

**RAPPORT DE MISSION  
PRE-FORMULATION / FAISABILITE  
POUR LA CONSTRUCTION  
DE MICROCENTRALES HYDRO-ELECTRIQUES AU RWANDA**

1 - PROJET FENU/RWA/85/CO2

2 - PROJET OPE/RWA/80/010

Par JACQUES COLOMBANI

5-15 Janvier 1988

**RAPPORT DE LA MISSION DE PRE-FORMULATION ET DE FAISABILITE  
POUR LA CONSTRUCTION DE MICRO-CENTRALES HYDRO-ELECTRIQUES  
AU RWANDA**

(Projet RWA/85/CO2)  
(Financement Mission : RWA/80/010)

## **1. PREAMBULE**

Il paraît opportun avant d'aborder le fond du sujet de rappeler les raisons qui militent en faveur de la construction de micro-centrales hydro-électriques pour le secteur rural au RWANDA. Ces raisons sont de trois ordres :

### **1.1 RAISONS TECHNIQUES**

Il existe au RWANDA de très nombreux sites favorables à l'installation de micro-centrales hydro-électriques, sites où sont disponibles à la fois un débit et une hauteur de chute convenables.

Les constructeurs savent réaliser maintenant des groupes turbine-générateur simples et relativement bon marché, assortis de dispositifs de régulation automatique de la consommation. Ces groupes ne nécessitent qu'un entretien réduit, une surveillance technique légère, ils sont prévus pour être amortis sur une longue durée, 35 ans au moins.

Les barrages nécessaires se réduisent en général à des barrages de dérivation de faibles dimensions, donc relativement peu coûteux.

Le réseau de distribution d'électricité de la Compagnie Nationale Rwandaise Electrogaz est en extension mais il est loin de couvrir tout l'intérieur du pays et ne pourra y parvenir que dans un avenir encore lointain au prix d'investissements très importants. L'énergie produite par une microcentrale est une énergie "nationale" relativement bon marché.

### **1.2 RAISONS SOCIALES**

Le RWANDA est un pays où, à l'exception de la capitale et de quelques villes, l'habitat est très dispersé. On observe un exode rural important, notamment vers la capitale, avec tous les inconvénients bien connus que cela représente : les effectifs migrants vers la capitale représentant autant de bras en moins pour l'agriculture et autant d'individus en plus à nourrir par la production agricole des cultivateurs restants. Les emplois disponibles dans la capitale et les

autres villes ne croissent pas aussi vite que la population de ces agglomérations, ce qui génère un chômage important.

Il paraît donc intéressant de favoriser toutes les actions qui permettent de freiner l'exode rural. La mise à disposition d'une énergie électrique à un prix raisonnable doit encourager la fixation de la population rurale autour de petits centres où l'on trouve par exemple :

- Ecole primaire, Collège secondaire :
- Petit hôpital ou Centre de santé
- Artisanat : moulin, scierie, menuiserie, mécanique, poterie etc.
- Commerces (réfrigérateurs pour vivres frais...)
- Bureaux administratifs décentralisés ;
- Centres d'action culturelle et sociale (CERAI,...).

Une bonne part des habitants permanents de ces centres pourraient aussi bénéficier d'un certain confort grâce à l'énergie électrique (éclairage, réfrigérateurs, repassage etc...).

En ce qui concerne les collèges secondaires, rappelons la possibilité d'utiliser des cuisinières électriques afin d'éviter le déboisement dramatique des zones périphériques. Un tarif avantageux pourrait être consenti pour favoriser cette utilisation.

Compte tenu de la taille souhaitable de ces centres, la puissance nécessaire se situera en général dans une gamme de 20 à 100 KW ce qui correspond tout à fait aux micro-centrales envisageables.

### 1.3 RAISONS ECONOMIQUES

Il a déjà été dit plus haut que l'extension du réseau général de distribution de l'électricité ne se fera que lentement car le coût d'installation des lignes électriques est très élevé : 9 à 12.000 dollars US par kilomètre pour de simples lignes basse tension avec des poteaux en bois et pour de faibles puissances transportées, beaucoup plus pour des lignes haute tension.

Or le transport de l'électricité à partir d'une micro-centrale hydro-électrique indépendante se fera dans un rayon maximum de 10 à 15 kilomètres (suivant la puissance produite), pour alimenter le ou les centres ruraux concernés. L'alimentation à partir du réseau général nécessite la plupart du temps des longueurs de ligne électrique bien plus grandes dont le coût dépasse largement celui d'une micro-centrale. L'utilisation de groupes Diesel est aussi extrêmement coûteuse si l'on tient compte de leur durée de vie réduite (de 5 à 15 ans selon la taille), d'un

entretien délicat et de l'importation d'un carburant coûteux en devises pour un pays enclavé comme le RWANDA.

Rappelons les comparaisons possibles à partir du rapport "Etude du secteur énergétique au RWANDA" (1983, BUNEP-Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne) et du rapport UNESCO, "Inventaire des sites de micro-centrales hydro-électriques au RWANDA" (1985, Mission UNESCO) :

Les coûts respectifs du KWH produit par une micro-centrale indépendante (avec 3 km de ligne), un groupe diesel et un raccordement (10 km) au réseau général sont dans des rapports de 1 à 2 et 3,2 (1) une longueur de raccordement au réseau général de 10 km est évidemment une longueur qui serait le plus souvent largement dépassée.

Sur les divers sites des micro-centrales envisagées le coût du KWH distribué varierait de 5 à 20 FRW le KWH (2), alors que le KWH à 13 FRW du réseau général reviendrait à 78 FRW avec une liaison de 10 km, celui d'un groupe diesel reviendrait à 50 FRW (les calculs d'amortissement des investissements sont faits de la même façon dans tous les cas).

les chiffres militent largement en faveur des micro-centrales (il nous a paru inutile d'envisager l'énergie solaire infiniment plus coûteuse, ou l'énergie éolienne coûteuse et trop incertaine sous cette latitude).

Enfin, remarquons pour en finir avec les aspects économiques que même si le réseau général passe à proximité des sites envisagés, il est vraisemblablement rentable de construire une micro-centrale avec un raccordement au réseau qui permette des échanges, la puissance installée étant dans ce cas choisie, si possible, supérieure aux besoins.

Nous croyons que ce préambule était nécessaire. En effet, si les arguments avancés ci-dessus en faveur de la construction de micro-centrales n'étaient pas reconnues valables, il nous paraîtrait inutile d'aller plus loin. Ce préambule constitue ainsi en quelque sorte une démonstration de la faisabilité du projet au plan général. Nous aborderons ci-après les cas particuliers des sites retenus par le Gouvernement Rwandais dans un premier choix et aussi quelques sites supplémentaires pour élargir le choix.

---

(1) Il s'agit de valeurs moyennes générales citées par le rapport BUNEP-EPF

(2) On trouvera en annexe du rapport le détail des calculs faits dans le rapport UNESCO de 1985, avec les abaques d'utilisation.

## 2. METHODOLOGIE POUR LA MISE EN OEUVRE DU PROJET

Dans chaque cas envisagé l'étude comporte quatre volets à envisager dans l'ordre suivant :

### 2.1. VOLET TECHNIQUE PRELIMINAIRE :

- repérage du site
- détermination du débit utilisable
- mesure approximative de la hauteur de chute
- reconnaissance préliminaire des lieux avec évaluation des caractéristiques favorables ou défavorable (par exemple existence d'un seuil rocheux propice à l'établissement d'un barrage, forte pente du cours d'eau permettant de réduire la longueur du canal d'aménagé et de la conduite forcée.
- estimation de la puissance disponible.

Le plus souvent cette étude préliminaire a été réalisée, sinon elle peut l'être assez rapidement par des chercheurs du CEAER (Université de Butare) et/ou des ingénieurs du Ministère des Travaux Publics et de l'Energie (MINITRAPE).

### 2.2. VOLET SOCIAL :

Enquête à mener dans un rayon de 10 à 15 kilomètres autour du site envisagé pour déterminer les consommateurs potentiels d'énergie tels qu'envisagés dans le préambule. Cette enquête nécessite des entretiens avec les autorités locales (Bourgmestres, administration, enseignement, médecins) et avec la population (artisans, commerçants et simples particuliers). Cette enquête doit faire apparaître la puissance maximum consommable et la dépense que seront disposés à faire les intéressés en fonction de leur budget (administrations) ou de leurs revenus (autres consommateurs). Il faudrait aussi estimer l'intérêt que prendrait la population locale à la mise à disposition d'énergie électrique et rechercher l'existence d'une communauté qui pourrait éventuellement assurer la gestion de l'ensemble micro-centrale et distribution de l'électricité.

Cette enquête n'a été faite jusqu'à présent que pour un nombre limité de cas. Elle pourrait être faite par des géographes de l'Université Nationale du RWANDA. On pourra contacter à ce sujet Monsieur le Professeur Frédéric GATERA qui assure à Ruhengeri l'enseignement sur les "Principes et Techniques de l'Aménagement". Les moyens nécessaires seraient fournis dans le cadre du projet (véhicule, essence, per diem, rétribution des enquêteurs).

Ce volet est tout à fait indispensable à ce stade du projet. On trouvera en annexe II une fiche type d'enquête qui pourrait être utilisée par les enquêteurs.

### 2.3. VOLET TECHNIQUE APPROFONDI

Cette étude serait entreprise au vu des résultats des deux premiers volets faisant apparaître l'existence d'un potentiel de production d'électricité en rapport avec un potentiel de consommation.

L'étude technique approfondie comporterait :

- une étude topographique précise qui fournirait le profil en long du cours d'eau dans le secteur intéressant, plans et profils en travers au droit du ou des emplacements envisagés pour le barrage, profil en long et plan d'un canal de dérivation et d'une conduite forcée (pour chaque emplacement de barrage envisagé), plan de la zone d'implantation de la centrale, tracé en plan coté, de la ligne électrique nécessaire. Ces éléments topographiques doivent alors permettre conjointement avec le débit équipé choisi pour la turbine, de définir le barrage nécessaire, ainsi que canal de dérivation et conduite forcée.

Nous conseillons de façon générale de n'utiliser que des barrages de dérivation (sans accumulation qui serait très souvent réduite à néant par les sédiments transportés) et de choisir un modèle entièrement submersible pour permettre l'écoulement des débits excédentaires supérieurs aux débits équipés y compris les débits de crue exceptionnels qui devront être évalués. Le canal de dérivation lui-même doit comporter un déversoir permettant de faire face à un arrêt inopiné de la turbine.

L'emplacement de la centrale devra être choisi dans une zone à l'abri des inondations.

Le choix des dimensions du groupe générateur dépendra du potentiel hydraulique disponible et de la consommation prévue. Deux options sont possibles :

- a) on utilise une turbine absorbant un débit supérieur au débit d'étiage (notamment dans le cas où un échange est possible avec le réseau général). Dans ce cas on choisira une turbine de type Banki-Mitchell capable de turbiner des débits largement variables sans perte notable de rendement. Un système de régulation automatique ajustera le débit à la consommation.

- b) Notre préférence va au système plus simple d'une turbine fonctionnant sous un débit quasi constant inférieur ou égal au débit d'étiage dépassé 9 ans sur 10 en moyenne. Dans ce cas la centrale devra être équipée d'un système dissipateur d'énergie automatique pour faire face aux fluctuations de la consommation et éviter l'emballement du groupe.

Dans tous les cas un système de délestage pourra être prévu pour des utilisations non prioritaires en cas d'excès de consommation. Un logement simple sera prévu pour le gardien à proximité de la centrale.

Le projet de construction sera élaboré pour aboutir à :

- un plan technique d'exécution
- un devis
- un calendrier.

Ce projet sera l'élément de base pour les appels d'offre à faire pour la fourniture du matériel et pour les opérations de construction (Génie Civil).

Ce volet est évidemment très important. Sa réalisation devrait faire intervenir :

- 1 équipe topographique
- 1 ingénieur rwandais
- 1 ingénieur expert (OPE ?) (1 ans + des missions de courte durée ultérieures).

## 2.4 VOLET ECONOMIQUE

Une fois le projet technique bien établi, il convient d'en étudier la rentabilité. On pourra s'aider pour cela des modes de calcul fournis à l'annexe I.

Il faut également décider du mode de gestion financière de l'aménagement hydro-électrique. Une première solution consiste à confier la gestion à la société Electrogaz, mais dans ce cas il est nécessaire de conserver au projet son caractère original et il faut donc négocier avec Electrogaz un mode de gestion particulier. Les points essentiels de l'accord qui devrait être conclu seraient les suivants :

- Prix de vente du KWH : ce prix doit être réaliste et rester en rapport avec le coût de l'amortissement de chaque aménagement, ainsi qu'avec la capacité de dépense des clients potentiels.

- La distribution de l'électricité doit être simplifiée pour les clients les plus modestes ; on se contentera d'une redevance forfaitaire, sans compteur, avec un simple disjoncteur de sécurité. Cette redevance pourrait être par exemple de l'ordre de 500 FRW pour une puissance maximum de 300 W, l'utilisateur se limitant dans ce cas à un usage pour l'éclairage. Pour les clients plus importants un compteur serait installé (l'achat serait prévu dans le cadre du projet).

Electrogaz doit s'engager à assurer une maintenance efficace des installations, compte tenu de l'existence d'un lot de pièces détachées achetées à la construction de la centrale, ainsi qu'à retribuer un agent technique gardien qui aurait un niveau d'instruction de 3 ou 4 ans post-primaire.

Une deuxième solution consiste à confier la gestion financière des aménagements à des communautés si elles existent et si elles ont la volonté et la capacité d'assurer cette gestion (cf. volet social). Un fonds d'investissement serait créé qui serait doté par le projet d'un capital de réserve permettant de faire face aux imprévus. Ce capital serait ensuite abondé par les redevances versées par les clients, déduction faite des dépenses courantes (entretien, administration, salaire du gardien...). Il paraît avantageux que ce fonds d'investissement soit commun à toutes les micro-centrales du projet et qu'il soit placé sous la co-tutelle du Ministère des Travaux Publics et de l'Energie et du Bureau du PNUD au RWANDA. Pour élaborer son statut on pourrait s'inspirer d'expériences passées plus ou moins réussies afin de s'assurer des meilleures garanties quant à son bon fonctionnement. La gestion pourrait éventuellement être assurée par une O.N.G. Une solution mixte consisterait à confier la gestion du fonds à la société Electrogaz, mais il n'est pas certain que cette dernière accepte ce rôle.

Reste à assurer la gestion technique ; Il est indispensable de constituer une équipe qui pourrait comporter 2 ingénieurs et 2 ou 3 techniciens qui serait une équipe volante responsable de la surveillance et de la maintenance de l'ensemble des microcentrales. Les membres de cette équipe recevraient une formation complémentaire pratique auprès du ou des constructeurs qui fourniraient les groupes hydro-électriques (cela fait partie des conditions de l'appel d'offre pour l'achat de ces groupes).

Dans un souci de rentabilité, les compétences de cette équipe pourraient être étendues à l'entretien et la maintenance des groupes électrogènes thermiques, voire des installations d'énergie solaire existantes. Le Ministère des Travaux Publics et de l'Energie semble favorable à une telle extension de compétence. Reste à définir le cadre dans lequel agirait cette équipe : société Electrogaz, Ministère des Transports et de l'Energie ?



En fait, l'équipe ne devrait pas être, de loin, employée à plein temps par la maintenance des micro-centrales et devrait donc avoir d'autres activités justifiant les salaires de ses membres, salaires qui ne devraient pas être entièrement supportés par le fonds d'investissement. A titre indicatif, le coût en salaire de cette équipe pour un an serait de l'ordre de 1.500.000 FRW pour 2 ingénieurs et 3 techniciens. Le salaire de 7 agents techniques-gardiens pour un an serait de l'ordre de 1.200.000 FRW.

Nous essaierons, après avoir étudié les micro-centrales cas par cas, de faire un bilan financier.

### **3. ETAT ACTUEL DES PROJETS CHOISIS PAR L'ADMINISTRATION RWANDAISE ET DE TROIS AUTRES SITES**

Afin d'élargir le choix, nous avons ajouté à la liste de l'administration rwandaise trois autres sites afin d'élargir le choix.

Il paraît intéressant de récapituler dans un tableau l'état d'avancement par rapport aux 4 volets d'étude envisagés ci-dessus :






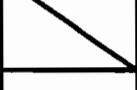






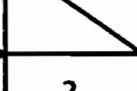


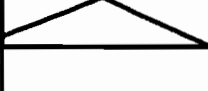


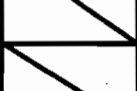






On peut retenir de ce tableau (page 12) qu'une centrale est déjà en construction sur un financement de la RFA. Ceci est un point positif qui montre que ces divers projets ne sont pas des utopies puisque l'un d'eux qui, au départ, n'était pas forcément le plus favorable, a été retenu par la Coopération allemande.


Par ailleurs, on constate que le site 8 (PFUNDA à Nagahinika près de Nyamyumba) est celui qui a fait l'objet de l'étude la plus approfondie puisque l'on dispose des plans d'exécution. La construction de cette centrale pourrait commencer dès 1988 (ou au moins début 1989).

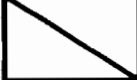
Le site 14 (Cymbili près de Nyamyumba) est complémentaire du site 8 et pourrait lui être substitué ou le compléter, l'énergie disponible étant ici beaucoup plus importante.


En résumé, si l'on s'en tient au degré d'avancement des études, l'ordre d'exécution des projets serait 8, 13, 3, 4, 11, 12 ; les autres sites venant à égalité à ce point de vue. En fait, d'autres raisons pourraient amener à modifier cet ordre de priorité, sauf pour le N°8 qui nous paraît devoir rester en tête. Ce dernier pourrait sans doute servir de projet test.

Nous allons passer en revue individuellement chacun des 14 sites cités ici mais il n'est pas exclu de faire un choix complémentaire dans la liste fournie par le rapport UNESCO 1985.

	Site	Volet technique préliminaire	Volet social	Volet technique approfondi	Volet économ.	
1	Base à NYAMUGALI					
2	Congoli à MUSASA					
3	Jaroma ou MAZIMERU à NYAKABANDA					
4	KIRIANGO à MUKINGI ou MUYUNZWE					
5	SIMBUKA à NSHILI					
6	RUBBYIRO à KARANGERA					
7	MWANGA à GAFUNZO					
8	PFUNDA à NYAMYUMBA ou NAGAHINIKA					Possibilité gestion AEBR
9	MWANGE à BUYOGA				?	En construction par BORDA (RFA)
10	RUHURURA à NYAMUGALI					
11	BUSHARI près de MUBUGA					
12	MWOGO à RUSUSA					Pourrait être connectée au réseau général
13	MAGARAMA à MUGONERO					
14	CYMBILI près de NAGAHINIKA					

 Etude achevée

 Etude partielle

 Etude à faire

#### 4. EXAMEN DES DIFFERENTS SITES :

Remarque importante : Depuis la rédaction du rapport UNESCO le cours du dollar US a fortement baissé et les coûts d'investissement indiqués dans ce rapport doivent raisonnablement être multipliés par 1,28. Mais corrélativement, le franc rwandais s'est apprécié pendant la même période puisque le \$ US est passé d'environ 100 FRW à environ 73FRW. Les coûts du KWH en FRW doivent donc être affectés d'un coefficient réducteur de 0.73. Au total avec un investissement en dollars US plus élevé mais un taux de change plus favorable en FRW, le coût du KWH ne varie guère sinon peut-être un peu en baisse.

##### 4.1 BASE A NYAMUGALI :

Débit indiqué : 180 l/s ; hauteur de chute 15 à 30 m ;  
 puissance estimée 20 à 40 KW ;  
 productibilité annuelle avec un coefficient d'utilisation ( Ku = 0,6)  
 W = 0,11 à 0,21 GWH (Gigawattheures)

à titre indicatif : Investissement probable 75.000 à 150.000 \$ US  
 Prix estimé du KWH 8 à 9 FRW

Reste à effectuer les volets 2, 3, 4 des études (sociale, technique approfondie, économique).

##### 4.2. CONGOLI A MUSASA :

Débit indiqué : 100 l/s ; hauteur de chute 50 m ;  
 puissance estimée 28 KW ;  
 Productibilité annuelle (Ku = 0,6) W = 0,15 GWH

A titre indicatif : Investissement probable 106.000 \$US  
 Prix estimé du KWH : 8 FRW.

Remarque : On pourrait équiper à moindre coût en complément la petite chute du Rutumba à Gikingbo qui pourrait produire 9 à 10 KWH (avec un très court canal d'amenée) et qui utiliserait la même ligne électrique que pour le Congoli : le coût du KWH pourrait en être abaissé.

Reste à effectuer les études des volets 2, 3, 4.

#### 4.3 JARAMA (ou MAZIMERU) à NYAKABANDA

Débit indiqué 55 l/s ; hauteur de chute : 100 m (dont 70 à 80 m à la verticale) ;  
 puissance estimée : 38,5 KW ;  
 productibilité annuelle ( $K_u = 0,6$ )  $W = 0,20$  GWH.

A titre indicatif : investissement probable 146.000 \$ US ; prix estimé du KWH : 7 à 8 FRW

Pour ce site une enquête sommaire a révélé des utilisations intéressantes : atelier de mécanique (poste de soudure), collège, centre de sante, commerces etc.

Reste à compléter l'étude sociale (volet 2) et à faire les volets 3 et 4.

#### 4.4. KIRYANGO (ou KILYANGO) à MUNKIGI (MUYUNZWE)

Débit indiqué : 367 l/s ; hauteur de chute 17 m ;  
 puissance estimée 44 KW.  
 Productibilité annuelle ( $K_u = 0,6$ )  $W = 0,23$  GWH

à titre indicatif : investissement probable 167.000 \$US  
 Prix estimé du KWH : 7 à 8 FRW.

Pour ce site une enquête très sommaire a révélé la possibilité d'utiliser l'énergie électrique pour : la poterie (fabrique de céramiques) pour un concasseur, pour le centre de santé, les écoles, le centre de négoce, l'artisanat (menuiserie, moulin, mécanique).

Il reste à compléter l'étude sociale et à faire les études des volets 3 et 4.

#### 4.5. SIMBUKA à NSHILI

Débit indiqué : 172 l/s ; hauteur de chute 33 m ;  
 puissance estimée 39,7 KW.  
 Productibilité annuelle ( $K_u = 0,6$ ) :  $W = 0,21$  GWH

à titre indicatif : investissement probable 151.000 \$US  
 prix estimé du KWH : 7 à 8 FRW.

Reste à effectuer les études des volets 2, 3 et 4.

#### 4.6. RUBYIRO à KARANGERA

Débit indiqué 40 l/s ; hauteur de chute 15 m. Avec ces caractéristiques la puissance attendue ne dépasserait guère 4 KW. Dans ces conditions cette chute, que nous n'avons pas visitée, ne paraît guère intéressante. Il faudrait en vérifier les caractéristiques.

#### 4.7. MWANGA à GAFUNZO

Débit indiqué : 00 l/s ; hauteur de chute 10 m.

Avec ces caractéristiques la puissance disponible ne dépasserait pas 7 KW, ce qui ne paraît guère intéressant. Il faudrait vérifier les caractéristiques indiquées à cette chute que nous n'avons pas visitée.

Ce site et le précédent sont situés dans la préfecture de CYANGUGU. Très certainement, on peut trouver dans cette préfecture des sites plus intéressants.

#### 4.8. PFUNDA à NYAMYUMBA (ou NAGAHINIKA) :

Débit indiqué : 400 l/s ; hauteur de chute 12 m

Puissance estimée 34 KW.

Productibilité annuelle ( $K_u = 0,6$ ) :  $W = 0,18$  GWH

A titre indicatif d'après l'étude technique de M. Bill PIERCE : coût probable 116.000 \$US ;  
coût estimé du KWH : 8 à 9 FRW.

Ce site est étudié à peu près complètement. L'utilisateur principal serait l'Ecole Normale de Nagahinika, cependant, compte tenu des autres utilisateurs possibles (CERAI, négoce, artisanat, particuliers) on pourrait envisager d'utiliser un site un peu plus éloigné mais disposant d'un potentiel élevé comme le site de la Cymbili indiqué plus loin. En tout cas ce site (ou les sites voisins) paraît pouvoir être équipé en priorité dans un assez bref délai.

#### 4.9. MWANGE à BUYOBA

Débit indiqué : 300 l/s ; hauteur de chute : 51 m ;

puissance estimée : 107 KW.

Nous avons conservé ce site dans la liste bien qu'une micro-centrale y soit en cours de construction. La productibilité théorique serait  $W = 0,56 \text{ GWH}$  (avec  $K_u = 0,6$ ).

Les utilisateurs de la micro-centrale après avoir étudié le potentiel de consommation ont choisi de n'équiper qu'une partie du potentiel disponible en utilisant une partie de la chute seulement de façon à rapprocher la production des besoins à court terme. S'il se révélait, notamment par effet d'entraînement, que la consommation pourrait augmenter sensiblement, il serait facile d'équiper la partie disponible de la chute à moindre coût. Ceci est un excellent exemple. BORDA (il s'agit d'une ONG dont les références sont données en annexe) a fait ce choix au vu de l'étude technique préliminaire et de l'étude sociale. La construction durera en tout 6 à 7 mois pour un coût total de l'ordre de 60.000 \$US pour une puissance installée de 20 KW. La centrale devrait fonctionner probablement en mars 1988.

#### 4.10 RUHUSURA à NYAMUGALI

Débit indiqué : 45 l/s ; hauteur de chute 30 m ;  
puissance estimée :  $P = 9,5 \text{ KW}$ .

Ceci paraît très faible. Il conviendrait de vérifier les caractéristiques de ce site que nous n'avons pas visité et qui ne paraît pas intéressant avec les caractéristiques indiquées.

#### 4.11 BUHARI près de MUBUGA

Débit indiqué : 81 l/s ; hauteur de chute 135 m ;  
puissance estimée :  $P = 76,5 \text{ KW}$  ;  
productibilité annuelle ( $K_u = 0,6$ ) :  $W = 0,40 \text{ GWH}$ .

A titre indicatif : coût probable 195.000 \$ US  
Prix estimé du KWH : 5 à 6 FRW.

Ce site paraît très intéressant par ses caractéristiques topographiques : une piste carrossable mène à proximité immédiate du site probable du barrage de dérivation, tandis que la centrale serait à proximité immédiate de la route Kibuye-Cyangugu. Conduite forcée et canal d'aménée seraient relativement courts.

Enfin notons qu'à distance raisonnable on trouve trois écoles secondaires et un CERA. Il reste à compléter l'étude sociale et à faire l'étude technique approfondie et l'étude économique.

#### 4.12 MWOGO à RUSUSA (RUGARIKA)

Débit indiqué : 900 l/s ; hauteur de chute 29 m ;

puissance estimée 183 KW

Productibilité annuelle ( $K_u = 0,6$ ) :  $W = 0,96$  GWH

A titre indicatif coût probable 457.000 \$ US

Prix du KWH : 4,5 FRW.

En fait, nous avons là un potentiel nettement plus important que pour les autres sites. L'énergie électrique pourrait être utilisée par l'usine à thé de MATA qui aurait besoin de 0,5 GWH par an. On pourrait aussi envisager un branchement sur le réseau général du côté de Gikongoro. On pourrait aussi envisager une utilisation plus modeste auprès des habitants du lieu (centre de négoce, CERAI, centre nutritionnel, artisanat etc.).

Une étude complète du volet social permettrait de faire un choix d'équipement et d'utilisation qui serait suivi de l'étude technique approfondie et de l'étude économique.

Ce site est très intéressant a priori.

#### 4.13 MAGARAMA à MUGONERO

Débit indiqué : 110 l/s ; hauteur de chute 44 m ;

puissance estimée 34 KW.

Productibilité annuelle ( $K_u = 0,6$ ) :  $W = 0,186$  WH

A titre indicatif : coût probable 130.000 \$US

Prix du KWH : 8 FRW

L'étude sociale réalisée indique comme consommateurs : une école d'infirmière, un hôpital, une école primaire, un centre de négoce (éclairage, 15 réfrigérateurs, 3 fers à repasser, 1 moulin), des habitations etc.

Une évaluation de la consommation aux différentes heures de la journée à été faite.

Ce site paraît intéressant et devrait faire l'objet de l'étude technique approfondie et de l'étude économique.

#### 4.14 CYMBILI près de NAGAHANIKA (NYAMYUMBA)

Débit indiqué : 75 l/s ; hauteur de chute 180 m

Puissance estimée : 94,5 KW

Productibilité annuelle ( $K_u = 0,6$ )  $W = 0,5$  GWH

A titre indicatif : coût probable 236.000 \$US

Prix estimé du KWH 4 à 5 FRW.

Ce site pourrait être choisi en remplacement du site de Nagahinika sur le Pfunda, ou en complément, ou pour une autre utilisation. C'est en tout cas un site très intéressant par ses caractéristiques topographiques et par la proximité de la route Gisenyi-Nkora. Il pourrait être équipé par étapes.

Pour faire un choix, il serait nécessaire de faire les études sociale, technique approfondie et économique.

Après cette revue des sites (cette liste n'étant bien entendu pas exhaustive), nous allons au chapitre suivant essayer de faire un choix suivi d'une étude de rentabilité, en indiquant les moyens qui permettraient de réaliser le projet.

### 5. ESSAI DE CHOIX ET BILAN CORRESPONDANT

#### 5.1. CHOIX

En l'état actuel du projet, le choix fait ici est largement subjectif car nous ne disposons pas de tous les éléments nécessaires aux choix tant des sites retenus que des puissances équipées à ces suites. Dans le cadre d'une mission de 8 jours, il n'était pas possible de réunir ces éléments complémentaires. Mais nous pensons qu'au cas où le projet serait poursuivi, le choix définitif ne conduirait pas à un bilan très différent. Nous avons donc constitué une liste des sites que nous estimons les plus propices en l'état actuel de l'étude, par ordre de priorité.

Nous voyons que l'investissement spécifique (coût par KW installé) est un peu inférieur à 3.000 \$US pour l'ensemble du projet (2.943 \$). En fait, cela varie beaucoup d'un site à l'autre en fonction de la puissance installée et des travaux de génie civil nécessaires. En moyenne, une centrale coûte d'autant plus cher à puissance égale que le débit équipé est plus important et la hauteur de chute plus faible. Le coût diminue aussi avec la puissance installée.



		P	W	PK	C
A	8 - Pfunda à NYAMYUMBA (Nagahinika)	34	0,18	8,5	130.000
B	13 - Magarama à Migouno	34	0,18	8,0	130.000
C	3 - Mazumeru à NYAKABANDA	38,5	0,20	7,5	146.000
D	4 - KYRIANGO à MUKUNGI-MUYUNZWE	44	0,23	7,5	167.000
E	11 - BUHARI à MUBUCA	76,5	0,40	5,5	195.000
F	2 - CONGOLI à MUSASA	28	0,15	8	106.000
G	14 - CYMBILI à NYAMYUMBA (NAGAHINIKA)	94,5	0,50	4,5	236.000
H	12 - MWOGO à RUSUSA	183	0,96	4,5	457.000
	TOTAL	532,5	2,8		1.567.000

P : Puissance KW

N : Productibilité annuelle GWH

PK : Coût du KWH FRW

COUT TOTAL D'INVESTISSEMENT US \$

## 5.2 ESSAI DE BILAN

Dans le temps qui nous est imparti, il est difficile de simuler sur plus d'un an le fonctionnement d'un ensemble de centrales. Nous allons donc faire le bilan sur un an, en supposant le matériel amorti sur 35 ans, en tenant compte de frais de fonctionnement minimum de 250.000 FRW par an et par centrale (essentiellement il s'agit du salaire du technicien gardien). Deux hypothèses sont envisagées :

Hypothèse I : on construit les 8 centrales de A à H

Hypothèse II : on construit les 6 centrales de A à F.

Les recettes R sont les redevances des usagers que nous fixons à 8 FRW en moyenne par KWH. Les dépenses sont :

D1 : amortissement (D1 = capital investi x 0,10369 (amortissement en 35 ans)) ;

D2 : entretien annuel (D2 = capital investi x 0,01) ;

D3 = fonctionnement annuel : (D3 = minimum incompressible : 250.000 FRW par centrale);

D4 : frais généraux et divers (D4 : minimum incompressible de 125.000 FRW par centrale).

Les mouvements de capitaux du fonds d'investissement :

Ci : capital initial 50.000 \$US (environ) 3.650.000 FRW

accroissement annuel  $\Delta C = D1 + Ci \cdot 4/100$  (1)

Cf : capital final au bout d'un an

Fonds de réserve ordinaire : il s'agit de l'accumulation de bénéfices éventuels

$$B = R - (D1 + D2 + D3 + D4).$$

Ce fonds FR ne serait pas bloqué et pourrait servir à des ajustements éventuels des dépenses en cas de dépassement, ou à favoriser l'installation de petits artisans dans les centres ruraux.

Les deux hypothèses envisagées ne sont bien entendu pas exclusives d'autres choix, mais sont destinées à faire apparaître la différence entre un projet ne contenant que des petites centrales et un projet comportant des centrales un peu plus puissantes (relativement).

---

(1) en fait le capital pourrait sans doute rapporter plus de 4% en négociant avec les banques populaires du RWANDA

	Recettes	Dépenses		Bénéfices	FOND FRW		Réserve		Bénéfice
	R. FRW	D.	FRW		B	D'invest.t	ordinaire	FRW	
	22.546.000	D1	11.861.203		C <sub>i</sub>	3.650.000	F <sub>Ri</sub>	0	Bénéfice
		D2	1.143.910		ΔC	12.007.203	B	6.440.887	Rapporté
		D3	2.000.000		Cf	15.657.203	F <sub>Rf</sub>	6.440.887	à
		D4	1.000.000						l'investissement en %
TOTAL FRW	22.546.000	D	16.105.113	6.440.887					5,63 %
	10.720.000	D1	6.615.629		C <sub>i</sub>	3.650.000	F <sub>Ri</sub>	0	Bénéfice
		D2	638.020		ΔC	6761.629	B	1.216.351	Rapporté en %
		D3	1.500.000		Cf	10.411.629	F <sub>Rf</sub>	1.216.351	à
		D4	750.000						l'investissement en %
TOTAL	10.720.000	D	2.88.020	1.261.351					1,91 %

## COMPARAISON ECONOMIQUE DES HYPOTHESES I ET II

La comparaison démontre que l'hypothèse II est économiquement moins viable que l'hypothèse I, puisque le "bénéfice" net (amortissement déduit) ne représente que 1,91 % de l'investissement dans le cas II contre 5,6 % dans le cas I.

Nous ne prétendons pas que nos calculs soient d'une orthodoxie ni d'une rigueur exemplaires mais cela donne quand même une idée raisonnable de la question.

## 6. RECOMMANDATIONS

Au terme de notre mission, nous sommes persuadés que la construction de micro-centrales hydro-électriques au RWANDA est rentable économiquement et socialement en faveur du développement rural.

Nous proposons :

- 1) Construction de 8 à 10 micro-centrales pour un investissement qui pourrait atteindre 1.600.000 \$ US.
- 2) Choix des centrales d'après la liste de priorité fournie plus haut en complétant ou modifiant éventuellement cette liste après enquête et concertation entre les autorités, les populations et l'équipe chargée de la conception de la construction.
- 3) Faire les enquêtes sociales encore nécessaires en collaboration avec l'équipe du Professeur Frédéric GATERA de l'Université Nationale du RWANDA (Ruhengeri).
- 4) De confier la conception et la réalisation des micro-centrales à une ou des ONG parmi lesquelles nous citerons plus particulièrement BORDA (Association Brêmoise de Recherche et de Développement d'Outre-mer), en associant un ingénieur rwandais au moins à ces études et réalisations. L'AEBR pourra être aussi consultée.
- 5) De rechercher un mode de gestion du fonds d'investissement commun s'appuyant sur les communautés locales intéressées sous la double tutelle du Ministère des Travaux Publics et de l'Energie et du PNUD.
- 6) De constituer une équipe rwandaise de maintenance (2 ingénieurs, 3 techniciens) qui ne serait pas occupée à plein temps par les micro-centrales mais pourrait être responsable aussi de la maintenance des groupes diesel électrogènes dans le pays. Les membres de l'équipe

recevraient un complément de formation auprès du ou des fournisseurs des micro-groupes hydro-électriques.

- 7) De créer un fonds d'investissement doté de 50.000 \$ US à l'origine, abondé par la suite par l'amortissement du matériel prélevé sur les redevances.
- 8) De prévoir à l'achat des groupes hydro-électriques l'achat simultané d'un lot de pièces détachées de rechange pour faire face au handicap que constitue l'enclavement du pays et l'éloignement prévisible des fournisseurs.
- 9) D'envisager des mesures d'accompagnement du projet telles qu'une aide à l'équipement des artisans. Ces mesures pourraient être financées partiellement sur les bénéfices éventuels.

On trouvera ci-joint en annexe, outre les annexes déjà annoncées :

- les références des personnes rencontrées et organismes visités durant la mission ;
- un devis provisoire de l'opération.

## Annexe I

Prix du Kilowatt - heure produit par une micro centrale hydroélectrique.

Four tenir compte des ajustements de change depuis 1985, multiplier les résultats en francs Rwandais par 0,73.

Le prix du kilowattheure produit est fonction de l'investissement qui permet la construction de la microcentrale et des lignes de distribution de l'énergie électrique. Il dépend aussi des conditions financières de l'opération. Afin de parvenir à des évaluations comparables entre elles nous avons choisi des conditions généralement admises par les organismes des Nations-Unies, à savoir:

-L'amortissement de la centrale est supposé se faire en 35 ans (Bien qu'il existe en Afrique des centrales qui ont plus de 50 ans).

-Le taux d'intérêt est supposé égal à 10% par an. Amortissement en trente-cinq ans et taux d'intérêt de 10% conduisent à un facteur d'amortissement de 0,10369.

-On fait varier le coefficient d'utilisation  $K_u$  de 0,4 à 0,7.

Soit l'investissement spécifique pour 1 kilowatt de puissance installée. Le coût annuel est composé de:

-l'amortissement	1 X 0,10369
-l'entretien annuel	1 X 0,01
-le fonctionnement	1 X 0,005
-les frais généraux et divers	<u>1 X 0,005</u>
<u>total</u>	<u>1 X 0,12369</u>

La production annuelle d'énergie PR est:

$PR = 8760 \times 1 \text{ KW} \times K_u$  pour 1 KW de puissance soit

$PR = 8760K_u$  en KWH

Le prix de revient PK du kilowattheure produit est donc:

$$P_k = \frac{0,12369I}{8760K_u}$$

$$P_k = \frac{1}{K_u} \times 1,412 \cdot 10^{-5} \quad (2)$$

Par exemple si l'investissement spécifique est  $I = 2000$  \$ par KW installé et si  $K_u = 0,6$ ,  $P_k = 0,047$  \$ ou #4,7 FRW (On admet la correspondance approximative 1 \$ US = 100 FRW en Mars 1985). Ce prix est bien entendu tout à fait compétitif; toutefois au dessous d'un investissement total estimé dans le cas du Rwanda à 240000 \$ US on doit considérer que les frais de fonctionnement deviennent incompressibles au dessous de 0,5 % de 240000 \$ soit 1200 \$ (indemnité d'un surveillant chargé de l'entretien, etc...). Cela relève le prix du KWH produit selon les calculs qui suivent. Le supplément de prix  $\Delta P_k$  à payer par KWH pour une installation d'une puissance installée  $P_e$  KW coutant moins de 240000 \$ au total est:

$$\Delta P_k = \frac{1200}{P_e} \frac{1}{8760K_u} - \frac{0,005I}{8760K_u}$$

$$\text{soit } \Delta P_k = \frac{1}{K_u} \left[ \frac{0,137}{P_e} - 5,71 \cdot 10^{-7} I \right] \quad (3)$$

Le prix réel si l'investissement total  $P_e \cdot I$  est inférieur à 240000 \$ sera:

$$P'_k = \frac{1}{K_u} \times 1,412 \cdot 10^{-5} + \frac{1}{K_u} \left[ \frac{0,137}{P_e} - 5,71 \cdot 10^{-7} I \right]$$

$$P'_k = \frac{1}{K_u} \left[ \frac{0,137}{P_e} + 1,355 \cdot 10^{-5} I \right] \quad (4) \text{ en \$ US}$$

Pour faciliter l'utilisation des formules (2), (3) et (4) nous les avons traduites sous la forme de trois graphiques 1, 2 et 3 donnant respectivement:

Graphique 1: Prix du KWH produit en fonction du coût total de 1 KW de puissance installée pour différents coefficients d'utilisation  $K_u$  (de 0,4 à 0,7), sans correction de prix liée à la taille de la centrale et donc valable pour un coût total supérieur à 240000 \$.

Graphique 2: Variation du prix du KWH produit en fonction du coefficient d'utilisation  $K_u$  pour un coût d'investissement spécifique  $I$  donné.

Graphique 3: Variation du prix du KWH produit pour un coefficient d'utilisation  $K_u = 0,6$  en fonction de la puissance installée pour différents investissements spécifiques donnés.

Les tableaux 1 à 6 indiquent les majorations de prix du KWH liées à la taille de la centrale pour différents  $K_U$  et pour différents investissements spécifiques.

Le tableau 7 indique les puissances minima à utiliser pour ne pas dépasser des niveaux de prix choisis arbitrairement (8, 10, 11 et 13 FRW le KWH) en fonction du coefficient d'utilisation et du coût d'investissement spécifique.

Utilisation de ces graphiques et tableaux:

Graphique 1:

Exemple a: Après étude d'un site on évalue l'investissement nécessaire à la construction de la microcentrale à 4500 \$ US par KW installé (y compris les lignes de transport). On en déduit immédiatement le prix du KWH produit (sans correction liée à la taille de la centrale). Pour  $K_u = 0,4$   $P_k = 0,159$  \$ US soit 15,9 Francs Rwandais. De même: pour  $K_u = 0,5$   $P_k = 12,7$  FRW, pour  $K_u = 0,6$   $P_k = 10,6$  FRW, et enfin pour  $K_u = 0,7$   $P_k = 9,1$  FRW.

Ceci permet un premier jugement sur la rentabilité d'un tel investissement, peu avantageux ici si  $K_u = 0,4$  ou même 0,5. Pour tenir compte de la petitesse éventuelle de la centrale on utilisera les tableaux 1 à 6 et le graphique 3.

Exemple b: On décide à priori de ne pas dépasser un coût de 5 FRW (0,05 \$ US) par KWH. On en déduit immédiatement que l'investissement spécifique  $I$  ne doit pas dépasser

1430 \$ si  $K_u = 0,4$   
 1760 \$ si  $K_u = 0,5$   
 2100 \$ si  $K_u = 0,6$   
 2500 \$ si  $K_u = 0,7$

(Correction éventuelle liée à la taille de la microcentrale avec les tableaux 1 à 6 et le graphique 3).

Graphique 2: On envisage pour une centrale un coefficient d'utilisation  $K_u = 0,45$  pour un investissement de 2700 \$ par KW installé. Pour 2500 \$  $P_k = 7,8$  FRW, pour 3000 \$  $P_k = 9,4$  FRW. Donc pour 2700 \$ on trouve par interpolation:



$$P_k = 7,8 + (9,4 - 7,8)(2700 - 2500)/(3000 - 2500)$$

soit  $P_k = 8,44$  FRW.

Graphique 3: Après étude d'un site on établit un coût d'investissement spécifique de 3000 \$ par KW pour une puissance installée de 15 KW (investissement total de 45000 \$ < 240000 \$). Le prix du KWH produit est  $P_k = 8,2$  FRW pour  $K_u = 0,6$ . Le graphique 1 aurait donné  $P_k = 7$  FRW, prix donc nettement sous-estimé.

Si la puissance installée n'est que de 3 KW on utilise le graphique 3 bis (agrandissement du graphique 3) qui donne  $P_k = 14,4$  FRW, soit plus du double du prix indiqué par le graphique 1. On voit ainsi l'importance de l'effet de taille.

Pour des  $K_u$  différents de 0,6 il suffit de multiplier le résultat obtenu sur le graphique 3 par le rapport  $0,6/K_u$ . Pour des investissements intermédiaires entre les valeurs choisies sur le graphique on procède par interpolation.

#### Tableaux 1 à 6:

Ces tableaux indiquent les majorations de prix à pratiquer en fonction de la puissance installée (on peut procéder à des interpolations pour une puissance quelconque).

#### Tableau 7:

Ce tableau indique pour des prix arbitraires de 8, 10, 11 et 13 FRW le KWH les puissances minima nécessaires en fonction de  $K_u$  et de l'investissement  $i$ . On peut interpoler approximativement entre les valeurs du tableau mais il vaut mieux utiliser la formule (4) pour calculer la puissance minimum autorisée  $P_e$  pour un investissement spécifique et un prix du KWH donné en en déduisant:

$$P_e = \frac{0,137}{P'_k K_u - 1,355 \cdot 10^{-5} I} \quad (5)$$

$P'_k$  et  $I$  en \$ US

Que peut-on conclure de ces évaluations?

1° Il ne faut en aucun cas céder à la tentation d'installer une microcentrale surpuissante eu égard aux besoins si aucune extension de ces besoins n'est raisonnablement prévisible. Un surdimensionnement conduit à une mauvaise utilisation de la centrale et à un  $K_u$  trop faible qui majore sérieusement le prix du KWH produit.

2° Le prix limite acceptable du KWH est très variable selon les circonstances. En effet si l'on se trouve à proximité immédiate du réseau général on pourra penser à juste titre que l'achat à 13 FRW le KWH (prix actuel de l'électricité) est préférable à la production locale d'un KWH à 15 FRW. Mais dans ce cas on

Coût supplémentaire du KWH produit  
pour les petites puissances installées (Francs Rwandais)

(1 \$ US = 10 FF = 100 FRW en Mars 1985)

Pour tenir compte des ajustements de change depuis 1985, multiplier  
les résultats en francs Rwandais par 0,73.

1-1000S  $\Delta P_k=0,137/P_e K_u=5,71 \cdot 10^{-4} /K_u$

$\frac{K_u}{P_e}$	0,4	0,5	0,6	0,7
1	34	27,2	22,7	19,5
2	16,9	13,6	11,3	9,7
3	11,3	9,0	7,5	6,4
4	8,4	6,7	5,6	4,8
5	6,7	5,4	4,5	3,8
6	5,6	4,5	3,7	3,2
7	4,8	3,8	3,2	2,7
8	4,1	3,3	2,8	2,4
9	3,7	2,9	2,4	2,1
10	3,3	2,6	2,2	1,9
15	2,1	1,7	1,4	1,2
20	1,6	1,3	1,0	0,9
30	1,0	0,8	0,7	0,6
40	0,7	0,6	0,5	0,4
50	0,5	0,4	0,4	0,3
100	0,2	0,2	0,1	0,1
240	0	0	0	0

Tableau 1

1-2000S  $\Delta P_k=0,137/P_e K_u=11,42 \cdot 10^{-4} /K_u$

$\frac{K_u}{P_e}$	0,4	0,5	0,6	0,7
1	34,0	27,2	22,6	19,4
2	16,8	13,5	11,2	9,6
3	11,1	8,9	7,4	6,4
4	8,3	6,6	5,5	4,7
5	6,6	5,3	4,4	3,8
10	3,1	2,5	2,1	1,8
20	1,4	1,1	1,0	0,8
50	0,4	0,3	0,3	0,2
100	#0	#0	#0	#0
120	0	0	0	0

Tableau2

1-3000S  $\Delta P_k=0,137/P_e K_u=17,13 \cdot 10^{-4} /K_u$

$\frac{K_u}{P_e}$	0,4	0,5	0,6	0,7
1	33,8	27,0	22,5	19,3
2	16,7	13,4	11,1	9,5
3	11,0	8,8	7,3	6,2
4	8,1	6,5	5,4	4,6
5	6,4	5,1	4,3	3,7
10	3,0	2,4	2,0	1,7
20	1,3	1,0	0,9	0,7
50	0,3	0,2	0,2	0,1
80	0	0	0	0

Tableau 3

1-4000S  $\Delta P_k=0,137/P_e K_u=22,84 \cdot 10^{-4} /K_u$

$\frac{K_u}{P_e}$	0,4	0,5	0,6	0,7
1	33,6	26,9	22,5	19,2
2	16,6	13,2	11,0	9,5
3	10,8	8,7	7,2	6,2
4	8,0	6,4	5,3	4,6
5	6,3	5,0	4,2	3,6
10	2,9	2,3	1,9	1,6
20	1,1	0,9	0,8	0,7
50	0,1	0,1	0,1	0,1
60	0	0	0	0

Tableau 4

## Coût complémentaire (suite)

I-5000S  $\Delta P_k=0,137/P_e K_u-28,55 \cdot 10^{-6}/K_u$ 

$\begin{matrix} K_u \\ P_e \end{matrix}$	0,4	0,5	0,6	0,7
1	33,5	26,8	22,4	19,2
2	16,4	13,1	10,9	9,4
3	10,7	8,6	7,1	6,1
4	7,8	6,3	5,2	4,5
5	6,1	4,9	4,1	3,5
10	2,7	2,2	1,8	1,5
20	1,0	0,8	0,7	0,6
48	0	0	0	0

Tableau 5

I-6000S  $\Delta P_k=0,137/P_e K_u-34,26 \cdot 10^{-6}/K_u$ 

$\begin{matrix} K_u \\ P_e \end{matrix}$	0,4	0,5	0,6	0,7
1	33,4	26,7	22,3	19,1
2	16,3	13,0	10,8	9,3
3	10,0	8,4	7,0	6,0
4	7,7	6,2	5,1	4,4
5	6,0	4,8	4,0	3,4
10	2,6	2,1	1,7	1,5
20	0,9	0,7	0,6	0,5
40	0	0	0	0

Tableau 6

**Puissance minimum acceptable en KW  
pour un investissement spécifique donné I et des prix du KWH fixés  
à 6, 10, 11 et 13 FRW pour des coefficients d'utilisation Ku variant de 0,4 à 0,7**

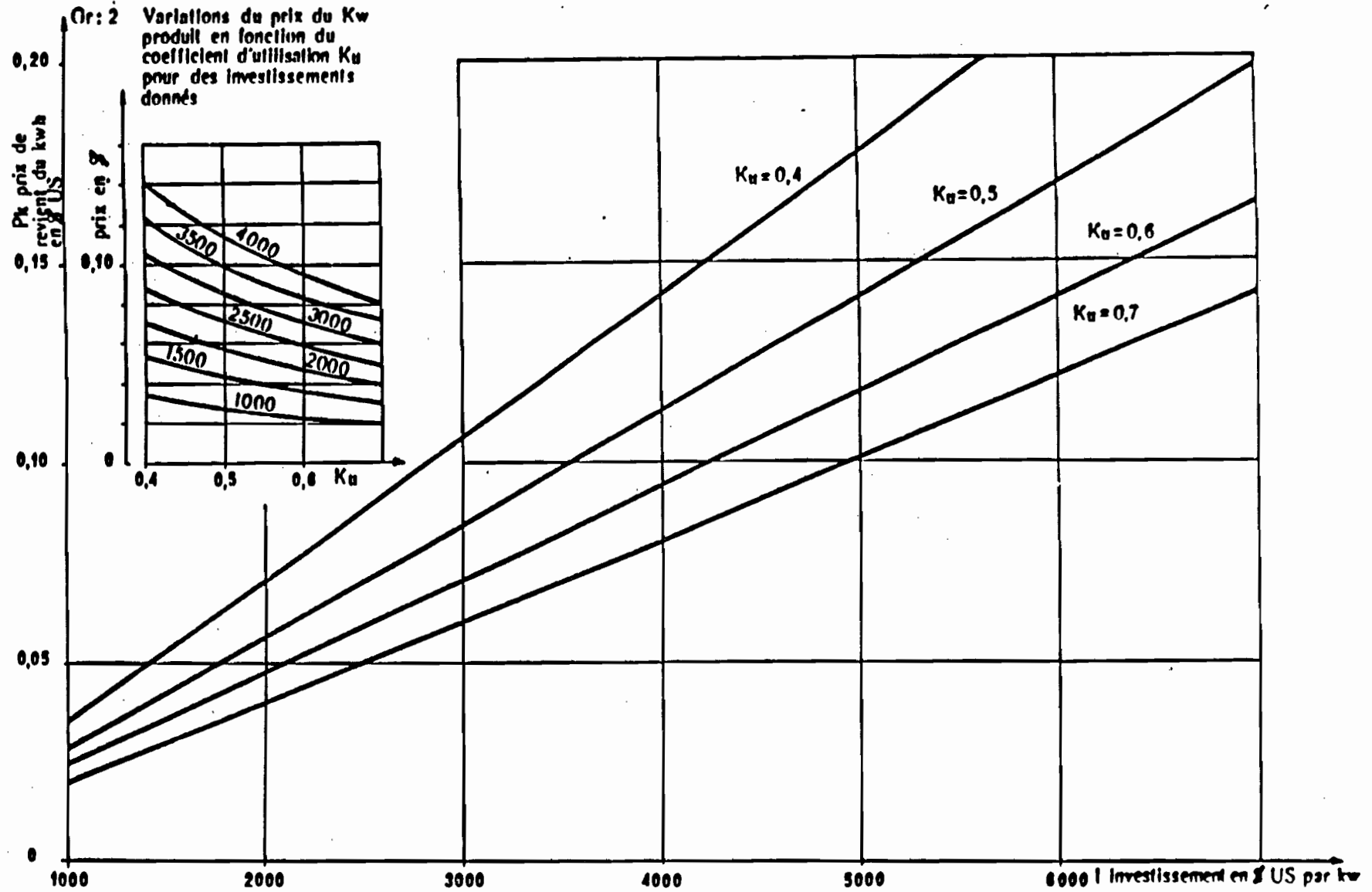
Pour tenir compte des ajustements de change depuis 1985, multiplier  
les résultats en francs Rwandais par 0,73.

I	KU		0,4	0,5	0,6	0,7
	Pk					
1000S	8		7,4	5,2	4,0	3,2
	10		5,2	3,8	3,0	2,4
	11		4,5	3,3	2,6	2,2
	13		3,6	2,7	2,1	1,8
2000S	8		27,0	10,6	6,6	4,7
	10		10,4	6,0	4,2	3,2
	11		8,0	4,9	3,5	2,7
	13		5,4	3,6	2,7	2,1
3000S	8		-	-	18,5	8,9
	10		-	14,7	7,1	4,7
	11		40,0	9,6	5,4	3,8
	13		11,9	5,7	3,7	2,7
4000S	8		-	-	-	-
	10		-	-	23,2	8,8
	11		-	-	11,5	6,1
	13		-	12,7	5,7	3,7
5000S	8		-	-	-	-
	10		-	-	-	-
	11		-	-	-	15,0
	13		-	-	13,2	5,9
6000S	8		-	-	-	-
	10		-	-	-	-
	11		-	-	-	-
	13		-	-	-	14,6

→

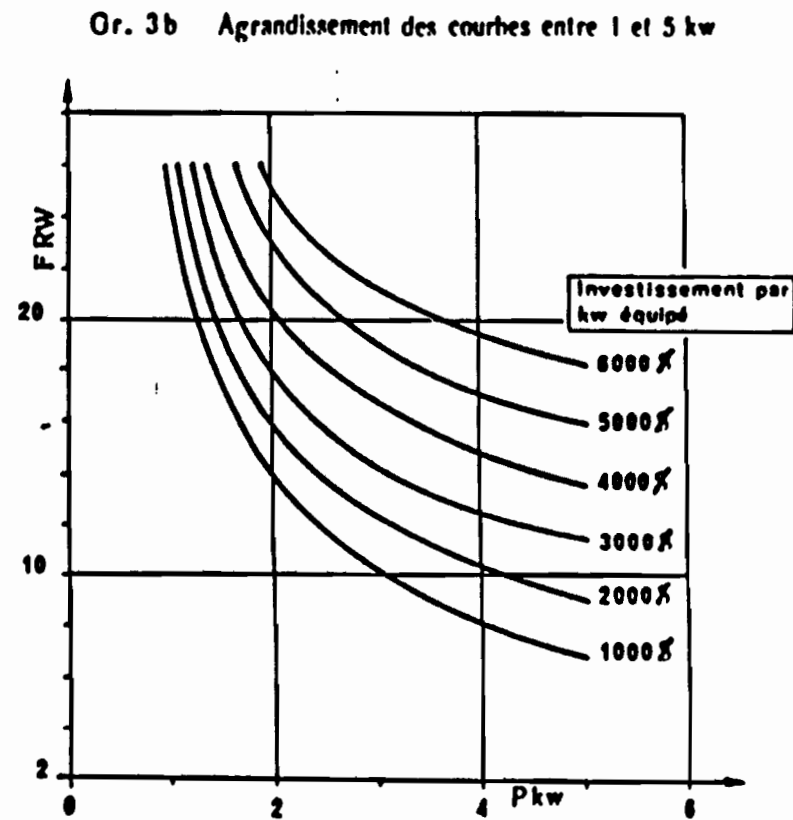
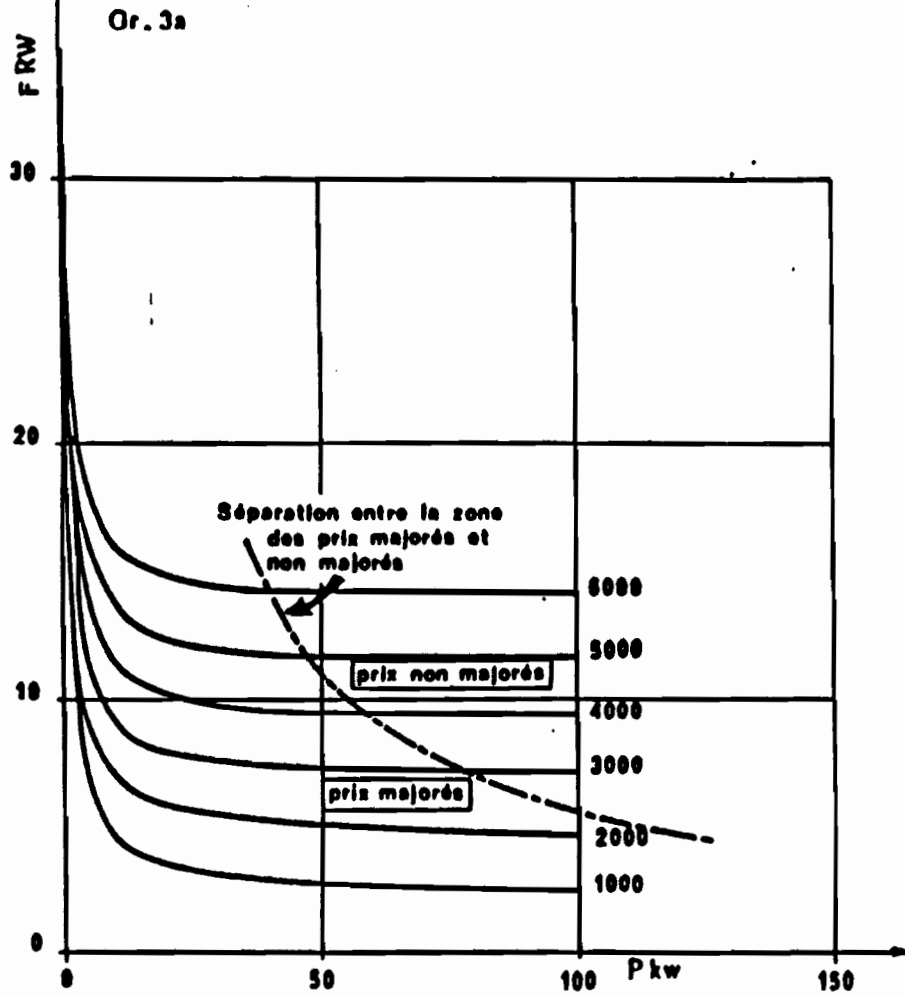
Lorsque la valeur est remplacée par un tiret c'est qu'il est impossible de produire un KWH au prix indiqué dans les conditions données quelque soit la puissance de la centrale.

Tableau 7



Prix du kwh produit en fonction de l'investissement  $I$  par kw de  
 Gr: 1 puissance installée pour un coefficient d'utilisation  $K_u$  donné de  
 la centrale

Pour tenir compte des ajustements de change depuis 1985, multiplier les résultats en francs Rwandais par 0,73.



Gr: 3 Prix du kwh produit pour des centrales nécessitant un investissement inférieur à 240 000 ⧸ US pour K = 0,6

## Annexe II

### Eléments pour une enquête sociale

#### 1. Personnes à visiter :

a) En premier lieu il convient de rencontrer le bourgmestre.

Les questions à lui poser :

- Nombre d'habitants de la commune.
- Services Publics existants (Enseignement, Santé, etc.).
- Activités artisanales connues (menuiserie, mécanique, poterie, moulage, etc.). Demander les noms des artisans et leur domicile.
- Activités commerciales (commerçants existants, type de commerce...).
- Ordre de grandeur des revenus des habitants.
- Le bourgmestre est-il intéressé par la construction d'une micro centrale ? Quels usages croit-il intéressants ?
- La commune est-elle disposée à participer à la gestion (comptabilité, contrôle du technicien gardien, paiement des redevances des usagers.
- Que pense-t-il de l'établissement d'une redevance forfaitaire pour les particuliers pour une puissance réduite ?
- Quel montant lui paraît être un maximum possible pour cette redevance ?
- Serait-il intéressant de créer de nouvelles activités artisanales et lesquelles ?
- Les habitants du centre pourraient-ils participer dans une certaine mesure aux travaux de construction, par exemple, en aidant à ouvrir une piste d'accès au site ? (Umuganda)

#### b) Autres fonctionnaires et officiels :

Nombre de personnes sous la responsabilité de chacun d'eux.

L'électricité peut-elle améliorer le fonctionnement de leur administration ?  
Leur budget de fonctionnement peut-il supporter une dépense pour l'électricité ? De quel ordre ?

A titre privé sont-ils intéressés par l'électricité et combien peuvent-ils consacrer pour cette dépense ? Pour quels usages ? (éclairage, frigidaire, fer à repasser etc...)

c) Artisans, commerçants : Que pensent-ils de la mise à disposition d'électricité ?

Auraient-ils besoin d'une aide pour l'achat de matériel électrique (moulier, poste de soudure, frigidaire, etc.).

Sont-ils intéressés pour leurs besoins propres (éclairage ou autre). Combien peuvent-ils dépenser pour cela.

d) Sondage auprès des habitants de différents niveaux de vie :

sont-ils intéressés par l'électricité ?

Pour quoi faire ?

Seraient-ils disposés à payer une redevance forfaitaire pour un usage limité (éclairage par exemple) ?

#### Exploitation des résultats :

Les résultats doivent faire apparaître :

- La consommation potentielle théorique avec si possible son évolution prévisible sur 24 heures.
- L'intérêt porté au projet par les autorités.
- L'intérêt porté au projet par les habitants tant au niveau artisanat, négoce qu'au niveau privé.
- La capacité de dépense des intéressés de tout ordre.
- Le désir apparent et la capacité de gérer au plan local le fonctionnement du système.
- Les retombées prévisibles de la mise à disposition de l'électricité telles que :
  - l'amélioration de la qualité de la vie.
  - les retombées économiques etc.



### ANNEXE III

- Personnes rencontrées                    }
- } en dehors du bureau du PNUD
- organismes visités                    }

#### 1) *MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS ET DE L'ENERGIE (MINITRAPE)*

Monsieur Marcel NSABIMANA, Directeur Général de l'Energie - MINITRAPE Tél. 83706

Monsieur NSABIMANA nous a reçu longuement et aux cours de cette entrevue a manifesté le grand intérêt du MINITRAPE pour le projet de construction de micro-centrales hydro-électriques. De nombreuses convergences sont apparues sur la façon de procéder.

Rencontré également un collaborateur de Monsieur NSABIMANA, Monsieur NZEYIMANA Valence de la Division Planification et Programmation. Ce dernier nous a accompagné à RUHENGARI (Université Nationale du Rwanda) et à la micro-centrale en construction du MWENGE.

#### 2) *UNIVERSITE NATIONALE DU RWANDA à RUHENGARI*

Monsieur Le Professeur Frédéric GATERA, Directeur du Laboratoire de Cartographie et professeur titulaire de la chaire : "Principes et Techniques de l'Aménagement".

Monsieur GATERA est très intéressé par le projet micro-centrales du fait même de ses fonctions. Il envisage de façon tout à fait favorable la participation au volet "enquête sociale" pour lequel il pourrait diriger des enquêteurs rémunérés.

Tél.: 46430 - UNR Ruhengeri

Rencontré également Monsieur NDIKUMAGENGE Ananias, Responsable du Laboratoire.

#### 3) *ASSOCIATION BREMOISE DE RECHERCHE ET DE DEVELOPPEMENT OUTRE-MER - BORDA*

Il s'agit d'une association privée allemande reconnue "d'utilité publique" et à buts non lucratifs. Elle est soutenue notamment par le Ministère Fédéral allemand de la Coopération, par la CEE, par GTZ et par le Land de Brême. On trouvera ci-après un résumé de ses activités. On peut constater que les buts de l'association sont intéressants pour le projet micro-centrales. Nous avons rencontré Monsieur Bernt GEERKEN, Ingénieur diplômé, qui dirige la

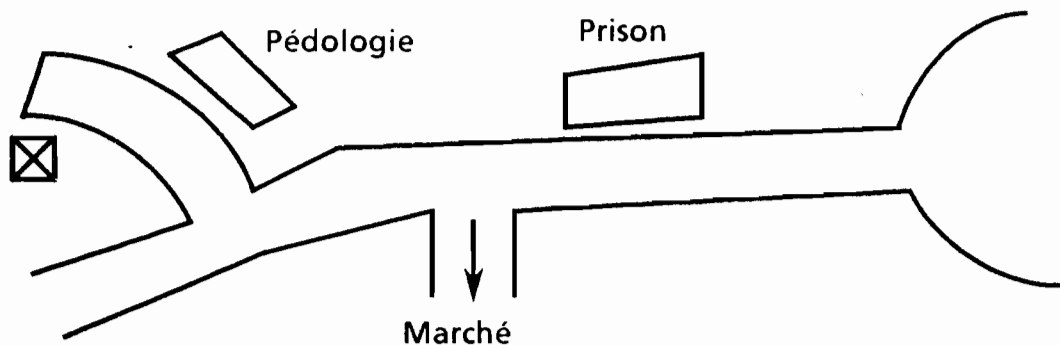
construction de la centrale du Mwenge à une quarantaine de kilomètres au Nord de Kigali sur la route de Byumba. Nous avons pu constater la qualité du travail réalisé sur ce chantier. BORDA est une ONG qui pourrait être associée de très près au projet tant dans la phase conception (volet social, volet technique approfondi, volet économique) que dans la phase exécution (construction de centrales, mise en place de la gestion technique et financière). BORDA semble présenter toutes les qualités voulues de sérieux et de compétence technique. Nous voyons là une possibilité de synergie intéressante.

On notera que BORDA a conçu un modèle de microgroupe (type BANKI) très simple dont la roue de turbine peut être réparée sur place dans un atelier de mécanique de Kigali, caractéristique très intéressante.

Références : BORDA pour "Bremen Overseas Research and Development Association"

adresse en allemagne : D2800, Bremen 1. Bahnhofplatz 13 - Tél. (0421) 1 37118

à Kigali : Monsieur BERNT GEERKEN, Rue Kagevuba, près de la prison et du service pédologique



on peut aussi contacter BORDA par l'intermédiaire du Directeur Général de l'Energie au MINITRAPE.

#### 4) *AEBR pour ASSOCIATION DES EGLISES BAPTISTES DU RWANDA*

Cette association est directement intéressée par la construction d'une centrale près de Nyamyumba. cette centrale alimenterait en effet l'Ecole Normale de Nagahinika (Baptiste).

AEBR a fait effectuer une étude quasi complète sur le site de la Pfunda et s'intéresse à la solution de rechange éventuelle de la Cymbili ; elle pourrait être associée à la réalisation d'une micro-centrale dans l'un de ces deux sites.

On peut contacter :

Monsieur Glenn KENDALL, Missionnaire représentant légal, que nous avons rencontré.

Nous avons également fait la connaissance des :

- Pasteur MUSEKURA Celestin
- Pasteur SERUKATO Abel

Tél. d'AEBR : 84217

Adresse postale : B.P. 217 à KIGALI.

## ANNEXE IV

### DEVIS PROVISOIRE DU PROJET MICRO-CENTRALES

Il s'agit bien entendu d'un devis très sommaire en l'état actuel de l'étude. Les dépenses se répartissant en achats de matériel, frais de construction, création d'un fonds d'investissement et frais annexes.

Ce dernier est établi en partant de l'hypothèse I (construction des 8 centrales de A à H)

En fait, selon la puissance des centrales construites (ce choix restant ouvert) le nombre pourrait varier de 6 à 10.

Les dépenses se répartiraient comme suit en Dollars des Etas-Unis

a) <i>FENU</i>	US \$
- Achat, transport, mise en place des groupes	550.000
- Achat de matériels annexes et constructions	750.000
- stock de maintenance	200.000
- achat de deux véhicules	30.000
- constitution d'un capital pour le fonds d'investissement	50.000
<b>Total partiel</b>	<b>1.580.000</b>
- Aide au petit équipement (matériel pour artisan, matériel pour collectivités...)	200.000
ce poste est facultatif mais constituerait une mesure d'accompagnement très utile.	
<b>TOTAL FENU :</b>	<b>1.780.000</b>
b) <i>GOUVERNEMENT</i>	
- Mise à disposition de personnel et de matériel (notamment matériel de travaux publics)	200.000
c) <i>PNUD et/ou agences d'exécution</i>	
- enquêtes sociales	10.000
- Frais de formation (personnel technique)	100.000
- Assistance technique (consultants etc.)	150.000
<b>Total :</b>	<b>260.000</b>
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>2.240.000 \$ US</b>

ESSAI D'ECHEANCIER

	1988	1989	1990	1991	TOTAL
FENU	290.000	570.000	570.000	150.000	1.580.000
Gouvernement	30.000	60.000	60.000	50.000	200.000
PNUD	65.000	65.000	65.000	65.000	260.000
Total partiel	385.000	695.000	695.000	265.000	2.040.000
FENU (1) (aide équipement)	-	70.000	70.000	60.000	200.000
TOTAL GENERAL	385.000	765.000	765.000	325.000	2.240.000

(1) Poste facultatif