



TOGETHER
for a sustainable future

OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50th anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



TOGETHER
for a sustainable future

DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

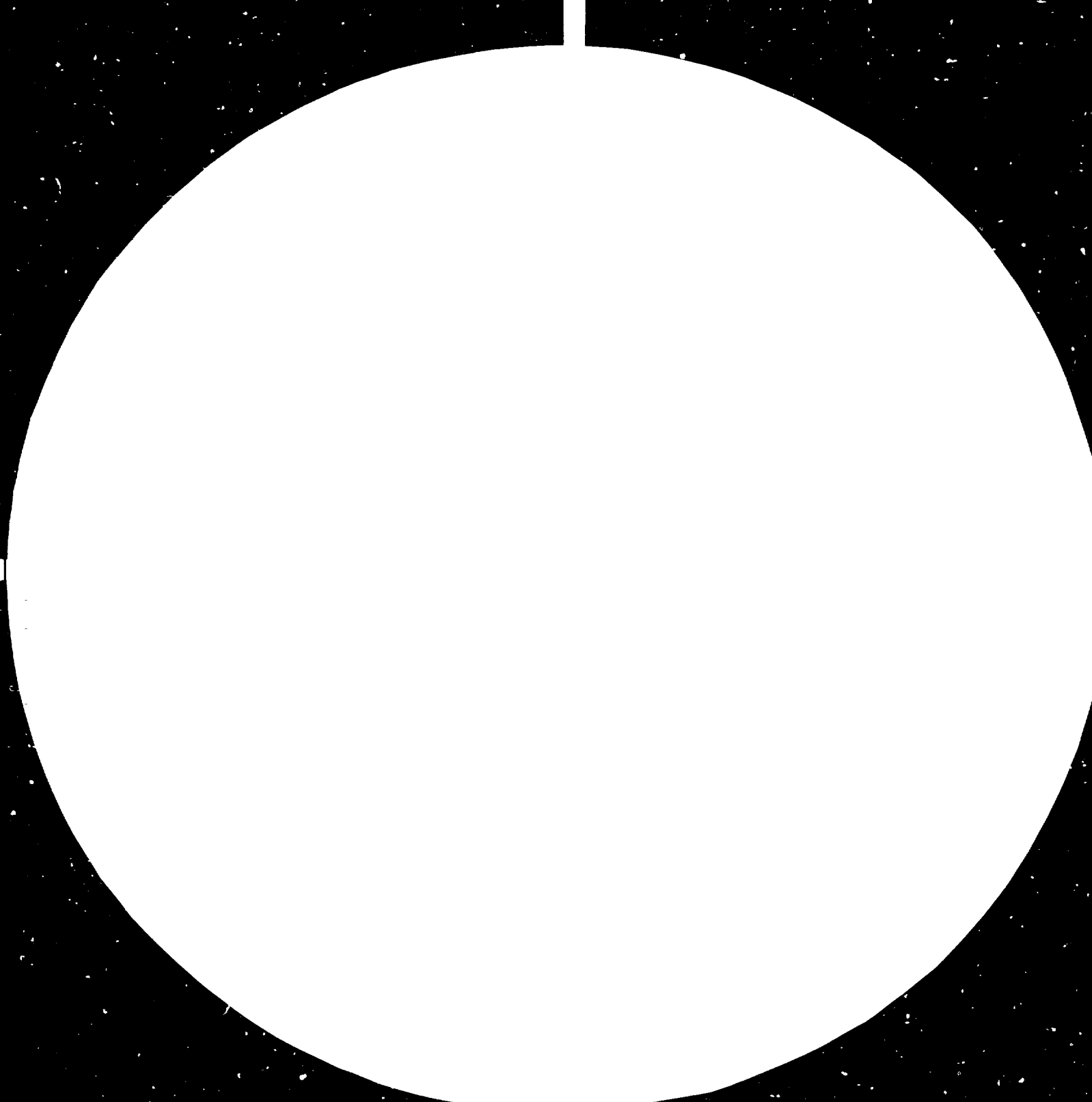
FAIR USE POLICY

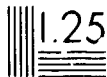
Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

CONTACT

Please contact publications@unido.org for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at www.unido.org





1.5

2.2

Resolution test chart for 2.0. It consists of a group of five vertical lines on the left and a group of five horizontal lines on the right, with the number "2.0" printed in the center.

2.0

Resolution test chart for 1.8. It consists of a group of five vertical lines on the left and a group of five horizontal lines on the right, with the number "1.8" printed in the center.

1.8

Resolution Test Chart (NBS 1963-A)

(k) DEVELOPPEMENT DES SOURCES D'ENERGIE POUR LA
REPUBLIQUE DU CAMEROUN

DP/CMR/80/011

CAMEROUN

Rapport d'étude *

par

CARLO MUSTACCHI

Expert de l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel,
Organisation chargée de l'étude du projet pour le compte du
Programme des Nations Unies pour le développement

* Ce rapport d'étude a été reproduit tel quel.

Notes explicatives

Les appellations employées dans ce rapport et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part du Secrétariat des Nations Unies aucune prise de position quant au status juridique du pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières et limites.

La mention dans le texte de la raison sociale ou de produits d'une société n'implique aucune prise de position en leur faveur de la part de l'Organisation des Nations Unies pour le Développement Industriel.

Table des matières

	1. Objectif de la mission	p. 3
	2. Généralités	p. 4
(1)	3. Sources classiques d'énergie primaires et secondaires	p. 7
-	3.1 Pétrol	p. 7
-	3.2 Gaz naturel	p. 8
-	3.3 Bois	p. 8
-	3.4 Hydroélectricité	p. 9
-	3.5 Électricité au Cameroun	p. 10
-	3.6 Uranium	p. 12
(2)	4. Ressources énergétiques renouvelables	p. 13
	4.1 Hydraulique	p. 13
	4.2 Biogaz	p. 14
	4.3 Solaire	p. 20
	4.4 Energie éolienne	p. 24
	4.5 Biomasse	p. 25
	5. Consommation et ressources limites	p. 27
	6. Transportabilité de l'énergie	p. 30
	7. Actions à prendre	p. 34
	8. Institutions ou personnes contactées	p. 37
	9. Documents d'intérêt	p. 39

1. Objectif de la mission

La mission au Cameroun de l'expert qui a eu lieu du 20 Juillet au 20 Août 1981 a été celle de:

- évaluer le potentiel des sources d'énergie
- déterminer le programme de développement énergétique
- formuler des recommandations concernant les priorités de développement.

L'expert remercie toutes les Autorités Camerounaises pour leur efficace collaboration à la construction du tableau énergétique. Il remercie également M. Waly Shah Waly, représentant du P.N.U.D., et surtout, M. A. Benbouali de l'ONUDI, qui avec ses conseils illuminés et son dynamisme a rendu possible de concentrer dans un laps de temps si limité l'analyse d'une réalité très complexe.

2. Généralités

Le Cameroun s'étend sur une surface de 475000 km² en s'étalant sur un triangle de base de 700 km et de hauteur d'environ 1200 km (entre 2° et 13° Nord).

Son étendue verticale, ses hauts reliefs (Mont Cameroun 4100 m, Chaîne de l'Adamaoua, jusqu'à 3000 m) et sa côte atlantique (320 km) constituent un spectre climatologique très complet, qui va du subéquatorial humide au sud au Sahélien sec à l'extrême nord.

Les températures moyennes annuelles s'étalent entre 20° et 35° et les pluviosités entre 10000 mm (Debundscha - record mondial) et 300 mm (lac Tchad). La densité de population est très inégale (environ 100 hab/km² dans la province de l'Ouest, 3 hab/km² à l'Est).

Les projections démographiques donnent une population d'environ 14 millions pour l'année 2000 (*), en passant de 52% de population active (1980) à environ 35% avec une vie moyenne qui passera de 48 ans en 1980 à 55 en 2000.

Le PIB actuel est d'environ 1400 milliards de CFA (650 \$/an x habitant) avec une augmentation annuelle moyenne de 17% (10% réel).

Les revenus de l'activité primaire (environ 500 milliards de CFA) sont répartis comme suit

agriculture	73%	(57% vivrière, 16% industrielle)
élevage	16%	
sylviculture	7%	(5.2% chauffage, 1.8% bois)
pêche, chasse	4%	
	<hr/>	
	100%	

(*) - 35% de la population active, urbaine 7.2 millions, rurale 6.6 millions, 3 millions dans le primaire, 4.2 dans le secondaire.

Les produits de l'agriculture industrielle, source du principal revenu pour la population, se chiffrent en:

<u>Produit</u>	<u>Production (t/an) 1981 (estimée)</u>	<u>Contribution au PIB, milliards de CFA</u>
Cacao	90 000	40
Café Robusta	80 000	40
Café Arabica	30 000	16
Bois	1000 000	26
Coton	20 000	5
Bananes	80 000	1.2
Caoutchouc	20 000	1.2
Tabac	3 000	1
Palmiste, huile	15 000	0.7
Arachide	200 000	-
Sucre de canne	60 000	-

La production vivrière (consommation intérieure) produit environ 800 000 t/an de céréales (mil, sorgho 400 000 t, mais 350 000 t, riz 42 000 t).

L'élevage, qui contribue au PIB avec 60 milliards de CFA produit 150 000 t/an de viande (20 kg/personne x an).

La pêche (50 000 t/an) est en régression.

Les activités secondaires (220 milliards de CFA/an) sont, en pourcentage

Industrie des bâtiments	32%
Boissons, tabac	16%
Textiles	1%
Alimentaires	8%
Electricité, gaz, eau	8%

Bois	8%
Chimie	4%
Minéraux	3%

Il existe d'importants gisements de cassitérite et de bauxite, non exploités.

3. Sources classiques d'énergie primaires et secondaires

3.1 Pétrole

Depuis 1977 Elf, Shell et Gulf exploitent des gisements de pétrole offshore (800 000 t en 78, 1 400 000 t en 79, 3 000 000 t en 80). La production, qui a atteint 4 à 5 millions de tonnes par an, semble pouvoir être poussée jusqu'à 20 ou 30 millions de tonnes par an si l'Etat Camerounais le décidait. Les réserves probables sont de l'ordre de 1 à 2 milliards de tonnes (2000 ans au taux de consommation actuel). Les sociétés à participation d'état qui exploitent les gisements sont ELF-SEREPCA et PECTEN-CAMEROON (Shell). Au cours de 1981, la société SONARA a mis en fonction une raffinerie (Limboh) ayant une capacité initiale de 1.5 millions de tonnes, extensible à 2 millions. Cette raffinerie constitue un investissement de 70 milliards de CFA (260 millions de \$). Les importations de produits pétroliers actuelle (1981) sont d'environ 720 000 t, pour une valeur de 150 millions de \$/an. Les consommations, qui augmentent en moyenne de 8% par an se distribuent comme suit :

	% en poids
essence super	20
" normale	11
gasoil	48
kerosene	11
mazout (fuel oil)	8
lubrifiants, etc.	2
	<hr/>
	100

Sauf une moindre partie dédiée aux transports, le gasoil est consommé par les centrales thermiques. Le kérosène est intégralement utilisé pour la cuisine et l'éclairage, surtout dans les régions du Nord, peu boisées.

3.2 Gaz naturel

La Société Nationale Hydrocarbures (Etat, Elf, Coast Oil, Mobil, Shell, Total) a découvert des réserves de gaz à Logbaba (SW) d'au moins 400 milliards de m³ (soit 50 années de la consommation actuelle, d'hydrocarbures). Le gisement n'est pas encore exploité faute d'infrastructures d'exportation (liquéfaction), d'utilisation (pétrolchimie) et de distribution (gazducts).

3.3 Bois

40% environ de la surface du pays est boisée (15 à 20 millions d'ha) avec une production annuelle de biomasse potentiellement exploitable d'au moins 150 millions de tonnes par an auxquels on peut ajouter quelques 100 millions de tonnes de déchets végétaux.

En admettant que 30% du bois soit utilisé dans le futur par l'industrie de la transformation et de la cellulose et que le reste soit utilisé comme ressource énergétique, les 200 millions de tonnes de biomasse résiduelle produite chaque année constitue une source d'énergie 100 fois plus grande que la consommation actuelle d'hydrocarbures.

Les permis d'exploitation actuels couvrent 6 millions d'ha et permettent d'exporter environ 1 000 000 t/an de grumes (sappeli, acajou, ébène, azobé, iroko, fro

mager etc.). Au moins 70 ateliers de sciage Camerounais, 20 menuiseries modernes, 5 implantations de déroulage et tranchage utilisent, entr'elles 2 à 300 000 t/an (on produit entre autre 20 000 t/an de placage). Une industrie de Cellulose (CELLUCAM) produit 122 000 t/an de pâte à papier (fibre moyenne) à partir d'un poids équivalent de grumes.

3.4 Hydroelectricité

Avec un taux de précipitations annuelles échelonné entre les 10 000 mm du Mont Cameroun et les 300 mm des bords du lac Tchad, le Caméroun jouit d'une pluviométrie moyenne de 3000 mm environ, soit une masse d'eau de quelques 1.4 trillions de m³ d'eau, disponible à une hauteur moyenne de 500 m. En admettant même que seulement moitié de cette eau soit disponible dans des emplacements où l'on puisse utiliser le 5% de sa hauteur piézométrique, le Cameroun disposerait de ressources hydrauliques potentielles de l'ordre de 16 000 MW de puissance moyenne, soit environ 60 000 fois sa consommation présente d'électricité (à l'exclusion de la production d'aluminium).

En ce moment, de ce potentiel de 140 milliards de kWh/an, 1.2 milliard est extrait au barrage de Sanaga (Edéa). La plus grande partie de cette énergie (environ 800 millions de kWh/an) est exportée sous forme d'aluminium.

En effet, l'ALUCAM (Groupement Pechiney) produit 50 000 tonnes d'aluminium par an à partir d'alumine importée de Guinée (environ 35 000 t exportées en 1979).

Il est utile de se pencher sur cette industrie qui, à elle seule "utilise" le 60% de l'électricité produite au Cameroun.

Cette industrie vend 12 milliards de CFA/an de métal brut et de tôle et achète 4 milliards CFA/an (2.7 alumine, 0.8 fluorure, 0.5 électrodes). Les investissements sont de l'ordre de 120 millions de \$/an, qui entraînent un amortissement de l'ordre de 3.5 milliards de CFA/an.

Même en attribuant toute la valeur ajoutée (4.5 milliards de CFA/an) à l'achat d'électricité (800 000 MWh/an), l'ALUCAM payerait son énergie au plus 5.6 CFA/kWh..

Par contre, le prix de l'électricité distribuée au consommateur Camerounais est de 39 CFA/kWh (triphase) ou 49 CFA/kWh (éclairage) soit, en moyenne, 6 fois plus que l'électricité exportée.

3.5 Electricité au Cameroun

En 1963, sur une distribution globale de 1100 GWh, l'usine d'ALUCAM en absorbait 1015, soit le 92%. Ces 18 ans, la production est augmentée en moyenne, de 0.63% par an, la production d'aluminium a regressé de 1.52% par an et les autres utilisations ont augmenté de 10.9% par an.

Aujourd'hui, ces utilisations sont d'environ, 500 GWh/an soit de 60 kWh/an x habitant.

Il n'est pas pensable d'alimenter le réseau électrique rien qu'avec le barrage du Sanaga, même agrandi: le débit passe de 7000 m³/sec en octobre à quelques centaines de m³/sec au printemps (minimum 150 m³/sec).

Ainsi, en 1982 sera en fonction le barrage et la centrale de Song Loulou (entre Yaoundé et Douala) qui pourra doubler la production actuelle d'électricité et en conséquence, la production d'aluminium.

L'électricité au Cameroun est distribuée par la SONEL (Société d'Etat). La puissance installée est environ 320 MW dont 263 MW à Edéa:

Edéa 1 : 2 x 11.36 MW + 1 x 11.4 MW

Edéa 2 : 6 x 20.82 MW

Edéa 3 : 5 x 20.82 MW

et le reste (64 MW) distribué entre 30 centrales, dont 4 hydro et 26 thermiques. Les principales sont:

	<u>Puissance MW</u>	<u>Production GWh/an(1978)</u>
Yaoundé	19	8
Douala	12.5	5.8
Garoua	25.5	51.6
Sud W, N.W.	7.5	0.8

La Centrale de Song Loubou aura 288 MW nominaux (6 x 48 MW) et 210 MW garantis. Les 2 milliards de kWh/an qui iront s'ajouter à la production actuelle permettront à l'ALUCAM et la Cellulose du Cameroun d'absorber 2.5 milliards de kWh/an.

En cours de construction une centrale de 54 MW à Lagdo sur la Bénoué (investissement 20 milliards de CFA).

En cours d'étude la réalisation des centrales de Nachtigal, Njock, qui avec un investissement de 30 milliards de CFA pourraient contribuer 2.5 milliards de kWh/an.

Le réseau de distribution en 1980 comptait 215 km de lignes à 90 KV et 1000 km de lignes à 30 KV. Il s'étend d'environ 300 km/an.

La clientèle de la SONEC augmente de 12%/an (92 500 en 1978, 130 000 en 1981). Le chiffre d'affaires de la SONEC est passé de 7.5 milliards de CFA en 1974 à 13.5 en 1978 avec des investissements cumulés de 43 milliards de CFA en 77.

3.6 Uranium

En 1978, des gisements uranifères ont été découverts à Martap (près de Ngaoundéré). Les réserves ne peuvent pas être estimées puisque les échantillons ont été minéralisés par hydrodépôt, ce qui fait soupçonner d'importants gisements souterrains qu'on doit encore percer et analyser.

4. Ressources énergétiques renouvelables

4.1 Hydraulique

Les ressources renouvelables principales de Cameroun sont en tout premier lieu les ressources hydrauliques et forestières.

Multiplier par dix la production de puissance hydraulique moyennant une série de grandes centrales et de mini-centrales est possible et devrait être prioritaire dans un plan de développement.

Quant au bois (branches, déchets) exploité de façon structurée, il peut aussi suffire tout seul à toutes les exigences d'énergie du Cameroun. Toutefois, soit la puissance hydraulique que le transport de biomasse demandent un effort énorme en infrastructures, et notamment, pour l'énergie hydraulique:

- . barrages
- . canaux dérivation
- . installation de turbines et alternateurs
- . lignes haute et moyenne tension
- . sous-stations
- . réseau basse tension.

Rien que les deux derniers postes coûtent, dans le centre-sud au moins 200 \$ (50 000 CFA) par habitant desservi, chiffre qu'on peut déduire par exemple à partir des investissements SONEL pour la distribution rurale Centre-Sud financés par les Canadiens (36 millions de \$ pour desservir 180 000 habitants des alentours de Yaoundé).

L'Ecole Polytechnique de Yaoundé s'est penchée sur le problème des mini-centrales, à la requête du Ministère des Mines et Energie, mais pour au moins quelques uns des sites examinés, il se pose des forts problèmes. Entre autres :

- . fluctuations importantes de débit (Saison sèche)
- . manque de hauteur de chute parhaussement du profil hydraulique en aval, en période de pluies
- . difficultés logistiques d'entretien de mini-centrales loin des grands centres.

4.2 Biogaz

Les activités de recherche et construction de prototypes pour applications rurales du biogaz sont déjà très avancées au Cameroun, qui dans ce domaine peut se considérer à l'avant-garde par rapport aux autres pays de l'Afrique.

Environ 20 installations sont en fonction (fermes, hôpitaux ruraux), et d'autres sont en phase d'étude ou de construction. Les institutions actives dans ce domaine sont :

- Le CNEEMA (réalisation de la plupart des installations opérationnelles)
- L'Ecole Polytechnique (fermenteur pilote)
- L'IRGM (études de faisabilité)
- FEMEC (pilote).

Les travaux du CNEEMA (M.R. Wesemberg) ont commencé en janvier 79 et se poursuivent couramment, en collaboration avec la Coopération de la R.F.A..

Ils ont consisté dans :

- construction de prototypes avec des différents arrangements
- évaluation des coûts
- conseil et assistance aux exploitants.

Pour fin 1982 on prévoit environ trente installations et un achèvement des activités suivantes:

- amélioration des prototypes
- filtrage des gaz
- utilisation du résidu
- élaboration d'un programme d'extension.

Les déchets utilisés sont soit humains ou animaux et végétaux.

Dans les régions boisées du Sud où l'élevage des bovins est impossible (mouche tse-tse) et avec des exploitations agricoles de quelques ha, les ressources en déchets naissent de quelques porcs, poules, chèvres équivalentes à 3 unités de gros bétail.

A proximité des agglomérations, par contre, et dans les aménagements agricoles intégrés on peut compter sur les élevages intensifs de poules, porcs. Le limon organique peut être utilisé à l'endroit comme engrais des jardins maraîchers.

Dans le N et le NW du Cameroun, l'élevage est normale et on ne peut pas, en général compter sur les exploitations intensives comme source de fumier à fermenter. Les installations peuvent ici exploiter les eaux noires des écoles et des hôpitaux (assainissement).

Dans l'ensemble, à l'estimation du CNEEMA, on peut compter dans les prochaines années sur un total d'installations possibles de l'ordre des 300 installations de 10 m^3 chacune.

Les installations existantes sont presque toutes distribuées entre Douala et Bamenda. Une des installations est du type indien "Gobar", à puits avec cloche flottante cylindrique. Les autres sont constituées par un bassin en parpaing environ $4 \text{ m} \times 1.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$ coiffé par une cloche rectangulaire en tôle d'acier galvanisé.

Une agitation manuelle permet de contrôler les écumes et de limiter la sédimentation.

Les conditions d'opération moyennes (fermenteur non chauffé) sont :

temperature 30°C , $\text{pH}=7.5$, production $1 \text{ m}^3/\text{jour}$ par m^3 de fermenteur

charge : fumier dilué 1:3 avec de l'eau
environ $15 \text{ kg}/\text{jour}$ de fumier par m^3 de fermenteur
(1 tête de bétail)

A l'état présent, le CNEEMA peut fabriquer et fournir aux utilisateurs les cloches en tôle à un prix de l'ordre de 250 000 CFA. L'installation complète coûte 30 000 à 60 000 CFA/ m^3 .

En admettant un prix moyen de 50 000 CFA/ m^3 , une production de $300 \text{ m}^3/\text{an}$ et un temps de vie de 10 ans (maçonnerie 15 ans, cloche 5 ans), le biogaz coûte - rait environ $17 \text{ CFA}/\text{m}^3$, c.à.d. $25 \text{ CFA}/\text{m}^3$ de méthane.

Ceci en négligeant d'un côté le travail de chargement, déchargement, vidange, nettoyage et d'autre part la valeur en engrais du liquide épuisé.

Ainsi, moyennant un investissement d'environ 50 000 CFA/m³ en installation de fermentation on pourrait économiser en énergie l'équivalent de 600 kg de bois par an ou 200 litres de kérosène par an.

Etant donnés les prix courants du bois (20+30 CFA/kg) et du kérosène (60-70 CFA/kg) les installations de biogaz semblent pouvoir se repayer en 5 à 10 ans.

Il y a toutefois des problèmes non résolus dans cette technologie :

- difficulté de transporter des grandes cloches en brousse
- corrosion des cloches qui parfois durent moins de 2 ans
- nécessité du nettoyage et vidange périodique
- manque d'eau pour alimenter le digesteur là où se trouve le bétail
- fêlure de la maçonnerie des puits et des bassins.

Quoi, qu'il en soit, en admettant que les 300 installations soient réalisées au cours du prochain plan quinquennal, on disposerait en tout d'environ 300 m³/jour de biogaz, équivalents thermiquement à environ 1.5 t/jour d'hydrocarbures ou 6 t de bois, ce qui, à part l'intérêt académique ou des applications locales très spécifiques n'a aucune importance sur le plan de la stratégie énergétique globale et même rurale.

Il ne faut pas négliger cependant les aspects d'assainissement et d'utilisation comme engrais.

A titre d'exemple, le CNEEMA a réalisé pour un hôpital [19] une installation (fosse de récolte 3 m³, chambre de décomposition avec cloche 5 m³, fosse découlement 0.7 m³) à un prix d'environ 550 000 CFA pour produire 8.4 m³ de biogaz par jour à partir des latrines de l'hôpital même. Ce gaz est utilisé pour la cuisine et l'engrais résidu, après vérification de la disparition des germes pathogènes, pourra être utilisé dans des plantations de café.

Les caractéristiques de quelques unes des installations prototypes en fonctionnement au Cameroun sont:

<u>Emplacement</u>	<u>Volume</u>	<u>Matière première</u>
Douala	2.5	déchets ménagers
"	12	déchets volaille sans litière
"	9	déchets volaille avec litière
Nkongsamba	9	déchets porcins
Bandjoun	9	" "
Bandjoun	9	dejections humaines
Bamenda	12	déchets bovins
Pitoa (Garoua)	2 x 9	déchets abattoirs
Bamenda-Bafoussam	2 x 9	" "
Nertoua	9	déchets ferme

Les déchets disponibles sont :

déchets porcins	2.25 kg de matière organique/jour par tête		
déchets de volaille	0.18	"	"
déchets bovins	15	"	"
déchets humains	0.4	"	"

Le volume des digesteurs CNEEMA sont choisis pour un temps de séjour dans la chambre de décomposition de 45 j à 30°C.

D'après le CNEEMA il y a un avantage dû au remplacement du bois par le biogaz à cause du faible rendement du bois utilisé pour la cuisson (17%) et du bon rendement thermique du gaz.

L'Ecole Polytechnique de Yaoundé a en cours de réalisation une installation à N'SIMALEN qui, avec un investissement de 1.2 millions de CFA, pourra produire environ 9 m³/jour de biogaz à utiliser pour la cuisine et un réfrigérateur à absorption de 60 litres.

En plus, un pilote de 3 m³ du type indien (cloche cylindrique et puits en parpaing) est utilisé auprès de l'école même pour l'évaluation des rendements de gazéification.

L'installation de N'SIMALEN (12 m³ de cuve) démontre que les coûts (acier cloche 200 000 CFA, sable gravier + ciment + fer + parpaing 450 000 CFA + main d'oeuvre) sont toujours dans l'ordre des 80 000 CFA d'investissement par m³ de gaz produit par jour. Le prix de revient du biogaz, avec une vie moyenne de l'installation 5-7 ans, est donc au moins de 40 CFA/m³, si on néglige le travail de chargement, déchargement, nettoyage, entretien etc.

Aux difficultés pratiques déjà décrites ci-dessus il faut aussi ajouter les problèmes de broyage des déchets agricoles (épis de maïs, cabosses de cacao etc.) dans les villages. Ce broyage est nécessaire pour pouvoir fermenter ces produits.

L'école polytechnique constate que si la cuisine et le fonctionnement des réfrigérateurs ne pose pas de problèmes (sauf le coût : un réfrigérateur de 60 l. coûte 100 000 CFA), l'éclairage est difficile à réaliser (basse luminosité du manchon).

En tous cas, sauf pour quelques dizaines d'applications ponctuelles dans autant de fermes organisées et modernes, le prix de revient du biogaz ne permet pas à celui-ci d'empêcher la diffusion du kérosène (60-100 CFA/litre) même là où le bois manque.

Il y a toutefois lieu de faire des remarques pour l'amélioration même de ces installations ponctuelles:

- les bassins de fermentation des prototypes réalisés jusqu'à à présent sont réalisés en parpaing non armé, ce qui limite leur durée dans le temps et porte inévitablement à la fissuration
- les cloches à section rectangulaire ne font pas bon usage des tôles d'acier. La forme cylindrique est à préférer
- une agitation même rudimentaire des cuves doit être réalisée
- un système de guidage et de contrepoids des cuves est à réaliser pour empêcher l'incastrement des cuves.

4.3 Solaire

Il existe une série de mesures réalisées par la Météo Nationale dans environ 20 stations des durées d'ensoleillement.

Ces mesures couvrent des périodes de 5-15 ans et sont donc amplement suffisantes pour garantir un bon niveau

de confiance statistique. Le rayonnement global n'a été mesuré que pendant 3 ans environ dans le seul site de YAOUNDE. Ces dernières mesures sont cependant utiles pour établir avec bonne approximation une corrélation d'Angstrom du type

(rayonnement global / rayonnement extra-atmosphérique)

$$= a \times (\text{durée ensoleillement} / \text{durée théorique}) + b$$

avec des valeurs moyennes $a = 0.57$, $b = 0.22$

Cette corrélation peut être retenue comme valable pour tout le territoire du pays, puisque ses coefficients ne sont pas différents de ceux qu'on trouve dans les pays du Sahel (Mali, Niger, Sénégal) et des pays atlantiques de l'Afrique de l'Ouest (Ghana, Nigéria).

Ainsi, par exemple, à Yaoundé le rayonnement global sur une surface horizontale est :

Mois	Rayonnement journalier sur surface horizontale Wh/m ² jour
J	4647
F	4914
M	4972
A	4960
M	4623
J	3694
J	3404
A	3311
S	3868
O	4507
N	5123
D	4774

La moyenne annuelle (4.4 kWh/m² jour) diminue au plus

de 25% pendant la pointe de la saison des pluies (3.3 kWh/m² jour) ce qui fait entrevoir l'exploitabilité d'engins solaires même dans cette saison. Toutefois, on peut estimer que pendant la période de juin à septembre, environ 60% de cette énergie est constituée par du rayonnement diffus, ce qui empêche l'utilisation rentable d'appareils à concentration (focalisation par miroirs ou lentilles).

Par contre, les 3.3 kWh/m² jours sont suffisants pour des applications telles que le séchage ou l'exploitation de cellules photovoltaïques même pendant la saison des pluies.

La R.U.C. n'a entrepris à l'heure actuelle que des activités très limitées dans le domaine de l'énergie solaire. A part les activités de la Météorologie Nationale, l'Ecole Polytechnique de Yaoundé a réalisé un séchoir solaire prototype (1 m² de capteur à air) et l'I.R.G.M. dispose d'un certain nombre de têtes de mesure Eppley (pyranomètres pour rayonnement global) qui seront installées dans des différentes stations d'observation. Deux groupes de pompage solaire (1 HP) sont en cours d'installation dans le Nord du pays.

On peut résumer comme suit le potentiel des différentes utilisations:

- chauffe-eau : ne profiterait qu'une moindre fraction de la population urbaine (hôtels, hôpitaux) et ne justifie pas la mise en route d'une production locale de capteurs plans. Le marché international est déjà sursaturé de ces produits, qui en tout cas ne peuvent coûter que quelques milliers de dollars par an en devises. Il faut éviter de répéter les expé -

- riences négatives des pays voisins (Mali - arrêt de la production après deux ans par manque de marché - Niger - petite production coûteuse et sans marché)
- distillation : La R.U.C. ne manque pas de tables d'eau potable et soulever l'eau, partout dans le pays, aurait un coût énergétique moindre par rapport à la distillation d'eaux de surface contaminées ou saumâtres
 - pompage : soit thermique-solaire que photovoltaïque, entraînerait des coûts équivalents de 300-400 CFA/kWh contre 15-20 CFA/kWh du pompage à gasoil ou essence. En plus, les plusieurs dizaines d'expériences négatives en Afrique et ailleurs (Iles Cap-Vert, Sénégal, Mali, Niger etc.) montrent qu'avec le niveau d'entretien disponible dans les régions rurales, la fiabilité des groupes de pompage solaire est très basse (vie moyenne deux ans).
 - séchage : application potentielle très intéressante pour la R.U.C. et notamment pour le bois, les herbes médicinales, le cacao, le café, le maïs, le riz. Ceci surtout pendant la saison des pluies, où le séchage traditionnel à l'air entraîne des pertes considérables.
 - communications par faisceau hertzien alimenté par cellules: applications potentielles rentables, surtout pour établir un réseau qui desserve les villages éloignés, les dispensaires, etc.
Aux prix actuels on peut estimer le coût de l'énergie engendrée par cellules solaires aux environs de 250 CFA/kWh. Il se peut que dans quelques endroits

ce prix soit avantageux plutôt que la construction d'une ligne pour le transport de faibles puissances à grande distance. En général les applications à envisager sont celles où les puissances ne dépassent pas les 500 watt à des distances d'au moins 50 km d'une ligne électrique.

- refrigération et climatisation : ne justifient pas une industrie locale de production des engins, mais se prêtent à des applications "spot": par exemple, groupes à absorption Yazaki pour climatiser hôtels, dispensaires etc. ou conserver des produits périssables (plasma, vaccins, antibiotiques) aux villages.

En général, un effort d'industrialisation n'est pas justifié dans le domaine solaire, ni souhaitable. Une activité de recherche, de vulgarisation et d'observation (fiabilité) sur petite échelle doit être encouragée, surtout pour permettre à l'IRGM de conduire avec réalisme les évaluations de faisabilité des petites applications "spot".

4.4 Energie éolienne

La Météo Nationale dispose d'amples données sur la direction et l'intensité des vents en R.U.C.

Il semble qu'on puisse compter sur des vents suffisants pour leur exploitation, aux deux extrêmes du pays. Le long de la côte et dans l'extrême Nord on peut compter sur des vitesses de l'ordre des 10 m/sec pendant plusieurs heures par jour à une hauteur de 10-15 m.

Toutefois, le long de la côte les autres sources énergétiques sont amplement disponibles (pétrole, gaz, hy-

dro. bois) et on peut s'attendre à pouvoir implanter quelques petits groupes éoliens rentablement seulement dans la province du Nord.

Le soulèvement de l'eau par accouplage mécanique direct semble être la seule utilisation susceptible de petites applications locales, avec des forts doutes sur la possibilité d'un entretien raisonnable et, par conséquent, d'une survie prolongée des appareillages.

4.5 Biomasse

Comme il a été déjà mentionné au point 2.3, le potentiel présent en biomasse (bois) est, en lui seul, suffisant pour couvrir la consommation énergétique de la R.U.C. Toutefois, le bois ne peut être transporté rentablement qu'à à 150-200 km de son lieu d'origine, ce qui exclut la possibilité d'approvisionner le Nord du pays. La transformation du bois et des déchets agricoles en charbon de bois par pyrolyse peut étendre la distance de transportabilité à 300-400 km et couvrir ainsi la plus grande partie du pays.

Il y a lieu toutefois de souligner le fait que le plus grand gain peut être réalisé surtout moyennant une meilleure gestion de l'utilisation. L'utilisation du bois étant principalement la cuisson des aliments, il est prioritaire de développer et diffuser l'utilisation de cuisinières à bois, charbon de bois, cocues, paille ayant un rendement thermique de 30 ou 40% pour substituer graduellement les méthodes de cuisson à feu ouvert qui actuellement consentent des utilisations d'environ 3-4%. Cette action seule peut radicalement augmenter d'un ordre de grandeur et plus les disponibilités

tés d'énergie dans les villages du Nord en empêchant le déboisement complet. Une action dans ce sens a été entreprise par I.R.G.M. avec le concours UNDP/UNIDO/FAO. Il est important que cette action soit poursuivie et amplifiée. En plus, il serait important d'entreprendre des études de reboisement énergétique dans le Nord en abandonnant les tentatives centrées sur les arbres, mais en s'adressant plutôt aux buissons. De nombreuses espèces, déjà sélectionnées pour la survie dans un milieu Sahélien (500 mm ou moins de pluie) peuvent se prêter aisément à la diffusion dans le Nord du pays et sont déjà préférées par les populations locales (simple combustion sans devoir découper les troncs, récolte par coupe-coupe, etc.). Cet aspect a été souvent négligé car la majorité des experts en silviculture ont tendance à être suivant la diction d'un fonctionnaire de la FAO, des "tree people".

5. Consommations et ressources limites

La situation énergétique 1981 de la R.U.C. peut se résumer comme suit.

Consommations 1981

Bois 3 000 000 t/an (cuisson, éclairage) = 1 kg/jour
x habitant

Hydrocarbures 600 000 t/an { 50% électricité
30% transports
10% cuisson, éclairage
10% autres

Electricité 500 GWh/an { 14% thermiques
(aluminium exclus) 86% hydro

60 kWh/an x habitant

Exportations 1981

Bois 1 000 000 t/an

Hydrocarbures 4 000 000 t/an

Electricité 800 GWh/an
(comme aluminium)

Le tableau suivant montre une estimation probable des mêmes données pour 1990, à condition de poursuivre de manière optimale, une politique de développement énergétique du pays.

Consommations 1990

Bois 3 000 000 t/an

Charbon de bois 1 000 000 t/an

Hydrocarbures 1 200 000 t/an { 60% électricité
20% transports
10% cuisson, éclairage
10% autres

Electricité	1 000 GWh/an	} 40% thermiques 60% hydro
-------------	--------------	-------------------------------

Exportations 1990

Bois	2 000 000 t/an
Hydrocarbures <u>liquides</u>	10 000 000 t/an
Gaz naturel	4 milliards m ³ /an
Produits pétrochimie	2 000 000 t/an

Le potentiel limite des ressources, exploitées au niveau supposé pour 1990, est en tous cas pratiquement illimité.

Une estimation prudentielle basée sur les quelques données disponibles peut s'établir comme suit.

Ressources limites (Gisements)

Gas naturel	400 milliards m ³
Pétrole	200 millions t
Hydroélectricité	25 000 GWh/an
Déchets forestiers et agricoles	200 millions t/an
Déchets humains et du bétail	2 millions m ³ /an (biogaz équivalents)
Ensoleillement	1.5 MWh/m ² an
Uranium	gisement non connu
Eolien	nombreux sites dans le Nord avec au moins 1000 heures/an de vitesse suffisante
Géothermique	sources chaudes en régions volcaniques (Sud-Ouest)

Ces ressources sont telles que la R.U.C., pour plusieurs

siècles, n'aura aucun problème de ressources énergétiques, ni de devises pour développer celles-ci. Les seules choix qui sont à faire concernent le transport sources-destinations et les priorités de mise en fonction des moyens de transport.

6. Transportabilité de l'énergie

Dans la suite, pour chacune des ressources d'énergie, on évaluera les moyens les plus appropriés de transport et les coûts de transport.

Pétrole

Les produits raffinés consommables dans l'intérieur du pays constitueront, dans les prochaines années 20-30% de la production totale de la raffinerie et, en tous cas, une petite fraction (quelques pourcent) du pétrole brut exploitable. Le transport du kérosène, de l'essence et du GPL par les moyens routiers coute environ 20-25 CFA par tonne-km. En attribuant au produit pétrolier raffiné un prix international moyen de 30 \$ par baril (159 litres), le prix de revient des produits pétroliers auprès de la raffinerie est environ 50 CFA par litre. A un prix de vente moyen au détail de 70 CFA par litre il est possible d'assurer la couverture du transport routier d'environ 1000 km, donc la couverture totale du pays. Toutefois il ne semble pas souhaitable de couvrir les besoins énergétiques du pays surtout avec les produits pétroliers, puisque ils constituent la forme d'énergie plus aisément exportable outremer et devrait par conséquent être considérés la source principale de devises étrangères pour développement du pays.

Gaz naturel

Cette ressource est difficilement exportable. Les grands investissements nécessaires pour la liquéfaction n'apparaissent pas justifiés, étant donné un marché très

compétitif pendant les prochaines années. Par contre, le gaz est la ressource la plus transportable à grandes distances à terre dans l'intérieur du pays (gazducts). A titre d'exemple, un gazduct de 1000 km qui transporte 10 milliards m^3 /an demande un investissement de l'ordre de 600-700 millions de US \$. En calculant l'ammortissement de ce gazduct et en ajoutant les frais de pompage, on atteint des coûts de transport $0.006+0.008$ CFA/km m^3 (équivalent à 6-8 CFA par km et par tonne d'hydrocarbure). Il est visible que le gaz peut être transporté d'un bout à l'autre de la R.U.C. (par exemple des gisements atlantiques jusqu'au bord du lac Tchad) avec des coûts moindres. Bien entendu, il faut pouvoir disposer d'un crédit d'investissement de 600-800 millions de US \$. Les sources de ces crédits peuvent être, d'un côté, les recettes de la vente du pétrole brut (une année d'exportation de 4 million de t de pétrole brut à 200 \$/t) ou, d'autre part, la vente d'une partie du gaz aux pays voisins (République Centrafricaine, Nigéria du Nord, Tchad, Niger) qui pourraient eux mêmes participer au projet contre une garantie d'approvisionnement en gaz. Il n'est pas pensable de brancher un réseau capillaire dans toutes les régions rurales de la R.U.C. Il est plutôt envisageable de créer le long d'un grand gazduct trois ou quatre pôles industrielles où de nombreuses petites industries peuvent créer suffisamment d'occupation pour faire face à l'urbanisation inarrêtable des populations rurales.

Hydroélectricité

Il ne semble pas conseillable de lancer la R.U.C. dans un plan d'établissement de centaines de minicentrales, même si les ressources hydrauliques pourraient le consentir. Les problèmes de gestion d'entretien, de réparation, de renouvellement constitueraient une difficulté presque insurmontable même dans un pays avec un réseaux routier mieux aménagé que la R.U.C.

Il y a lieu, plutôt, de développer de manière concentrée les grandes exploitations hydroélectriques près du littoral et d'exporter l'hydroélectricité sous forme chimique, comme on le fait déjà avec l'aluminium. Il y a lieu pour ceci de différencier les produits chimiques qui serviront de véhicule à l'exportation (soude, enrichissement de l'uranium, etc.).

Bois

Avec des coûts de transport routier proches de 20 CFA par tonne-km le bois n'est exploitable (pour la cuisson) qu'à 100-200 km des régions boisées du Sud et on ne peut pas compter donc sur cette ressource pour résoudre les problèmes ruraux et urbains du Nord.

La carbonisation du bois doit être développée, améliorée et diffusée pour étendre l'utilisabilité de cette ressource à 300-400 km des régions boisées.

Biogaz, solaire, éolien

Sauf quelques réalisations "spot", ces ressources énergétiques ne peuvent pas être considérées ni substitutives ni intégratives. Les technologies de ces exploitations sont assez bien acquises et simples. Un certain

effort de diffusion des connaissances et d'exhibition de prototypes est à poursuivre, sans toutefois créer de l'illusion auprès de la population. Le seul avantage de ces ressources est l'absence de frais de transport. Cependant le coût de production locale (70-80 CFA par m³ pour le biogaz, 200-250 CFA par kWh pour l'électricité solaire) empêche toutes les exploitations massives de ces ressources, sauf quelques applications solaires de basse température (séchage de denrées agricoles et vivrières).

7. Actions à prendre

Comme corollaire du tableau qualitatif et quantitatif de la situation énergétique de la R.U.C. établie ci-dessus, il apparait souhaitable d'entreprendre les actions suivantes.

- a) entreprendre une étude de faisabilité de l'exploitation et du transport du gaz naturel moyennant un gazduct principal (6 à 10 milliards de m³/an) pour alimenter trois ou quatre pôles industrielles (pétrochimie près de la côte, industrie de transformation agricole, industrie mécanique ailleurs). Entre autres, établir des sondages préliminaires concernant les possibilités de vente de gaz aux pays voisins.
- b) Etudier les possibilités de différencier la transformation d'énergie hydroélectrique en énergie chimique: soude, enrichissement uranium, ammoniac et engrais chimique.
- c) Confier à l'I.R.G.M. la tâche d'étudier et réaliser quelques installations "spot" pour applications rurales, et, notamment :
 - éolien pour irrigation (province du Nord)
 - panneaux photovoltaïques pour communications téléphoniques village-village
 - séchoirs solaires prototypes
 - petites installations biogaz améliorées.
- d) Entreprendre ou intensifier le développement de :
 - cuisinières économiques pour bois et charbon de bois
 - appareils simples de carbonisation du bois.

- e) Douer l'I.R.G.M. d'instruments de construction de prototypes, et, notamment, d'un atelier mécanique (30-50 000 US \$) et d'un atelier électronique (20-30 000 US \$).
 - f) Fournir au laboratoire de Recherche Energies Renouvelables d'expertise nécessaire pour la mise en route de la construction prototypes sous forme d'un total de 20 à 30 homme-mois d'expert mécanicien et d'expert électronique.
 - g) Douer le Laboratoire ci-dessus d'un petit ordinateur (30-40 000 US \$) pour calculs scientifiques et établissement d'une petite banque de données énergétiques de la R.U.C.
 - h) Créer auprès du Laboratoire un centre de documentation (bibliothèque, 15-20 000 \$) dans le domaine énergétique.
- Il serait souhaitable que les Agences des Nations Unies, et, notamment l'ONUDI, fournissent l'aide nécessaire pour quelques unes de ces actions (e, f, g, h) sous forme d'aide financière et d'expertise.
- i) Etant données les compétences nucléaires et radiochimiques du laboratoire de l'I.R.G.M., confier à celui-ci l'évaluation de la faisabilité de quelques applications spécifiques et, notamment, la conservation des aliments par irradiation gamma (pommes de terre et autres).
 - j) Mettre sur pieds un comité technique de coordonnement qui périodiquement permette à l'I.R.G.M., au

CNEEMA et à l'Ecole Polytechnique d'harmoniser leurs efforts dans le domaine de l'énergie, entre autres en favorisant les échanges temporaires de personnel scientifique et d'instruments de mesure.

8. Institutions ou personnes contactées

- IRGM Institut de Recherches Géologiques et Minières
 - M. Soba (Directeur)
 - M. Babouka (Dir. Adj)
 - M. Timma (Chef. Lab.)
 - MM. Nuomo, N'Gan Hou, Etoundi, Efa Fouda
- Division Ressources Humaines
 - M. Mandeng (Directeur)
- CVEEMA
 - M. Ela Evina (Directeur)
 - M. Spruth (Délégation R.F.A)
- USAID
 - B.D. Wilder (Directeur-Adjoint)
 - L.R. Jackson
 - M. Ngué
- Centre météorologique de Yaoundé
 - M. L. Etende Essomba (Chef de Centre)
 - M. E. Bibiang (Chef de Station)
- Centre Etudes des Plantes Médicinales
 - Dr. Boum
- FED
 - M. Chaillebert
- Ministère de L'Economie et du Plan
 - M.me Tankeu (Dir. du Plan)
 - M. Tanwo
 - M. Vessah Njoya (Dir. Programmation)
 - M. Robin (Conseiller OPE)
- FAO
 - M. Gara (Représentant Résident)

- Délégation Générale Recherche Scientifique Technique
 - M. Vroumsia (Délégué Général)
 - M. Payom (Sous-Dir. Programmes)
- SONEI
- Direction Mines et Energie
 - M.G. Mvondo Owoundi (Dir. Energie et Eaux)
- Ecole Polytechnique
 - M. Dingom (Dir. Adj.)
 - Dr. C. Minka (Chef Département Physique)
- Direction Aménagement Territoire
- ACIDI (Ambassade Canadienne)
 - P.A. Desrosiers (Conseiller Développement)

9. Documents d'intérêt

- 1 - Le Marché Camerounais 1980
(Marchés Tropicaux et Méditerranéens 3 n°1826)
190, bld Haussmann - Paris
- 2 - Société nationale d'investissement
Rapport d'activité de l'exercice 78/79
B.P. 423 - Yaoundé R.U.C.
- 3 - Bulletins mensuels de statistique
Ministère de l'économie et du plan R.U.C.
- 4 - Rapport du groupe technique d'experts en biomasse
Commission économique pour l'Afrique
Addis-Abeba, 20-25 oct. 1980
- 5 - Rapport du Groupe technique d'experts en énergie
géothermique (ibid.)
- 6 - Rapport du Groupe technique d'experts en énergie
hydraulique (ibid.)
- 7 - UNIDO Activities in Fuels and Fertilizers from
Renewable Resources
80-31014 Feb. 80
- 8 - Guidebook on biogas development
Energy Resources Development Series n°21
U.N. NYC, 1980
- 9 - Industrial Charcoal making from forestal and
agricultural waste
W. Enrich - UNIDO ID/WG.338/3
April 81
- 10 - Draft Background paper for UNCNRSE
UNIDO/OED. 131 (march 1981)
- 11 - Survey on Energy Potentials and Needs in North
Cameroon
T. Graham - U.S.A.I.D. (feb. 1981)

- 12 - Cameroon Renewable Energy : Project possibilities
C. Steedman - U.S.A.I.D. Proj 698-0135
Aug. 1979
- 13 - Recherche et Développement en Matière d'Energie
Solaire au Cameroun
G. Sannier - Commission Economique des Nations
Unies pour l'Afrique - BP 3005 - Addis Abeba
(1977)
- 14 - Energie Solaire Et Refrigération en République Unie
du Cameroun
S. Lainovic - Département de Génie Énergétique
Institut National des Sciences Appliquées de
Lyon
Oct. 1978
- 15 - Proposition d'Implantation d'Equipements
Solaires au Nord Cameroun - Etude de Factibilité
Régionale - Définition d'Opération Pilote. BCEOM/
BRGM/GEW Proposal (feb. 79)
- 16 - Bulletin Mensuel de la météo au Cameroun
Direction Météo Nationale BP 186 - Douala
- 17 - Etude d'Evaluation des Equipements valorisant
l'énergie solaire
Rapport de synthèse n°1 et n°2 - METRA
Projet 4505.016.97.35 (Juin 81) F.E.D./C.E.E.
Bruxelles
- 18 - Rapport de Mission auprès de la République Unie
du Cameroun
Développement et promotion de sources non
classiques d'énergie
Swamy Rao A. Ajjampur
UNIDO/IOD/292 (août 1979)

- 19 - L'installation de biogaz de l'hôpital public
de NDJA-BANDJOUN
R. Wesemberg - CNEEMA BP 9172 - Douala
dec. 1980
- 20 - Biomasse: comparaisons des valorisations des
sous-produits agricoles
G.R.E.T. (Groupe de Recherche et d'Echanges
Technologiques)
34, rue Dumont-d'Urville, 75116 Paris (1979)



