

Rapport de mission
PP/1984-1985/X.3.3
Programme de participation
et de coopération technique

RESERVE A L'USAGE INTERIEUR:
NE PAS DIFFUSER

R W A N D A

Inventaire des sites
de microcentrales
hydro-électriques

par

J. Colombani

Les opinions exprimées sont celles de l'auteur
et n'engagent pas l'Unesco.

ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'EDUCATION,
LA SCIENCE, ET LA CULTURE (Unesco)

Paris, Novembre 1987

N° de série: FMR/SC/HYD/87/134

Rapport de mission
PP/1984-1985/X.3.3
FMR/SC/HYD/87/134/Colombani
Paris, le 14 novembre 1987

Les appellation employées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'Unesco aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant à leurs frontières ou limites.

Table des matières

	Pages
Préface	(iii)
Introduction	1
A. Objet de l'étude entreprise	1
B. Processus suivi	1
C. Productivité d'un site	1
D. Existence de consommateurs d'électricité à proximité	4
E. Prix au kilowattheure produit	5
F. Possibilités de gestion et de maintenance	9
G. Caractéristiques hydrologiques	10
H. Sites étudiés au cours de la mission et recommandations	11
I. Conclusions concernant les sites précédents	22
 Annexes:	
1. Liste des chutes et rapides	23
2. Pluviométrie	33
 Tableaux	
No. 1 à 6: Coût supplémentaire du KHW produit pour les petites puissances installées (Francs Rwandais)	34
No. 7 Puissance minimum acceptable en Kw	36
No. 8 Tableau récapitulatif des caractéristiques des 23 sites décrits	37
No. 9 Puissance et consommation	40

Table de matières (suite)

Graphiques

No. 1 Courbe des débits classés et volumes turbinables avec une régulation journalière	3
No. 2 Prix du KWH produit en fonction de l'investissement I par KW de puissance pour un coefficient d'utilisation Ku donné de la centrale	41
No. 3 Variations du prix du KW produit en fonction du coefficient d'utilisation Ku pour des investissements donnés	41
No. 4 Prix du KWH produit pour des centrales nécessitant un investissement inférieur à 240 000 \$ E.U. pour Ku = 0,6	42
No. 5 <u>Méthode des doubles masses</u>	43
No. 6 Pluie à Rubona	44
No. 7 Evolution de 1940 à 1972 de la moyenne P et des intervalles de confiance à Rubona	45

Cartes

No. 1 Sites possibles pour une microcentrale destinée à alimenter l'Ecole normale de Nagahinika et l'école technique voisine	46
No. 2 La liste des chutes ou des rapides (d'après l'enquête de M. Gaspard Simbiyobewe (CEAER)	47

PREFACE

Le présent rapport couvre les trois missions successives que M. J. Colombani a effectuées au Rwanda du 4 mars 1985 au 5 avril 1985, du 27 juillet 1985 au 28 août 1985 et du 31 octobre 1985 au 30 novembre 1985, comme consultant de l'Unesco.

La mission a été financée au titre du Programme de participation de l'Unesco pour l'année 1984-1985. Elle avait pour objectif, principalement, de réaliser un inventaire des sites possibles de microcentrales hydro-électriques au Rwanda dans le cadre du Centre d'Etude et d'Application de l'Energie au Rwanda (CEAER). Université nationale du Rwanda à Butare.

—

INTRODUCTION

1. Le déroulement de cette mission en trois parties successives a permis une approche progressive et adaptée au Rwanda du problème de l'inventaire des sites de microcentrales hydro-électriques. La technologie des microcentrales hydro-électriques est bien connue et le problème résidait en effet dans l'application qui pouvait en être faite au Rwanda dans de bonnes conditions. De fait nous avons rapidement constaté la grande importance des problèmes socio-économiques: Des microcentrales hydro-électriques pour quoi faire, pour qui et dans quelles conditions?
2. Des réponses apportées à ces questions résulteront les choix technologiques qui pourront être faits. Notons par ailleurs que les critères de jugement de la valeur d'un site de centrale seront assez éloignés des critères utilisés pour des centrales plus puissantes.
3. Nous espérons que les résultats obtenus au cours de cette mission permettront la réalisation rapide d'un certain nombre d'ouvrages utiles pour l'amélioration des conditions de vie en milieu rural au Rwanda.

A. OBJET DE L'ETUDE ENTREPRISE

4. Le programme "inventaire des sites de microcentrales hydro-électriques" a pour but essentiel de définir une méthode de recherche et d'évaluation des sites utilisables pour l'installation de microcentrales hydro-électriques. En complément des cas concrets seront étudiés, notamment dans des sites où des réalisations à court terme sont envisageables et qui pourraient servir d'exemples pour les réalisations futures.

B. PROCESSUS SUIVI

5. Une centrale hydro-électrique: c'est l'équipement pour la production d'énergie électrique d'un cours d'eau présentant à la fois un débit et une pente intéressants qui permettent d'envisager l'utilisation rentable de l'énergie potentielle de l'eau à l'aide d'une turbine entraînant un générateur électrique. Quoi de plus simple en apparence? Cependant il convient de rappeler que cette étude concerne les *microcentrales*. Jusqu'à quelle puissance s'agit-il de microcentrales? La limite est tout à fait arbitraire. En ce qui concerne le Rwanda nous avons choisi de limiter l'étude à des sites d'une puissance inférieure ou égale à 500 KW. Bien entendu, si nous découvrions un site d'une puissance supérieure à cette limite et que personne n'ait encore repéré, nous ne manquerions pas de le signaler et d'en faire au moins une étude sommaire. Ceci étant posé une microcentrale doit répondre à certains critères:

- Productivité
- Existence de consommateurs d'électricité à proximité
- Prix du KWH produit
- Possibilité de gestion et de maintenance

Ces différents critères, qui permettent de juger de l'opportunité de l'utilisation d'un site, vont être passés en revue.

C. PRODUCTIVITE D'UN SITE

6. La productivité dépend des caractéristiques topographiques du site et des caractéristiques hydrologiques du cours d'eau utilisable. On peut évaluer la puissance disponible à l'aide de la formule:

$$P = KQH \quad (1)$$

où P = puissance en KW

Q = débit en M^3/S

H = hauteur de chute nette en mètres

K est un coefficient théoriquement égal à 9,81 mais que l'on doit réduire pour tenir compte des pertes d'énergie dans les différentes parties de la microcentrale:

- amenée d'eau (canal, conduite forcée)
- turbine
- générateur électrique
- transformateur

7. Le rendement global pour une petite installation varie de 0,6 à 0,8, donc K varie de 5,9 à 7,9. En première approximation, avant d'avoir choisi un modèle de groupe hydro-électrique défini, on prendra $K = 7$. D'après la formule (1) la puissance disponible est proportionnelle à la chute nette. Cependant si pour obtenir une plus grande chute on allonge le canal d'amenée (ou la conduite) on augmente sensiblement le coût total de l'installation et les pertes d'énergie dans le canal (ou la conduite). Comme on le verra plus loin ce sont des critères de coût ou de consommation maximum possible à proximité qui permettront de définir la chute maximum à utiliser. La puissance disponible est également proportionnelle au débit maximum de la turbine ou débit équipé Q_e . Le choix de Q_e dépend:

- des caractéristiques hydrologiques
- de l'utilisation projetée de la microcentrale: En site isolé ou en site raccordé au réseau général, avec ou sans accumulation.

Utilisation en site isolé

8. Dans ce cas l'électricité est consommée à faible distance de la microcentrale (au maximum 5 à 15 kilomètres selon la puissance et le coût de l'électricité à la sortie de la centrale). Aucun raccordement n'étant possible avec le réseau général il faudra faire correspondre au mieux la production et la consommation actuelle ou prévisible à court ou moyen terme.

(i) Utilisation "au fil de l'eau".

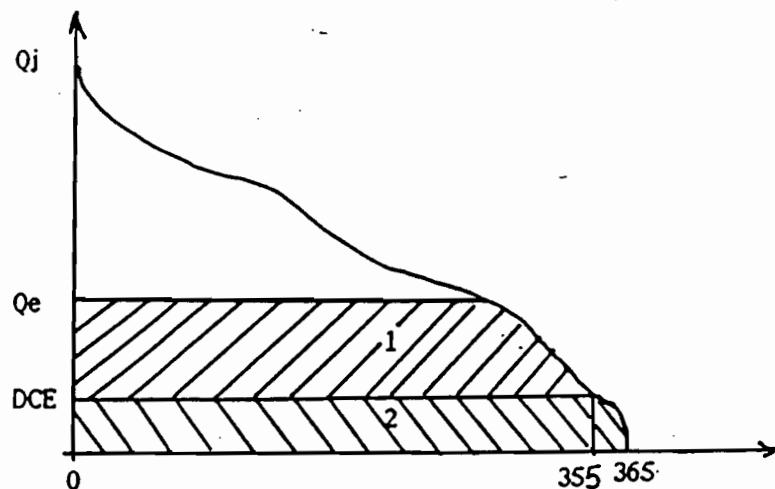
9. Dans ce cas le barrage construit sert uniquement au dessablage des eaux et à leur dérivation vers la chambre de mise en charge. Il paraît raisonnable dans ces conditions de choisir comme débit équipé le débit d'étiage. Si toutefois il existe un groupe thermique qui puisse compléter la production de la microcentrale le débit équipé pourra être supérieur au débit d'étiage, mais il est à prévoir que cette solution ne sera sans doute pas très rentable. En général, donc on choisira un débit d'étiage caractéristique dépassé 355 jours (ou 350) par an, neuf ans (ou huit ans) sur dix. Cela signifie que neuf ans sur dix (ou huit) on n'enregistrera pas de défaillances plus de 10 jours au maximum (ou 15) par an. Bien entendu on peut rendre les défaillances plus rares en réduisant le débit équipé. Il est donc nécessaire de connaître les débits d'étiage. Nous verrons plus loin au chapitre G ce que l'on peut faire pour parvenir à cette connaissance.

(ii) Utilisation avec accumulation

10. On peut construire un barrage plus important (si le site s'y prête) de façon à obtenir une certaine régulation:
 - à l'échelle journalière
 - à l'échelle décadaire
 - à l'échelle saisonnière
11. *A l'échelle journalière:* La consommation n'est pas uniforme au cours de la journée en général et on peut profiter des heures de faible consommation pour accumuler une partie du débit dans la retenue pour la restituer aux heures de forte consommation. Cette solution ne sera utilisée que si la puissance disponible au fil de l'eau est insuffisante ou éventuellement pour corriger les défaillances.
12. *A l'échelle décadaire:* Au prix d'une réserve plus grande on pourra plus efficacement pallier les défaillances.
13. *A l'échelle saisonnière:* On pourra rapprocher le débit équipé du débit moyen annuel ou au moins du débit médian.

Utilisation en site raccordé au réseau général:

14. Si une ligne du réseau général (basse ou moyenne tension) passe à proximité du site de production on pourra avoir intérêt à s'y raccorder. On pourra ainsi valoriser à fond le site car la consommation comportera une fraction stable locale et une fraction aléatoire de fourniture au réseau général. De plus le réseau général pourra pallier les défaillances éventuelles de la microcentrale. Dans ce cas la connaissance de la *courbe des débits classés* du cours d'eau permettra de connaître le volume turbinable annuellement et donc l'énergie productible (cf. Graphique 1). On choisira le débit équipé Q_e de façon à tirer le meilleur parti de la chute. Très souvent dans ce cas le débit atteint 1,8 fois le débit moyen annuel encore que la très grande irrégularité des petits cours d'eau puisse mettre au défaut cette estimation.



Graphique No.1: Courbe des débits classés et volumes turbinaux avec une régulation journalière.

Ce graphique ne tient pas compte d'un débit réservé éventuel à maintenir dans le cours d'eau.

15. Pour pallier l'irrégularité du débit une régularisation journalière est souhaitable, surtout pour les petits cours d'eau dont le débit peut varier beaucoup en 24 heures. Bien entendu la régularisation peut être aussi décadaire ou saisonnière ce qui améliore la productivité du site. Encore faut-il que la topographie des lieux le permette de façon raisonnable. La mise en place d'une microcentrale couplée au réseau général devra si possible faire l'objet d'une simulation simple afin d'optimiser les installations.

Production annuelle

16. Compte tenu des caractéristiques du régime du cours d'eau utilisé, des incidents imprévus, de la consommation variable au cours de la journée, la centrale n'est pas utilisée au mieux de sa productivité en général et l'on doit tenir compte de ce fait à l'aide du coefficient d'utilisation Ku qui représente le rapport de l'énergie produite à l'énergie productible. Ku peut varier de 0,4 à 0,7 pour des installations correctement conçues. Ceci interviendra dans le calcul des coûts.

Protection des ouvrages, estimations hydrologiques

17. Il est indispensable que les ouvrages puissent supporter la *crue maximum prévisible*. Il faut donc connaître les débits de crue observés et en déduire la crue maximum prévisible ou crue de projet. Nous avons vu qu'il faut aussi connaître les *débits caractéristiques d'étiage*, les *débits classés*. Notons enfin que les *transports solides* de la rivière (en suspension ou charriés) peuvent être une cause de trouble du fonctionnement des installations:
 - envasement et ensablement de la prise d'eau et de la retenue d'accumulation éventuelle.
 - envasement de l'amenée d'eau
 - usure de la turbine.
18. Il faut donc connaître le mieux possible les caractéristiques hydrologiques du cours d'eau, y compris son transport solide. Les auteurs des précédentes enquêtes (voir notamment le rapport de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne) ont souligné le *manque de données hydrologiques* et la nécessité d'obtenir de meilleures informations sur ce sujet. Nous verrons au chapitre F les moyens d'améliorer nos connaissances qui peuvent être mis en oeuvre au Rwanda.

D. EXISTENCE DE CONSOMMATEURS D'ELECTRICITE A PROXIMITE

19. Il n'est pas économique de transporter sur des distances supérieures à 5 à 15 kilomètres des productions trop faibles (Distances variant suivant le coût de l'électricité aux bornes et suivant la puissance). Une des caractéristiques importantes du Rwanda est la dispersion de l'habitat rural: On trouve peu de villages, les agriculteurs sont extrêmement dispersés. Cependant il y a des consommateurs potentiels assurés: Les groupes scolaires (collèges secondaires, Ecoles Normales, C.E.R.A.I)¹ les centres de santé, les centres commerciaux, les usines à café ou à thé, les ateliers de menuiserie, de soudure, etc.... La plupart du temps ces consommateurs sont trop loin du réseau général de distribution d'électricité. Même si ce n'est pas le cas, un site intéressant peut produire de l'électricité à un coût moindre que celui du réseau général et cette production *interne* est utile à l'économie du pays. La mise à disposition de l'électricité peut aussi être un facteur de regroupement de la population. Enfin il peut être rentable de fournir au réseau général le surplus d'énergie non consommée sur place en réalisant une centrale plus complexe qui tirera le meilleur parti des possibilités du site utilisé.
20. En fait les utilisateurs potentiels sont très nombreux au Rwanda. *L'évaluation des besoins localisés est le complément indispensable de l'évaluation des ressources disponibles sur un site.* On devra faire coïncider au moins approximativement les besoins et la production, compte tenu des

¹ C.E.R.A.I : Centre d'enseignement rural et artisanal intégré.

prévisions de développement à court terme et à moyen terme. Il faut éviter de créer une centrale surpuissante qui ne travaillerait qu'au dixième de sa puissance. Pour la recherche des consommateurs éventuels la *carte des établissements scolaires du Rwanda* publiée en avril 1984 par le Ministère de l'Enseignement primaire et secondaire (Direction des Etudes et Recherches pédagogiques) sera très utile.

E. PRIX AU KILOWATTHEURE PRODUIT

21. 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 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 Ku de 0,4 à 0,7.

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

-	l'amortissement	I X 0,10369
-	l'entretien annuel	I X 0,01
-	le fonctionnement	I X 0,005
-	les frais généraux et divers	I X 0,005
<hr/>		
-	Total	I X 0,12369

23. La production annuelle d'énergie PR est:

- $PR = 8760 \times 1 \text{ KW} \times Ku$ pour 1 KW de puissance soit
- $PR = 8760Ku$ en KWH

24. Le prix de revient P_k du kilowattheure produit est donc:

$$P_k = \frac{0,123691}{8760Ku}$$

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

25. Par exemple si l'investissement spécifique est $I = 2000 \$$ par KW installé et si $Ku = 0,6$, $P_k = 0,047 \$$ 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 240.000 \\$ E.U. on doit considérer que les frais de fonctionnement deviennent incompressibles au dessous de 0,5% de 240.000 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 ΔP_k à payer par KWH pour une installation d'une puissance installée P_e KW coûtant moins de 240.000 \\$ au total est:

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

soit

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

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

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

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

26. Pour faciliter l'utilisation des formules (2), (3) et (4) nous les avons traduites sous la forme de trois graphiques 2, 3 et 4 donnant respectivement: (voir pages 41, 42).
- Graphique 2 : Prix du KWH produit en fonction du coût total de 1 KW de puissance installée pour différents coefficients d'utilisation Ku (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 240.000 \$.
 - Graphique 3: Variation du prix du KWH produit en fonction du coefficient d'utilisation Ku pour un coût d'investissement spécifique I donné.
 - Graphique 4: Variation du prix du KW produit pour un coefficient d'utilisation Ku = 0,6 en fonction de la puissance installée pour différents investissements spécifiques donnés.
27. Les tableaux 1 à 6² indiquent les majorations de prix du KWH liées à la taille de la centrale pour différents Ku et pour différents investissements spécifiques.
28. Le tableau 7³ 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 2:

29. *Exemple a:* Après étude d'un site on évalue l'investissement nécessaire à la construction de la microcentrale à 4500 \$ E.U. 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 Ku = 0,4 Pk = 0,159 \$ US soit 15,9 Francs rwandais. De même pour Ku = 0,5 Pk = 12,7 FRW, pour Ku = 0,6 Pk = 10,6 FRW, et enfin pour Ku = 0,7 Pk = 9,1 FRW.
30. Ceci permet un premier jugement sur la rentabilité d'un tel investissement, peu avantageux ici si Ku = 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 4.

Exemple b: On décide a 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 Ku = 0,4
- 1760 \$ si Ku = 0,5
- 2100 \$ si Ku = 0,6
- 2500 \$ si Ku = 0,7

(Correction éventuelle liée à la taille de la microcentrale avec les tableaux 1 à 6 et le graphique 4).

31. *Graphique 3:* On envisage pour une centrale un coefficient d'utilisation Ku = 0,45 pour un investissement de 2700 \$ par KW installé. Pour 2500 \$ Pk = 7,8 FRW, pour 3000 \$ Pk = 9,4 FRW. Donc pour 2700 \$ on trouve par interpolation:

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

soit Pk = 8,44 FRW.

² Pages 34, 35

³ Pages 36

32. *Graphique 4:* 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 $Ku = 0,6$. Le graphique 2 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 4 bis (agrandissement du graphique 4) qui donne $P_k = 14,4$ FRW, soit plus du double du prix indiqué par le graphique 2. On voit ainsi l'importance de l'effet de taille. Pour des Ku différents de 0,6 il suffit de multiplier le résultat obtenu sur le graphique 4 par le rapport $0,6/Ku$. Pour des investissement intermédiaires entre les valeurs choisies sur le graphique on procède par interpolation.

Tableaux 1 à 6:

33. 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:

34. Ce tableau indique pour des prix arbitraires de 8, 10, 11 et 13 FRW le KWH les puissances minima nécessaires en fonction de Ku 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 déduisant:

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

$P'k$ et I en \$ US

35. Que peut-on conclure de ces évaluations?

- (i) 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 Ku trop faible qui majore sérieusement le prix du KWH produit.
- (ii) 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 pourra rechercher une utilisation plus complète du site de façon à augmenter la production et à réduire le prix du KWH produit s'il est possible de vendre l'excédent de production en branchant la centrale sur le réseau général. Dans les sites tout à fait isolés qui ont un besoin impératif d'énergie électrique la comparaison devra être faite avec la production d'un groupe thermique (diésel ou essence). *La plupart du temps les utilisateurs de tels groupes n'ont pas calculé le prix de revient véritable de l'énergie produite.* Ces groupes thermiques de petites dimensions ont en effet une durée de vie bien inférieure à celle d'une microcentrale hydraulique, un fonctionnement relativement délicat nécessitant un entretien suivi et des réparations fréquentes. Enfin le carburant, importé, est coûteux et se paye en devises. Il peut être tout à fait raisonnable dans certains cas de produire un KWH hydraulique à 15 ou même 20 FRW. (Les énergies solaires ou éoliennes ne sont pas non plus compétitives en général par rapport à l'énergie hydraulique).

- (iii) L'évaluation du coût d'investissement doit tenir compte de certaines conditions particulières au Rwanda. En effet les travaux communautaires (Umuganda) sont souvent très efficaces et grâce à eux les travaux de construction d'une centrale pourraient être réalisés à relativement faible coût. Dans certains cas aussi la participation d'ingénieurs bénévoles (ou presque), par le canal des ONG⁴ notamment, réduit le coût de la préparation et de la réalisation du projet.
- (iv) Une enquête devra être faite auprès des constructeurs pour obtenir au meilleur prix les centrales les plus automatiques possible, avec un entretien réduit au minimum et une durée de vie aussi longue que possible. On devra prévoir dès la construction la mise en réserve des pièces de rechange essentielles (pales de turbine, circuits électroniques, etc.).
- (v) Les utilisateurs devront effectivement payer au moins le prix de revient du KWH produit afin d'assurer le fonctionnement, l'entretien et pour constituer une provision destinée à faire face aux réparations importantes.
- (vi) Dans le cadre de l'Université nationale de Butare (Faculté des Sciences appliquées) une proposition a été faite pour donner aux ingénieurs une formation pratique, notamment dans le domaine de la production d'énergie. Dans le cadre de cette formation on pourrait envisager d'apprendre aux ingénieurs à évaluer le coût des ouvrages (génie civil), ainsi qu'à diriger la mise en place des microcentrales. De même on pourrait envisager la constitution d'une équipe de deux à quatre ingénieurs qui, dans le cadre du CEAER⁵ serait chargée de superviser l'ensemble des microcentrales du pays et d'en diriger les opérations de maintenance. On pourrait également envisager la construction de roues de turbines simples, peut-être en bois, dont le rendement modeste probable serait compensé par leur faible coût. Ceci a déjà été entrepris avec succès dans certains pays (Chine, Indonésie...). Ceci permettrait de limiter les importations aux générateurs (alternateurs ou génératrices asynchrones) qui du fait de leur standardisation sont fabriqués en série au moindre coût. La formation pratique des ingénieurs formés à l'Université de Butare serait donc du plus grand intérêt.

F. POSSIBILITES DE GESTION ET DE MAINTENANCE

36. Nous venons de voir qu'on peut espérer que des ingénieurs se spécialiseront dans le domaine de l'hydraulique dans les prochaines années. Néanmoins la mise en place dans un site isolé d'une microcentrale hydro-électrique pose le problème du gardiennage et de la maintenance courante. Il n'est pas question bien entendu de recruter un technicien de haut niveau pour résider sur place. Il faut donc choisir des modèles de centrale très robustes et ne nécessitant que le minimum d'entretien. Certains constructeurs annoncent un entretien toutes les 10 000 heures seulement et réduit à la vidange d'un carter d'huile! Il est évident, sous réserve de vérification, que c'est là une solution idéale. On pourra alors recruter un employé de formation relativement simple dont la principale qualité sera d'être très sérieux dans la surveillance qu'il exercera sur les installations de façon à pouvoir demander l'intervention d'un spécialiste dans les meilleurs délais si nécessaire tout en prenant les mesures d'urgence simples qui pourraient être nécessaires. Si par ailleurs un stock de pièces de rechanges essentielles est constitué dès la construction et maintenu à jour ensuite il ne devrait pas y avoir de difficultés majeures de fonctionnement.

⁴ Organisations non-gouvernementales

⁵ CEAER: Centre d'Etude et d'Application de l'Energie au Rwanda

G. CARACTERISTIQUES HYDROLOGIQUES.

37. Nous avons vu plus haut que certaines caractéristiques hydrologiques doivent être connues afin de définir les possibilités d'un site. Ce sont notamment les débits d'étiage, les débits de crue, les débits classés et les transports solides. De plus il est indispensable de parvenir à une connaissance statistique de ces caractéristiques.

Etiages.

38. Nous avons vu que le débit d'équipement sera souvent limité au débit d'étiage, sinon plus faible même. Il est difficile de déterminer des caractéristiques régionales types en matière de débit d'étiage. En effet, outre la couverture végétale et les sols qui recouvrent les bassins versants, des accidents cachés au niveau des nappes souterraines peuvent moduler les écoulements de base de façon imprévisible. Aussi la seule possibilité consiste à faire des mesures de débit en période de basses eaux. Des mesures répétées à une semaine d'intervalle pendant un mois ou un mois et demi permettront sans doute de définir une loi de décroissance du débit de base qui peut être une loi exponentielle de la forme:

$$Q = Q_0 e^{-kt}$$

k Coefficient
t. temps

39. Il est aussi possible que cette loi soit identique d'une année à l'autre. Il est parfois plus approprié d'utiliser une loi hyperbolique ou d'autres encore. On devra se faire une idée de la période de retour des débits d'étiage ainsi déterminés en examinant les totaux pluviométriques annuels, saisonniers ou mensuels. (Nous reparlerons de pluviométrie plus loin.) Au cours des trois séjours un certain nombre de jaugeages ont été effectués en vue d'une sélection des sites les plus intéressants. La façon la plus commode d'opérer consiste à utiliser un moulinet ou un micromoulinet hydrométrique. Si on ne dispose pas d'un tel instrument on pourra se contenter d'un jaugeage "aux flotteurs." Ce procédé, bien utilisé, est tout à fait correct et d'une mise en œuvre relativement facile pour des jaugeages d'étiage avec un chronomètre et un double décimètre, ce qui permet à des personnes non spécialisées d'effectuer les mesures fréquentes. C'est ce procédé qui a été utilisé au cours de la mission.

Crues:

40. Il est indispensable de connaître au moins approximativement les débits de crue et nous sommes pour cela moins désarmés que pour les étiages. Il est possible qu'une station hydrométrique existe à proximité du site étudié, soit sur le même cours d'eau, soit dans un bassin voisin. Dans ce cas il est vraisemblable qu'il sera possible d'extrapoler de façon raisonnable en procédant à une comparaison soigneuse des caractéristiques physiographiques des bassins versants. Sinon on pourra essayer d'évaluer directement les crues actuelles par des relevés topographiques des délaissés de crue, en installant éventuellement des échelles de crue à maxima. On pourra également tenter de déterminer des débits de crue historiques en interrogeant, avec recoupements, les populations riveraines. Compte tenu de la taille généralement modeste des barrages de dérivation des microcentrales la précision requise pour la connaissance des débits de crue n'est pas très grande: On pourra en effet utiliser des coefficients de sécurité importants sans que cela entraîne des dépenses excessives.

Débits classés.

41. Si l'on veut exploiter au mieux le site nous avons vu qu'il faut connaître les débits classés. De façon générale il vaut mieux disposer d'une station de mesure hydrométrique sur le site même, observée au moins un ou deux ans simultanément avec une station voisine permanente et un réseau de pluviomètres. Si cela n'est pas possible, il faut espérer au moins disposer de résultats d'une station voisine et d'un ou deux postes pluviométriques. En s'aidant d'un modèle simple d'écoulement on pourra alors reconstituer les débits journaliers ou au moins mensuels.

Transports solides.

42. La connaissance des transports solides est indispensable pour prévoir les risques de sédimentation dans les ouvrages de prise. En ce qui concerne le Rwanda on remarquera que les transports solides y sont importants et que ce problème ne doit pas y être négligé. En fait, il sera prudent de concevoir les prises d'eau pour permettre leur dévasement facile et pour limiter les risques dans le canal d'amenée et la conduite forcée. L'usure éventuelle de la turbine par le sable devra être surveillée. On remarquera que certains sites situés dans (ou en bordure) des forêts, malheureusement peu abondantes, ont des eaux très peu chargées de matières solides, ce qui peut constituer un critère de choix intéressant.

Evaluation statistique.

43. L'irrégularité interannuelle doit être prise en compte, aussi bien pour contrôler la validité des mesures *d'une seule* année que pour dimensionner la microcentrale afin de réduire les risques de défaillance au seuil que l'on s'est fixé. L'étude statistique repose sur les relevés hydrométriques existants et sur les relevés pluviométriques. Au Rwanda les relevés hydrométriques ne s'entendent pas sur de très longues périodes, mais par contre on dispose de belles séries pluviométriques, depuis 1927 à certains postes pluviométriques, soit sur 57 ans. Ceci permet d'évaluer très raisonnablement en général les événements de récurrence centenaire. On a d'ailleurs observé durant cette longue période des années très humides et des années très sèches. Cependant il est indispensable de se livrer à une critique des données. Nous avons pu recueillir dans les bureaux de la Météorologie Nationale du Rwanda à Kigali de nombreux résultats intéressants grâce à l'obligeance des responsables de ce service, ce dont nous leurs sommes très reconnaissants. Les données disponibles recueillies tant à Kigali que dans les archives de l'ORSTOM⁶ ont été mises sur support informatique et éditées sous forme d'un annuaire des pluies journalières et d'un recueil des pluies mensuelles que l'on trouvera en annexe de ce rapport. Cette masse de données (plus de 1000 pages) demande à être critiquée et homogénéisée, ce qui n'a été qu'ébauché au cours de la mission, faute de temps. Il est toutefois facile, si cela se révèle nécessaire, de procéder à des études statistiques à partir des données informatisées que nous avons accumulées.

H. SITES ETUDES AU COURS DE LA MISSION ET RECOMMANDATIONS

44. Au cours des trois séjours effectués au Rwanda un certain nombre de sites ont été visités pour lesquels on s'est efforcé de déterminer les caractéristiques hydrologiques et topographiques. Par ailleurs la rencontre, à l'initiative de Monsieur Gilmer, de Monsieur E. Sommer a permis grâce au travail efficace de ce dernier de préciser ces caractéristiques socio-économiques pour certains sites de la Préfecture de Kibuye (ainsi que les conditions hydrologiques et topographiques). De même les travaux réalisés par Monsieur B. Pierce dans la Préfecture de Gisenyi ont été suffisamment complets pour que l'on puisse envisager l'équipement d'un site dès 1986 dans cette région. Enfin le CEAER a mené une enquête auprès de l'ensemble des bourgmestres du pays pour tenter un recensement préliminaire des chutes d'eau et des rapides. On trouvera en Annexe 1 la liste des sites ainsi repérés et leur localisation. Les communes n'ont pas toutes répondu, soit du fait de l'absence de chute d'eau notable dans leur périmètre, soit peut-être par manque d'intérêt dans

⁶ ORSTOM - Institut Français de Recherche Scientifique en Coopération pour le Développement

certains cas. Quoiqu'il en soit cette liste a été un guide très utile et nous a permis de visiter des chutes non encore inventoriées.

45. Nous avons procédé à une mesure de débit chaque fois que cela était possible, notamment en période d'étiage au mois d'août. Comme déjà indiqué nous avons utilisé le procédé simplifié "aux flotteurs".
46. Un altimètre électronique GESTIC à capteur piézo-résistif a été utilisé pour déterminer les hauteurs de chute disponibles. A condition que la pression atmosphérique ne varie que faiblement pendant le temps que dure la mesure, les altitudes relatives peuvent être déterminées à 1 mètre près. La pression atmosphérique varie effectivement assez lentement en général dans ces régions équatoriales. Les sites qui seront retenus pour être équipés d'une centrale devront faire l'object d'un levé topographique classique pour confirmer et préciser nos résultats.

Observations générales

47. Plus de trois cents chutes ou rapides ont été répertoriés grâce à l'enquête du CEAER auprès des bourgmestres. En trois mois de mission il n'était pas possible de visiter tous les sites indiqués, ni d'y faire des mesures. Cela n'aurait pas été non plus d'une très grande utilité. Pour sélectionner les sites à visiter nous avons utilisé, outre les résultats de cette enquête, la carte du réseau hydrographique du Rwanda au 1/250000 et la carte des établissements scolaires. On peut parfois repérer sur une carte hydrographique certains sites favorables comme cela a été le cas ici pour les rapides du Kyriango à Muyunzwe. Les établissements scolaires (écoles normales, écoles secondaires, CERAJ) sont des utilisateurs potentiels. C'est toujours dans cet esprit que nous avons recherché d'autres utilisateurs tels que les centres de santé, les ateliers (menuiserie, mécanique, soudure, moulin...) ou les centres de négoce. Les usines à thé et café sont aussi des utilisateurs possibles. Vingt-deux sites sont ainsi passés en revue ci-après, étant bien entendu qu'il ne s'agit pas d'une liste exhaustive et que des enquêtes plus approfondies doivent être menées de façon à évaluer au mieux les besoins des centres concernés et leur capacité à gérer un système de production et de distribution d'électricité.

Chute de Gituramigina sur le Gatobwe: Recommandation no.1.

48. Ce site indiqué par le bourgmestre de la commune de Nyakizu a déjà été cité dans le rapport EPFL⁷ de mai 1983. Nous le reprenons ici car il paraît vraiment très intéressant. Nous avons effectué une mesure de débit le 3 août 1985 à l'amont du pont sur la route menant à Cyahinda depuis la route asphaltée de Butare à la frontière avec le Burundi. Le débit mesuré est de 960 l/s et correspond très vraisemblablement au débit d'étiage de l'année à très peu près. L'étiage absolu interannuel ne doit guère être différent.
49. Trois hauteurs de chute différentes paraissent utilisables: 11, 13 et 21 mètres avec cependant des longueurs de canal d'amenée (ou conduite) croissantes avec la hauteur de chute. Il est ainsi vraisemblablement peu économique d'équiper 21 mètres de chute du fait du coût de la conduite d'amenée. Les puissances correspondant aux hauteurs de chute pour un débit de 960 l/s sont:

- $H_1 = 11 \text{ m } P_1 = 74 \text{ KW}$
- $H_2 = 13 \text{ m } P_2 = 87 \text{ KW}$
- $H_3 = 21 \text{ m } P_3 = 141 \text{ KW}$

⁷ EPFL - Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne. Projet sur le développement de la production d'énergie

50. En se basant sur une longueur de lignes électriques de 8 km l'investissement total pourrait varier de 181 000\$ à 242 000 \$. Les utilisateurs potentiels pourraient se trouver à Cyahinda (centre de santé, bâtiment communal, centre de négoce, CERAI etc...) et peut-être d'autres lieux comme Nyantanga.

Chute Cyuruyenzi sur l'Akanyaru à Mwesa: Recommandation no.2

51. Faute de moyens convenables nous n'avons pas mesuré le débit de l'Akanyaru à cet endroit. On peut cependant l'estimer à 3 m³/s au minimum le 6 août 1985. La chute Cyuruyenzi est constituée par une barre rocheuse en travers du lit de l'Akanyaru à une trentaine de mètres à l'aval du pont de la route menant de Cyahinda à Runyombyi avec une dénivellation d'environ 2 mètres. Cette hauteur de chute est faible mais serait obtenue avec un canal d'aménée très court. On peut sans doute obtenir jusqu'à 10 mètres de chute mais avec une longueur prohibitive de canal. Il conviendrait également de voir ce qui se passe en période de crue afin de déterminer si la hauteur de chute peut être conservée avec la montée des eaux.

52. Les puissances disponibles avec un débit de 3 m³/s seraient:

- H1 = 2 m P1 = 42 KW
- H2 = 10 m P2 = 210 KW

53. Nous n'avons pas estimé les prix de revient éventuels mais il est certain que pour une même puissance une turbine de très basse chute comme cela serait le cas ici revient plus cher qu'une turbine de moyenne ou haute chute, ceci étant toutefois compensé au moins en partie par le faible coût du canal d'aménée. Les utilisateurs potentiels pourraient se trouver dans les CERAI voisins entre le site et Cyahinda et à Cyahinda même.

54. Accessoirement on notera la présence d'un petit affluent à l'aval, le Kibumba, dont nous avons mesuré le débit le 6 août 1985: 60 l/s. Malheureusement la faible chute disponible, 8 à 9 mètres, ne permet guère d'envisager son utilisation strictement locale dont on ne voit pas à qui elle pourrait bénéficier.

Site du Kyriango à Muyunzwe: Recommandation no.3

55. Ce site a déjà été décrit dans le premier rapport provisoire.⁸ Une mesure de débit y a été faite le 16 mars 85 donnant 380 l/s. La mesure faite le 8 août 1985 a donné 367 l/s, débit que l'on peut considérer comme correspondant à l'étiage. Nous avions évalué en mars 1985 la hauteur de chute utilisable à 20 mètres environ. Le nivelllement barométrique fait en août nous a amené à considérer deux hauteurs de chute possible: 17 mètres et 21 mètres. Pour un débit d'étiage de 367 l/s les puissances correspondant à ces hauteurs sont:

- H1 = 17 m P1 = 44 KW
- H2 = 21 m P2 = 54 KW

56. La chute de 21 mètres nécessiterait une longueur de canal d'aménée peut-être trop grande. Mais 44 KW suffiraient sans doute largement à Muyunzwe où l'on trouve un centre de santé, un centre de négoce, une poterie, et à proximité une CERAI et sans doute un atelier de menuiserie. La paroisse de Muyunzwe paraît suffisamment importante pour justifier la construction de cette microcentrale. On peut évaluer le coût de cette installation à environ 110 000 \$ ou 197 000 \$ selon la solution adopté.

⁸ Inventaire des sites de microcentrales hydro-électriques au Rwanda. J.B. Bwanakeye et J. Colombani. (1er rapport provisoire. Avril 1985. Ce document réservé à l'usage interne n'a pas été publié.)

Chute Nyirandiboli sur la Coza: Recommandation no.4.

57. Ce site a déjà été décrit dans le premier rapport mais les estimations que nous avions faites sans mesure étaient trop faibles. La mesure de débit le 9 août 1985 a donné un débit de 30 l/s. Le nivelllement barométrique nous a conduit à deux solutions: 40 mètres et 70 mètres. La chute de 70 mètres nécessiterait peut-être une conduite d'amenée trop longue. Les puissances disponibles avec un débit équipé de 30 l/s pour ces hauteurs de chute seraient:

- $H1 = 40 \text{ m } P1 = 8,4 \text{ KW}$
- $H2 = 70 \text{ m } P2 = 14,4 \text{ KW}$

58. Ces puissances sont un peu faibles pour des longueurs de ligne électrique de 8 ou 10 Km qui seraient nécessaires pour utiliser ce courant soit vers Kibuye, soit vers Mubuga et Ngoma. Toutefois si le site suivant de la Buhari à 2 Km plus au sud était équipé on pourrait utiliser une ligne électrique commune sur la plus grande partie de son trajet ce qui rendrait raisonnable le coût de l'électricité produite par la Coza.

Chute de la Buhari: Recommandation no.5

59. Ce site a aussi été mentionné dans le premier rapport dans lequel on avait sous-estimé ses possibilités. La mesure de débit faite le 10 août 1985 a donné 81 l/s qui peut être admis comme débit d'étiage. Le nivelllement barométrique a donné une hauteur de chute qui peut varier de 115 mètres à 135 mètres. Les puissances disponibles seraient pour un débit équipé de 81 l/s:

- $H1 = 115 \text{ m } P1 = 65,0 \text{ KW}$
- $H2 = 135 \text{ m } P2 = 76,5 \text{ KW}$

60. La site paraît particulièrement favorable tant par la facilité de construction de la prise d'eau qui serait à faible distance d'une piste carrossable que par la relativement faible longueur de conduite d'amenée ou l'emplacement favorable de la centrale elle-même à proximité immédiate de la route Kibuye-Cyangugu.

61. L'électricité pourrait être utilisée soit dans la zone Mubuga-Ngoma où l'on trouve trois écoles secondaires et un CERAI, sans compter les centres de négoce, soit dans la région de Kibuye où les utilisateurs ne manqueraient sans doute pas non plus.

62. L'investissement global nécessaire pourrait atteindre de 140 000 \$ à 175 000 \$ pour une puissance de 65 KW suivant la longueur des lignes électriques.

Le Kiraro à l'aval du pont de la route Kibuye-Cyangugu: Recommandation no.6

63. Encore un site indiqué dans le premier rapport avec une évaluation un peu faible du débit qui a été mesuré le 10 août 1985 et atteignait à cette date 450 l/s à l'aval du pont sur la route de Cyangugu. La pente du lit n'est pas très forte et la hauteur de chute récupérable peut aller de 5 à 20 mètres (difficilement). Pour un débit équipé de 450 l/s la puissance disponible pourrait varier de 15,7 à 63 KW. Ce site présente nettement moins d'intérêt que le précédent du fait que la dépense d'équipement y serait sans doute plus élevée à puissance égale.

Le Kiruri à la route Kibuye-Gisenyi: Recommandation No.7

64. Ce petit cours d'eau se jette dans le Lac Kivu un peu au nord de Kibuye. Il présente une chute intéressante juste un centaine de mètres à l'aval de la route de Kibuye à Gisenyi. Le site se prête bien à l'installation d'une prise d'eau avec une conduite d'amenée assez courte. Une mesure de débit faite le 11 août 1985 juste à l'amont du pont sur la route de Gisenyi a donné un débit de 32 l/s qui doit être très proche du débit d'étiage.

65. Le niveling barométrique donne une hauteur de chute de 72 mètres qui pourrait peut-être être portée à 100 mètres mais au prix d'un allongement sans doute excessif de la conduite d'aménée.
66. On pourrait peut-être aussi réaliser une accumulation à l'échelle journalière qui permettrait d'utiliser un débit équipé de 40 l/s. Dans ces conditions pour une hauteur de chute de 72 mètres on pourrait disposer des puissances suivantes:
 - $Q_1 = 32 \text{ l/s}$ $P_1 = 16 \text{ KW}$
 - $Q_2 = 40 \text{ l/s}$ $P_2 = 20 \text{ KW}$

67. On peut évaluer le coût d'une telle installation à 92 000 \$ ou 100 000 \$ ce qui est un peu coûteux pour une puissance assez modeste qui pourrait être utilisée au profit de Mushubati où il y a notamment un centre de santé.

Chute de la Simbuka dans la commune de Nshili: Recommandation no. 8

68. Ce site, composé de deux chutes entourées de petits rapides, est accessible à partir de la route de Runyombyi que l'on quitte vers la gauche peu avant d'arriver à Runyombyi. La mesure de débit faite le 12 août 1985 a donné un débit de 172 l/s qui peut être considéré comme étant le débit d'étiage.
69. Le niveling barométrique a donné une hauteur de chute totale de 42 mètres. Il ne serait cependant pas raisonnable d'utiliser une chute de plus de 33 mètres sous peine d'allonger exagérément la conduite d'aménée. En réalisant une petite régularisation journalière on pourrait sans doute équiper la centrale avec un débit de 200 l/s. Dans ces conditions, avec une hauteur de chute de 33 mètres on pourrait disposer des puissances suivantes:

- $Q_1 = 172 \text{ l/s}$ $P_1 = 39,7 \text{ KW}$
- $Q_2 = 200 \text{ l/s}$ $P_2 = 46,2 \text{ KW}$

70. Ce site est intéressant en lui-même, néanmoins on ne peut oublier la présence de la centrale de Runyombyi sur la Nshili qui a une puissance installée de 120 KW dont à peine 12% sont actuellement utilisés par manque de consommateurs. Le courant disponible semble proposé à un prix prohibitif 20 FRW le KWH. Il serait peut-être plus raisonnable de parvenir à un accord sur ce prix que de construire une nouvelle centrale sur la Simbuka?

Mbirurume au sud de Kilinda: Recommandation no.9

71. Le Nyabarongo est formé par la rencontre du Mbirurume et du Mwogo. Le Mbirurume est un cours d'eau important dont le débit d'étiage, que nous n'avons pu mesurer le 13 août 1985, ne doit sans doute pas descendre au-dessous de 5 m³/s. Peu en amont de son confluent avec le Mwogo il présente une série de petits rapides à relativement faible pente qui permettraient peut-être de trouver une chute de 5 mètres sur une distance pas trop grande. Dans ces conditions on disposerait d'une puissance de 175 KW. Mais il n'est pas certain que l'on aurait l'usage de cette électricité à proximité de la centrale.

Muhura dans le secteur de Mugote: Recommandation no.10

72. Il s'agit d'un petit cours d'eau qui traverse la route entre Kilinda et Kaduha. Le 13 août 1985 nous avons estimé le débit à 20 l/s. Le niveling barométrique a donné une chute de 90 mètres. Cette chute est obtenue sur une assez grande distance ce qui peut être un handicap sérieux. On pourrait disposer des puissances suivantes selon le débit d'équipement avec la chute de 90 mètres:

- $Q_1 = 20 \text{ l/s}$ $P_1 = 12,6 \text{ KW}$
- $Q_2 = 30 \text{ l/s}$ $P_2 = 18,9 \text{ KW}$

73. Ce n'est pas très considérable mais il existe déjà un petit barrage de prise d'eau sous le pont. Ce petit barrage semble ne plus être utilisé. Peut-être pourrait-on s'en servir ce qui réduirait le coût des installations.

Congoli à Gasiza dans la commune de Musasa: Recommandation no.11

74. Le site est d'un accès un peu difficile pour un véhicule. Après un essai infructueux en rive droite nous avons atteint la chute par la rive gauche après un détour par Ruli. Le site est un peu à l'amont du confluent avec le Nyabarongo. Il s'agit en fait d'une succession de petites chutes et de rapides qui s'étendent sur un kilomètre environ. Pour rechercher l'optimum on peut faire varier l'emplacement pour la construction du barrage de la prise d'eau. Plusieurs emplacements étroits, rocheux, sont favorables. La mesure du débit faite le 15 août 1985 a donné 67 l/s. ce qui doit correspondre au débit d'étiage. Les puissances disponibles selon les différentes hypothèses sont les suivantes:

- $Q1 = 67 \text{ l/s } H1 = 40 \text{ m } P1 = 19 \text{ Kw}$
- $Q2 = 100 \text{ l/s } H2 = 30 \text{ m } P2 = 21 \text{ KW}$
- $Q2 = 100 \text{ l/s } H1 = 40 \text{ m } P3 = 28 \text{ KW}$

75. En utilisant la même ligne électrique que pour la Rutumba que nous étudions ci-dessous on pourrait sans doute utiliser l'électricité produite à une distance raisonnable.

Rutumba à Gikingbo: Recommandation no.12

76. Ce petit cours d'eau croise la piste qui mène à Gasiza. L'eau chute d'environ 15 mètres sur une distance assez courte d'après le nivellement barométrique. La mesure de débit faite le 16 août 1985 en amont du pont a donné un débit de 80 l/s qui est probablement le débit d'étiage. La puissance disponible serait:
- $Q1 = 80 \text{ l/s } P1 = 8,4 \text{ KW}$
 - $Q2 = 100 \text{ l/s } P2 = 10,5 \text{ KW}$

77. Ces puissances sont faibles mais si on utilisait la même ligne électrique pour la Congoli cela pourrait être rentable. La Rutumba paraît facile à aménager la chute étant constituée d'une fente étroite à travers des bancs rocheux. On disposerait au total (Congoli + Rutumba) de 27,4 KW à 40,5 KW selon les options retenues.

Ntaruka sur le Mwogo à Rugarika: Recommandation no.13

78. Ntaruka en kinirwanda signifie "étroit" et par extension "endroit où l'on saute pour traverser, où l'on passe à pied sec." C'est pourquoi on trouve en plusieurs endroits ce nom de lieu pour désigner un passage étroit d'un cours d'eau où se situe souvent soit une chute, soit des rapides. Le site présente une succession de petites chutes et de rapides qui pourraient être utilisés. Le jaugeage effectué le 18 août 1985 a donné un débit de 896 l/s qui peut-être considéré comme étant le débit d'étiage. Le nivellement barométrique indique une chute de 29 mètres qui pourrait même atteindre jusqu'à 37 mètres mais au prix d'une conduite d'amenée trop longue. Les puissances disponibles seraient:

- $Q1 = 896 \text{ l/s } H1 = 29 \text{ m } P1 = 182 \text{ KW}$
- $Q2 = 1000 \text{ l/s } P2 = 203 \text{ KW}$

79. Ce site paraît tout à fait intéressant surtout si l'on considère les besoins d'énergie de l'usine à thé de Mata. D'après l'étude du secteur énergétique au Rwanda (plan directeur d'électrification) publié par le BUNEP⁹ et l'Ecole Polytechnique fédérale de Lausanne, il est prévu de construire une ligne

⁹ BUNEP: Bureau National d'Etude et de Planification

électrique moyenne tension de Gikongoro à Mata pour fournir à l'usine à thé une puissance de 143 KW et 500 MWH par an. On indique une longueur de ligne de 13 Km de Gikongoro à Mata. L'amortissement de cette ligne et son entretien viendraient s'ajouter au coût du courant électrique acheté au réseau général donnant un prix du KWH tout à fait excessif. Par contre le site de Ntaruka sur le Mwogo pourrait fournir les 143 KW demandés avec une ligne de transport du courant électrique de 6 km seulement. Une quarantaine de KW resteraient disponibles pour les besoins de la population: centre de négoce de Tugarika, CERA1, centre nutritionnel, etc... Le prix du KWH fourni resterait très probablement à un niveau raisonnable.

Sites de la Pfunda et Recommandations nos.14 et 15

80. La Pfunda est un affluent de la Sebeya qui se jette dans le lac Kivu à Gisenyi. Une école normale est en construction à Nagahinika sur la route de Gisenyi à Kibuye: Cette école a besoin d'énergie électrique. Une école technique se trouve à proximité de Nagahinika également. La carte no. 1 donne la situation de ces deux écoles par rapport à la Pfunda, ainsi que les positions des deux sites possibles pour des microcentrales.

Site Pfunda B: Recommandation no.14.

81. Ce site est au confluent de la Pfunda et de la Rwankuba à l'exutoire d'un bassin versant de 24 Km². Avec un barrage de 3 mètres de haut on peut envisager l'utilisation d'une chute de 22 mètres avec un canal d'amenée (ou une conduite) pas trop long (100 mètres?). Le débit d'étiage est pour l'instant évalué à 280 l/s. Le site est à environ 3 Km de l'école normale de Nagahinika et à peine plus loin de l'école technique. Avec les données indiquées ci-dessus la puissance disponible avec un débit équipé égal au débit d'étiage est de 43 KW. Cette puissance pourrait être un peu augmentée avec un régularisation journalière ou en allongeant un peu le canal d'amenée (ou la conduite). Avec un investissement spécifique ne dépassant pas 3000\$ (coût total de 129 000\$) le courant pourrait être produit au prix de 8.80 francs rwandais environ pour un coefficient d'utilisation $K_u = 0.5$ et une puissance installée de 43 KW. L'eau de la Pfunda présente à cet endroit une caractéristique intéressante: elle est très peu chargée de matières solides. Cela est dû au fait que la plus grande partie de son bassin versant est couverte par la forêt primaire de Gishwati. Ceci garantit un ensablement minimum de la retenue et une usure réduite de la turbine. Il n'est pas certain toutefois que cette caractéristique soit durable car la forêt subit les assauts des cultivateurs, et de plus on y trouve des placers miniers qui pourraient être remis en activité. Cela se traduirait alors par une production très importante de sédiments transportés par le cours d'eau. Ce site est en concurrence avec Pfunda A, Cymbili et Gashashi pour la fourniture d'énergie électrique à l'école normale de Nagahinika et au CERA1 voisin.

Site Pfunda A: Recommandation no.15.

82. Ce site est situé entre l'école normale de Nagahinika (à 1,2 Km environ) et le CERA1 (à 2,3 Km environ). A ce point de vue c'est un excellent site à l'issue d'un bassin versant de 30 Km². Ce site a déjà été décrit dans le premier rapport provisoire. Depuis le projet de construction a pris forme et l'on peut espérer la construction prochaine de cette centrale qui pourrait être équipée pour un débit de 400 l/s avec des chutes de 9,5 m ou 12 m, avec les puissances installées respectives suivantes:
 - $H_1 = 9,5 \text{ m } P_1 = 26,6 \text{ KW}$
 - $H_2 = 12 \text{ m } P_2 = 33,6 \text{ KW}$
83. Cette énergie servirait à l'école normale de Nagahinika en cours d'achèvement ainsi qu'à 2 CERA1 voisins à un prix raisonnable. En effet l'investissement nécessaire serait d'environ 108000\$ ou 116000\$ selon la hauteur de chute choisie. Nous pensons d'ailleurs préférable d'utiliser 12 mètres de chute vu le faible supplément d'investissement nécessaire. On pourrait dans ce cas espérer produire le KWH à la disposition de l'usager à 9 FRW ou 9,5 FRW.

Cymbili sur la route de Nkora: Recommandation no.16.

84. La Cymbili est une petite rivière qui se jette dans le Lac Kivu après un bref parcours. Le site repéré est à côté de la route menant de Nyamyumba à Nkora, à environ 4,5 Km de l'école normale de Nagahinika et 8 Km du CERAI. A l'issue d'un bassin versant de 10,2 Km² on peut utiliser une chute de 180 mètres avec un débit d'étiage estimé à 75 l/s. La puissance disponible avec un débit équipé de 75 l/s serait de 94,5 KW. Le site ne se prête guère à une régularisation importante des débits. Un barrage de 3 mètres de haut suffirait à établir la prise d'eau. Le canal d'aménée serait court mais la conduite forcée serait bien entendu de grande longueur vu la hauteur de chute. Le faible débit équipé réduit le coût de la turbine à puissance égale et c'est donc un avantage de ce site. Avec un investissement spécifique ne dépassant pas 3000\$ (coût total de 283 500\$ pour 94,5 KW) le courant pourrait être produit au prix de 8,46 FRW le KWH pour un coefficient d'utilisation Ku = 0,5 et une puissance installée supérieure ou égale à 80 KW. Ce site est caractérisé par la puissance importante disponible. Mais évidemment c'est aussi le site qui nécessite les plus longues lignes pour amener le courant produit aux consommateurs.

Gashashi sur la route de Nkora: Recommandation no.17

85. La Gashashi est aussi une petite rivière qui se jette dans le lac Kivu. Le site repéré est situé à proximité de la route menant de Nyamyumba à Nkora, à environ 3,6 Km de l'école normale et 6,7 Km du CERAI. A l'issue d'un bassin versant de 9,2 Km² on peut utiliser une chute de 115 mètres avec un débit d'étiage estimé à 70 l/s. La puissance disponible avec un débit équipé de 70 l/s serait de 56,4 KW. La prise d'eau nécessiterait un barrage de 5 mètres de haut. Le canal d'aménée serait court et la conduite forcée assez longue évidemment. Le débit équipé est assez faible ce qui contribue à réduire le coût de la turbine à puissance égale. Avec un investissement spécifique ne dépassant pas 3000 \$ (coût total de 169 200\$ pour 56,4 KW) le courant pourrait être produit au prix de 8,62 FRW le KWH pour un coefficient d'utilisation Ku = 0,5 et une puissance installée de 56,4 KW.

Commentaires sur les quatre sites précédents:

86. Les quatre sites que nous venons d'étudier sont tous susceptibles de fournir l'électricité dont ont besoin l'école normale et le CERAI. La carte no.1¹⁰ indique leurs emplacements et ceux des établissements scolaires. Nous avons établi un prix de revient de KWH en supposant l'investissement spécifique égal à 3000 \$. Dans ces conditions le prix de KWH varie assez peu de 8,47 FRW pour la Cymbili à 8,95 FRW pour Pfunda A. Nous avons aussi fait une hypothèse pessimiste peut-être en prenant Ku = 0,5. Enfin, l'évaluation de l'investissement spécifique à 3000\$ est peut-être aussi pessimiste. A notre avis si la puissance nécessaire dans un avenir proche ne dépasse pas 33,6 KW le site de Pfunda A paraît être le meilleur avec un investissement total ne dépassant pas de beaucoup 100 000\$. Il est possible, étant donné les courtes distances de transport du courant dans ce cas, que l'investissement spécifique puisse être réduit à 2500 ou 2700 \$ seulement avec un coefficient d'utilisation Ku = 0,6, ce qui réduirait le prix du KWH à 6,3 ou 6,8 FRW seulement. En fait le choix du site dépend ici essentiellement de la puissance nécessaire.
87. On pourrait aussi envisager de réaliser les quatre centrales possibles simultanément. La puissance totale disponible serait alors de 227 KW au minimum. Il faudrait raccorder les centrales au réseau de Gisenyi à une distance de 15 Km environ. Cela serait-il rentable? Probablement si l'on exploitait à fond les possibilités des sites en portant la puissance installée totale à 400 KW au moins. Le prix du KWH produit de cette façon serait sans doute sensiblement inférieur aux prix indiqués plus haut.

¹⁰ Voir page 46

Mazimeru à Nyakabanda: Recommandation no.18.

88. Ce site a aussi été décrit dans le premier rapport. Mazimeru signifie en kinirwanda "eau blanche", ce qui explique que l'on retrouve cette dénomination pour plusieurs chutes au Rwanda. En tout cas ceci est bien justifié à Nyakabanda où l'eau chute de 80 mètres pratiquement à la verticale. La chute utilisable peut en fait être facilement portée à 100 mètres, ce qui avec un débit de 55 l/s peut fournir une puissance de 38,5 KW. Cette électricité ne manquera pas de consommateurs à proximité avec un collège, un centre de santé, un atelier avec postes de soudure, etc... Il semble bien que ce projet pourrait trouver un financement dans un proche avenir.

Rusumo sur la rivière Mwange: Recommandation no.19.

89. Cette chute visible depuis la route de Kigali à Byumba, à environ 44 Km de Kigali paraît fort intéressante vu la facilité d'installation d'une centrale. Le niveling barométrique que nous avons effectué le 23 août 1985 nous a donné une dénivellation de 51 mètres. Nous n'y avons pas fait de mesure de débit car il existe une échelle limnimétrique à environ 80 mètres à l'amont du pont. Cette échelle indiquait un niveau d'eau de 0,47 m ce jour-là ce qui doit constituer le niveau d'étiage. La station est suivie par le Service hydrologique du Rwanda et Monsieur Nicolas Bavgilije, Chef du Bureau d'hydrologie et Agro-climatologie du Ministère de l'Agriculture, a eu l'obligeance de nous communiquer les résultats des jaugeages effectués par son service à la station de Rusumo et on peut estimer le débit d'étiage à la station à environ 300 l/s. Pour une hauteur de chute de 51 mètres la puissance disponible serait de 107 KW. Encore faudrait-il trouver des consommateurs à proximité, peut-être des CERAJ et des centres de négoces. Il semble qu'il soit aussi question de capter l'eau pour l'envoyer vers Kigali. Les deux usages de l'eau pourraient alors être coordonnés.

Magarama à Mugonero: Recommandation no.20

90. Une étude préliminaire a été faite avec l'aide du projet Unesco/PNUD RWA/79/003 (Planification et rénovation de l'éducation) avec nos conseils. D'après cette étude on peut très sérieusement envisager de fournir en électricité l'Ecole des sciences pour infirmières de Mugonero située au bord du lac Kivu à une vingtaine de kilomètres au sud de Kibuye. L'hôpital, l'école secondaire, l'école primaire, les habitations et peut-être le centre de négoces pourraient également bénéficier de cette électricité. En particulier la cuisine pour les internes de l'école d'infirmières se fait actuellement par chauffage au bois. Cette solution n'est économique qu'en apparence car elle va rapidement aboutir au déboisement catastrophique des terrains mis à la disposition de l'école, cela d'autant plus que les effectifs de l'école doivent s'accroître. L'électricité est disponible, vendue par la société Electrogaz, mais elle reste chère (13 FRW le KWH) et la construction d'une microcentrale devrait permettre d'abaisser le coût au-dessous de 10 FRW le KWH. Le branchement Electrogaz serait conservé pour pallier les défaillances éventuelles de la microcentrale.

Consommation prévisible (d'après Eric Sommer):

		KW	KWH/an
Ecole d'infirmières	Cuisinières électriques	24,0	30000
	Eclairage	1,2	1360
	Divers		3000
 Hôpital	 Eclairage	 26,0	
	Chauffe-eau	9,0	
	18 fers à repasser	18,0	
	Stérilisateur	4,0	
 =	 Divers	 30	
	Total énergie		65000
 Ecole primaire	 Eclairage	 1,3	1380
 Centre de négoce	 Eclairage	 3,0	8000
	15 réfrigérateurs	3,5	7665
	3 fers à repasser	2,4	500
	1 moulin	7,5	10800
 Habitations	 Eclairage	 3,0	4000
	Réfrigérateurs	2,8	6022
	6 fers à repasser	4,8	2000
	3 chauffe-eau	1,0	3000

91. Monsieur Sommer n'a pas pris en compte l'école secondaire mais il est évident que l'on peut préférer alimenter cette école que le centre de négoce. Une autre possibilité est que la puissance disponible sur le site pourrait être supérieure à 40 KW. Ceci restera à préciser dans le projet définitif. En fait les puissances répertoriées ci-dessus ne s'ajoutent pas simplement mais se combinent suivant les heures et les modes de fonctionnement. Le tableau 9¹¹ montre (d'après E. Sommer) comment on peut évaluer la puissance nécessaire selon les heures de la journée. On voit que la puissance théorique nécessaire ne dépasserait pas 44,5 KW aux heures de pointe, en fait moins même car certains appareils ont un fonctionnement intermittent (réfrigérateurs, fers à repasser). Il serait facile d'ailleurs avec les moyens techniques disponibles de prévoir une disjonction automatique de certains appareils en cas de surcharge.

Esquisse technique:

En ne retenant que l'hypothèse haute d'une puissance de 40 KW ou plus les caractéristiques de la centrale seraient les suivantes:

Site:

Bassin versant	13	Km ²
<u>Hauteur de chute</u>	44	m
Débit d'étiage	110	l/s
Débit de crue	25	m ³ /s

Microcentrale:

Puissance à l'étiage H = 44m	34 KW
Puissance avec régulation	40KW

92. On peut envisager d'utiliser un supplément de chute de 10 mètres en construisant le barrage un peu plus en amont. Cela permettrait d'obtenir une puissance de 48 KW environ avec une régulation journalière. La dérivation serait obtenue par un barrage en béton ou en maçonnerie de 5 à 10 mètres de haut (selon l'emplacement) qui serait entièrement submersible de façon à pouvoir déverser les crues maxima. Le canal ou la conduite d'aménée aurait de 200 à 500 mètres de long selon les positions respectives du barrage et de l'usine. La conduite forcée aurait de 60 à 80 mètres. L'étude technique doit être affinée par des mesures topographiques plus précises et de nouvelles mesures de débit à l'étiage. La ligne électrique aurait de 1 à 2 Km seulement.

Devis:

93. On ne peut encore parler de devis précis mais seulement d'estimation. Selon la puissance retenue l'investissement nécessaire pourrait aller de 85 000\$ à 110 000\$, sous toute réserve.

¹¹ Voir page 40

Murugeya à Rubengera: Recommandation no.21.

94. Un peu à l'aval du pont de la route Rubengera-Gisenyi à la traversée de la Murugeya on pourrait planter un barrage de prise d'eau à l'issue d'un bassin versant d'environ 112 Km². L'eau dérivée par un canal de longueur relativement raisonnable alimenterait une microcentrale hydro-électrique avec une hauteur de chute de 10 mètres. Avec un débit d'étiage voisin de 1 m³/s la puissance disponible serait de 70KW. L'étude faite par M. E. Sommer montre que l'on pourrait alimenter l'école normale technique de Tubengera, le centre de négoce, des habitations et des ateliers divers. Toutefois, M. Sommer se garde de conclure définitivement quant à l'opportunité de construire cette centrale. Une étude un peu plus approfondie serait sans doute nécessaire.

Satinsky à Muramba: Recommandation no.22.

95. Une importante école d'économie et de commerce existe à Muramba ainsi qu'une école normale. Il est envisagé d'acheter un nouveau groupe diesel pour renforcer la production d'électricité déjà assurée par 2 autres groupes. Les inconvénients de ces groupes sont connus: électricité chère, entretien coûteux, durée de vie courte, fonctionnement bruyant. La rivière Satinsky, qui passe à proximité, a fait l'objet d'une prospection par l'équipe BUNEP-Ecole Polytechnique fédérale de Lausanne qui a conclu à l'existence d'un important potentiel hydro-électrique. Il est donc logique d'examiner l'intérêt de construire une microcentrale pour alimenter Muramba. Pour cela il faut effectuer l'enquête socio-économique et technique nécessaire, mais il est très vraisemblable qu'un site pourrait être trouvé à moins de 6 Km de Muramba. Les groupes diesel ne seraient plus utilisés que pour pallier les arrêts éventuels de la centrale.

I. CONCLUSIONS CONCERNANT LES SITES PRECEDENTS:

96. Nous venons de passer en revue 23 sites mais il est bien évident que beaucoup d'autres existent qui pourraient être utilisés sous certaines conditions. Ces conditions sont essentiellement d'ordre socio-économique. C'est ainsi que nous avons été amenés à formuler un certain nombre de recommandations à l'attention des investisseurs éventuels et des aides bilatérales et multilatérales. Une requête a d'ailleurs été élaboré avec notre aide pour la construction de 10 microcentrales hydro-électriques pour un coût d'investissement de 1,5 millions de dollars des Etats-Unis. Cette requête précise comment procéder pour parvenir à un évaluation correcte des projets envisageables. En ce qui concerne les sites précédents nous récapitulons ci-après les puissances disponibles et la productibilité. On peut voir que cette productibilité est loin d'être négligeable comparée à la production propre actuelle du Rwanda.

LISTE DES CHUTES OU RAPIDES
 (d'après l'enquête du M. Gaspard Simibiyobewe (CEAER))

1. Butare

commune	chute ou rapide	secteur	cellule
1. Mugusa	Isumo ya Mugogwe		
2. Muyaga	-		
3. Shyanda	Nyirancura	entre Gasharu et Bweya	entre Kadurumba et Sabudali
4. Rusatira	Rwamabare	entre Kigarama et Gahanda	
	Isumo	entre Kato et Rubona	
5. Ruhashia	rivière Agasuma	Gashoba à Rwamajuguli	
6. Ntyazo	-		
7. Nyabisindu	Rufuro Rwabashi Igisuma Ryarusine Kagondo	Rwasamana Mushirarungu Mushirarungu Mushirarungu Runga	Gishike Munyinya Munyinya Munyinya Ndayo
8. Huye	-		
9. Runyinya	Agatare Nyamigende Gisuma	Mariba Karama Fuhoro	Rasaniro Uwarugondo Kibingo
10. Muyira	-		
11. Ngoma	-		
12. Nyakizu	Cyuruyenzi Namuhebe Kigina Ntaruka Cyanwa Gituramigina Myotsi	Muhambara sur l'Akanyaru(toutes) idem idem Cyahinda Kibangu Mwoya	
13. Kigembe	rivière Migina à Rwabisemanyi et Mugifuro cya Mugina		
14. Kibayi	Gisuma	Rwamiko sur la rivière Kagogo entre Muganza et Kibayi	
15. Muganza	Gisuma	entre Cyumba et Rwamiko	
16. Mbazi	-		
17. Ndora	-		

Butare (suite)

commune	chute ou rapide	secteur	cellule
18. Maraba	Karemera Mashyuza Gahama Kigogo Nyiraceni Rukaragata Masumo Gisuma cya Nyarure Gasuma (Nyirarumago)	Cyarumbo Cyarumbo Cyarumbo Cyarumbo Kabuye Kabuye Maraba Maraba Tare	
19. Gishamvu	-		

2. Kibuye

1. Gitesi	Sumo Buhali	Rubazo Kagabiro	Masiza Buhali
2. Rwamatamu	Rivière Nyirabuhombohombo	Cyiza-Nyamatinda	
3. Rutsiro	Rucanzogera Nyakibanda Rwishiwa Nyarucundura Kore Kaziramihunda	Rusebeya Rugarambiro Rugote Nyarucundura Gatoki Kagano	Ruronde Gashyuha Shyembe Nyarucundura Kamusambi Tangabo
4. Bwakira	Rukapfu Gisuma Cyabahanda Rukanda Munzanga (Bisusa) Gisuma Rusovu Rukuguto Gatsimbiro Munzanga Nyagasayo	Mugunda Mugunda Musasa Nyabiranga Ngoma Ngoma Nyabinombe Rusengesi Rusengesi Murundi Murundi	
5. Mabanza	Ndaba Ntaruko Muregeya	entre Citwa et Nyarugenge Cihara et Nyarugenge Kigeyo et Buhinga	
6. Gisovu	Nduruma Masango(riv. Mbururume) Nyarubuye(riv. Nyarubuye) Mashushiko(riv. Kaganda) Rugushu Rushyarara Nyakiyabo(Ruhinamavi) Rusebeya(Rushishi)	entre Cikaranka et Rwankuba Twumba Citabura Cikaranka et Kavumu Twumba Citabura Citabura Citabura	

Kibuye (suite)

commune	chute ou rapide	secteur	cellule
7. Mwendo	Kuvisumo(riv. Sumo) Biruru(riv. Musasa) Gatare(riv. Gatare) Nyamuheza(riv. Nganzo)	Mutuntu Biguhu	
8. Gishyita	-		

3. Kigali

1. Butamwa	-		
2. Gashora	-		
3. Mbogo	Nyakiliba		
4. Kanombe	-		
5. Gikomero	-		
6. Ngenda	-		
7. Rubungo	-		
8. Gikoro	-		
9. Nyarugenge	-		
10. Bicumbi	-		
11. Kanzenze	-		
12. Tare	Urusumo rwa Cyacika à Musama(riv. Cyacika)	Bumba	Va
13. Musasa	Urwimbwani muhigi(riv. Rwandago) Nyamulindo(riv. Kabazi) Kamahore(riv. Rutamba) Gasiza(riv. Congoli)	Huro Nkara Nyange Mbiliima	Cura Cyoganyoni Ntobwe Shyunga
14. Rutongo	-		
15. Shyorongi	-		

4. Ruhengeri

1. Nyakinama	Nyabeshaza Mburamazi Mararo	Rutoyi Kabere II Kabere II	
2. Nyarutovu	Kinoni	Gakenke	

Ruhengeri (suite)

commune	chute ou rapide	secteur	cellule
3. Ruhondo	Gasumo Mukinga Gatare kabamo	Cyabingo et Ruhondo Kiruli et Mukono	
4. Kigombe	Vipenge		
5. Kinigi	-		
6. Cyeru	Rusumo Kinihira Nyamyotsi Nzibukira Rwankeli Rutare (Rutembe)	Kabona Kinihira et Kalingorera Ruyange et Butare idem Rusarabuge et Rugendabare Kiboga	Musebeya Buterera Rugali et Gisha idem Kibara et Mubuga Kiboga
7. Gatonde	Musarara Rusumo Kageyo Manga Kanjonjo	Gahanga Mugandu Mugandu Cyibumba Cyibumba	Rukiza Karama Rutake Kirwa Kirwa
8. Kidaho	-		
9. Nkumba	-		
10. Ndusu	Kinoko Mukungwa Nyarutovu		
11. Rutaro	Rusumo Kabwa Gakangaga Mahongora Barebereho Gasumo Nangumulimbo Kalingorera Nyagahinga Ryabusaza	Kayange Kinyababa Kinyababa Kinyababa Rutovu Rutovu Rutovu Kindoyi Bukaragata Buhita	Cyasenge Cyufe Jagi Jagi Shaga Rubayu Nyabizi Nyamiyaga Kibande Ruyumba

5. Cyangugu

1. Gafunzo	Rwonga	entre Mugera et Bunyangburube	
2. Karengera	Nyagahanga Rubyiro Ntontwe Nyamyazi Nyamulira Shangazi Gasare Nyarutovu Nyiracyogura Nyamibugu Macokoli		
3. Gisuma	-		

Cyangugu (suite)

commune	chute ou rapide	secteur	cellule
4. Gatare	Kamen Matyazo Matyazo 2 Nyirabuhonbohombo de Mutovu Liba Gasumo Gatare Mutovu Gakoma Kadasomwa Kagoya Bitare Mutivuga Mikamo Muronsi Masumo Gasasa Nduruma Nyamitsiri Kanama Muduha Nyirabuhonbohombo	Ngange Ngange Ngange Ngange Karambi Karambi Buhoro Buhoro Buhoro Muraza Muraza Mugomba Mugomba Mugomba Mugomba Mugomba Mugomba Cyiya Cyiya Cyiya Cyiya Cyiya	Mushubi Mushubi Mushubi Mweya Gasovu Murambi Wimana Kayenzi Bitare Karambo Bitare Rushyarara Rudaga Rushyarara Rugano Mugomba Rwuna Rugabe Rugabe Gitovu Muduha
5. Cyimbogo	Gatandara Gatabuvuga Njambwe Mugongo Gihiri	Mururu Winteko Nyakarenzo Cyato	

6. Kibungo

1. Muhazi	-		
2. Birenga	-		
3. Kabarondo	-		
4. Kigarama	-		

7. Gikongoro

1. Rwamiko	Nyabitare Nyarwotsi	entre Nkumbure et Matyazo entre Buhoro et Ruramba	
2. Nyamagabe	Ruciranyeli Ntaruka Gisuma Bihunyira Sovu Nyabwoma Kagarama	Kibilizi Kizi Rususa Rususa Kamegeli Kamegeli Buremera	Nyagishubi Kagarama Nyarusange Nyarusiza Sovu Sovu Buremera

Gikongoro (suite)

commune	chute ou rapide	secteur	cellule
3. Nshili	Nshili Uwimyama Rutabo Gisuma Nshili Nyabinyenga Agatare Nyamavure	entre Shororo et Runyombyi entre Busanze et Kirarangombe Busanze entre Busanze et Remera entre Shororo et Busanze entre Ruheru et Gitita entre Ruheru et Musunzu Gisanze	entre Murambi et Gabiro entre Bitare et Kinyinya entre Bitare et Rutabo entre Bikinga et Mutumba entre Kigarama et Bikinga entre Mukaka et Kibyibushye entre Mukaka et Nyarumazi entre Ruvuru et Ruyenzi
4. Musange	Rwanyagakecuru/Muhura Rwakibondogo/Muhura Rwagatama/Nzavu Nyirantsibura/Nzavu	Mugote Mugote Ruhinga Cyabute	Bweramana Bugarama Murami Karutabana Cyabute 2
5. Karama	Kadondogoro/Cyogo Rulimbi/Kavili Kamuyumbo Rucumbamyotsi/Rukarara (Nyiragashubi) Ntaruka/Rukarara	Gitega Kiyumba Kiraro Kiraro Muganza	
6. Karambo	Munyel/MaZimerui Rucumbamyotsi/Rukarara Ntaruka/Rukarara Kugataruka Mumasumo	Rugarama Rugarama Rugarama Rukarara Mukongoro	Bwenda Kinyana Kiraro Bunyoma Uwinonka Nyarubuye Kasemanzi
7. Kivu	Mururuma Mazimeru Rwerere	Mutovu Nyabimata Rwishiwa entre Masunzu et Nyabimata	entre Mutovu et Murambi Cyurukore Murambi

8. Gisenyi

1. Satinsyi	Rungu Buhinda Nyiramuhondi	Rucano Hindiro Mbuye	Gacyamo Mbuye Nyabihu Gihe
2. Rwerere	-		
3. Rubavu	-		
4. Mutura	-		

Gisenyi (suite)

commune	chute ou rapide	section	cellule
5. Karago	Mwana (Gafonyi) Rwaza (Nyabihanga) Nyarukangaga	Rulembo Rulembo Rulembo	
6. Kanama	Nyaburara Yungwe Gitindagasani	Nyabirazi(près école) Karamba Nkuli(près forêt primaire)	
7. Kayove	Koko Rugamba Mpanzi Gisuma Nyamakongoro Gashashi Cyimbili	Kayove Rugamba entre Rugamba et Boneza entre Busenza et Boneza Murama Kigeyo entre Ngabo et Kigeyo	Rundoyi Rugamba
8. Gaseke	Kagogo/Giciye Gasumo/Rukorati Ntaruka/Buhito Ngenge/Buhito Nyiragatsama Mpunyira/Mpunyira Gasumo/Kigufi Kabuganza/Rungu Mvumbo et Ntaruko Rungo Kavumbi/Nyankuba Bikore/Bikore Rungu/Rungo	Gisebeya Gisebeya entre Muhanda et Mwendo entre Magabe et Muhanda Muhanda Kabuye entre Gaseke et Satinsyi entre Gaseke et Giciye Rwili Rwili Bukonde	Kabatimbo
9. Ramba	Gasumo Gisuma Kaziramihoro Kagese Rusahaga Mpazi (2 chutes) Mugogwe Mavumo Cyatare Satinsyi Kinyantozzi Nyabahanga Kaguma Mwese Ngaza	Kageyo Kageyo Kageyo Kavumu Kavumu Suti Suti Sovu Suti Nyampili Mabuye Rutsiro Mabuye Rutsiro Bayi Bayi Bayi Sovu	Kamashi Nyabitabo Rurera Nyagikoma Kabingo Nyagikoma Nyagikoma Ntente Nyabipfura Nyabipfura Nyabipfura
10. Giciye	Kiruruma Kanyilintambike Kibibekane Gahimo Kimisebeya Kamiranzovu Rucumba Ruhanga	Kintarure Mutanda Birembo Birembo Pirembo Shaki Shaki Shaki	Mataba Rweru Gasiza Maliba Cyugi Shaki Rwaramo Shaki

Gisenyi (suite)

commune	chute ou rapide	secteur	cellule
Giciye (suite)	Kajenjero Kagogo Gakamba Nyamyotsi Gatare 1 et 2 Kibugazi Gasumo Gasumo Gatare	Gasasa Nyamugeyo Rubare Rubona Rubona Rubona Rubona Gihira Jomba	Rutabu Migongo Muremure Nyundo Gikaranka Kabingo Cyumba Gihira Gahanga
11. Nyamyumba	Masumo Karuruma Gitsimbi Kitraco Masumo Nyamwenda Kabitara	Rushushi Budaha Rubona Rushubi Mwufe Gashashi Busoro Mwufe Mwufe Kivumu	Kiroji Nganzo Bwano et Kagera

9. Gitarama

1. Nyakabanda	Jarama		
2. Runda	Rusuma	Gihara	Gasharara
3. Kigoma	Nkubi Gisuma Nyiramuzana Marongi/Ruhoboba Rugomero	Rubona entre Kigoma et Rwoga Kiruli entre Kigoma et Ntyazo entre Kigoma et Ntyazo	
4. Mugina	-		
5. Nyabikenke	Cyifurwe Mutumba et Uruzibamatwi Gafuro Gisuma Nyamugali et Gahoroshia Kabakomo/Bukaba Sumo (importante) Gaseke Masuli Gasayo (3 chutes) Cirinyeli Nyamuhindura(Mbogo) Rukeli (Mwendo) Rwamure Magarure (2 chutes)	Mugunga entre Kwgaguro-Rukaragata et Ngoma entre Kiyumba et Rukaragata entre Bulinga et Nyabikenke Kabuye Kavumu entre Nyabikenke et Nyakabanda Kigina entre Kigina et Gitovu Ngoma Mahembe Mahembe Mahembe Gitovu Gitovu	
6. Bulinga	Kabira Kazenga Rugerero	Nyarutovu Nyarutovu Nyarutovu	Rugerero Kazenga Rugerero

Gitarama (suite)

Bulinga (suite)	Karambo Kamiramfizi Nyamafuro Ryanyiragashi Rwasare Rwinura Cyabatunzi Nyirabaharamba Kamiranzovu Masumo Rutaraga Kiligi Kamori Bilikano Kabavu Kararo Matengu Nyabinyenga (grande chute) Nkubaganyi (grande chute) Kingoma (grande chute) Kanyabigega Muhororo Gatare Gikuba	Remera Remera Remera Nyabitare Nyabitare Musenyi Musenyi Bulinga Bulinga Bulinga Gasave Gasave Gasave Rugendabali Rugendabali Rugendabali Rugendabali Musange Musange Musange Musange Buramba Buramba	Nyarubuye Buliba Buliba Nyanza Gisenyi Rukendu Rukendu Kibingo Mwendo Mwendo Gasave Mushingishiro Nyakibuye Ngando Twabumbogo Twabumbogo Gishali Musange Musange Ngilyi Nyaruninya Nyaruninya Giturwa Nyange
-----------------	--	---	---

10. Byumba

1. Cyungo	-	entre Buyoga et Kunyami	
2. Buyoga	Rusumo		
3. Kinyami	Rusumo Rusumo de Munyinya Ruhango Gisuma Biheli Gasave	entre Kavumu et Gicumbi entre Cyuru et Kinyami entre Gicumi et Mugina entre Kagamba et Kinjojo entre Muhondo et Gicumbi entre Kagamba et Cyuru	
4. Muvumba	-		
5. Bwisige	Rwangabo Kanyirabuki Kabindi Kibare Ruhema Kabingo Mushenyi Kiruruma Kamoka Kiruruma Gashura Cyanyandago	Bwisige Gihuke Kabongoya Nyagihanga Muti Nyarurama Nyarurama Nyarurama Buhanga Buhanga Karehe Karehe	Bwisige Murehe Kabongoya Kibare Murambo Nyarurama Kirambo Kagasha Gishikili Nyamirama Nyaruwa CYanyandago

Byumba (suite)

commune	chute ou rapide	secteur	cellule
6. Gituza	Rwibiraro Gahama Gatare Kogera	Gitebwe Gitebwe Gituza Gituza	Kaninga Kaninga Mpama Mpama
7. Murambi	-	-	-
8. Mukarange	Kabakene Kamuniga Rusumo	Rushaki Rushaki Rushaki	Nkamba Ngabira Ngabiro

Annexe 2: Pluviométrie: (commentaires)

Ces commentaires sont simplement destinés à montrer la nécessité de procéder à un examen critique des données pluviométriques afin de corriger certains écarts systématiques. Par ailleurs on peut montrer sur un exemple la relative précarité des études statistiques de la pluie.

1. Etude par double cumul deux à deux des pluviométries des stations de Rubona, Kigali et Ruhengeri:

On se reportera au graphique no. 5 ci-après. On a effectué les doubles cumuls des pluviométries de ces stations deux à deux de 1956 à 1972. On voit que pour les couples Ruhengeri-Rubona et Ruhengeri-Kigali on observe une cassure en 1963. Par contre rien de tel n'apparaît pour le couple Rubona-Kigali. La conclusion la plus probable est qu'il s'est passé quelque chose d'anormal à la station de Ruhengeri. Il est vraisemblable qu'une erreur a été faite sur le modèle d'éprouvette associé au pluviomètre soit avant 1963 (éprouvette trop grande) soit après 1963 (éprouvette trop petite). En effet le rapport des pentes des deux droites est de 1,27 qui est le rapport qu'il y a entre 400 cm² et 314 cm² surfaces respectives des bagues de deux modèles courants de pluviomètre. Il faudrait procéder à une correction systématique sur la pluviométrie de Ruhengeri afin d'avoir une série de données homogènes à cette station. Cette homogénéisation devrait être faite pour l'ensemble des stations. Nous avons commencé ce travail avec un programme spécifique de traitement sur ordinateur mais il n'était pas possible de le terminer dans le temps qui nous était imparti.

2. Evolution à long terme de la pluviométrie:

On se reportera au graphique no 6 sur lequel on a représenté la moyenne glissante sur 7 ans de la pluviométrie annuelle de Rubona de 1930 à 1975. On voit qu'après une longue période au-dessous de la moyenne jusqu'à vers 1956, on observe ensuite une période plus humide jusqu'à vers 1973. Les années qui suivent non représentées ici auraient sans doute fait apparaître une nouvelle période relativement moins arrosée. Le graphique des écarts de la pluie annuelle est une autre façon de présenter clairement ces faits. On voit que l'on peut avoir une certaine persistance des sécheresses même dans un pays aussi bien arrosé que le Rwanda. Cela montre l'intérêt qu'il y aurait à faire une étude statistique systématique de la pluie au Rwanda.

3. Intervalle de confiance de la moyenne de la pluie annuelle à la station de Rubona:

On se reportera au graphique no. 7 sur lequel on a représenté l'évolution de la moyenne et des intervalles de confiance de cette moyenne pour la station de Rubona. On voit qu'il est difficile de réduire le demi-intervalle de confiance de la moyenne à moins de 4 à 5 % de la moyenne même après plus de 30 ans d'observations. Ceci montre les limites de l'étude statistique que nous proposons ci-dessus.

Coût supplémentaire du KWH produit
pour les petites puissances installées (Francs Rwanda)
 (1 S US # 10 FF # 100 FRW en Mars 1985)

I-1000\$ $\Delta Pk=0,137/PeKu-5,71.10^{-4}$ /Ku (\$)

Ku Pe	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

I-2000\$ $\Delta Pk=0,137/PeKu-11,42.10^{-4}$ /Ku

Ku Pe	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

Tableau 2

I-3000\$ $\Delta Pk=0,137/PeKu-17,13.10^{-4}$ /Ku (\$)

Ku Pe	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

I-4000\$ $\Delta Pk=0,137/PeKu-22,84.10^{-4}$ /Ku

Ku Pe	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-5000\$ $\Delta P_k = 0,137 / PeKu - 28,55 \cdot 10^{-4} / Ku$

Pe \ Ku	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-6000\$ $\Delta P_k = 0,137 / PeKu - 34,26 \cdot 10^{-4} / Ku$

Pe \ Ku	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 8, 10, 11 et 13 FRW pour des coefficients d'utilisation Ku variant de 0,4 à 0,7

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

Tableau 7

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 8

TABLEAU RECAPITULATIF DES CARACTERISTIQUES DES 23 SITES DECRITS

H en mètres, Q en l/s

P en KW, W en GWH

Nom, H, Q, P	W Min	W Moyenne	W Max
Gatobwe H-11 Q-960 P- 74 H-13 Q-960 P- 84 H-21 Q-960 P-141 =	0,32	0,38	0,62
Akanyaru Mwesa H- 2 Q-3000 P- 42 H-10 Q-3000 P-210	0,18	(0,18)	0,92
Kyriango Muyunzwe H-17 Q-367 P-44 H-21 Q-367 P-54	0,19	(0,19)	0,24
Coza Nyirandiboli H-40 Q-30 P- 8,4 H-70 Q-30 P-14,4	0,04	(0,06)	0,06
Buhari H-11S Q-81 P-65 H-13S Q-81 P-76,5	0,28	(0,28)	0,34
Kiraro H-20?Q-450 P-63			0,28
Kiruri H-72 Q-32 P-16 H-72 Q-40 P-20,2	0,07	(0,09)	0,09

TABLEAU DES CARACTERISTIQUES (suite)

Simbuka H-33 Q-172 P-39,7 H-33 Q-200 P-46,2	0,17	0,(20)	0,20
Mbirurume H-5? Q-5000 P-175			0,77
Muhura Mugote H-90 Q-20 P-12,6	0,06		
Congoli Gasiza H-40 Q-67 P-19 H-30 Q-100 P-21 H-40 Q-100 P-28	0,08	0,09	0,12
Rutumba Gikingo H-15 Q-80 P-8,4 H-15 Q-100 P-10,5	0,04	(0,05)	0,05
Ntaruka Mwogo H-29 Q-896 P-182 H-29 Q-1000 P-203	0,8	(0,89)	0,89
Pfundu Nagahinika H- 9,5 Q-400 P-26,6 H-12 Q-400 P-33,6	0,12	(0,15)	0,15
Pfundu amont H-22 Q-280 P-43	0,19	0,19	0,19
Cymbili H-180 Q-75 P-94,5	0,41	0,41	0,41
Gashashi H-115 Q-70 P-56,4	0,25	0,25	0,25

TABLEAU DES CARACTERISTIQUES (suite)

Mazimeru Nyakabanda H-100 Q-55 P-38.5	0.17	0.17	0.17
Rusumo Mwange H-51 Q-300 P-107	0.47	0.47	0.47
Magarama à Mugonero H-44 Q-130 P-40	0.18	0.18	0.18
Murugeya Rubengera H-10 Q-1000 P-70	0.31	0.31	0.31
TOTAL GWH/An			
Ku-0,5	4,33	4,63	6,77
Ku-0,6	5,20	5,56	8,12
Ku-0,7	6,06	6,48	9,48
Ku-0,4	3,46	3,70	5,42

Dans ce tableau nous avons choisi trois niveaux de production: Minimum, moyen, maximum. Le niveau minimum doit normalement pouvoir être atteint avec un investissement raisonnable et correspond donc à des installations qui devraient pouvoir se faire, bien qu'un doute subsiste lorsque figure un point d'interrogation après la hauteur de chute. Le niveau moyen peut sans doute être atteint mais avec des investissements un peu plus lourds. Enfin le niveau maximum ne peut généralement être atteint qu'avec une dépense nettement plus élevée qui ne pourrait sans doute être justifiée que par des besoins impératifs, sans énergie de substitution plus économique disponible. Les productions de chaque site ont d'abord été évaluées avec un coefficient d'utilisation Ku égal à 0,5. Ceci paraît tout à fait réaliste aussi puisque le débit équipé correspond au débit d'étiage et que les pertes d'énergie correspondent pour l'essentiel aux variations de la consommation au cours de la journée. Ceci suppose toutefois qu'on a choisi une production proche des besoins. Cela ne sera pas forcément le cas tout de suite après la construction de la centrale, la pleine utilisation n'étant atteinte que progressivement avec le développement prévisible de la consommation. A titre d'information nous avons calculé les productions possibles avec des coefficients d'utilisation différents. En conclusion on constate qu'avec ces seuls 23 sites, il n'est pas exagéré d'espérer produire 43 gigawattheures par an. Ceci représente environ 5% de la production propre du Rwanda. Il s'agit d'une source d'énergie décentralisée propre à réduire les migrations vers les villes grâce à l'amélioration des conditions de vie des centres ruraux. Les populations rurales seraient ainsi un peu mieux regroupées autour de ces centres.

Tableau 9

SITE MAGARAMA
Gpt Ed : MUGONEROPIUSSANCE ET CONSOMMATION

Hypothèse N°2 : Puissance installée 40 KW (haute technologie)

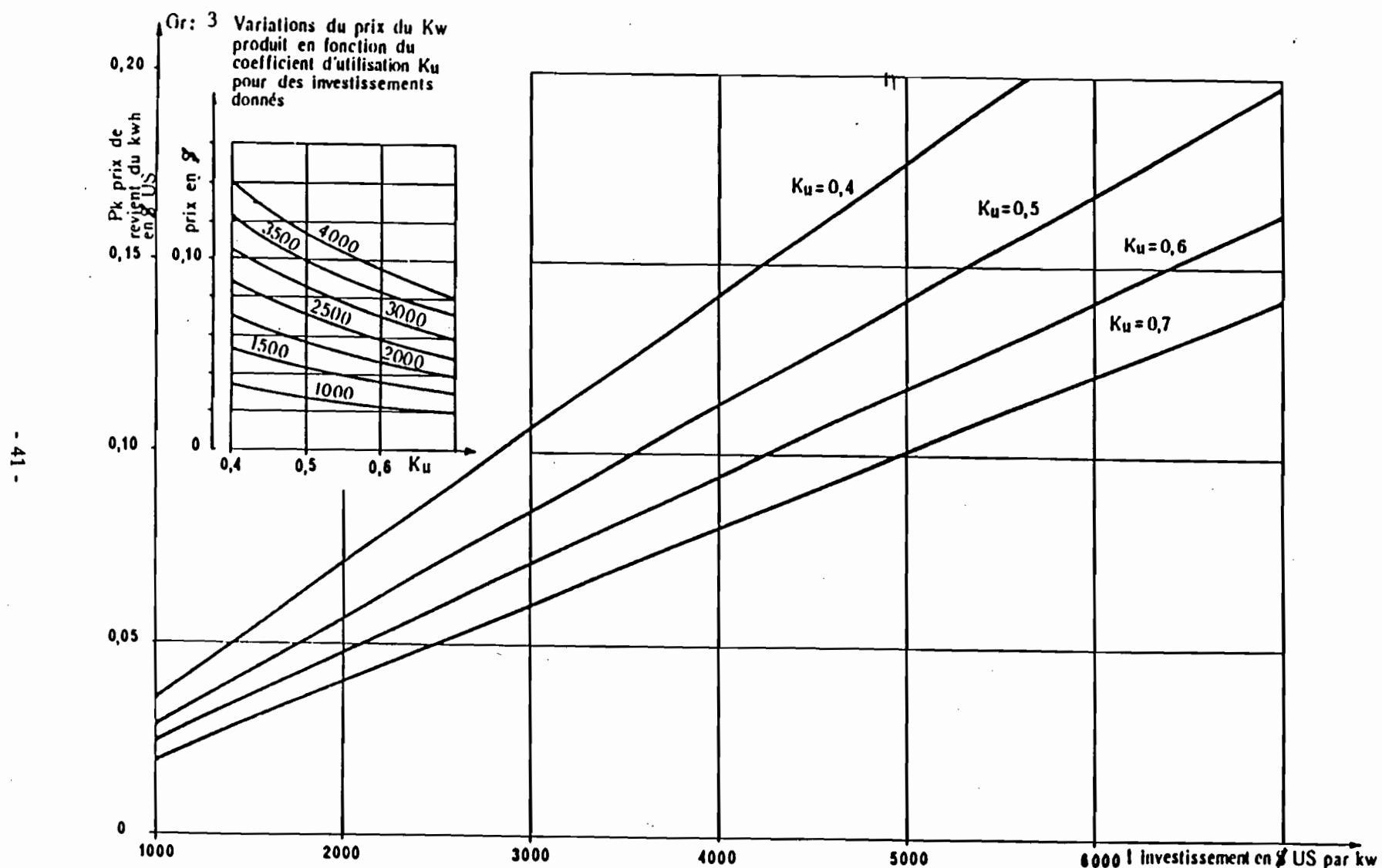
CLIENT	5. H 8 H	8 H 10 H	10 H 12 H	12 H 16 H	16 H 18 H	18 H 22 H	22 H 5 H 30	Consommation annuelle
1/ <u>Ecole d'infirmière</u>								
Marmites chauffantes	24		24		24		1,2	30 000
Eclairage								1 360
2/ <u>Hôpital</u>								
Eclairage (1))
Fers à repasser (2) (I)		18		18		20) 65 000
Chauffe-eau (3)							9)
Stérilisateur (3)							2)
Divers	3	3	3	3	3	3)
3/ <u>Ecole primaire</u>								
Eclairage								1 600
Atelier (éventuel)		1,5	1,5	1,5	1,5		15	1 600
4/ <u>Centre de négoce</u>								
Lumières (I)	1	1	1	1	1	3		8 000
Réfrigérateurs (1) (I)	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	8 500
Fers à repasser (1) (I)	2,4		2,4					800
Moulins	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5			11 000
5/ <u>Habitations</u>								
Lumières								4 000
Réfrigérateurs (1) (I)	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	3		6 000
Fers à repasser (1) (I)		4,8		4,8		2,8	2,8	2 000
Chauffe-Eau							3	3 000
TOTAUX (4)	34,3	44,5	43,3	44,5	43,3	38	21,3	142 860 KW

V.B. (1) Remplacer la moitié des lampes à incandescence 75 W par des néons 40 W.

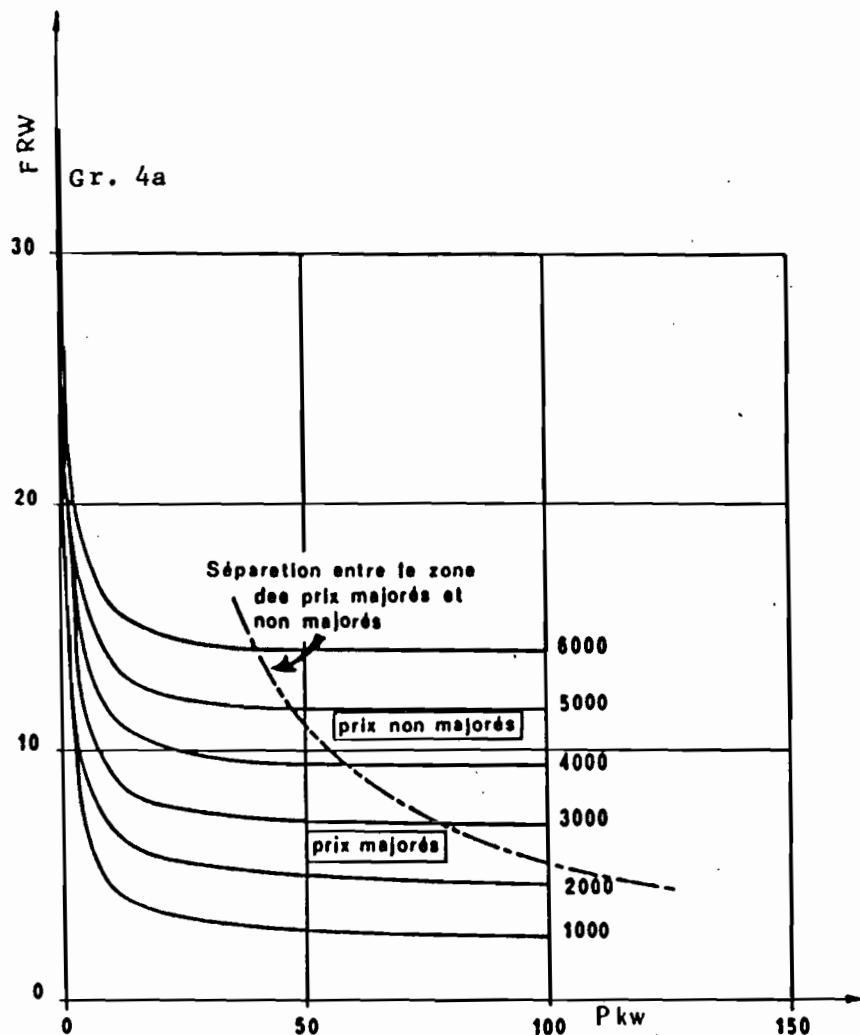
(2) Interdire de repasser en dehors des heures 8 à 10 et 12 à 16.

(3) Equiper les chauffe-eau d'horloges ou demander au gardien d'allumer les chauffe-eau seulement à partir de 22 H. De même avec les stérilisateurs.

(4) Les totaux peuvent être supérieurs à 40 KW car ils ne tiennent pas compte de l'intermittence des consommations marquées (I).



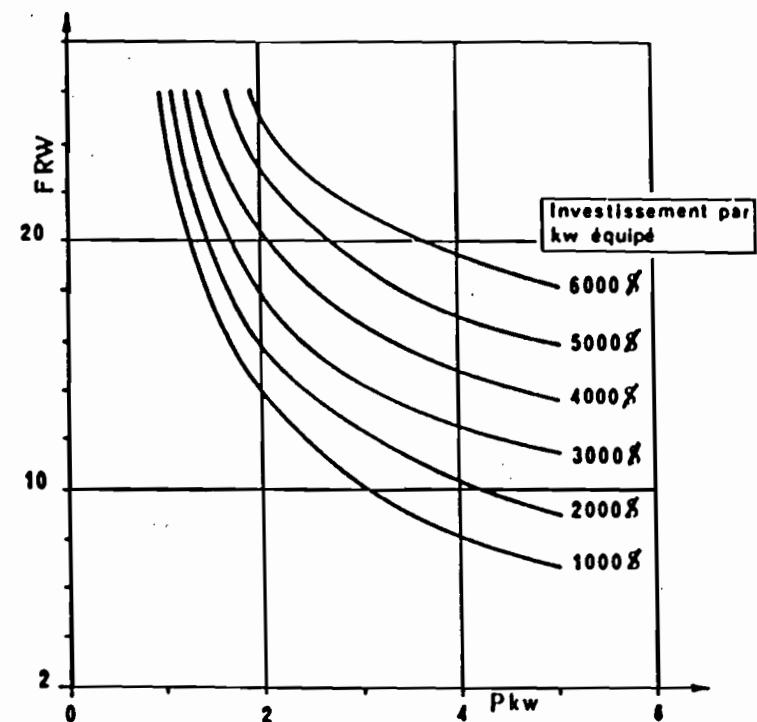
Prix du kwh produit en fonction de l'investissement I par kw de puissance installée pour un coefficient d'utilisation Ku donné de la centrale



11

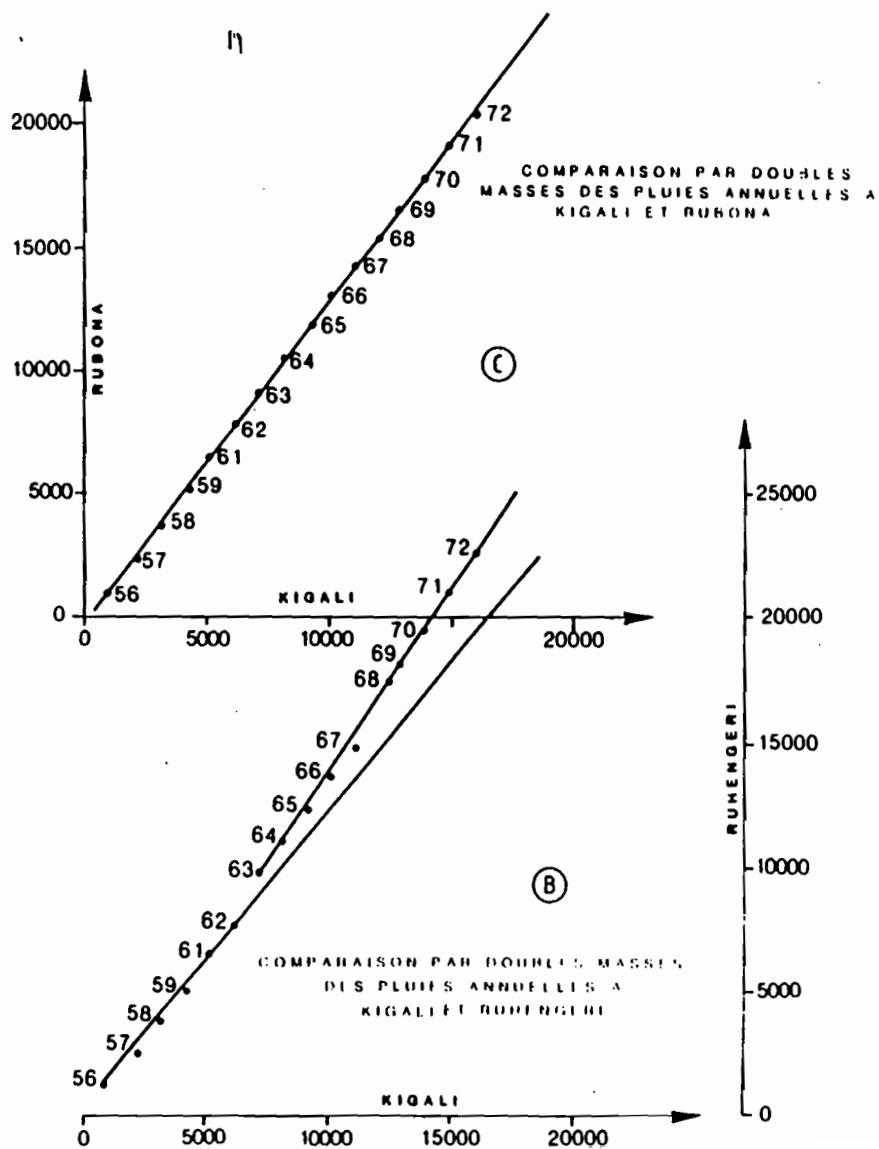
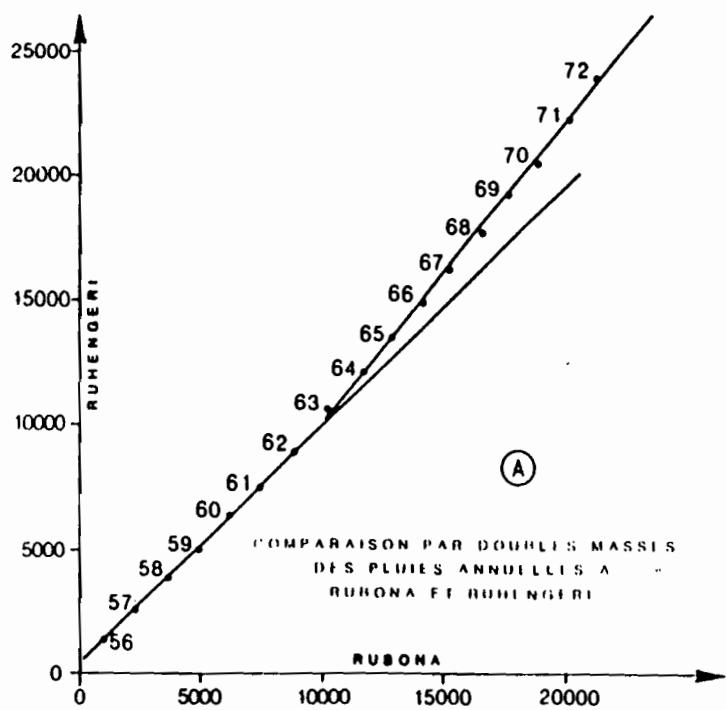
Gr. 4b

Agrandissement des courbes entre 1 et 5 kw

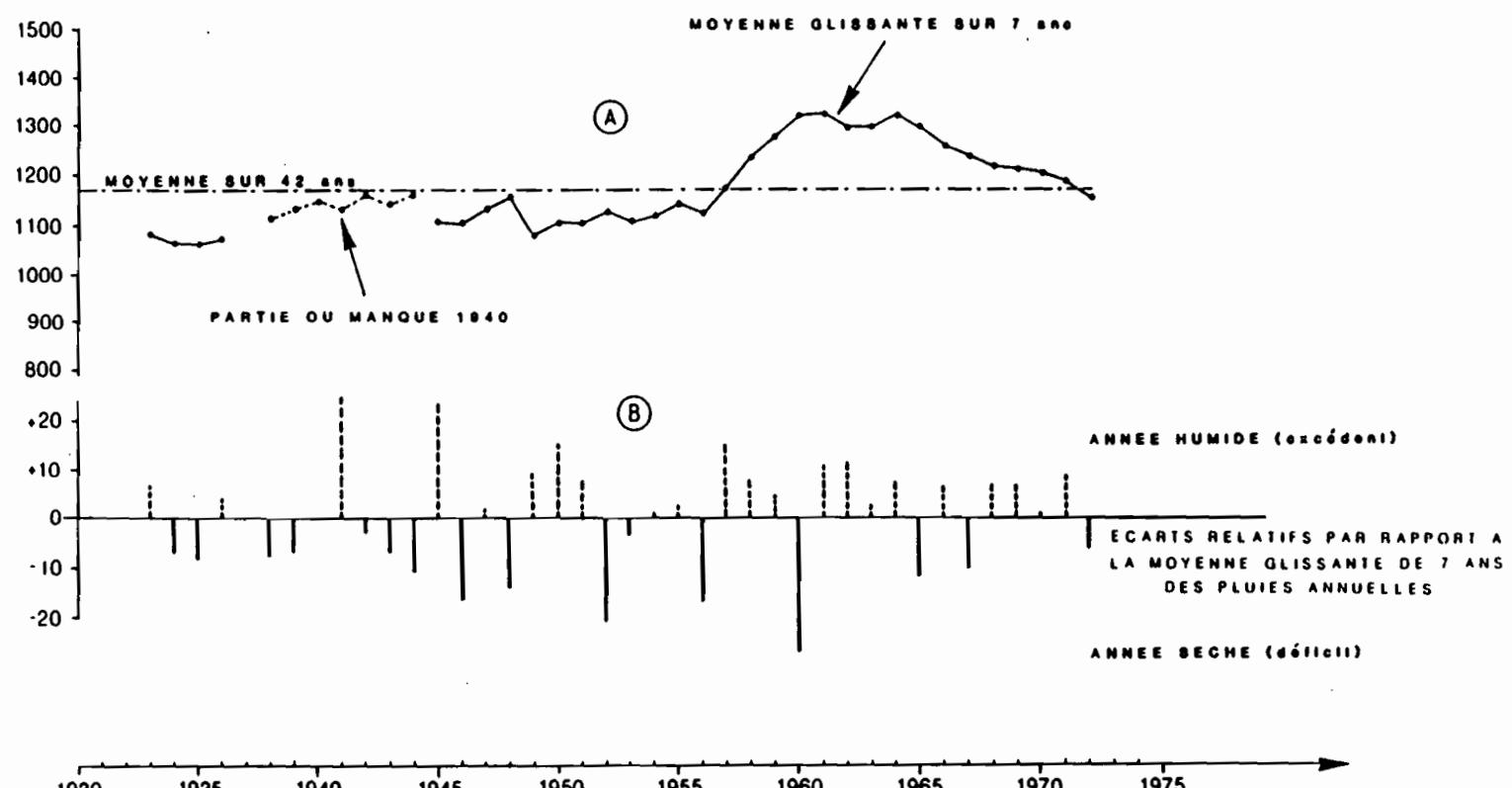


Gr. 4. Prix du kwh produit pour des centrales nécessitant un investissement inférieur à 240 000 \$ US pour $K_u = 0,6$

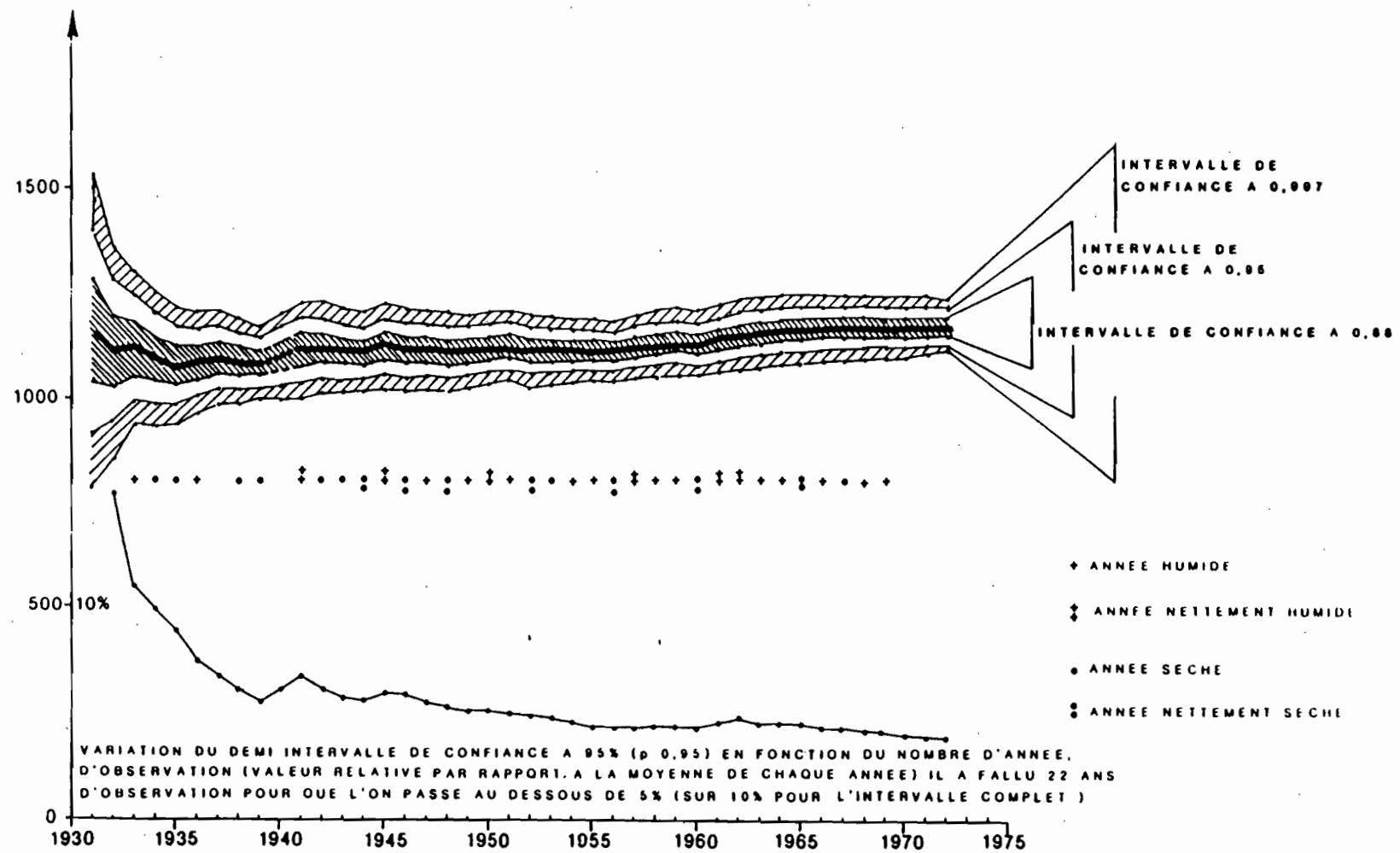
Gr. 5
METHODE DES DOUBLES MASSES

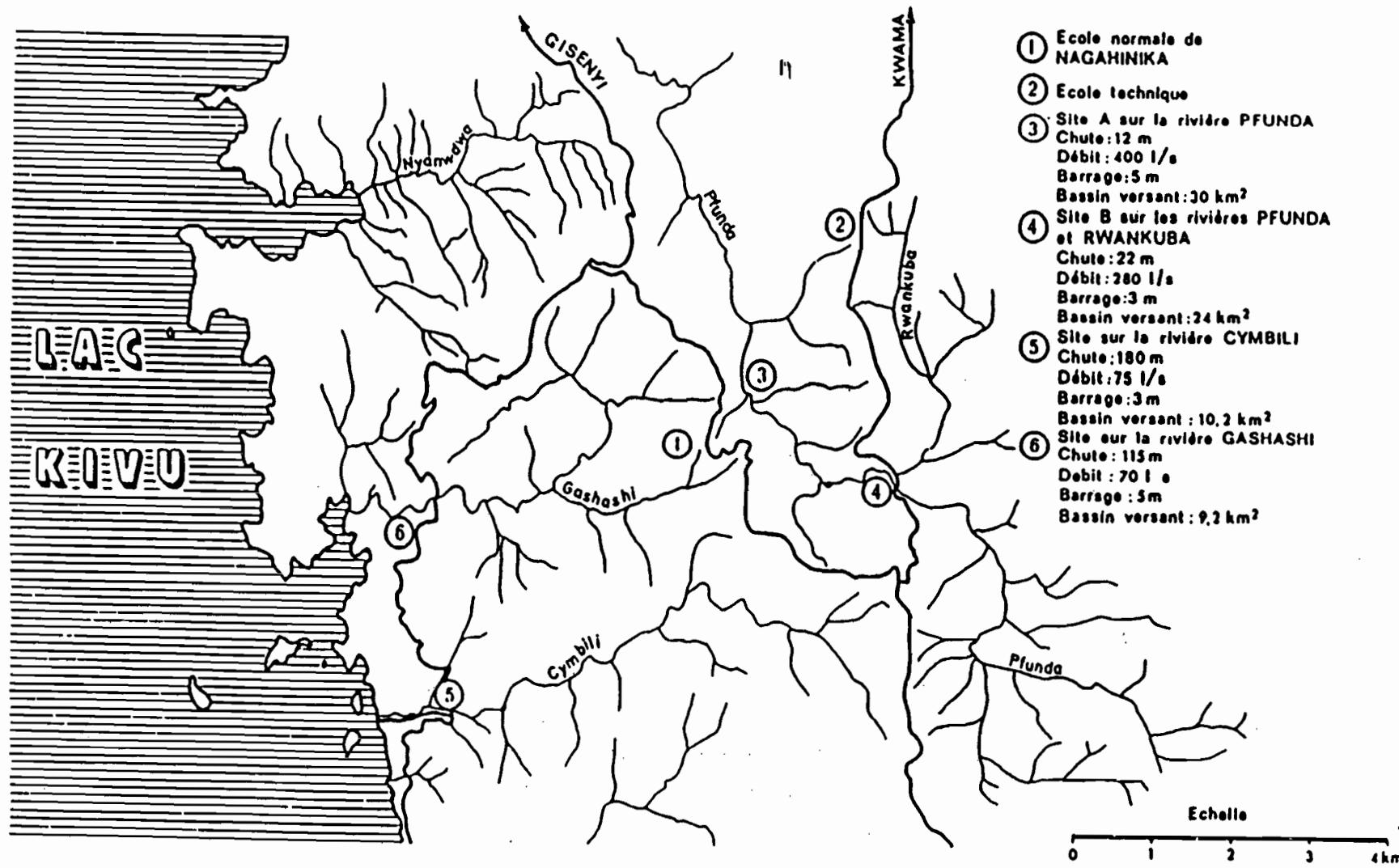


II



Gr.6 PLUIE A RUBONA





Carte n° 1
d'après B.I.P. Pierre

Carte No. 1 Sites possibles pour une microcentrale destinée à alimenter l'Ecole Normale de Nagahinika et l'école technique voisine

