplémentaires après mise en évidence, sur la base de relevés, que le débit de ruissellement était inférieur aux hypothèses.
- iv) Planification de l'introduction d'un système de pompage solaire comparativement abordable, dont la vulgarisation a déjà commencé dans d'autres pays, après mise en évidence que la superficie irriguée avec de l'eau d'irrigation provenant uniquement de l'irrigation par gravité était considérablement inférieure au plan, en raison des conditions topographiques spécifiques au Rwanda caractérisées par d'étroitesse des bassins fluviaux entre les montagnes.

## **(2) Étendue/envergure de la coopération**

### **(a) Étendue de la coopération**

L'étendue de la coopération dans le cadre de ce projet est l'aménagement des infrastructures allant de la construction de barrage jusqu'à la construction des plus petites installations d'irrigation. L'irrigation économe en eau ayant recours à la méthode de micro-irrigation est la principale caractéristique de ce projet, et le matériel nécessaire tel que les tuyaux étant indispensable pour la réalisation des objectifs du projet, celui-ci est inclus dans l'étendue de la coopération. Par ailleurs, les terres dans le lit fluvial en aval du site du barrage sont actuellement utilisées pour la riziculture, mais à la suite de la construction du barrage, ces rizières feront parties du périmètre irrigué. Outre la nécessité d'éviter de gaspiller l'eau lors de sa distribution jusqu'aux rizières, il est également nécessaire de contrôler / gérer les quantités d'eau approvisionnées. Pour ce faire, il est nécessaire de réparer les diguettes qui ne sont pas dans un état permettant de retenir l'eau. Par conséquent, l'aménagement du matériel pour l'irrigation des rizières en aval, y compris la réparation des diguettes, est inclus dans l'étendue de la coopération.

Il est reconnu par les autorités rwandaises et les donateurs concernés que dans le programme LWH, l'aménagement des sols (L : Land Husbandry) et l'irrigation collinaire (H : Hillside irrigation) sont indissociables et tandis que l'aménagement des sols est inclus dans les cibles du projet, que les avantages économiques découlant des rendements améliorés à la suite de ces aménagements sont inclus dans l'évaluation économique, il est jugé que l'implication technique du gouvernement japonais dans cette composante n'est pas nécessaire, et par conséquent l'aménagement des sols ne fait pas partie de l'étendue de la coopération.

### **(b) Envergure de la coopération**

À l'heure actuelle, bien que l'utilisation des eaux souterraines pour l'irrigation soit reconnue comme étant efficace et prometteuse, vu la difficulté à estimer la pertinence d'une évaluation des quantités d'eau disponibles, cette composante n'est pas concrètement intégrée au projet d'irrigation. Il est possible que la superficie irriguée de 275 ha actuellement prévue au projet soit revue à la hausse à l'étape de la concrétisation du plan d'utilisation des eaux souterraines.

(c) **Défis à l'avenir**

i) **Défis dans le cadre de ce projet (problèmes à court terme)**

Révision des quantités d'eau disponibles

Les données d'observation du débit fluvial utilisées dans l'établissement du plan sont celles de la période de février à juin. Cependant, il est nécessaire de réviser le débit fluvial disponible sur la base des données d'observation du débit fluvial incluant la saison sèche au mois de juillet et août.

En outre, il est nécessaire d'examiner le degré d'évaluation des quantités d'eau souterraines disponibles prenant en considération la situation à la saison sèche.

Évaluation du débit de crue de calcul se rapportant au barrage

À l'heure actuelle, le débit de crue de calcul est déterminé sur la base du débit maximal calculé suivant la formule rationnelle en utilisant les données d'observation du débit fluvial au cours de la période du mois de février au mois d'avril. Un nouvel examen prenant en considération les résultats des observations du débit fluvial annuel, comme pour les quantités d'eau disponible, s'avère nécessaire.

Mise en œuvre du calcul de la stabilité du barrage, du calcul hydraulique / calcul structurel du déversoir

Pour le moment, la forme de la section transversale du corps du barrage a été décidée de manière empirique, et à l'étape suivante de la conception il sera nécessaire d'effectuer les calculs de stabilité du corps du barrage.

De la même manière, pour le déversoir également il sera nécessaire d'effectuer des calculs / une conception hydraulique / structurelle. ion hydraulique / structurelle.

Coefficient de surface de bassin (Kw)

À l'heure actuelle, le coefficient de surface de bassin appliqué est 0,7. Pour indication le coefficient de surface de bassin dans l'irrigation économe en eau est compris entre 0,4 et 0,7. Cette valeur doit être révisée conformément aux résultats des essais de vérification sur le terrain de l'irrigation économe organisés actuellement sur le site.

Capacité utile du réservoir de 450 000 m<sup>3</sup>

La capacité utile du réservoir doit évidemment être revue sur la base des résultats révisés des quantités d'eau disponibles, mais il est également nécessaire d'examiner sa pertinence en fonction de simulations de l'exploitation du réservoir sur de longues années.

### Amélioration des infrastructures de rizières inondées

Il est nécessaire de poursuivre l'étude et l'examen sur le mode d'exécution efficace adapté aux conditions locales, notamment en ce qui concerne le contrôle de fuite d'eau par l'amélioration de diguettes et la mise en place d'écluses.

### Aménagement de sols (Land Husbandry)

En ce qui concerne l'aménagement de sols, il est nécessaire d'examiner l'utilisation sur les lieux choisis du compost (engrais organique) par le gouvernement rwandais, en vue d'améliorer la fertilité des parcelles desservies d'une part, et de maintenir le pouvoir de rétention d'eau de sols d'autre part

#### **ii) Défis à moyen et long terme**

Après l'achèvement du présent projet, une assistance continue sous l'aspect «soft», c'est-à-dire en matière de formation/encadrement est essentielle pour renforcer davantage les effets du projet. Les thèmes / domaines concernés concevables pourraient être les suivants.

##### 1) Encadrement technique pour l'agriculture dans les champs de culture non inondés

Pour les agriculteurs de ce secteur, la pratique de l'agriculture irriguée dans les champs secs ainsi que l'introduction dans le cadre de ce projet de l'arrosage en tant que méthode d'irrigation sur les terres agricoles représentent une première expérience. Par ailleurs, d'après les résultats de l'analyse économique de l'agriculture (analyse de sensibilité) l'augmentation des rendements est un facteur important pour accroître l'effet économique. Etant donné que désormais l'agriculture de champs secs pourra réaliser de bons rendements et effets économiques grâce à une fertilisation adéquate de la terre et une bonne pratique de l'arrosage, les appuis et encadrements du gouvernement rwandais sont attendus.

##### (b) Encadrement technique pour riziculture inondée

La riziculture inondée dans ce secteur est pratiquée depuis une vingtaine d'années, mais malgré son emplacement dans une région tropicale son altitude d'environ 1500 m a transformé la culture du riz en une lutte contre des températures basses. L'introduction de variétés de riz adaptées en améliorant certaines espèces, le développement / l'application de méthodes agricoles adéquates parmi des méthodes spéciales ou radicales, telles que les cultures intermittentes, les cultures sans travail du sol, l'agriculture organique, etc., ne sont qu'un échantillon des nombreuses questions à traiter pour améliorer davantage la productivité. Par conséquent le gouvernement rwandais est appelé à y investir.

##### (c) Aide pour le renforcement des organisations des agriculteurs / assistance technique pour la gestion des installations hydrauliques.

L'établissement d'un système de coopération au niveau de la communauté locale est indispensable pour la mise en œuvre de la maintenance des ouvrages tels que le barrage et les canaux d'irrigation.



L'établissement du système de coopération en question ne pouvant être réalisé qu'à travers le renforcement des associations des usagers des eaux. Cela signifie qu'un tel système pourra être mis en place en grande partie par les volontés spontanées de la part des agriculteurs. Le gouvernement rwandais est tenu d'assurer de façon continue l'appui et l'encadrement en la matière.

Par ailleurs, le gouvernement rwandais est tenu d'assurer une assistance technique en matière de manipulations des installations hydrauliques (exploitation et gestion des pompes solaires, gestion de vannes de prises d'eau de barrage / gestion de vanne de réservoir de régulation des canaux d'irrigation, la gestion des écluses des installations de prise d'eau pour les rizières, etc.).

Préface	
Resumé	
Table de matières	
Carte de localisation	
Listes des figures et des tableaux	
Abréviation	
Unité	
Monnaie	
<b>Chapitre 1 Aperçu de l'étude</b>	<b>1-1</b>
1-1. Arrière-plan et objectif de l'étude	1-1
1-1-1. Arrière-plan de l'étude	1-1
1-1-2. Objectif de l'étude	1-2
1-2. Membre de la mission d'étude	1-2
1-3. Calendrier de l'étude sur le terrain	1-3
1-4. Principales entités interviewées	1-4
<b>Chapitre 2 Contexte des projets de développement agricole au Rwanda</b>	<b>2-1</b>
2-1. MINAGRI (Ministère de l'Agriculture et des Ressources Animales)	2-1
2-1-1. Trois grands programmes pour promouvoir l'agriculture irriguée	2-1
2-1-2. Programme d'Appui au Secteur Rural (PASR)	2-1
2-1-3. Programme Mise en Valeur Agricole, Collecte des Eaux et Irrigation Collinaire (LWH)	2-1
2-1-4. Projet d'Irrigation par Pompage à Grande Échelle	2-2
2-1-5. Mouvement global	2-2
2-2. Conseil Agricole du Rwanda	2-3
2-3. Situation des interventions dans le développement de l'irrigation par les donateurs	2-4
2-3-1. Banque Mondiale (BM)	2-4
2-3-2. Agence des États-Unis pour le Développement International (USAID)	2-4
2-3-3. Agence Canadienne de Développement International (ACDI)	2-4
2-3-4. Vues communes parmi les donateurs	2-5
2-4. Reconnaissance de sites des projets existant	2-5
2-4-1. Barrages de Ntende et Kiliba	2-6
2-4-2. Projet d'irrigation par pompage de Rilima	2-9
2-4-3. Fermes horticoles modèles du Projet pour Accroître la Production Agricole	2-12
<b>Chapitre 3 Situation générale du secteur d'irrigation - NGOMA 22</b>	<b>3-1</b>
3-1. Situation sociale	3-1
3-1-1. Division administrative	3-1

3-1-2. Système administratif local .....	3-2
3-1-3. Population .....	3-2
3-1-4. Composition par sexe .....	3-2
3-2. Base de la vie sociale .....	3-3
3-2-1. Éducation .....	3-3
3-2-2. Santé et hygiène .....	3-4
3-2-3. Électricité .....	3-4
3-2-4. Communication .....	3-5
3-2-5. Accès au système informatique .....	3-5
3-2-6. Routes et trafic .....	3-5
3-2-7. Alimentation en eau .....	3-5
3-3. Situation de communauté villageoise .....	3-6
3-3-1. Situation de profession .....	3-6
3-3-2. Emploi du temps de la vie quotidienne .....	3-6
3-3-3. Dépenses de ménage .....	3-6
3-3-4. Habitude alimentaire .....	3-6
3-4. État actuel d'agriculture .....	3-7
3-5. Étude sur l'exploitation agricole .....	3-11
3-5-1. Étude sur les besoins en eau .....	3-11
3-5-2. Étude sur le taux d'infiltration .....	3-17
3-6. Études de ressources d'eau disponibles .....	3-28
3-6-1. Étude complémentaire sur l'hydrologie .....	3-28
3-6-2. Reconnaissance hydrogéologique de la source .....	3-32
3-6-3. Étude sur la situation actuelle d'irrigation et du drainage .....	3-61
3-7. Études sur la région bénéficiaire du Projet .....	3-65
3-7-1. Étude sur le terrain sur les lieux de la région susceptible d'être bénéficiaire du Projet	3-65
3-7-2. Étude de champ dans le bassin de réception .....	3-75
3-7-3. Arpentage .....	3-80
3-8. Législation régissant l'Association des Usagers de l'Eau .....	3-85
3-9. Situation actuelle de l'AUE .....	3-87
3-9-1. Cas 1: Barrage de Ntende, Barrage de Kiliba .....	3-87
3-9-2. Cas 2: Barrage chinois .....	3-88
3-9-3. Cas 3: Coopérative d'Inkingi Y'Ubunhizi .....	3-89
3-9-4. Évaluation et recommandations à l'égard de l'AUE .....	3-91
3-10. Autres organisations des communautés rurales .....	3-92
3-10-1. Umganda .....	3-92
3-10-2. Ubudehe .....	3-92
3-10-3. Gacaca .....	3-92
3-10-4. Ibmina .....	3-93

<b>Chapitre 4</b>	<b>Projet de l'irrigation du secteur Ngoma 22</b>	4-1
4-1.	Plan d'irrigation	4-1
4-1-1.	Étude d'approvisionnement en eau	4-1
4-1-2.	Étude du pour la planification des installations	4-61
4-1-3.	Plan d'exécution et estimation des coûts	4-135
4-2.	Plan agricole	4-141
4-2-1.	Principes de base	4-141
4-2-2.	Lieu de culture	4-145
4-2-3.	Caractéristiques des cultures	4-148
<b>Chapitre 5</b>	<b>Évaluations économique</b>	5-1
5-1.	Conditions préalables à l'analyse financière et l'analyse économique	5-1
5-1-1.	Durée du Projet	5-1
5-1-2.	Facteurs de conversion	5-2
5-1-3.	Prix unitaire pour l'évaluation du Projet	5-2
5-1-4.	Salaire de la main d'œuvre agricole	5-4
5-1-5.	Taxes	5-4
5-2.	Coût du Projet	5-4
5-2-1.	Taux de provision pour imprévus physiques et réserve pour éventualité	5-4
5-2-2.	Répartition d'investissement pour chaque année pendant la période de construction.	5-4
5-3.	Avantages économiques du Projet	5-5
5-4.	Évaluation financière et évaluation économique du Projet	5-9
5-5.	Analyse de sensibilité	5-9
5-6.	Effets envisagés à l'avenir	5-9
<b>Chapitre 6</b>	<b>Étude sur le barrage chinois</b>	6-1
6-1.	Étude sur l'état actuel	6-1
6-1-1.	Barrage et installation s'y rattachant	6-1
6-1-2.	Étude de zone bénéficiaire dans le bassin versant supérieur	6-3
6-1-3.	Place et impact de la réhabilitation du barrage chinois	6-12
6-2.	Plan de réhabilitation général du barrage chinois	6-13
6-2-1.	Plan de réhabilitation général	6-13
6-2-2.	Plan d'exécution et estimation du coût	6-16
6-2-3.	Plan d'étude	6-20

<b>Chapitre 7 Examen de la pertinence de la mise en œuvre de la coopération et de l'étendue/ de l'envergure adéquate de la coopération.....</b>	<b>7-1</b>
7-1. Pertinence de la mise en œuvre de la coopération .....	7-1
7-2. Étendue/envergure de la coopération .....	7-2
7-2-1. Étendue de la coopération .....	7-2
7-2-2. Envergure de la coopération .....	7-3
7-2-3. Défis à l'avenir .....	7-3



## **Listes de tableaux et de figures**

Figure 3-1-1-1	Organisations gouvernementales concernées par la région du Projet .....	3-1
Figure 3-1-4-1	Composition par sexe dans les Villages .....	3-3
Figure 3-4-1	Moyen d'acquisition de terre .....	3-9
Figure 3-4-2	Taux de plantation .....	3-9
Figure 3-4-3	Assolement actuel .....	3-10
Figure 3-5-1-1	Perte d'eau en profondeur .....	3-11
Figure 3-5-1-2	Points ayant fait l'objet d'étude .....	3-12
Figure 3-5-1-3	Rapport d'Infiltration/Percolation.....	3-15
Figure 3-5-1-4	Rapport d'Infiltration/Percolation.....	3-15
Figure 3-5-1-5	Infiltration de l'eau du champ dans la rizière.....	3-16
Figure 3-5-2-1	Points d'études in-situ pour le taux d'infiltration.....	3-18
Figure 3-5-2-2	Quantité cumulée d'infiltration du sol (1).....	3-20
Figure 3-5-5-3	Évolution chronologique de taux d'infiltration (1) .....	3-20
Figure 3-5-2-2	Quantité cumulée d'infiltration du sol (2).....	3-21
Figure 3-5-5-3	Évolution chronologique de taux d'infiltration (2) .....	3-21
Figure 3-5-2-2	Quantité cumulée d'infiltration du sol (3).....	3-22
Figure 3-5-5-3	Évolution chronologique de taux d'infiltration (3) .....	3-22
Figure 3-5-2-2	Quantité cumulée d'infiltration du sol (4).....	3-23
Figure 3-5-5-3	Évolution chronologique de taux d'infiltration (4) .....	3-23
Figure 3-5-2-2	Quantité cumulée d'infiltration du sol (5).....	3-24
Figure 3-5-5-3	Évolution chronologique de taux d'infiltration (5) .....	3-24
Figure 3-5-2-2	Quantité cumulée d'infiltration du sol (6).....	3-25
Figure 3-5-5-3	Évolution chronologique de taux d'infiltration (6) .....	3-25
Figure 3-5-2-2	Quantité cumulée d'infiltration du sol (7).....	3-26
Figure 3-5-5-3	Évolution chronologique de taux d'infiltration (7) .....	3-26
Figure 3-6-1-1	Évolution des précipitations au cours de ces derniers 40 ans.....	3-29
Figure 3-6-1-2	Tendance à long terme des précipitations au cours de ces derniers 40 ans .....	3-29
Figure 3-6-1-3	Tendance à long terme d'évolution de la moyenne annuelle de température maximale du jour au cours de ces derniers 40 ans .....	3-30
Figure 3-6-1-4	Emplacement de stations d'observation.....	3-30
Figure 3-6-2-1	Position de stations d'observation de débit.....	3-32
Figure 3-6-2-2	Points d'observation d'eau de source.....	3-42
Figure 3-6-2-4	Résultats de pompage.....	3-47
Figure 3-6-2-5	Débit de pompage et niveau d'eau dans le puits .....	3-48

Figure 3-6-2-6	Profil hydrogéologique du puits de sondage .....	3-48
Figure 3-6-2-9	Schéma d'un barrage semi-souterrain et de sédimentation .....	3-54
Figure 3-6-2-10	Position des puits de sondage creusés .....	3-55
Figure 3-6-3-1	Positions d'enquête sur la condition réelle d'utilisation d'eau à usage domestique .	3-61
Figure 3-6-3-2	Consommation d'eau par jerrican .....	3-62
Figure 3-6-3-3	Sources d'approvisionnement en eau à usage domestique.....	3-63
Figure 3-6-3-4	Lieu de lavage .....	3-63
Figure 3-6-3-5	Eau d'irrigation .....	3-64
Figure 3-7-1-1	Zones faisant l'objet de l'étude sur la situation d'exploitation du terrain.....	3-65
Figure 3-7-2-1	Zone ayant fait l'objet de l'étude sur le bassin de réception .....	3-75
Figure 3-7-3-1	Levés topographique .....	3-81
Figure 3-7-3-2	Profil en long de l'axe du barrage .....	3-82
Figure 3-7-3-3	Carte d'utilisation actuelle du sol (1/2) – en aval du site .....	3-83
Figure 3-7-3-4	Carte d'utilisation actuelle du sol (2/2) – en amont du site.....	3-84
Figure 3-8-1	Organigramme de l'Association des Usagers de l'Eau .....	3-85
Figure 4-1-1-1	Précipitations et débits fluviaux enregistrés.....	4-2
Figure 4-1-1-2	Modèle de Réservoir .....	4-3
Figure 4-1-1-3	Comparaison du débit calculé et du débit observé.....	4-4
Figure 4-1-1-5	Résultat du calcul du débit fluvial annuel par modèle de réservoir .....	4-6
Figure 4-1-1-6	Emplacement des vallées pour l'évaluation du potentiel.....	4-9
Figure 4-1-1-7	Débit calculé par l'analyse d'écoulement .....	4-10
Figure 4-1-1-8	Calcul d'eau souterraine de la vallée sèche.....	4-10
Figure 4-1-1-9	Modèle d'irrigation parcelle en parcelle .....	4-11
Figure 4-1-1-10	Modèle d'irrigation parcelle en parcelle .....	4-12
Figure 4-1-1-11	Modèle approximatif du débit fluvial .....	4-16
Figure 4-1-1-12	Modèle de répartition de rizière .....	4-18
Figure 4-1-1-13	Relation entre la distance et l'aire de rizière .....	4-19
Figure 4-1-1-14	Débit fluvial et consommation d'eau après prise d'eau initiale pour l'irrigation de champs (1) .....	4-24
Figure 4-1-1-15	Débit fluvial restant et quantité de prise d'eau par bloc (1) .....	4-24
Figure 4-1-1-16	Débit fluvial et consommation d'eau après prise d'eau initiale pour l'irrigation de champs (2) .....	4-25
Figure 4-1-1-17	Débit fluvial restant et quantité de prise d'eau par bloc (2) .....	4-25
Figure 4-1-1-18	Résultat de l'analyse d'écoulement.....	4-26
Figure 4-1-1-19	Hauteur potentielle.....	4-27



Figure 4-1-1-20	Assolement.....	4-41
Figure 4-1-2-1	Implantation des puits d'essai .....	4-61
Figure 4-1-2-2	Profil du puits d'essai (Forme d'excavation .....	4-61
Figure 4-1-2-3	Capacité de la pompe de relevage solaire .....	4-66
Figure 4-1-2-4	Exemples de puissance de sorte de génération solaire.....	4-67
Figure 4-1-2-5	Fluctuation de la puissance de la génération solaire .....	4-68
Figure 4-1-2-6	Courbe H-Q du réservoir.....	4-72
Figure 4-1-2-7	Schéma côté du corps du barrage pour l'option « Barrage » .....	4-73
Figure 4-1-2-8	Schéma d'explication des dimensions .....	4-73
Figure 4-1-2-9	Barrage déversoir et radier.....	4-75
Figure 4-1-2-10	Schéma côté du corps de barrage de l'option « Barrage avec une élévation du niveau d'eau de 10 m » .....	4-76
Figure 4-1-2-11	Tracé du canal d'irrigation et zone bénéficiaire : Option « Élévation du niveau d'eau de 10 m » .....	4-78
Figure 4-1-2-12	Schéma côté du corps du barrage de l'option « Barrage avec élévation du niveau d'eau de 7,5 m » .....	4-79
Figure 4-1-2-13	Tracé du canal d'irrigation et zone bénéficiaire : Option « Élévation du niveau d'eau de 7,5 m » .....	4-78
Figure 4-1-2-14	Schéma côté du corps du barrage de l'option « Barrage avec élévation du niveau d'eau de 6,5 m » .....	4-81
Figure 4-1-2-15	Tracé du canal d'irrigation et zone bénéficiaire : Option « Élévation du niveau d'eau de 6,5 m » .....	4-82
Figure 4-1-2-12	Schéma côté du corps du barrage de l'option « Barrage avec élévation du niveau d'eau de 5 m » .....	4-83
Figure 4-1-2-15	Tracé du canal d'irrigation et zone bénéficiaire : Option « Élévation du niveau d'eau de 5 m » .....	4-84
Figure 4-1-2-18	Prix unitaire par matériau et par taille.....	4-89
Figure 4-1-2-19	Emplacement des axes du barrage .....	4-91
Figure 4-1-2-20	Pluie et ruissellement du 16 mars.....	4-92
Figure 4-1-2-21	Hauteur de la nappe déversante sur l'évacuateur de crues.....	4-94
Figure 4-1-2-22	Schéma d'explication des caractéristiques du corps du barrage .....	4-95
Figure 4-1-2-23	Hauteur des bris des vagues dues au vent .....	4-96
Figure 4-1-2-24	Schéma d'explication des dimensions de la méthode par tapis.....	4-99
Figure 4-1-2-24	Longueur du tapis et suintement .....	4-101
Figure 4-1-2-25	Coupe type .....	4-104
Figure 4-1-2-26	Vue générale en plan.....	4-105
Figure 4-1-2-27	Emplacement de l'évacuateur de crues.....	4-106

Figure 4-1-2-28	Types d'évacuateur de crues .....	4-107
Figure 4-1-2-29	Ruissellement par suite de la pluie du 24 avril.....	4-108
Figure 4-1-2-30	Vue générale en plan de l'évacuateur de crues .....	4-109
Figure 4-1-2-31	Vue général de l'évacuateur de crues.....	4-110
Figure 4-1-2-32	Coupe type de l'ouvrage d'endiguement .....	4-112
Figure 4-1-2-33	Vue en face de l'ouvrage d'endiguement.....	4-112
Figure 4-1-2-34	Ouvrage d'endiguement d'eaux souterraines.....	4-113
Figure 4-1-2-35	Image de dérivation d'eau vers le canal principal.....	4-115
Figure 4-1-2-36	Image d'irrigation par pompes .....	4-115
Figure 4-1-2-37	Image des installations de prise d'eau.....	4-116
Figure 4-1-2-38	Schéma du réseau d'irrigation de projet.....	4-120
Figure 4-1-2-39	Vue générale en plan .....	4-121
Figure 4-1-2-40	Calcul hydraulique .....	4-124
Figure 4-1-2-41	Borne d'eau .....	4-128
Figure 4-1-2-42	Tuyau enroulé sur dévidoir .....	4-128
Figure 4-1-2-43	Disposition des bornes d'eau .....	4-128
Figure 4-1-2-44	Emplacements des bassins de compensation .....	4-130
Figure 4-1-2-45	Vanne de fermeture .....	4-133
Figure 4-1-2-46	Canal d'irrigation .....	4-134
Figure 4-2-2-1	Carte d'emplacement de l'étude de profil pédologique .....	4-147
Figure 4-2-2-2	Schéma de plantation .....	4-148
Figure 6-1-1-1	Bassin versant du barrage chinois .....	6-2
Figure 6-1-2-1	État réel des ressources hydrauliques pour l'irrigation .....	6-12
Figure 6-2-1-1	Plan général du projet de réhabilitation du corps de barrage .....	6-14
Figure 6-2-1-2	Arrangement de la plage de débit du déversoir et seuil de 4-101débordement.....	6-15

Tableau	2-1-3-1	Programme LWH.....	2-1
Tableau	2-1-3-2	Fonds de cofinancement du programme LWH .....	2-2
Tableau	2-4-2-1	Résultats des entretiens .....	2-11
Tableau	2-4-3-1	Tableau récapitulatif des résultats d'enquête menées dans les fermes horticoles modèles .....	2-13
Tableau	3-1-3-1	Composition familiale dans chaque Cellule.....	3-2
Tableau	3-2-1-1	Nombre d'enfants dans l'école primaire et taux de scolarisation .....	3-4
Tableau	3-3-2-1	Emploi du temps typique d'une journée des villageois.....	3-6
Tableau	3-4-1	Utilisation de terre des bénéficiaires potentiels (Secteur de Remera).....	3-8
Tableau	3-4-2	Utilisation de terre des bénéficiaires potentiels (Secteur de Rurenge).....	3-8
Tableau	3-4-3	Fumier .....	3-10
Tableau	3-5-1-1	Étude sur les besoins en eau.....	3-12
Tableau	3-5-1-2	Évaporation et transpiration .....	3-14
Tableau	3-5-1-3	Valeur de calcul des besoins en eau .....	3-14
Tableau	3-5-1-4	Valeur de calcul des besoins en eau .....	3-15
Tableau	3-5-2-1	Sommaire des résultats de mesures.....	3-19
Tableau	3-5-2-2	Résultats de taux d'infiltration (1) .....	3-20
Tableau	3-5-2-2	Résultats de taux d'infiltration (2) .....	3-21
Tableau	3-5-2-2	Résultats de taux d'infiltration (3) .....	3-22
Tableau	3-5-2-2	Résultats de taux d'infiltration (4) .....	3-23
Tableau	3-5-2-2	Résultats de taux d'infiltration (5) .....	3-24
Tableau	3-5-2-2	Résultats de taux d'infiltration (6) .....	3-25
Tableau	3-5-2-2	Résultats de taux d'infiltration (7) .....	3-26
Tableau	3-5-2-3	Taux d'infiltration de base .....	3-27
Tableau	3-5-2-4	Résistance admissible d'irrigation (mm/hr) (extrait d'irrigation des champs sec)....	3-27
Tableau	3-6-1-1	Données hydrométéorologique .....	3-28
Tableau	3-6-2-1	Résultats d'observation sur le débit de ruisseau.....	3-41
Tableau	3-6-2-2	Résultats de mesures de débit .....	3-45
Tableau	3-6-2-3	Contenu d'essai de pompage.....	3-46
Tableau	3-6-2-3	Évaluation de potentialité de mise en valeur des eaux souterraines.....	3-61
Tableau	3-6-1	Consommation d'eau par jerrican et nombre de famille .....	3-62
Tableau	3-7-1-1	Résultats de reconnaissance – Zone Rive gauche – 1 (Aval) .....	3-65
Tableau	3-7-1-2	Résultats de reconnaissance – Zone Rive gauche – 2 (Aval) .....	3-67
Tableau	3-7-1-3	Résultats de reconnaissance – Zone Rive gauche – 3 (Aval) .....	3-68
Tableau	3-7-1-4	Résultats de reconnaissance – Zone Rive gauche – 4 (Aval) .....	3-68

Tableau	3-7-1-5	Résultats de reconnaissance – Zone Rive droite – 1 (Aval) .....	3-69
Tableau	3-7-1-6	Résultats de reconnaissance – Zone Rive droite – 2 (Aval) .....	3-70
Tableau	3-7-1-7	Résultats de reconnaissance – Zone Rive droite – 3 (Aval) .....	3-70
Tableau	3-7-1-8	Résultats de reconnaissance – Zone Rive droite – 4 (Aval) .....	3-71
Tableau	3-7-1-9	Résultats de reconnaissance – Zone Vallée de Rwamakombe .....	3-72
Tableau	3-7-1-5	Résultats de reconnaissance – Zone Rive droite – 1 (Aval) .....	3-69
Tableau	3-7-2-1	Superficie cultivée par produit .....	3-76
Tableau	3-7-3-1	Étude topographique .....	3-80
Tableau	3-8-1	Programme des activités de l'Unité de Support de l'AUE.....	3-86
Tableau	3-9-4-1	Évaluation de l'état de l'AUE .....	3-91
Tableau	4-1-1-1	Évapotranspiration appliquée au modèle de réservoir .....	4-3
Tableau	4-1-1-2	Résultat du calcul du débit fluvial annuel par modèle de réservoir .....	4-6
Tableau	4-1-1-3	Résultat du calcul de la probabilité (1) .....	4-7
Tableau	4-1-1-3	Résultat du calcul de la probabilité (2) .....	4-8
Tableau	4-1-1-4	Évaluation de potentiel d'utilisation de l'eau souterraine pour l'irrigation gravitaire.....	4-9
Tableau	4-1-1-5	Résultat de test de perte d'eau en profondeur .....	4-12
Tableau	4-1-1-6	Calcul selon débit fluvial et modèle de prise d'eau (1).....	4-24
Tableau	4-1-1-6	Calcul selon débit fluvial et modèle de prise d'eau (1).....	4-25
Tableau	4-1-1-7(b)	Approvisionnement en eau supplémentaire en aval /Approvisionnement en eau d'irrigation des champs.....	4-26
Tableau	4-1-1-8	Besoin en eau d'irrigation mensuel.....	4-27
Tableau	4-1-1-9	Résumé d'approvisionnement en eau supplémentaire de rizière en aval.....	4-28
Tableau	4-1-1-10(1)	Approvisionnement en eau des rizières (Jan.).....	4-29
Tableau	4-1-1-10(2)	Approvisionnement en eau des rizières (Fév.) .....	4-30
Tableau	4-1-1-10(3)	Approvisionnement en eau des rizières (Mars).....	4-31
Tableau	4-1-1-10(4)	Approvisionnement en eau des rizières (Avr.) .....	4-32
Tableau	4-1-1-10(5)	Approvisionnement en eau des rizières (Mai.).....	4-33
Tableau	4-1-1-10(6)	Approvisionnement en eau des rizières (Juin) .....	4-34
Tableau	4-1-1-10(7)	Approvisionnement en eau des rizières (Juil.) .....	4-35
Tableau	4-1-1-10(8)	Approvisionnement en eau des rizières (Août).....	4-36
Tableau	4-1-1-10(9)	Approvisionnement en eau des rizières (Sep.).....	4-37
Tableau	4-1-1-10(10)	Approvisionnement en eau des rizières (Oct.) .....	4-38
Tableau	4-1-1-10(11)	Approvisionnement en eau des rizières (Nov.) .....	4-39
Tableau	4-1-1-10(12)	Approvisionnement en eau des rizières (Déc.).....	4-40

Tableau	4-1-1-11	Superficie de culture .....	4-41
Tableau	4-1-1-12	Données météorologique.....	4-42
Tableau	4-1-1-13	Efficiencie du transport (Ec) .....	4-43
Tableau	4-1-1-14	Efficiencie de l'Application (Ea) .....	4-43
Tableau	4-1-1-15	Besoin unitaire en eau d'irrigation (par culture) .....	4-45
Tableau	4-1-1-16	Besoin unitaire en eau d'irrigation (par assolement) .....	4-46
Tableau	4-1-1-17	Besoin net en eau d'irrigation (par assolement).....	4-47
Tableau	4-1-1-18	Besoin brut en eau d'irrigation (par assolement) .....	4-48
Tableau	4-1-1-19	Besoin brut en eau d'irrigation (par assolement) .....	4-49
Tableau	4-1-1-20	Besoin brut en eau d'irrigation (par assolement) .....	4-50
Tableau	4-1-1-21	Besoin brut en eau d'irrigation (par assolement) .....	4-51
Tableau	4-1-1-22	Afflux et Approvisionnement en eau des rizières .....	4-52
Tableau	4-1-1-23	Approvisionnement en eau d'irrigation des champs (par an).....	4-53
Tableau	4-1-1-24	Bilan hydrique entre la précipitation et l'évaporation du réservoir.....	4-54
Tableau	4-1-1-25	Besoin en eau stockée dans le réservoir.....	4-55
Tableau	4-1-1-26	Étude du bilan hydrique .....	4-56
Tableau	4-1-1-27	Étude du bilan hydrique .....	4-57
Tableau	4-1-1-28	Étude du bilan hydrique .....	4-58
Tableau	4-1-1-29	Étude du bilan hydrique .....	4-59
Tableau	4-1-1-30	Volume de décharge d'étude .....	4-60
Tableau	4-1-2-1	Résultats de l'essai de perméabilité sur le terrain (Puits d'essai 1).....	4-62
Tableau	4-1-2-2	Résultats de l'essai de perméabilité sur le terrain (Puits d'essai 2).....	4-63
Tableau	4-1-2-3	Résultats de l'essai de perméabilité sur le terrain (Puits d'essai 3).....	4-64
Tableau	4-1-2-4	Comparaison économique des pompes de relevage.....	4-68
Tableau	4-1-2-5	Résultats d'introduction des pompes de relevage solaire dans les pays voisins .....	4-69
Tableau	4-1-2-6	Tableau de comparaison des tailles des installations.....	4-85
Tableau	4-1-2-7	Comparaison des méthodes d'irrigation des extrémités.....	4-88
Tableau	4-1-2-8	Comparaison des canaux principaux.....	4-88
Tableau	4-1-2-9	Comparaison des axes du barrage .....	4-90
Tableau	4-1-2-10	Résultats de l'analyse de la probabilité de dépassement des précipitations maximales journalières .....	4-92
Tableau	4-1-2-11	Résultats de la hauteur de la nappe déversante sur l'évacuateur de crues.....	4-94
Tableau	4-1-2-12	Évaluation de la perméabilité des sols de fondation .....	4-100
Tableau	4-1-2-13	Longueur/épaisseur du tapis et calcul de la quantité de fuite d'eau .....	4-102
Tableau	4-1-2-14	Emplacement de l'évacuateur de crues .....	4-106

Tableau	4-1-2-15	Types d'évacuateur de crues .....	4-107
Tableau	4-1-2-16	Ouvrage d'endiguement d'eaux souterraines.....	4-113
Tableau	4-1-2-17	Comparaison des installations de prise d'eau .....	4-114
Tableau	4-1-2-18	Coefficients de rugosité.....	4-117
Tableau	4-1-2-19	Quantité d'eau d'irrigation par ha.....	4-118
Tableau	4-1-2-20	Valeur de coefficient de vitesse d'écoulement C.....	4-123
Tableau	4-1-2-21	Calcul hydraulique approximatif.....	4-124
Tableau	4-1-2-22	Coefficient de rugosité.....	4-125
Tableau	4-1-2-23	Capacités des bassins de compensation .....	4-129
Tableau	4-1-2-24	Quantité unitaire d'eau utilisée pour différentes classes de texture de sol.....	4-132
Tableau	4-1-3-1	Volume des travaux .....	4-135
Tableau	4-1-3-2	Coût approximatif des travaux .....	4-137
Tableau	4-1-3-3	Calendrier des travaux .....	4-140
Tableau	4-2-1-1	Assolement.....	4-141
Tableau	4-2-2-1	Résultats de l'étude de profil pédologique.....	4-145
Tableau	4-2-3-1	Taux de plantation.....	4-149
Tableau	5-1-2-1	Estimation du Facteur de Conversion Standard .....	5-2
Tableau	5-1-3-1	Prix unitaire pour l'évaluation du Projet.....	5-3
Tableau	5-2-2-1	Coût du Projet .....	5-5
Tableau	5-3-1	Augmentation des rendements unitaires et volume de production anticipé.....	5-6
Tableau	5-3-2	Revenus bruts, coût de production et profits accrus.....	5-7
Tableau	5-3-3	Profit accru par suite à la mise en œuvre du Projet (lorsque le rendement unitaire de calcul est atteint).....	5-8
Tableau	5-4-1	Résultats des évaluations .....	5-9
Tableau	5-5-1	Analyse de sensibilité du TRIE.....	5-9
Tableau	5-6-1	Effets envisagés à l'avenir .....	5-10
Tableau	6-1-1-1	Dimensions du barrage chinois .....	6-1
Tableau	6-1-1-2	Mesure du débit du cours d'eau au moyen d'un débitmètre électromagnétique.....	6-3
Tableau	6-2-2-1	Calendrier d'exécution des travaux du barrage chinois .....	6-17
Tableau	6-2-2-2	Volume approximatif de matériaux de construction (réhabilitation du barrage chinois) .....	6-18
Tableau	6-2-2-3	Coût approximatif des travaux (réhabilitation du barrage chinois).....	6-19
Tableau	6-2-3-1	Plan d'étude sur le barrage chinois .....	6-20

## Abréviation

AAR	Agence d'Agriculture Rwandaise
ACDI	Agence Canadienne de Développement International
AUE	Associations d'Usagers de l'Eau
B/C	Bénéfices-coûts
BM	Banque mondiale
CIMA	<i>Chartered Institute of Management Accountant</i>
DEITEX	<i>Development of Efficient Irrigation Techniques and Extension in Syria</i> (Développement et de Vulgarisation de Techniques d'Irrigation Efficaces en Syrie)
EGECOR	Entreprise Générale de Construction et Rénovation
EL	Élévation
FCS	Facteur de Conversion Standard
GCES	Gestion conservatoire de l'eau de la biomasse et la fertilité des sols
HDPE	<i>High Density Polyethylene</i> (polyéthylène haute densité)
JWWA	<i>Japan Water Works Association</i> (Association japonaise du traitement de l'eau)
LWH	<i>Land Husbandry, Water Harvesting and Hillside Irrigation</i> (Aménagement de sol, Collecte des Eaux et Irrigation Collinaire)
MINAGRI	Ministère de l'Agriculture et des Ressources Animales
NRM	Niveau de remplissage maximal
PAN	Politique Agricole Nationale
PASR	Programme d'Appui au Secteur Rural
PIB	Produit intérieur brut
PiCROPP	<i>Project for increasing crop production in Eastern province</i> (Projet pour Accroître la Production Agricole)
PMASA	Programme Mondial pour l'Agriculture et la Sécurité alimentaire
PNB	Produit national brut
PRI	Pays à revenu intermédiaire
PSTA	Plan Stratégique pour la Transformation Agricole
RWF	Franc rwandais

SDERP	Stratégie de Développement Économique et de Réduction de la Pauvreté
TICAD	<i>Tokyo International Conference on African Development</i> (Conférence internationale de Tokyo sur le développement de l'Afrique)
TREI	Taux de Rentabilité Economique Interne
TVA	Taxe sur la valeur ajoutée
USAID	<i>United States Agency for International Development</i> (Agence des États-Unis pour le Développement International)
VAN	Valeur Actuelle Nette

### **Unité**

1 mètre (m)	=	3,28 pieds
1 kilomètre (km)	=	0,62 miles
1 hectare (ha)	=	2,47 acres
1 acre	=	0,405 ha
1 pouce ( <i>inch</i> , in.)	=	2,54 cm
1 pied ( <i>foot</i> , ft.)	=	12 pouces (30,48 cm)
1 acre pied (ac-ft)	=	1233,4 m <sup>3</sup>

### **Monnaie**

USD 1,00	=	RWF 605
USD 1,00	=	80 yens japonais
RWF 1,00	=	0,132 yen



## Chapitre 1 APERÇU DE L'ÉTUDE

### 1-1. Arrière-plan et objectif de l'étude

#### 1-1-1. Arrière-plan de l'étude

La République du Rwanda (ci-après désignée par «le Rwanda») est un pays enclavé d'Afrique centrale. D'une superficie de 26 000 km<sup>2</sup>, sa population était, en 2010, de 10,3 millions d'habitants. Le document intitulé «Politique Agricole Nationale (PAN)» publié en 2004 estime que la population devrait atteindre 15 millions d'habitants en 2020 et 20 millions d'ici 2030, et attire l'attention sur le fait qu'une telle croissance démographique pose des problèmes importants et sérieux en terme de sécurité alimentaire nationale.

Le document intitulé «Stratégie de Développement Économique et de Réduction de la Pauvreté (SDERP), 2008-12» indique que le secteur agricole représente 36,4% du PIB, juste derrière l'industrie des services qui occupe la première place (43,8%). Par ailleurs, le document intitulé «Plan Stratégique pour la Transformation Agricole (PSTA) au Rwanda, 2004» fait mention, pour sa part, que le secteur agricole, qui occupe environ 90% de la population active et représente 47% du PNB et 71% des recettes des exportations, est la principale industrie du pays.

Le document intitulé «Vision 2020 du Rwanda», le plan de développement national à long terme, met en exergue l'objectif économique du gouvernement, qui est de transformer le Rwanda en pays à revenu intermédiaire (PRI) d'ici 2020. Pour y parvenir, le gouvernement œuvre pour se démarquer du modèle actuel de l'économie d'autosuffisance dépendante de l'agriculture et réduire la part du secteur agricole dans le PIB de 48%, le niveau le plus fort atteint en 2006, à 33% d'ici 2020. Toutefois, en ce qui concerne la place de l'agriculture dans la politique économique ciblée par Vision 2020 du Rwanda, les conclusions indiquent que l'agriculture demeurera l'industrie la plus importante, puisqu'elle représentera non seulement le secteur pilier du PIB mais offrira également d'importants débouchés d'emplois loin devant les autres secteurs.

L'agriculture au Rwanda est composée de petites exploitations, d'une superficie moyenne de 0,76 ha chacune, cultivées par environ 1,4 millions de ménages agricoles, dont 66% de la production sont destinés à l'autoconsommation. Afin de développer l'économie rwandaise par le biais de la promotion de l'agriculture, il est jugé nécessaire d'effectuer une reconversion vers des cultures fortement productives et concurrentielles. Les cultures commerciales typiques et traditionnelles telles que le thé et le café sont des cibles d'investissement sur les marchés internationaux, mais, à ce titre, elles sont sensibles aux effets découlant des changements climatiques à l'échelle mondiale et sont exposées aux fluctuations des prix au niveau international. Par conséquent, une reconversion vers des récoltes lucratives et dont la rentabilité est stable est essentielle.

La productivité de l'agriculture rwandaise demeure extrêmement faible. Les causes derrière cette constatation sont attribuées notamment à 1) la superficie cultivable restreinte de 0,76 ha en moyenne par ménage agricole, 2) le fait que 80% des terres arables se trouvent dans des régions montagneuses avec des pentes entre 5 et 55 degrés, 3) l'érosion du sol/ la dégradation des sols à la saison des pluies, 4) le faible niveau d'aménagement de systèmes d'irrigation sur les terrains en pente, et 5) le bas taux de vulgarisation des techniques agricoles. Dans le but d'améliorer ces conditions et d'assurer la sécurité alimentaire nationale, il est indispensable de mettre en place des technologies d'irrigation dans les régions montagneuses.

### 1-1-2. Objectifs de l'étude

Les objectifs de cette étude sont les suivants.

#### Objectifs et étendue de l'étude

Objectifs	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Assimiler les grandes lignes du secteur de l'irrigation (les mesures politiques récentes, le cadre légal, les organisations s'y rapportant, le système d'élaboration / de mise en œuvre des projets de développement, la situation actuelle concernant l'aide des donateurs, etc.) au Rwanda.</li> <li>2) Collecter les informations de base relatives aux aménagements en matière d'irrigation sur le site de Ngoma 22, ainsi que dans d'ensemble du district de Ngoma, dans la province de l'Est, par le biais de la mise en œuvre d'études de sites, sur la base des résultats du point 1) ci-dessus.</li> <li>3) Examiner la faisabilité de l'agriculture irriguée pour le site de Ngoma 22 en tant que site pilote sur la base des résultats des points 1) et 2) ci-dessus.</li> <li>4) Examiner sur la base des résultats des points 1) et 2) ci-dessus les possibilités de coopération (secteurs, régions et grandes lignes possibles) de la JICA au programme de LWH formulé par le Rwanda.</li> </ol>
-----------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Dans le cadre de l'exécution de la présente étude, outre la confirmation de sa cohérence avec le programme de LWH, une attention particulière est accordée à la nécessité d'éviter, en ayant recours de manière adéquate aux documents existants, notamment les rapports de projet de développement agricole dans la province de l'Est, des chevauchements avec les études mises en œuvre par le passé par le gouvernement japonais et les études réalisées par la Banque Mondiale dans le secteur de l'irrigation. Par ailleurs, le site cible, Ngoma 22, fait l'objet d'une évaluation en gardant à l'esprit le fait que l'exploitation et la maintenance doivent être mis en œuvre de façon autonome par le biais d'efforts du gouvernement rwandais et des associations d'agriculteurs, et sans limitation en ce qui concerne les mécanismes de la coopération et les cultures cibles. En outre, l'examen de la faisabilité de l'agriculture irriguée, avec Ngoma 22 en tant que cible pilote, s'appuie sur une analyse coût-bénéfice.

### 1-2. Membres de la mission d'étude

Nom	Charge	Appartenance
TOKU Hitoshi	Chef de la mission/ plan d'irrigation	Sanyu Consultants Inc.
HIKI Haruo	Plan de source d'eau/études géotechniques	Sanyu Consultants Inc.
YAMAGISHI Yasunori	Plan d'exploitation agricole	Japan Association for International Collaboration of Agriculture and Forestry
ISHIKAWA Hideki	Plan d'infrastructures	Sanyu Consultants Inc.
KOZAI Ken	Analyse socio-culturelle	Sanyu Consultants Inc.



**1-4. Principales entités interviewées**

Organisme	Nom	Titre
Ministère de l'Agriculture et de l'Élevage	Dr. Jean Jacques	Président du Task Force de Mécanisation agricole et d'Irrigation (ancien président)
	M. Jean Claude	Directeur Administratif du Task Force de Mécanisation agricole et d'Irrigation
	M. Innocent NZEYIMANA	Président du Task Force de Mécanisation agricole et d'Irrigation
	M. Akihisa NAKANO	Conseiller du Ministère de l'Agriculture et de l'Élevage, Expert de la JICA
Secteur de Rurenge	M. Damien NZABARINDA	Agronome sectoriel
Secteur de Remera	M. Agoba MUDENGE	Agronome sectoriel
Personnel chargé du Project	M. Etienne ISABANE	Agronome du Projet d'Irrigation de Ntende Dan
	M. Celestine LADSON	Directeur de site du Projet de Rilima LUX
Conseil Agricole du Rwanda	M. Innocent MUSABYIMAN	Directeur Général Adjoint chargé des services d'extension
	Dr. Claver NGABOYISONGA	Directeur de cultures agricoles
Donateur	M. Mwumvaneza Valens	Spécialiste de Développement Rural, Banque Mondiale, Kigali
	Dr. Hudush Seged	Membre de l'Unité d'exécution du LWH, Banque Mondiale, Kigali
	M. Dan Folta	Membre de l'Unité d'exécution du LWH, Banque Mondiale, Kigali
	M. Gary Cramer	Senior Agricultural Advisor, USAID/Rwanda
	M. James Parsons	Chef de Bureau et Chef de la Coopération, CIDA/Rwanda
Ambassade du Japon	M. Kunio HATANAKA	Ambassadeur Extraordinaire et Plénipotentiaire du Japon
	M. Tatsuya NAKAI	Deuxième secrétaire
	Mme Shoko NAKATOMI	Coordonnateur de coopération économique
Bureau de la JICA au Rwanda	M. Hiroyuki KOBAYASHI	Représentant résident
	M. Tatsuki NODA	Chargé de programmes

## CHAPITRE 2 CONTEXTE DES PROJETS DE DÉVELOPPEMENT AGRICOLE AU RWANDA

### 2-1. MINAGRI (Ministère de l'Agriculture et des Ressources Animales)

#### 2-1-1. Trois grands programmes pour promouvoir l'agriculture irriguée

Le Plan Stratégique de Transformation Agricole du Rwanda de 2004, présentait trois grands programmes visant à promouvoir l'agriculture irriguée ; le premier étant le développement des marais (1) mentionné au chapitre 7-1-3, le deuxième consistant à développer la petite irrigation à partir d'un réservoir construit en terrain montagneux (2) et le troisième reposant sur le développement de l'irrigation alimentée par pompage de rivières, lacs et nappes phréatiques (3), mentionné au chapitre 7-1-4. Les projets du Programme d'Appui au Secteur Rural (PASR) sont mis en œuvre dans le cadre de (1) et le programme d'Aménagement de sols, de Collecte des Eaux et d'Irrigation Collinaire (LWH) en rapport avec (2), et enfin, le Projets d'Irrigation par Pompage à Grande Échelle est en cours dans le cadre de (3). Tous ont déjà été initiés et la réforme agricole par l'agriculture irriguée est en cours grâce à la mise en œuvre de ces trois programmes de base.

#### 2-1-2. Programme d'Appui au Secteur Rural (PASR)

Parmi les projets/programmes susmentionnés, le Programme d'Appui au Secteur Rural (PASR) a démarré depuis 2001, dans le cadre duquel environ sept réservoirs ont déjà été construits ; dans son extension globale, le périmètre concerné par ce programme serait de 3 100 ha. La troisième étape de ce programme, qui s'échelonne de 2012 à 2017, est actuellement en cours.

#### 2-1-3. Programme d'Aménagement de sols, de Collecte des Eaux et d'Irrigation Collinaire (LWH)

Le programme d'Aménagement de sols, de Collecte des Eaux et d'Irrigation Collinaire (LWH) est en œuvre depuis 2008 mais les chantiers menés relèvent en réalité uniquement du domaine d'Aménagement de sols, et la mise en place des chantiers qui concerne la Collecte des Eaux et l'Irrigation Collinaire n'a pas encore commencé (par ailleurs, le dépouillement des offres pour les travaux du district de Nyanza-23, le premier projet d'irrigation par le barrage, est prévu pour le mois d'août 2012). Le détail de la situation dans ces deux derniers domaines basé sur les informations fournies par le MINAGRI est exposé dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 2-1-3-1 Programme LWH**

Enquête/Stade de conception	Nombre de projets
Enquête préliminaire	Environ 10 projets
Etude de faisabilité	Environ 4 projets
Conception de base	
Conception détaillée	1 projet (Projet Nyanza-23)

Le budget alloué au programme LWH est financé par le fonds commun des organismes d'aide internationaux et par le gouvernement rwandais, dont le détail est présenté ci-après.

**Tableau 2-1-3-2 Fonds de cofinancement du programme LWH**

<b>Organisme de soutien</b>	<b>Montant des fonds</b>
Banque mondiale	34,0 millions USD
Agence des Etats-Unis pour le Développement International	5,1 millions USD
Agence Canadienne de Développement International	7,8 millions USD
Programme Mondial pour l'Agriculture et la Sécurité alimentaire	50,0 millions USD
Gouvernement du Rwanda	19,5 millions USD
Total (Changements dus aux fluctuations des taux de change)	109,4 millions USD

Le coût des projets d'Irrigation Collinaire étant trois à quatre fois plus élevé que celui des autres projets du Programme d'Appui au Secteur Rural (PASR) – lesquels représentent entre 6 000 et 7 000 USD/ha –, le Ministère de l'Agriculture et des Ressources Animales (MINAGRI) a exprimé l'avis suivant : Eu égard aux conditions géographiques des régions, où sont mises en œuvre les projets d'irrigation collinaire, l'accroissement des coûts de construction paraît inévitable. Dans le cas où les projets d'irrigation collinaire pèseraient trop lourd dans l'équilibre budgétaire, il serait possible de mettre en œuvre seulement l'Aménagement de sols. Toutefois, avec plus de 60% de la superficie du Rwanda constitués de montagnes, où vivent 10 millions d'habitants, la faiblesse du rapport coût-bénéfice ne signifie pas, foncièrement, l'abandon des projets LWH concernés.

#### **2-1-4. Projet d'Irrigation par Pompage à Grande Échelle**

Ce projet relève du budget propre du gouvernement du Rwanda. Deux plans (1 000 ha. au total) sont en cours de mise en œuvre ; en incluant les superficies se situant au stade de la planification, celles en cours de préparation et celles en cours de réalisation, etc. l'ensemble représente 7 700 ha. Ces projets reposent sur l'arrosage par aspersion pour irriguer les champs secs.

#### **2-1-5. Mouvement global**

Des indices montrent qu'une transformation majeure est en train de se produire dans l'agriculture rwandaise. Des aménagements de rizières inondées dans le cadre de projets du Programme d'Appui au Secteur Rural (PASR) ont été initiés dans un contexte accéléré jusque-là inédit. Les projets d'irrigation par pompage à grande échelle mis en œuvre dans le cadre du budget propre du gouvernement seront désormais accélérés. Le MINAGRI a déjà mis sur pied des Unités de Soutien consistant en des Associations d'Usagers de l'Eau (AUE), qui ont pour mission de faire fonctionner et d'entretenir les structures d'exploitation de l'eau mises en place par les projets susmentionnés.

S'agissant du programme LWH, seuls les chantiers d'Aménagement de sols ont fait l'objet d'une mise en œuvre jusqu'à présent. Malgré la rareté des avancées dans le domaine de l'irrigation collinaire, la situation a connu une amélioration vers mois d'août 2011 grâce au concours des trois ingénieurs spécialisés affectés par la Banque Mondiale auprès du MINAGRI en tant qu'unité d'exécution de projet ; le projet Nyanza-23 annoncera en juin 2012 la passation de marché du projet. D'après Dr. Hadush, qui est l'un des membres de l'unité d'exécution, la Banque Mondiale prévoit ceux qui suivent :

- Watershed-34, 35, Kayonza-4 : L'étude de faisabilité et la conception détaillée seront menées en même temps (juin – décembre 2012), le démarrage des travaux est prévu pour printemps 2012.
- Phase-2 : L'étude de faisabilité et la conception détaillée démarreront en septembre 2013 pour

2 400 ha des 10 000 ha des 37 sites identifiés par l'équipe de l'unité d'exécution de la Banque Mondiale.

- Phase-3 : Pour le reste, soit pour 74 000 ha, les travaux démarreront successivement en juin 2014.

## 2-2. Conseil Agricole du Rwanda

Le Conseil Agricole du Rwanda est l'organisme qui fournit aux agriculteurs rwandais un soutien technique pour l'ensemble des problèmes ayant trait à l'agriculture. Elle remplit les rôles suivants :

- Rôle d'organisation dans le secteur Recherche  
Amélioration des espèces végétales stratégiques tels que le riz, la banane etc.
- Rôle dans la conception de plan de développement de l'agriculture  
Recherche et orientation des développements agricoles, notamment par des recommandations dans le choix des cultures
- Rôle en tant que division de vulgarisation agricole  
Activités de promotion des cultures recommandables par le personnel agronome encadrant les agronomes du district/secteur ; la distribution gratuite de semences de riz de qualité est l'une de ces activités.
- Aide à la modernisation des activités et des communautés agricoles  
Recherche et orientation dans la préservation des sols, le développement des zones de marais, l'irrigation et la gestion de l'eau, la transformation des produits agricoles et le développement des infrastructures en zone rurale.
- Recherche et orientation autour de l'élevage  
Vulgarisation de l'élevage et conseils concernant les épizooties sur la base des travaux d'instituts de recherche.
- Rôle administratif d'un organe qui met en application la politique agricole du gouvernement.  
Le gouvernement pratique une politique d'intervention sur les marchés consistant, pour certains produits comme le maïs, à acheter les excédents en période de surproduction et à approvisionner le marché en cas de pénurie de façon à stabiliser les prix. En tant que division administrative du MINAGRI, le Conseil Agricole du Rwanda assume ce rôle en effectuant ce genre d'action.

### \* Riz pluvial

En réponse à nos interrogations, sur le caractère adapté du riz pluvial aux conditions climatiques du Rwanda, le Conseil Agricole du Rwanda a répondu que l'examen en culture avait été réalisé par la Chine. A la suite d'enquêtes ultérieures, les résultats se sont révélés évidents et nous en avons tiré comme conclusion que la riziculture pluviale n'était pas adaptée aux conditions climatiques du Rwanda.

- La riziculture pluviale requiert des températures plus élevées que la culture du paddy. Le riz pluvial ne parvient pas à maturation notamment lorsque la température nocturne accuse une baisse.
- L'écart temporel entre jour court et jour long, qui joue un rôle important dans le

développement accéléré du riz pluvial, se présente rarement au Rwanda, pays équatorial, de sorte qu'il faut environ 150 jours pour que le riz pluvial atteigne maturation, annulant ainsi le bénéfice de ce dernier dont la caractéristique est de ne nécessiter qu'une courte période pour mûrir.

## **2-3. Situation des interventions dans le développement de l'irrigation par les donateurs**

### **2-3-1. Banque Mondiale (BM)**

La Banque Mondiale fournit actuellement son soutien aux deux programmes de développement de l'irrigation désignés comme PASR et Projet LWH. De sa propre initiative, la Banque Mondiale soutient le PASR depuis 2001, lequel est actuellement en cours de Phase 3 depuis 2012. S'agissant du Projet LWH, la Banque Mondiale organise le système de fonds commun et joue le rôle de coordinateur. Il dispose d'un budget de 107 millions USD pour la période allant de 2010 à 2015. La Banque Mondiale a également mis en place des systèmes de soutien technique, dont l'un consiste à affecter trois ingénieurs experts auprès du MINAGRI, en tant qu'Unité d'Exécution de Projet et l'autre est le système de contrôle de sécurité de ceux des hauts barrages conçus dans le cadre du programme LWH, où le barrage conçu fait l'objet, par un groupe d'experts internationaux, d'un examen de conformité aux normes de sécurité, établies par la Banque Mondiale, en matière de grands barrages.

La Banque Mondiale émet l'avis selon lequel le projet d'irrigation collinaire présente certes un surcoût de réalisation par rapport à un PASR mais que ce différentiel de coût est inévitable compte tenu des conditions topographiques et de l'étendue de la zone d'opération, rendant non-pertinente toute comparaison entre les coûts de réalisation de ces deux types de projet. Enfin, concernant la faible rentabilité de l'irrigation collinaire, la Banque Mondiale a pour politique de considérer l'efficacité économique dans sa globalité, en incluant l'efficacité économique de l'exploitation des terres et en améliorant le faible ratio coûts-bénéfices par la plantation de cultures à forte rentabilité.

### **2-3-2. Agence des États-Unis pour le Développement International (USAID)**

L'Agence des États-Unis pour le Développement International n'apporte son soutien qu'à travers sa participation en tant que membre du groupe des bailleurs du fonds commun dans le domaine agricole. L'USAID a pour principe d'apporter son soutien en envoyant un gestionnaire spécialisé dans chaque domaine pour bâtir un projet et le financer sans traiter des aspects techniques. Un personnel de cinq individus existe qui peuvent être gestionnaire en charge d'un projet en matière de construction de route, d'alimentation par le secteur privé, de systèmes d'approvisionnement en eau et d'assainissement, d'agriculture.

L'USAID estime qu'il faut évaluer le coût élevé de réalisation du programme LWH de manière globale en tenant compte des bénéfices représentés par les gains de productivité obtenus après l'achèvement du projet et en considérant également les apports dans le domaine social.

### **2-3-3. Agence Canadienne de Développement International**

L'Agence Canadienne de Développement International (ACDI) apporte son soutien dans le seul domaine de l'agriculture et contribue doublement en tant que membre du groupe des bailleurs du fonds commun pour le programme LWH et membre du Programme Mondial pour l'Agriculture et la Sécurité alimentaire (PMASA). L'ACDI a son propre protocole de soutien aux ONG engagées dans le



développement agricole.

L'ACDI estime que le coût élevé de réalisation des projets d'irrigation collinaire pourrait devenir prohibitif en cas d'augmentation trop forte ; foncièrement, néanmoins, il n'est guère d'autre choix possible qu'accepter, dans une certaine mesure, ces coûts élevés de construction.

#### **2-3-4. Vues communes parmi les donateurs**

Les points suivant énumèrent les vues partagées communément par les donateurs.

- Il faut accepter des coûts plus ou moins élevés du programme LWH.
- Le programme LWH doit être considéré comme un ensemble comprenant l'aménagement de sols et l'irrigation collinaire ; d'où une efficacité économique doit être évaluée de manière globale, en tenant compte des bénéfices produits par l'aménagement de sols.

#### **2-4. Reconnaissance de sites des projets existant**

##### **2-4-1. Barrages de Ntende et Kiliba**

###### (1) Généralités

- Date de reconnaissance : 22 mars 2012

- Participants : MM. Suzuki (Directeur technique), Nakano (Expert), Noda (Agent de JICA), Hiki, Pascal, Jules et Fred.

###### (2) Le barrage et ses dépendances

###### (a) Spécifications, etc.

Achevé en décembre 2012 (PASR)

Barrage de Ntende : hauteur du barrage : 6 mètres. Longueur en crête : 145 mètres. Capacité totale du réservoir : 700 000 m<sup>3</sup>. Superficie du réservoir 64 ha.

Barrage de Kiliba : hauteur du barrage : 8 mètres. Longueur en crête : 95 mètres. Capacité totale du réservoir : 400 000 m<sup>3</sup>. Superficie du réservoir 12 ha (conception : branche canadienne du *Chartered Institute of Management Accountant* (CIMA). Construction : Entreprise Générale de Construction et Rénovation (EGECOR) filiale rwandaise.

Aire d'opération : 575 ha. Superficie standard d'exploitation agricole par agriculteur : 20 a

Longueur de canaux ; principaux : 92,7 km, secondaire : 35,2 km , tertiaire : 51,2 km. Drainage : 20 km.

Coût de construction à l'ha. : 6 000 USD/ha. (Coût total de construction : environ 3,4 millions USD)

(b) État des infrastructures : Barrage de Ntende



Enrochement sur la pente amont



Entrée du déversoir (nappe déversante en avril et en novembre)



Barrage ( Crête du barrage - Côté rive gauche)



Barrage ( Crête du barrage - Côté rive droite )



Prise d'eau (portion d'entrée)  
(Rejet lorsque le niveau d'eau approche la limite d'un mètre sous ligne de crête)



Prise d'eau (portion de sortie)



Confluence du déversoir et le canal principal



Lac de retenue et zone d'alimentation



Canal principal traversant la zone bénéficiaire en aval



Enrochement sur la pente amont



Enherbement préventif sur la pente aval



## (c) État des installations • Barrage de Kiliba

## Conditions de fonctionnement des installations

- Zone d'opération : 575 ha. ( Superficie agricole exploitée : 509 ha. Superficie exploitée avant réalisation du barrage : 20 ha. )
- Organisme en charge des opérations : coopérative COPRINTENDE (Association d'Usagers de l'Eau. Nombre de foyers participant : 3 015)
- Gestion de l'eau d'irrigation : l'aire COPRINTENDE est composée de 10 zones. L'Association des Usagers de l'Eau (AUE) est constituée d'une commission de douze membres. 10 d'entre eux sont affectés chacun à une des 10 zones et les deux restant ont la charge de faire fonctionner les vannes des barrages de Ntende et Kiliba. Les lâchers d'eau pour l'irrigation sont effectués depuis tôt dans la matinée jusqu'à midi. Cette action est exécutée sur les ordres de l'agronome qui reçoit les demandes de lâcher d'eau émanant du membre de la commission en charge de la zone concernée.



Prise d'eau (portion de sortie)

Ouvrage de distribution  
(à droite : canal principal)

Bouche du déversoir



Partie de chute du déversoir

- Surface de rizière par foyer : 20 a ( tout foyer qui détenait plus d'un hectare de champ, en possède maintenant 40 ares).
- Rôle du PASR : suivi, analyse économique pour déterminer les tarifs de l'eau, conseil dans la gestion agricole.
- Semences : achat effectué auprès de le Conseil Agricole du Rwanda

- Rentabilité : 4,5 tonnes/ha. ( riz sec avant émondage )
- Prix du riz : Riz long grain : 242 RWF/kg. Riz à grain court : 226 RWF/kg. (prix de l'année en cours)
- Cotisations syndicales : 21 RWF par kilo de riz.
- Engrais : (engrais ternaire de type NPK) 40 kg/20 a × 320 RWF/kg. , Urée : 20 kg./20 ares× 340 RWF/kg.
- Produits agrochimiques : pesticides : 150 cm<sup>3</sup>/20 a×8 RWF/cm<sup>3</sup>.  
Fongicide contre les maladies cryptogamiques : 1 kg/ha.×13 000 RWF/kg.
- Prix de l'eau : 750 RWF/foyer/saison jusqu'à l'année dernière.  
200 RWF pour 1 are desservi par le Programme d'Appui au Secteur Rural (PASR) cette année (chiffre non confirmé par les agriculteurs).
- Cultures de l'année : les cultures du premier trimestre (de Février à Juin) n'ont pu être réalisées en raison des travaux de mise en valeur des terres agricoles et des opérations d'entretien du barrage de Kiliba, de sorte que la mise en culture a été réalisée à la mi-novembre avec une récolte prévue pour mai. Cette période de culture est en avance de trois mois sur le calendrier agricole du MINAGRI. Il s'agit d'un premier défi à relever prenant en compte les recommandations du Programme d'Appui au Secteur Rural (PASR) qui rappelaient que Gatsibo est le district du Rwanda dont le climat est le plus chaud permettant ainsi d'éviter le problème des basses température durant la saison des pluies.

#### **2-4-2. Projet d'irrigation par pompage de Rilima**

##### (1) Généralités

Date d'enquête : 21 mars 2012

Participants : MM. Suzuki (Directeur technique de JICA), Nakano (Expert), Noda (Agent de JICA), Hiki, Pascal, Jules et Fred.

Mise en œuvre du projet : LUX (dans le cadre du projet d'appui du Luxembourg en 2008)

Zone irriguée : 25 ha.

## Structures d'irrigation



Installations de pompage



Réservoir placé sur le bord supérieur



Embouchure de sortie alimentant le canal



Bouche d'entrée vers le champ



Terres agricoles en pente douce et lac servant de source d'approvisionnement en eau

## (2) Résultats des entretiens

**Tableau 2-4-2-1 Résultats des entretiens**

Sujet		Réponse	Remarques
Eau d'irrigation	Volume consommé	7 000 m <sup>3</sup> /ha.	Les exploitants doivent prélever 15% de leurs profits pour s'acquitter des frais de pompage.
	Coûts	45 FRW/m <sup>3</sup>	
Méthode d'irrigation	Méthode de prise d'eau	Pompage	Opération de pompage : 10 à 12 heures par jour , 25 jours par mois
	Arrosage	Irrigation gravitaire	L'eau pour l'irrigation n'est pas n'est pas acheminée avec succès jusqu'à l'ensemble des terres agricoles en raison de l'écartement trop large de la bouche d'entrée et de la trop grande perméabilité des sols.
Cultures	Principales	Tomates	Les tomates sont vendues dans le cadre d'un contrat à l'ancienne compagnie productrice de tomates SORWATOM.
	Sous-cultures	Maïs, Haricots	Le maïs est vendu à le Conseil Agricole du Rwanda qui l'acquiert à un prix relativement élevé. Les haricots font l'objet d'une consommation en usage captif.
Problèmes		Changement climatique	Le respect du calendrier prévisionnel agricole est hypothéqué par les conditions climatiques instables.
		Baisse du niveau des eaux lacustres	Le niveau d'eau du lac tend à baisser et la pompe pourrait ne plus fonctionner à l'avenir.
		Corruption foncière	Les terres agricoles sont intégrées à la liste des sites candidats pour la construction d'un hôtel en lien avec la construction de l'aéroport menaçant ainsi le projet de ruine.
		Maladie des tomates	Les tomates ont subi une maladie qui est censée être transmise par des virus affectant le manioc et les récoltes ont été lourdement endommagées. A l'heure actuelle, les causes de la maladie n'ont pas encore été clairement précisées de sorte qu'aucune contre-mesure ne peut être déployée.
		Mauvaise conception des installations	La capacité de stockage du réservoir est insuffisante, laissant ainsi s'échapper l'eau qui y est envoyée.
Conditions de l'exploitation agricole	Rendement	20 tonnes	
	Revenus	100 dollars/mois/ha.	

### 2-4-3. Fermes horticoles modèles du Projet pour Accroître la Production Agricole (PiCROPP)

#### (1) Résumé des résultats du sondage

- L'irrigation manuelle est la méthode d'arrosage en vigueur pour l'horticulture.
- Dans de nombreux cas, l'eau d'irrigation est obtenue par pompage des marais bien qu'il puisse parfois s'agir d'eau achetée.
- Le volume d'eau d'irrigation accuse d'importantes variations d'une exploitation à l'autre et même au sein d'une même exploitation d'un type de culture à l'autre. Dans le cas des tomates, ce volume varie de 0,1 mm/m<sup>2</sup>/jour à 2 mm/m<sup>2</sup>/jour. Si l'eau utilisée est achetée, la quantité en usage devient extrêmement faible pouvant atteindre les 0,03 mm/m<sup>2</sup>/jour.
- La quantité d'eau pour irriguer les choux présente des variations d'une ferme à l'autre allant de 2,0 mm/m<sup>2</sup>/jour à 5,0 mm/m<sup>2</sup>/jour. L'aubergine, le poivron vert et la carotte nécessitent des volumes d'eau d'arrosage un peu plus importants que ceux des autres cultures – environ 5,0 mm/m<sup>2</sup>/jour.
- Les travaux agricoles d'irrigation sont effectués tous les jours, le matin ou le soir.
- Les rendements varient sensiblement d'une exploitation à l'autre. Il est difficile de saisir la corrélation entre le rendement et la quantité d'eau d'irrigation utilisée, ce qui peut s'expliquer par l'absence de données fiables.



**Table 2-4-3-1 Tableau récapitulatif des résultats d'enquête menée dans les fermes horticoles modèles**

Culture	Superficie cultivée	Provenance de l'eau d'irrigation	Méthode d'irrigation	Moment choisi pour l'arrosage	Rendement	Volume d'eau d'irrigation
Tomate Atakundamahoro	2,8 ha.	Eau achetée	Arrosage manuel	Soir	8 kg/a.	600 l./ha./2 jours (0,03 mm/m <sup>2</sup> /jour)
Tomate Exploitant n° 1	0,12 ha.	Marais	Pompage Arrosage manuel	Matin Soir	80 kg/a.	10 000 l./ha./jour (1 mm/m <sup>2</sup> /jour)
Tomate Exploitant n° 2	0,15 ha.	Marais	Pompage Arrosage manuel	Matin Soir	167 kg/a.	16 000 l./ha./jour (1,6 mm/m <sup>2</sup> /jour)
Tomate Exploitant n° 3	0,15 ha.	Marais	Pompage Arrosage manuel	Soir	200 kg/a.	16 000 l./ha./jour (1,6 mm/m <sup>2</sup> /jour)
Tomate Exploitant n° 4	1,0 ha.	Marais	Pompage Arrosage manuel	Matin	180 g/a.	6 000 l./ha./jour (0,6 mm/m <sup>2</sup> /jour)
Tomate Exploitant n° 5	0,08 ha.	Marais	Pompage Arrosage manuel	Soir	31 kg/a.	1 000 l./ha./jour (0,1 mm/m <sup>2</sup> /jour)
Tomate Exploitant n° 6	0,5 ha.	Marais	Pompage Arrosage manuel	Soir	20 kg/a.	2 000 l./ha./jour (0,2 mm/m <sup>2</sup> /jour)
Tomate Exploitant n° 7	0,24 ha.	Marais	Pompage Arrosage manuel	Soir	7 kg/a.	8 333 l./ha./jour (0,8 mm/m <sup>2</sup> /jour)
Tomate Exploitant n° 8	0,04 ha.	Eau achetée	Arrosage manuel	Soir	75 kg/a.	11 000 l./ha./jour (1,1 mm/m <sup>2</sup> /jour)
Tomate Exploitant n° 9	0,0625 ha.	Eau achetée	Arrosage manuel	Soir	37.6 kg/a.	24 000 l./ha./jour (2,4 mm/m <sup>2</sup> /jour)
Aubergine Exploitant n° 1	0,0018 ha.	Marais	Pompage Arrosage manuel	Soir	—	22 222 l./ha./jour (2,2 mm/m <sup>2</sup> /jour)
Aubergine Exploitant n° 7	0,06 ha.	Marais	Pompage Arrosage manuel	Soir	77.5 kg/a.	53 333 l./ha./jour (5,3 mm/m <sup>2</sup> /jour)
Oignon Exploitant n° 2	0,02 ha.	Marais	Pompage Arrosage manuel	Soir	—	18 000 l./ha./jour (1,8 mm/m <sup>2</sup> /jour)
Oignon Exploitant n° 3	0,06 ha.	Marais	Pompage Arrosage manuel	Soir	—	20 000 l./ha./jour (2,0 mm/m <sup>2</sup> /jour)
Oignon Exploitant n° 7	0,19 ha.	Marais	Pompage Arrosage manuel	Soir	5.7 kg/a.	13 158 l./ha./jour (1,3 mm/m <sup>2</sup> /jour)
Pastèque Exploitant n° 2	0,07 ha.	Marais	Pompage Arrosage manuel	Soir	—	13 700 l./ha./jour (1,4 mm/m <sup>2</sup> /jour)
Pastèque Exploitant n° 4	1.5 ha.	Marais	Pompage Arrosage manuel	Soir	17 unités/a.	6 000 l./ha./jour (0,6 mm/m <sup>2</sup> /jour)
Pastèque Exploitant n° 6	0,175 ha.	Marais	Pompage Arrosage manuel	Soir	28 unités/a.	4 000 l./ha./jour (0,4 mm/m <sup>2</sup> /jour)
Choux Exploitant n° 3	0,04 ha.	Marais	Pompage Arrosage manuel	Soir	—	24 000 l./ha./jour (2,4 mm/m <sup>2</sup> /jour)
Choux Exploitant n° 7	0,97 ha.	Marais	Pompage Arrosage manuel	Soir	45 kg/a.	2 062 l./ha./jour (0,2 mm/m <sup>2</sup> /jour)
Choux Exploitant n° 8	0,05 ha.	Canal	Arrosage manuel	Soir	70 kg/a.	24 000 l./ha./jour (2,4 mm/m <sup>2</sup> /jour)
Choux Exploitant n° 9	0,03 ha.	Marais	Arrosage manuel	Soir	70 kg/a.	50 000 l./ha./jour (5,0 mm/m <sup>2</sup> /jour)
Choux Exploitant n° 10	0,0035 ha.	Marais	Arrosage manuel	Soir	—	57 143 l./ha./jour (5,7 mm/m <sup>2</sup> /jour)
Poivron vert Exploitant n° 5	0,02 ha.	Marais	Pompage Arrosage manuel	Soir	—	50 000 l./ha./jour (5,0 mm/m <sup>2</sup> /jour)
Carotte Exploitant n° 7	0,015 ha.	Marais	Pompage Arrosage manuel	Soir	80 kg/a.	66 666 l./ha./jour (6,7 mm/m <sup>2</sup> /jour)

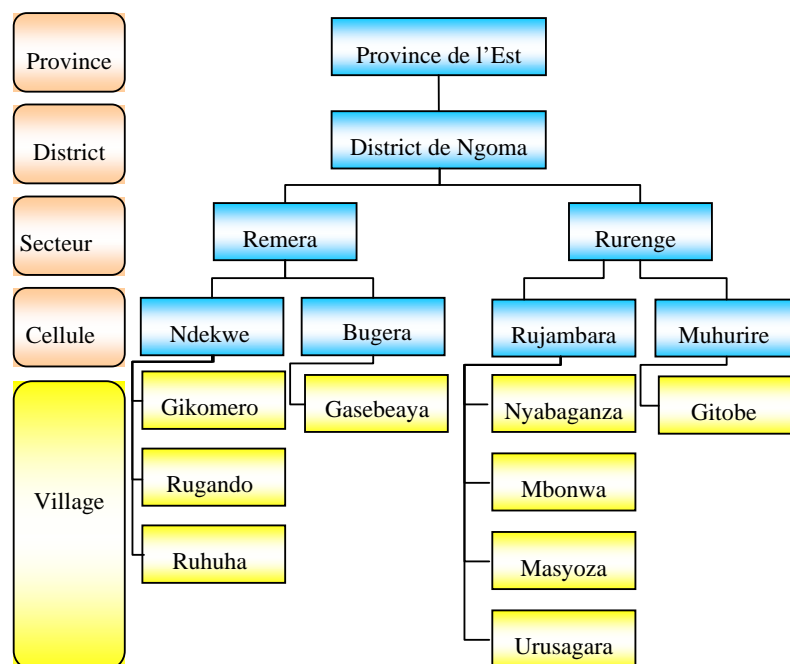
## CHAPITRE 3. SITUATION GÉNÉRALE DU SECTEUR D'IRRIGATION - NGOMA 22

### 3-1. Situation sociale

La Division administrative régionale se constitue de la ville de Kigali et des 4 provinces (la Province de l'Est, la Province du Nord, la Province du Sud et la Province de l'Ouest). Les Provinces ne disposant pas de fonctions administratives, ce sont des Districts, organes administratifs subalternes à la Province, qui prennent l'initiative de promouvoir la décentralisation. Les Districts sont constitués à leur tour des Secteurs et des Cellules.

#### 3-1-1. Division administrative

La région faisant l'objet du Projet se situe dans le District de Ngoma de la Province de l'Ouest, dont le fond de la vallée marque la limite administrative des Secteurs de Remera et de Rurenge. Les Cellules de Ndekwe et de Bugera dans la région du Projet appartiennent au Secteur de Remera, ainsi que les Cellules de Rujambara et de Muhurire se situant également dans la région du Projet appartiennent au District de Rurenge. Chaque Cellule est composée de 09 «Imidugdus» (ci-après désignés «Villages») au total. Du fait que tous ces Villages sont situés sur un plateau à plus de 1 400 m d'altitude, en dehors de la vallée située à proximité immédiate du barrage du Projet, aucune habitation de ces Villages ne risquera l'immersion sous l'eau d'irrigation du barrage du Projet. La constitution des organisations gouvernementales concernées par la région du Projet est indiquée ci-dessous (**Fig. 3-1-1-1**).



**Fig. 3-1-1-1 Organisations gouvernementales concernées par la région du Projet**

### 3-1-2. Système administratif local

La collectivité minimale de l'administration locale du Rwanda est la Cellule. Chaque Cellule dispose d'un Conseil de Cellules composé de représentants élus des villages et d'un Comité de Cellules.

### 3-1-3. Population

09 villages au total dont 03 (Gikomero, Rugando et Ruhuha) dans la Cellule de Ndekwe, 01 (Gasebeaya) dans la Cellule de Bugera, 04 (Nyabaganza, Mbonwa, Masyoza et Ursagara) dans la Cellule de Rujambara et 01 (Gitobe) dans la Cellule de Muhurire, sont situés dans la région du Projet. La population et le nombre de ménages de chaque village sont indiqués dans Tableau 3-1-3-1. En ce qui concerne le nombre moyen de personnes par ménages; pour 04 villages, ce nombre est supérieur à 04, pour 02 villages, il se situe entre 03 et 04, et pour 03 villages, il est inférieur à 03.

Selon le résultat de l'étude de référence effectuée dans le cadre du «Projet d'Amélioration de la Productivité Agricole dans la Province de l'Est» (mars 2011) (ci-après désigné par «l'Étude de référence de la Province de l'Est»), le nombre moyen des personnes par ménage dans la région du Projet du District de Ngoma se situe entre 5,50 et 5,95. Par rapport à ce chiffre, celui des 09 villages cités ci-dessus est inférieur de 0,9 à 2,3 par ménage. De même, par rapport au nombre moyen au niveau national du Rwanda étant 4,3 (en 2008), la moyenne de 07 Villages parmi les 09 dans la région du Projet est également au-dessous de la moyenne nationale.

**Tableau 3-1-3-1 Composition familiale dans chaque Cellule**

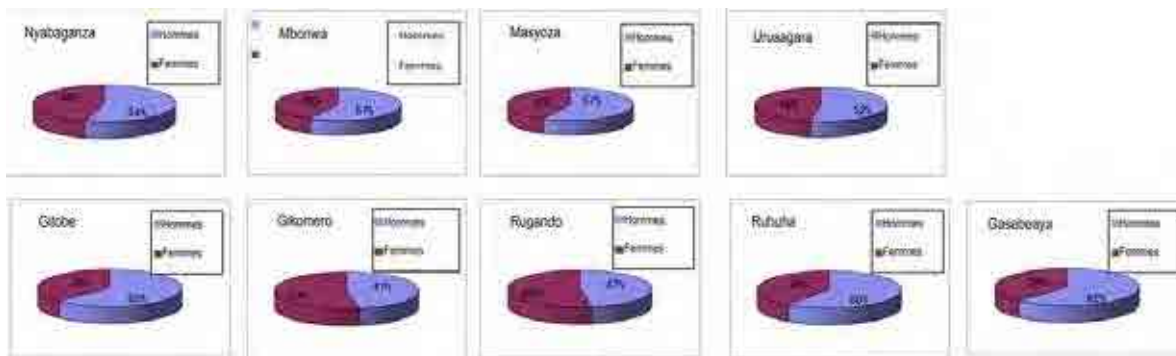
Ndekwe						Rujambara					
Village	Hommes	Femmes	Total	Ménages	par ménage	Village	Hommes	Femmes	Total	Ménages	par ménage
Gikomero	298	335	633	168	3,8	Nyabaganza	257	215	472	123	3,8
Rugando	551	613	1164	294	4	Mbonwa	319	236	555	201	2,8
Ruhuha	562	382	944	208	4,5	Masyoza	487	368	855	206	4,2
Bugera						Urusagara	224	203	427	267	2,6
Village	Hommes	Femmes	Total	Ménages	par ménage	Muhurire					
Gasebeaya	344	215	559	214	2,6	Village	Hommes	Femmes	Total	Ménages	par ménage
						Gitobe	354	215	569	123	4,6

(Source : Résultats d'interview aux Bureaux de Secteur de Remera et de Rurenge)

### 3-1-4. Composition par sexe

La composition par sexe dans chaque village est indiquée ci-dessous (Fig. 3-1-4-1). La population féminine est dominante dans 02 villages (Gikomero et Rugando). Dans d'autres villages, la population masculine est dominante. Par suite de l'événement "génocide" qui a eu lieu il y a 18 ans, le taux distordu de composition par sexe de la population persiste jusqu'à aujourd'hui. La jeune génération est par conséquent plus en plus présente dans la composition par âges de la population d'une part et l'exode rural de la population féminine s'accroît d'autre part, ces deux phénomènes donnent 02 raisons possibles

qui pourraient justifier le taux élevé de la population masculine dans cette région, mais les détails des réalités restent inconnus. La réponse claire de la part du Bureau de chaque Secteur à ce phénomène n'a pas été donnée.



**Fig. 3-1-4-1 Composition par sexe dans les Villages**

### 3-2. Base de la vie sociale

#### 3-2-1. Éducation

04 écoles primaires (Nyabaganza., Ursagara, Gitobe et Gikomero) sont fondées et fonctionnent dans les 09 villages de la région du Projet. En outre de ces établissements, chacune des Cellules de Ndekwe et de Bugera est dotée d'un collège, mais aucun collège n'a été fondé dans les deux autres Cellules (Rujambara et Muhurire). Après la fin d'études à l'école primaire, les enfants de la Cellule de Rujambara vont au collège de la Cellule de Rugese, située à environ 20 km de leurs maisons, et dans le cas de la Cellule de Muhurire, ils vont à celui de la Cellule de Kabuya, éloigné de 10 km de leurs maisons.

**Estimation de nombres d'enfants par sexe et de taux de scolarisation des 03 écoles primaires:** le taux de scolarisation a été calculé d'abord par l'estimation de nombre des enfants d'âges scolaires à partir de la population totale du Village, ensuite par le nombre réel des enfants scolarisés dans les écoles primaires. Les enfants d'âge scolaire de l'école primaire au Rwanda appartiennent à l'âge de 06 à 13 ans. Selon les statistiques démographiques au niveau national, le taux de population des scolaires (taux de population de 06 à 13 ans) étant supposé à 14 % au Rwanda, la population scolaire a été estimée à partir de la population totale des hommes et femmes de chaque Village (la population totale  $\times$  le taux de la population correspondant à l'âge scolaire).

Le taux de scolarisation pour l'école primaire des Villages de Muhurire et de Gitobe n'a pas pu être calculé en raison de lacune des données statistiques sur la population d'enfants dans des hameaux voisins sauf ceux du Village de Gitobe, ce qui a rendu impossible l'évaluation de la population correspondant à l'âge scolaire.

**Tableau 3-2-1-1 Nombre d'enfants dans l'école primaire et taux de scolarisation**

Ndekwe		Gikomero	Rugando	Ruhuha	Total	Scolaires	Scolarisation
École primaire	Garçons	64	-	-	64	206	31 %
	Filles	56	-	-	56	194	29 %
	Total	120	-	-	120	400	30 %

Rujambara		Nyabaganza	Mbonwa	Masyoza	Urusagara	Total	Scolaires	Scolarisation
École primaire	Garçons	79	-	-	68	147	198	78 %
	Filles	59	-	-	59	118	149	79 %
	Total	138	-	-	127	265	337	79 %

Muhurire		Gitobe	Total	Scolaires	Scolarisation
École primaire	Garçons	119	119	-	-
	Filles	85	85	-	-
	Total	204	204	-	-

Note: Population scolaire: le taux de 14% de la population totale a été supposé comme nombre d'enfants à l'âge scolaire. Se référer à l'annuaire statistique

Source : établie par la mission d'étude de JICA

Les données statistiques nationales donnent un taux de 95 % pour la scolarisation tant chez les garçons que chez les filles en ce qui concerne l'école primaire au Rwanda, ce ci indique que le taux de scolarisation dans la région du Projet reste nettement inférieur à la moyenne nationale. En outre, selon les résultats d'interview effectué dans le Village de Nyabaganza, les établissements d'enseignement locaux rencontrent beaucoup de contraintes des moyens matériels tels que salles de classe, tables, pupitres, chaises, tableaux, etc., par exemple, il n'y a que deux salles de classe disponibles à l'école primaire de Nyabaganza où il est obligé d'adopter le système des classes alternées; l'une dans la matinée et l'autre dans l'après-midi.

### 3-2-2. Santé et hygiène

Le Poste de Santé est un établissement de traitement médical le plus familier pour les villageois au Rwanda. Le service y est assuré par le travail posté de 02 infirmières; l'une pendant la journée et l'autre pendant la nuit. Dans ce Poste de Santé, s'opèrent des traitements simples tels qu'examen de malaria, mise en œuvre du programme de vaccination des enfants, traitement de maladies diarrhéiques, etc. En outre, en cas d'urgence, il dispose d'un système de transport au Centre de Santé mis en place dans chaque Cellule. Le Centre de Santé a été institué dans chacune des Cellules de Ndekwe, de Muhurire et de Bugera, cependant, il n'est pas encore mis en place dans la Cellule de Rujambara. Le Centre de Santé assure, par l'Aide médical <sup>[1]</sup> et les infirmières/infirmiers, en plus de certaines opérations simples, test VIH, etc., l'éducation sur la santé de maternité et l'accouchement. Le Centre de Santé dispose également d'un système de communication permettant de transporter, en cas d'urgence, le patient à l'Hôpital de District.

### 3-2-3. Électricité

L'électrification est généralisée le long de la route principale desservant Remera et Kibungo, tandis que la généralisation d'électrification est en retard dans la région rurale. Selon les résultats de «l'Étude de référence de la Province de l'Est», le taux de ménages ruraux déjà électrifiés dans le District de Ngoma reste à 6,6 %. Il n'existe d'ailleurs aucun village électrifié dans la région du Projet.

<sup>[1]</sup> La qualification d'un aide médical est subordonnée à un diplôme certifiant 04 ans d'étude dans une faculté des établissements d'enseignement médical.

Pour l'éclairage, les ménages ruraux font appel à des lampes à huile de paraffine et de kérosène. Du kérosène se vend en unité de 200 ml et au prix unitaire de 200 RWF. Cependant, à cause de leur opportunité limitée d'avoir le revenu en espèces, des ménages ruraux ne sont pas en mesure de s'acheter régulièrement de la paraffine ou du kérosène.

#### **3-2-4. Communication**

Le système téléphonique par câble n'est pas encore généralisé dans la population du Rwanda, mais, en contrepartie, le service de téléphonie cellulaire est offert par les sociétés de télécommunication telles que MTN, TIGO et Rwandatel. La généralisation des téléphones portables est remarquable au Rwanda, si bien que, même au sein des villages, on voit souvent des gens qui sont en conversation à l'aide d'un téléphone portable, mais le dispositif de recharge d'électricité et d'argent n'est pas encore disponible au niveau rural, ce qui constitue un des éléments de contrainte qui freinent le rythme de généralisation.

#### **3-2-5. Accès au système informatique**

L'accès aux informations administratives des villageois se fait par l'ordre du haut vers le bas (top-down) suivant; le District → le Secteur → la Cellule → le Village. Au plus bas de l'échelle, les villageois obtiennent les informations sur les services administratifs et sur ceux concernant la promotion par les membres du Conseil municipal de Village et du Comité de Cellule. Ce sont en général des postes de radio dont disposent les villageois comme le moyen personnel pour obtenir des informations. Les services de radiodiffusion sont fournis par la Radio Communauté affiliée à la chaîne nationale et la chaîne privée "IZURA" qui diffuse les émissions et les informations à partir de la station de base installée à Kibungo.

#### **3-2-6. Routes et trafic**

La route principale passant de la Ville de Kigali à la région du Projet de ce programme n'est plus revêtue dès qu'elle entre dans le Secteur de Remera. Il n'existe d'ailleurs aucune route revêtue dans la région du Projet. En plus du fait que la route est construite sur le terrain inclinée, et ce terrain étant du sol argileux, la route se transforme en état boueux pendant la saison des pluies. Quant aux moyens de transport, il n'y a pas de services de transport réguliers comme les autobus publics. On peut observer le trafic/transport par des motos et mobylettes, mais ce sont des bicyclettes qui sont les plus généralisées. Comme des moyens mécaniques de transport des produits agricoles dans la région, ce sont aussi des bicyclettes qui sont principalement utilisées, mais pour le transport des marchandises, c'est encore aux forces humaines qu'on fait appel; on transporte des choses, portées sur la tête en général.

#### **3-2-7. Alimentation en eau**

Seulement une partie de la région du Projet est alimentée en eau de robinet, mais en réalité chez les ménages ruraux, de l'eau est transportée chaque jour de la source dans la vallée. La besogne d'approvisionnement en eau est prise en charge par des femmes qui en transportent trois ou quatre fois par jour avec bidons de 20 litres remplis d'eau portés sur la tête et même par des enfants qui le font de la même façon mais avec bidons de 5 à 10 litres.

### 3-3. Situation de communauté villageoise

#### 3-3-1. Situation de profession

Selon «Plan de Développement» du District de Ngoma, plus de 90 % des ménages dans ce district s'occupent de l'agriculture. Dans les villages de la région du Projet, on suppose que plus de 90 % des villageois gagnent leur vie ménages dans l'agriculture. Hormis les travaux des champs, on observe que certains des villageois tiennent des kiosques et des bars, et travaillent à la journée à Kibungo.

#### 3-3-2. Emploi du temps de la vie quotidienne

L'emploi du temps de la vie quotidienne des ménages ruraux moyens respectivement chez les hommes et chez les femmes est schématisé dans le Tableau ci-dessous: les villageois n'ont pas la coutume de prendre le petit déjeuner, et la plupart des foyers ne prennent le repas qu'une fois par jour; ils travaillent aux champs dans la matinée, entrent chez eux aux premières heures de l'après-midi, puis les femmes s'occupent des besognes d'approvisionnement en eau et en bois de chauffage et de préparation de dîner, quant aux hommes ils s'occupent du bétail et des besognes autour de leurs maisons et participent aux réunions, et après le dîner, ils se mettent au lit.

**Tableau 3-3-2-1: Emploi du temps typique d'une journée des villageois**

Heures	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Hommes																		
Femmes																		

Source: Mission d'Étude de JICA

#### 3-3-3. Dépenses de ménage

Selon les statistiques nationales, la dépense moyenne mensuelle d'un ménage rural est de 27 500 RWF, tandis que les résultats d'une étude faite au niveau des villages dans la région du Projet donnent une somme estimée à 13 775 RWF, qui est considérablement inférieure à la moyenne nationale. Parmi cette dépense, la nourriture occupe environ 10 % et 90 % qui restent sont consacrés aux dépenses autres que la nourriture. Ces dépenses des produits alimentaires sont détaillées comme suit: 10 % pour céréales, 10 % pour banane et tubercules, 20 % pour haricots et légumes et 35 % pour huile/sucre/sel. Quant aux frais dépensés à l'agriculture, ils occupent 12 % (177 260 RWF). D'autres dépenses sont 7 % pour les frais d'éducation, 7 % pour les frais médicaux et 7 % pour les frais de téléphone.

#### 3-3-4. Habitude alimentaire

Selon l'Étude de référence de la Province de l'Est, les ruraux ont l'habitude de prendre le repas 2 fois par jour, tandis que l'étude par interview a révélé que la plupart des villageois des Cellules de Ndekwe, de Bugera, de Rujambara et de Muhurire ne prennent le repas qu'une fois par jour. Du riz comme aliment est beaucoup cher pour ces villageois. Habituellement ils prennent du manioc, des bananes et des tubercules et du sorgho. Ils ne mangent de la viande qu'à peu près une fois par an seulement à l'occasion de Noël, de cérémonie de mariage, etc. Ils prennent du lait pour la consommation à la maison.

### 3-4. État actuel d'exploitation agricole

Selon les résultats d'une étude par interview effectuée sur 61 ménages agricoles choisis au hasard en amont, au milieu et en aval de la région de Projet, la superficie moyenne des champs cultivés que possède une famille agricole moyenne constituée de 5 membres est 0,1 ha pour la rizière et 0,7 ha pour d'autres champs (Tableaux 3-4-1 et 3-4-2). La mesure topographique a été effectuée sur 88 % soit 36 agriculteurs parmi 41 pour les champs autres que la rizière et sur 32 % soit 13 agriculteur parmi 41 pour les champs de rizière, ce qui révèle un grand intérêt que portent des agriculteurs à la terre. Si la superficie topographiée des champs rizicoles est inférieure à celle des champs secs, c'est parce que la superficie des rizières est moindre inéure.

Les moyens d'acquisition de terre ont classifiées dans 4 types, à savoir l'achat, la succession, le bail et le nouveau défrichement (Fig. 3-4-1). Les fermiers acquièrent leur terre à travers un ou plusieurs de ces moyens (Fig. 3-4-1). Le nouveau défrichement signifie la terre défrichée avant la mise en œuvre de protection stricte des marais suite à la révision de la loi foncière en 2005.

Dans ces circonstances, l'étude a révélé le taux d'exploitation de terre de 100 % chez tous les agriculteurs sauf 2 parmi 61, qui sont bénéficiaires du projet dans les Secteurs de Remera et Rurenge. Comme ces agriculteurs sont obligés de cultiver des produits agricoles d'une grande variété sur la terre limitée, ils prennent coutume, à travers leurs expériences, de prendre des précautions contre la sécheresse, les maladies des végétaux, etc. et des dispositions pour la sécurité alimentaire.

En outre, selon l'étude par interview, le riz est emblavé par 87 % des agriculteurs, suivi de 77 % pour les haricots et de 74 % pour le sorgho (Fig. 3-4-2). Dans le modèle d'emblavage actuellement mis en œuvre à Ngoma-22, la double récolte est principalement envisagée pour la riziculture. La méthode de base consistant à fertiliser la terre par deux fois d'engrais pendant la période de croissance et à donner de l'engrais après sarclage, est observée. Le sorgho est semé après l'emblavage des tubercules et haricots secs et sa période d'emblavage est concentrée à la saison A qui commence à partir de janvier. Quant au maïs, son emblavage est concentré à la saison A qui commence à partir de septembre (Fig. 3-4-3). Dans l'assolement, il y a plusieurs combinaisons telles que Riz-Riz (double récolte), Tubercules-Sorgho, Haricot-Sorgho, Haricot-Maïs, Maïs-Sorgho et emblavage mélangé de banane avec des haricots. 70 % des agriculteurs utilisent le compost dans le Secteur de Remera et 45 % dans le Secteur de Rurenge, mais la quantité de compost et ses ingrédients sont inconnus (Tableau 3-4-3).

Le revenu annuel demeure au-dessous de 500 US\$ (selon l'étude préparatoire effectuée en 2009) presque sans autre revenu (parmi 19 agriculteurs enquêtés; 17 sans autre revenu, 1 avec revenu venant de son bar et 1 avec revenu venant de la vente de bière de banane.

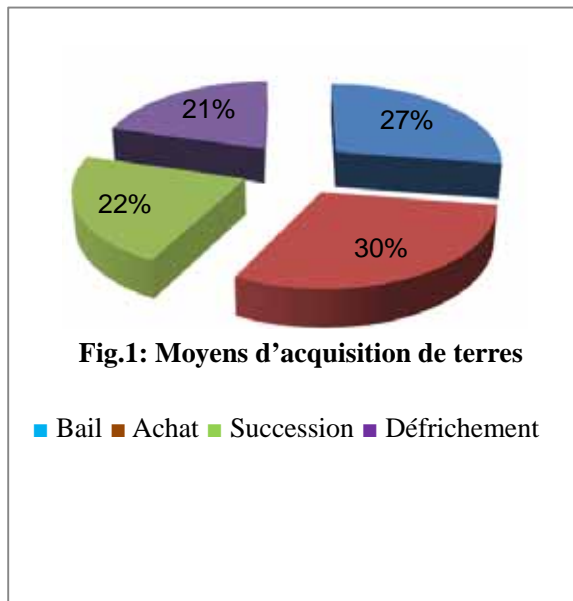


**Tableau 3-4-1: Utilisation de terre des b0n0ficiaries potentiels (Secteur de Remera)**

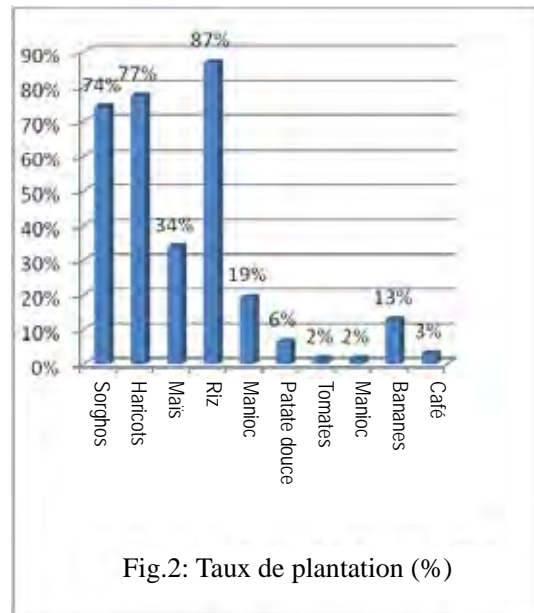
	Rizi0re (m <sup>2</sup> )	Champs (m <sup>2</sup> )	Cultiv0	Cause/raison
Agriculteur-1	Non mesur0	12 580	Non r0pondu	
Agriculteur-2	Non mesur0	Non mesur0	Non r0pondu	
Agriculteur-3	375	5 200	Non r0pondu	
Agriculteur-4	Non mesur0	14 000	100 %	
Agriculteur-5	Non mesur0	3 000	100 %	
Agriculteur-6	Non mesur0	Non mesur0	100 %	
Agriculteur-7	Non mesur0	20 000	50%	manque de pluie
Agriculteur-8	Non mesur0	10 000	100 %	
Agriculteur -9	Non mesur0	14 200	100 %	
Agriculteur-10	Non mesur0	1 500	Non r0pondu	
Agriculteur-11	Non mesur0	Non mesur0	Non r0pondu	
Agriculteur-12	Non mesur0	3 900	100 %	
Agriculteur-13	Non mesur0	1 750	100 %	
Agriculteur-14	600	15 000	75 %	en jach0re
Agriculteur-15	374	5 000	100 %	
Agriculteur-16	Non mesur0	Non mesur0	100 %	
Agriculteur-17	2 250	1 600	100 %	
Agriculteur -18	Non mesur0	Non mesur0	100 %	
Agriculteur-19	1 125	2 100	100 %	
Agriculteur-20	Non mesur0	3 050	100 %	
Moyenne	945	7 525		

**Tableau 3-4-2: Utilisation de terre des b0n0ficiaries potentiels (Secteur de Rurenge)**

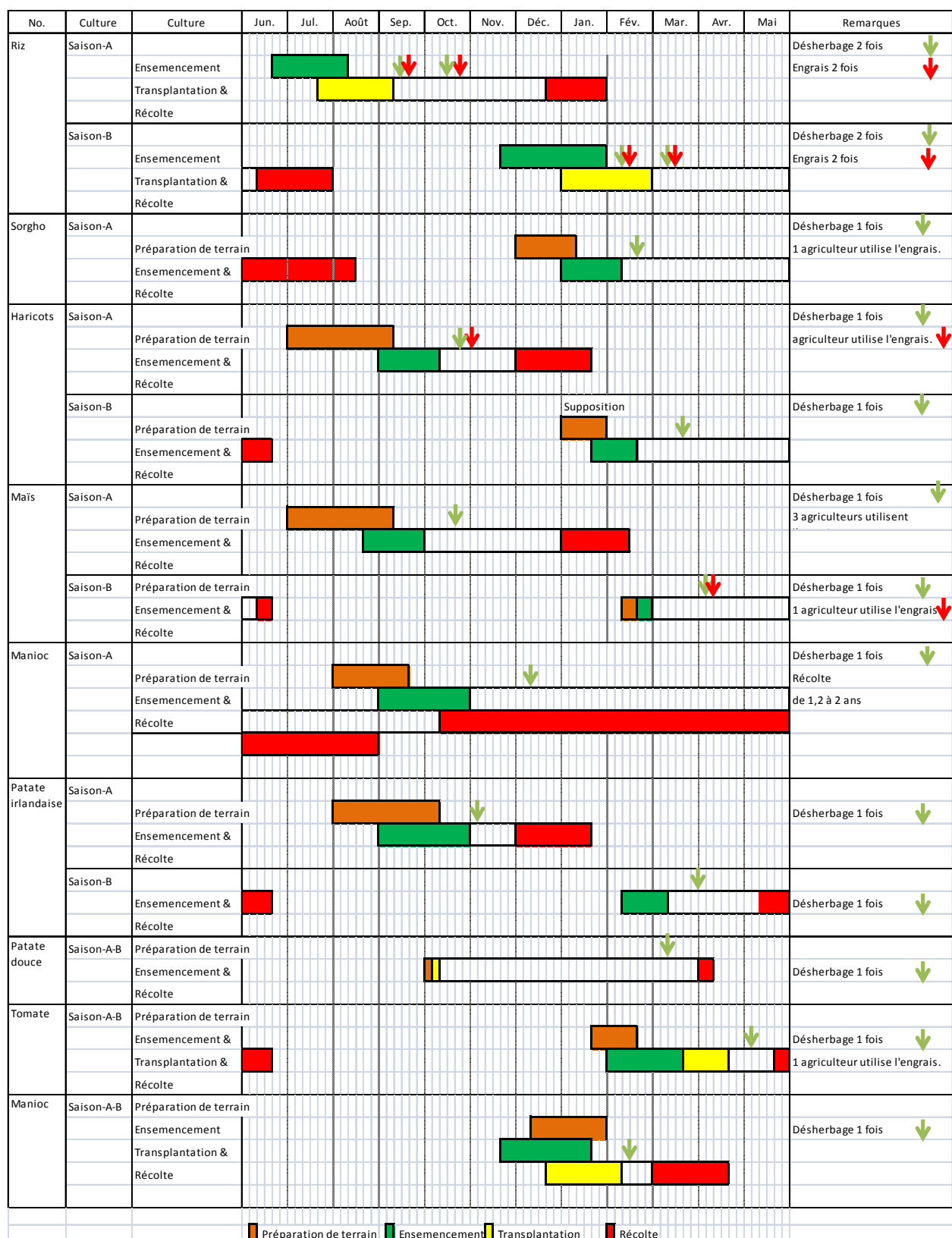
	Rizi0re (m <sup>2</sup> )	Champs (m <sup>2</sup> )	Cultiv0	Cause/raison
Agriculteur-1	Non mesur0	595	100 %	
Agriculteur-2	Non mesur0	3 000	100 %	
Agriculteur-3	Non mesur0	8 700	100 %	
Agriculteur-4	1 128	1 848	100 %	
Agriculteur-5	Non mesur0	450	100 %	
Agriculteur-6	Non mesur0	600	100 %	
Agriculteur-7	Non mesur0	8 400	100 %	
Agriculteur-8	795	5 800	100 %	
Agriculteur -9	600	1 750	100 %	
Agriculteur-10	2 350	23 400	100 %	
Agriculteur-11	1 027	2 560	100 %	
Agriculteur-12	Non mesur0	13 000	100 %	
Agriculteur-13	Non mesur0	5 600	100 %	
Agriculteur-14	1 000	1 800	100 %	
Agriculteur-15	Non mesur0	1 200	100 %	
Agriculteur-16	Non mesur0	1 875	100 %	
Agriculteur-17	400	20 800	100 %	
Agriculteur-18	Non mesur0	10 000	100 %	
Agriculteur-19	Non mesur0	3 000	100 %	
Agriculteur-20	Non mesur0	5 242	100 %	
Agriculteur-21	1 000	1 575	100 %	
Moyenne	1 038	5 771		



**Fig. 3-4-1: Moyens d'acquisition de terre**



**Fig. 3-4-2: Taux de plantation**



**Fig. 3-4-3: Assolement actuel**

**Tableau 3-4-3: Fumier**

	Fumier	Sans engrais	Non répondu	Taux
20 Agriculteurs de Remera	14	6	0	70
41 Agriculteurs de Rulenge	19	17	6	45

### 3-5. Étude sur l'exploitation agricole

#### 3-5-1. Étude sur la quantité des besoins en eau

##### (1) Généralité

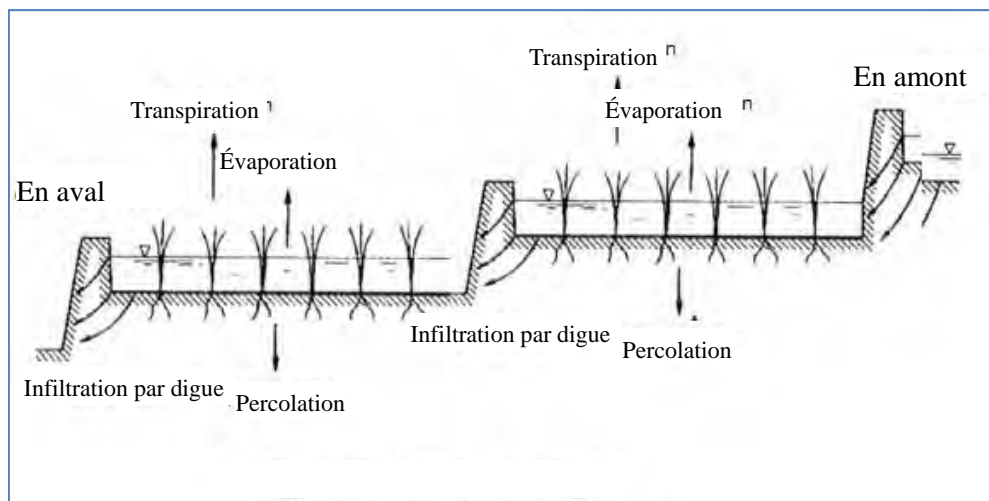
##### (a) Objet

L'étude a pour objet d'investiguer la quantité des besoins en eau pour les rizières se situant en aval de la zone bénéficiaire du Projet et de collecter les données de base permettant d'évaluer la quantité requise pour l'irrigation des rizières.

##### (b) Définition des besoins en eau ETC

Le mouvement d'eau d'une rizière inondée est représenté par la variation de profondeur d'eau indiquant la montée ou la descente de la surface d'eau par jour dans la rizière. Les besoins en eau sont exprimés par "mm/jour" représentant la quantité d'eau consommée d'une rizière. La quantité des besoins en eau est conditionnée non seulement par l'afflux/flux d'eau dans ou de la rizière mais aussi par l'infiltration à travers les diguettes, par l'évaporation de la surface d'eau, par la transpiration du riz et par la percolation verticale par le fond de la rizière (Fig. 3-5-1-1). La quantité des besoins en eau est exprimée par les formules suivantes:

- Besoins en eau "ETC" = Evapotranspiration + Infiltration/Percolation
- Evapotranspiration = Evaporation de la surface d'eau + Transpiration de la surface des plantes
- Infiltration = Infiltration par les diguettes + Percolation verticale par le fond de la rizière



**Fig. 3-5-1-1: Perte d'eau en profondeur**

(c) Nombre de points investigués

**Tableau 3-5-1-1: Étude sur les besoins en eau**

	1ère Étude				2ème Étude		
Date	Le 28 mars	Le 29 mars	Le 01 avril	Le 12 avril	Le 21 avril	Le 23 avril	Le 25 avril
Emplacement	Point-A	Point-B	Point-C	Point-D	Point-E	Point-F	Point-G
Fig. 3-5-1-2 参照							



**Fig.3-5-1-2: Points ayant fait l'objet d'étude**

(d) Procédés et méthode d'étude

Avant la mise en place des cylindres et des règles graduées en bois, la bouche d'entrée et celle de sortie de la rizière sont fermées, et éventuellement les diguettes sont réparées par l'enduisage en boue, si elles présentent la fuite d'eau à la rizière adjacente. Les cylindres et les règles graduées en bois sont mis en place aux positions déterminées comme suit: lorsque les deux bouches entrée/sortie s'alignent sur la diagonale, ils sont placés aux trois points sur la ligne se croisant en angle droit avec la diagonale, et lorsqu'elles ne le sont pas, deux cylindres sont placés à un point éloigné de 3m de chaque bouche et un qui reste est placé juste au milieu de ces deux points.

En plus de cylindres et de règles graduées, des seaux en plastique sont prévus:

- Pour la mesure de transpiration : 3 seaux remplis d'eau avec un pied de riz et chacun placé à côté d'un cylindre
- Pour la mesure d'évaporation : 2 seaux remplis d'eau
- Pour la mesure de précipitations : 1 seau vide
- Durée de temps de mesure : pendant 5,5 heures (de 11H à 16H30)

La quantité de besoins en eau (infiltration/percolation + évapotranspiration) est évaluée par calculs suivants:

- Quantité d'eau infiltrée/percolée par jour = Valeur de baisse d'eau mesurée par le cylindre et la règle en bois (quantité d'eau perdue par infiltration et percolation)  $\times$  24/5,5 (mm/jour)
- Quantité d'eau évapotranspirée par jour = (Transpiration + Evaporation)  $\times$  12 heures  $\div$  5,5  $\times$  1,15 (mm/jour)

(valeur de calcul pour la longueur du jour selon " FAO Irrigation and Drainage Paper No.56")



Réparation de diguettes



Cylindre et règle en bois



Cylindre et règle en bois



Plantes pour mesurer l'évapotranspiration

## (2) Résultat d'étude

## (a) Évapotranspiration

**Tableau 3-5-1-2: Évaporation et transpiration**

Date	Temps	Evaporation (mm/h)	Evapotranspiration (mm/h)
28 mars	Beau	2,20	5,50
29 mars	Nuageux	0,80	2,30
01 avril	Nuageux	0,40	1,50
12 avril	Beau	1,05	4,57
21 avril	Nuageux, pluie	1,07	4,16
23 avril	Nuageux	1,30	4,45
25 avril	Nuageux	0,95	3,70

Lors de la première étude (du 28 mars au 12 avril), la quantité d'évaporation et de transpiration a été évaluée sur la base des échantillons.

Lors de la deuxième étude (du 21 au 25 avril), à cause de la croissance des plantes, les échantillons risquaient d'être endommagés pendant leurs préparatifs, et l'éventuel endommagement des échantillons donnerait une conséquence sur les résultats de mesure. Dans ces circonstances, il a été jugé qu'il ne serait pas adéquat d'évaluer la quantité d'évaporation et de transpiration à partir des échantillons prélevés au site. La quantité est estimée par application de la méthode "Penman-Monteith" de la FAO.

## (b) Besoins en eau (quantité d'eau perdue)

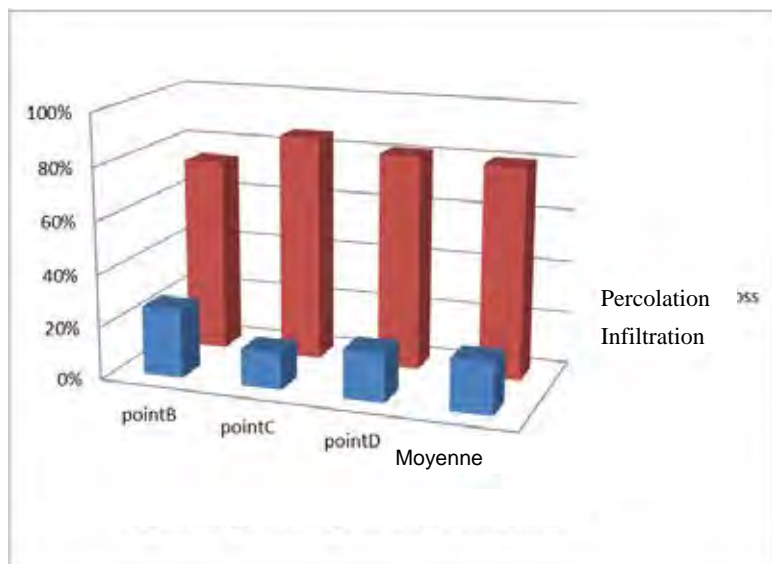
[Première étude]

La comparaison de résultats des mesures effectuées sur les 3 points; Point-B (en amont), Point-C (au milieu), Point-C (en aval) où les cylindres et les règles en bois ont été mis en place, a permis d'observer que la quantité d'eau infiltrée à travers les diguettes excédait celle d'eau percolée à travers le fond de la rizière à tous les 3 points (Tableau 3-5-1-3).

Après le calcul de la moyenne des valeurs de ces 3 points, la quantité d'eau infiltrée occupe 80 % et celle percolée représente 20 % (Fig. 3-5-1-3).

**Tableau 3-5-1-3: Valeurs de calcul des besoins en eau**

Date	Emplacement	Temps	Percolation (mm/j)	Infiltration (mm/j)	Perte totale d'eau (mm/j)
Le 28 mars	Point-A	Beau	7,9	-	-
Le 29 mars	Point-B	Nuageux	18,3	51,5	69,8
Le 01 avril	Point-C	Nuageux	20,1	122,6	142,7
Le 12 avril	Point-D	Beau	20,0	88,3	108,2



**Fig. 3-5-1-3: Rapport d'Infiltration/Percolation**

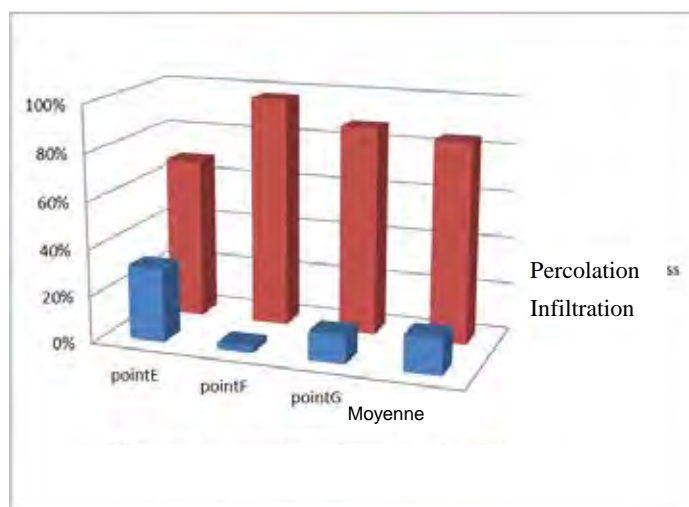
[Deuxième étude]

Les résultats des mesures effectuées sur les 3 points; Point-E (en amont), Point-F (au milieu), Point-G (en aval) ont permis d'observer que la quantité d'eau infiltrée à travers les diguettes excédait celle d'eau percolée à travers le fond de la rizière à tous les 3 points (Tableau 3-5-1-4).

Après le calcul de la moyenne des valeurs de ces 3 points, la quantité d'eau infiltrée occupe 85 % et celle percolée représente 15 % (Fig. 3-5-1-4).

**Tableau 3-5-1-4: Valeurs de calcul des besoins en eau**

Date	Emplacement	Temps	Percolation (mm/j)	Infiltration (mm/j)	Perte totale d'eau (mm/j)
Le 21 avril	Point-E	Nuageux, pluie	13,5	29,3	42,8
Le 23 avril	Point-F	Nuageux	6,0	213,7	219,7
Le 25 avril	Point-G	Beau	10,0	72,7	82,7



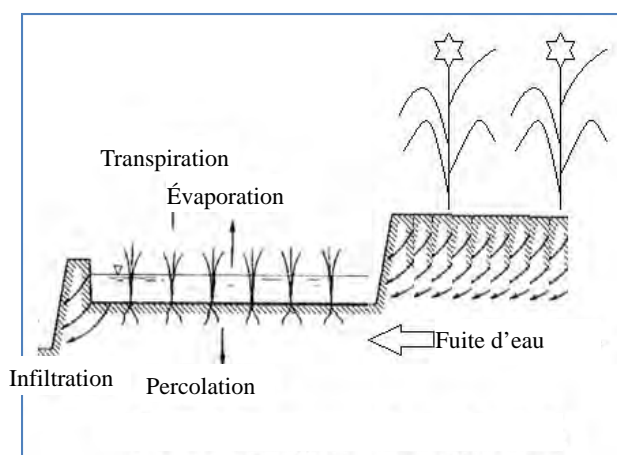
**Fig. 3-5-1-4: Rapport d'Infiltration/Percolation**



La moyenne des valeurs obtenues dans les 2 études pour la quantité d'eau percolée est exprimée par la valeur de 13,6 mm/jour et 96,4 mm/jour pour celle infiltrée respectivement.

[Influence des précipitations sur l'infiltration]

Dans les résultats de mesures effectuées lors de la première étude du 21 avril, on remarque que la quantité d'eau infiltrée était très petite. Il paraît très probable que les précipitations aient influencé le résultat; il y avait effectivement ce jour (de 12H40 à 14H45) les précipitations de 20mm (selon l'enregistrement des données météorologiques). Du moment que les précipitations elles-mêmes donnent son effet d'une manière uniforme tant à la surface du cylindre qu'à la surface de la rizière, c'est l'afflux de l'eau souterraine et de l'eau de surface qui exerçait une influence sur la quantité d'eau infiltrée (Fig. 3-5-1-5).



**Fig. 3-5-1-5: Infiltration de l'eau du champ dans la rizière**

A ce même sujet, la comparaison de la turbidité d'eau observée au début de mesure et à fin des précipitations à la bouche de sortie de la rizière, permet de constater que celle observée à la fin des précipitations est beaucoup plus troublée, ce qui signifie l'ampleur d'influence d'afflux de l'eau de surface. (voir les photos ci-dessous).



Bouche de sortie de la rizière à 10H55



Bouche de sortie de la rizière à 16H30

### 3-5-2. Étude sur le taux d'infiltration

#### (1) Généralités

##### (a) Objet d'étude

L'étude a pour objet de connaître le taux d'infiltration aux champs secs se situant en aval de la zone bénéficiaire du Projet et de collecter les données de base permettant d'étudier et déterminer un système d'irrigation adéquat.

##### (b) Définition du taux d'infiltration

###### i) Infiltration cumulée (D)

L'infiltration cumulée (D) est la valeur cumulée de la baisse de la surface de l'eau provoquée par l'infiltration d'eau dans le sol. Lorsque les résultats sont transcrits sur un diagramme de double-logarithme portant le temps écoulé (T) sur l'axe des abscisses et la quantité d'infiltration cumulée (D mm) sur l'axe des ordonnées, la ligne tracée forme presque l'équation d'une droite, ceci admet la formule suivante:

$$D = C \cdot T^n$$

où: T : Temps écoulé depuis le début d'introduction d'eau (minutes)

C: Constante (D lorsque T est 1 minute)

n : Constante (gradient de la droite)

###### ii) Vitesse d'infiltration (I)

Le taux d'infiltration étant un indice qui représente le degré d'infiltration, il est déterminé par la formule suivante:

$$I = 60 \cdot C \cdot n \cdot T^{n-1}$$

où: I : Taux d'infiltration (mm/heure)

T : Temps écoulé depuis le début d'introduction d'eau (minutes)

n : Constante (gradient de la droite)

###### iii) Taux d'infiltration de base ( $I_b$ )

Au fur et à mesure du temps écoulé, le taux d'infiltration diminue et il se stabilise finalement à une certaine valeur. La valeur stabilisée dans ces conditions s'appelle «le taux d'infiltration de base» qui représente la perméabilité du sol non-saturé. Cette valeur est prise pour «le taux d'infiltration de base», au moment où le taux de variation de la courbe d'infiltration se trouve au-dessous de 10 % et le temps (T) écoulé pour atteindre ce taux d'infiltration de base est exprimé par la formule  $T = 600 \cdot (1-n)$ .

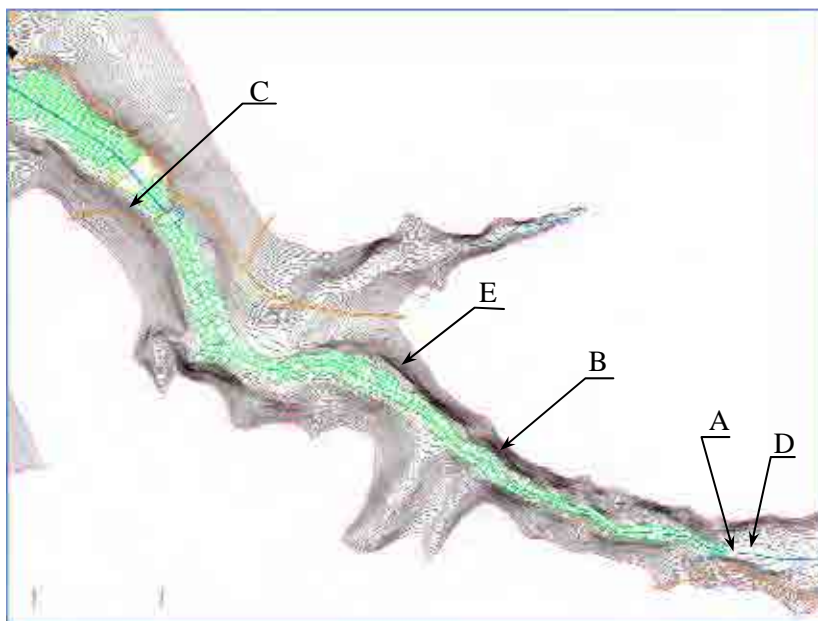
Or, le taux d'infiltration de base ( $I_b$ ) est obtenu à partir les valeurs C et n par la formule suivante:

$$I_b = 60 \cdot C \cdot n (600 \cdot (1-n))^{n-1} \text{ (mm/heure)}$$

Pour obtenir le taux d'infiltration de base ( $I_b$ ) à partir de la courbe d'infiltration mesurée, il suffit d'obtenir la vitesse d'infiltration.

(c) Nombre de points d'étude in-situ et positions

L'étude a été effectuée sur les 5 points figurant ci-après sur **Fig.-3-5-2-1**. Pour Point-A et Point-B, le taux d'infiltration de base étant considéré comme très élevé, l'étude a été reprise dans les champs voisins (Point-D et Point-E). Les mesures ont été effectuées en état naturel et en état humide des champs sur Point-A et Point-D.



**Fig. 3-5-2-1: Points d'étude in-situ pour le taux d'infiltration**

(d) Procédés et méthode d'étude

[Outils et équipements]

- 3 cylindres métalliques ( $\varnothing$  15 cm, H = 35 cm (avec un mètre à ruban collé à la paroi intérieure)
- 1 cadre de cylindre métallique pour étang ( $\varnothing$  58 cm, H = 35 cm)
- Autres tels que balance électronique  $\times$  1, flasque (500cc)  $\times$  1, sceaux (20 $\ell$ )  $\times$  4, niveau  $\times$  1, clinomètre  $\times$  1, chronomètre  $\times$  1, bâche de vinyle  $\times$  1, entonnoir  $\times$  1, marteau en bois  $\times$  1, bâton de bois  $\times$  1, etc.

[Procédés et méthode]

La mesure a été réalisée dans les champs en état naturel et en état humide sur les 3 points avec des procédés suivants: mettre en place un cadre métallique sur le terrain et enfoncer celui-ci d'une profondeur de 20cm dans le sol; mettre en place un cylindre métallique au centre du cadre mis en place précédemment et enfoncer celui-ci également d'une profondeur de 20cm profondément dans le sol; vérifier la perpendicularité du cylindre et du cadre au moyen d'un niveau; mettre de l'eau à l'intérieur du cadre; couvrir la surface du sol à l'intérieur du cylindre d'une bâche plastique (pour empêcher le sol de se transformer en boue) et remplir le cylindre de l'eau à l'aide d'un entonnoir; enlever, dès la fin de remplissage, la bâche de vinyle et lire les degrés sur le mètre à ruban collé à la paroi intérieure du cylindre en mesurant le temps à l'aide d'un chronomètre à l'intervalle de 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50 et 60 minutes; faire l'appoint d'eau dont la quantité est mesurée au moyen d'une balance électronique avec flacon (500cc), en temps approprié.

en fonction de la descente du niveau d'eau, et enregistrer le niveau avant et après l'appoint d'eau.

Le lendemain, la même mesure a été répétée en état humide (Point-A et Point-D).



Mise en place d'un cadre rond destiné à un étang



Enfonçage du cylindre



Début de mesure



Quantité d'eau à ajouter est 500cc/appoint



Mesure de descente du niveau d'eau



3 points de mesure dans un champ

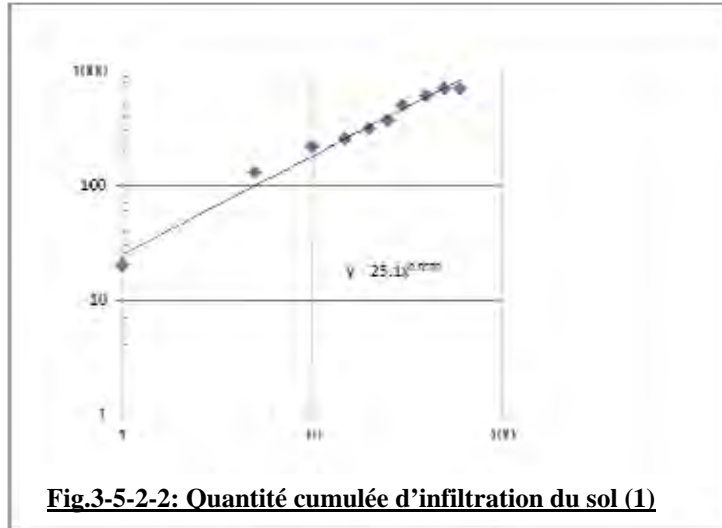
## (2) Résultat d'étude

**Tableau 3-5-2-1: Sommaire des résultats de mesures**

Emplacement/Etat	Date	Plante/Topographie	Taux d'infiltration de base
Point-A: état naturel	03/Avr.	Patate douce/plat	580 mm/hr
Point-A: état humide	04/Avr.	Idem	78 mm/hr
Point-B: état Naturel	08/Avr.	Sorgho/incline (10°)	672 mm/hr
Point-C: état Naturel	12/Avr.	Pâturage/plat	75 mm/hr
Point-D: état naturel	21/Avr.	Patate irlandaise/plat	628 mm/hr
Point-D: état humide	22/Avr.	Idem	490 mm/hr
Point-E: état naturel	23/Avr.	Aubergine (vacant)/plat	34 mm/hr

Le 03 avril (Point-A en état naturel: en amont: Champs de patate douce: plat)

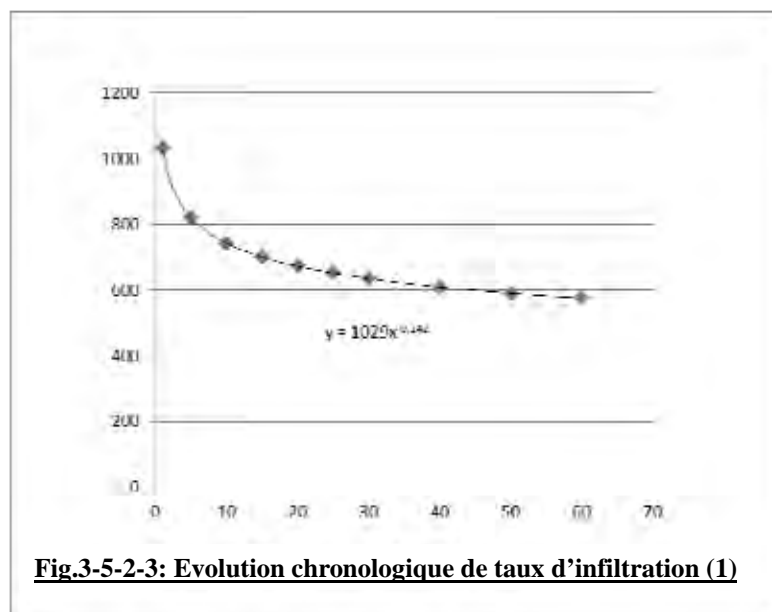
D'après les valeurs effectivement mesurées figurant sur Tableau 3-5-2-2 (1), le taux d'infiltration de base correspondant au taux de variation de quantité d'infiltration cumulée de 10 % est 580 mm/heure. Or, le taux d'infiltration de base ( $I_b$ ) = 580 mm/hr.



**Fig.3-5-2-2: Quantité cumulée d'infiltration du sol (1)**

**Tableau 3-5-2-2: Résultats de taux d'infiltration (1)**

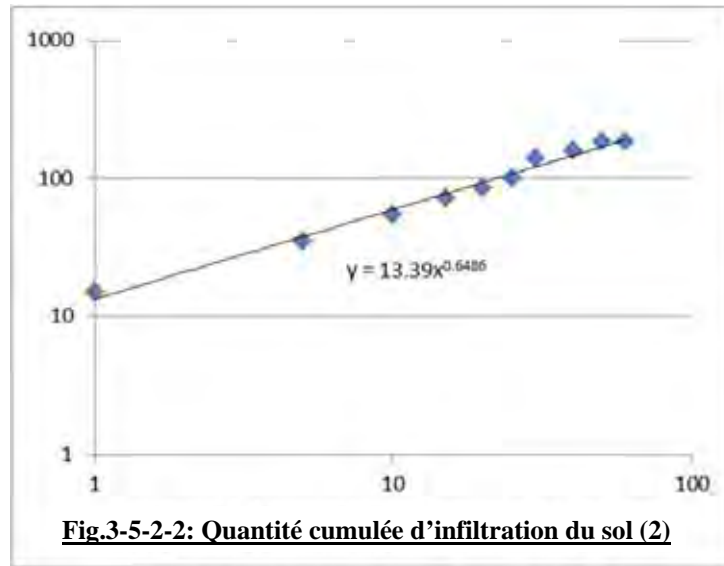
Temps (minutes)	Infiltration cumulée	Taux d'infiltration	Taux de variation
1	20	1029	
5	130	819	550 %
10	220	742	69 %
15	253	700	15 %
20	313	672	24 %
25	370	651	18 %
30	500	634	35 %
40	610	609	22 %
50	700	590	15 %
60	707,5	575	1 %



**Fig.3-5-2-3: Evolution chronologique de taux d'infiltration (1)**

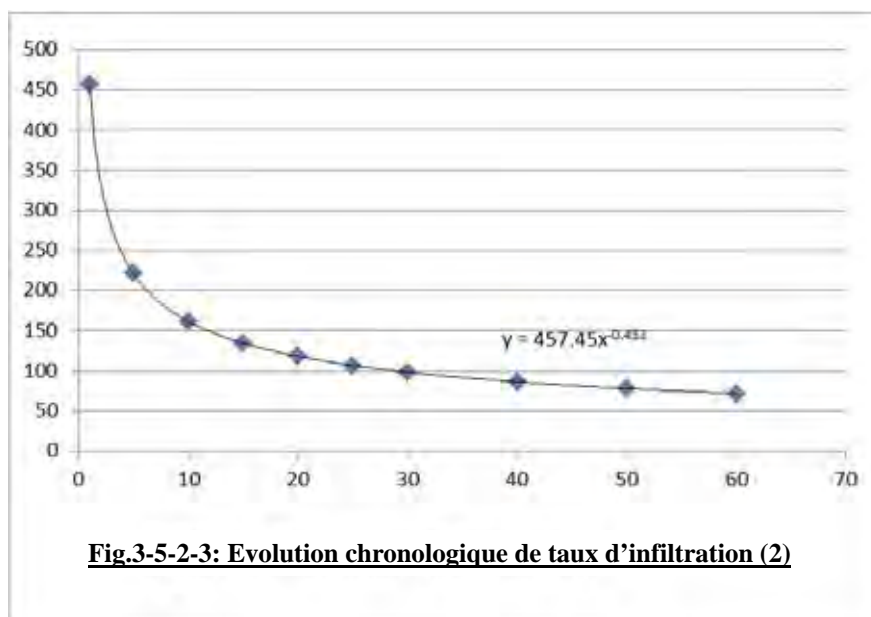
Le 04 avril (Point-A en état humide: en amont: Champs de patate douce: plat)

Partant de mêmes approches, le taux d'infiltration de base ( $I_b$ ) = 78 mm/hr.



**Tableau 3-5-2-2: Résultats de taux d'infiltration (2)**

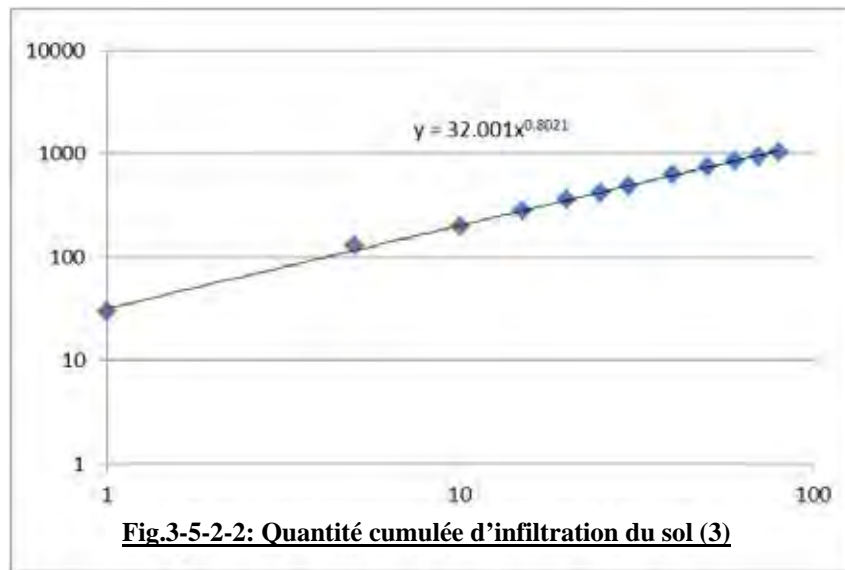
Temps (minutes)	Infiltration cumulée	Taux d'infiltration	Taux de variation
1	15	457	
5	35	221	133,3 %
10	55	162	57,1 %
15	72,5	135	31,8 %
20	85	118	17,2 %
25	100	107	17,6 %
30	140	98	40,0 %
40	160	86	14,3 %
50	185	78	15,6 %
60	185	72	0,0 %





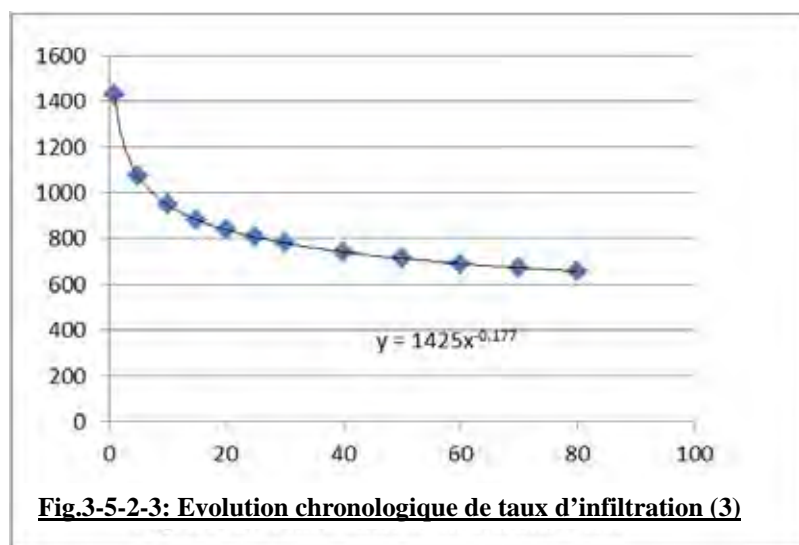
Le 08 avril (Point-B en état naturel: au milieu: Champs de sorghos: incliné (10°))

Partant de mêmes approches, le taux d'infiltration de base ( $I_b$ ) = 672 mm/hr.



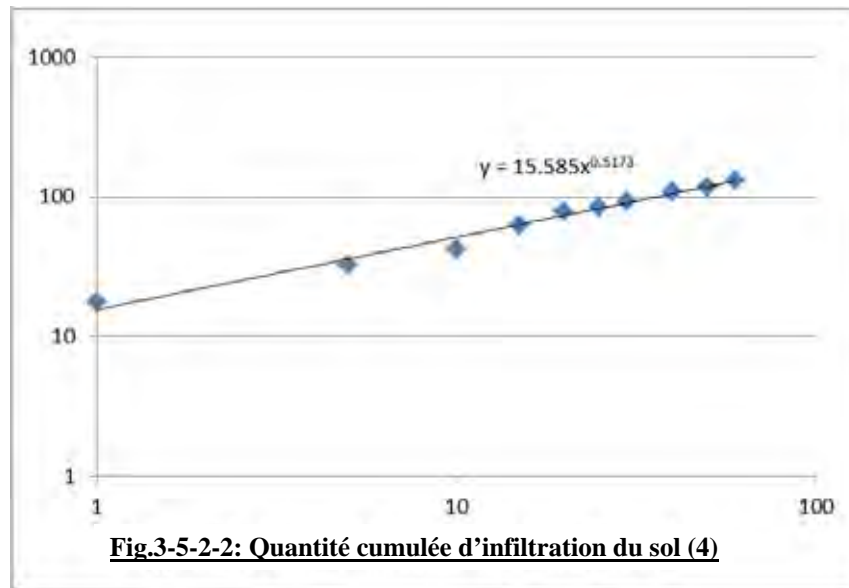
**Tableau 3-5-2-2: Résultats de taux d'infiltration (3)**

Temps (minutes)	Infiltration cumulée	Taux d'infiltration	Taux de variation
1	30	1 535	
5	130	1 127	333 %
10	198	986	52 %
15	282	913	43 %
20	359	864	28 %
25	422	827	17 %
30	492	799	17 %
40	624	756	27 %
50	747	724	20 %
60	849	699	14 %



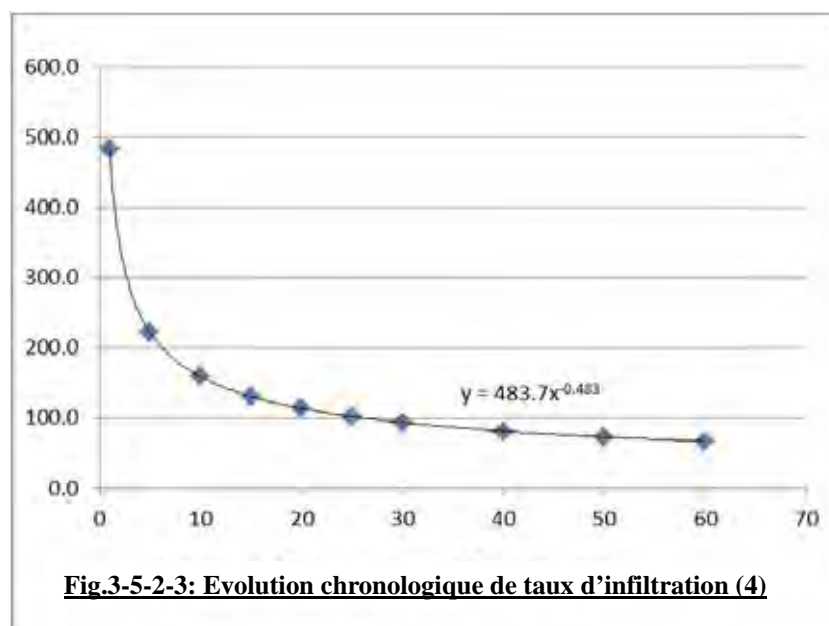
Le 12 avril (Point-C en état naturel: en aval: Champs de fourrage: plat)

Partant de mêmes approches, le taux d'infiltration de base ( $I_b$ ) = 75 mm/hr.



**Tableau 3-5-2-2: Résultats de taux d'infiltration (4)**

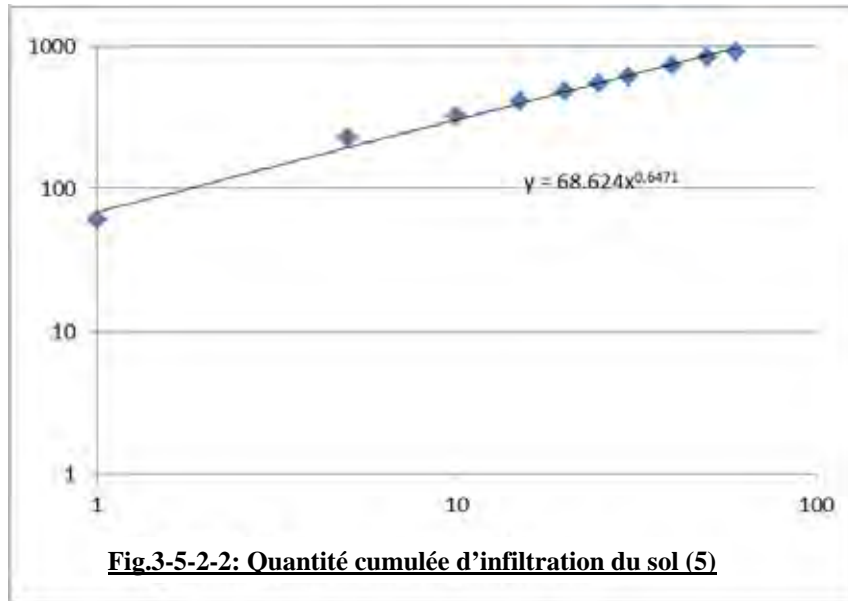
Temps (minutes)	Infiltration cumulée	Taux d'infiltration	Taux de variation
1	17,5	483,7	
5	32,5	222,4	86 %
10	42,5	159,2	31 %
15	62,5	130,9	47 %
20	77,5	113,9	24 %
25	85,0	102,3	10 %
30	92,5	93,7	9 %
40	110,0	81,5	19 %
50	118,75	73,2	8 %
60	132,5	67,0	12 %





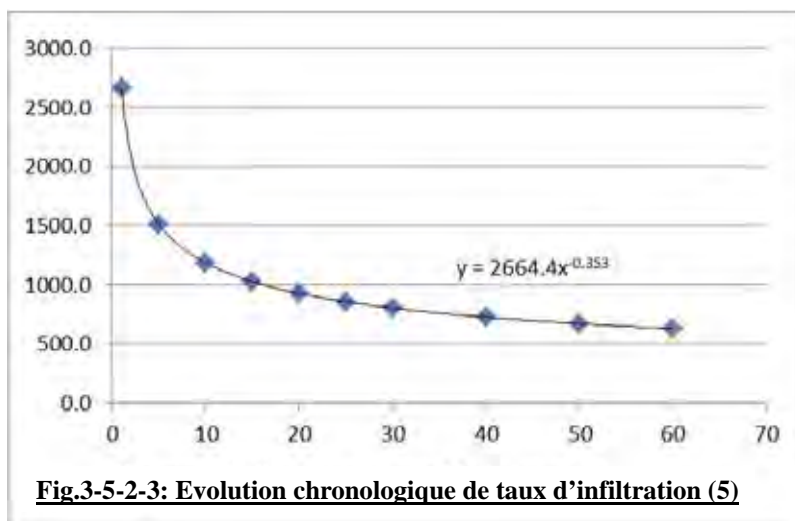
Le 21 avril (Point-D en état naturel: en amont: Champs de patate irlandaise: plat)

Partant de mêmes approches, le taux d'infiltration de base ( $I_b$ ) = 628 mm/hr.



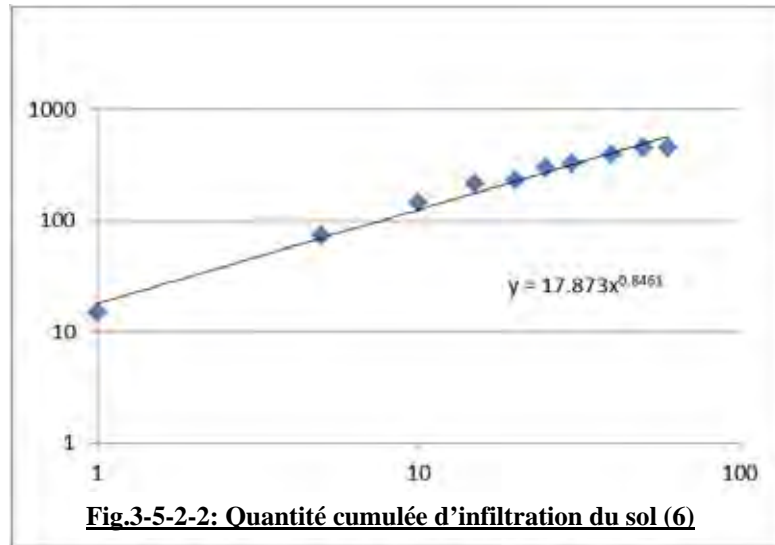
**Tableau 3-5-2-2: Résultats de taux d'infiltration (5)**

Temps (minutes)	Infiltration cumulée	Taux d'infiltration	Taux de variation
1	60	2664.4	
5	230	1509.8	283 %
10	320	1182.2	39 %
15	410	1024.6	28 %
20	485	925.7	18 %
25	550	855.6	13 %
30	615	802.3	12 %
40	727,5	724.8	18 %
50	830	669.9	14 %
60	912,5	628.2	10 %



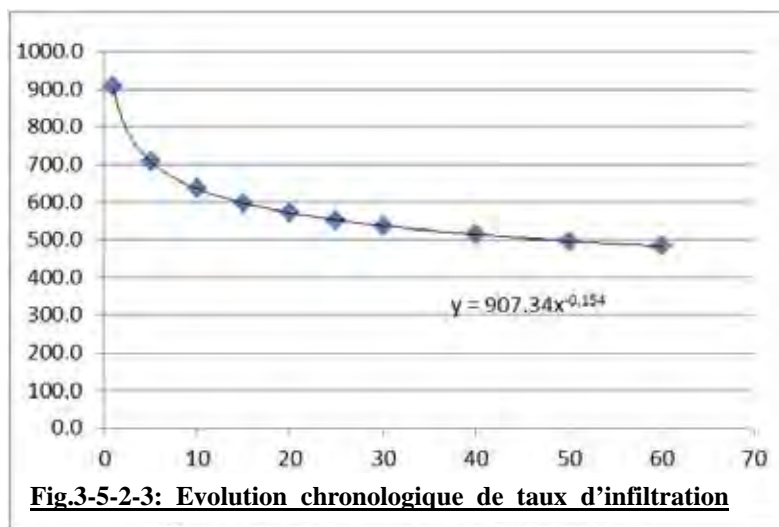
Le 22 avril (Point-D en état humide: en amont: Champs de patate irlandaise: plat)

Partant de mêmes approches, le taux d'infiltration de base ( $I_b$ ) = 498 mm/hr.



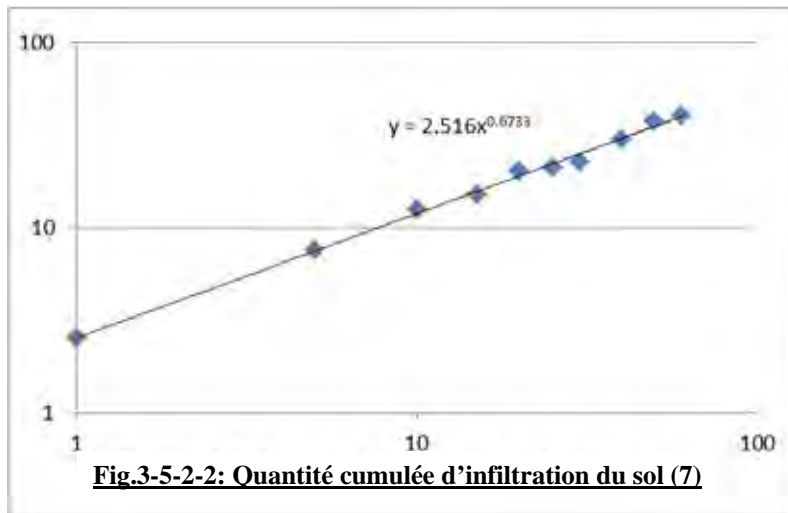
**Tableau 3-5-2-2: Résultats de taux d'infiltration (6)**

Temps (minutes)	Infiltration cumulée	Taux d'infiltration	Taux de variation
1	15	907,3	
5	72,5	708,3	383 %
10	145	636,6	100 %
15	215	598,1	48 %
20	230	572,2	7 %
25	295	552,9	28 %
30	330	537,6	12 %
40	390	514,3	18 %
50	452,5	496,9	16 %
60	455	483,2	1 %



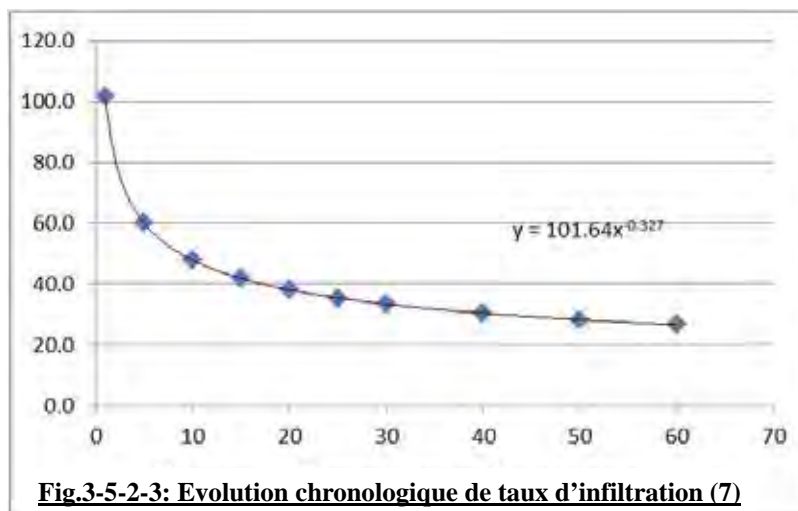
Le 23 avril (Point-E en état naturel: au milieu: Champs d'aubergine (vacant): plat)

Partant de mêmes approches, le taux d'infiltration de base (Ib) = 34 mm/hr.



**Tableau 3-5-2-2: Résultats de taux d'infiltration (7)**

Temps (minutes)	Infiltration cumulée	Taux d'infiltration	Taux de variation
1	2,5	101,6	
5	7,5	60,1	200 %
10	12,5	47,9	67 %
15	15	43,0	20 %
20	20	38,2	33 %
25	21	35,5	5 %
30	22,5	33,5	7 %
40	30	30,5	33 %
50	37,5	28,3	25 %
60	40	26,7	7 %



### (3) Considérations

Le taux d'infiltration signifie le degré d'infiltration de l'eau d'irrigation ou de pluie dans le sol à certaines conditions données, est exprimé en général par "mm/heure". Il porte également le caractère d'un indice de perméabilité du sol non saturées qui est un facteur essentiel pour l'irrigation des champs, permettant de déterminer la méthode d'irrigation et la résistance appropriée d'irrigation (champs sec). On se dit qu'aux États-Unis, lorsque le taux d'infiltration de base est supérieur à 7,8 mm/heure, la méthode d'irrigation superficielle n'est plus applicable à cause de la perte considérable par l'infiltration à grande profondeur. Au Japon, dans la plupart des cas, le taux d'infiltration est généralement supérieur à cette valeur (source; L'irrigation et le drainage, P133, M. Maruyama et autres, édition YOKENDO), et pour l'irrigation des champs "secs" (par rapport aux rizières), cette valeur ne dépasse pas 30mm/heure dans toutes les conditions du sol.

Parmi les résultats d'étude, sauf certaines valeurs inférieures à cent en aval et au milieu (aux Points C et E), toutes les valeurs obtenues sont supérieures à 30mm/heure, ce qui révèle que les champs se situant dans la zone bénéficiaire du Projet présentent une très haute perméabilité (Tableau 3-5-2-3). Par conséquent, il s'avère inapte, dans ce projet, d'adopter les méthodes d'irrigation telles que l'irrigation entre sillons et l'irrigation par pulvérisation, et qu'il serait nécessaire de mettre en application une méthode d'irrigation "économique" par laquelle l'eau d'irrigation sera fournie directement et seulement aux pieds des végétaux.

**Tableau 3-5-2-3: Taux d'infiltration de base**

	A (mm/ha)	B (mm/ha)	C (mm/ha)	D (mm/ha)	E (mm/ha)
État naturel	580	672	75	628	34
Capacité de champ	78	-	-	490	-

Note) Capacité de champ; État humide après 24 heures écoulées

**Tableau 3-5-2-4: Résistance admissible d'irrigation (mm/ha) (extrait d'irrigation des champs secs)**

Sol	Terrain plat	Terrain incliné
Sableux	30	20
Terreau	15	10
Argileux	10	7

### 3-6. Étude de ressources d'eau disponibles

#### 3-6-1. Étude complémentaire sur l'hydrologie

(1) Tendances à long terme dans les domaines hydrométéorologiques

(a) Données collectées

Les données hydrométéorologiques suivantes ont été collectées:

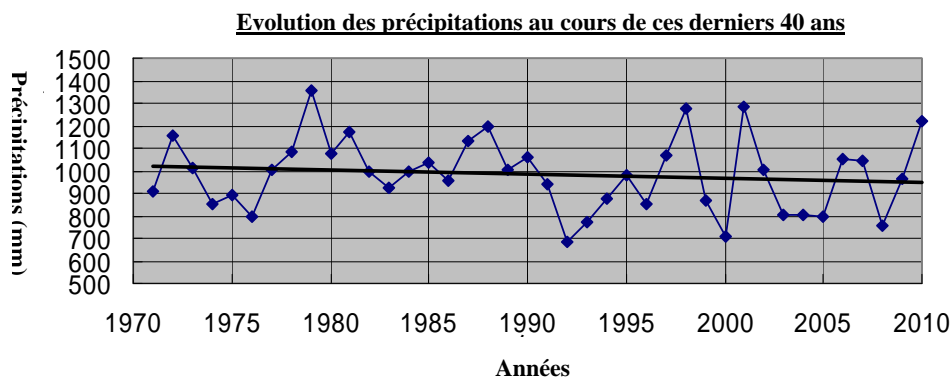
**Tableau 3-6-1-1: Données hydrométéorologiques**

Catégorie	Endroit	Détail	Période	Référence
Précipitations	Aéroport Kigali	Mensuelles	1998 à 2011	
	Aéroport Kigali	Journalières	1971 à 2009	Rapport de 2009
	Aéroport Kigali	Mensuelles, 24h maximum	1971 à 2008	Rapport de 2009
	Kibungo	Journalières	1932 à 1993	Rapport de 2009
	Kibungo	Mensuelles	2011	Incomplet
Température	Aéroport Kigali	Journalières	1960 à 1994	
	Aéroport Kigali	Mensuelle, max./min.	1998 à 2011	
	Aéroport Kigali	Journalière, max./min.	1971 à 2008	Rapport de 2009
	Kibungo	Journalière, max./min.	1973 à 1993	Rapport de 2009
	Kibungo	Mensuelle, max./min.	2011	Incomplet
Ensoleillement	Aéroport Kigali	Journalières	1960 à 1994	
	Aéroport Kigali	Mensuel	1998 à 2007	Incomplet
	Aéroport Kigali	Journalier	1971 à 2008	Rapport de 2009
	Kibungo	Journalier	1990 à 1992	Rapport de 2009
	Kibungo	Mensuelle moyenne	2011	Incomplet
Humidité	Aéroport Kigali	Journalière moyenne	1971 à 2008	Rapport de 2009
	Aéroport Kigali	Mensuelle moyenne	1998 à 2011	
	Kibungo	Journalière moyenne	1990 à 1992	Rapport de 2009
	Kibungo	Mensuelle moyenne	2011	Incomplet
	Kibungo	Journalier max.	1974 à 1991	Rapport de 2009
Vent	Aéroport Kigali	Mensuel max.	1974 à 1993	Rapport de 2009
	Kibungo	Journalier max.	1974 à 1991	Rapport de 2009
Évaporation	Aéroport Kigali	Journalière cumulée	1971 à 1993	Rapport de 2009
	Kibungo	Journalière cumulée	1990 à 1993	Rapport de 2009

(b) Tendances à long terme dans les domaines hydrologiques et météorologiques

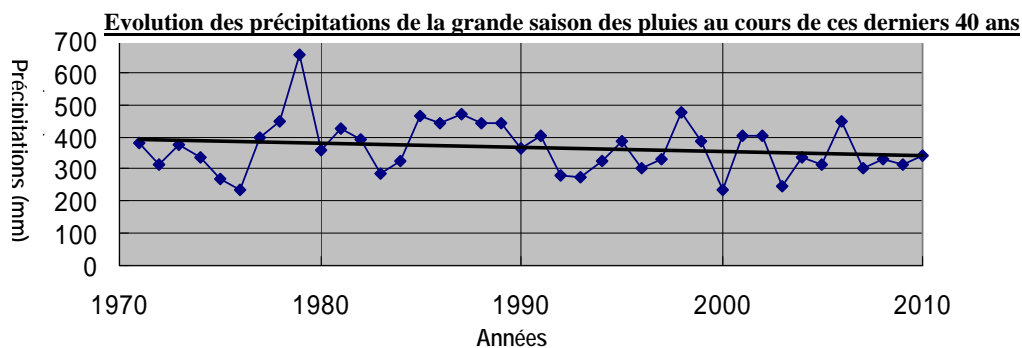
i) Précipitations

Les précipitations observées au niveau de l'aéroport de Kigali pendant ces derniers 40 ans, qui sont reprises dans le tableau ci-dessus (Tableau 3-6-1), ont tendance à décroître à long terme.

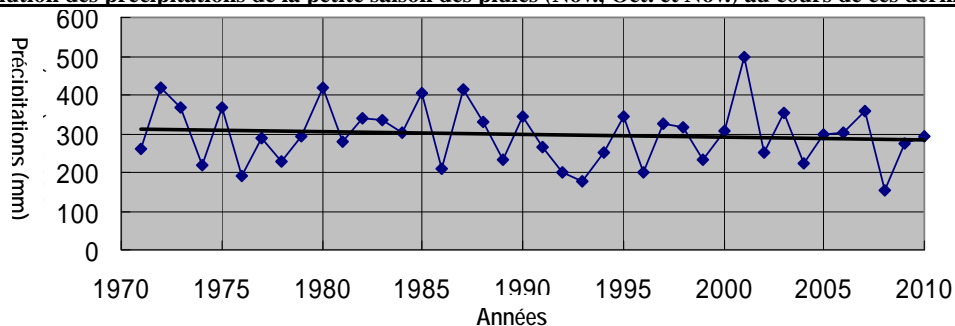


**Fig. 3-6-1-1: Évolution des précipitations au cours de ces derniers 40 ans**

Cette tendance de décroissance est principalement engendrée par la forte décroissance des précipitations durant la grande saison de pluie (mars, avril et mai).



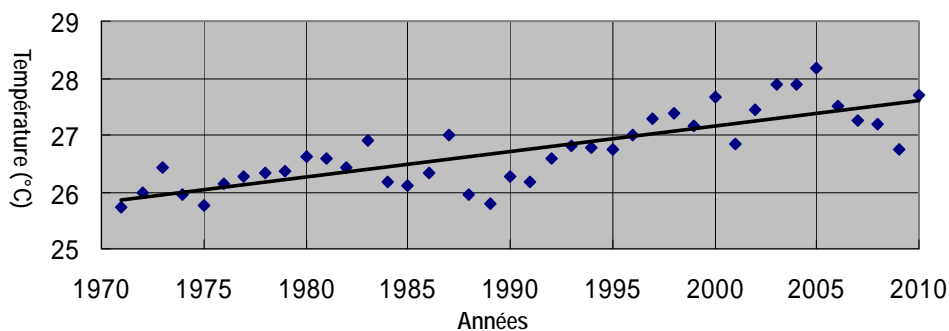
**Evolution des précipitations de la petite saison des pluies (Nov., Oct. et Nov.) au cours de ces derniers 40 ans**



**Fig. 3-6-1-2: Tendence à long terme des précipitations au cours de ces derniers 40 ans**

## ii) Température

L'évolution de la moyenne annuelle de température maximale du jour observée pendant ces derniers 40 ans fait ressortir une augmentation de température d'environ 1,5°C. Il est constaté que le réchauffement de la terre est très manifeste au Rwanda.

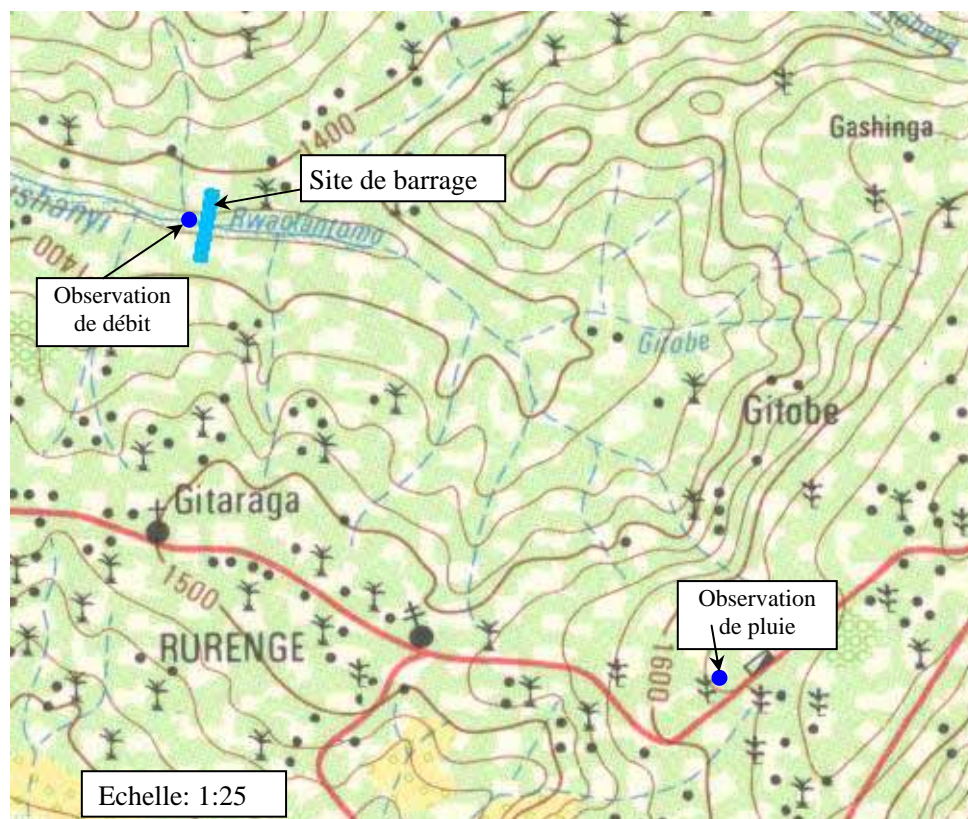


**Fig. 3-6-1-3: Tendence à long terme d'évolution de la moyenne annuelle de température maximale du jour au cours de ces derniers 40 ans**

## (2) Observation des précipitations et débit de courant au site de barrage

Au site de barrage et ses alentours, les stations d'observation dotées de pluviomètres, débitmètres, etc. ont été mises en place par M. Akihisa NAKANO, Conseiller d'irrigation envoyé par le MINAGRI (Expert de JICA), et elles sont opérationnelles depuis le mois de février 2012.

La station d'observation de débit est équipée de déversoir à cannelures larges, indicateurs de niveau, manomètres, dispositif de prélèvement de particules en suspension dans l'eau lors d'inondation, enregistreur automatique, etc.



**Fig. 3-6-1-4: Emplacement de stations d'observation**





Station d'observation  
des précipitations



Station d'observation  
de débit



### 3-6-2. Reconnaissance hydrogéologique de la source

#### (1) Reconnaissance aux alentours du site barrage

##### (a) Généralités

Date: 06 et 07 mars 2012

Participants: MM. Nakano (Conseiller de MINAGRI)  
Toku (Chef de la mission d'étude)  
Hiki (Rédacteur d'équipe d'aperçu)  
Jules  
Fred  
Yahaya

##### (b) Site de barrage



**Fig. 3-6-2-1: Position de stations d'observation de débit**

Le site de barrage se situe en aval du confluent des cours d'eau découlant des sources émergeant aux fonds des deux vallées d'érosion en cône de déjection.

Du fait que la vallée en amont du site de barrage se présente en forme de poêle plate avec son versant en pente douce, il faudrait prévoir un barrage assez haut en conséquence, si la rétention d'un certain volume d'eau dans le réservoir est envisagée.



La route passant à la rive droite a été aménagée à deux voies, mais il serait nécessaire de décaler cette route vers côté montagne, cela dépendra finalement de la hauteur du barrage projeté.



Sur le flanc de la colline de la rive droite du site de barrage, des tranchées de drainage sont creusées le long de l'isohypse pour prévenir l'érosion. Ces ouvrages sont d'ailleurs classés dans le cadre de «Land Husbandry» (Aménagement des terrains d'agriculture et d'élevage) qui s'adapte au terrain en pente douce. Comme les photos ci-dessus le montrent, le terrain est plus ou moins aménagé en terrasse. Par ailleurs, presque dans le prolongement de l'axe du barrage et sur la pente supérieure, reste une vacherie où trois vaches sont élevées dont s'occupent trois éleveurs. Voici l'interview avec eux:

- Ils habitent dans une maison en famille sur la colline suivant la politique du gouvernement.
- Les vaches ont besoin de 70 litres d'eau par jour.
- La famille a besoin de 70 litres d'eau par jour pour trois adultes.
- La loi interdit de descendre des vaches et de les laisser boire de l'eau aux cours d'eau.



Aux alentours du site de barrage, des caféiers (café), avocats, bananes, guavas, papayers (papayes), limes, etc. sont cultivés. Ici ce sont des caféiers et bananiers qui sont cultivés dans des vergers, mais d'autres sont plantées dans un coin de champs ou à côté de la maison.



Caféiers et manguiers

### (e) Vallée du barrage chinois

Un barrage est construit par l'aide chinoise dans la vallée adjacente derrière la crête de la vallée de la rive gauche du site. La fuite d'eau de l'écluse de déversement qui a été observée lors de la visite en 2010 est toujours présente.



Le long de la route se prolongeant sur le flanc gauche de cette vallée, un certain nombre de pompes à main sont installées dans le cadre de l'aide de la Chine, mais parmi elles, seulement 02 pompes sont encore opérationnelles, tandis que leur qualité d'eau est bonne.

Alimentées en eau de sources, des rizières sont développées aux vallons côté gauche de la vallée.

Dans la vallée du barrage chinois, un grand nombre de rizières restent non ensemencées. D'après les cultivateurs, ils ont dû vendre leur récolte trop tard pour acheter des grains de riz et des engrais en temps voulu, parce que leur négociant-commissionnaire (avec qui ils avaient passé un contrat de vente) est arrivé en retard.



Au confluent des deux cours d'eau, le débit de celui venant de la vallée du barrage chinoise est prédominant de telle manière que l'écoulement d'eau venant de la vallée de Ngoma-22 semble à stagner, voire à refluer, par la force de l'autre cours.

### (d) Rizières dans la vallée de Ngoma-22

Dans la vallée de Ngoma-22, les rizières s'étendent sur une longueur d'environ 3km et une largeur d'environ 70 m depuis juste au-dessous du site de barrage jusqu'au confluent en aval du site (la surface totale est 20 ha approximativement). Ces rizières sont alimentées en eau de la rivière qui s'écoule au milieu de la vallée et des sources émergeant à deux flancs de la vallée. L'eau d'irrigation est utilisée de manière répétitive; elle est prise une fois de l'eau de la rivière retenue par un simple déversoir primitif, et après l'alimentation des rizières, elle retourne à la rivière. Les champs de rizière sont morcelés en lot de 20 m × 20 m environ.





(e) Situation en aval du confluent

Cette rivière rejoint de nouveau, à 2,5 km en aval du confluent, celle venant de Gashonvi et débouche dans le lac Bugesera. Tout le long de 2,5 km entre deux confluent de cette rivière, s'étendent des champs de riz. L'eau d'irrigation est amenée aux rizières par l'écluse de contrôle de niveau.



Prise d'eau d'irrigation à l'écluse et rizières côtoyées

Côté Gashonvi, les rizières se développent également sur les plaines du fond des vallées de Gashonvi à Ruvuyu et de Gashonvi à Kamiranzovu, mais dans la direction du lac, elles se limitent au pied du village de Gishike, et depuis ce point, ce sont des marais de papyrus touffu. La zone marécageuse de cette sorte appartient au domaine de l'Etat où le développement est limité par la politique en matière de la protection des zones humides (marécage).



Etendue des rizières près de Gashonvi



### Marais et papyrus touffu près de Pépinière



Un réservoir situé au plus profond de la vallée de Goshovi  
(hauteur de barrage: environ 20 m, longueur de crête: environ 200 m, propriété inconnue)

#### (2) Etude sur la situation actuelle des cours d'eau et d'irrigation

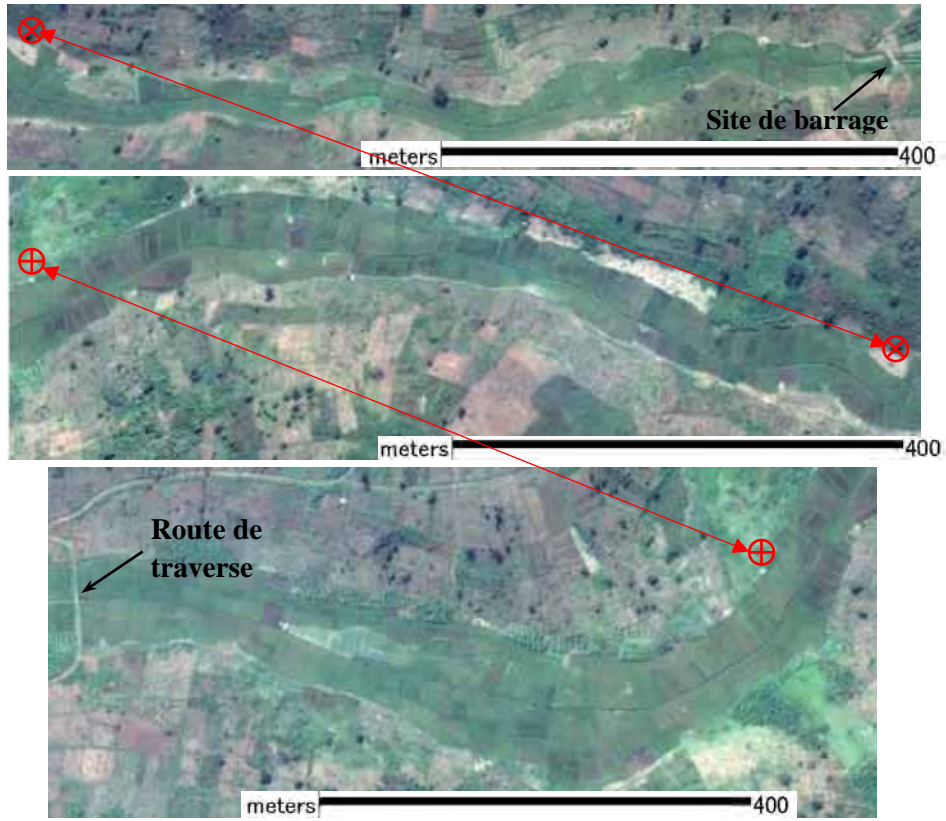
##### (a) Situation en amont du site de barrage

Au fond de la vallée en amont du site de barrage, tout le long de 1km, les champs secs sont alimentés en eau de source, aucun cours d'eau n'y existant. C'est seulement au pied du site de barrage projeté, les eaux de source se forment en un ruisseau, ce qui signifie que le barrage est localisé au point le plus étroit de la vallée.



##### (b) Situation en amont du site de barrage (Etude du 08 avril)

Le cours d'eau ruisseau traverse les champs en répétant sa disparition et son émergence. Lorsqu'il rencontre plusieurs parcelles de champs de rizières, son eau est amenée par canal et passe côté colline, mais il y a des cas où il passe le long des diguettes de champs. A la date du 08 avril, toutes les rizières, sauf deux parcelles, sont repiquées et inondées, à part quelques-unes qui manquent encore d'un peu d'eau.







Petit déversoir et prise d'eau à 50m en aval du site de barrage



Espace à côté de diguettes réservé au passage d'eau aux rizières adjacentes



L'eau s'écoulant en aval, tantôt de la rizière au ruisseau, tantôt du ruisseau à la rizière forme un ensemble de courant.



Les eaux de source s'ajoutent par endroits.



Canal à côté de la diguette de champ (alimentant le champ voisin par la canalisation souterraine)



La quantité faible d'eau cause l'inondation insuffisante du riz.



Déversoir et amenée d'eau côté colline (à 2km en aval)





Prise d'eau du canal côté colline et irrigation entre sillons (l'amenée côté colline en cas de plusieurs rizières)



Ruisseau en répétant son parcours tantôt à côté colline tantôt au champ



A la section traversant de la route, le cours d'eau se ramifie en trois.



Amenée d'eau au pied de la rive gauche



Ruisseau principal



Amenée d'eau au pied de la colline de la rive droite

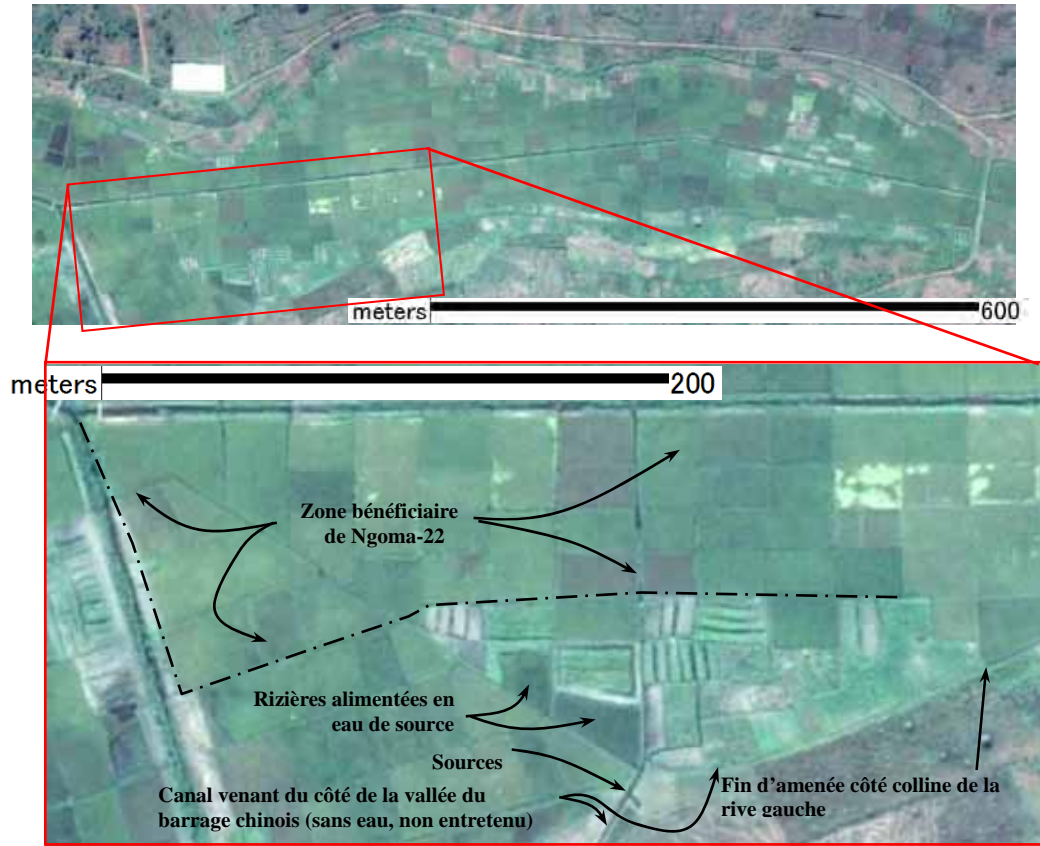


Déversoir de cours d'eau principal et amenée d'eau côté colline (à 70m en amont du confluent)



Fin de l'amenée côté colline (à 250m en amont du confluent) où la connexion avec le réseau de la vallée du barrage chinois est coupée

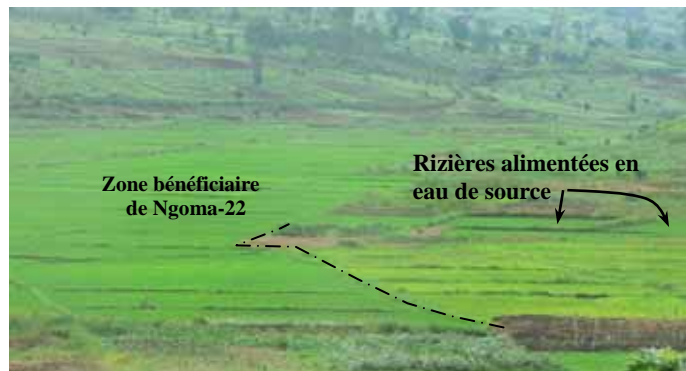




Source au pied de la colline



A gauche: Zone bénéficiaire côté Vallée du barrage chinois (champs non ensemenés)



## (c) Résultats d'observation sur le volume de débit de ruisseau

Le débit du cours d'eau de Ngoma-22, enregistré au point d'observation situé juste en amont du confluent est d'environ 70ℓ/sec. pendant la période allant de la fin mars à la mi-avril, et ce débit est plus de trois fois celui enregistré au point d'observation situé au site de barrage et deux fois en saison de pluie.

**Tableau 3-6-2-1: Résultats d'observation sur le débit de ruisseau**

Date	Nom			
	Confluent (ℓ/sec)	Pont (ℓ/sec)	Section-X 1 (ℓ/sec)	Section-X 2 (ℓ/sec)
25/03/2012	69,8	183		
01/04/2012	71,3	241		
08/04/2012	73,5	345		
19/04/2012	68,3	52		
25/04/2012	236	806		
01/05/2012	210	881	150	90
12/05/2012	218	158	196	172
20/05/2012	223	958	106	188

## Points d'observation



## (3) Etude sur les eaux de source

## (a) Généralités

Reconnaitances: le 07 mars (reconnaissance préliminaire)  
le 12 mars (reconnaissance complémentaire)

Objet: Reconnaissance du site et observation de débit d'eau de source



**Fig.3-6-2-2 Points d'observation d'eau de source**

## (b) Résultats de reconnaissances

En remontant le cours d'eau qui coule au site de barrage, on arrive à la source comme le point de départ du ruisseau. Dans la vallée de Ngoma 22, il existe un certain nombre de sources, et la disposition de sources et les formes géomorphologiques observées au-dessus de ces sources nous révèlent, nous semble-t-il, une corrélation, c'est-à-dire, ces sources émergent très souvent au pied du relief érodé en cône de déjection. Le relief vallonné et érodée est censé jouer un rôle d'un bassin versant.



Source-1

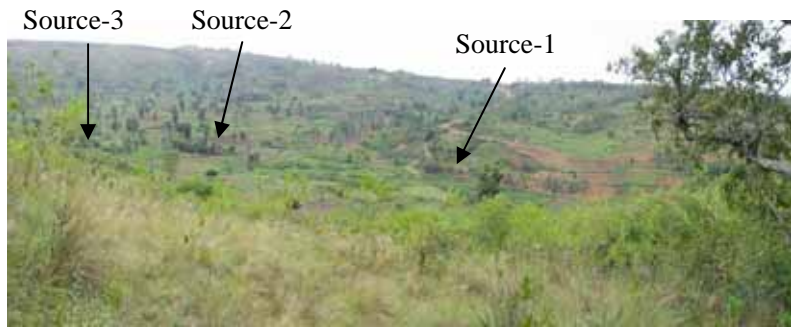


Source-2





Source-3



Source-4



Source-4'



Source-5



Source-5'



Source-5''



Source-6



Source-6'



Source-7



Source -7 et relief d'un cône de déjection érodé derrière la source



Source-8



Source-9

## (c) Mesure de débit d'eau de source

## i) Mesures



## ii) Résultat de mesures

**Tableau 3-6-2-2: Résultats de mesures de débit**

Nom	Source-1	Source-6	Source-7	Source-8	Source-9
Date	(l/sec)	(l/sec)	(l/sec)	(l/sec)	(l/sec)
12/03/2012	0,19	0,45	0,24	0,28	0,56
25/03/2012	1,00	0,43	0,26	0,29	0,56
01/04/2012	1,05	0,45	0,26	0,29	0,59
08/04/2012	1,00	0,50	0,30	0,27	0,63
19/04/2012	1,05	0,48	0,43	0,25	0,67
25/04/2012	1,67	0,81	0,77	0,30	1,11
01/05/2012	1,72	0,83	0,83	0,26	1,05
21/05/2012	1,72	1,00	1,00	0,28	1,02
20/05/2012	1,58	0,92	0,89	0,26	1,05

## (4) Essai de pompage

## (a) But

- Confirmer l'existence d'une nappe aquifère disponible comme la ressource d'eau d'irrigation
- Saisir la quantité disponible d'eaux souterraines pour pomper de la nappe aquifère

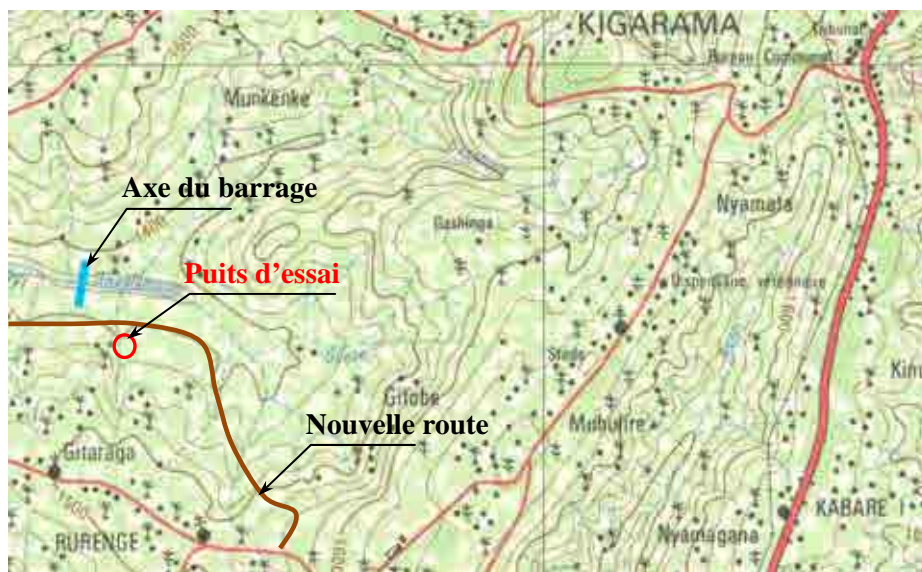
## (b) Plan d'essai

## 1) Forage du puits d'essai et de sa position

L'essai de pompage sur un puits existant a été initialement envisagé, mais comme il n'existe pas de puits dans la vallée de Ngoma-22 ni sur les collines voisines, il a été décidé de forer un nouveau puits pour l'essai de pompage.

L'endroit du puits d'essai a été localisé à un point en amont du contrefort de la rive gauche du barrage, (Fig. 3-6-2-3), selon les critères de choix; premièrement, un endroit au bord d'un relief vallonné où les eaux de surface sont facile à affluer, ce qui offre une haute possibilité de l'existence de l'aquifère; deuxièmement, un endroit facilitant d'amener de l'eau pompée au canal du barrage et d'amener et installer du matériel de forage.





2) Période d’essai

Environ un mois allant du début avril au début mai

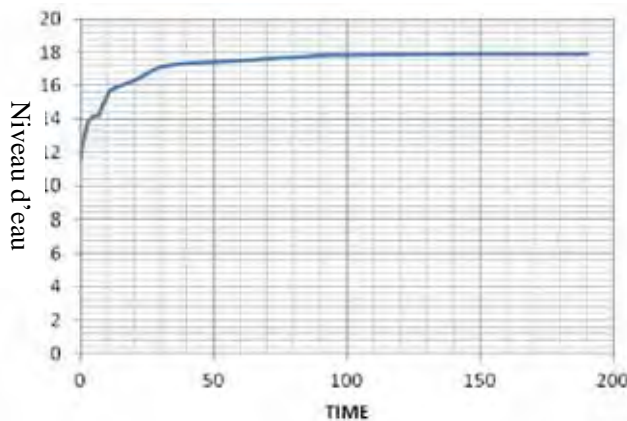
3) Contenu d’essai

**Tableau 3-6-2-3: Contenu d’essai de pompage**

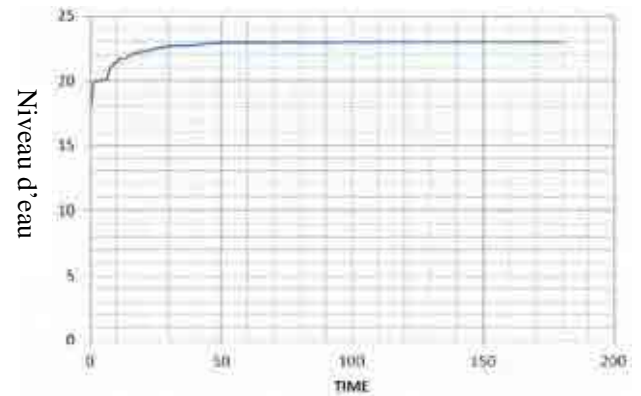
Forage de puits d’essai		Essai de pompage	
Profondeur	30m (à prolonger en cas d’un niveau d’eau insuffisant dans l’axe de puits)	Essai préliminaire	Vérification des équipements et instruments d’essai. Estimation des débits de pompage appropriés pour l’essai de pompage par paliers.
Diamètre	176,4mm (compte tenu de l’installation de la pompe et des garnitures)	Essai de pompage par paliers	3 paliers croissants et 2 paliers décroissants. Maintien de pompage de plus de 3 heures. Enregistrement des niveaux d’eau à l’intérieur du puits.
Enregistrement de forage	Enregistrement de l’état géologique du sol objet de forage, à partir d’observations	Essai de pompage à débit constant	Essai de pompage à débit constant. Maintien de pompage plus de 48 heures avec suivi de remontée de

	sur le dépôt visqueux, etc. faites lors de forage.		niveau après pompage.
Mise en place de garnitures de forage	Mettre en place des garnitures de forage pour la protection de paroi de puits lors d'essai de pompage	Enregistrement et analyse	Analyse des résultats d'essai. Enregistrement des données obtenues sur le niveau d'eau constant et varié, l'aquifère, etc.

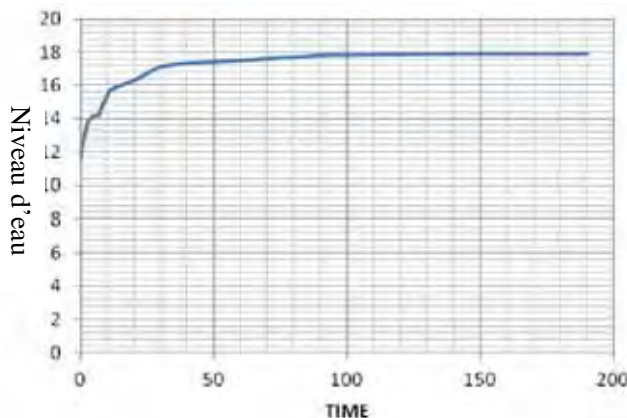
### Résultats d'essai



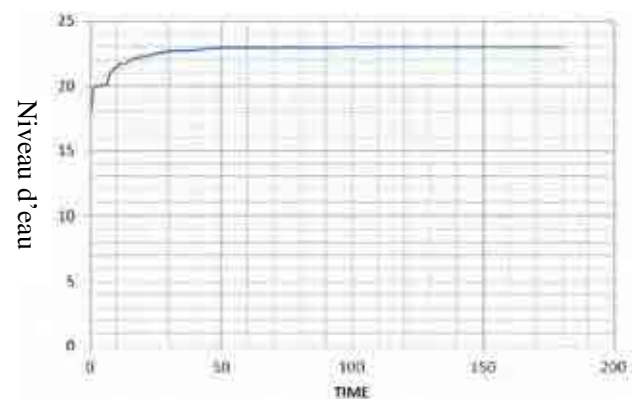
Essai par paliers [débit: 1 500ℓ/h]



Essai par paliers [débit: 2 500ℓ/h]



Essai par paliers [débit: 3 500ℓ/h]



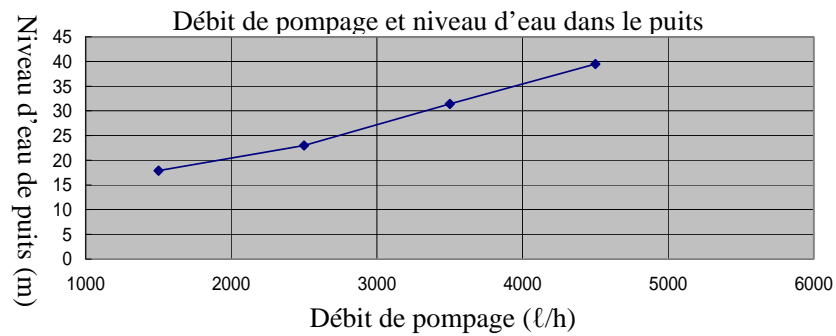
Essai par paliers [débit: 4 500ℓ/h]

**Fig.3-6-2-4: Résultats de pompage**

#### c) Débit maximum disponible de pompage

En cas de pompage à débit faible, le niveau d'eau dans le puits est maintenu élevé. Ce niveau commence à descendre au fur et à mesure de la montée de débit (Fig. 3-6-2-5). En supposant que cette corrélation reste jusqu'à ce que le niveau atteigne l'aquifère, et compte tenu du fait que l'aquifère se situe de 46 à 48m selon les résultats ci-dessous, le débit maximum disponible est estimé à 5 000 l/h à peu près.

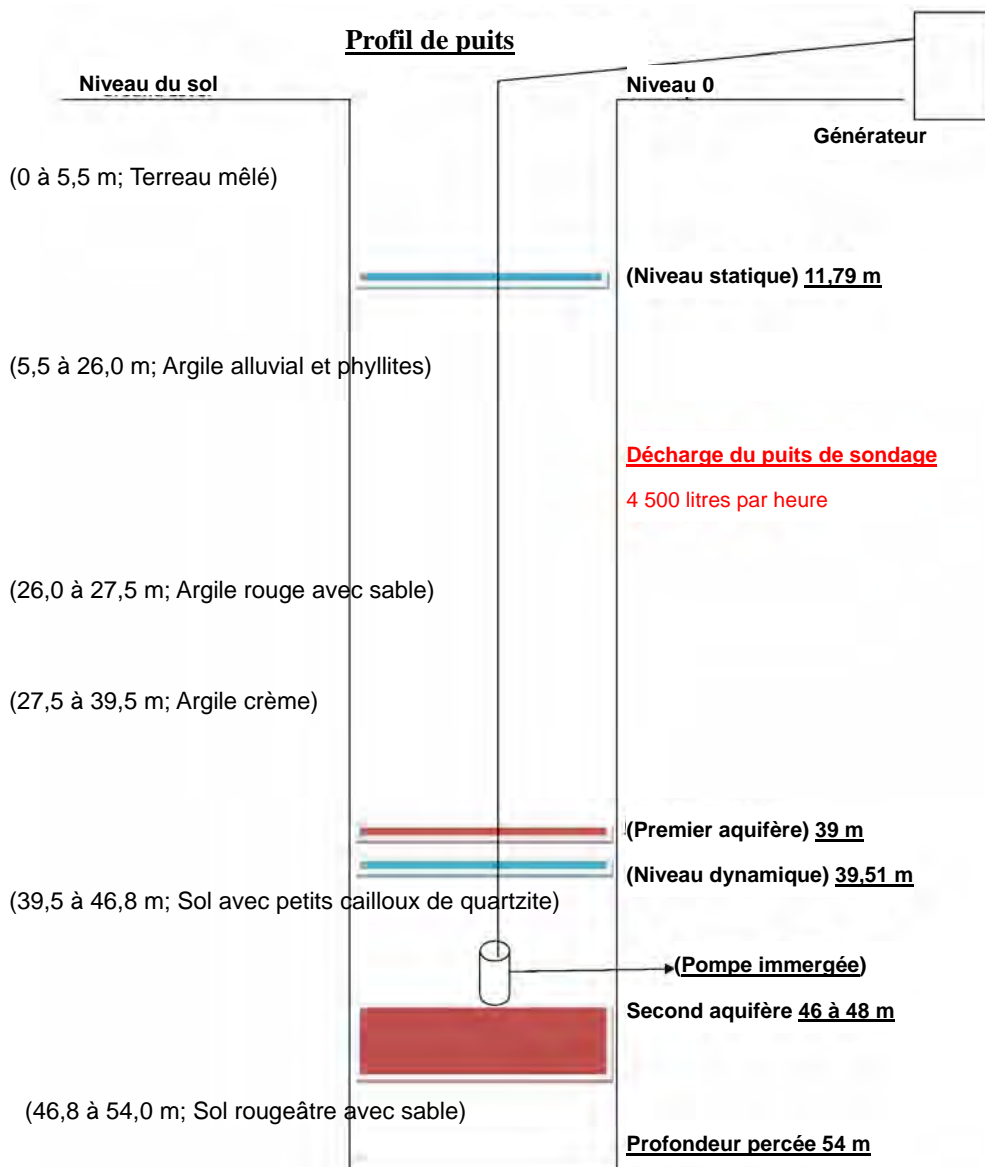




**Fig. 3-6-2-5: Débit de pompage et niveau d'eau dans le puits**

d) Profil hydrogéologique du puits de sondage

Le profil hydrogéologique du puits de sondage est schématisé ci-dessous. L'eau pompée est puisée à l'aquifère à la profondeur de 46 à 48m. L'aquifère se constitue d'une couche de sol rouge contenant du sable.



**Fig. 3-6-2-6: Profil hydrogéologique du puits de sondage**

## (5) Potentialité de mise en valeur des eaux souterraines

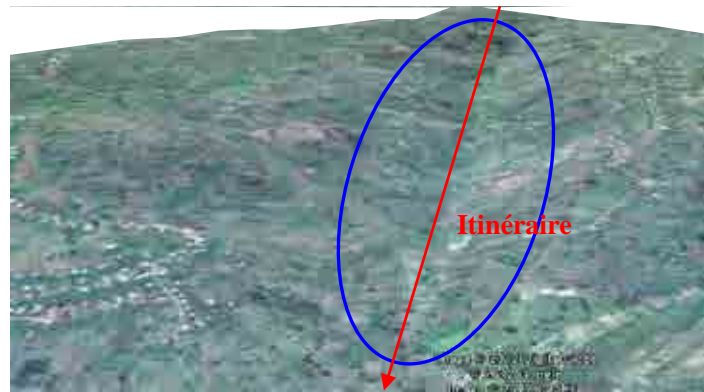
## (a) Vallée sèche

## i) Généralités

Date d'étude: les 16 et 18 mars 2012

Participants: MM. Toku, Hiki et Fred

Site d'étude:



## ii) Travail de terrain

La plantation bananière se prolonge au pied du versant avec des fossés excavés à l'intervalle de 25m pour collecter les eaux de surface.



1. Ravin vu de loin (à partir du versant du fond du vallon gauche)



2. Ouvrages de collecte des eaux de surface à la plantation bananière

En descendant jusqu'au pied du versant, le vallon droit apparaît au loin. Son relief représente un cône de déjection érodé, et à la sortie du vallon, le terrain est surélevé comme un coteau, dont l'origine est

un point d'interrogation (soit un sédiment d'origine de vallée, soit une trace de relief érodé). En aval, se forme un versant raide (à peu près 5m de différence en hauteur). Au pied de ce versant, la surface de terrain est humidifiée; comme si une source allait en émerger si on y creusait.



3. Vallon droit vu de loin – terrain surélevé –



4. Terrain humide au pied d'un versant raide à la sortie du vallon

En descendant environ 20 m et à côté de la plantation bananière, une source émerge d'un fossé et forme un ruissellement d'eau. La substance sédimentée (qui nous laisse à penser qu'il s'agit des "bactéries de fer") au fond de cours donne une couleur de brun-rougeâtre au ruissellement. La largeur de couloir du vallon est étroite (15 m environ).



5. Source émergeant du fossé à côté de la plantation de bananes



6. Ruissellement et bactéries de fer

Un peu en aval, apparaît un relief érodé d'un cône de déjection du vallon gauche. A la sortie du vallon, le terrain est aussi surélevé comme un coteau, soit un sédiment d'origine de vallée, soit une trace de relief érodé, et au pied de ce coteau, une source en émerge.



7. Relief érodé d'un cône de déjection et un coteau



8. Source émergeant

En descendant encore, le couloir s'élargit (une largeur d'environ 50 m). Le débit du ruisseau augmente (approximativement 0,2 à 0,3 l/sec.). Sur le côté droit, les vallons s'ouvrent et leur relief érodé d'un cône de déjection du fond est vaste et profond. A la sortie, le terrain est toujours surélevé comme un coteau.





9. Vaste étendue de la vallée et ruisseau



10. Vallon droit profond et coteau à la sortie

En aval à environ 100m, le couloir devient étroit et la pente du fond de vallée fait sentir une inclinaison inverse. Ici le ruisseau maigrit et enfin disparaît sous la terre. La même pente rude continue environ 50m, puis le couloir au fond de la vallée reprend sa largeur, et le ruisseau réapparaît en offrant un coin de puisage.



11. Couloir étroit et lit en pente douce



12. Puisage au pied du versant raide

Dans le puits de sondage creusé à côté du coin de puisage, l'eau est apparue à 70cm au-dessous du niveau du sol qui correspond à celui du ruisseau (observation visuelle).



13. Trou de sondage No.1 et son niveau d'eau

Le couloir de vallée devient étroit et la pente du lit au fond de la vallée devient si douce qu'on a l'illusion de monter. Il est supposé que la pente douce du lit au couloir étroit et celle raide au large couloir (à l'extrémité du couloir étroit) de la vallée soient formées par la sédimentation de terres emportées de déluge. Dans le puits de sondage No.2 creusé à environ 50m en aval de celui No.1, les eaux souterraines sont apparues à 60cm au-dessous de la surface du sol.



14. Configuration en terrasse en fonction de variation de largeur du couloir



15. Eau dans le puits de sondage No.2

A environ 50 m en aval du puits de sondage No.2, celui No.3 a été creusé sur la pente du vallon gauche dont l'altitude est supérieure de 2,5 m à celle du lit du fond de la vallée. Les eaux souterraines ne sont pas apparues dans ce puits de sondage.



16. Couloir étroit où sont creusés les trous de sondage No.1 et No.2



17. Trou de sondage No.3

En descendant davantage, le couloir de la vallée devient plus large et ses vallons y entrent du côté droit. La partie supérieure forme un relief érodé d'un cône de déjection assez profond. On voit des affleurements d'ardoise dans le chemin montant au vallon. Au bas du vallon, une petite source émerge (débit: 0,001 l/sec.).



18. Affleurement d'ardoise dans le chemin montant du vallon



19. Source au pied du vallon

D'ici le couloir de la vallée est élargie et plat. Sur le chemin vers la sortie, on a constaté la mise en pleine valeur du cours d'eau servant tantôt au lavoir, tantôt à l'eau d'irrigation amenée par la canalisation artificielle. Mais après le lavoir qui se situe à environ 300 m de la sortie de la vallée, le cours d'eau disparaît. A la sortie de la vallée, la route traverse et le terrain est sec.



20. Lavoir



21. Canal artificiel (débit: 1  $\ell$ /sec)



22. Relief érodé en cône de déjection vu du vallon gauche juste avant la sortie



23. Vallée profonde vue du vallon droit avant la sortie

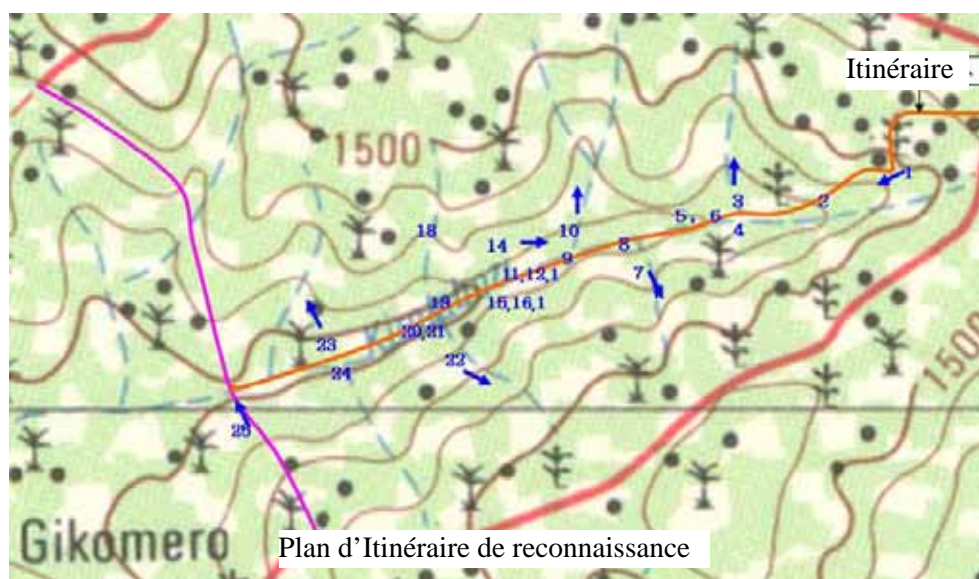


24. Ruisseau à 300 m avant la sortie  
(débit: 0,09  $\ell$ /sec.)



25. Route qui traverse la sortie de la Vallée





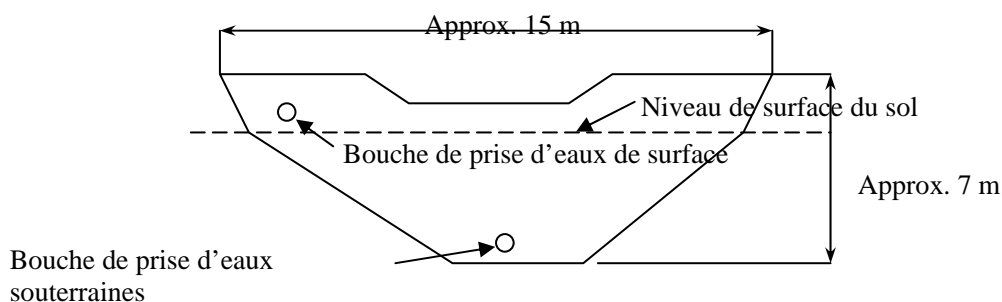
**Fig. 3-6-2-8: Endroits où les photos étaient prises**

### iii) Considérations

Il est constaté un rapport caractéristique entre l'inclination longitudinale et la largeur du couloir/lit de la vallée; la pente devient douce lorsque le couloir est étroit et elle est raide au point de départ d'où le couloir commence à s'élargir. Le couloir large est plat, tandis qu'il est très raide par endroits quand il est étroit. Cette caractéristique géomorphologique est observée trois ou quatre fois sur le parcours du couloir de la vallée, et quant au cours d'eau, il disparaît enfin complètement au-dessous du terrain à la sortie de la vallée. Ce relief en terrasses (forme de section longitudinale) est censé d'être formé par les sédiments de terre emportés par des déluges restant à la partie du couloir étroit. Le sédiment se compose de terres argilo-sableuses et silto-argileuses, et comme le niveau de la nappe phréatique est assez haut près de la surface du sol, l'eau de la nappe phréatique apparaît tôt au cours de creusement du puits de sondage, ce qui nous accorde une hypothèse sur la haute fluidité dans le mouvement horizontal des eaux souterraines. En conclusion, la potentialité des eaux souterraines pour l'irrigation est très haute.

Le cours d'eau observés sur tout couloir de la vallée remonte à ses sources, malgré son disparition totale à la sortie de la vallée. Selon les observations faites après une rupture du travail au champ due aux pluies du 16 mars, le volume d'eau des sources a accru à cause des précipitations du jour précédent mais il restait à l'ordre de 3 ou 4 fois. Le relief géologique caractérisé par la formation en terrasses, a empêché les eaux de surface de couler violemment dans la vallée. Partant de ces observations, il vaudrait mieux conserver les eaux de surface dans un réservoir de barrage pour alimenter l'aquifère, et utiliser seulement celles du cours d'eau qui sont constituées des eaux de source, en tant que les eaux de surface.

L'ouvrage à concevoir à cette fin précise, devra avoir une structure d'un barrage semi-souterrain en même temps qu'un barrage de sédimentation.



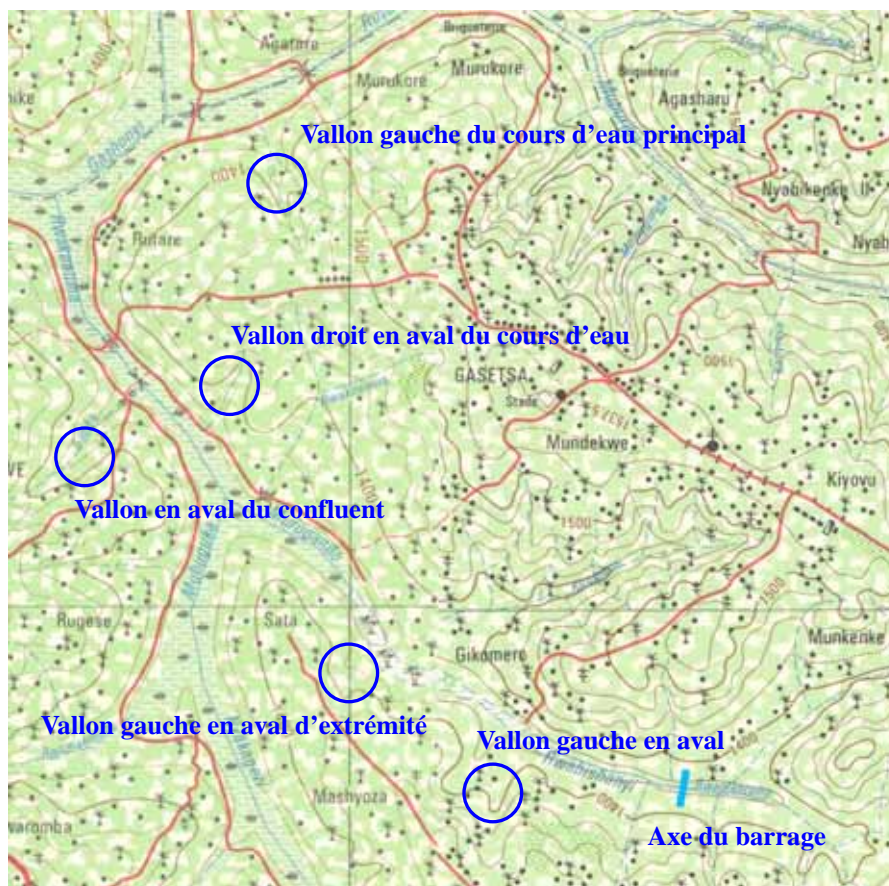
**Fig. 3-6-2-9 Schéma d'un barrage semi-souterrain et de sédimentation**



## (b) Vallée d'érosion en cône de déjection

## i) Généralité

A l'issue de la reconnaissance menée sur les sources, qui a fait ressortir le fait que, dans la plupart des cas, il existe des vallons érodés en cône de déjection en amont des sources, ce qui nous a orientés à concevoir une hypothèse sur le rôle qui joue le relief érodé de cône de déjection comme un bassin de déversoir. Fondé sur cette hypothèse, l'objectif de la reconnaissance sur les lieux a été porté autour de deux axes; l'un pour la recherche et la confirmation de l'existence des sources et des ruisseaux, et l'autre, le cas échéant, pour la recherche et la confirmation de l'existence des eaux souterraines en peu profondeur par forage des trous de sondage. Les emplacements de cette étude sur le champ sont identifiés sur la figure ci-dessous (Fig. 3-6-2-10).



**Fig. 3-6-2-10: Position des puits de sondage creusés**

## ii) Vallon de la rive gauche à extrémité en aval (le 24 mars)



La carte topographique d'une échelle 1:50 000 ne fait pas clairement ressortir le relief érodé, mais sur la place, un cône de déjection quelle qu'en soit la taille, s'étend visiblement. Sailli au centre, chacun des deux vallons gauche et droit indépendants l'un de l'autre forme son cône de déjection, et leur ravins ne convergent jamais sur un point. Aucun ruisseau n'y existant, un puits de sondage a été creusé sur le vallon droit vu de la colline.



Relief érodé du vallon droit vu de la colline



Puits de sondage

La terre où le puits de sondage est creusé change de couleur de brun-rougeâtre en gris brunâtre à la profondeur de 0,8 m. Cette partie de terre contient des graviers durs et anguleux (breccia) (diamètre: 5 à 30 cm) d'origine de terre transportée. A partir de 1,6m en profondeur, la terre se transforme en ardoise fort érodée. Aucune eau souterraine n'en apparaissant, ce puits de sondage a été abandonné à 1,7 m de profondeur. En outre, s'est trouvée une couche de graviers latéritiques à la profondeur de 0,4 m.

### iii) Vallon de la rive gauche en aval (le 25 mars)



Ici aussi, une terrasse saillie au centre, deux vallons droit et gauche sont indépendants l'un de

l'autre, leur ravins ne convergent pas sur une sortie. Dans le vallon gauche, des sorghos sont cultivés, tandis que dans le vallon droit, une plantation de bananes couvre partout le terrain. Il existe dans le vallon droit une terrasse plate similaire à un bassin versant, tandis que le vallon gauche est fort érodé et taillé en profondeur, il n'existe plus de terrain plat. Dans ces vallons, ni source ni ruisseau n'ont été identifiés, il a été décidé de creuser un puits de sondage dans le vallon gauche vu de la colline.



Vallon gauche vu de la colline



Vallon droit vu de la colline

Le puits de sondage a été excavé à la profondeur de 4,9 m; mais aucune eau souterraine n'a été décelée. Etant donné que la terre de paroi du puits de sondage est formée de couche homogène argilo-sableuse d'une couleur brun-rougeâtre contenant une faible quantité de graviers anguleux de quartz, le terrain est supposé comme résiduel in-situ de granit extrêmement érodé.



Creusement d'un puits de sondage (diamètre: D = 4,9 m)

iv) Vallon de la rive droit en aval (le 01 avril)







En remontant le versant jusqu'à la sortie du vallon, le terre plat s'ouvre. Sans aucun ruisseau.



Apparition d'un petit ruisseau à 200m de la sortie du vallon



Encore plus loin à 50m, le terrain devient marécageux.



Plusieurs sources en amont



Même au fond du vallon, une source apparaît.

## v) Vallon en aval du confluent (le 01 avril)



En remontant le versant à la sortie du vallon, la pente devient douce.



Un ruissellement émerge à 200 m de la sortie du vallon.



Une source émerge à 300 m de la sortie du vallon (débit: 2 l/sec.).



Aux alentours de la source, l'eau stagne entre les sillons, et le terrain représente un état marécageux.



A 400m de la sortie, le couloir de vallée commence à devenir étroit et la pente du fond de la vallée est raide. Juste au-dessus, émerge une source que la



Plantation de bananes au fondu vallée

vi) Vallon de la rive gauche du cours d'eau principal (le 01 avril)



Le terrain de la vallée est plat et dégagé à la sortie, et le sorgho, entre autres, est planté. Lors d'une pluie diluviale, un peu des eaux troublées coulent de la sortie de la vallée, dit-on, mais aucune trace de cours d'eau n'y est trouvée. A environ 200 m de la sortie de la vallée, le couloir devient étroit et monte en pente douce. Le terrain du fond de vallée est très humide, comme si un cours d'eau émergerait d'un moment à l'autre, mais il n'apparaît jamais, et ce paysage continue presque à l'infini. Cependant, tout au fond de la vallée, des sources émergent après de grandes pluies, mais elles disparaissent finalement dit-on.





## vii) Evaluation de potentialité de la mise en valeur des eaux souterraines

Pour que des sources d'eau puissent exister au fond de la vallée, il doit y avoir un relief érodé d'un cône de déjection ainsi qu'un bassin de réception disposant d'une superficie supérieure à certaine envergure.

**Tableau 3-6-2-3: Evaluation de potentialité de mise en valeur des eaux souterraines**

Positons	Possibilité
Vallon gauche en aval à l'extrémité	La possibilité existe, mais le pompage par puits ou l'extraction par canalisation de collecte latérale sont requis
Vallon gauche en aval	La possibilité existe, mais le pompage par puits ou l'extraction par canalisation de collecte latérale sont requis
Vallon droit en aval	L'utilisation des eaux souterraines est possible par un simple ouvrage similaire à celui de la vallée sèche.
Vallon en aval du confluent	L'utilisation des eaux souterraines est possible par un simple ouvrage similaire à celui de la vallée sèche.
Vallon gauche du cours principal	La possibilité existe, mais le pompage par puits ou l'extraction par canalisation de collecte latérale sont requis

### 3-6-3. Etude sur la situation actuelle d'irrigation et de drainage

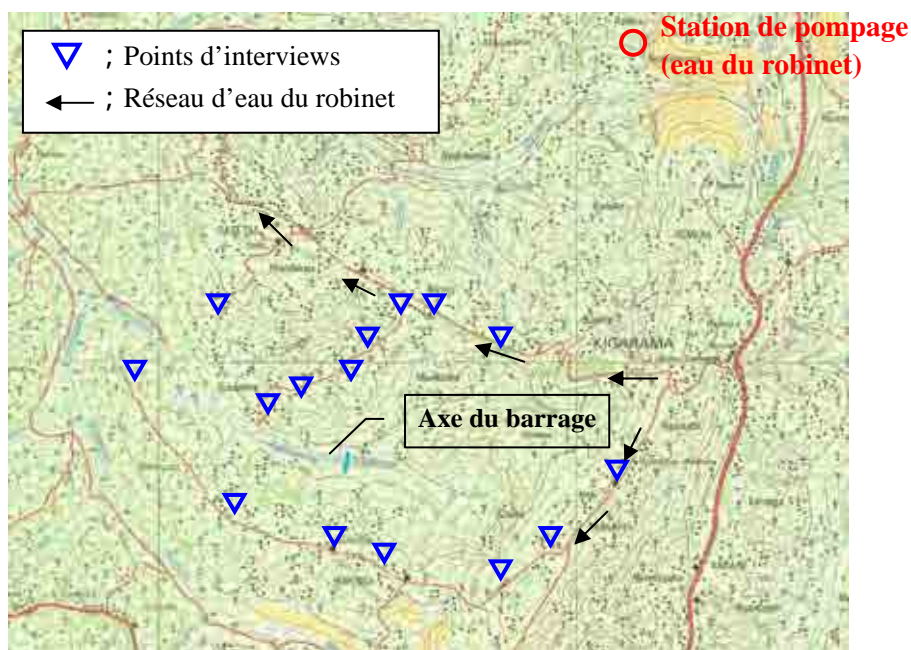
(1) Etude sur la condition réelle d'utilisation d'eau à usage domestique

(a) Généralités

Date; le 09 et le 10 mars 2012

Participants; MM. Toku, Hiki, Fred et Yaya

Site; Secteur de Kawalondo, Secteur de Remera



**Fig.3-6-3-1: Positions d'enquête sur la condition réelle d'utilisation d'eau à usage domestique**



(b) Station de pompage pour l'eau du robinet

Construction: 1988 (en 2008 réhabilitation dans cadre de l'aide CROIX ROUGE)

Source d'eau: Eau de source (non traitée)

Capacité: 6 à 7 l/sec, exploitation de 24 heures  
(motopompe: débit 22 à 24 m<sup>3</sup>/h, hauteur de pompage environ 250 m)

Gérant: EWSA (Energy, Water and Sanitation Authority)

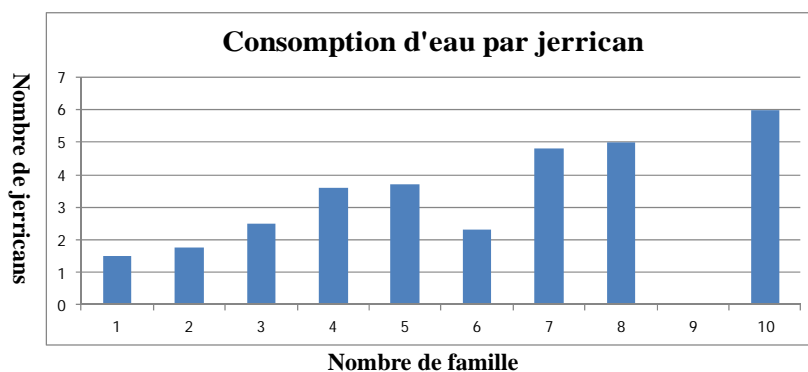
Prix unitaire d'eau: 10 à 20 RWF (Consommateur → Propriétaire de robinet)  
10 RWF (Propriétaire de robinet → EWSA)

Couverture: Secteur de Kwaronzo, Secteur de Remera, Secteur de Luramira



(c) Consommation d'eau

La consommation d'eau par un adulte est en moyenne un jerrican (bidon) de capacité de 23 l. Chez les enfants, elle est un peu moins. En cas de vaches, c'est aussi un jerrican (bidon); mais il nous semble que la consommation d'eau par une vache dépend de la différence des individus à travers la période de croissance. Dans certains cas, une vache adulte consomme 02 jerricans (bidons) d'eau.



**Fig.3-6-3-2: Consommation d'eau par jerrican**

**Tableau 3-6-3-1: Consommation d'eau par jerrican et nombre de famille**

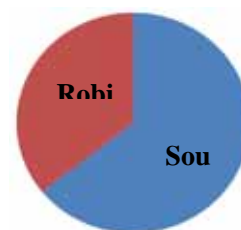
Nombre de jerricans / Nombre de famille	1	2	3	4	5	6	7	Moyenne
1	1	1						1,5
2	1	3						1,75
3		6	1		1			2,5
4		3	6	2	3			3,6

5		1	7		3	1		3,7
6		2	3	1				2,3
7		1		2		2	1	4,8
8			1		1		1	5
9								
10						1		6

(d) Sources d'approvisionnement en eau à usage domestique

64 % des ménages parmi 56 interviewés obtiennent de l'eau domestique des sources. Obtenir de l'eau du robinet impose à beaucoup de gens une lourde besogne et charge, parce qu'ils doivent faire un long trajet pour transporter de l'eau des robinets qui sont très distancés sur le réseau de distribution, ou celui-ci n'étant installé que le long de la route principale.

	Nombre	%
Eau de source	36	64 %
Eau de robinet	20	36 %
<b>Total</b>	<b>56</b>	<b>100 %</b>



**Fig.3-6-3-3: Sources d'approvisionnement en eau à usage domestique**

(e) Lieu de lavage

44 % des ménages parmi 56 interviewés font le lavage aux sources. Il serait nécessaire de considérer la conservation ou la préparation des sources existantes au moment de la construction de réseau de canalisation d'eau.

	Nombre	%
Source	25	44
Maison	31	56
<b>Total</b>	<b>56</b>	<b>100</b>



**Fig.3-6-3-4: Lieu de lavage**

(2) Etude sur l'eau d'irrigation

53 % des agriculteurs parmi 38 interviewés répondent l'insuffisance d'eau d'irrigation. Beaucoup d'entre eux citent les mois de juin, juillet et août, comme la période pendant lesquels l'eau manque, comme ils pratiquent le double-récolte (la première: la plantation en février et la récolte à la fin juin; la seconde: la plantation en août et la récolte à la fin décembre).

	Nombre	%
Suffisant	18	47
Insuffisant	20	53
<b>Total</b>	<b>38</b>	<b>100</b>



**Fig.3-6-3-5: Eau d'irrigation**

La période de manque d'eau pendant la saison de récoltes (juin et juillet) qu'ils ont citée est discutable, par contre, concernant le manque d'eau au mois d'août (le mois de repiquage des plantes), une question a été posée pour savoir pourquoi ils ne décalent pas le mois de repiquage d'un mois en arrière puisque le problème de manque d'eau au mois de repiquage (août) serait résolu s'ils le font au mois de septembre qui entre dans la petite saison des pluies. Leur réponse; ils évitent que la période de croissance des plantes ne coïncide avec le froid de la petite saison des pluies.

### 3-7. Etude sur la région bénéficiaire du Projet

#### 3-7-1. Etude sur le terrain sur les lieux de la région susceptible d'être bénéficiaire du Projet

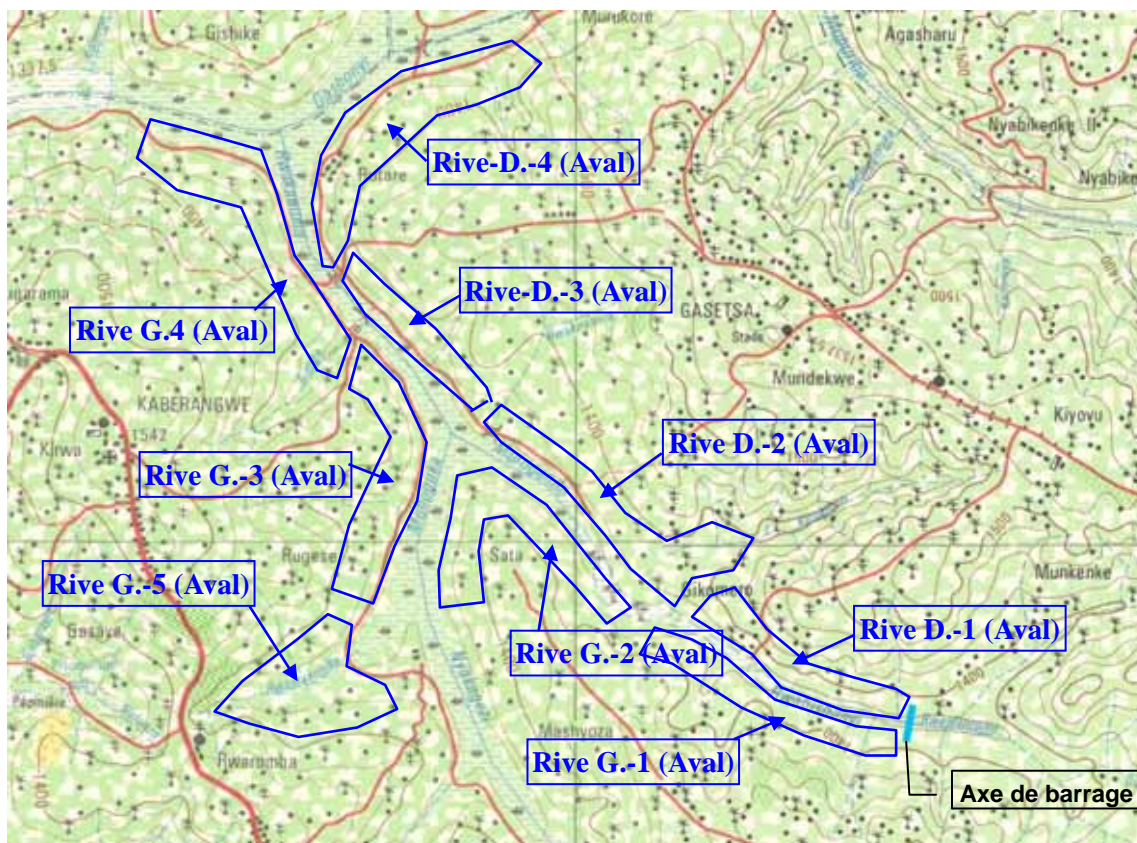
(1) Situation d'exploitation du terrain

(a) Généralités

Date: le 14 avril 2012

Participant: M. Hiki

Emplacements et désignation:



**Fig. 3-7-1-1: Zones faisant l'objet de l'étude sur la situation d'exploitation du terrain**

(b) Résultats de reconnaissance

i) Zone «Rive gauche-1» (Aval)

**Tableau 3-7-1-1: Résultat de reconnaissance – Zone Rive gauche-1 (Aval)**

	Produits agricoles cultivés	Observations
Amont	Sorgho en général, haricots	Depuis le lit de rivière, s'étend le terrain en pente d'environ 15°. Terrassement progressif déjà mis en œuvre.
Milieu	Sorgho, haricots, patate, manioc, pâteure	En bas du versant, le terrain est en pente raide (environ 25°), tandis que celui plus haut, la pente est douce (environ 10 à 15°). Terrassement progressif déjà mis en œuvre. Culture mixte de manioc et haricots.
Aval	Sorgho, haricots, banane,	Au fond, se trouve un cône érodé. Depuis la terrasse saillie vers la



	patate, tabac (partiel)	sortie, le terrain est plat. Une plantation de bananes couvre le terrain entre le versant et le fond de la vallée. Les champs de la terrasse à la sortie sont couverts de graviers de latérite. Les terrains sont peu entretenus.
--	-------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



Culture de sorgho et haricots sur le terrain du versant doux



Culture mixe de haricots et manioc sur le terrain couvert de graviers de latérite



Plantation de bananes au fond du cône érodé de déjection



## ii) Zone «Rive gauche-2» (Aval)

**Tableau 3-7-1-2: Résultat de reconnaissance – Zone Rive gauche-2 (Aval)**

	Produits agricoles cultivés	Observations
Amont	Sorgho, haricots, banane, patate, pâture, chou (partiel)	Ici, le cône érodé de déjection. Le versant en pente 10 à 15° à la sortie devient plat au sommet, et le fond est fortement incliné. On n'y voit aucun entretien de terrain.
Milieu	Banane, sorgho, patate, haricots	La culture mixte de banane, sorgho, patate et haricots est pratiquée. Pas mal de champs sont couverts de mauvaises herbes. On n'y voit aucun entretien de terrain. Le versant est en pente raide.
Aval	Sorgho, haricots, banane	Le versant est en pente 15 à 20° en bas et 10 à 15° en haut. Dans le hameau du sommet, se trouvent le verger et le pâturage. On y voit la terrasse progressive.



Pâturage et plantation de banane



Culture mixte de banane, patate et haricots



Culture mixte de banane, patate et haricots

Culture de sorgho, haricots et celle de banane au sommet, Terrassement progressif

iii) Zone «Rive gauche-3» (Aval)

**Tableau 3-7-1-3: Résultat de reconnaissance – Zone Rive gauche-3 (Aval)**

	Produits agricoles cultivés	Observations
Amont	Sorgho, haricots	La pente de terrain est douce (environ 15°). Terrain aménagé.
Milieu	Sorgho, haricots, banane, manioc	Un grand champ sec se trouve entre les rizières.
Aval		



Culture de sorgho, légumes sur le versant en pente douce



Un grand champ de sorgho, manioc, chou entre rizières

iv) Zone «Rive gauche-4» (Aval)

**Tableau 3-7-1-4 Résultat de reconnaissance – Zone Rive gauche-4 (Aval)**

Produits agricoles cultivés	Observations
Sorgho, haricots, banane	En descendant en aval, la culture de banane devient prédominante.



Culture de haricots, sorgho, banane

v) Zone «Rive droite-1» (Aval)

**Tableau 3-7-1-5: Résultat de reconnaissance – Zone Rive droite-1 (Aval)**

	Produits agricoles cultivés	Observations
Amont	Sorgho (60%), haricots (40%)	Le versant a une pente douce commençant par 15° au niveau du lit de rivière et finit par 10° au sommet. Le terrassement progressif déjà mis en œuvre.
Milieu	Sorgho, haricots (surtout dans le terrain en pente raide)	Le versant a une pente raide commençant par 20 à 25° au niveau du lit de rivière, mais finit par une pente douce au sommet. Les terrains peu aménagés.
Aval	Sorgho, haricots, bananes, pâture (herbes)	Le versant en pente douce (environ 10 à 15°), mais la pente est un peu raide en bas. Terrassement progressif déjà mis en œuvre.



Culture de sorgho et haricots, Terrassement progressif



Culture de haricots prédominante au terrain sur la pente raide





Culture de sorgho et haricots (sur le versant en pente douce à la sortie de la vallée sèche)

vi) Zone «Rive droite-2» (Aval)

**Tableau 3-7-1-6: Résultat de reconnaissance – Zone Rive droite-2 (Aval)**

	Zone transitoire vers le lit de la rivière	Au bas du versant
Amont	Banane, sorgho, pâture (herbes)	Versant en pente douce (10 à 15°). Terrassement progressif.
Milieu	Banane, sorgho, haricots	Versant en pente douce (10 à 15°). Terrassement progressif.
Aval	Banane, sorgho, haricots	Versant en pente douce (environ 10°), mais raide au sommet (15 à 20°). Terrassement progressif.



Culture de sorgho, haricots et banane

vii) Zone «Rive droite» (Aval)

**Tableau 3-7-1-5: Résultat de reconnaissance – Zone Rive droite-3 (Aval)**

Produits agricoles cultivés	Observations
Sorgho, haricots	Arbres et mauvaises herbes par endroits.



Culture mixe de sorgho, haricots et arbres

viii) Zone «Rive droite-4» (Aval)

**Tableau 3-7-1-8: Résultat de reconnaissance – Rive droit-4 (Aval)**

Produits agricoles cultivés	Observations
Sorgho, haricots	Une plantation de banane au fond du cône érodé de déjection. Près de Gashonvi, des légumes sont cultivés sur des terrains plats entre rizières.



Culture de sorgho et haricots sur le versant



Culture de sorgho à la sortie et celle de banane au fond de la vallée





Culture de légumes sur le terrain plat au pied du versant

ix) Zone «Vallée de Rwamakombe»

**Tableau 3-7-1-9: Résultat de reconnaissance – Zone Vallée de Rwamakombe**

Produits agricoles	Observations
Sorgho, haricots, banane, riz	Au fond de la vallée, beaucoup de champs couverts des mauvaises herbes. La terre sur le versant et le sommet est exploitée où le sorgho, banane et haricots sont cultivés.



Vue panoramique de la vallée



Paysage à la sortie de la vallée. Terrains abandonnés par endroits



Rizières dans la vallée



Culture mixe de banane, haricots et patate

### (c) Synthèse des résultats de l'étude de champ

Les produits agricoles cultivés sont des sorghos au premier rang, suivis des haricots et des bananes. Les bananiers sont plantés très souvent près des villages au sommet d'une colline et au fond de la vallée, tandis que les maniocs et les patates sont cultivés aux terres maigres. La culture de chou et tabac occupe également une partie. Le maïs est rarement cultivé entre sorghos, mais aucun champ planté de maïs. La culture mixe est pratiquée: sorghos avec haricots, sorghos avec maïs, bananes avec sorghos, bananes avec haricots, bananes avec patates, bananes avec haricots et patates, etc. enfin on voit toutes combinaisons des produits, mais la culture mixe n'est pas majoritaire.

En outre, concernant l'aménagement des terrains, le terrassement progressif est mis en œuvre dans la plupart des terrains au niveau de la rive droite, sauf une partie de ceux se situant au versant raide. Quant à la rive gauche, beaucoup de champs y restent sans terrassement ou incertains.

Note: D'après l'information ultérieurement fournie par le MINAGRI, le terrassement progressif mis en œuvre dans ce site est un ouvrage insuffisant et incomplète qui n'atteint pas le niveau général du terme conforme à ce qu'on appelle le terrassement progressif.

## (2) Topographie et d'autres conditions

### (a) Topographie

Dans la Vallée de Ngoma-22, hormis les parties assez plates à la sortie de ses vallons et à l'extrémité de colline, son relief est caractérisé en général par les pentes de ses versants; une pente raide (environ 20) depuis le lit de rivière au pied du versant jusqu'à la hauteur de 20m, une pente douce (environ 10 à 15) depuis cette hauteur. Du fait que le niveau de réalisation du terrassement progressif mis en œuvre jusqu'à ce jour dans cette région sauf une partie de la zone bénéficiaire du Projet, comme aménagement de terre, ne permet pas de niveler les terrains, il serait souhaitable la réalisation du terrassement classé à un niveau supérieur dans l'aménagement de terre, soit "terrassement radical", si on tient compte de la faisabilité de l'agriculture irriguée qui sera effectuée sur tels terrains en pente rude.



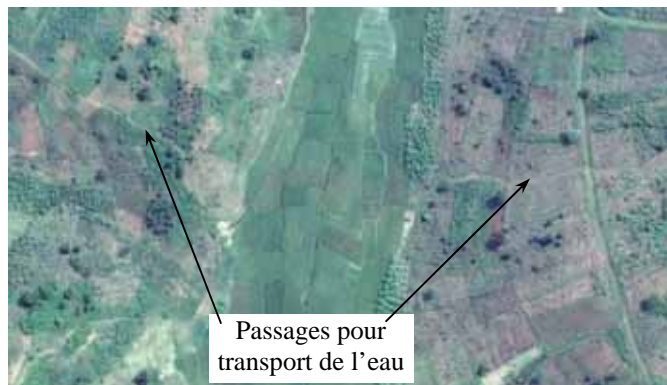
Versant en pente raide dans la zone bénéficiaire du Projet



Culture de sorgho sur le versant en pente raide dans la zone bénéficiaire du Projet

#### (b) Chemins agricoles et d'entretien

A l'heure actuelle, aucune route ni chemin ne se trouve sur le versant de la zone bénéficiaire du Projet à part des sentiers pratiqués par des villageois pour transporter des eaux de la source du fond de la vallée, et les terrains sont pleinement cultivés. Dans la perspective de la rationalisation des travaux agricoles et de l'amélioration de productivité agricole, il sera indispensable d'y prévoir des chemins agricoles non seulement pour les passages aux champs mais encore pour les passages de canalisation d'eau d'irrigation et d'accès aux installations d'irrigation (chemin d'entretien). Une question cruciale se posera; comment concevoir et organiser ces chemins indispensables, si les propriétaires du terrain accepterait telle réforme agraire qui implique l'aménagement des parcelles, voilà une question à répondre.



### 3-7-2. Etude de champ dans le bassin de réception

L'étude de champ a été conduite dans la zone du futur bassin de réception (aire immergée après la construction du barrage) et la situation actuelle de l'utilisation du sol a été constatée comme suit:

#### (1) Objet de l'étude

Date: le 28 mai 2012

Superficie prévue du bassin de réception: 14.96 ha (FWS: 1.390,60m) (voir l'article "3-3-2. Etude pour l'exécution des travaux")

Lieux de l'étude:



**Fig.3-7-2-1: Zone ayant fait l'objet de l'étude sur le bassin de réception**

#### (2) Résultats de l'étude de champ

Les résultats de l'étude de champ effectuée dans la zone du bassin de réception sont les suivants:

- Le futur bassin de réception est constitué des terrains plats et inclinés, et le taux de répartition est 1 : 2.  
(Terrain plat : Terrain incliné = 1 : 2 = 5 ha : 10 ha, superficie totale: 15 ha)
- Dans le futur bassin de réception, le taux de superficie cultivée est 70% pour les deux cas (sur les terrains plats et sur ceux inclinés).  
(Terrains plats cultivés: 5 ha x 70 % = 3,5 ha; Terrains inclinés cultivés: 10 ha x 70 % = 7,0 ha)
- Aux terrains plats, un réseau de canalisation d'eau de rivière couvre de long en large les champs, mais ce réseau ne disposant pas d'ouvrage de prise d'eau comme déversoir, l'irrigation se fait entre billons.
- Sur les terrains plats, le chou, la carotte, la tomate, etc. sont cultivés.
- Aux terrains inclinés, le sorgho, le maïs, le manioc, les haricots, etc. sont cultivés.
- Selon l'enquête par interview d'autre jour, il s'est avéré que les terrains plats divisés en 150 parcelles environ sont occupés par des agriculteurs non-proprétaires et sont cultivés presque seulement pendant la saison des pluies.

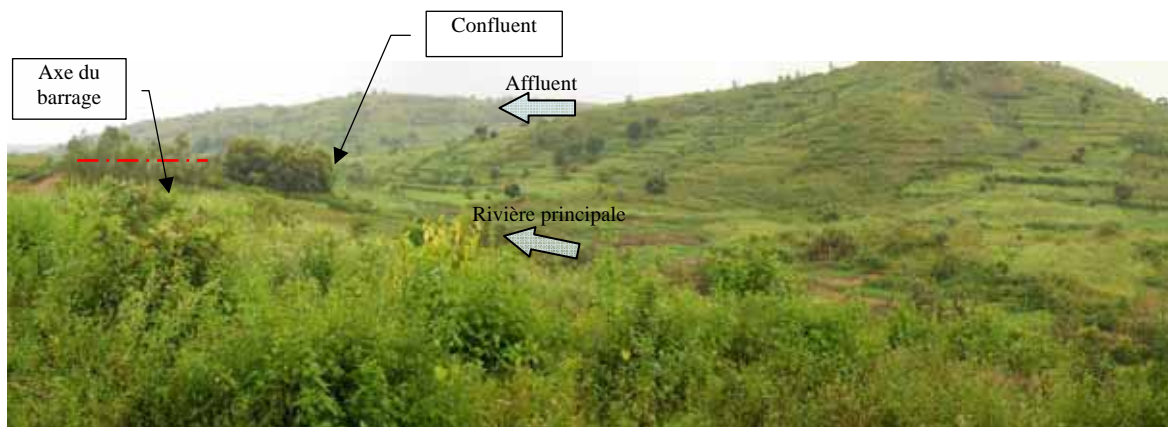


Le tableau ci-dessous représente la superficie cultivée par produit.

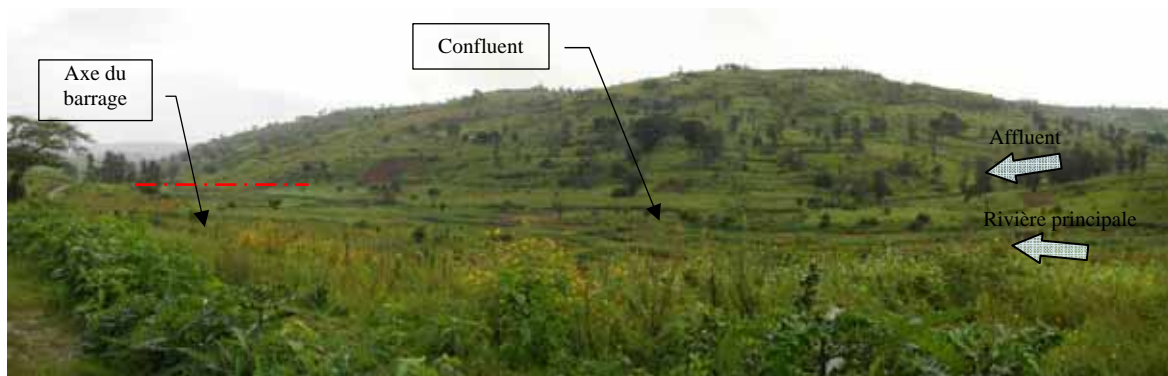
**Tableau 3-7-2-1: Superficie cultivée par produit**

Relief	Produits	Superficie (approx.)
Terrain plat	Patate douce	2,45 ha ( 70 %)
	Chou	0,70 ha ( 20 %)
	Carotte	0,18 ha ( 5 %)
	Tomate	0,18 ha ( 5 %)
	Sous-total	3,50 ha ( 100 %)
Terrain incliné	Sorgho	4,90 ha ( 70 %)
	Maïs	1,05 ha ( 15 %)
	Manioc	0,70 ha ( 10 %)
	Haricot	0,35 ha ( 5 %)
	Sous-total	7,00 ha ( 100 %)
Total		10,50 ha -

**1. Vue panoramique du bassin de réception (le 28 mai 2012)**



Vue de la rive gauche en amont à la zone du bassin de réception



Vue de la rive gauche au milieu à la zone du bassin de réception





Vue de la rive gauche à l'axe du barrage à la zone du bassin de réception

## 2. Vue générale – Zone du terrain plat (le 28 mai 2012)



Vue générale dans la zone du terrain plat (à gauche: Patate douce; à droite: Patate douce)



Vue générale dans la zone du terrain plat (à gauche: Manioc; à droite: Carotte et Patate douce)





Vue générale dans la zone du terrain plat (à gauche: Manioc; à droite: Ciboulette chinoise)

**3. Vue générale – Zone du terrain incliné (le 28 mai 2012)**



Vue générale dans la zone du terrain incliné (à gauche: Sorgho, Maïs et Manioc; à droite: Sorgho)



Vue générale dans la zone du terrain incliné (à gauche: Sorgho; à droite: Sorgho et Maïs)



Vue générale dans la zone du terrain incliné (à gauche: Sorgho; à droite: Haricot)

### 3-7-3. Arpentage

Dans le but de collecter des données de base pour élaborer le plan d'irrigation, un arpentage de terrain a été effectué. Les travaux d'arpentage ont été sous-traités à la société locale spécialisée dans ce domaine.

Les résultats de l'étude topographique sont décrits ci-après.

**Tableau 3-7-3-1: Etude topographique**

Etudes	Quantité
Mise en place des points de repère provisoires par rapport au point de repère facultative, dans la zone objet d'étude	1 L.S
Plan d'arpentage (1:1 000)	0,7 km <sup>2</sup>
Profil en long de l'axe du barrage	180 m
Carte d'utilisation actuelle du sol	0,7 km <sup>2</sup>
Elaboration de rapport (plans d'arpentage, coordonnées TBM)	1 L.S

Les résultats d'arpentage (levés topographiques et carte d'utilisation de terre) sont annexés, à titre de référence, dans les pages qui suivent.

En outre, la situation actuelle et les considérations concernant les points de repère sont comme suit:

#### Quasi-absence totale de points de repère

Presque tous les points de repère qui existaient jadis au Rwanda sont détruits pendant la période de désordre par suite du génocide (1994 à 1995). Aux alentours du site de barrage, aucun point de repère n'existe, et celui unique et le plus près du site de barrage survit au rondpoint de Kayonza, à environ 60km loin du site de barrage.

#### Fiabilité/exactitude de mesure par le système GPS

Le territoire du Rwanda n'étant pas couvert d'un nombre suffisant des satellites, les altitudes mesurées par le système GPS présentent une marge trop importante pour qu'on puisse faire confiance à ces valeurs. Au Rwanda, les altitudes ne sont pas déterminées par le système GPS.

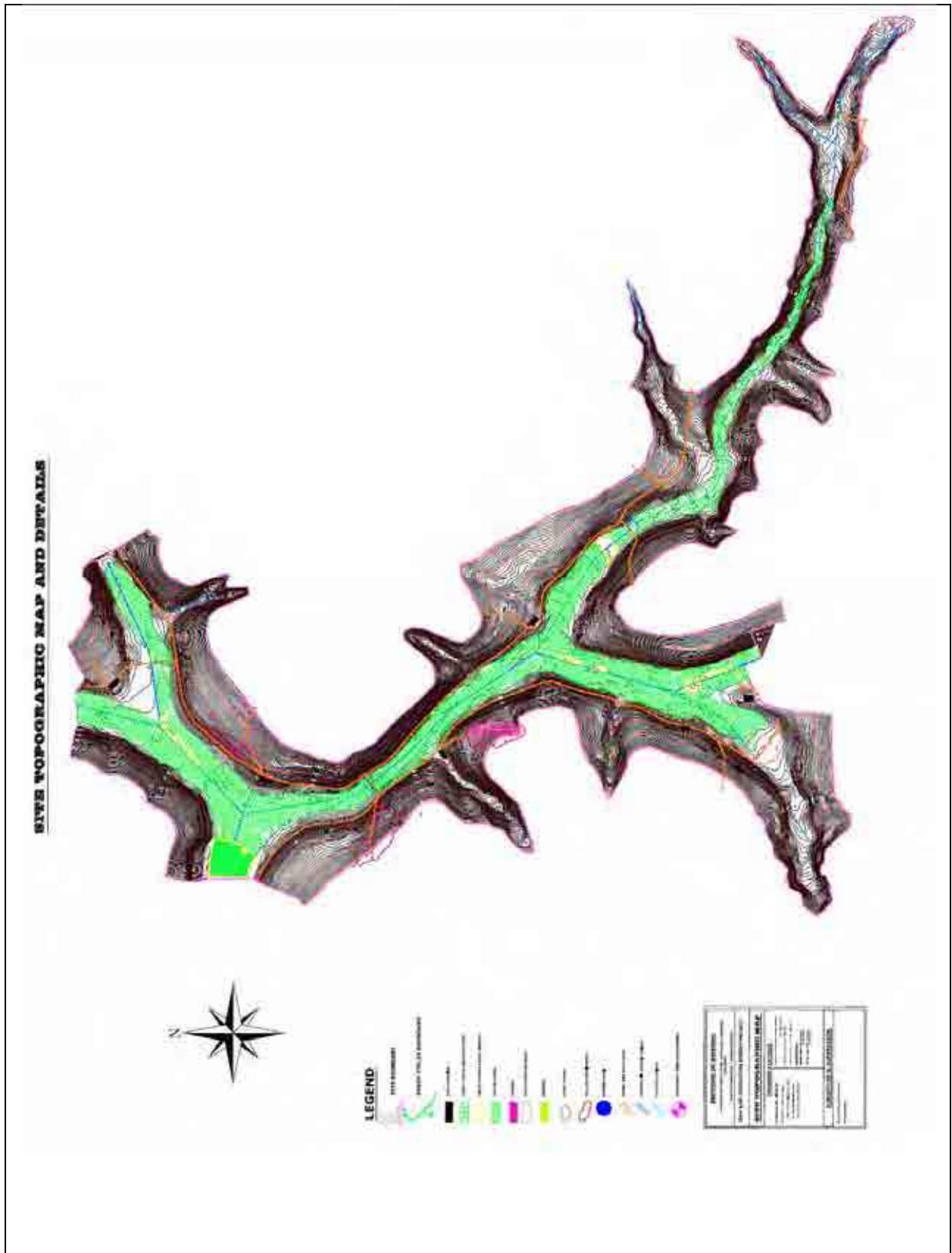
#### Méthode de détermination d'altitude appliquée au Rwanda (MINAGRI) à l'heure actuelle

A l'heure actuelle, l'outil disponible et le plus fiable au Rwanda est la carte topographique à l'échelle 1/500 000. Au niveau de l'INAGRI, les données altimétriques appuyées sur les grilles de 10m qui couvrent tout le territoire rwandais sont disponibles. A partir de ces données, on peut tracer la courbe hypsométrique pour reproduire la configuration de la terre sur une carte, mais la carte topographique ainsi reproduite est corrigées par référence aux altitudes figurant sur la carte topographique à l'échelle de 1/500 000.

#### Mise en place d'un point de repère au site de barrage

L'axe du barrage est fixé d'abord sur la carte, puis l'axe de coordonnées est fixé sur un point d'intersection où le prolongement de l'axe du barrage croise la courbe hypsométrique d'EL. 1 400,00 m. Ce point est ainsi rétabli comme le point de repère du site et son altitude est déclarée comme EL. 1 400,00m.

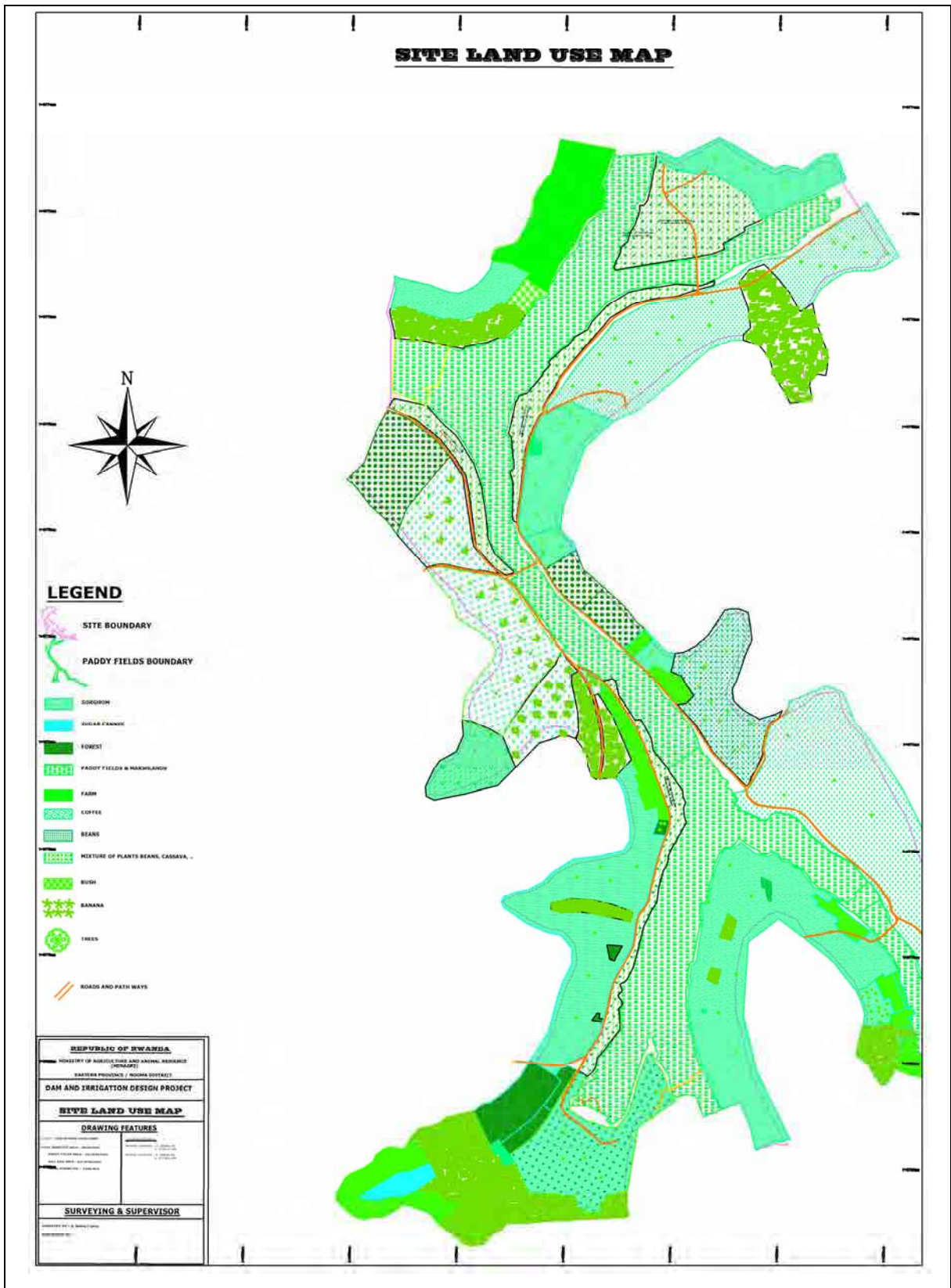




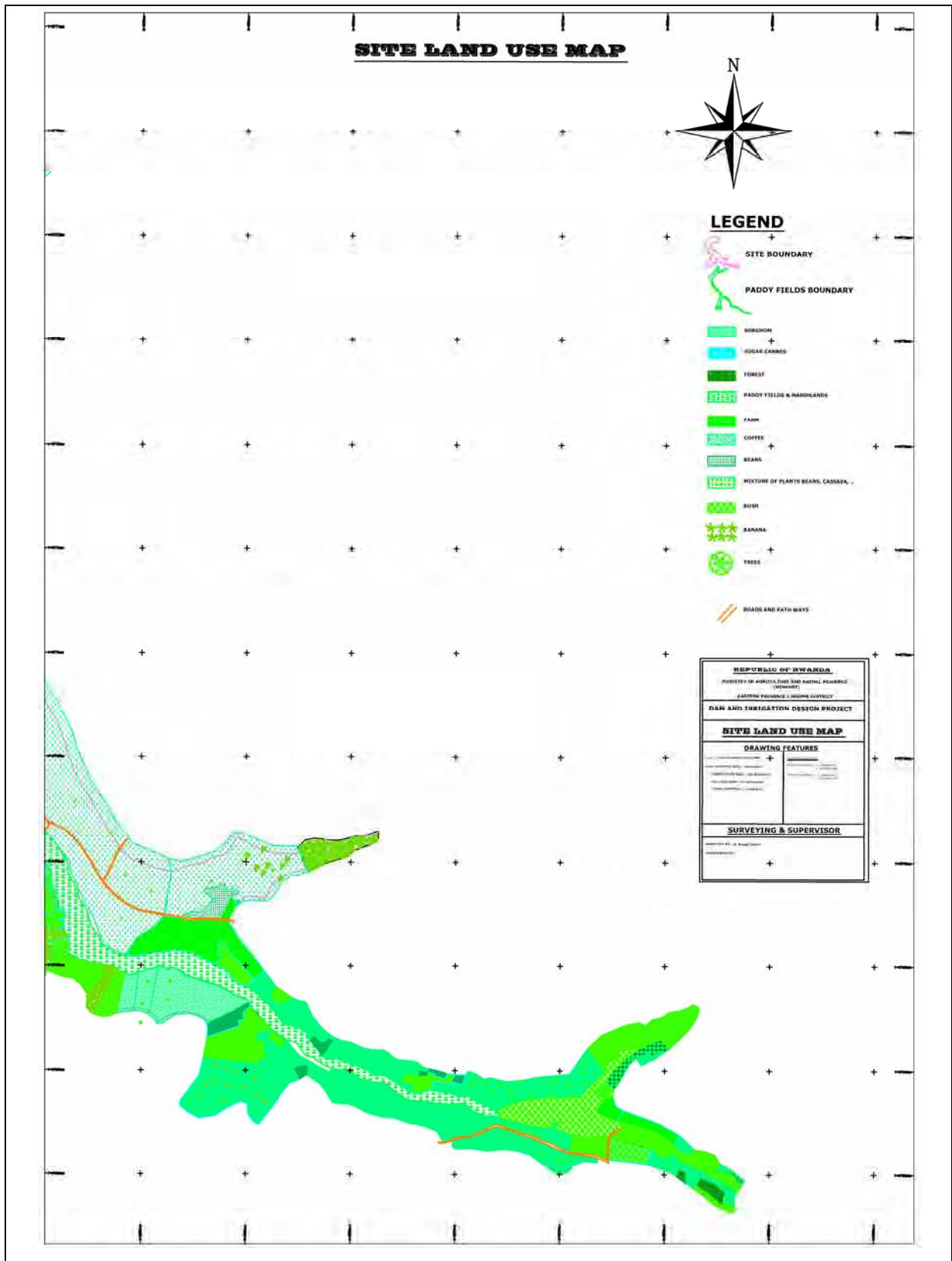
**Fig. 3-7-3-1: Levés topographiques**







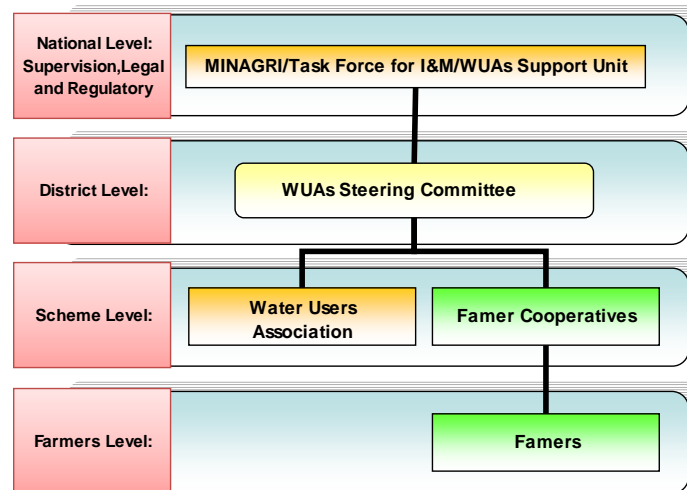
**Fig. 3-7-3-3: Carte d'utilisation actuelle du sol (1/2) – en aval du site**



**Fig. 3-7-3-4: Carte d'utilisation actuelle du sol (2/2) – en amont du site**

### 3-8. Législation régissant l'Association des Usagers de l'Eau

Au Rwanda, l'ordonnance ministérielle n° 50 du 12/12/2011 a été promulguée le 12 décembre 2011 tandis que le Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage a publié l'institution de l'Association des Usagers de l'Eau (Water Users Association: WUS) dans le Journal Officiel n° 011/11.30 du 23/11/2011. Pour la mise en application de cette loi, il a été institué au sein du Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage, une unité d'appui pour l'Association des Usagers de l'Eau qui a été mise en œuvre depuis le mois de décembre 2011. L'organisation et les fonctions de WUA sont schématisées comme suit:



**Fig. 3-8-1: Organigramme de l'Association des Usagers de l'Eau**

Source): Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage

L'Ordonnance ministérielle stipule dans ses dispositions l'institution de l'AUE au sein des installations d'irrigation et le dispositif dans le cadre duquel le comité de pilotage installé au niveau de chaque Province assure l'appui technique pour le fonctionnement de l'Association. Il est stipulé également le mécanisme fonctionnel de prise en charge par le comité de pilotage de la gestion de cotisation versée par le membre de l'Association à titre des frais de bénéfice d'irrigation, pour assigner les fonds à l'entretien et à la réparation des installations d'irrigation..

Loi régissant l'institution de l'Association des Usagers de l'Eau (entrée en vigueur en décembre 2011) - Résumé-

- L'Association des Usagers de l'Eau devra être instituée dans tous les installations d'irrigation au Rwanda.
- Elle devra s'appliquer à toutes les installations d'irrigation construites par le gouvernement ainsi que celles prévues.
- Elle devra être gérée d'une stricte équité et justice.
- Elle devra assurer la distribution impartiale d'eau.
- Elle devra introduire la nouvelle technologie pour améliorer la productivité unitaire des produits agricoles.

Source: Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage

L'Unité de Support de l'AUE envisage d'organiser 25 associations pour cette année, et pour ce faire, un budget dont le montant s'élève à 58 697 000 RWF (97 020 US\$) est réservé à cette fin. Quant au budget pour l'exercice suivant, il est soumis aux négociations au sein du Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage.

Le programme des activités de l'Unité de Support de l'AUE est récapitulé ci-dessous (Tableau 3-8-1).

**Tableau 3-8-1: Programme des activités de l'Unité de Support de l'AUE**

	Budget (RWF)	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin
<b>Etablissement de l'AUE</b>	13 228 950							
Documentation								
Organisation d'assemblée générale constitutive								
Préparation de statut de l'AUE								
<b>Formation et Renforcement de Capacité</b>	20 789 850							
Formation de leaders AUE								
Formation de membres AUE								
<b>Information et Communication</b>	3 779 700							
<b>Formation du personnel</b>	2.000.000							
<b>Réunion et Atelier</b>	7 559 400							
<b>Pan d'Actions</b>	1 889 850							
<b>Etudes</b>	7 559 400							
<b>Monitoring et Evaluation</b>	1 889 850							
<b>Total</b>	58 697 000							

Source): Ministère des ressources d'agriculture et d'animal



### 3-9. Situation actuelle de l'AUE

La mission d'étude a visité les AUEs mises en place et en exploitation au Rwanda et a observé leur situation actuelle pour analyser la gestion et l'entretien de ces organisations.

Cas-1 et Cas-2 concernent les AUEs organisées au sein des installations de barrage et Cas-3 concerne celle organisée pour la gestion et l'entretien d'un ouvrage de partiteur. Ces trois cas serviront aux exemples pour la gestion et l'entretien pris en charge par les AUEs et mériteront d'être considérés pour la mise en exploitation future des AUEs.

#### 3-9-1. Cas-1: Barrage de Ntende, Barrage de Kiliba (Région de Rwagitima dans le District de Gatsibo) <sup>[1]</sup>

##### (1) Ouvrages

- Barrage de Ntende:
  - Hauteur de crête : 4,5 m
  - Bassin de réception : 64 ha
  - Capacité totale du réservoir : 700 mille m<sup>3</sup>
  - Zone bénéficiaire : 575 ha
  - Nombre d'agriculteurs bénéficiaires : 3 015
- Barrage de Kiliba:
  - Capacité totale du réservoir : 400 mille m<sup>3</sup>

##### (2) Gestion des installations et exploitation par l'AUE

- Organisation: L'AUE se compose d'un gérant et de 12 personnes dont 10 sont affecté à 10 zones chacun à une zone et 2 autres s'occupent de la gestion d'eau de barrage chacun à un barrage qui lui est attribué. Le taux d'affiliation est 100%.
- Cotisation: La cotisation est tarifée à 750 RWF par personne, mais réduite à 200 RWF. Le couvrement de cotisation est 100%.

##### (3) Système d'appui

L'AUE a reçu la formation dans le cadre du RSSP (Projet de Support de Secteur Rural) et également reçoit régulièrement le soutien en matière de gestion et d'entretien même après la construction des installations.

##### (4) Remarques

**Changement de la période d'emblavage:** La riziculture occupe une superficie de 509 parmi 575ha. L'écluse est ouverte et contrôlée tôt le matin jusqu'au grand jour pendant la saison sèche après le mois de janvier. Suivant les résultats de l'étude du RSSP, l'emblavage est avancé de 3 mois par rapport à celui recommandé par le Ministère de l'Agriculture et de l'Élevage (février à juin). La raison de cet emblavage anticipé dans le calendrier agricole est supposée par le fait que dans la dernière saison,

<sup>[1]</sup>Source:extrait de note d'observation d'emplacement chez le barrage de Ntende, le conseiller technique de M. Suuzuki de KilibaDam de, de barrage de Ntende de barrage de Kiliba (région de Rwagitima) le 22 mars 2012 JICAby de JICA, le M. Nakano, expert en matière de JICA et le Hioki, membre d'équipe, consultants en matière de Sanyu

l'emblavage a été sauté à cause de sa préparation retardée (l'écluse du barrage de kiliba était en réparation et remplacement).

Un tel changement de la période d'emblavage est une action de défi d'autant plus avancé qu'aucune autre région ne l'a entrepris. Le but recherché dans cette entreprise est de faire face au manquement ou du mois, d'économiser l'eau.

#### (5) Irrigation dans la rotation

Le périmètre d'irrigation est morcelé en deux lots A et B dont chacun est irrigué par roulement tous les deux jours.

### 3-9-2. Cas-2: Barrage chinois (Région de Ngoma) <sup>[2]</sup>

#### (1) Situation générale de la région

Il s'agit d'un barrage construit dans le cadre du projet chinois en 1987. Pendant une certaine période qui suit l'achèvement de construction, l'AUE a été créée dans le cadre de l'assistance technique chinoise. Et dans ce même cadre, même les grains de riz ont été fournis de la Chine et tout le processus de production du riz depuis la culture jusqu'au traitement après la récolte a été soumis à la supervision chinoise. Le riz récolté a été transporté à la rizerie de Rwamagana où le riz était décortiqué et stocké. La rizerie de cette époque est toujours fonctionnelle jusqu'à ce jour. L'assistance technique chinoise. Pendant la période de 1987 à 1994, la riziculture de cette région n'avait pas de difficulté l'assistance technique chinoise, mais tous les riziculteurs ont quitté leur rizière suite à l'événement de l'année 1994. Depuis 2000, sur l'initiative de l'autorité locale, l'immigration a commencé, et la riziculture était reprise. Cependant, le réseau de canalisation d'eau d'irrigation nécessite la réparation par endroits. Malgré son institution, le WUA reste non fonctionnelle.

#### (2) Généralités sur l'ouvrage <sup>[3]</sup>

- Bassin versant	: 29,4 km <sup>2</sup>
- Longueur de crête	: 157,8 m
- Capacité totale du réservoir (estimée)	: 400 mille m <sup>3</sup>
- Largeur de crête	: 4.5 m
- Construction	: 1985 à 1987

#### (3) Activités AUE

- Organisation	: non organisée
- Collecte de cotisation	: aucune collecte
- Réunions ordinaires	: non tenue
- Traitement pour les membres de conseil	: sans rétribution

<sup>[2]</sup> Étude sur le barrage chinois par Hioki (Consultant Sanyu)

<sup>[3]</sup> Étude sur le barrage chinois par Hioki (Consultant Sanyu)

#### (4) Gestion de l'ouvrage

L'écluse est fermée ou ouverte selon les besoins exprimés par les agriculteurs. L'éclusier devrait être payé par l'AUE, mais aucun paiement n'est fait. L'entretien du réseau de canalisation est pris en charge par les agriculteurs à leur volonté.

#### (5) Système d'appui

Aucune formation en matière de riziculture et gestion/entretien des installations n'a lieu.

### 3-9-3. Cas-3: Coopérative d'Inkingi Y'Ubunhizi (District de Bugesera)

#### (1) Généralité sur la région

Depuis longtemps, les gens de cette région montagneuse cultivaient la banane, le café, le sorgho etc. sur le versant, et en bas, les terrains étaient marécageux et incultivables à cause de manque de dispositif de drainage d'eau. Mai, c'est en 2003 que ces terrains marécageux ont été mis en valeur et aménagés par un projet d'aménagement de marécages qui s'est inscrit dans le cadre du Programme Alimentaire Mondial (PAM). Depuis lors, grâce aux canaux de drainage construits dans le cadre dudit projet, la riziculture a commencé à s'implanter dans cette partie de la région.

#### (2) Généralité sur l'ouvrage

- Partiteurs : 04
- Longueur totale des canaux : 3,6 km
- Zone bénéficiaire : 32 ha

#### (3) Activités WUA

- **Organisation** : suite à la construction de 04 partiteurs qui ont été mis en place en 2011 dans le cadre d'un projet appelé PAPSTA (Projet d'Appui au Plan Stratégique de Transformation de l'Agriculture), l'AUE a été instituée au mois d'août de la même année. L'AUE a déployé ses activités principalement pendant les saisons sèches (de mi-mars à août et d'octobre à janvier). Le conseil de l'AUE se compose d'un président et 16 membres, et autour de chacun partiteur, 09 groupes sont formés et chaque partiteur est commandé par 04 personnes.
- Cotisation : La cotisation est tarifée à 500 RWF/saison/personne ou 1 000 RWF/an (deux saisons)/personne, mais elle n'est pas encore collectée.
- Réunions : la réunion de partage d'eau non se tient une fois par semaine à peu près seulement pendant la saison sèche, et l'opération (ouverture et fermeture) de l'écluse fait partie de l'ordre du jour (mais, aucun p.-v. n'est établi).
- Traitement pour les membres de conseil : sans rétribution

#### (4) Gestion d'ouvrage

La gestion de l'écluse et l'entretien des canaux sont pris en charge par les agriculteurs à leur volonté.

#### (5) Système d'appui

Aucune formation en matière de riziculture et gestion d'ouvrage n'est organisée.

#### (6) Irrigation alternée

La gestion de l'écluse est arrêtée lors des réunions de partage d'eau tenues une fois par semaine où la décision est prise après discussions avec le gérant de l'écluse en tenant compte d'état d'avancement des travaux agricoles de chaque parcelle de rizière. Depuis le début de l'institution de l'association, la prise de décision étant basée sur l'usage conventionnel, aucun conflit ne se produit jusqu'à ce jour.



Partiteur



Canal principal (en aval)



Prise d'eau



Canal secondaire

(Source: Équipe d'étude de JICA)

### 3-9-4. Évaluation et recommandations à l'égard de l'AUE

L'état actuel de chaque WUA ayant fait objet de la visite a été évalué comme suit:

**Tableau 3-9-4-1: Évaluation de l'état de l'AUE**

	Cas-1	Cas-2	Cas-3
<b>Organisation et gestion</b>			
Système d'organisation	○		○
Collecte de cotisation		×	×
Tenue de réunion	Sans information		○
Traitement des membres du conseil	×	×	×
<b>Ouvrages</b>			
Gestion d'ouvrages	○		○
<b>Système d'appui</b>			
Formation	○	×	×
Suivi	○	×	×
<b>Evaluation synthétique</b>	<b>A</b>	<b>C</b>	<b>B</b>

Note:      : Réalisation parfaite      ○: Bonne réalisation      : Réalisation passable mais problématique      ×: Sans réalisation

A: Bon      B: Moyen      C: Problème

Dans le Cas-2, le fonctionnement imparfait des ouvrages d'irrigation du barrage construit en 1985 est à l'origine du dysfonctionnement du mécanisme de l'AUE. Selon la réponse des villageois interviewés, de même que les installations d'irrigation fonctionnaient correctement, de même le mécanisme qui était attribué à l'AUE fonctionnait utilement à l'époque de la construction du barrage.

Pour le Cas-3, bien que les ouvrages aient été nouvellement construits, le manque de formation et de suivi constitue un facteur qui entrave la mise en valeur de l'AUE et empêche cette dernière de déployer ses activités sur la sphère donnée.

Après la construction des ouvrages d'irrigation réalisés dans le cadre d'un projet, ce sont des agriculteurs eux-mêmes qui prennent en charge, en tant que bénéficiaires d'irrigation, la gestion ainsi que l'entretien de ces ouvrages, c'est le principe appliqué au Rwanda. En outre, en application de la loi régissant l'institution des AUEs, tous les ouvrages d'irrigation doivent être dotés d'une AUE. Cependant, même si ces deux conditions, à savoir la construction des ouvrages et l'institution de l'organisation (AUE) étaient satisfaites, le manque de formation et de suivi régulier cause des problèmes un peu partout. Pour bénéficier de la pérennité de la mise en valeur d'eau d'irrigation, il est indispensable de prévoir et d'assurer le dispositif directif et durable en matière de gestion et entretien des ouvrages dont disposent les agriculteurs.

Aussi dans le Secteur modèle du Projet «Nghoma-22», les Bureaux du Secteur et du District assument le rôle d'appui aux agriculteurs dans une vaste sphère depuis la gestion et l'entretien des ouvrages d'irrigation jusqu'à l'exploitation agricole, mais il s'avère nécessaire de leur donner les instructions incluant des savoir-faire en matière de gestion d'organisation, systématisation, etc. Autrement dit, les bénéficiaires d'irrigation doivent partager les mêmes compréhension et entente de ce que les ouvrages et l'eau d'irrigation sont des ressources communes qu'ils doivent gérer eux-mêmes collectivement, ainsi que la nécessité d'envisager de créer une association des usagers d'eau à laquelle tous les bénéficiaires peuvent s'inscrire. Pour ce faire, il est nécessaire que dès la phase de préparation d'un projet, les demandes et exigences formulées par toutes les parties intéressées doivent être prises en considération, et il est important que les habitants de la région approfondissent leur compréhension à l'égard de la gestion d'eau d'irrigation.



### 3-10. Autres organisations des communautés rurales

Les communautés rurales du Rwanda dispose d'une variété d'organisations traditionnelles et conventionnelles. Il s'agit des organismes de mutuel-aide, de travail collectif, de micro-finance en quelque sorte, d'union de groupes, de coopératives et de syndicats, etc.

Dans les villages, les travaux d'intérêt commun et collectif appelés dans leur mœurs «Umganda», tels que nettoyage et réfection de voirie, désherbage, entretien de canalisation, etc. s'organisent autour du maire de village et s'exécutent. On peut citer aussi les activités financières largement pratiquées dans les communautés rurales, qu'il s'agit d'un cercle de financement d'entraide dans lequel chaque adhérent dépose une somme de cotisation et un des adhérents remporte, chacun à son tour, la somme cotisée pour l'utiliser aux dépenses imminentes ou aux nécessaires comme réparation d'habita, etc.

Par ainsi, dans les communautés rurales, survivent une variété d'organisations traditionnelles et conventionnelles jusqu'à nos jours, et cette tradition sera considérée comme le substrat structurel qui facilite l'implantation des organisations paysannes.

Voici la présentation de quelques organisations traditionnelle à titre exemple.

#### 3-10-1. «Umganda»: Prestations des villageois aux travaux publics

L'origine de «Umganda» remonte au système traditionnel des prestations communales et collectives appliqué aux travaux publics, et la participation à «Umganda» est obligatoire pour tous les villageois. Ses activités se déroulent autour du Secteur et presque toutes les actions de cette organisation sont entreprises par l'initiative des habitants et du Secteur. Tous les villageois ont le droit d'exprimer leur opinion à la réunion qui se tient à chaque «Umganda». La pertinence de l'intervention par «Umganda» est discutée entre les villageois à la réunion, et si elle est jugée valable d'être entreprise par «Umganda» pour l'intérêt de l'ensemble de la communauté, tous les habitants en seront informés comme la prochaine intervention à exécuter dans le cadre de «Umganda».

En règle générale, un membre adulte de chaque famille assiste à la réunion de «Umganda» et, en cas d'absence, il paie une amende de 500 FRW qui sera assignée aux frais de «Umganda» (approvisionnement des matériaux/matériels des travaux).

#### 3-10-2. Ubudehe: Association d'action collective pour l'aide mutuel

«Ubudehe» est une association traditionnelle qui pratique l'action collective pour l'aide mutuelle et un «Ubudehe» est institué dans chaque Cellule. Il a pour l'objet d'assurer et organiser le travail collectif dans le domaine agricole.

#### 3-10-3. Gacaca: un tribunal informel pour régler des différends

Dans les villages, un tribunal appelé «Gatchacha» a existé. Ce «Gatchacha» fonctionnait dans les communautés villageoises avant le conflit, et a joué un rôle réel, parmi d'autres, dans le jugement des criminels du génocide (compétence limitée aux délits mineurs). A l'heure actuelle, il cesse de fonctionner.

**3-10-4. Ibmina:** Association mutuelle de microfinance informelle

Il s'agit d'un type de financement mutuel largement pratiqué parmi les villageois: chaque membre de l'association verse une somme d'argent (cotisation) et la partie des sommes cotisées est prêtée, à tour de rôle, au membre qui en dépense pour les nécessaires imminents, l'amménagement d'habitat, etc. Cette microfinance est pratiquée par l'unité de 5 à 10 ménages agricoles avec une cotisation hebdomadaire de 200RWF environ chacun.

## CHAPITRE 4 PROJET DE L'IRRIGATION DU SECTEUR NGOMA 22

### 4-1. Plan d'irrigation

#### 4-1-1. Etude d'approvisionnement en eau

(1) Quantité d'eau disponible

(a) Evaluation du débit fluvial disponible

i) Méthodologie

En analysant la relation entre la précipitation et le débit fluvial qui ont été observés depuis ce mois de février, on établit le modèle d'analyse d'écoulement qui permet de calculer le débit fluvial quotidien à partir de la précipitation quotidienne.

La méthode d'analyse appliquée est le modèle de réservoir considérant que l'objectif est d'évaluer le débit fluvial à long terme tel que débit fluvial cumulatif annuel et que le débit fluvial dans ce secteur est très affecté par la fluctuation du degré de saturation du sol causés par des averses précédentes.

ii) Etudes des données d'observation

Les données de précipitation et de débit fluvial qui ont été observées depuis ce mois de février sont récapitulées en valeurs quotidiennes (valeurs par décade pour le taux d'écoulement) et en valeurs cumulées dans les figures ci-dessous.

Si on regarde de près le taux d'écoulement qui joue un rôle important dans l'analyse de l'écoulement à long terme, le taux d'écoulement par décade est approximativement de 15 % de février à mi-mars, de 5 % de fin mars à fin avril et se remonte à 15 % début mai.

Quant au débit fluvial quotidien, il est constant autours de 2 000 m<sup>3</sup>/jour depuis le début de l'observation en février jusqu'à mi-avril et n'augmente presque pas à la précipitation quotidienne de moins de 20 mm.

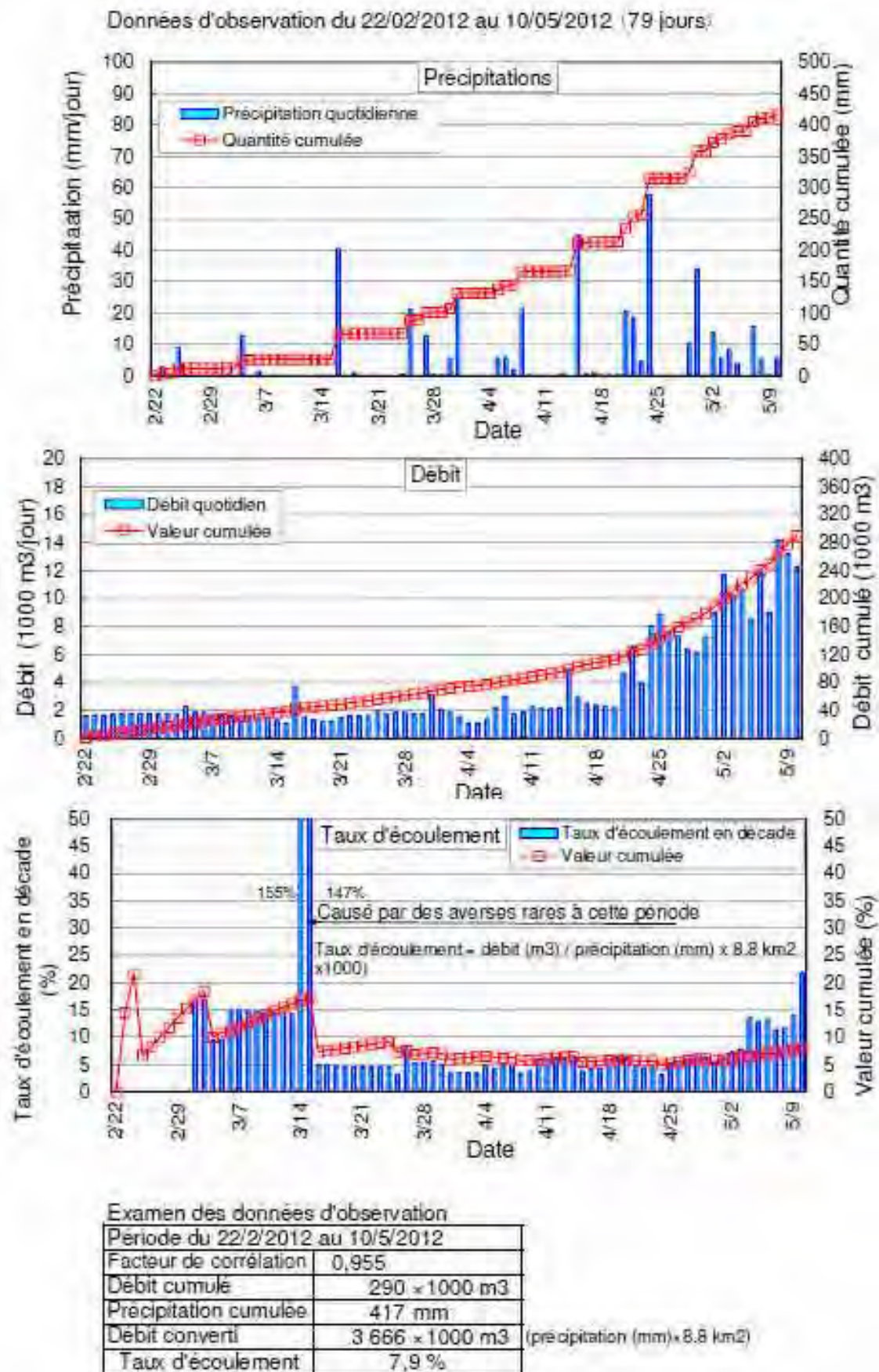
Le débit fluvial quotidien après des précipitations considérables à partir de mi-avril est supérieur à 6 000 m<sup>3</sup>/jour continuellement.

Les taux d'écoulement relativement bas de 5 % à 15 % seraient causés par la surface de sol perméable puisque des précipitations sur le sol sec sont absorbées et difficiles de s'écouler, et aussi par la grande quantité d'évapotranspiration.

Le débit fluvial continu de 2 000 m<sup>3</sup>/jour entre février et avril peut être considéré comme flux de base.

L'augmentation du débit fluvial quotidien par la précipitation après fin avril serait causée par des averses continues qui rendent le sol saturé et augmente le taux d'écoulement.

\*Cette étude est basée sur les données d'observation du 22 février au 10 mai 2012. Le Rapport Final montre l'analyse basée sur les données d'observation jusqu'à fin juin.



**Fig. 4-1-1-1 Précipitations et débits fluviaux enregistrés**

## iii) Etude du modèle de réservoir

## a) Évapotranspiration

Le tableau ci-dessous montre les quantités d'évapotranspiration par décade à GAHORORO.

Les réservoirs dont la quantité d'évapotranspiration est déduite de la profondeur d'eau sont le réservoir supérieur (du premier rang) et le réservoir de milieu (du deuxième rang); dans le cas où la profondeur d'eau dans le réservoir supérieur est insuffisante, la profondeur d'eau manquante est déduite du réservoir de milieu jusqu'à la moitié de la quantité manquante.

**Tableau 4-1-1-1 Evapotranspiration appliquée au modèle de réservoir** Unité (mm/jour)

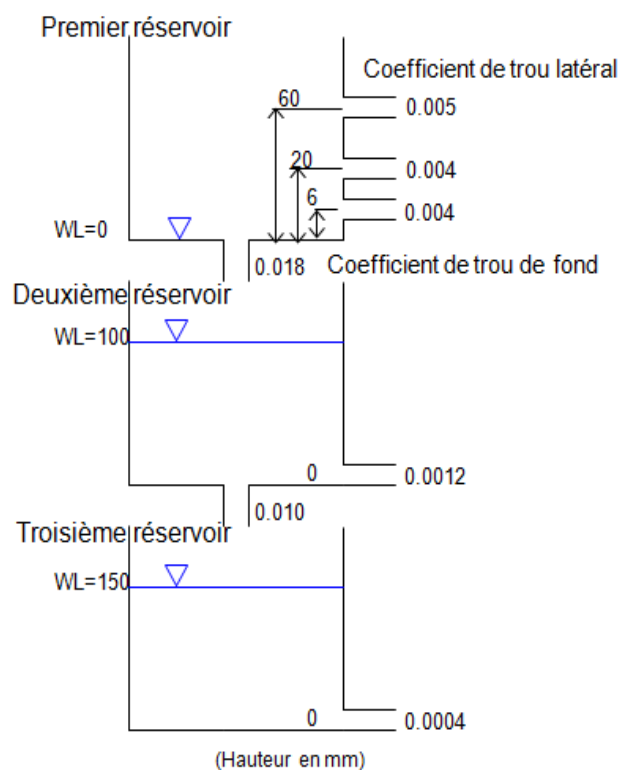
Janvier			Février			Mars			Avril		
Début	Mi	Fin	Début	Mi	Fin	Début	Mi	Fin	Début	Mi	Fin
3,7	3,73	3,95	4,21	4,47	4,39	4,28	4,16	4,11	3,96	3,72	3,61
Mai			Juin			Juillet			Août		
Début	Mi	Fin	Début	Mi	Fin	Début	Mi	Fin	Début	Mi	Fin
3,61	3,61	3,61	3,61	3,61	3,61	3,61	3,61	3,61	4,44	4,44	4,76
Septembre			Octobre			Novembre			Décembre		
Début	Mi	Fin	Début	Mi	Fin	Début	Mi	Fin	Début	Mi	Fin
4,80	4,69	4,57	4,90	4,40	4,27	4,10	3,92	3,91	3,80	3,63	3,49

Note) A cause de l'absence de données d'observation, la valeur de fin avril est utilisée du mai au juillet.

## b) Constants du modèle de réservoir

Par des calculs d'essai visant à obtenir le facteur de corrélation supérieure à 0,9 et le taux d'écoulement presque égal entre le calcul et l'observation, on a réussi à obtenir le facteur de corrélation de 0,955 et le même taux d'écoulement de 7,9 % avec les constants montrés dans la figure de droite.

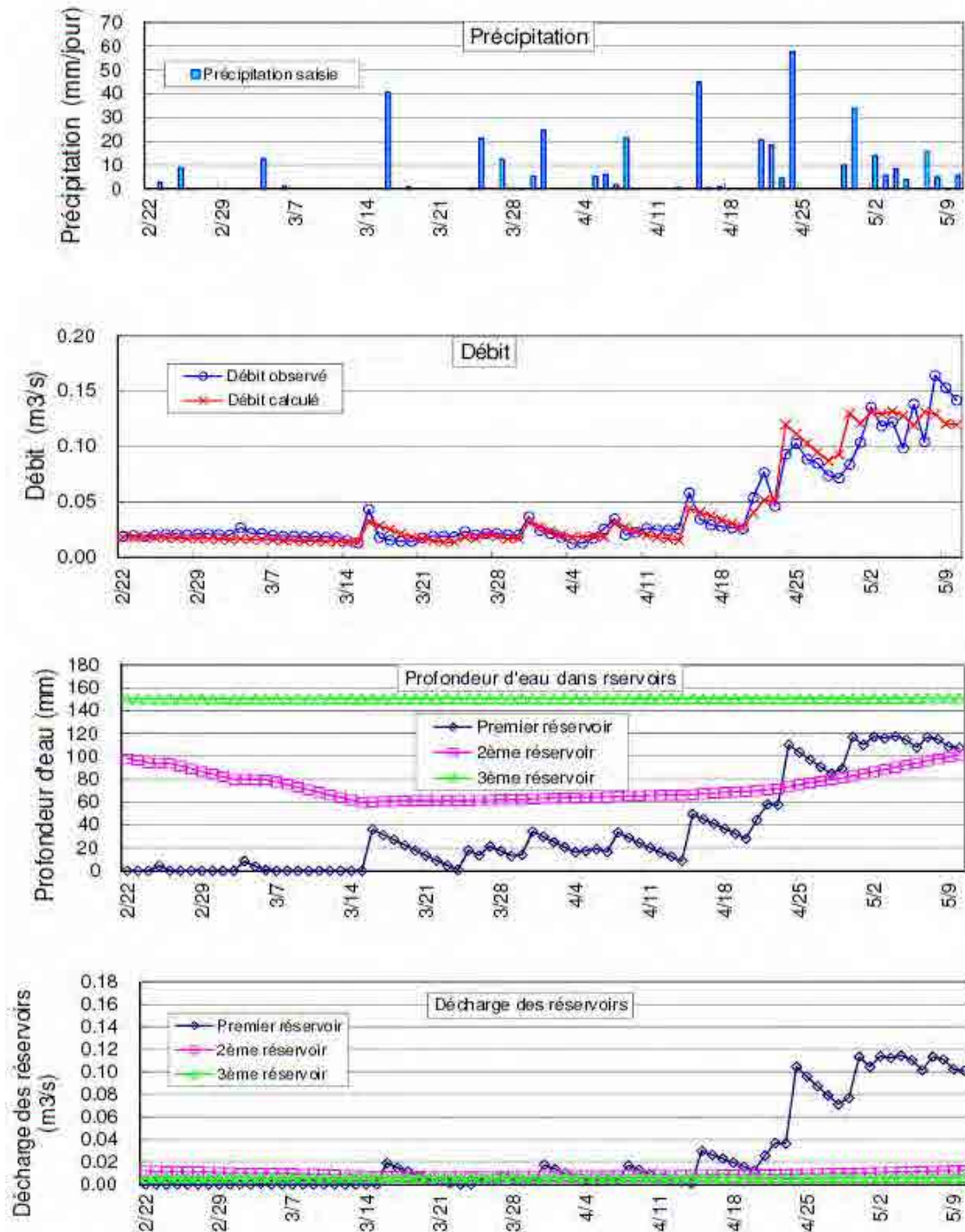
A propos de la profondeur d'eau à considérer dans les calculs annuels de la section suivante, comme les données d'observation sont peu nombreuses et que le risque d'expansion d'erreur augmente avec des reports séquentiels des valeurs d'une année à l'autre, on remet à la valeur initiale la profondeur d'eau dans les réservoirs au premier janvier de chaque année.



**Fig. 4-1-1-2 Modèle de Réservoir**



Comparison du débit calculé pour modèle de réservoir et du débit observé



Résultat du calcul pour modèle de réservoirs

Période du 22/2/2012 au 10/5/2012			
Facteur de corrélation	0,955	Taux d'écoulement (%)	
Débit cumulé, calculé	289 × 1000 m3	Calculé	7,9 %
Débit cumulé, observé	290 × 1000 m3	Observé	7,9 %
Précipitation cumulée	417		

Fig.4-1-1-3 Comparaison du débit calculé et du débit observé

#### iv) Évaluation du volume de retenue

Bien qu'il y ait deux stations météorologiques près du site de barrage, à Gahororo et à Kibungo (tous les deux se trouvent à 8 km du site de barrage), les données de précipitation quotidienne de la station météorologique de Gahororo sont adoptées à l'analyse du point de vue suivant.

- Les données de précipitation quotidienne durant 34 ans de 1960 à 1993 sont disponibles à Gahororo.
- Les données de précipitation quotidienne durant 63 ans de 1931 à 1994 sont relevées à Kibungo, mais celles récentes de 1981 à 1989 sont manquantes.
- Par conséquent, il est approprié d'adopter les données de la station de Gahororo considérant la tendance de diminution de la précipitation annuelle dans ces années.



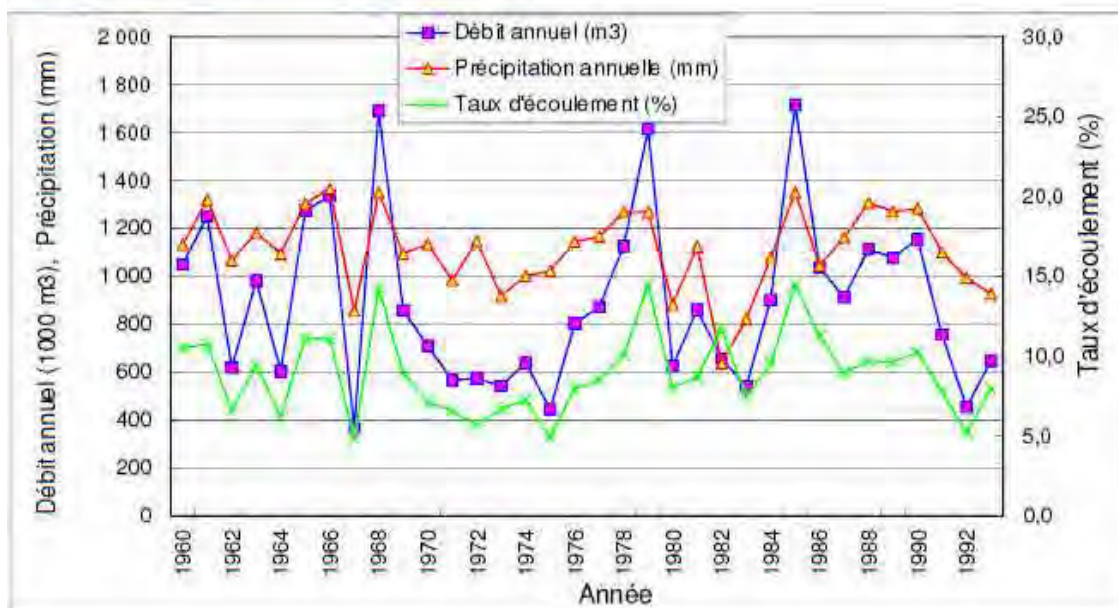
En appliquant les données de précipitation quotidienne de 34 ans de 1960 à 1993 à Gahororo au modèle de réservoir construit dans la section précédente, on obtient le débit fluvial quotidien correspondant. Le tableau 4-1-1-2 et la figure 4-1-1-5 ci-dessous montrent le débit fluvial annuel évalué.

**Tableau 4-1-1-2 Résultat du calcul du débit fluvial annuel par modèle de réservoir**

Résultat du calcul du débit fluvial annuel par modèle de réservoir

Année	Débit annuel	Précipitation annuelle (mm)	Taux d'écoulement	Classement de débit	
				Classement année pluvieuse	Classement année sèche
1960	1 050	1 133	10,5	11	24
1961	1 251	1 320	10,8	6	29
1962	620	1 067	6,6	26	9
1963	982	1 183	9,4	13	22
1964	604	1 094	6,3	27	8
1965	1 275	1 304	11,1	5	30
1966	1 336	1 366	11,1	4	31
1967	364	856	4,8	34	1
1968	1 691	1 349	14,2	2	33
1969	858	1 095	8,9	18	17
1970	709	1 134	7,1	21	14
1971	567	984	6,6	29	6
1972	573	1 147	5,7	28	7
1973	543	918	6,7	30	5
1974	638	1 002	7,2	24	11
1975	444	1 022	4,9	33	2
1976	802	1 145	8,0	19	16
1977	873	1 166	8,5	16	19
1978	1 126	1 268	10,1	8	27
1979	1 614	1 269	14,5	3	32
1980	626	883	8,1	25	10
1981	860	1 124	8,7	17	18
1982	657	637	11,7	22	13
1983	541	822	7,5	31	4
1984	801	1 077	9,5	15	20
1985	1 715	1 349	14,4	1	34
1986	1 036	1 046	11,3	12	23
1987	913	1 161	8,9	14	21
1988	1 114	1 306	9,7	9	26
1989	1 077	1 270	9,6	10	25
1990	1 155	1 283	10,2	7	28
1991	755	1 100	7,8	20	15
1992	455	994	5,2	32	3
1993	647	927	7,9	23	12
Moyenne	877	1 105	8,8		
Min	364	637	4,8		
Max	1 715	1 366	14,5		

Données manquantes comprises  
Données manquantes comprises  
Données manquantes comprises  
Données manquantes comprises



**Fig. 4-1-1-5 Résultat du calcul du débit fluvial annuel par modèle de réservoir**



## v) Année de référence et débit fluvial disponible

La probabilité d'occurrence est calculée sur le débit fluvial annuel attendu, obtenu par l'analyse de modèle de réservoir afin de choisir comme année de référence l'année sèche avec la probabilité de 3/10 comme dans Nyanza-23 du Projet LWH. Ainsi le débit fluvial annuel de cette année sera considéré comme le débit fluvial disponible.

A la base des résultats de calcul ci-dessous, on considère la quantité d'eau disponible de 697 149 m<sup>3</sup> = 700 000 m<sup>3</sup> qui correspond à la probabilité d'occurrence de trois ans et choisit comme année de référence l'année 1970 dont la valeur annuelle est de 709 000 m<sup>3</sup>.

**Tableau 4-1-1-3 Résultat du calcul de la probabilité (1)**

Nombre de données extrêmes 10% N/10	Constant minimum b
3	-17,7

	x <sub>l</sub> Max	x <sub>s</sub> Min	x <sub>g</sub> log <sub>10</sub> x <sub>g</sub> = $\frac{1}{2} \log_{10} x_l$	x <sub>l</sub> -x <sub>s</sub> -x <sub>g</sub> <sup>2</sup>	2x <sub>g</sub> -(x <sub>l</sub> +x <sub>s</sub> )	b <sub>s</sub> $\frac{x_l \cdot x_s - x_g^2}{2x_g - (x_l + x_s)}$	b Moyenne b <sub>s</sub>
1	1 715,000	364,000	833,0151	-69654,10	-412,97	168,67	168,7
2	1 691,000	444,000	833,0151	56889,90	-468,97	-121,31	23,7
3	1 614,000	455,000	833,0151	40455,90	-402,97	-100,39	-17,7
4	1 275,000	543,000	833,0151	-1589,10	-151,97	10,46	-10,6
5	1 251,000	567,000	833,0151	15402,90	-151,97	-101,35	-28,8
6	1 155,000	573,000	833,0151	-32099,10	-61,97	517,98	62,3
7	1 126,000	604,000	833,0151	-13810,10	-63,97	215,88	84,3
8	1 114,000	620,000	833,0151	-3234,10	-67,97	47,58	79,7
9	1 077,000	638,000	833,0151	-6788,10	-48,97	138,62	86,2
10	1 050,000	647,000	833,0151	-14564,10	-30,97	470,27	124,6

Unité: m<sup>3</sup>/an

Déviaton standard S <sub>x</sub>	1/a
0,17868	0,25733

Année d'occurrence					Probabilité Année d'occurrence
Année T	ξ	1/a · ξ	Moyenne Y +1/a · ξ	x+b	x
1	0,0000	0,0000	2,9105	813,8	831,499
2	0,0000	0,0000	2,9105	813,8	831,499
3	0,3045	0,0784	2,8322	679,5	697,149
4	0,4769	0,1227	2,7878	613,5	631,167
5	0,5951	0,1531	2,7574	572,0	589,670
6	0,6858	0,1765	2,7340	542,1	559,741
7	0,7547	0,1942	2,7163	520,4	538,056
8	0,8134	0,2093	2,7012	502,6	520,268
9	0,8634	0,2222	2,6883	487,9	505,596
10	0,9062	0,2332	2,6773	475,7	493,378

Tableau 4-1-1-3 Résultat du calcul de la probabilité (2)

Nombre d'échantillons variables N= 28		Total		(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	11)			Année R.P.
Total/N		25 263,00 902,25	81,778 2,921	81,495 2,911	238,087 8,503	26 487 775,0 945 992,0	31 536 025 803,0 1 126 286 635,8				ξ	period,	period <sub>0</sub>	ξ <sub>1</sub>	ξ <sub>0</sub>	
Ordre n	ANNEE	xi	Fn(%)	log <sub>e</sub> xi	xi+b	log(xi+b)	Y <sub>e</sub>	Y <sup>2</sup>	x <sup>2</sup>	x <sup>3</sup>	ξ	period,	period <sub>0</sub>	ξ <sub>1</sub>	ξ <sub>0</sub>	
1	S 42	364,000	96,55	2,56110	346,321	2,53948	6,44895	132 496,000	48 228 544,0	1,4419	48	49	1,4404	1,4464	48,2	
2	S 50	444,000	93,10	2,64738	426,321	2,62974	6,91552	197 136,000	87 528 384,0	1,0912	16	17	1,0848	1,1065	16,3	
3	H 4	455,000	89,66	2,65801	437,321	2,64080	6,97383	207 025,000	94 196 375,0	1,0482	14	15	1,0361	1,0614	14,5	
4	S 48	543,000	86,21	2,73480	525,321	2,72042	7,40071	294 849,000	160 103 007,0	0,7387	6	7	0,6858	0,7547	6,8	
5	S 46	567,000	82,76	2,75358	549,321	2,73983	7,50665	321 489,000	182 284 263,0	0,6633	5	6	0,5951	0,6858	5,8	
6	S 47	573,000	79,31	2,75815	555,321	2,74454	7,52532	328 329,000	188 132 517,0	0,6450	5	6	0,5951	0,6858	5,6	
7	S 39	604,000	75,86	2,78104	586,321	2,76814	7,66257	364 816,000	220 348 864,0	0,5533	4	5	0,4769	0,5951	4,6	
8	S 37	620,000	72,41	2,79239	602,321	2,77983	7,72744	384 400,000	238 328 000,0	0,5079	4	5	0,4769	0,5951	4,3	
9	S 49	638,000	68,97	2,80482	620,321	2,79262	7,79871	407 044,000	259 694 072,0	0,4582	3	4	0,3045	0,4769	3,9	
10	H 5	647,000	65,52	2,81090	629,321	2,79887	7,83369	418 609,000	270 840 023,0	0,4339	3	4	0,3045	0,4769	3,8	
11	S 45	709,000	62,07	2,85065	691,321	2,83968	8,06378	502 681,000	356 400 829,0	0,2753	2	3	0,0000	0,3045	2,9	
12	H 3	755,000	58,62	2,87795	737,321	2,86766	8,22346	570 025,000	430 388 875,0	0,1666	2	3	0,0000	0,3045	2,5	
13	S 51	802,000	55,17	2,90417	784,321	2,89449	8,37810	643 204,000	515 849 608,0	0,0623	2	3	0,0000	0,3045	2,2	
14	S 44	858,000	51,72	2,93349	840,321	2,92445	8,55238	736 164,000	631 628 712,0	-0,0541	1	2	0,0000	0,0000	1,0	
15	S 56	860,000	48,28	2,93450	842,321	2,92548	8,55842	739 600,000	636 056 000,0	-0,0581	1	2	0,0000	0,0000	1,0	
16	S 52	873,000	44,83	2,94101	855,321	2,93213	8,59738	762 129,000	665 338 617,0	-0,0839	1	2	0,0000	0,0000	1,0	
17	S 59	901,000	41,38	2,95472	883,321	2,94612	8,67962	811 801,000	731 432 701,0	-0,1383	1	2	0,0000	0,0000	1,0	
18	S 38	982,000	37,93	2,99211	964,321	2,98422	8,90558	964 324,000	946 966 168,0	-0,2864	1	2	0,0000	0,0000	1,0	
19	S 35	1050,000	34,48	3,02119	1 032,321	3,01381	9,08308	1 102 500,000	1 157 625 000,0	-0,4014	1	2	0,0000	0,0000	1,0	
20	H 1	1077,000	31,03	3,03222	1 059,321	3,02503	9,15079	1 159 929,000	1 249 243 533,0	-0,4449	1	2	0,0000	0,0000	1,0	
21	S 63	1114,000	27,59	3,04689	1 096,321	3,03994	9,24122	1 240 996,000	1 382 469 544,0	-0,5029	1	2	0,0000	0,0000	1,0	
22	S 53	1126,000	24,14	3,05154	1 108,321	3,04467	9,26999	1 267 876,000	1 427 628 376,0	-0,5213	1	2	0,0000	0,0000	1,0	
23	H 2	1155,000	20,69	3,06258	1 137,321	3,05588	9,33842	1 334 025,000	1 540 798 875,0	-0,5648	1	2	0,0000	0,0000	1,0	
24	S 36	1251,000	17,24	3,09726	1 233,321	3,09108	9,55475	1 565 001,000	1 957 816 251,0	-0,7016	1	2	0,0000	0,0000	1,0	
25	S 40	1275,000	13,79	3,10551	1 257,321	3,09945	9,60657	1 625 625,000	2 072 671 875,0	-0,7341	1	2	0,0000	0,0000	1,0	
26	S 54	1614,000	10,34	3,20790	1 586,321	3,20312	10,25998	2 604 996,000	4 204 463 544,0	-1,1370	1	2	0,0000	0,0000	1,0	
27	S 43	1691,000	6,90	3,22814	1 673,321	3,22358	10,39146	2 859 481,000	4 895 382 371,0	-1,2165	1	2	0,0000	0,0000	1,0	
28	S 60	1715,000	3,45	3,23426	1 697,321	3,22976	10,43198	2 941 225,000	5 044 200 875,0	-1,2405	1	2	0,0000	0,0000	1,0	

\* Année R.P.=1,0 si inférieure à 2,0



## (b) Quantité disponible d'eau souterraine

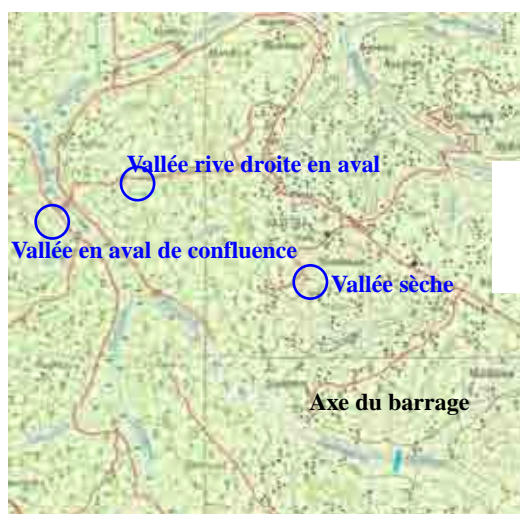
## i) Evaluation du potentiel d'utilisation de l'eau souterraine pour l'irrigation gravitaire

Selon l'investigation sur place effectuée le 16 et le 18 mars 2012, les ruissellements à la surface et les sources d'eau sur des terres marécageuses ont été observés même à la fin de la saison sèche dans trois vallées, à savoir la vallée sèche, la vallée rive droite en aval et la vallée en aval du point de confluence. (Se référer à "3-6-2.Reconnaissance hydrogéologique de la source, (5) Potentialité de mise en valeur des eaux souterraines".)

Les potentiels d'utilisation d'eau souterraine de ces vallées sont évalués comme suit :

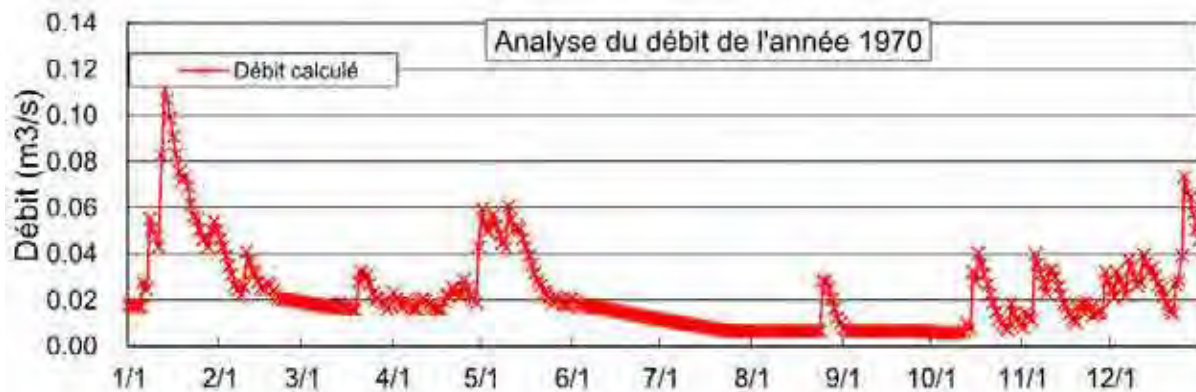
**Tableau 4-1-1-4 Evaluation de potentiel d'utilisation de l'eau souterraine pour l'irrigation gravitaire**

Vallée	Observations	Evaluation
Vallée sèche (CA=1.7 km <sup>2</sup> )	Un cours d'eau artificiel et deux cours d'eau naturels avec environ 1 litre/seconde de débit ont été confirmés au milieu de la vallée lors de l'investigation sur place du 18 mars. On peut donc s'attendre à environ 3 litres/seconde d'eau souterraine disponible. (Se référer au calcul d'essai.) Selon l'analyse d'écoulement par modèle de réservoir, le débit de base au site de barrage (8,8 km <sup>2</sup> ) lui-même baisse en dessous de 10 litres/seconde de juillet à septembre avec le débit fluvial de l'année de référence 1970.	On peut obtenir au total 1 à 5 litres/seconde d'eau souterraine et d'eau de surface. L'eau souterraine est évidemment la source principale, mais la quantité disponible varie énormément. Il est approprié de l'évaluer modérément à 3 litres/seconde.
Vallée rive droite en aval (CA=0.5 km <sup>2</sup> )	De petits cours d'eau et des terres marécageuses au milieu de la vallée et des sources d'eau au fond de la vallée ont été confirmés le 18 mars. On peut donc s'attendre à environ 2 litres/seconde d'eau souterraine disponible. (Se référer au calcul d'essai.) Selon l'analyse d'écoulement par modèle de réservoir, le débit de base au site de barrage (8,8 km <sup>2</sup> ) lui-même baisse en dessous de 10 litres/seconde de juillet à septembre avec les débits de l'année de référence 1970.	On peut obtenir au total 0,5 à 2 litres/seconde d'eau souterraine et d'eau de surface. La quantité disponible varie énormément. Il est approprié de l'évaluer modérément à 1 litre/seconde.
Vallée en aval de confluence (CA=0.8 km <sup>2</sup> )	Un cours d'eau d'environ 2 litres/seconde de débit au milieu de la vallée et une source d'eau d'environ 0,5 litre/seconde au fond de la vallée ont été confirmés le 18 mars. Selon l'analyse d'écoulement par modèle de réservoir, le débit de base au site de barrage (8,8 km <sup>2</sup> ) lui-même baisse en dessous de 10 litres/seconde de juillet à septembre avec les débits de l'année de référence 1970.	On peut obtenir au total 1 à 3 litres/seconde d'eau souterraine et d'eau de surface. La quantité disponible varie énormément. Il est approprié de l'évaluer modérément à 1 litre/seconde.



**Fig. 4-1-1-6 Emplacement des vallées pour l'évaluation du potentiel**

Quand on essaie d'utiliser l'eau souterraine pour l'irrigation en le rassemblant par la construction d'une structure simple, on a une reconnaissance de base que la fluctuation saisonnière du débit d'eau souterraine est petite. Si cette reconnaissance est loin de la réalité, c'est-à-dire le débit d'eau souterraine varie saisonnièrement autant que le résultat de l'analyse par modèle de réservoir où 20 litres/seconde du débit de base en mars et avril baisse à moins de 10 litres/seconde en août et septembre (se référer à la figure suivante), il serait nécessaire de construire aussi des structures importantes comme des barrages pour utiliser l'eau souterraine.



**Fig. 4-1-1-7 Débit calculé par l'analyse d'écoulement**

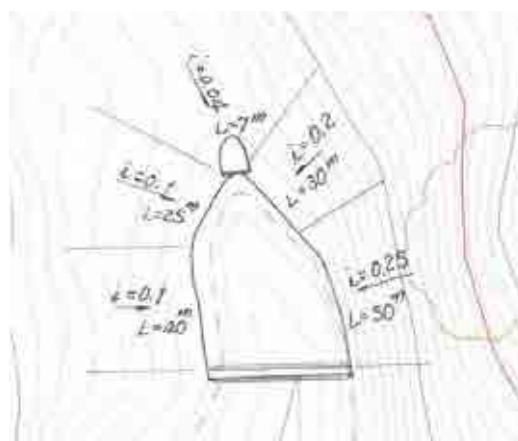
L'observation de débit au site de barrage n'a pas encore éprouvé la saison sèche de juillet, août et septembre, et le résultat d'analyse par modèle de réservoir n'est que la présomption sans aucune confirmation pour la saison sèche. En ce qui concerne l'eau souterraine, il est difficile d'évaluer le débit avec une fiabilité considérable sans aucune donnée d'observation réelle. Les valeurs évaluées de 3 litres/seconde, 1 litre/seconde et 1 litre/seconde dans le tableau ci-dessus sont les valeurs provisoires évalués modérément.

Quoique l'eau souterraine ait le fort potentiel comme ressource en eau d'irrigation et ait la haute possibilité d'utilisation, on ne l'inclut pas dans le projet comme la ressource en eau à cette étape de projet, mais la traite comme la ressource supplémentaire. Selon l'observation dans la saison sèche de juillet à septembre et la confirmation de l'efficacité des installations de la structure rassemblant l'eau souterraine par une construction d'essai, on étudiera comment utiliser l'eau souterraine dans le projet d'irrigation.

Calcul de l'eau souterraine disponible à la vallée sèche

Le coefficient de perméabilité de la couche superficielle de sol hautement perméable est évalué à  $k=6 \cdot 10^{-3}$  cm/sec (valeur supposée d'après le test de perméabilité au site de barrage) et l'épaisseur de cette couche, à 4 m. La quantité de l'eau souterraine dans cette couche perméable est calculée par la formule  $Q=k \cdot i \cdot A$ ,

$$\begin{aligned}
 Q &= 6 \times 10^{-3} \text{ cm/sec} \times (0,25 \times 400 \times 5000 + 0,2 \times 400 \times 3000 + \\
 &\quad 0,04 \times 400 \times 700 + 0,1 \times 400 \times 2500 + 0,1 \times 400 \times 4000) \\
 &= 6,067 \text{ cm}^3/\text{sec} \quad 6 \text{ litres/sec}
 \end{aligned}$$



**Fig. 4-1-1-8 Calcul d'eau souterraine de la vallée sèche**

En considérant que la pente de la surface d'eau souterraine est la moitié de la pente de surface de

terre, la quantité attendue d'eau serait 50 % de la valeur calculée, donc d'environ 3 litres/seconde.

#### Calcul de l'eau souterraine disponible à la vallée rive droite en aval

Les conditions d'évaluation sont les mêmes que celles de la vallée sèche.

$$Q = 6 \times 10^{-3} \text{ cm/sec} \times (0,33 \times 400 \times 7000 \times 2) \\ = 11\,088 \text{ cm}^3/\text{sec} \quad 11 \text{ litres/sec}$$

On suppose que le rechargeant d'eau souterraine serait faible en raison de la surface limitée de bassin versant. Si la pente de la surface d'eau souterraine est considérablement petite par rapport à la pente de la surface de terre, la quantité d'eau disponible attendue est de 2 litres/seconde environ.



**Fig. 4-1-1-9 Calcul d'eau souterraine de la vallée rive droite en aval**

#### iii) Utilisation d'eau souterraine par pompage

Dans le test de pompage en amont au site de barrage, une nappe aquifère a été confirmée à la profondeur de 45 m et le pompage constant et continu de 1,25 litres/seconde a été effectué avec succès. La quantité annuelle d'eau pompée par le système solaire de pompage est évaluée ci-dessous.

$$1.25 \text{ litres/sec} \times 86\,400 \times 8,5/24 \times 302 \text{ jours} \times 0.7 = 8\,000 \text{ m}^3$$

La quantité d'eau évaluée n'est pas importante en raison de la durée opérationnelle et l'efficacité de la pompe solaire. Donc, l'utilisation de l'eau souterraine par le pompage est limitée à la provision d'eau domestique comme l'eau de compensation.

#### (c) Quantité totale d'eau disponible

Quantité disponible de débit fluvial : 700 000 m<sup>3</sup>

#### Eau souterraine et eau de surface

(ressource en eau supplémentaire) : 5 litres/sec × 86 400 × 365 / 1 000 = 158 000 m<sup>3</sup>

Total : 700 000 m<sup>3</sup> (+ressource en eau supplémentaire de 158 000 m<sup>3</sup>)

#### (2) Besoin en eau d'irrigation

(a) Evaluation du besoin en eau d'irrigation de rizières et de la diminution du débit fluvial par la prise initiale d'eau d'irrigation de champs (Résultat de l'étude par M. Nakano, le conseiller auprès de MINAGRI)

#### i) Evaluation de l'eau économisable dans l'unité d'irrigation

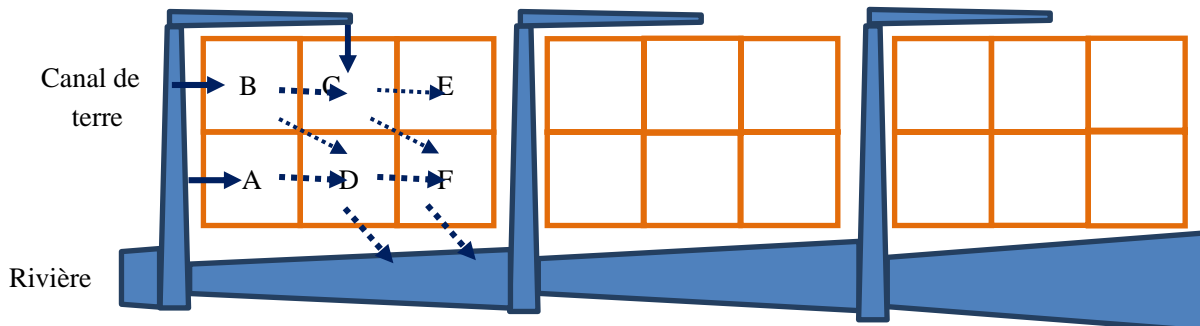
##### 1) Quantité de prise d'eau et de retour d'eau

Afin d'évaluer le besoin en eau d'irrigation de chaque unité d'irrigation, on définit le modèle d'irrigation parcelle en parcelle.

Pour l'évaluation, on suppose une unité d'irrigation composée de 6 parcelles de 20×20 m = 400 m<sup>2</sup>

(= 24 a qui correspondent à la taille réelle d'un ménage agricole, la superficie d'irrigation réelle sans compter la diguette) représentant une image modèle de rizière de la branche Ngoma-22.

Six 6 parcelles s'étendent sur un côté de rivière en deux rangées et le déversoir fournit l'eau d'irrigation à trois parcelles (A, B, C) par le canal de terre et d'autres trois parcelles (D, E, F) reçoivent l'eau de fuite à travers la diguette et l'eau de déversement des trois premières parcelles.



**Fig. 4-1-1-10 Modèle d'irrigation parcelle en parcelle**

Donc les parcelles A, B et C fournissent l'eau d'irrigation à la parcelle adjacente chacune par le déversement et par l'infiltration à travers la diguette.

Si le besoin en eau en profondeur apparent est de **110 mm/jour (20 mm par percolation verticale et 90 mm par infiltration à travers la diguette) et que ETc est de 5 mm/jour au maximum**, on peut conclure que:

- Dans les parcelles A, B et C, le besoin en eau est satisfait avec l'approvisionnement en eau d'environ 115 mm/jour.
- De même, dans les parcelles D, E et F, le besoin en eau est satisfait avec l'approvisionnement en eau d'environ 115 mm/jour en provenance des parcelles A, B et C.

Note-1.

Dans cette étude, on ne compte pas par commodité l'évapotranspiration (ET) dans le besoin en eau exprimé en profondeur.

Note-2.

Le tableau suivant montre le résultat du test de perte d'eau en profondeur sur 7 points de la branche Ngoma-22, selon le rapport de M. Yamagishi de la commission d'étude

**Tableau 4-1-1-5 Résultat de test de perte d'eau en profondeur**

Emplacement	Percolation mm/jour	Infiltration mm/jour
A	7,9	-
B	18,3	51,5
C	<b>20,1</b>	122,0
D	<b>20,0</b>	83,3
E	-	58,0
F	7,2	196,0
G	8,0	31,0
Moyenne	13,6	<b>93,7</b>

Considérant la fluctuation peu importante et la valeur maximale relevée, la valeur de 20 mm/jour est adoptée pour la percolation verticale.

Par contre l'infiltration à travers la diguette n'est pas stable de 31 mm à 196 mm et la valeur moyenne de 90 mm/jour est adoptée.

La grande quantité d'infiltration à travers la diguette est causée probablement par la nature de la diguette qui est de l'herbe et non pas terre.

Note-3.

Concernant l'évapotranspiration (ETc) du riz de rizière inondée, bien que le climat soit plus sec qu'au Japon, le Rwanda se situe dans la zone calme équatoriale et l'influence du vent est faible.

Quant à la transpiration, comme l'élévation du site est d'environ 1 400 m, la température est au maximum 5 °C plus bas (environ 28 °C) que les conditions de culture du riz au Japon.

A la différence du Japon où la saison de petite pluie (saison sèche) correspond à la période de la transpiration maximale (période de croissance maximale), la transpiration est maximale dans la saison de pluie où l'évaporation est minimale au Rwanda.

Pour les raisons évoquées en haut, on déduit que l'ETc du riz de rizière inondée au Rwanda est inférieur à celui de crête au Japon qui est de 6 à 8 mm/jour.

En fait, selon le résultat du calcul d'ETc du riz de rizière inondée par **CROPWAT8** avec les données de précipitations dans l'année de référence (année sèche 3/10), le ETC ne fluctuait pas beaucoup et le maximum était de **4,8 mm/jours en deuxième décade de septembre**.

Par conséquent, on adopte l'ETc de **5 mm/jour** (la valeur de crête) pour la simulation.

A la base des conditions ci-dessus, la quantité de prise d'eau nécessaire pour l'unité d'irrigation composée des parcelles ABCDEF est évaluée comme suit.

	Parcelles ABC		Parcelles DEF (moyenne)
Percolation verticale	<b>20 mm</b> (retour presque complet à la rivière)		<b>20 mm</b> (retour presque complet à la rivière)
ETc	5 mm		5 mm
Infiltration par diguette (fuite latérale)	90 mm	} Vers parcelle adjacente	<b>90 mm</b> (retour à la rivière)
Déversement	115-90= 25 mm		
Alimentation en eau totale:	<b>140 mm/jour</b>	Total: 115 mm	
			<b>Retour total à la rivière: environ 130 mm/jour</b>

Donc la quantité de prise d'eau unitaire pour les parcelles ABC pour garder 6 parcelles en état stable est de :

$$140 \text{ mm/jour} \times 400 \text{ m}^2 = 56,0 \text{ m}^3/\text{parcelle/jour}$$

Comme l'unité d'irrigation possède 3 points de prise d'eau, on obtient  $56,0 \times 3 = 168,0 \text{ m}^3$ .

En conclusion, **la quantité de prise d'eau nécessaire par unité d'irrigation (par ménage agricole) est de 168,0 m<sup>3</sup>/jour...**

A noter qu'on suppose que la fuite latérale à travers la diguette de 90 mm des parcelles D, E et F et la percolation verticale de 20 mm de chacune des 6 parcelles retournent complètement à la rivière puisque la rizière est située à l'intérieur de vallée sur le terrain marécageux.



En plus de cela, la colline alimente la rivière en eau souterraine et le débit fluvial augmente de plus en plus en aval. Donc en réalité, l'afflux de la rivière (le retour d'eau et l'eau souterraine) dépasse la quantité d'eau prise pour l'irrigation (à décrire ultérieurement).

2) Economie d'eau par l'amélioration des conditions de rizière

Ici on étudie le cas de **la réduction de l'infiltration à travers la diguette** de 90 mm/jour à **10 mm/jour (la moitié de la percolation verticale de la rizière)** par l'amélioration des diguettes (reconstruction avec l'argile seule ou revêtement par l'argile).

Le besoin en eau d'irrigation dans ce cas est la percolation verticale de 20 mm/jour, l'infiltration à travers la diguette de 10 mm/jour et ETc de 5 mm/jour.

- Pour les parcelles A, B et C, donc l'approvisionnement en eau de 35 mm/jour est suffisant.

De même,

- Pour les parcelles D, E et F, l'excédent d'eau de 35 mm/jour en moyenne en provenance des parcelles A, B et C est suffisant.

	Parcelles ABC		Parcelles DEF (moyenne)
Percolation verticale	<b>20 mm</b> (retour presque complet à la rivière)		<b>20 mm</b> (retour presque complet à la rivière)
ETc	5 mm		5 mm
Infiltration par diguette (fuite latérale)	10 mm	}	<u>10 mm</u> (retour à la rivière)
Déversement	25 mm		Total: 35 mm
Alimentation en eau totale:	<b>60 mm/jour</b>	} 35 mm	<b>Retour total à la rivière: environ 50 mm/jour</b>

- Donc la quantité moyenne de prise d'eau pour les parcelles ABC pour garder 6 parcelles en état stable est de:

$$60 \text{ mm/jour} \times 400 \text{ m}^2 = 24,0 \text{ m}^2/\text{parcelle/jour}$$

Comme l'unité d'irrigation possède 3 points de prise d'eau, on obtient  $24,0 \times 3 = 72,0 \text{ m}^3$ .

En conclusion, **la quantité de prise d'eau nécessaire par unité d'irrigation (par ménage agricole) est de 72,0 m<sup>3</sup>/jour...**

Le rapport des valeurs et de  $72,0 / 168,0 = 42,9 \%$  montre **le taux d'économie de 57,1 %**, ce qui permet d'économiser plus de la moitié d'eau.

3) Modèle de répartition de rizières

Ici, on établit le modèle de calcul de la surface de rizière par rapport à la distance d'écoulement de la rivière.

Selon le levé topographique, la surface totale des rizières le long de la branche Ngoma-22 de la longueur totale de 3,8 km est de 35 ha.

Comme la branche en question est presque linéaire sans courbes nombreuses, on considère que la rivière est en ligne droite et que des rizières sont réparties en forme de trapèze. A partir de la largeur de rizière à l'extrémité en amont de la rivière d'environ 20 m, on calcule selon la formule de superficie de trapèze la largeur de rizière B à l'extrémité en aval de la rivière.

$$(20 + B) \times 3\,800 / 2 = 35 \times 100 \times 100 \text{ (m}^2\text{)}$$

La réponse de cette équation est B=164 (m).

(Note) La largeur réelle de rizière à l'extrémité en aval de la rivière est de 150 à 175 m selon le levé topographique et le modèle trapézoïdal de répartition de rizières avec 20 m de base supérieure et 164 m de base inférieure avec 3 800 m de hauteur est adéquat pour évaluer grossièrement la relation entre le débit fluvial et la condition d'eau d'irrigation des rizières.

En conséquence, la quantité nette d'eau économisée sur les rizières de 35 ha le long de la branche Ngoma-22 est calculée comme suit.

$$(168,0 - 72,0) / 0,24 \times 35 = 14\ 000 \text{ m}^3 / \text{jour} \dots \text{eau totale économisée sur l'aire de 35 ha}$$

Le calcul ne tient pas compte de réduction de superficie par la rivière, des canaux et des diguettes.

Cependant, la quantité réelle d'eau économisée n'est pas 14 000 m<sup>3</sup> parce que l'eau d'irrigation pour la surface de 35 ha n'est pas prise d'un seul coup, mais par un cycle séquentiel et répétitif de l'approvisionnement en eau de la rivière aux rizières et le flux de retour des rizières à la rivière vers l'aval.

Bien que l'approvisionnement en eau des parcelles A, B et C diminue (**140 mm/jour - 60 mm/jour = 80 mm/jour**) par l'amélioration des conditions de rizière, on perd la même quantité (**130 mm/jour - 50 mm/jour = 80 mm/jour**) dans le flux de retour des parcelles E, D et F vers la rivière.

Donc la quantité de consommation réelle est uniquement l'ETc et comme le flux de retour à la rivière diminue proportionnellement à la diminution de l'approvisionnement en eau d'irrigation, l'augmentation du débit fluvial par l'économie de l'approvisionnement en eau est très proche de la diminution du flux de retour à la rivière.

Ceci montre que l'augmentation du débit fluvial par l'économie en eau d'irrigation est compensée par la diminution du flux de retour à la rivière et l'amélioration des diguettes qui empêchent l'infiltration n'entraîne pas l'augmentation des ressources en eau (excédent d'eau) dans ce modèle de recyclage de l'irrigation parcelle en parcelle et de retour à la rivière.

#### 4) Evaluation du débit de base pendant la saison d'irrigation

Le débit fluvial de 0,070 m<sup>3</sup>/sec a été observé par la commission d'étude à l'extrémité en aval de la branche Ngoma-22 à 10h00 le 25 mars 2012.

Bien qu'il soit possible que le débit de base est élevé à cette période de l'année qui correspond au début de la saison de pluie, les stations d'observation de pluie installées dans le bassin versant de Ngoma-22 n'ont enregistré que 1,2 mm de précipitation pendant les 7 jours qui précèdent cette observation et on peut donc négliger l'influence des pluies sur le débit fluvial.

Le débit fluvial relevé à 10h00 le 25 mars 2012 à la station de mesure de débit à l'axe du barrage de Ngoma-22 est de 42 mm en hauteur de la nappe déversante qui est équivalent au débit de 0.0176 m<sup>3</sup>/sec; ainsi on a confirmé que le débit faible observé correspondait au débit de base.

Compte tenu de ces points, pour la présente simulation on adopte comme débit fluvial de base pendant la saison d'irrigation le débit de 0,0176 m<sup>3</sup>/sec à l'axe du barrage et de 0,070 m<sup>3</sup>/sec à l'extrémité en aval de la branche pour calculer le débit fluvial quotidien de la façon suivante :

$$\text{Axe du barrage : } 0,0176 \text{ m}^3/\text{sec} \times 3\ 600 \times 24 = \mathbf{1\ 521 \text{ m}^3/\text{sec}}$$

$$\text{Extrémité en aval de la branche: } 0,070 \text{ m}^3/\text{sec} \times 3\ 600 \times 24 = \mathbf{6\ 048 \text{ m}^3/\text{sec}}$$

Alors on définit le débit fluvial quotidien de base dans la saison sèche comme suit :

- **1 521 m<sup>3</sup>/jour à l'axe du barrage et 6 048 m<sup>3</sup>/jour à l'extrémité en aval de la branche**

#### i) Evaluation en cas de baisse du débit de 2/3 au niveau de l'axe du barrage

Ici nous allons étudier l'influence sur l'approvisionnement en eau d'irrigation de rizière en cas de prise d'eau au niveau de l'axe du barrage de 2/3 du débit de base pour l'irrigation de champs, en plus de l'économie d'eau par l'amélioration des conditions de rizière.

Plus précisément, nous allons vérifier si le besoin en eau d'irrigation de rizière est satisfait sur la longueur de 3.8 km de l'axe du barrage jusqu'à l'extrémité en aval de la branche Ngoma-22 quand le débit fluvial à l'axe du barrage est limité à 17,6 litres/sec/3 = 5,9 litres/sec environ (185 000 m<sup>3</sup> par an environ).

(Cette condition correspond à l'approvisionnement en eau d'irrigation de champs de 540 000 m<sup>3</sup> pour un débit de base annuel supposé de 700 000 m<sup>3</sup>).

1) Modèle approximatif du débit fluvial

A la base de la relation du débit fluvial de 1 521 m<sup>3</sup>/jour à l'axe du barrage et de 6 048 m<sup>3</sup>/jour à l'extrémité en aval de la branche, on assume que le débit fluvial augmente bidimensionnellement selon l'aire commandée tout le long de la branche de 3,8 km comme le débit augmente principalement par des précipitations.

Donc, à la base de la distance de la branche Ngoma-22 depuis la ligne de partage des eaux (environ 2 km de l'axe du barrage, mesurée sur la carte), s'il est proportionnel au carré de la longueur de rivière, le débit fluvial peut être exprimé par l'équation quadratique qui passe les points a, b et c ci-dessous.

x = -2000	0 m <sup>3</sup> /jour	(-2000, 0)	... a
x = 0	1 521 m <sup>3</sup> /jour	( 0, 1521)	... b
x = 3800	6 048 m <sup>3</sup> /jour	( 3800, 6048)	... c

Pour la commodité d'étude, on calcule l'approximation en déplaçant l'abscisse de -2000.

L'approximation ici est l'équation quadratique suivante qui passe les points a' (0,0), b' (2000, 1521) et c' (5800, 6048).

$$y' = A*x^2 + B*x$$

La solution de l'équation est A = 0,000074278 et B = 0,61194.

Donc l'approximation est (avec 4 chiffres significatifs) :

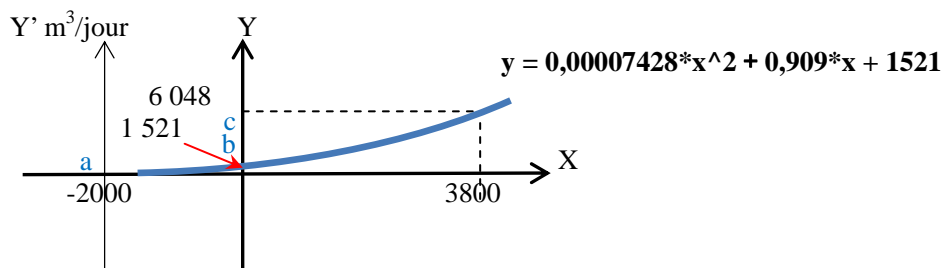
$$y' = 0,00007428*x^2 + 0,6119*x$$

On le convertit aux coordonnées X-Y.

$$y = 0,00007428*{(x+2000)}^2 + 0,6119*(x+2000)$$

On obtient donc l'approximation suivante:

$$y = 0,00007428*x^2 + 0,9090*x + 1521 \dots \text{Formule } \textcircled{1} \text{ Approximation du débit fluvial}$$



**Fig. 4-1-1-11 Modèle approximatif du débit fluvial**

(Vérification du calcul)

$$x = -2000\text{m} \quad y = 0,00007428*(-2000^2) + 0,909*(-2000)+1521 = 0,12 \text{ m}^3 / \text{jour}$$

$$x = 0\text{m} \quad y = 0,00007428*(0^2) + 0,909*(0)+1521 = 1 521 \text{ m}^3 / \text{jour}$$

$$x = 3800\text{m} \quad y = 0,00007428*(3800^2) + 0,909*(3800)+1521 = 6 047,8032 \text{ m}^3 / \text{jour}$$

2) Modèle de consommation nette d'eau par ETc

Grâce à l'utilisation répétitive de l'eau par le retour à la rivière, la consommation réelle de l'eau est la quantité d'évapotranspiration.

Pour une unité d'irrigation, elle est  $5 \text{ mm} \times 400 \times 6 \text{ parcelles} = 12,0 \text{ m}^3 / 0,24 \text{ ha}$

Comme l'aire de 35 ha contient la superficie de rivière, canaux et diguettes, on va estimer l'aire d'irrigation réelle.

Puisque la largeur de rivière est d'environ 1,7 m à l'axe du barrage et d'environ 3 m à l'extrémité en aval, l'aire totale de la rivière est calculée de la façon suivante :

$$(1,7 + 3) * 3800 / 2 = 8 930 \text{ m}^2$$

Si on estime la largeur moyenne de diguette (y compris le canal) à 50 cm et la taille standard de parcelle à  $20 \times 20 \text{ m}$ , le taux de diminution de terrain est comme suit:

$$(20 - 0,5/2 \quad 0,5/2) ^2 / 20^2 = 0,950625 \quad 95 \%$$

Par conséquent l'aire d'irrigation est:

$$(350000 - 8930) * 95 \% = 324016 \quad 32,4 \text{ ha (Taux de diminution de terrain: } 32,4/35 = 92,6 \%)$$

Donc la consommation totale en eau des rizières de la branche est :

$$12,0 / 0,24 \times 32,4 = \boxed{1 620 \text{ m}^3 / \text{jour} \dots \text{ Consommation nette (totale de 35 ha)}}$$

Ensuite, pour calculer la diminution du débit fluvial par la consommation d'eau des rizières, nous allons établir une formule d'accumulation d'eau consommée depuis l'axe du barrage de  $x=0$  (m) jusqu'à  $x=3800$  (m).

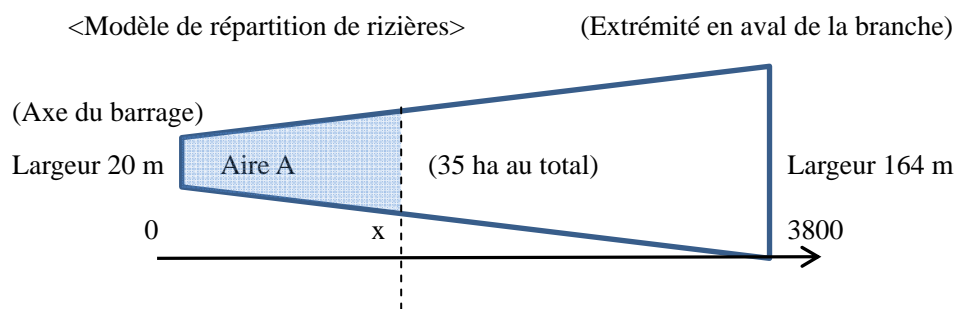
Le modèle de répartition des rizières de la branche Ngoma-22 est, comme on a vu jusqu'ici, en forme trapézoïdale avec la largeur de rizières à l'extrémité en amont (sous l'axe du barrage) de 20 m, celle à l'extrémité en aval de 164 m, la longueur totale de 3,8 km et l'aire totale de 35 ha.

Donc avec une pente estimée de  $(164-20)/3800$ , la largeur de rizières  $b$  d'un point donné entre  $x=0$  et 3800 m est obtenue par l'expression linéaire suivante qui passe le point  $(x=0, y=20)$  :

$$b = (164-20) / 3800 * x + 20 = 0,037895 * x + 20$$

De même, l'aire de rizières  $A$  du point initial jusqu'au point donnée  $x$  (m) correspond à l'aire d'un trapèze de la base supérieure de 20 m, de la base inférieure de  $b$  m et de la hauteur de  $x$  m, et peut être obtenue par la formule suivante :

$$\begin{aligned} A &= (20+0,037895*x+20) * x / 2 \\ &= 0,01895*(x^2) + 20*x \end{aligned}$$



**Fig. 4-1-1-12 Modèle de répartition de rizières**

(Vérification du calcul)

Avec  $x=3800$  m,  $B = 0,01895*(3800^2) + 20*3800 = 349\ 638$  35ha

A partir de la consommation en eau par unité d'irrigation de  $12,0\ m^3/0,24$  ha, la consommation en eau par  $m^2$  est:

$$v = 12,0\ m^3 / 2400\ m^2 = 0,005\ m^3/m^2$$

Compte tenu des diguettes, canaux et rivière, **le taux de diminution de terrain** est de  $32,40$  ha/35,0 ha = **92,6 %**.

$$v' = 0,005 * 92,57\ \% = 0,004630\ m^3/m^2$$

La consommation totale en eau  $V_p$  jusqu'à la distance donnée de  $x$  (m) est comme suit :

$$V_p = v' * A = 0,00008773*(x^2) + 0,09260*x$$

(Vérification du calcul)

Avec  $x= 3800$  (m),  $V_p = 0,00008773*(3800^2) + 0,09260*3800 = 1\ 618,7012$  1 620 $m^3$  / 35 ha

**$y = 0,00008773 * x^2 + 0,0926 * x$  ... Formule ② Consommation totale ETc des rizières**

3) Approvisionnement en eau de tous les 100 m le long de la rivière

Comme décrit en haut, la consommation réelle en eau par l'irrigation de rizière est limitée principalement à la consommation ETc (évapotranspiration), mais l'alimentation en eau des rizières contient également l'eau retournée à la rivière par la percolation verticale, le déversement de parcelle en parcelle et l'infiltration à travers la diguette.

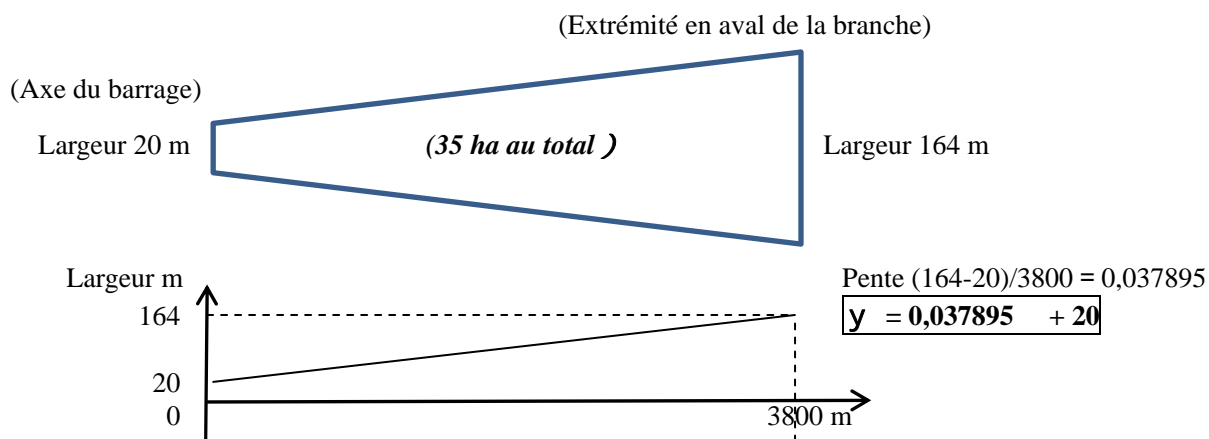
Dans cette section, on vérifie la relation entre le débit fluvial restant et la quantité d'approvisionnement en eau des rizières.

La quantité d'approvisionnement en eau par unité d'irrigation après l'amélioration des diguettes est de  $72,0\ m^3/0,24$  ha, comme décrit en haut.

On ne peut pas déterminer la largeur du bloc pour chaque prise d'eau, mais vu la situation réelle où on irrigue 3 à 5 parcelles au bout d'un canal d'eau avec la répétition de prise d'eau vers l'aval, on fait le calcul approximatif par l'intervalle de 100 m de longueur.

D'abord, on établit la formule pour calculer l'aire de rizières de tous les 100m et ensuite évalue la quantité d'approvisionnement en eau à l'aire calculée.





**Fig. 4-1-13 Relation entre la distance et l'aire de rizières**

Selon les conditions ci-dessus, l'aire de rizière correspond à la superficie d'un trapèze montré en haut et celle d'un point donné  $x$  ( $0 < x < 3800$  et intervalle de 100m) peut être calculé par la formule suivante avec la base supérieure de  $0,037895x + 20$ , la base inférieure de  $0,037895(x + 100) + 20$  et la hauteur de 100 m.

$$\begin{aligned} A &= \{(0,037895(x) + 20) + (0,037895(x + 100) + 20)\} \times 100 / 2 \\ &= (0,07579x + 43,7895) \times 50 \\ &= 3,7895x + 2189,5 \text{ (unité: m}^2, 0 < X < 3800 \text{ et intervalle de 100 m)} \end{aligned}$$

On applique le taux de diminution de terrain de 92,6 % à la quantité d'approvisionnement en eau unitaire par mètre carré, calculé à partir de l'approvisionnement quotidien en eau par unité d'irrigation :

$$vt = 72,0 \text{ m}^3 / 2400 \text{ m}^2 * 92,6 \% = 0,02778 \text{ m}^3 / \text{m}^2$$

L'approvisionnement en eau quotidien par 100 m est donc :

$$y = vt * A = 0,10527x + 60,824$$

$$\boxed{y = 0,1053x + 60,82} \text{ (unité: m}^3, 0 < X < 3800 \text{ et intervalle de 100 m)}$$

### ...Formule ③ Quantité de prise d'eau chaque 100 m

Nous allons déterminer ensuite l'intervalle de prise d'eau par unité d'irrigation.

D'après l'investigation sur place du 22 mai 2012, les points suivants ont été observés sur la longueur de 3800 m de la branche.

- On constate la prise d'eau à des intervalles inférieurs à 100 m **en amont et au milieu de la branche de 0 à 3000 m de l'axe du barrage.**
- A environ 2800 m de l'axe du barrage, il y a un branchement à gauche et la rivière se tourne à droite.
- A environ 3000 m de l'axe du barrage, il y a des branchements aux canaux de droite et de gauche, construits par l'aide de la Chine et la rivière revient au centre de la vallée avec une chute qui baisse le lit de rivière au maximum de 2 mètres plus bas que les rizières. On constate 4 points de prise d'eau par déversoir **à des intervalles d'environ 200 m à partir de 3000 m de l'axe du barrage.**

La politique de projet de la commission d'étude est de **prévoir une installation de prise d'eau à des intervalles de 200 m en cas d'amélioration des conditions de rizière.**

Vu ces circonstances, les intervalles suivants sont considérées pour la présente simulation.

(Projet)

- Intervalle de 200 m sur toute la longueur

(Etat réel)

{	Section de 0 m à 3000 m	: Intervalle de 100 m
	Section de 3000 m à 3800 m	: Intervalle de 200 m

Nous allons donc vérifier à l'aide des formules ① Approximation du débit fluvial, ② Consommation totale ETc des rizières et ③ Quantité de prise d'eau chaque 100m, si la prise d'eau d'irrigation est possible à chaque bloc (intervalle) d'irrigation avec le débit fluvial restant quand on réduit la consommation maximale des rizières en aval de l'axe du barrage dans les conditions de la prise d'eau initiale de 2/3 pour l'irrigation des champs secs au niveau de l'axe du barrage.

(Note) Une étude ultérieure a révélé que **la valeur maximale de ETc est de 6 mm/jour selon le résultat de calcul des données de l'année de référence (1970)**. (Ceci est probablement dû à la température inhabituellement élevée de juillet à septembre de l'année en question.)

Suite à cette modification, nous allons apporter une retouche aux calculs en multipliant par 6/5 le résultat du calcul de la formule ② (Consommation totale ETc des rizières) faite avec ETc de 5 mm et par 74,4/72 le résultat du calcul de la formule ③ (Quantité de prise d'eau chaque 100m) comme le besoin en eau d'irrigation du modèle augmente de 72 mm à 74,4 mm.

#### 4) Observations

- A partir du débit fluvial restant après la prise d'eau de 2 tiers ( $17,6 \text{ litres/sec} \times 2/3 \times 86400 = 1\,015 \text{ m}^3/\text{jour}$ , soit 370 000 tonnes par an) pour l'irrigation de champs secs à l'axe du barrage ( $x=0$ ), on a calculé le débit fluvial jusqu'à l'extrémité en aval de la branche et a obtenu la valeur de **3 091 m<sup>3</sup>/jour**.

(Se référer au tableau de calcul joint.)

- Le débit fluvial ainsi calculé est largement supérieur au besoin en eau de chaque bloc (intervalle de 200 m, 920 m<sup>3</sup>/jour maximum) de l'axe du barrage jusqu'à l'extrémité en aval de la branche.

Même tout de suite après le dernier bloc de pompage d'eau à 3600 m de l'axe du barrage, il existe une marge de 2 057 m<sup>3</sup>/jour (= 2 977 m<sup>3</sup>/jour – 920 m<sup>3</sup>/jour), la quantité d'eau prise est moins de 30 % du débit fluvial.

Par conséquent, il est improbable que l'eau d'irrigation des rizières est manquante à cause de la prise d'eau initiale de 2 tiers à l'axe du barrage.

- Concernant l'influence de l'exploitation de l'eau souterraine ( $5 \text{ litres/sec} \times 86400 = 432 \text{ m}^3/\text{jour}$ ), les conditions d'irrigation ne sont pas affectées par cette exploitation, située assez loin de la rivière parce que la diminution du débit fluvial causé par le pompage d'eau souterraine ne correspond qu'à une petite portion de l'eau pompée de 432 m<sup>3</sup>/jour compte tenu du taux d'écoulement moyen annuel de la branche Ngoma-22 (y compris le débit de base) de 7 %.
- Cette simulation est faite pour vérifier selon les conditions du débit de base durant la saison sèche que la prise d'eau par bloc d'irrigation est possible avec la prise d'eau initiale importante en amont pour l'irrigation des champs et la consommation réelle de rizière (valeur maximale) sous les conditions sans précipitation et sans barrage.
- Cependant le débit fluvial réel serait supérieur à celui évalué dans cette analyse grâce à l'augmentation du débit de base durant la saison des pluies qui couvre largement la période d'irrigation de rizière.

- La consommation d'eau des rizières (6 mm/jour) appliquée dans cette étude est la valeur maximale calculée dans les conditions climatiques de l'année de référence 1970, mais comme expliqué en haut, elle est affectée par la température inhabituellement élevée de juillet à septembre de l'année en question et la consommation d'eau réelle des rizières doit être plus faible.
- Par précaution, les conditions de calcul appliquées sont très sévères et prudentes, y compris la fuite d'eau à travers la diguette de 10 mm/jour même après l'amélioration des diguettes.
- Puisque ce projet prévoit l'approvisionnement en eau par l'intermédiaire d'un barrage, on peut compter sur l'apport en eau du barrage en plus de l'apport naturel.

**Tant qu'il y ait l'amélioration des conditions de rizière, le besoin en eau d'irrigation des rizières est satisfait dans l'ensemble de la branche Ngoma-22. Donc, on peut estimer que la rivière a assez de potentiel pour fournir l'eau d'irrigation aux champs secs par la prise d'eau à l'axe du barrage (et la prise d'eau souterraine) de 1 015 m<sup>3</sup>/jour.**

(Fin)

### 【 Appendices 】

1. La présente analyse de simulation est basée sur la supposition que **les conditions de rizière soient améliorées (la réduction de l'infiltration à travers la diguette, le revêtement du canal de terre et l'installation des structures de prise d'eau qui permettent la prise stable d'eau d'irrigation).**

Sans ces améliorations, le besoin en eau d'irrigation risque d'augmenter de 3,9 fois dans l'ensemble avec 168/72 2,3 fois par l'infiltration à travers la diguette et 1,67 fois par la baisse de l'efficacité du transport (d'environ 0,6). Donc l'amélioration des conditions de rizière est le prérequis pour la prise initiale d'eau d'irrigation des champs.

2. L'analyse est faite dans la condition que le débit fluvial est réduit à 1/3 à l'axe du barrage par la prise d'eau d'irrigation des champs, mais le besoin en eau d'irrigation des rizières en aval peut être satisfait uniquement par l'afflux du bassin versant le long de la rivière selon le résultat de calcul.

Pour être concret, selon la relation entre le gradient de débit fluvial restant et la quantité d'approvisionnement en eau bloc par bloc de la figure 2, la décharge minimale d'eau selon le calcul est de 63 m<sup>3</sup>/jour qui correspond à la quantité d'approvisionnement en eau au premier bloc de l'axe du barrage et 95 % (=1 521 m<sup>3</sup>/jour - 63 m<sup>3</sup>/jour) de la quantité initiale 1 521 m<sup>3</sup>/jour est disponible pour l'irrigation de champs.

Toutefois, la présente analyse n'a pas pour but de déterminer la décharge d'eau minimale.

Le but de l'analyse est de vérifier l'afflux suffisant pour l'irrigation des rizières dans certaines conditions et dans ce sens la prise d'eau initiale de 2/3 a été adoptée comme critère.

3. Dans cette analyse, nous avons supposé que l'irrigation parcelle en parcelle se fait par l'unité d'exploitation par ménage et calculé le besoin en eau d'irrigation unitaire avec le modèle d'irrigation de 6 parcelles avec un déversement.

Par contre s'il y a plusieurs déversements séquentiels de parcelle en parcelle en réalité, le besoin en eau d'irrigation unitaire augmente autant (notamment dans la zone en aval où la largeur de rizières est plus étendue et plusieurs déversements peuvent être nécessaires).

Comme montre le calcul ci-dessous, le besoin en eau d'irrigation pour 2 déversements (9 parcelles) est estimé à 85 mm/jour, à savoir 1,4 fois plus grand que 60 mm/jour pour le modèle à 6 parcelles.

(Exemple) Calcul pour le modèle à 9 parcelles avec 2 déversements

	Parcelles ABC	Parcelles EDF (moyenne)	Parcelles GHI (moyenne)
Percolation verticale	20 mm (retour à la rivière)	20 mm (retour à la rivière)	20 mm (retour à la rivière)
Etc	5 mm	5 mm	5 mm
Infiltration à travers la diguette (fuite latérale)	10 mm	10 mm	10 mm (retour à la rivière)
Déversement parcelle en parcelle	50 mm	25 mm	→ Total 35 mm
Quantité totale de prise d'eau	85 mm/jour	Total 60 mm	Retour total à la rivière environ 70 mm/jour

$$85/60 = 1,41$$

Toutefois la superficie augmente également de 6 parcelles à 9 parcelles et le besoin en eau par parcelle est estimé comme suit.

$$(85 \text{ mm}/9 \text{ parcelles}) / (60 \text{ mm}/6 \text{ parcelles}) = 0,944 \text{ fois}$$

Un déversement supplémentaire de 2ème rangé à 3ème rangé de parcelles fait diminuer donc le besoin en eau d'environ 5 %.

Selon le résultat de la présente simulation, on peut assurer le débit fluvial restant (2 057 m3/jour) de 2,2 fois supérieur au besoin en eau d'irrigation (920 m3/jour) à 3600 m de l'axe du barrage où la relation entre le débit fluvial restant et le besoin en eau est le plus sévère. Dans la zone en aval où le déversement supplémentaire a tendance à augmenter, la marge est plus grande.

Dans le plan de réalisation à élaborer ultérieurement, il est important de considérer que l'augmentation du nombre de déversements parcelle en parcelle fait économiser l'approvisionnement en eau d'irrigation et que l'intervalle plus courte de prise d'eau par déversoir contribue beaucoup à la baisse de la quantité d'approvisionnement d'eau par bloc.

[Reproduction des conditions réelles]

Malgré l'absence des données détaillées, nous essayons de reproduire les conditions réelles en tenant compte que le débit fluvial minimal (débit de base) en saison sèche est légèrement inférieur au besoin réel. Le résultat est indiqué en annexe.

(Conditions de calcul)

- Pas de prise d'eau initiale de 2/3
- Pour le Etc du riz de rizièrre inondée, la valeur de 5 mm/jour est adoptée vu la reproduction des conditions réelles.
- L'approvisionnement en eau d'irrigation des rizières est celui sans amélioration des conditions de rizièrre (168 mm) par rapport à celui après l'amélioration des conditions de rizièrre de 72 mm/jour. L'efficacité du transport de 0,5 est adoptée compte tenu de la perte par canal de terre. (Formule Quantité de prise d'eau chaque 100 m × 168/72/0,5)
- L'intervalle de prise d'eau est la suivante compte tenu du résultat de l'investigation sur place du 22 mai 2012 pour la prise d'eau.

Secteur de 0 m à 3000 m : Intervalle de 100 m

Secteur de 3000 m à 3800 m : Intervalle de 200 m

Dans le bloc d'irrigation le plus en aval de la rivière à 3 600 m de l'axe du barrage, l'approvisionnement en eau de 3462 m<sup>3</sup> est nécessaire sur le débit fluvial de 4286 m<sup>3</sup> selon le résultat de calcul, ce qui correspond à la prise d'eau de plus de 80 % du débit fluvial.

En conséquence, on a pu reproduire les conditions réelles avec la prise d'eau sans problème en amont et au milieu de la branche et la situation plus serrée en aval; i.e. la tendance générale de manque légère d'eau.



**Tableau 4-1-6 Calcul selon débit fluvial et modèle de prise d'eau (1)**

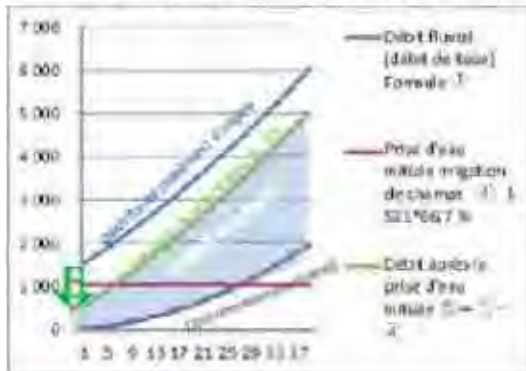
Calcul selon débit fluvial de Ngoma22 et modèle de prise d'eau  
(au débit fluvial en saison sèche, Etc 0mm)

(Tableau de calcul)

Distance	Débit fluvial (débit de base)	Prea d'eau initiale irrigation de champs	Débit après la prise d'eau	Consommation max des rizières	Débit restant	Prea prise d'eau par bloc	Intervalle (m)	Qte de prise d'eau par bloc
	Formule 1	E = 1.521*66,7 %	E = 1 - Z	Formule 2 * (6/5)	E = Z	Formule 3	-	Z = Intervalle 200 m
0	1 521	1 015	506	0	506	60	200	137
100	1 619	1 015	599	12	595	74		0
200	1 706	1 015	691	26	665	85	200	160
300	1 800	1 015	780	43	743	95		0
400	1 896	1 015	882	61	821	106	200	224
500	1 994	1 015	980	82	898	117		0
600	2 093	1 015	1 079	105	974	128	200	267
700	2 194	1 015	1 179	129	1 050	139		0
800	2 296	1 015	1 281	156	1 125	150	200	311
900	2 399	1 015	1 385	185	1 199	161		0
1000	2 504	1 015	1 490	216	1 273	172	200	354
1100	2 611	1 015	1 596	250	1 347	183		0
1200	2 719	1 015	1 704	285	1 419	193	200	398
1300	2 828	1 015	1 814	322	1 491	204		0
1400	2 939	1 015	1 925	362	1 563	215	200	441
1500	3 052	1 015	2 037	404	1 634	226		0
1600	3 166	1 015	2 151	447	1 704	237	200	485
1700	3 281	1 015	2 266	493	1 773	248		0
1800	3 398	1 015	2 383	541	1 842	259	200	528
1900	3 516	1 015	2 502	591	1 911	270		0
2000	3 636	1 015	2 622	643	1 978	280	200	572
2100	3 757	1 015	2 743	698	2 045	291		0
2200	3 880	1 015	2 866	754	2 112	302	200	615
2300	4 005	1 015	2 990	812	2 178	313		0
2400	4 130	1 015	3 116	873	2 243	324	200	659
2500	4 258	1 015	3 243	936	2 307	335		0
2600	4 387	1 015	3 372	1 001	2 371	346	200	702
2700	4 517	1 015	3 502	1 067	2 435	357		0
2800	4 649	1 015	3 634	1 136	2 498	368	200	746
2900	4 782	1 015	3 767	1 208	2 559	379		0
3000	4 917	1 015	3 902	1 281	2 621	389	200	789
3100	5 053	1 015	4 039	1 356	2 682	400		0
3200	5 190	1 015	4 178	1 434	2 742	411	200	833
3300	5 330	1 015	4 318	1 513	2 802	422		0
3400	5 470	1 015	4 459	1 595	2 861	433	200	876
3500	5 612	1 015	4 598	1 679	2 919	444		0
3600	5 756	1 015	4 742	1 764	2 977	455	200	920
3700	5 901	1 015	4 887	1 852	3 034	465		0
3800	6 048	1 015	5 033	1 942	3 091			

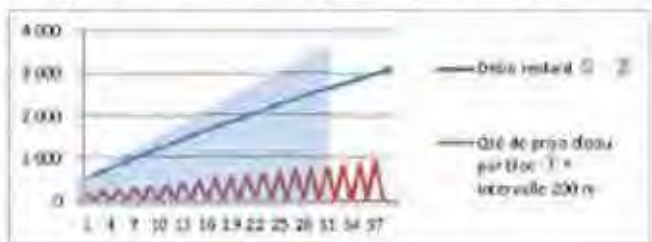
- Notes :
1. Calcul avec un modèle itératif de la hauteur totale de 5,8 m de fais d'étranglement au point de confluence. Calcul praxial dans les conditions très sévères sans précipitation, ni barrages et avec le débit de base en saison sèche.
  2. L'approximation de débit des rizières est calculée avec celui pour le modèle 10 pixels après finalisation. Le Etc rizières adopte un de 6 mm/jour compte tenu du résultat de calcul de CROPWAT3.
  3. Vu la base d'écoulement bas du secteur, l'exploitabilité d'eau souterraine (100 litres/m<sup>2</sup>-304 m<sup>2</sup>/jour) affecte peu le débit versant.

Fig 1 Débit fluvial et consommation d'eau max des rizières après la prise d'eau initiale pour irrigation de champs



**Fig. 4-1-14 Débit fluvial et consommation d'eau après la prise d'eau initiale pour l'irrigation de champs (1)**

Fig 2 Débit fluvial restant et quantité de prise d'eau par bloc



**Fig. 4-1-15 Débit fluvial restant et quantité de prise d'eau par bloc (1)**

**Tableau 4-1-1-6 Calcul selon débit fluvial et modèle de prise d'eau (2)**

Calcul 4 selon débit fluvial de Ngoma-22 et modèle de prise d'eau  
(au débit fluvial en saison sèche, sans prise d'eau initiale, ni amélioration des rizières (reproduction de la réalité))

(Tableau de calcul)

Distance	Débit fluvial (débit de base)	Prise d'eau initiale irrigation	Débit après la prise d'eau	Consommation des rizières (Eto 5 mm)	Débit restant	(cf) Prise d'eau par 100 m	Intervalle (m)	Cité de prise
	Formule 1	$2 \cdot 1.521 \cdot 66,7^2$	$5 - 1 - 4$	Formule 2 (*) (6/5)	$1 - 2$	Formule 3 (24/10/11)		(cf) Intervalle
0	1 521			0	1 521	237	100	237
100	1 353			10	1 303	217	100	217
200	1 180			22	1 084	198	100	198
300	1 000			33	1 705	180	100	150
400	816			51	1 345	160	100	100
500	624			67	1 126	141	100	441
600	433			97	2 000	122	100	482
700	239			139	2 000	103	100	523
800	400			190	2 106	84	100	564
900	150			254	2 245	65	100	605
1000	0			330	2 324	46	100	646
1100				419	2 403	27	100	687
1200				517	2 401	8	100	728
1300				623	2 500	109	100	769
1400				737	2 638	190	100	810
1500				859	2 715	271	100	851
1600				989	2 760	352	100	892
1700				1127	2 870	433	100	933
1800				1273	2 947	514	100	974
1900				1427	3 054	595	100	1015
2000				1589	3 100	676	100	1056
2100				1759	3 170	757	100	1096
2200				1937	3 260	838	100	1137
2300				2123	3 329	919	100	1178
2400				2317	3 403	1000	100	1219
2500				2519	3 478	1100	100	1260
2600				2729	3 503	1200	100	1301
2700				2947	3 627	1300	100	1342
2800				3173	3 701	1400	100	1383
2900				3407	3 775	1500	100	1424
3000				3649	3 770	1600	200	1465
3100				3900	3 823	1700		0
3200				4159	3 906	1800	200	1415
3300				4427	4 000	1900		0
3400				4703	4 141	2000	200	1366
3500				4987	4 234	2100		0
3600				5279	4 388	2200	200	1317
3700				5579	4 458	2300		0
3800				5887	4 429			0

NOTE : 1. Calcul avec un modèle réaliste de la longueur totale de 3,8 km de face d'ouvrage au point de confluence. Calcul prudent dans les conditions les sévères sans précipitation, ni barrage et avec le débit de base en saison sèche.  
2. L'approvisionnement en eau des rizières est calculé avec ceux actuels estimés avant l'aménagement (canal de terre, efficacité de transport de 0,6). Le lit adapté est de 5 m/jour compte tenu de la reproduction de l'état réel.  
3. Vu le taux d'accélération très du seuil, l'exploitation d'eau souterraine (100 litres/ha Débit fluvial maximum) d'urgence.

Fig 1 Débit fluvial et consommation d'eau des rizières après la prise d'eau initiale pour irrigation de champs

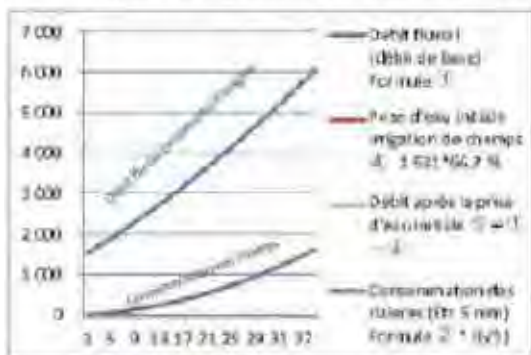
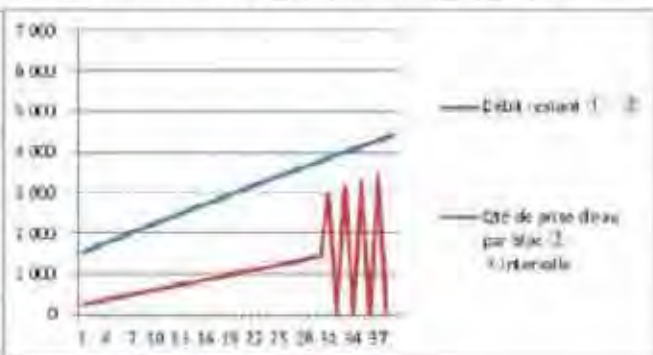


Fig 2 Débit fluvial restant et quantité de prise d'eau par bloc



**Fig.4-1-1-16 Débit fluvial et consommation d'eau après la prise d'eau initiale pour l'irrigation de champs (2)**

**Fig. 4-1-1-17 Débit fluvial restant et quantité de prise d'eau par bloc (2)**

(b) Approvisionnement en eau supplémentaire en aval/Approvisionnement en eau d'irrigation des champs

Le long de la rivière de 4 km de l'axe du barrage jusqu'au point de confluence, les rizières de 35 ha sont cultivées (32,4 ha environ compte tenu des diguettes et canaux). La construction du barrage coupe l'écoulement de rivière et l'approvisionnement en eau d'irrigation dépend du barrage. Toutefois, le bassin versant de 9 km<sup>2</sup>, étendu de l'axe du barrage au point de confluence sur les collines de deux côtés de la rivière permet de suppléer le besoin en eau d'irrigation en alimentant la rivière en eau de surface et eau souterraine. (En réalité, entre l'axe du barrage et le point de confluence, plus de 10 fontaines existent et fournissent l'eau aux villages voisins pour l'usage domestique et pour l'irrigation des rizières).

Selon le résultat de l'analyse d'écoulement par modèle de réservoir au site de barrage, le taux d'écoulement est de 7.1% pour la précipitation annuelle de 1970, choisie comme année de référence. On calcule le débit fluvial en appliquant cette précipitation et le taux d'écoulement au bassin versant de l'axe du barrage au point donnée en aval du barrage. On calcule en même temps la superficie de rizière et le besoin en eau correspondant selon le besoin unitaire en eau d'irrigation par mois de Cropwat-8 (**Tableau 4-1-1-8**).

Comme le montre le résultat de calcul (**Tableau 4-1-1-7**), en considérant toutes les données, y compris celles d'inondation, le besoin en eau des rizières en aval est satisfait sans alimentation du barrage (le taux d'écoulement de 7,1 % est celui qui comprend le débit fluvial de base et l'écoulement à la surface de terre lors de l'inondation.)

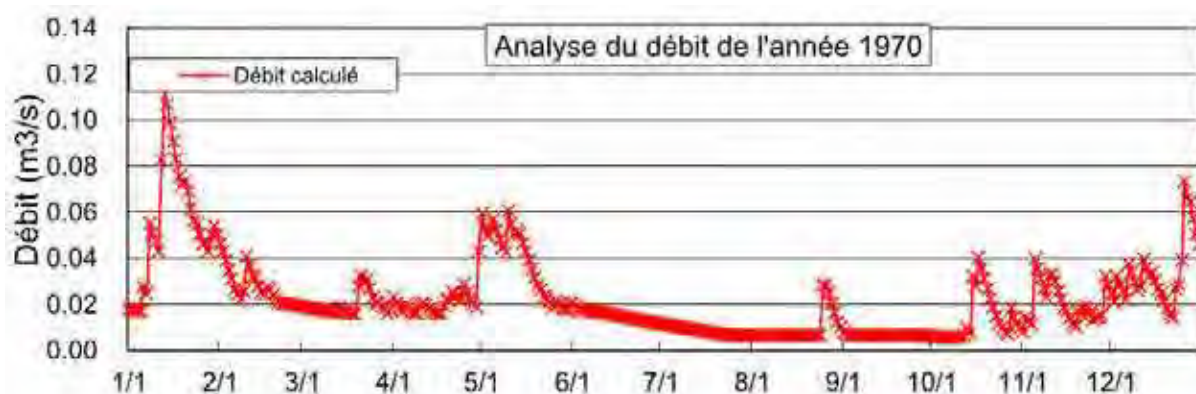
**Tableau 4-1-1-7 (b) Approvisionnement en eau supplémentaire en aval**

**/Approvisionnement en eau d'irrigation des champs**

Rubrique \ Emplacement	1 km en aval	2 km en aval	3 km en aval	Point de confluence
Aire du bassin (km <sup>2</sup> )	1,7	3,7	7,4	9,2
Précipitation annuelle (mm)	1 134	1 134	1 134	1 134
Taux d'écoulement (%)	7,1	7,1	7,1	7,1
Débit attendu (m <sup>3</sup> )	136 873,8	297 901,8	595 803,6	740 728,8
Superficie de rizières (ha)	3 6	10,3	19,6	35,0
Besoin unit. en eau d'irrig. (mm)	1 097	1 097	1 097	1 097
Besoin en eau d'irrigation (m <sup>3</sup> )	39 492,0	11 299,0	215 012,0	383 950,0

(\* Besoin unitaire en eau d'irrigation est le total des valeurs mensuelles (**Tab 4-1-1-8**)).

Bien que l'on dise que "les rizières sont un barrage naturel", en réalité elles ne peuvent pas absorber toute inondation. Le résultat de calcul montre le débit fluvial de base de 0,02 m<sup>3</sup>/sec en mars et 0,007 m<sup>3</sup>/sec d'août à octobre. Il faut vérifier les conditions en aval de rivière avec ces débits.



**Fig. 4-1-1-18 Résultat de l'analyse d'écoulement**



Pour les rizières qui se situent en aval immédiat du barrage, on ne peut pas compter l'afflux d'eau du bassin versant latéral et le barrage doit fournir l'eau d'irrigation à ces rizières.

Afin d'examiner la relation offre et demande de l'eau d'irrigation selon la saison sur l'ensemble de la zone en aval et déterminer la zone de rizières qui ont besoin de l'approvisionnement direct en eau du barrage, nous avons calculé à l'intervalle de 50 m le besoin en eau d'irrigation, l'afflux d'eau du bassin versant et l'approvisionnement en eau (le manque d'eau) des rizières immédiatement après le barrage. Les calculs sont faits conformément aux suppositions suivantes.

- L'intervalle de point de prise d'eau est de 100 m au départ et à la fin, et de 200 m ailleurs.
- L'intervalle de calcul est de 50 m (compte tenu de l'intervalle de prise d'eau) ; la distance pour laquelle on considère l'afflux de l'eau de surface et l'eau souterraine (en appliquant le débit proportionnel au débit d'afflux attendu à l'axe du barrage, calculé pour le modèle de réservoir pour l'année de référence 1970).
- Le besoin en eau des rizières est évalué au total de l'évapotranspiration mensuelle (ETc) + la percolation verticale de 13,6 mm+l'infiltration latérale de 5 mm.

La quantité d'évapotranspiration (ETc) / besoin en eau d'irrigation est comme suit d'après (3) Plan d'irrigation.

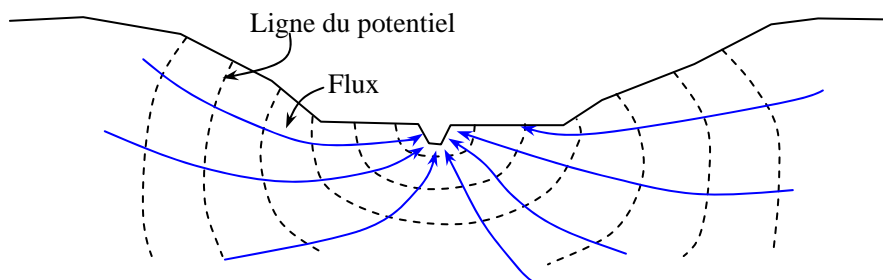
**Tableau 4-1-1-8 Besoin en eau d'irrigation mensuel**

Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ETc (mm/mois)	134,0	225,3	57,4	9,0	34,0	86,0	10,3	166,4	293,0	66,2	9,5	5,9

- Tout peut être recyclé à part l'évapotranspiration (ETc). (Taux de retour de 100 % \*Voir en bas.)
- Concernant l'écoulement et le retour de l'infiltration et la percolation, on suppose qu'un tiers est retourné à la rivière et deux tiers s'écoulent à la rizière adjacente.
- La totalité de l'eau de retour est incluse dans la quantité de prise d'eau. Si elle est inférieure au besoin en eau d'irrigation correspondant, le manque d'eau est supplée par l'eau de barrage.

\* Taux de retour de la percolation verticale des rizières

Dans cette zone, il existe plus de 10 fontaines d'eau entre l'axe du barrage et le point de confluence. Elles sont considérées comme le cours d'eau souterraine accessible de la surface de terre et le cours d'eau souterraine rejoint la rivière tout en suintant l'eau à la surface de terre par-ci par-là.



**Fig. 4-1-1-19 Hauteur potentielle**

La surface de l'eau dans la rizière a suffisamment de hauteur potentielle pour provoquer la

percolation verticale, mais l'eau ainsi perdue rejoint tout de suite le cours d'eau souterraine en provenance de la colline et s'écoule dans la rivière. Donc on peut considérer le taux de retour de 100%.

Les tableaux **4-1-1-10 (1)** à **4-1-1-10 (12)** montrent le résultat de calcul de la quantité d'approvisionnement en eau des rizières.

**Tableau 4-1-1-9 Résumé d'approvisionnement en eau supplémentaire des rizières en aval**

Mois	Conditions	Appoint en eau	Appoint en eau cumulé
1	Appoint nécessaire du point de départ à 400 m	1 453 m <sup>3</sup>	1 453 m <sup>3</sup>
2	Appoint nécessaire du point de départ à 400 m et au niveau de changement de largeur de vallée	17 438 m <sup>3</sup>	18 891 m <sup>3</sup>
3	Appoint nécessaire du point de départ à 400 m	2 647 m <sup>3</sup>	21 538 m <sup>3</sup>
4	Appoint nécessaire du point de départ à 400 m	1 974 m <sup>3</sup>	23 512 m <sup>3</sup>
5	Appoint nécessaire du point de départ à 400 m	1 452 m <sup>3</sup>	24 964 m <sup>3</sup>
6	Appoint nécessaire du point de départ à 400 m et sur un point en aval	3 695 m <sup>3</sup>	28 659 m <sup>3</sup>
7	Appoint nécessaire du point de départ à 400 m	2 774 m <sup>3</sup>	31 433 m <sup>3</sup>
8	Appoint nécessaire sur toute la longueur de rivière	40 122 m <sup>3</sup>	71 555 m <sup>3</sup>
9	Appoint nécessaire sur toute la longueur de rivière	90 350 m <sup>3</sup>	161 905 m <sup>3</sup>
10	Appoint nécessaire du point de départ à 400 m	2 990 m <sup>3</sup>	164 895 m <sup>3</sup>
11	Appoint nécessaire du point de départ à 400 m	1 995 m <sup>3</sup>	166 890 m <sup>3</sup>
12	Appoint nécessaire du point de départ à 400 m	1 409 m <sup>3</sup>	168 299 m <sup>3</sup>

Selon le résultat de calcul ci-dessus, la quantité totale d'eau d'appoint de 170 000 m<sup>3</sup> est prévue comme appoint d'eau aux rizières proches du barrage et celui en saison sèche de février, juin, août et septembre. Par conséquent, l'approvisionnement en eau d'irrigation des champs sera 700,000 m<sup>3</sup> - 170 000 m<sup>3</sup> = 530 000 m<sup>3</sup>.