

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES 1998

Présenté par :

ESSAMI Modeste

Proposition de technologies appropriées pour l'électrification rurale au Burkina à un coût modéré

MENTION :

E. I. E. R.
Enregistré à l'Arrivée le _____ s/N° 340/98

Encadrement

M. DUBOIS

B. DABIRE

SOMMAIRE

Page

<u>Première Partie</u> : PREAMBULE	1
REMERCIEMENTS.....	2
DEDICACE.....	3
RECONNAISSANCE.....	4
PENSEE SPECIALE.....	5
OBJECTIF DE L'ETUDE.....	6
DEMARCHE SUIVIE.....	7
RESUME	8
INTRODUCTION GENERALE	9
<u>Deuxième Partie</u> : PRESENTATION DU BURKINA FASO	11
II.1. INFORMATIONS GENERALES.....	12
II.2. GEOGRAPHIE.....	12
II.3. DEMOGRAPHIE.....	12
II.4. CLIMAT, VEGETATION.....	14
II.5. CADRE POLITIQUE.....	14
II.6. AGRICULTURE, PECHE, FORET.....	14
II.7. INDUSTRIES.....	15
II.8. DONNEES ECONOMIQUES.....	16
II.9. COMMERCE EXTERIEUR.....	16
II.10. TRANSPORTS ET COMMUNICATIONS.....	17
II.11. RESEAU HYDROGRAPHIQUE.....	17
II.12. NIVEAU DE VIE.....	17
<u>Troisième Partie</u> : L'ELECTRICITE AU BURKINA FASO : ANALYSE DE L'EXISTANT	20
III.1. INTRODUCTION.....	21
III.1.1. Contexte socio-économique.....	21
III.1.2. Organisation du Sous-Secteur de l'électricité.....	22
III.1.3. Présentation de la SONABEL.....	22
III.1.4. Politique d'investissement de la SONABEL.....	25

III.2. BILAN DU SOUS-SECTEUR DE L'ELECTRICITE.....	25
III.2.1. Aspects généraux.....	25
III.2.2. La production d'électricité.....	27
III.2.3. Le transport d'électricité.....	28
III.2.4. La distribution et l'exploitation des réseaux.....	29
III.2.5. La consommation d'électricité.....	30
III.2.6. Les auto-producteurs d'électricité.....	30
III.2.7. La tarification.....	31
III.3. LE SCHEMA DIRECTEUR D'ELECTRIFICATION DU BURKINA	
[SDEB].....	32
III.3.1 Présentation générale du SDEB.....	32
III.3.1.1. Les principaux problèmes électriques au Burkina.....	33
III.3.1.2. Les grands axes du Schéma Directeur [SDEB].....	33
III.3.2. Bilan d'exécution du SDEB sur la période 1986-1995.....	34
III.3.3. Actualisation du Schéma Directeur [SDEB].....	35
III.4. ELECTRIFICATION RURALE.....	36
III.5. CONCLUSION.....	37
<u>Quatrième Partie</u> : APPROCHE POUR L'ELECTRIFICATION	
RURALE AU BURKINA FASO.....	38
IV.1. INTRODUCTION.....	39
IV.2. DEFINITION ET CARACTERISTIQUES	
DE L'ELECTRIFICATION RURALE.....	39
IV.3. NATURE DES BESOINS D'ELECTRICITE A SATISFAIRE	
EN MILIEU RURAL.....	40
IV.4. PROBLEMATIQUE DE L'ELECTRIFICATION RURALE.....	41
IV.5. ELEMENTS A PRENDRE EN COMPTE POUR	
LE DEVELOPPEMENT DE L'ELECTRIFICATION RURALE.....	41
IV.6. CRITERES OBJECTIFS DE SELECTION	
DES CENTRES A ELECTRIFIER.....	42
IV.7. EFFETS POSITIFS DANS LES CENTRES RURAUX ELECTRIFIES.....	43
IV.8. CONCLUSION.....	44

**Cinquième Partie : CONTRIBUTION DES ENERGIES NOUVELLES
ET RENEUVELABLES A L'ELECTRIFICATION
AU BURKINA FASO.....45**

V.1. INTRODUCTION.....	46
V.2. PROBLEMATIQUE DES ENERGIES DANS LE PROCESSUS DE DEVELOPPEMENT DE L'ELECTRIFICATION RURALE AU BURKINA FASO.....	46
V.2.1. Les produits pétroliers.....	46
V.2.2. L'énergie hydraulique.....	47
V.2.3. L'énergie nucléaire.....	47
V.2.4. Les Energies Nouvelles et Renouvelables [ENR].....	47
V.3. L'ENERGIE SOLAIRE.....	48
V.3.1. Description de la technologie.....	48
V.3.2. Le potentiel solaire du Burkina Faso.....	49
V.3.3. Situation de l'utilisation du solaire au Burkina Faso.....	49
V.4. L'ENERGIE EOLIENNE.....	50
V.4.1. Description de la technologie.....	50
V.4.2. Le potentiel éolien du Burkina Faso.....	51
V.4.3. Situation de l'utilisation de l'éolien au Burkina Faso.....	51
V.5. L'ENERGIE DERIVEE DE LA BIOMASSE.....	52
V.5.1. Description de la technologie.....	52
V.5.2. Le potentiel en biomasse du Burkina Faso.....	52
V.5.3. Situation de l'utilisation du biogaz au Burkina Faso.....	53
V.6. CONTRAINTES LIEES A LA DIFFUSION DES TECHNOLOGIES DES ENERGIES NOUVELLES ET RENEUVELABLES.....	53
V.7. AVANTAGES DE L'EXPLOITATION DES ENERGIES NOUVELLES ET RENEUVELABLES.....	54
V.8. CONCLUSION.....	55

Sixième Partie : TECHNOLOGIES POUR L'ELECTRIFICATION RURALE AU BURKINA FASO.....56

VI.1. INTRODUCTION.....	57
VI.2. ETUDE DE FAISABILITE DES PROJETS.....	58
VI.2.1. Définition de l'étude de faisabilité d'un projet.....	58
VI.2.2. But de l'étude de faisabilité d'un projet.....	59
VI.2.3. Les Outils de l'Analyse financière.....	59
VI.3. OPTIONS TECHNIQUES D'ELECTRIFICATION RURALE.....	62
VI.3.1. Electrification rurale par extension du réseau national.....	62
VI.3.1.1. Description de la technologie de transport.....	62
VI.3.1.2. Différents types de réseaux de transport.....	63
VI.3.1.3. Critères de dimensionnement des réseaux.....	64
VI.3.1.4. Eléments de dimensionnement des réseaux.....	65
VI.3.1.5. Coûts des raccordements aux réseaux de transport...68	
VI.3.1.6. Avantages des réseaux.....	70
VI.3.1.7. Inconvénients des réseaux.....	70
VI.3.2. Electrification rurale décentralisée.....	73
VI.3.2.1. Description générale.....	73
VI.3.2.2. Différents procédés de production d'électricité.....	73
VI.3.2.3. Analyse des différents procédés.....	73
VI.3.3. Centrale Diesel isolée.....	76
VI.3.3.1. Description des Groupes électrogènes.....	76
VI.3.3.2. Facteur de puissance.....	76
VI.3.3.3. Applications à l'électrification rurale.....	77
VI.3.3.4. Choix du nombre de groupes.....	77
VI.3.3.5. Conditions d'installation des groupes.....	78
VI.3.3.6. Critères de dimensionnement et de choix d'un groupe..78	
VI.3.3.7. Bâtiments d'exploitation.....	79
VI.3.3.8. Maintenance des groupes.....	80
VI.3.3.9. Durée de vie des groupes.....	80
VI.3.3.10. Coûts de création d'une mini centrale.....	81
VI.3.3.11. Coûts des groupes électrogènes.....	81
VI.3.3.12. Avantages des groupes électrogènes.....	82
VI.3.3.13. Inconvénients des groupes électrogènes.....	82
VI.3.3.14. Adresses de quelques constructeurs de groupes.....	83

VI.3.4. Centrale Solaire Photovoltaïque.....	84
VI.3.4.1. Nécessité de la Pré-électrification.....	84
VI.3.4.2. Maintenance des Systèmes Solaires.....	85
VI.3.4.3. Méthode de dimensionnement.....	85
VI.3.4.4. Coûts des Systèmes Solaires.....	88
VI.3.4.5. Intérêt économique du Photovoltaïque.....	89
VI.3.4.6. Avantages des Systèmes Photovoltaïques.....	90
VI.3.4.7. Inconvénients des Systèmes Photovoltaïques.....	90
VI.3.4.8. Adresses de quelques constructeurs de matériels.....	90
VI.4. SYNTHÈSE.....	91
VI.5. CONCLUSION.....	92
RECOMMANDATIONS.....	93
CONCLUSION GÉNÉRALE.....	94
BIBLIOGRAPHIE.....	95
ANNEXES.....	96
LES RESEAUX ELECTRIQUES	
LES GROUPES ELECTROGENES	
LES SYSTEMES SOLAIRES PHOTOVOLTAIQUES	
LES MACHINES EOLIENNES	
LES MINI-CENTRALES HYDROELECTRIQUES	

Première Partie:

PREAMBULE

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier la Société Nationale d'Electricité du Burkina (SONABEL) et l'Ecole Inter-Etats d'Ingénieurs de l'Equipement Rural (EIER) qui ont généreusement aidé à la réalisation de ce Mémoire de fin d'études.

Je remercie également toute personne et/ou personnalité ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce Mémoire.

Je tiens surtout à témoigner ma gratitude à :

- ◆ M. Marcel DUBOIS, Encadreur de Mémoire pour le compte de l'EIER, Professeur à l'EIER ;
- ◆ M. Bayaornibè DABIRE, Encadreur de Mémoire pour le compte de la SONABEL, Chef de Département électricité générale ;
- ◆ MM. Moumouni DIARRA et Jean Paul YANONGO, Agents SONABEL du Département électricité générale ;
- ◆ M. Mahama CONGO de la Cellule des Programmes et Prévisions Economiques Générales (C.P.P.E.G) de la SONABEL ;
- ◆ MM. Issa BELEM et Mathurin KONSEIMBO, Agents de la société Projet Production Internationale du Burkina Faso (P.P.I. BF) ;
- ◆ M. Xavier ZIZIEN, Agent de la société SAHEL énergie solaire ;
- ◆ Tous mes professeurs de l'EIER ;
- ◆ Tous mes collègues de la 27^{ème} Promotion EIER □

DEDICACE

Ce Mémoire est l'aboutissement de trois (3) longues années d'études à l'EIER de Ouagadougou, Burkina Faso; trois (3) années de travail intensif et épuisant, caractérisées par des souffrances de tout genre : nuits blanches, marche sur plusieurs kilomètres, etc.

Je dédie les travaux de ce Mémoire à :

- Mon épouse Isabelle BANDOKI BOUEYA ;

- Mes enfants :
 - ◆ Dorian Romaric Bestia ESSAMI et,
 - ◆ Maryse Destelle ESSAMI ISSONGO ;

- Ma mère Thérèse ISSONGO ;

Vous qui m'aviez manqué durant ma formation et êtes restés très loin de moi là-bas au pays (à Brazzaville) ;

Moi qui vous ai manqué,

Trouvez, ici, le fruit de votre peine ♥

RECONNAISSANCE

Je garde des souvenirs inoubliables à :

◆ Ma famille, en particulier aux frères et soeurs :

- Albert ODOU ,
- Albert KANGA NGOUROU ,
- Jacqueline ISSONGO ,
- Antoine ONKO ,
- Paul TSONO ,
- Brice OKO , je ne saurais vous citer tous...

Pour le soutien moral, matériel ou financier dont j'ai bénéficié de vous durant toute ma formation à l'EIER ;

◆ Au Gouvernement Français pour m'avoir octroyé une bourse d'études pour toute la formation par l'intermédiaire du Centre International des Etudiants et Stagiaires (CIES) ;

◆ La société AIR AFRIQUE pour m'avoir transporté plusieurs fois de Brazzaville à Ouagadougou dans de meilleures conditions (avec plusieurs escales);

◆ Aux Amis du Congo ;

◆ Aux amis de Ouagadougou ;

◆ Aux Congolais du Burkina Faso ;

Pour le soutien moral dont j'ai bénéficié de vous ☐

PENSEE SPECIALE

† A mon défunt père Albert ESSAMI ,

J'aurais tant voulu que tu vois le fruit de ton œuvre, mais hélas Dieu en a voulu autrement en 1969, alors que je n'avais que quatre (4) ans.

Malgré mon bas âge à l'époque de ta disparition, je ne t'oublierai jamais, Papa...

† A mon défunt oncle maternel Alphonse NGAKOSSO ,

Ta disparition en Mars 97 était trop brutale, alors que je me trouvais à Ouagadougou.

Je me souviendrai toujours de tes paroles sacrées contenues dans ta dernière lettre reçue à Ouagadougou deux (2) semaines avant l'annonce de ta disparition.

Que vos âmes reposent en paix ✨
Je me souviendrai toujours...

OBJECTIF DE L'ETUDE

Conformément au thème de ce Mémoire, l'objectif de cette étude consiste en la proposition de technologies appropriées pour l'électrification rurale à un coût modéré.

Bien que du point de vue purement technique toutes les technologies de production d'électricité sont envisageables, il s'agit, ici, de diagnostiquer chacune de ces technologies afin de ne retenir que celles qui paraissent réellement adaptées au contexte du Burkina Faso.

Ainsi, pour chaque projet d'électrification rurale à entreprendre, une étude de faisabilité technique et économique permettra d'analyser toutes les variantes afin d'opérer un choix technique adapté aux besoins en présence avec un coût modéré □

DEMARCHE SUIVIE

La méthodologie adoptée pour ces travaux a consisté en la recherche documentaire et à de multiples entretiens avec mes Encadreurs de Mémoire (EIER et SONABEL).

① *La recherche documentaire :*

Cette recherche documentaire avait pour but la collecte d'informations et la recherche de données d'études. Cette recherche documentaire nous a conduit successivement :

- ◆ au Centre de Documentation et d'Information (CDI) de l'EIER ;
- ◆ à la SONABEL ;
- ◆ au Ministère de l'énergie ;
- ◆ à l'Institut National de la Statistique et de la Démographie (INSD) ;
- ◆ à quelques sociétés privées de la place telles le P.P.I BF , SAHEL énergie solaire, etc.

Loin d'être exhaustive, notre recherche documentaire n'a rencontré qu'une seule étude se rapprochant de la nôtre : les travaux de Mémoire de M. Alain BASSILA sur l'électrification rurale de la localité de LAYE, Burkina Faso (EIER-Juin 95).

Néanmoins, de nombreux ouvrages et publications ont été consultés. Il est évident que nous avons eu recours aux documents consultés pour compléter ou appuyer nos idées. La liste des documents consultés se trouve dans la bibliographie de la présente étude.

② *Les entretiens avec mes Encadreurs de Mémoire :*

Ces entretiens avaient pour but de recevoir des conseils et des orientations pour mener à bien ces travaux. Ils ont permis également de définir le contenu du Mémoire et le planning de l'étude ☐

RESUME

Avec l'évolution de la technique, il existe plusieurs technologies de production d'électricité. Après un diagnostic des conditions d'applications, des avantages et inconvénients de chacune de ces technologies, nous avons retenu deux (2) types d'alimentation en électricité des centres ruraux; technologies jugées adaptées au contexte du Burkina Faso et pouvant produire de l'électricité à grande échelle.

Il s'agit de :

- ◆ **Alimentation par une centrale Diesel isolée ;**
- ◆ **Alimentation par extension du réseau national existant (alimentation par ligne).**

Sans une étude préalable précise, nous pouvons affirmer, à priori, que les centrales DIESEL isolées sont économiques par rapport aux lignes MT; ceci dans le contexte du Burkina, pays qui ne dispose que d'un réseau MT très embryonnaire par manque de source de production importante et bon marché.

Cependant, pour chaque projet d'électrification rurale à entreprendre, une étude de faisabilité technique et économique permettra d'analyser les deux (2) variantes réellement envisageables afin d'opérer un choix technique conséquent adapté aux besoins en présence et à un coût modéré.

La pré-électrification au solaire photovoltaïque n'est pas encore du domaine de la SONABEL jusqu'à ce jour, mais plutôt l'affaire des sociétés privées de la place. Elle trouve bien sa place en site isolé pour la satisfaction des besoins électriques de base des communautés villageoises (pompage d'eau, réfrigération des médicaments...). Ces besoins sont faibles et ponctuels. La pré-électrification précédera ou complétera donc la venue du réseau ou d'un groupe électrogène; ceux-ci n'apparaissant que lorsque la demande le justifiera □

INTRODUCTION GENERALE

Dans le processus de développement d'un pays et dans les orientations économiques et institutionnelles, l'énergie occupe ou est appelée à occuper une place de choix. En effet, l'énergie intervient à chaque stade du processus de production ainsi qu'à chaque moment de la vie quotidienne apparaissant comme un symbole et un facteur de développement.

Cependant, le manque de politique appropriée et d'objectifs précis n'a pas permis à de nombreux pays africains de faire de l'énergie, un réel moteur de développement. Comme la plupart de facteurs de développement, elle est restée une énergie de subsistance.

Parmi toutes les formes de l'énergie, l'électricité, par sa facilité d'utilisation et la multiplicité de ses usages est considérée comme le facteur de développement le plus déterminant. Elle contribue également à la qualité de vie des populations qui en bénéficient.

Après des années de lutte pour la satisfaction des besoins de base que sont la sécurité alimentaire et l'accès du plus grand nombre à l'eau potable, aux soins de santé primaire, à l'éducation scolaire, la priorité du développement rural est aujourd'hui une amélioration des conditions de vie et de productivité.

Alors que les initiatives se multiplient pour que s'accroisse la capacité de production des populations rurales, celles-ci resteraient sans effet si les investissements continuaient d'être irrésistiblement attirés par la ville.

L'objectif est de créer les conditions pour que l'on reste vivre et produire au village; c'est un des objectifs d'un développement harmonieux et durable.

L'électricité est un facteur important d'amélioration des conditions de vie. Elle est le symbole du modernisme, car elle porte en elle toutes les lumières de la ville. Elle bouleverse la vie de tous les jours, non pas parce qu'elle offre un éclairage de meilleure qualité, mais parce qu'elle amène également l'accès à l'audiovisuel. Grâce à elle, le village n'est plus un endroit reclus, mais il reste au coeur du monde, en interaction avec lui.

L'électricité peut permettre en outre un développement sensible d'activités commerciales ou artisanales, soit parce qu'elles utilisent directement de l'énergie (tailleurs, brodeurs, réparateurs radio, etc.), soit parce qu'elles se prolongent le soir (commerce, restaurant, réparateurs pneus, etc.)

On comprendra donc que l'accès à l'électricité fasse l'objet d'une demande extrêmement forte et pressante des populations rurales; et que les enjeux sont tels que désormais les pouvoirs publics exigent une accélération du processus d'électrification rurale.

En la matière, la Société Nationale d'Electricité du Burkina (SONABEL) exerce sa mission d'entreprise publique dans la production et la distribution d'électricité par réseau. Qu'il s'agisse des centrales autonomes ou de réseau interconnecté, les investissements ne sont bien rentabilisés que lorsque la consommation est concentrée (**en terme de kWh par Km**), ce qui suppose soit une haute densité d'abonnés, soit des consommations individuelles élevées.

Dans le cas du Burkina Faso, cette rentabilité n'est assurée que dans les deux (2) principales villes Ouagadougou et Bobo-Dioulasso. Elle ne l'est pas dans la plupart des centres secondaires ruraux (agglomérations semi-urbaines de 10.000 à 30.000 habitants), où les caractéristiques socio-économiques dominantes sont celles d'une population rurale, très dispersée et présentant des besoins en électricité faibles et peu évolutifs.

Bien que l'électrification généralisée de l'ensemble du pays soit souhaitée par les pouvoirs publics, il est difficile voire impossible que la SONABEL puisse trouver les ressources (investissements) et mettre en place des tarifs à la portée des citoyens.

C'est donc un délicat équilibre que doit gérer la SONABEL, entre sa mission de service public qui voudrait que chaque agglomération, chaque habitant, puisse bénéficier de l'électricité, et les contraintes de la rentabilité économique qui régissent le développement de toute entreprise. Tel est le contexte dans lequel la SONABEL nous a confié cette étude.

Dans la recherche de cet équilibre, plusieurs solutions peuvent être envisagées. Après avoir analysé la situation actuelle de l'électricité au Burkina Faso en général et surtout la problématique de l'électrification rurale en particulier, nous tenterons de faire une proposition de solutions d'électrification des centres ruraux à coût modéré par des technologies adaptées au contexte du pays □

Deuxième Partie:

**PRESENTATION
DU
BURKINA FASO**

II.1. INFORMATIONS GENERALES

Situé au coeur de l'Afrique de l'Ouest, le Burkina Faso est la nouvelle appellation de l'ancienne Haute-Volta qui trouva son indépendance en 1960. La nouvelle appellation de *Burkina Faso* date du 4 Août 1984 et trouve son origine dans deux (2) langues nationales (*Moré* et *Peulh*) et signifie "*Pays des Hommes Intègres*".

Autres informations :

- Nom officiel : **Burkina Faso** ;
- Date de l'indépendance : 5 Août 1960 ;
- Capitale : **Ouagadougou** ;
- Découpage administratif : 45 provinces ;
- Langue officielle : Français ;
- Langues nationales plus utilisées : *Moré (77,2%)*, *Gulmancéma (11,6%)*, *Dioula (7,6%)* ;
- Monnaie : Franc CFA ;
- Taux de change : 1 dollar = 586 F.CFA (Janvier 1998)
1 FF = 100 F.CFA

II.2. GEOGRAPHIE

- Superficie : **274.120 Km²**
- Relief constitué de vastes plaines entre 200 et 400m, dominées au Sud-ouest par des plateaux gréseux culminant à 749m au pic de *Nakourou* ;
- Pays limitrophes : *Niger, Bénin, Togo, Ghana, Côte d'Ivoire, Mali.*

II.3. DEMOGRAPHIE

- Population : **10,3 millions** de Burkinabé (1995) ;
- Emigration : 2 millions d'émigrés surtout en Côte d'Ivoire et au Ghana (85 % de ruraux) ;
- Densité de la population : **37,6 habitants/Km²** (1995) ;
- Taux d'accroissement (1995 - 2000) : **2,5 %**, soit une population de **21,7 millions** en l'an 2025 ;
- Taille moyenne des ménages : **8 personnes** ;
- Répartition de la population par sexe :

- ◆ **Sexe masculin : 49,6 %** ;
- ◆ **Sexe féminin : 50,4 %**.

- Répartition de la population (1996) :

- ◆ **urbaine** :.....**19,4 %** ;
- ◆ **rurale** :.....**80,6 %**.

Dans le milieu urbain, 74,2 % vivent dans les villes de Ouagadougou et de Bobo-Dioulasso. Dans le milieu rural, les ménages se répartissent inégalement entre les strates : 28,7% dans le Centre-sud, 24,5% au Centre-nord, 22,3% à l'Ouest, 16,8% au Sud-est et enfin 7,7% au Nord.

La plupart des ménages ruraux sont dirigés par des agriculteurs. Les salariés et les artisans-commerçants résident principalement dans les centres urbains.

- Répartition de la population selon le groupe socio-économique du Chef de ménage :

Groupe Socio-économique	Pourcentage
Salariés, public	4,3
Salariés, privé	2,7
Artisans/Commerçants	6,3
Autres actifs	0,6
Agriculteurs de rente	10,4
Agriculteurs vivriers	68,1
Inactifs et Chômeurs	7,6
TOTAL	100

- Religions :

- musulmans:.....52 % ;
- chrétiens :.....24,3 % ;
- Animistes :.....23,3 % ;
- Autres religions:..0,1 % ;
- Sans religion:.....0,3 %.

- Villes principales :

- Ouagadougou, 690.000 habitants (1994) ;
- Bobo-Dioulasso, 300.000 habitants (1994).

- Autres villes :

- Koudougou, 60.000 habitants (1989) ;
- Ouahigouya, 42.000 habitants (1989) ;
- Banfora, 36.000 habitants (1989) ;
- Kaya, 27.000 habitants (1989) ;
- Tenkodogo, 24.000 habitants (1989).

- Ethnies :

Ethnie	%	Ethnie	%
Mossi (ethnie majoritaire)	48,5	Dagari	2,5
Bobo	6,1	Sénoufo	1,3
Peulh	6,9	Dioula	1,7
Gourounsi	4,9	Lobi	2,0
Gourmatché	4,9	Gouin	1,3
Bissa	4,1	Autres ethnies Burkinabé	12,6
Somo	2,4	Autres ethnies non Burkinabé	0,7

II.4. CLIMAT ET VEGETATION

- Climat chaud et sec ;
- Climat sahélien au Nord avec des savanes arborées et steppes épineuses ;
- Climat soudano-sahélien au Sud avec des forêts claires ;
- Pluviométrie : **750 mm/an** environ à Ouagadougou ;
- Evaporation : **7 mm/jour** environ à Ouagadougou ;
- Saison pluvieuse : Juin à Octobre ;
- Saison sèche : Novembre à Mai ;
- L'humidité relative augmente du Nord-est vers le Sud-ouest. A Ouagadougou **HR = 35 %** environ ;
- La température est variable de **18 à 42 °C** selon les saisons et selon les régions; elle peut atteindre 46°C au Nord (à Dori) ;
- On note la présence des vents pendant *l'Harmattan* (Décembre-Janvier) et pendant la saison pluvieuse.

II.5. CADRE POLITIQUE

- Multipartisme ;
- Pouvoir exécutif : Président de la république, élu au suffrage universel, pour un mandat de sept (7) ans, renouvelable ;
- Président de la république en exercice : *Son excellence Blaise COMPAORE*, né en 1951, au pouvoir depuis le 15 Octobre 1987; élu le 1^{er} Décembre 1991 ;
- Constitution en vigueur : 2 Juin 1991.

II.6. AGRICULTURE, PECHE ET FORETS

L'agriculture constitue le pilier de l'économie burkinabé, mais ses performances restent très dépendantes des conditions climatiques. Elle occupe **85 %** de la population et représente **43 %** du **PIB** (Produit Intérieur Brut). L'agriculture procure l'essentiel des ressources d'exploitation avec la **filière coton**.

- Cultures vivrières (1991) :

Cultures	Production (en tonnes)
Mil	1.500.000
Maïs	217.000
Riz	43.000
Arachide	130.000

- Cultures commerciales (1991) :

Cultures	Production (en tonnes)
Canne à sucre	260.000
Coton	190.000
Karité	15.000
Sésame	2.000

- Elevage (1993) :

Espèces	Nombre de têtes (en millions)
Bovins	4,18
Ovins	5,50
Caprins	7,03

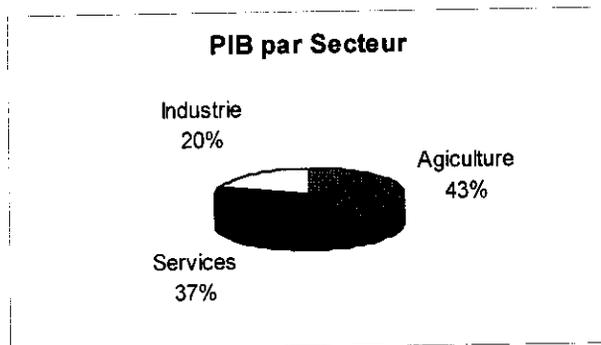
- Pêche : 7.000 tonnes de poissons (1993)
- Forêt : 9,25 millions de m³ de coupes (1992)

II.7. INDUSTRIES

- **Mines** : un petit secteur minier tend à se développer depuis 1985 et vient, avec l'or en particulier, au second rang des recettes d'exploitation, après le coton. La production d'or en 1990 était de 3,3 tonnes. Les autres réserves minières (Zinc, Argent, Manganèse et Phosphates) ne sont pas encore en exploitation du fait du manque de financements et des problèmes de transport (enclavement du pays) ;
- **Brasseries** : 300.000 hl de bière et boissons gazeuses (1988) ;
- **Minoteries, Huileries, Sucrierie** : 300.000 tonnes (1988) ;
- **Industries** : textile, ciment et de montage de motos "Peugeot" figurent également en bonne place ;
- **Electricité** : Puissance nominale installée = **108.800 kW** (Thermique et Hydraulique en Janvier 1998)

II.8. DONNEES ECONOMIQUES

- Taux de croissance : supérieur à 4 % (1997) ;
- Taux d'inflation : 25,2 % à la consommation (1994) ;
- Produit intérieur brut **PIB** : 2,928 milliards de dollars (1993) ;



- Produit National Brut **PNB** par habitant : 300 dollars (1994) ;
- Dette extérieure : 1,1 milliard de dollars (1994) ;
- Exportations des biens et services : 933 millions de dollars (1993).

II.9. COMMERCE EXTERIEUR

- Exportations de marchandises : 276 millions de dollars (1994) ;
- Importations de marchandises : 707 millions de dollars (1994) ;
- Principaux produits exportés :
 - ◆ Coton ;
 - ◆ Or ;
 - ◆ Viande ;
 - ◆ Haricot.
- Principaux produits importés :
 - ◆ Produits alimentaires ;
 - ◆ Produits pétroliers ;
 - ◆ Produits pharmaceutiques ;
 - ◆ Biens d'équipements.
- Principaux fournisseurs :
 - ◆ France29,5 % ;
 - ◆ Côte d'Ivoire ...27,5 %.
- Principaux clients :
 - ◆ France18,3 % ;
 - ◆ Taiwan :.....12,3 % ;
 - ◆ Thaïlande :.....10,8 %.

II.10. TRANSPORTS ET COMMUNICATIONS

- Réseau routier : 13.117 Km de routes dont 14 % sont bitumées (1987) ;
- Réseau ferroviaire : 622 Km (1991) ;
- Principaux aéroports : Ouagadougou et Bobo-Dioulasso ;
- Téléphone : 19.800 postes (1992), soit 210 pour 1.000
- La traction (énergie) animale est largement utilisée surtout par les populations rurales.

II.11. LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE

Le Burkina Faso est un pays plat et peu arrosé. Il n'en dispose pas moins d'un réseau hydrographique naturel assez important, surtout dans sa partie méridionale où s'écoulent les trois (3) cours d'eau auxquels il doit son ancien nom de *Haute-Volta*.

La *Volta noire*, le plus abondant, a été rebaptisée *Mouhoun*. La *Volta blanche* est devenue le *Nakambé* et la *Volta rouge*, le plus court des trois, le *Nazinon*.

Passé la frontière ghanéenne, le *Mouhoun* et le *Nakambé*, grossis du *Nazinon*, se rejoignent dans le plus grand lac artificiel du monde qui, lui, garde l'appellation de *Volta*.

Une fois franchi le barrage d'*Akosombo* (Ghana) qui retient ces 8.500 Km² d'eau, il reste plus que quelques dizaines de kilomètres à parcourir à ce qui est devenu seul et unique *Volta* avant de se jeter dans le golfe, à l'extrémité Est du Ghana.

On note également l'existence de plusieurs lacs naturels (lac de Bam, lac Dem,...) et de plusieurs plans d'eau artificiels (retenues de barrages); il y a un peu plus de 1.300 barrages au Burkina Faso.

II.12. NIVEAU DE VIE

- Espérance de vie à la naissance : 47,4 ans (1992) ;
- Taux de mortalité infantile : 13 % (1992) ;
- Population ayant accès à l'eau potable : 56 % (1993) ;
- Population ayant accès à l'assainissement : 25 % (1993) ;
- Taux d'alphabétisation des adultes : 22,2 % (1994)
- Répartition en % des ménages selon le mode d'éclairage domestique (1996):

Mode d'éclairage	Ouest	Sud et Sud-est	Centre Nord	Centre Sud	Nord	Autres villes	Ouaga/ Bobo	Ensemble
Bois	3,4	24,3	28,5	15,6	24,4	1,5	1,0	14,9
Pétrole	82,4	65,0	64,6	65,5	60,2	71,1	68,0	68,6
Gaz	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1
Electr./énergie solaire	1,7	0,2	1,5	0,2	0,2	26,2	30,2	6,3
Bougie	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,3	0,1
Autre	12,5	10,4	5,5	18,6	15,1	1,0	0,3	10,1
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100

- Répartition en % des ménages selon la principale source d'énergie pour la cuisine (1996):

Source d'énergie	Ouest	Sud et Sud-est	Centre Nord	Centre Sud	Nord	Autres villes	Ouaga/Bobo	Ensemble
Bois	96,9	92,4	98,4	77,6	97,3	85,0	73,6	88,2
Pétrole	0,4	0,2	0,4	0,3	1,1	1,0	2,3	0,7
Gaz	0,7	0,7	0,1	0,7	0,5	3,3	9,1	1,9
Elect./énergie solaire	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,3	0,3	0,1
Charbon	1,2	0,9	0,3	0,5	0,4	4,6	5,7	1,6
Autre	0,7	5,8	0,8	20,8	0,6	5,9	9,0	7,5
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100

- Pourcentage des ménages dont les membres utilisent un service de base le plus proche (1996):

Service de base	Ouest	Sud et Sud-est	Centre Nord	Centre Sud	Nord	Autres villes	Ouaga/Bobo	Ensemble
Ecole primaire	36,2	28,7	29,3	37,7	14,1	53,3	47,5	35,3
Ecole secondaire	14,0	5,0	4,1	7,7	1,8	34,7	26,4	11,4
Centre de santé	98,5	95,6	93,2	97,0	84,9	97,1	85,7	93,9
Marché	99,5	99,8	99,2	99,7	99,2	99,4	97,5	99,2

- Revenu des ménages :

Le revenu des ménages (**revenu global**) est la somme des revenus monétaires et non monétaires générés par l'ensemble des membres du ménage.

Le **revenu monétaire** du ménage prend en compte les entrées d'argent au niveau du ménage dues à la production agricole, à l'activité d'exploitation (entreprise ou commerce), aux salaires et revenus non agricoles sur commission. Il intègre également les revenus de la propriété, les revenus financiers, les divers transferts, etc.

Le **revenu non monétaire** correspond à la valeur au prix du marché des biens et services produits par le ménage et utilisés pour sa propre consommation, et la valeur locative des logements occupés par leur propriétaire.

- Structure du revenu global des ménages (1996):

Le revenu moyen d'un ménage burkinabé, composé de 8 personnes en moyenne est estimé à **542.045 FCFA** par an, soit un revenu moyen annuel de **68.210 FCFA** par tête. Il se répartit de façon presque égalitaire entre ses deux (2) composantes que sont les revenus non monétaires et les revenus monétaires.

STRUCTURE DU REVENU ANNUEL MOYEN DES MENAGES

TYPES DE REVENUS	Montant (FCFA)	Pourcentage
Revenu non monétaire	268.150	50.4
Revenu monétaire	263.895	49.6
Revenu total	532.045	100

- Structure du revenu monétaire (1996):

SOURCES DE REVENU	Montant (FCFA)	%
Agriculture, élevage, cueillette	79.960	30,4
• Production végétale	49.612	18,8
♦ coton (8,2 %)	21.639	
♦ mil-sorgho (1,9 %)	5.014	
♦ arachide (2,6 %)	6.861	
• Culture maraîchère	5.805	2,2
• Cueillette	2.111	0,8
• Elevage	22.431	8,5
Entreprises et activités non agricoles	98.169	37,2
Salaires et rev. non agricoles sur commission	34.306	13,0
Transferts, cadeaux, autres	51.197	19,4
Total revenus monétaires	263.895	100

- Dépenses mensuelles des ménages en énergie (1996):

En milieu rural, le budget moyen mensuel d'un ménage en énergie est de **5.925 FCFA**. Notons que l'utilisation du gaz, de la bougie ou de la batterie pour l'éclairage est tout à fait marginale, et l'essentiel de la dépense est dû à l'achat de pétrole (éclairage) et de piles (radiocassettes).

Actuellement, un ménage non raccordé consomme en moyenne 5 litres de pétrole lampant/mois à 225 FCFA/litre et 6 piles par semaine pour la radiocassette à 200 FCFA/pile; ce qui revient à une dépense moyenne mensuelle de **5.925 FCFA**.

INFORMATIONS sur le Burkina Faso :

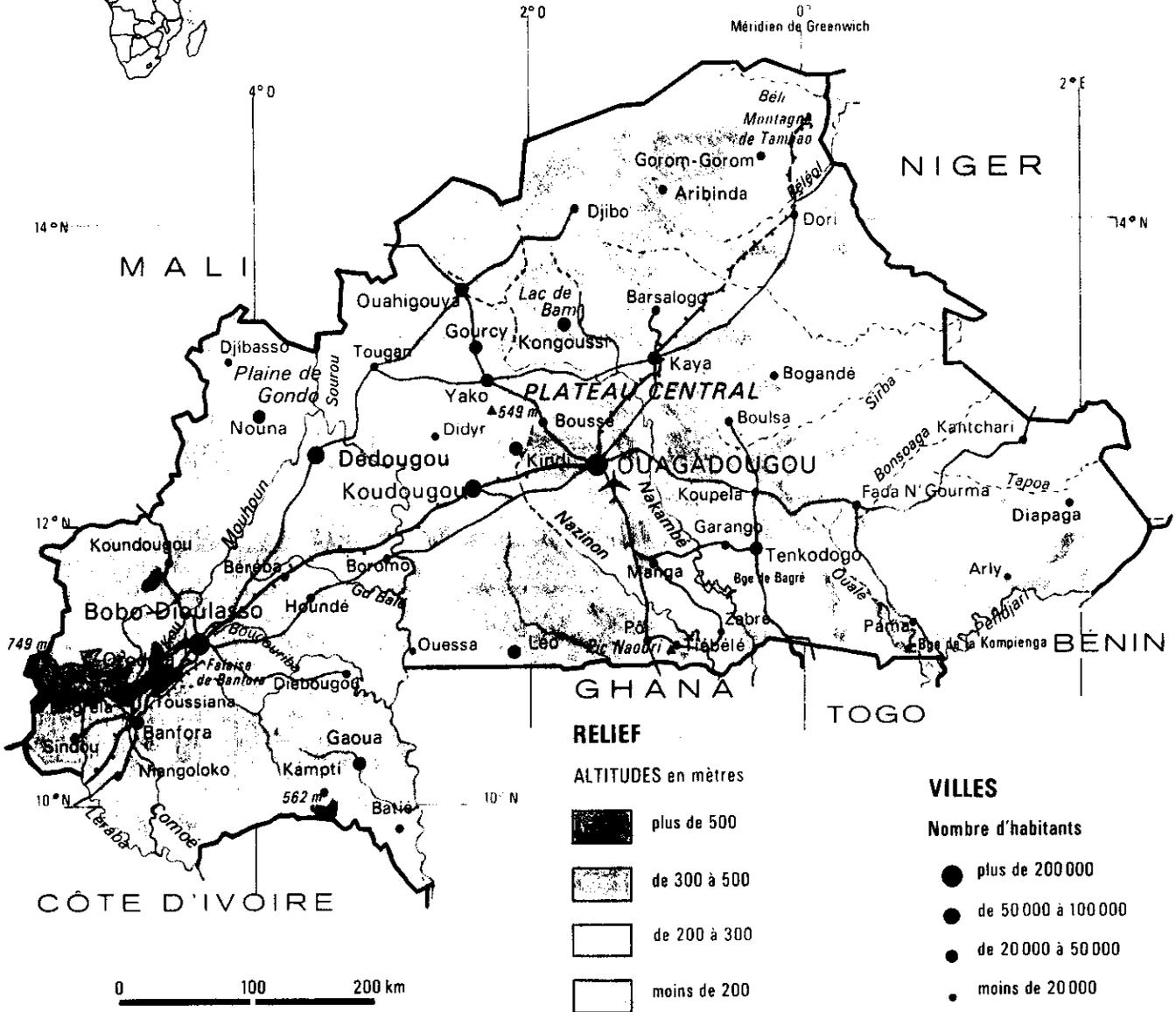
Sources:

- ♦ L'ATLAS (Jeune Afrique) DU CONTINENT AFRICAIN, Edition JAGUAR 4^{ème} Trimestre 1993 N° d'éditeur 1463/1
- ♦ JEUNE AFRIQUE Annuaire L'Afrique et le Moyen-Orient, Imprimé le 30 Avril 1996
- ♦ Institut National de la Statistique et de la Démographie (**INSD**), Ministère de l'économie, des finances et du plan (Burkina Faso).

Burkina Faso



- Route
- Voie ferrée
- Voie ferrée en projet
- Aéroport international



Troisième Partie:

**L'ELECTRICITE AU
BURKINA FASO
ANALYSE DE L'EXISTANT**

III.1. INTRODUCTION

Au Burkina Faso, l'électricité n'est essentiellement présente que dans les centres urbains et dans une moindre mesure dans les centres semi-urbains. Elle n'intervient presque pas encore dans l'agriculture, l'élevage et l'artisanat qui constituent le poumon de l'économie nationale. Par contre l'électricité entre pour une part importante dans la fabrication des produits manufacturés.

En 1992, l'électricité a participé pour environ 1 % au PIB et l'on peut affirmer que ce pourcentage n'a pas beaucoup évolué. La SONABEL a annoncé, pour 1993, sept (7) milliards de F.CFA de valeur ajoutée par l'électricité à l'économie nationale.

Le sous-secteur est donc peu développé. Ses caractéristiques principales sont les suivantes:

- une faible intégration au tissu socio-économique du pays (seules 36 localités sont électrifiées) ;
- un système de production basé dans sa majeure partie sur le thermique Diesel (74 %), donc sur des combustibles importés; ce qui entraîne une facture pétrolière assez lourde ;
- l'inexistence d'un système électrique étoffé et performant ;
- l'inexistence d'une politique prenant en compte l'électrification rurale.

III.1.1. Contexte socio-économique

Nous rappelons que le Burkina est un pays de l'Afrique sahélienne; sa population est de 10,3 millions d'habitants (1995) répartie sur les 274.120 Km² de superficie du territoire. Comme tous les pays du Sahel, le Burkina est un pays en développement (PNB par habitant de l'ordre de 300 dollars US).

L'agriculture occupe 85 % de la population active et contribue pour environ 43 % à la formation du PIB. La filière coton représente la première ressource du pays à l'exportation. L'industrie, secteur peu développé avec environ 20 % du PIB, est essentiellement tournée vers l'agro-alimentaire avec la transformation du coton graine par la Société des Fibres Textiles du Burkina (SOFITEX).

Les mines constituent un secteur clé, après le coton, avec essentiellement la production d'or (3 tonnes en moyenne par an) par la Société de Recherche et d'Exploitation Minière du Burkina (SOREMIB).

Le Burkina compte deux (2) villes de plus de 100.000 habitants : Ouagadougou, la capitale et Bobo-Dioulasso, ville située à environ 365 Km à l'Ouest de la capitale. Une vingtaine d'autres villes comptent plus de 10.000 habitants; les plus importantes sont Koudougou, Banfora, Ouahigouya et Kaya.

L'électricité représente environ 2 % du secteur de l'énergie, les hydrocarbures 8 % et la biomasse 90 %.

III.1.2. Organisation du Sous- Secteur de l'électricité

Le monopole de la production, du transport et de la distribution est accordé à la SONABEL, société d'Etat. Toutefois, des dérogations sont accordées pour la production privée d'électricité dans certains cas spécifiques; ce qui fait qu'à côté de la SONABEL, il existe quelques auto-producteurs (des industries) dont la production est essentiellement consommée par leurs besoins propres (2 auto-producteurs revendent une partie de leur production à la SONABEL pour l'alimentation des villages où ils sont installés).

Il existe également des petits groupes de 1 à 4 KVA réservés à des usages personnels modestes dans les zones non encore électrifiées.

Notons que la SONABEL a également la charge de la mise en oeuvre de la politique nationale en matière de développement du système électrique; pour cela un schéma directeur d'électrification du Burkina a été mis en place en 1986 (voir page 32).

III.1.3. Présentation de la SONABEL

• *Qu'est ce que la SONABEL ?*

La Société Nationale d'Electricité du Burkina est une société d'Etat. Elle a l'exclusivité de la production, du transport, de la distribution et de la vente de l'énergie électrique sur toute l'étendue du territoire du Burkina Faso.

• *Siège :*

Le siège de la SONABEL est à Ouagadougou :

Avenue Nelson MANDELA secteur n°1
01 BP: 54 Ouagadougou 01/Burkina Faso
Tél. (226) 30 61 00/02 03 04
Fax. (226) 31 03 40
Télex : 5208 BF

• *Historique :*

- **1954** : début de l'activité de production et de distribution de l'énergie électrique dans les villes de Ouagadougou et de Bobo-Dioulasso par ENERGIE A.O.F.(une société française) ;
- **1956** : Extension de l'activité à la distribution d'eau dans les deux (2) villes ;
- **1960** : Reprise de l'ensemble des activités par la société d'Economie Mixte Multinationale, Société Africaine d'Electricité (SAFELEC) au Capital de 150 millions de F.CFA réparti entre la Caisse Centrale de Coopération Economique (CCCE); actuelle Caisse Française de Développement (CFD), Electricité de France (EDF), la Haute-Volta, le Niger, la Mauritanie et divers actionnaires privés ;
- **1968** : Création de la Société Voltaïque d'Electricité (VOLTELEC), société anonyme au Capital de 1.000.000 F.CFA réparti entre la CCCE, la SAFELEC et des personnalités voltaïques. Augmentation du Capital à 71 millions de francs CFA par l'apport des biens de la SAFELEC dans la même année ;

- **1970** : Abandon de la distribution d'eau par la VOLTELEC au profit de la Société Nationale des Eaux (S.N.E) ;
- **1976** : Par décret n° 76 344/RES/MTP/TURB, la VOLTELEC prend la forme d'un Etablissement Public à caractère Industriel et Commercial (EPIC), avec un Capital de 1.387.628 F.CFA ;
Le décret complémentaire n° 76/121/PRES/MTP/TURB lui accorde l'exclusivité de la production, du transport et de la distribution de l'énergie sur l'ensemble du territoire ;
- **1984** : Avec l'avènement de la Révolution Démocratique et Populaire (RDP) et le changement du nom du pays, la VOLTELEC devient : Société Nationale d'Electricité du Burkina (SONABEL).

• **Activités de la SONABEL:**

La SONABEL exerce ses activités dans trente et six (36) villes réparties en quatre (4) départements comme suit :

TABLEAU DES DEPARTEMENTS DE LA SONABEL

<p>Département N°1</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ouagadougou (Chef lieu de Départ.) • Dori • Kaya • Po • Ziniaré 	<p>Département N°2</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bobo (Chef lieu de Départ.) • Banfora • Gaoua • Diébougou • Orodara • Péni • Darsalami • Toussiana • Bérégadougou • Niangoloko • Tourni
<p>Département N°3</p> <ul style="list-style-type: none"> • Koudougou (Chef lieu de Départ.) • Ouahigouya • Dédougou • Yako • Tougan • Boromo • Poura • Réo • Kongoussi • Léo • Gourcy • Nouna 	<p>Département N°4</p> <ul style="list-style-type: none"> • Koupela (Chef lieu de Départ.) • Tenkodogo • Pouytenga • Fada N'gourma • Bagré • Kompienga • Bogandé • Zorgho

• **Structure de la SONABEL:**

La SONABEL est structurée comme suit :

LE CONSEIL D'ADMINISTRATION

Il administre la SONABEL.

LA DIRECTION GENERALE

Elle coordonne les actions de la Direction Administrative et Financière (DAF) et de la Direction Technique (DT). Le Directeur Général est nommé en Conseil des Ministres. Les cellules jouent le rôle de conseil auprès de la Direction Générale.

LA DIRECTION TECHNIQUE

Elle est constituée des services suivants :

- Service Etudes et Travaux (SET), il s'occupe de l'ingénierie et des problèmes scientifiques et techniques des réseaux ;
- Service Production Thermique (SPT) et Service Production Hydraulique et Transport (SPHT), ils produisent et fournissent l'électricité au réseau de transport ;
- Service de Distribution (SD), chargé de la distribution et de la vente de l'électricité.

LA DIRECTION ADMINISTRATIVE ET FINANCIERE

Elle est constituée des services suivants :

- Service Administratif (SA), il gère l'ensemble du personnel de la SONABEL et veille à l'application de la réglementation du travail, du statut du personnel et du règlement intérieur de la société ;
- Service Comptable et Financier (SCF), s'occupe de toutes les activités d'ordre comptable, financier et fiscal ;
- Service Achats, est chargé d'assurer l'approvisionnement de tout ce dont a besoin la SONABEL ;
- Service Informatique, chargé d'optimiser les activités par l'utilisation de l'outil informatique.

• **Personnel :**

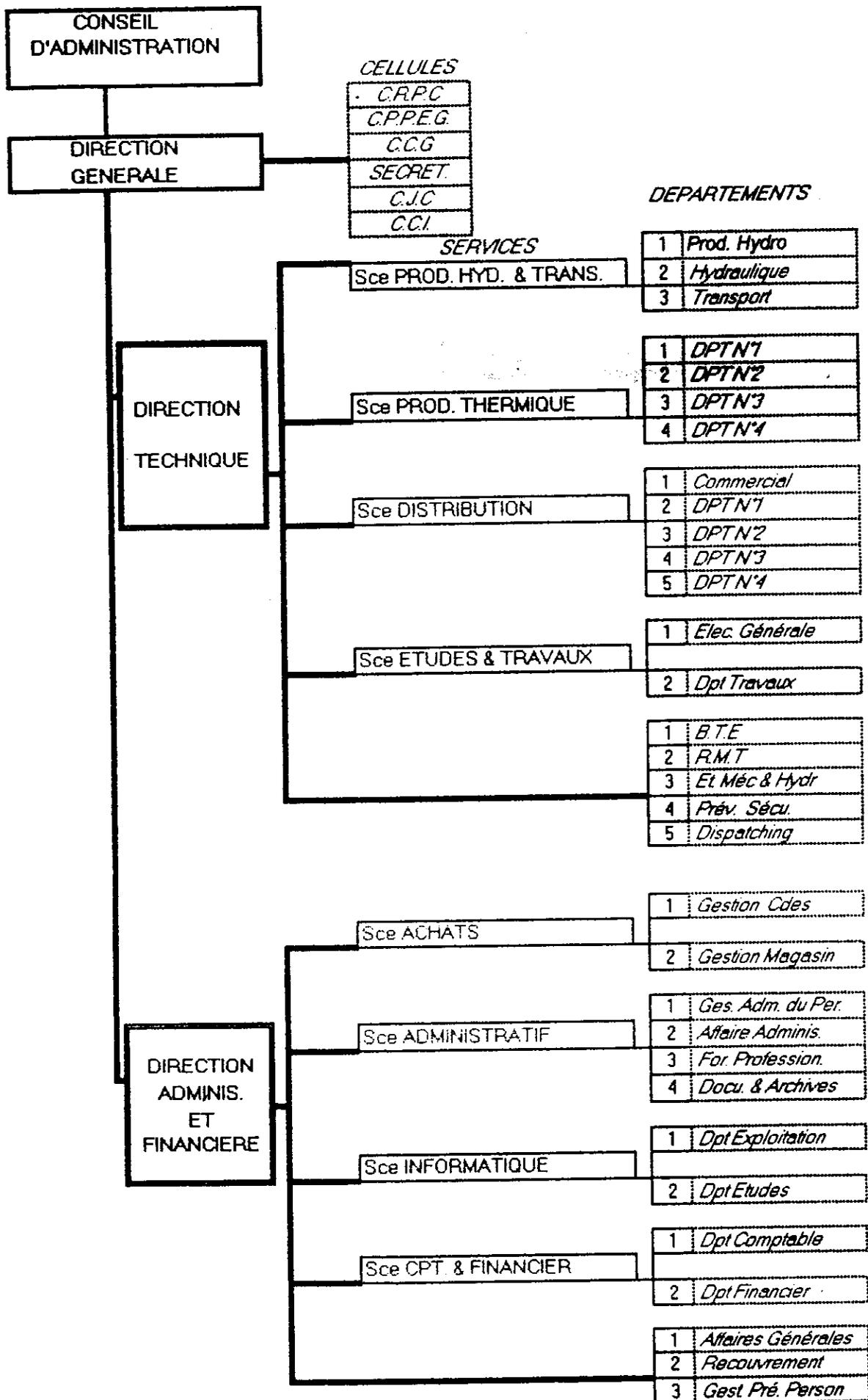
Au 31 Décembre 1996, la SONABEL comptait **1271** salariés dont 1 fonctionnaire détaché dans la Société, 16 agents liés à la Société par un contrat de travail de deux (2) ans renouvelables et 1254 agents permanents composés comme suit :

- ◇ **63 cadres supérieurs dont 3 agents détachés dans différents Ministères ;**
- ◇ **89 cadres moyens dont 1 détaché au Ministère de l'Eau ;**
- ◇ **177 agents de maîtrise dont 1 agent détaché au Ministère de l'Eau ;**
- ◇ **925 agents d'exécution dont 1 agent détaché au Ministère de l'Eau.**

En 1996, la SONABEL a employé en moyenne **672** agents temporaires-mois.

(Voir Organigramme SONABEL en page suivante)

ORGANIGRAMME SONABEL



III.1.4. Politique d'investissement de la SONABEL

Pour financer les projets d'électrification, la SONABEL a recours à trois (3) sources de financement qui sont :

⇒ **L'autofinancement** qui consiste à financer les projets à partir des fonds propres. Ce mode de financement est moins contraignant, mais il dépend de la capacité d'autofinancement de la société (trésorerie) ;

⇒ **L'emprunt auprès des bailleurs de fonds.** Les principaux bailleurs de fonds de la SONABEL sont la Coopération Française, la Coopération Danoise et la Coopération Allemande. La SONABEL reçoit des crédits de ses bailleurs de fonds par l'intermédiaire de l'Etat Burkinabé avec les conditions suivantes :

Origine des crédits	Taux d'intérêts	Durée de remboursement	Observations
Coopération Danoise	5 %	20 ans	avec différé de 5 ans
Coopération Allemande	2,5 %	30 ans	avec différé de 6 ans

⇒ **Les subventions non remboursables.** Ce mode de financement engendre un impact positif immédiat sur la trésorerie de la SONABEL; mais il se fait de plus en plus rare.

Le taux d'actualisation pratiqué à la SONABEL est de 12 %.

III.2. BILAN DU SOUS-SECTEUR DE L'ELECTRICITE

III.2.1. Aspects généraux

Le Burkina compte aujourd'hui trente et six (36) centres électrifiés dont 26 chefs-lieux de provinces sur 45. Ces centres électrifiés étaient pour la plupart isolés les uns des autres et font l'objet depuis quelques années d'interconnexions conformément à l'exécution du Schéma Directeur d'Electrification du Burkina (**SDEB**).

La puissance totale installée de la SONABEL (thermique et hydraulique) est de **108,8 MW** (Janvier 1998).

La situation de l'électrification au Burkina est résumée dans le tableau ci-dessous (voir page suivante) :

**TABLEAU DES CENTRES ELECTRIFIES
DU BURKINA FASO**

CENTRES	OBSERVATIONS
Ouagadougou Koudougou, Réo Kompienga Ziniaré Koupéla Tenkodogo Pouytenga Zorgho Bagré	Interconnectés (région de Ouagadougou)
Bobo-Dioulasso Banfora Bérégadougou Niangoloko Orodara Tourni Niofila	Interconnectés (région de Bobo)
Ouahigouya	Isolé
Gaoua	Isolé
Darsalami	Isolé
Péni	Isolé
Toussiana	Isolé
Kaya	Isolé
Dori	Isolé
Fada N'gourma	Isolé
Tougan	Isolé
Dédougou	Isolé
Gourcy	Isolé
Léo	Isolé
Bogandé	Isolé
Yako	Isolé
Nouna	Isolé
Po	Isolé
Kongoussi	Isolé
Diébougou	Isolé
Poura Boromo	Interconnectés (région de Poura)

Sur un total de 36 centres électrifiés, dix et huit (18) fonctionnent de manière isolée, les autres étant connectés.

Le développement du réseau électrique du Burkina s'articule autour de deux (2) centres de consommation les plus importants que sont Ouagadougou et Bobo-Dioulasso à partir desquels il y a un réseau d'interconnexion (pour chaque centre).

Les centres isolés se justifient par les raisons suivantes :

- **l'absence de source de production abondante et bon marché**
- **la faiblesse des consommations et l'éloignement des centres les uns des autres**
- **le coût élevé des réseaux.**

III.2.2. La production d'électricité

La production d'électricité par la SONABEL est assurée par des centrales thermiques diesel et des centrales hydroélectriques.

PARC DE PRODUCTION (au 28 Janvier 1998)

CENTRES	PUISSANCE NOMINALE (en KVA)
Production thermique :	
• Ouaga 1	10.000
• Ouaga 2	43.780
• Po	290
• Kaya	840
• Dori	540
• Bobo 1	11.000
• Bobo 2	19.040
• Diébougou	410
• Gaoua	540
• Orodara	120
• Koudougou	5.450
• Dédougou	2.490
• Ouahigouya	1.855
• Tougan	420
• Yako	290
• Nouna	640
• Kongoussi	480
• Léo	120
• Gourcy	120
• Fada N'gourma	1.675
TOTAL THERMIQUE	100.100
Production hydraulique :	
• Kompienga	15.400
• Bagré	18.000
• Niofila	1.875
• Tourni	625
TOTAL HYDRAULIQUE	35.900
TOTAL GENERAL	136.000 KVA soit 108.800 kW

L'énergie totale produite se répartit de la façon suivante :

- Production thermique :74 %
- Production hydraulique :26 %.

La production hydroélectrique au Burkina est défavorisée par :

- ◆ la faible et l'irrégularité des apports hydrauliques ;
- ◆ l'absence de site de taille importante aux caractéristiques géologiques et géographiques intéressantes pour la production d'électricité ;
- ◆ l'importance de l'évaporation qui représente jusqu'à ¼ des apports dans les ouvrages existants ;
- ◆ l'éloignement des sites envisageables des centres de consommation.

QUELQUES REALISATIONS TECHNIQUES:

- ◆ Centrale hydroélectrique de KOMPIENGA, en service depuis 1989 ;
- ◆ Centrale hydroélectrique de BAGRE, en service depuis 1993 ;
- ◆ Mini-centrales hydroélectriques de NIOFILA et de TOURNI, en service depuis 1996 ;
- ◆ Barrage hydroélectrique de la BOUGOURIBA, en cours d'exécution ;
- ◆ Barrage hydroélectrique de NOUMBIEL, études en cours.

III.2.3. Le transport de l'électricité

Le transport de la production d'électricité des deux (2) principales centrales hydroélectriques (Kompienga et Bagré) vers le centre de consommation de Ouagadougou se fait par une ligne de 132 KV (212 mm²) qui constitue actuellement la tension la plus élevée dans le pays. Cette ligne a coûté 4,4 milliards de F.CFA en 1986.

Les infrastructures de transport se présentent comme suit :

⇒ **Les grandes lignes de transport sont :**

- Kompienga - Tenkodogo 132 KV , 145 Km ;
- Bagré - Tenkodogo 132 KV , 20 Km ;
- Tenkodogo - Ouagadougou 132 KV , 145 Km.

⇒ **Pour le moyen et le mini-transport, on a :**

- la ligne Ouagadougou-Koudougou 90KV, 100 Km, provisoirement exploitée en 33 KV (181,6 mm²), coût : 18,4 millions de F.CFA/Km en 1991;
- la liaison Ouagadougou-Zinaré 33 KV , 28 Km (148 mm²), provisoirement exploitée en 15 KV ;
- la liaison Tenkodogo - Koupéla-Zorgho 33 KV , 75 Km (148 et 75 mm²) ;
- la liaison Bobo-Dioulasso - Banfora 33 KV , 85 Km (148 mm²) ;
- la liaison Banfora - Niangoloko 33 KV , 45 Km (75 mm²) ;
- la liaison Banfora - Orodara 33 KV , 30 Km ;
- la ligne Niofila - Tourni - Banfora , 50 Km.

NB : toutes les lignes sont en triphasé, et les conducteurs sont en Almelec.

INTERCONNEXIONS INTERNES EN PROJET :

- Diébougou - Ouagadougou : études en cours ;
- Ouagadougou - Kombissiri : appel d'offres en cours
- Tenkodogo - Garango : appel d'offres en cours

Les postes de transformation à haute tension sont ceux de Kompienga (6,6/132 KV), Bagré (6,6/132 KV), Zano (132/33 KV) et de Ouagadougou (132/33 KV).

Il existe neuf (9) autres postes de transformation 33/15 KV ou 33/20 KV dont sept (7) dans le système de Ouagadougou et deux (2) dans le système de Bobo-Dioulasso. De nouveaux postes ont été installés avec la mise en service des deux (2) mini-centrales hydroélectriques de NIOFILA et de TOURNI.

INTERCONNEXIONS EXTERNES :

⇒ **Burkina Faso - Côte d'Ivoire** : par Ferkéssédougou (RCI), ligne de 225 KV, 223 Km dont 150 Km en territoire burkinabé (570 mm², Almelec).

- Marché de fournitures de matériels électriques et travaux du poste de Bobo-Dioulasso déjà attribué ;
- Appel d'offres pour le montage de la ligne 225 KV en cours.
- Coût des travaux : 21 milliards de F.CFA.

⇒ **Burkina Faso - Ghana** :

- étude de factibilité terminée ;
- recherche de financement pour l'étude d'exécution en cours.

III.2.4. La distribution et l'exploitation des réseaux

La distribution se fait généralement en moyenne tension (MT) pour les abonnés industriels et les grandes administrations et en basse tension (BT) pour les grandes maisons et les abonnés domestiques. Les tensions utilisées sont :

- 5,5 ; 15 et 20 KV pour la MT ;
- 230V , 230/400 V pour la BT.

En 1995, le réseau de distribution mesurait **3.184 Km** de longueur totale dont 807 Km de lignes moyenne tension et 2.377 Km de lignes basse tension.

La longueur des réseaux de distribution a cru en moyenne de **10 %** l'an depuis 1986. Trois (3) centres principaux totalisent à eux seuls **78 %** de longueur de réseaux. Il s'agit de :

- Ouagadougou.....52 % ;
- Bobo-Dioulasso...19 % ;
- Koudougou.....7 %.

A l'exception du cas du centre ville de Ouagadougou, tous les réseaux sont aériens. Les pertes totales dans les réseaux de distribution sont estimées en moyenne à **9 %**.

Le taux d'électrification en 1995 au niveau du pays est de **7 %** : sur 100 ménages, 7 sont clients de la SONABEL. Par contre le taux d'électrification pour les centres électrifiés varie de **33 à 42 %** pour la période 1991-1995 : sur 100 ménages, 33 à 42 sont abonnés de la SONABEL.

III.2.5. La consommation d'électricité

Le prix moyen global de vente de **110,20 F.CFA le kWh**, prix constaté en 1995, paraît élevé ; cela n'est pas de nature à encourager de fortes consommations (domestiques) d'électricité par les abonnés de la SONABEL.

Les consommations réalisées au cours de la période 1991/1995 sont :

TABLEAU DES CONSOMMATIONS NATIONALES

ANNEE	1991	1992	1993	1994	1995
Consommation(en MWh)	169.458	175.914	184.266	189.420	207.455

- Moyenne annuelle sur la période = 185.303 MWh
- Moyenne annuelle/habitant = 18,5 KWh
- Moyenne mensuelle/habitant = 1,55 KWh

Les usages de l'électricité sont principalement l'éclairage, l'audiovisuel et la climatisation (*plus importante entre Mars et Mai*)

De manière globale, la consommation d'électricité se répartit comme suit (1995):

- secteur économique.....40 %;
- secteur domestique.....31,4 % ;
- commerce; artisanat et grands consommateurs domestiques ..10 % ;
- administration.....14,4 % ;
- éclairage public.....3,4 % ;
- SONABEL.....1,3 %.

III.2.6. Les auto-producteurs d'électricité

La SONABEL ne détient pas de statistiques sur la production et les consommations des auto-producteurs. Néanmoins, elle ne méconnaît pas la situation d'ensemble.

Les auto-producteurs les plus importants sont les industries minières, agro-alimentaires, textiles ou chimiques suivantes :

- SOREMIB à Poura ;
- CITEC huilerie à Bobo-Dioulasso ;
- SOSUCO à Bérégadougou ;
- CEMOB à Essakané ;
- PROJET PHOSPHATE à Diapaga ;
- SOFITEX à Houndé.

Les autres auto-producteurs sont des petits usagers divers et des particuliers couvrant leurs besoins domestiques, notamment dans les centres où la SONABEL n'est pas installée.

Selon des statistiques de la douane sur les importations de groupes électrogènes au Burkina, on estime à **35 MVA (28 MW)** le parc de petits groupes d'une puissance unitaire inférieure à 75 KVA.

III.2.7. La tarification

La SONABEL utilise une politique de péréquation des prix de vente du kWh. Le dernier tarif, en vigueur, de vente d'énergie électrique au Burkina Faso date d'Avril 1994, suite à la dévaluation du FCFA. Ce tarif se présente comme suit :

BASSE TENSION, Monophasé 2 fils

Branche-ment	Puiss. Disj. (A)	Avance Consom	Pose	Timbre	TOTAL	Prime fixe mens.	Prix kWh (FCFA)	Redevance (FCFA)
Location	3A	3.285	691	508	4.484	-	73	943
Usages	5	6.450			7.649	1.232		317
Domest.,	10	12.900			14.099	2.464		317
Particuliers	15	19.350	691	508	20.549	3.696	86	317
et	20	25.800			26.999	4.928		531
Administr. 1	25	32.250			33.449	6.160		531
	30	38.700			39.899	7.392		531

BASSE TENSION, Monophasé, Triphasé 4 fils

Branche-ment	Puiss. Disj. (A)	Avance Consom	Pose	Timbre	TOTAL	Prime fixe mens.	Prix kWh (FCFA)	Redevance (FCFA)	
Usages									
Domest.,	10	38.700			40.588	7.370		851	
Part.et	15	58.050			59.938	11.054		851	
Administr. 1	20	77.400	1.380	508	79.288	14.739	86	953	
	25	96.750			98.638	18.424		953	
Force motrice	30	116.100			117.988	22.109		953	
Tarif monome									
Force motrice		Prime fixe par kW suscrit et par an :24.015 FCFA							
		• Heures de pointe.....130 FCFA							5.929
Tarif Horaire		• Heures pleines.....70 FCFA							

MOYENNE TENSION

Branchement	ABONNES INDUSTRIELS ET AUTRES	Redevance (FCFA)
Particuliers et Administr. 1	Prime fixe par kW suscrit et par an.....53.656 FCFA • Heures de pointe.....110 FCFA • Heures pleines.....51 FCFA	5.929

ECLAIRAGE PUBLIC

Tarif unique : 120 FCFA le kWh

OBSERVATIONS

- Redevances des abonnements MT et BT Tarif horaire :
 - ◊ location : 4.658 FCFA / 5.929 FCFA
 - ◊ entretien : 1.271 FCFA
- Avance sur consommation MT (A/C) = P. Souscrite (PS) x100x110
- Avance sur consommation BT, Tarif horaire : A/C = PSx30x130
- Heures de pointe : de 10h à 14h et de 16h à 19h ;
- Heures pleines : de 0h à 10h, de 14h à 16h et de 19h à 24h.
- Administ. 1 = l'administration est dispensée du versement de l'Avance sur consommation.

III.3. LE SCHEMA DIRECTEUR D'ELECTRIFICATION DU BURKINA (SDEB)

III.3.1. Présentation générale du SDEB

Le Schéma Directeur d'Electrification du Burkina a été élaboré par le bureau d'études COYNE & BELLIER pour la période de **1986 à l'an 2000**; la SONABEL en est l'exécuteur.

Le SDEB est tout à fait classique en ce sens qu'il traite des scénarios de développement du parc de production et des équipements de transport et de distribution propres à la desserte des grands centres urbains et semi-urbains.

Il a pour objectif d'assurer une cohérence entre les perspectives de vente d'énergie, les tarifs praticables, les coûts d'investissements, l'évolution des coûts d'exploitation et l'équilibre financier de la SONABEL.

III.3.1.1. Les principaux problèmes électriques au Burkina

En 1986, au moment de l'élaboration du SDEB, les problèmes de l'électrification au Burkina étaient :

- **la faiblesse du réseau de distribution** (seul 3 % de la population utilisait l'électricité) ;
- **le coût toujours élevé de l'électricité** : l'énergie électrique au Burkina est essentiellement à base thermique diesel (prix de revient du KWh élevé) ;
- **la dépendance vis à vis de l'extérieur** : en dehors de la moyenne hydraulique, toute l'énergie commerciale au Burkina est importée. Les ressources financières limitées du pays souffrent d'une hémorragie de devises ;
- **l'absence du réseau interconnecté** : toutes les exploitations de la SONABEL sont pratiquement isolées les unes des autres.

III.3.1.2 Les grands axes du Schéma Directeur

Les objectifs stratégiques fixés par le SDEB sont :

- ◆ Fournir l'électricité au moindre coût sur toute l'étendue du territoire
- ◆ Soutenir le développement du secteur moderne de l'économie nationale
- ◆ Réduire la dépendance énergétique du pays vis à vis de l'extérieur.

Pour le développement des infrastructures électriques, les actions et mesures proposées sont :

- **L'optimisation de l'exploitation des infrastructures** : il s'agissait de renforcer les équipements de production existants, puis d'exploiter rationnellement les unités et d'utiliser les combustibles moins onéreux ;
- **la réalisation des interconnexions des réseaux électriques à l'intérieur du pays et avec l'extérieur**. Le centre régional de Ouagadougou recevrait l'interconnexion avec la Ghana et celui de Bobo-Dioulasso, l'interconnexion avec la Côte d'Ivoire. Les deux (2) centres régionaux seraient plus tard interconnectés dans le cadre du Projet NOUMBIEL ;
- **la diversification des sources de production** : il s'agissait de créer de grosses unités de production performantes dans les centres régionaux et surtout de mettre en oeuvre les barrages hydroélectriques. L'énergie solaire pourrait être utilisée dans les villages reculés ;
- **extension des réseaux de distribution (HTA et BT)** : dans le but de toucher la majorité de la population et de susciter une consommation plus élevée ;
- **le développement des centres secondaires** : les centres secondaires existant ou à créer seraient autant que possible raccordés aux centres régionaux les plus proches. Il est évident que cela dépend de la santé financière de la SONABEL. Mais des considérations socio-économiques et politiques peuvent primer dans le but de faire de l'électricité un moteur du développement des localités ;
- **les coûts d'investissements** sur la période 1986 - 2000 avaient été évalués de l'ordre de 350 milliards de F.CFA.

III.3.2. Bilan d'exécution du SDEB sur la période 1986-1995

Au 31 Mai 1996, le bilan d'exécution du SDEB, selon les grands axes d'actions dégagées, peut être résumé comme suit :

Optimisation de l'exploitation des infrastructures :

Les efforts conjugués de rationalisation de l'exploitation des équipements de production et de mise en place de grosses unités de production performantes utilisant des combustibles moins onéreux ainsi que la mise en service des barrages hydroélectriques de KOMPIENGA et de BAGRE ont permis de réduire la dépense de combustible et de lubrifiant de **60 %** des charges d'exploitation en 1986 à **26 %** en 1995.

Par ailleurs d'importantes opérations de restructuration des réseaux justifient la réduction du nombre de coupures rapporté à la longueur des lignes qui passe de **0,27/100 Km** en 1986 à **0,11/100 Km** en 1995.

Au total, sur la période 1986 à 1995, près de **10 milliards** de F.CFA de travaux ont été réalisés.

Réalisation des interconnexions des réseaux électriques :

Six (6) des sept (7) interconnexions intérieures programmées pour la période 1986-1994 ont été réalisées pour un coût global de **7.580 millions** de F.CFA.

Il reste à réaliser, dans la programmation 1995-2000, vingt deux (22) interconnexions internes et deux (2) interconnexions externes avec le Ghana et la Côte d'Ivoire.

Diversification des sources de production d'électricité :

Les actions dans ce domaine ont surtout porté sur la valorisation des ressources énergétiques nationales par la mise en oeuvre des barrages hydroélectriques de KOMPIENGA et de BAGRE et bientôt de NIOFILA et de TOURNI. (Rappelons que NIOFILA et TOURNI ont été mis en service depuis 1996). L'étude du barrage de la BOUGOURIBA est en cours. Celle relative à la construction d'une centrale OUAGA3 serait à engager comme alternative à l'interconnexion avec le Ghana, le cas échéant. La réalisation du barrage de NOUMBIEL est prévue en 2010.

Extension des réseaux de distribution :

En 1986, la SONABEL comptait **37.558** abonnés répartis dans 18 villes. Les réseaux de distribution mesuraient au total **1.374 Km**.

Au cours de la période 1986-1995, 3.600 millions de F.CFA de travaux d'extension ont été exécutés et ont permis d'accroître la longueur des réseaux de distribution pour la porter à **3.184 Km** et le nombre d'abonnés à **113.391**, **élevant ainsi à 7 % la proportion des ménages ayant accès à l'électricité.**

Développement des centres secondaires :

En 1986, seulement 18 villes figurant parmi les plus grands centres urbains du Burkina étaient électrifiées. Durant la période 1986-1994, neuf (9) localités ont pu être électrifiées à la faveur de la réalisation de l'interconnexion Bobo-Banfora, des barrages de KOMPIENGA et de BAGRE et de l'installation de la SOREMIB à Poura.

Des travaux d'électrification sont en cours dans 9 villes qui bénéficieront du service de l'électricité d'ici à la fin 1996.

Le nombre total de villes et de localités électrifiées devrait passer à trente et six (36) à la fin 1997 (ce qui est le cas actuellement).

La programmation fixait l'électrification de ces centres au moyen des lignes légères, mais le contexte économique actuel ne favorisant pas la réalisation de ces liaisons, l'électrification de ces centres a continué à se faire au moyen de mini-centrales Diesel isolées.

III.3.3. Actualisation du SDEB

Après neuf (9) ans d'exécution, l'actualisation du SDEB a été entreprise afin de mieux réorienter les différentes actions. Compte tenu de l'expérience déjà acquise, les nouvelles directives du SDEB sont les suivantes :

- **Entreprendre les interconnexions** avec les pays voisins suivant la planification technique effectuée par l'Union des Producteurs, Transporteurs et Distributeurs d'Energie en Afrique (U.P.D.E.A) ;
- **Consolider la capacité de production nationale** d'électricité, par l'aménagement des sites hydrauliques potentiels et la réhabilitation ou le renforcement des unités thermiques existantes ;
- **Proposer une nouvelle politique d'électrification rurale** qui déchargerait la SONABEL de cette mission sociale qui ne cadre pas avec les objectifs de rentabilité financière assignés à une Société d'Etat ;
- **Proposer des mesures financières** pour compenser les effets néfastes de la dévaluation du F.CFA sur les comptes de la SONABEL et les dettes de l'Etat.

III.4. ELECTRIFICATION RURALE

• *Les limites de la SONABEL :*

En matière d'électrification rurale, aucune politique n'a été élaborée en vue d'équiper les zones rurales en électricité. La SONABEL a toujours été considérée comme responsable de l'exécution de la politique nationale d'électrification mais, au regard de la rentabilité financière qui lui est imposée, le critère de rentabilité des projets constitue souvent un handicap dans ses actions d'électrification.

• *Les difficultés de financement :*

Il faut souligner que le problème de l'électrification rurale reste épineux. En effet les perspectives de vente d'énergie électrique dans les centres ruraux sont si faibles que, dans une logique de financement selon les critères économiques, jamais un réseau de distribution ne pourrait être construit dans l'immense majorité des localités. C'est la raison pour laquelle la recherche de financement pour l'électrification rurale est toujours difficile.

• *Une mission à caractère essentiellement social :*

Par ailleurs, dans la gestion des centres secondaires déjà électrifiés, beaucoup de problèmes sont apparus. Sur le plan financier, la grande faiblesse de la demande d'électricité s'est traduite, chaque année, par un déficit que les rares exploitations rentables se voient obligées de supporter. Les objectifs de rentabilité financière assignés à la SONABEL ne l'autorisent plus à poursuivre un programme soutenu d'électrification des centres secondaires qui n'est autre chose qu'une mission à caractère essentiellement social.

• *L'existant :*

Sur le terrain, certains centres ruraux se sont dotés d'équipements de pré-électrification solaire. Comme actuellement la SONABEL n'a pas la compétence pour mener ces opérations, ces équipements installés dans les centres ruraux sont l'oeuvre soit des ONG, soit de l'Office National des Télécommunications (ONATEL), soit encore l'oeuvre des structures de santé publique; équipements installés par les sociétés de la place : PPI BF, SAHEL énergie solaire, SOLTECH Burkina, etc.

La faible quantité d'énergie ainsi produite peut servir aux usages suivants :

- ◆ alimentation d'un réfrigérateur pour conservation des médicaments (vaccins, en particulier) ou des chauffe-eau solaires dans les maternités ;
- ◆ alimentation d'une pompe électrique à eau (forage) ; cela peut se faire aussi par des petites motopompes surtout pour le pompage des eaux de surface destinées à l'irrigation des petits périmètres ;
- ◆ alimentation d'une antenne de faisceau hertzien de communication (ONATEL).

III.5. CONCLUSION

Le travail d'électrification du Burkina reste encore énorme. En ce qui concerne l'électrification rurale, les contraintes économiques limitent la volonté des hommes à entreprendre des actions de développement de l'énergie électrique.

Bien que l'électrification du pays soit en développement, le taux actuel d'électrification (7 à 8 %) paraît encore trop faible si l'on veut faire de l'électricité un réel facteur de développement.

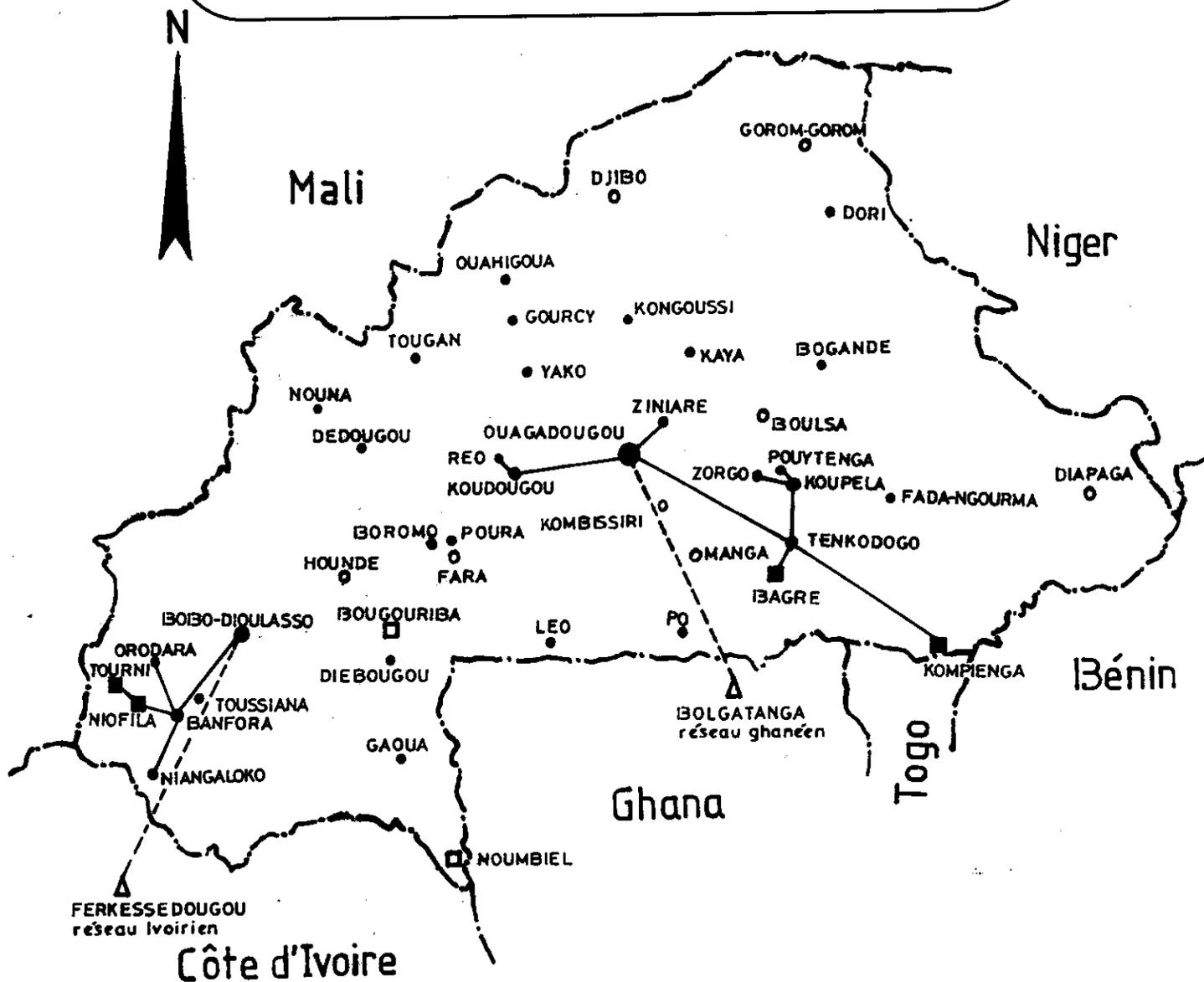
Le prix du kWh d'électricité au Burkina est des plus élevés de la sous-région de l'Afrique de l'Ouest.

Dans le cas précis du Burkina Faso (pays sahélien), l'électrification dépend principalement du développement des moyens de production. Les options de développement des moyens de production devront se faire à partir des critères suivants :

- ◆ la maîtrise de la demande par centre ;
- ◆ l'utilisation rationnelle des moyens de production existants combinés avec les possibilités d'importation d'électricité des pays voisins ;
- ◆ les possibilités de réhabilitation des groupes existants ;
- ◆ la réduction des consommations spécifiques des combustibles ;
- ◆ l'utilisation des combustibles moins onéreux ;
- ◆ la recherche des sources d'approvisionnement en combustible à des prix compétitifs ;
- ◆ le déclassement des groupes vétustes et peu performants ;
- ◆ l'adaptation des puissances installées des centres isolés à la demande ;
- ◆ les possibilités de reprise des centres isolés sur le réseau national ;
- ◆ l'exploitation de toutes les potentialités hydroélectriques nationales ;
- ◆ l'utilisation des Energies Nouvelles et Renouvelables (ENR) ;
- ◆ l'encouragement de l'installation d'auto-producteurs avec la possibilité de rachat d'énergie électrique par la SONABEL □

BURKINA FASO

Villes électrifiées Réseau National



LEGENDE

● Ville électrifiée	○ Autre ville
■ Barrage hydroélectrique en exploitation	□ Barrage hydroélectrique en Construction ou en Projet
— Ligne aérienne de transport d'électricité en Haute ou moyenne tension	----- Ligne d'interconnexion externe en Projet

Quatrième Partie:

**APPROCHE POUR
L'ELECTRIFICATION
RURALE AU BURKINA**

IV.1. INTRODUCTION

L'électrification rurale se pose aujourd'hui en terme d'équité, de politique sociale touchant les équipements collectifs et d'apports d'énergie au monde rural ; cela pour tenter de réunir les conditions nécessaires à un développement d'activités économiques.

Dans la majorité des pays en voie de développement, la composante rurale de la population est encore dominante. Dans le cas du Burkina, les activités du monde rural représentent environ 40 % du PIB.

Il est donc indispensable que l'électrification rurale occupe une place de choix dans les orientations économiques afin de rendre plus performant le système de production et d'améliorer les conditions de vie des populations.

L'impact socio-économique de l'électrification rurale étant indiscutable, elle peut être utilisée comme moteur de développement en milieu rural à condition que d'autres facteurs soient réunis car, l'électrification rurale n'est pas une condition suffisante de développement rural.

IV.2. DEFINITION ET CARACTERISTIQUES DE L'ELECTRIFICATION RURALE

Le concept d'électrification rurale reste à définir. Selon des techniques classiques, l'électrification rurale concernerait essentiellement les agglomérations d'habitations plus ou moins modernes, en dehors du périmètre communal. Néanmoins, cette idée peut être complétée par la prise en compte de l'habitat dispersé.

En ce qui concerne le Burkina et la plupart des pays africains, le concept d'électrification rurale doit être identifié à l'électrification des zones rurales dont les caractéristiques sont :

- **habitats isolés très modestes ;**
- **hameaux ;**
- **revenus des populations généralement très faibles ;**
- **l'électricité sert pratiquement à l'éclairage communautaire et individuel, à l'alimentation de centres de loisirs et de télévisions communautaires, à la conservation des produits (aliments et médicaments) et souvent au pompage de l'eau pour l'alimentation des hommes et du bétail et pour l'irrigation.**

De ce constat, on peut tirer les principales caractéristiques suivantes de l'électrification rurale :

- **des consommations unitaires faibles ;**
- **un nombre limité de clients solvables ;**
- **une faible densité de la demande (petites agglomérations) ;**
- **des besoins orientés surtout vers l'éclairage ;**
- **une mauvaise répartition de la consommation sur la journée.**

IV.3. NATURE DES BESOINS D'ELECTRICITE A SATISFAIRE EN MILIEU RURAL

Il existait au total **1.399.149** ménages sur l'ensemble du territoire burkinabé en 1993. Le milieu rural comprenait à lui seul **1.201.278** ménages, soit **86 %** environ.

Au regard du grand nombre de la population, on peut dire que les besoins en énergie du monde rural sont immenses et que l'électrification peut contribuer à les résoudre.

La difficulté de prise en compte de ces besoins réside dans leur dispersion. De manière générale, les besoins en énergie du monde rural sont de trois (3) sortes :

⇒ *Les besoins domestiques en électricité :*

- cuisine (chauffage d'eau, préparation) ;
- éclairage, fer à repasser ;
- audiovisuel (télévision, radiocassette) ;
- froid, climatisation et ventilation ;

⇒ *Les besoins en électricité liés aux activités productives :*

- irrigation ;
- transformation des produits agricoles ;
- commerce ;
- bars ;
- restaurants ;
- moulins à mil ;
- activités artisanales (couture, soudure, menuiserie..)

⇒ *Les besoins en électricité liés aux infrastructures socio-sanitaires :*

- pompage et distribution d'eau potable ;
- éclairage public ;
- hôpitaux, dispensaires, maternités ;
- écoles, etc.

IV.4. PROBLEMATIQUE DE L'ELECTRIFICATION RURALE

La problématique de l'électrification rurale dans les pays en voie de développement se pose comme suit :

- la difficulté de trouver des partenaires pour le financement des investissements ;
- l'insuffisance dans la planification des projets d'équipement des zones rurales en général et de développement du sous-secteur de l'électricité en particulier ;
- la difficulté de prévision de la demande ;
- l'inadaptation des équipements aux besoins réels (surdimensionnement, choix techniques et technologiques) ;
- les critères de sélection des villages ou zones à électrifier non définis ;
- le déséquilibre entre les ressources des populations et le coût réel du kWh ;
- le manque de ressources des collectivités locales (écoles, maternités, dispensaires, groupements villageois, etc.)

Les avantages liés à l'électrification rurale ont toujours tendance à être surestimés tandis que les coûts, eux, sont souvent sous-estimés.

L'électricité est encore loin d'être le grand facteur de développement du monde rural car, la complexité des problèmes posés pour sa diffusion reste de taille.

IV.5. ELEMENTS A PRENDRE EN COMPTE POUR LE DEVELOPPEMENT DE L'ELECTRIFICATION RURALE

Compte tenu de la dispersion des besoins, les solutions à l'électrification rurale ne peuvent pas être une extension des solutions adoptées en milieu urbain.

Il faudra dans la conduite, tenir compte d'un certain nombre de paramètres afin que l'électrification rurale puisse s'intégrer dans un processus global d'aménagement du territoire et de promotion d'un développement durable.

Les projets d'électrification rurale doivent, pour répondre à leurs objectifs, se concevoir à partir des grands axes suivants :

- définir les critères précis de sélection des zones à électrifier ;
- s'appuyer sur une bonne connaissance de la demande ;
- faire de bons choix techniques et technologiques (pour optimiser les coûts) ;
- encourager une utilisation rationnelle de l'énergie ;
- agir sur la demande par le développement des usages productifs, l'accroissement des consommateurs et l'alimentation des services sociaux ;
- mettre en place une tarification appropriée au milieu (facturer plutôt un service qu'un kWh) ;
- trouver un système de financement acceptable permettant aux collectivités et aux usagers de s'équiper ;
- s'appuyer sur les collectivités locales dans la décision et la gestion des systèmes ;
- associer les partenaires privés à la promotion de l'électrification rurale.

IV.6. CRITERES OBJECTIFS DE SELECTION DES ZONES A ELECTRIFIER

Tout projet nécessite une étude de faisabilité technique et économique. L'étude de faisabilité d'un projet doit permettre l'analyse de plusieurs variantes dans le but d'opérer des choix techniques qui vont, non seulement résoudre le problème posé, mais aussi minimiser les coûts des ouvrages et équipements.

Le critère politique consisterait à l'électrification systématique de chaque localité mais, les raisons politiques ne sont que très secondaires (voire à exclure) pour justifier l'électrification d'un centre secondaire surtout pour un pays comme le Burkina qui ne dispose pas d'une source de production d'électricité suffisante à faible coût.

Ainsi, sans être exhaustifs, les critères objectifs pouvant favoriser l'électrification d'une agglomération peuvent être résumés comme suit :

⇒ *Aspects financiers du projet :*

- coût optimal (dépendant des choix techniques et technologiques) ;
- Valeur Actuelle Nette (**VAN**) positive ;
- Taux de Rendement Interne (**TRI**) supérieur au taux d'intérêts des capitaux empruntés ;
- Délais de récupération plus court possible, etc.

⇒ *Aspects liés au développement d'activités économiques :*

- transformation ou conservation de produits agricoles ;
- exploitation minière ;
- exploitation agricole (irrigation, fermes, abattoirs), etc.

⇒ *Aspects socio-démographiques :*

- Population ;
- niveau de la demande ;
- évolution de la demande ;
- infrastructures socio-sanitaires (écoles, dispensaires...) ;
- aménagements de l'habitat, etc.

Remarque : Pour les installations communautaires dans les villages, la société **SAHEL énergie solaire** applique les **critères** ci-dessous.
La communauté villageoise doit :

- ◆ disposer d'un compte avec une somme minimale de 100.000 à 200.000 FCFA ;
- ◆ créer un comité de gestion de cinq (5) membres ;
- ◆ être prête à signer un contrat de maintenance de 5 ans avec **SAHEL énergie solaire**.

IV.7. EFFETS POSITIFS DANS LES CENTRES RURAUX ELECTRIFIES

Les effets positifs dans les centres ruraux électrifiés sont multiples et de plusieurs ordres :

⇒ *Au plan économique* :

- ◆ l'électricité favorise la création ou le développement de nouvelles activités (commerce, bars, restaurants, artisanat, etc.)
- ◆ la transformation ou la conservation des produits agricoles (industrie) ;
- ◆ l'installation des relais de télécommunications (faisceau hertzien).

⇒ *Au plan socio-sanitaire* : l'électricité favorise :

- ◆ l'amélioration du niveau de vie des populations ;
- ◆ le pompage et la distribution de l'eau ;
- ◆ l'éclairage public ;
- ◆ la réduction de l'exode rural ;
- ◆ la conservation des produits pharmaceutiques et agricoles ;
- ◆ le développement des collectivités ;
- ◆ l'amélioration des soins sanitaires ;
- ◆ l'alphabétisation des adultes (cours du soir), etc.

⇒ *Au plan de la sécurité* : l'éclairage public peut :

- ◆ diminuer considérablement le banditisme de nuit dans les agglomérations ;
- ◆ faciliter le travail de la force publique (agents de l'ordre), etc.

Ainsi, on peut affirmer que le manque d'électricité dans les agglomérations provoquerait ou aggraverait les effets contraires à ceux évoqués ci-dessus.

IV.8. CONCLUSION

Le Burkina Faso est un pays essentiellement agricole avec environ 85 % de la population qui s'y consacre. Chaque année, les activités du monde rural représentent environ 40 % du Produit Intérieur Brut (PIB).

L'électrification rurale, bien qu'elle ne soit pas rentable pour la SONABEL, pourrait être profitable pour le Burkina Faso. Elle pourrait apporter au monde rural un facteur déterminant susceptible d'augmenter la productivité et de diversifier les activités des producteurs.

Il serait souhaitable qu'une volonté politique réelle se dégage pour appuyer ou préconiser la prise en compte du volet électrification rurale dans tous les projets de développement engagés dans le pays □

Cinquième Partie:

**CONTRIBUTION DES ENERGIES
NOUVELLES ET RENOUVELABLES A
L'ELECTRIFICATION
AU BURKINA**

V.1. INTRODUCTION

Dans cette partie, nous ferons d'abord le point sur l'utilisation des Energies Nouvelles et Renouvelables (**ENR**) au Burkina Faso. Pour ce faire, nous passerons en revue les possibilités d'utilisation des ENR dans la satisfaction des différents besoins des populations en milieu rural.

Ensuite, nous aborderons les contraintes liées au développement de l'exploitation des ENR au profit de l'électrification rurale au Burkina Faso.

Enfin, nous situerons les avantages environnementaux et économiques qui peuvent résulter du développement de l'exploitation des ENR au Burkina Faso.

V.2. PROBLEMATIQUE DES ENERGIES DANS LE PROCESSUS DE DEVELOPPEMENT DE L'ELECTRIFICATION AU BURKINA

V.2.1. Les produits pétroliers

Le Burkina Faso n'est pas un pays producteur de pétrole bien qu'il en soit un gros consommateur [**8** % de la consommation totale en énergie contre **2** % pour l'électricité et **90** % pour la biomasse (bois de chauffe, déchets végétaux et animaux)].

Rappelons que le parc de production de la SONABEL est à **74** % thermique de type Diesel. Les unités de production fonctionnent au **FO** (Fuel Oil) pour les plus importantes centrales (OUAGA2 et BOBO2) et au **DDO** (Distilate Diesel Oil) pour les autres.

Pour la production d'électricité, les consommations de combustibles ont été de 34.244 tonnes (en 1994) et de 35.484 tonnes (en 1995) qui ont coûté respectivement **4.789** millions et **5.391** millions de F.CFA à la SONABEL.

Ces combustibles sont importés à partir des pays côtiers voisins et représentent environ **20** % des importations du pays.

On peut donc constater que le pétrole entraîne des sorties de devises très importantes pour l'économie du Burkina Faso.

V.2.2. L'énergie hydraulique

Cette ressource est rare au Burkina qui est un pays sahélien avec une pluviométrie de plus en plus faible ces dernières années.

Depuis quelques années, la SONABEL a entrepris des démarches pour l'aménagement des sites déjà identifiés. Le potentiel hydroélectrique global du pays pourrait se situer à **150 MW**. A ce jour, quatre (4) sites ont été aménagés (KOMPIENGA, BAGRE, NIFIOLA et TOURNI) et produisent environ **36 MW**, soit **26 %** de la puissance installée de la SONABEL.

D'autres projets sont en étude ou en cours de réalisation, il s'agit des barrages suivants :

Sites	Puissance Nominale (MW)
BOUGOURIBA	12
NOUMBIEL	60
NATENA	3

V.2.3. L'énergie nucléaire

Le Burkina Faso ne produit pas l'énergie nucléaire. Cette forme d'énergie est plutôt l'affaire des pays industrialisés.

D'autre part, cette source d'énergie est coûteuse en investissement, de plus elle fait appel à des techniques complexes sans oublier les problèmes de sécurité et d'atteinte à l'environnement. Et l'on peut se demander si elle est bien adaptée à nos besoins dans les pays en voie de développement en général et au Burkina Faso en particulier ? La question mérite d'être posée, mais nous pensons que cette forme d'énergie n'est pas à notre portée.

V.2.4. Les Energies Nouvelles et Renouvelables

Les ENR sont des sources d'énergie de faible ou de moyenne puissance qui, à priori, paraissent mieux adaptées à des besoins très dispersés comme ceux du monde rural qu'aux besoins regroupés et massifs des grands centres urbains.

Notre réflexion va se baser sur deux (2) questions essentielles à savoir :

- ⇒ Les ENR peuvent - elles contribuer au développement d'un pays comme le Burkina Faso, en un mot contribuer à l'approvisionnement énergétique du pays ?
- ⇒ Que faut - il faire pour cela ?

Il faut signaler que nous nous intéresserons dans ce cas précis à :

- **l'énergie solaire ;**
- **l'énergie éolienne ;**
- **la valorisation de la biomasse en biogaz (énergie dérivée de la biomasse).**

V.3. L'ENERGIE SOLAIRE

V.3.1. Description de la Technologie

L'énergie solaire photovoltaïque est la conversion directe de la lumière en électricité grâce à des photopiles ou cellules solaires. L'utilisation de l'électricité obtenue peut se faire directement (courant continu) ou par l'intermédiaire d'un convertisseur (onduleur) courant continu/courant alternatif (pour un usage en alternatif avec possibilité d'obtention du triphasé).

Actuellement, la technologie solaire a atteint un état de maturité très avancé et les équipements mis sur le marché sont de plus en plus performants. Le système présente de nombreux avantages pour une utilisation à petite échelle. Mais sa faible capacité (en puissance) le destine à la **pré-électrification**.

Suivant les besoins en énergie électrique, les techniques actuellement disponibles sont les suivantes :

CENTRALE SOLAIRE ET RESEAU ASSOCIE

Le regroupement d'un nombre appréciable de panneaux solaires permet de constituer une centrale solaire qui pourra alimenter un micro-réseau de distribution classique desservant une zone dont la demande d'électricité est quelque peu concentrée.

Sous forme concentrée, l'amélioration du service peut demander un couplage avec un autre mode de production (groupe diesel par exemple). L'investissement initial est élevé. Ce système n'est pas répandu mais, il offre l'avantage de disposer d'un mini-réseau de distribution classique.

BORNE-FONTAINE SOLAIRE

Pour satisfaire des besoins géographiquement dispersés, il peut être envisagé une station solaire de charge de batteries. Chaque utilisateur de lampe portative ou de radiocassette, par exemple, vient faire le "plein" d'énergie à chaque fois que sa batterie ou sa lampe est déchargée.

KIT SOLAIRE INDIVIDUEL

Les **Kits** sont des systèmes standards qui se sont rapidement répandus. Ils sous-entendent un ensemble indissociable, prêt à l'emploi. Chaque utilisateur dispose d'un ou plusieurs panneaux solaires directement raccordé(s) à son installation qui peut comporter, selon les moyens financiers de l'utilisateur, un certain nombre d'appareils tels que : lampe, radiocassette, téléviseur, réfrigérateur, etc.

Dans tous les cas, le système solaire qui est utilisable collectivement ou individuellement, peut se promouvoir au Burkina, vu l'importance du rayonnement solaire. Les freins au développement de ce système sont :

- le coût d'acquisition des équipements et,
- la difficulté de la gestion du service après vente (à un coût abordable) pour la pérennisation des équipements.

V.3.2. Le Potentiel Solaire du Burkina

L'énergie solaire est abondante au Burkina Faso. Le rayonnement solaire reçu varie de 3,5 à 6,5 kWh/m²/jour avec 3.000 heures d'ensoleillement par an. La moyenne nationale est de **5,5 kWh/m²/jour**.

Hors atmosphère, l'éclairement énergétique solaire est de **1400 W/m²**. Au sol, on peut avoir **700 à 800 W/m²** dans les pays tropicaux ; ce qui donne en moyenne 5 à 6 kWh/m²/jour de ciel clair.

QUELQUES CHIFFRES DU RAYONNEMENT SOLAIRE AU BURKINA

Localités	Rayonnement solaire (KWh/m ² /jour)
Ouagadougou	5,8
Léo	5,3
Djibo	6,5
Mogtéo	5,9

Seules des applications individuelles sont développées à l'heure actuelle à un rythme nettement en deçà de la volonté de vulgarisation des promoteurs de cette énergie, à cause du coût encore très élevé des équipements et du taux d'imposition (**56,65 %** de douane sur les panneaux solaires photovoltaïques).

Cette énergie est donc en promotion un peu partout au Burkina Faso avec les principaux usages suivants :

- Pompage d'eau (forage) ;
- Relais de télécommunication (ONATEL) ;
- Réfrigération (structure de santé publique en milieu reculé) ;
- Ménages (éclairage, audiovisuel, réfrigération) dans les périphéries des villes ou en campagne, etc.

V.3.3. Situation de l'utilisation du solaire au Burkina

Les premières installations pour l'exploitation de l'énergie solaire se situeraient dans les années 1978, avec l'installation par la coopération française de pompes thermodynamiques et pompes solaires pour l'exhaure de l'eau pour l'hydraulique villageoise et pastorale.

En 1980, la Hollande introduit des cuisinières solaires à concentration pour expérimentation, qui n'ont pas connu de succès en raison de leur inadaptation aux habitudes de la cuisine africaine en général et du Burkina en particulier (problème d'horaire de cuisine : *préparation de jour nécessairement*). Il y a eu également l'équipement des centres de santé en petites installations solaire (pour réfrigération des médicaments de premiers soins) de Fada N'gourma, de Yako, de Barsalogo, de Gaoua, etc..

A partir des années 1980, il y a eu, au profit du Ministère de la Santé, l'introduction très diversifiée d'équipements solaires surtout photovoltaïques soit par le biais des ONG, soit par des missions catholiques et même des individus.

En 1982, le colloque national sur l'énergie crée l'Institut Burkinabé de l'Energie (**IBE**) qui est une structure de recherche/développement de l'Etat rattaché au Ministère chargé de la recherche.

Dès sa création, l'IBE a bénéficié de l'appui financier et technique de l'ex RFA. Cet appui qui a duré de 1982 à 1990 a permis :

- ◆ la mise au point et la diffusion d'une cinquantaine de chauffe-eau solaires ;
- ◆ l'équipement d'une cinquantaine de bâtiments de conservation d'oignon en bulbe ;
- ◆ l'installation de 200 séchoirs solaires (type individuel et collectif) ;
- ◆ l'installation et le suivi d'une dizaine de réfrigérateurs solaires (programme élargi de vaccination) ;
- ◆ l'installation d'une centaine de systèmes d'éclairage solaire photovoltaïque.

Après cela, de nombreuses autres réalisations ont vu le jour malgré le coût élevé d'acquisition des équipements. Signalons qu'actuellement **95 %** du réseau de télécommunication de l'Office National des Télécommunications du Burkina (ONATEL) est équipé en solaire photovoltaïque au niveau de l'alimentation en énergie des relais des faisceaux hertziens.

V.4. L'ENERGIE EOLIENNE

V.4.1. Description de la technologie

Le système éolien consiste en l'utilisation des aéro-générateurs transformant l'énergie cinétique du vent en énergie électrique. Dans ce cas, il nécessite un site approprié pouvant bénéficier de vents réguliers avec des vitesses importantes.

L'énergie éolienne étant de nature aléatoire, il convient chaque fois de chercher à coupler un tel système de production à un autre système capable de se substituer au premier pour fournir la puissance requise, le cas échéant.

Sur le plan pratique, il peut être installé un peu loin du lieu d'utilisation et se prête bien aux usages collectifs ou individuels. Les coûts d'exploitation sont réduits.

V.4.2. Le potentiel éolien du Burkina Faso

Le gisement éolien est très limité au Burkina pour offrir une production d'électricité à grande échelle. Le régime des vents est en effet irrégulier et faible (4m/s en moyenne) et ne permet que des applications comme l'exhaure de l'eau.

Pour la satisfaction des besoins importants, l'utilisation de ce potentiel à des fins d'électrification, même rurale, poserait des problèmes, non seulement de maîtrise de la technologie, mais aussi d'occupation de superficies importantes des sols.

Du fait de la faiblesse de l'intensité des vents et de leur caractère aléatoire, cette forme d'énergie ne peut donc pas apporter une contribution significative au développement du sous-secteur de l'électricité au Burkina Faso.

V.4.3. Situation de l'utilisation de l'éolien au Burkina

L'exploitation de l'énergie éolienne au Burkina, bien qu'existante à travers quelques installations, demeure très limitée. Cet état de faits est lié à une mauvaise connaissance du potentiel éolien et à une maîtrise très limitée de la technologie.

En 1990, l'Institut Burkinabé d'Energie (**IBE**) a fait un recensement sur les installations existantes de petit pompage d'eau ; les résultats de ce recensement ont montré que sur la centaine d'éoliennes existant à l'époque, 52 % étaient en panne pour diverses raisons dont :

- l'inadaptation de la pompe à la puissance de l'éolienne ;
- la fragilité de l'éolienne aux grands vents ;
- le tarissement des puits.

Notons qu'il existe un artisan à Ouagadougou (M. NIKIEMA Hypolite) qui sait réaliser et installer des éoliennes.

V.5. L'ENERGIE DERIVEE DE LA BIOMASSE

Définition : Par BIOMASSE, nous entendons l'ensemble des résidus biodégradables tels que : paillet, coques d'arachides, coques de graine de coton, résidus de canne à sucre ou de cultures alimentaires, les ordures ménagères, les déchets animaux, etc.

V.5.1. Description de la technologie

Le système consiste en la réalisation des centrales thermiques utilisant les dérivés de la biomasse comme combustible. A ce jour, trois (3) filières sont envisageables à savoir :

- **la combustion** (combustion en chaudière pour faire tourner un turboalternateur) ;
- **la gazéification** (transformation en gaz combustibles de produits liquides ou solides contenant du carbone) ;
- **le biogaz** (production de gaz combustible à partir de matières organiques).

Le système demande un approvisionnement régulier en biomasse. Par contre, il permet une économie sur les combustibles importés et valorise les ressources locales.

On note deux (2) avantages dans le cas de la production de gaz à partir de la biomasse dans des biodigesteurs :

- ◆ les produits résiduels obtenus des biodigesteurs servent de fumure organique ;
- ◆ la combustion des gaz qui en sont tirés est moins polluante que celle des matières brutes.

Les huiles végétales peuvent aussi être utilisées comme combustibles mais, elles nécessitent au préalable une modification légère sur les groupes électrogènes.

V.5.2. Le potentiel en biomasse du Burkina Faso

Le Burkina est un pays à vocation agricole et agro-pastorale. Ainsi, son potentiel en biomasse est très important, mais **il est utilisé prioritairement pour la reconstitution de la fertilité des sols partout en dégradation dans le pays.**

Il serait difficile que cette biomasse puisse servir à des fins de production d'électricité à une échelle industrielle.

V.5.3. Situation de l'utilisation du Biogaz au Burkina

Au Burkina, le biogaz a connu ses débuts avec l'Association Internationale pour le Développement (**AIDR**), puis le Comité Inter-africain d'Etudes Hydrauliques (**CIEH**) et l'Université de Ouagadougou. C'est avec la création de l'Institut Burkinabé de l'Energie, en 1982, que cette filière a connu un développement important.

En effet, à partir de 1982, l'Institut a développé des digesteurs qui ont été expérimentés sur plusieurs sites en particulier à la Station de Recherches Agricoles de Saria (Koudougou) et aux Centres de Formation des Jeunes Agriculteurs de Farako-Ba, de Koubri et de Saaba.

Pendant le Plan Populaire de Développement, il y a eu un projet d'installation de trente (30) digesteurs dans les 30 provinces du Burkina de l'époque ; malheureusement, toutes ces installations n'ont pas été effectives.

Actuellement, il existerait quelques installations en bon état de fonctionnement notamment au petit séminaire de Pabré et à Saaba.

V.6. CONTRAINTES LIEES A LA DIFFUSION DES TECHNOLOGIES DES ENR

Ces contraintes sont d'ordres technique, commercial et institutionnel (fiscalité). Parmi ces contraintes, on peut citer :

- ◆ la faiblesse des puissances mises en jeu ;
- ◆ la mauvaise maîtrise de certaines technologies ;
- ◆ l'entretien des équipements encore mal maîtrisé ;
- ◆ la non disponibilité des matières organiques (biomasse) ;
- ◆ la non disponibilité de certains équipements sur le marché local ;
- ◆ le coût élevé d'acquisition des équipements ;
- ◆ le taux élevé d'imposition des douanes ;
- ◆ l'importance des superficies nécessaires pour réaliser les installations (cas du photovoltaïque).

V.7. AVANTAGES DE L'EXPLOITATION DES ENR

L'exploitation des technologies des Energies Nouvelles et Renouvelables (ENR) offre plusieurs avantages parmi lesquels on peut citer :

◆ **Incidence macro-économique** : les ENR correspondent bien à la satisfaction des besoins réellement prioritaires du monde rural. Elles permettent d'économiser des devises (du fait de leur fonctionnement naturel) et, par conséquent, ont une incidence directe sur la balance de paiement de l'Etat ;

◆ **Moins de pollution de l'environnement** : l'utilisation des ENR conduit à la sauvegarde de l'environnement comparativement aux autres énergies telles les produits pétroliers, le bois, etc.

◆ **Utilisation décentralisée** : le soleil et le vent étant partout, l'utilisation des ENR se prête à des sites isolés où l'utilisation des énergies fossiles s'avère coûteuse et inappropriée ;

◆ **Charges de fonctionnement insignifiantes** : même si l'acquisition de certains équipements des ENR nécessite de gros investissements, il reste que les charges de fonctionnement liées à ces technologies sont parfois négligeables ;

◆ **Augmentation de la productivité agricole** : l'utilisation de certaines technologies telles que le biogaz permet d'augmenter les rendements des productions agricoles (fumure organique) ;

◆ **Adaptation à des besoins énergétiques faibles** : dans le monde rural africain, les besoins énergétiques domestiques sont généralement faibles et ne justifient pas les investissements des énergies classiques dans ce milieu. D'où l'adaptation facile des technologies ENR à ces besoins.

QUELQUES EXEMPLES D'APPLICATIONS DES ENR

⇒ **L'utilisation du biogaz** sous ses diverses formes (cuisson, éclairage, adaptation aux moteurs pour diverses utilisations, etc.) permet la substitution au bois, au gaz butane, au pétrole et offre d'autres services multiples en zone rurale surtout pour des installations communautaires ;

⇒ **Les équipements photovoltaïques** pour le pompage de l'eau et l'éclairage substitués au groupe électrogène, permettent d'éclairer des dispensaires, des maternités, la conservation des vaccins, la fourniture d'eau potable pour la consommation humaine et animale et pour le maraîchage ;

⇒ **Le séchage des produits agricoles** est un moyen efficace pour la lutte contre les pertes post-récoltes, d'accroître la production et de générer des revenus au profit des utilisateurs ;

⇒ **Le chauffe-eau solaire** permet de réduire les dépenses énergétiques, de réduire la consommation du bois de chauffe et d'accroître le pouvoir d'achat de l'utilisateur ;

⇒ **L'utilisation des systèmes éoliens** permet l'exhaure de l'eau pour la consommation ; l'utilisateur pourra ainsi faire l'économie de sa force physique.

V.8. CONCLUSION

Dans les pays en voie de développement, il existe encore de vastes zones rurales, peu peuplées, où aucun réseau de distribution d'électricité n'a encore été établi et où les besoins en énergie sont dispersés et assez spécifiques, caractéristiques d'une société agraire qui selon toute vraisemblance restera telle pendant de longues années encore.

Après le passage en revue de l'exploitation des ENR, seule l'énergie solaire peut faire l'objet de promotion à des fins de production d'électricité au Burkina Faso, pays bénéficiant d'un rayonnement solaire très important.

Il est vrai que l'énergie solaire pose de gros problèmes de production suffisante par rapport à la demande. Pour cela, elle pourra être destinée aux opérations dites de **pré-électrification** pour la satisfaction des besoins d'électricité réellement prioritaires du monde rural à savoir :

- ◆ **Pompage d'eau d'hydraulique villageoise et pastorale ;**
- ◆ **Réfrigération des produits pharmaceutiques de premiers soins (vaccins) ;**
- ◆ **Alimentation des relais de télécommunication (information des populations) ;**
- ◆ **Chauffage d'eau dans les maternités.**

Toutefois, il serait souhaitable que la promotion de l'énergie solaire soit accompagnée d'une formation à la maîtrise de la technologie pour la pérennisation des structures de desserte ☐

Sixième Partie:

**TECHNOLOGIES
POUR L'ELECTRIFICATION
RURALE AU BURKINA**

VI.1. INTRODUCTION

D'un point de vue purement technique, plusieurs technologies existent pour l'électrification des centres ruraux. Il est évident que chaque technologie présente un certain nombre d'avantages et d'inconvénients; ce qui fait que certaines options peuvent être préférables les unes par rapport aux autres.

Aujourd'hui, il est indispensable que les projets d'électrification s'appuient sur un ensemble de solution techniques et technologiques (**variantes**) à partir desquelles des choix seront opérés dans les buts de :

- ◆ Satisfaire la demande ;
- ◆ Optimiser les coûts d'investissements.

La diffusion de l'électricité en milieu rural peut se faire :

- **par extension du réseau national existant**, ou encore,
- **de manière décentralisée (autonome)**.

Compte tenu du caractère spécifique de chaque projet, il convient donc, dans le choix d'une option, de se laisser guider par des considérations non seulement techniques et technologiques, mais aussi financières et contextuelles.

D'où la nécessité d'une étude de faisabilité pour tout projet de développement.

VI.2. ETUDE DE FAISABILITE DES PROJETS

VI.2.1. Définition de l'étude de faisabilité

L'étude de faisabilité est une phase d'étude d'un projet qui consiste à justifier techniquement et économiquement les choix faits en matière d'investissements et de gestion des activités du projet. Cette étude comporte :

- ⇒ **L'étude socio-économique** qui sera axée sur :
 - la démographie ;
 - les activités de la population ;
 - les infrastructures de santé, de l'éducation, de la communication ;
 - l'organisation sociale, etc.

- ⇒ **L'étude du marché** qui comprend :
 - l'identification des clients potentiels ;
 - la prévision de la consommation et de son évolution ;
 - l'analyse du facteur de charge d'utilisation de l'installation.

- ⇒ **L'étude technique des variantes** envisageables qui comprend :
 - la variante "électrification par réseau" (interconnexion) ;
 - la variante "électrification décentralisée" (autonome) ;
 - l'estimation des coûts d'investissements.

- ⇒ **L'étude d'impact sur l'environnement** basée sur :
 - la localisation du projet ;
 - les retombées attendues du projet ;
 - l'analyse des impacts positifs et négatifs du projet ;
 - les mesures d'atténuation, etc.

- ⇒ **L'analyse financière**; elle se fait sur toute la durée de vie du projet et comprend les éléments suivants :
 - la liste détaillée des dépenses d'investissements et d'exploitation ;
 - le coût du projet ;
 - l'échéancier des investissements et des renouvellements ;
 - l'échéancier Recettes/Dépenses ;
 - le calcul des amortissements financiers et physiques (remboursement, intérêts financiers, dotations aux amortissements) ;
 - les comptes de résultats prévisionnels;
 - le taux de rendement interne (TRI) ;
 - le coût de production du kWh d'électricité produit ;
 - le délais de récupération (play back period) des capitaux investis.

- ⇒ **L'évaluation économique** qui consiste à analyser les effets du projet sur l'économie nationale en les répartissant entre les différents agents économiques concernés ou touchés par la réalisation du projet tels :
 - les Entreprises ;
 - les institutions financières (banques, assurances) ;
 - l'Etat ;
 - les ménages ;
 - l'extérieur.

VI.2.2. But de l'étude de faisabilité

❶ *L'analyse financière* est déterminante pour une étude de faisabilité de projet; elle permet d'analyser la **rentabilité financière des capitaux investis par les flux financiers nets** du projet. Dans ce cas, le but final de l'étude de faisabilité est donc de conclure sur l'opportunité de financer le projet ou d'opter pour la variante (solution technique) qui paraît plus rentable financièrement.

❷ *L'évaluation économique*, elle, permet de conclure sur la faisabilité économique du projet après analyse des effets du projet sur l'économie nationale; elle se base sur les **valeurs ajoutées nettes annuelles** créées par le projet.

VI.2.3. Les outils de l'analyse financière

• *Le délai de récupération du Capital investi :*

C'est le temps nécessaire pour reconstituer le Capital investi à partir des résultats engendrés par le projet. C'est donc le délais nécessaire pour que les flux de recettes sur les dépenses d'exploitation équilibrent le montant des dépenses d'investissement.

• *La Valeur Actuelle Nette (VAN) ou bénéfice actualisé:*

Pour un taux d'actualisation déterminé, le bénéfice actualisé revient à cumuler les flux financiers actualisés du projet sur toute sa durée de vie. La **VAN** est donnée par la relation :

$$\mathbf{VAN} = \sum_0^n \frac{R_i - I_i - C_i}{(1+a)^i} \quad \text{ou encore} \quad \mathbf{VAN} = -I_0 + \sum_1^n CF_i(1+a)^{-i}$$

Avec :

R_i = Recette brute de l'année i

I_i = Investissement ou renouvellement de l'année i (I_0 = invest. à l'année 0)

C_i = Dépenses d'exploitation de l'année i

$CF_i = R_i - I_i - C_i$ = Cash flow de l'année i

a = taux d'actualisation (équivalent à un taux d'intérêt)

n = Durée de vie du projet (ou nombre d'années prises en compte dans l'échéancier d'étude financière).

Entre deux (2) variantes d'un même projet, on considérera que celle qui présentera la VAN la plus élevée est a priori financièrement la plus intéressante.

- ◆ Si la **VAN** est positive, le projet est rentable;
- ◆ Si la **VAN** est négative, le projet n'est pas rentable;

• **Le Taux de Rendement Interne ou Taux de Rentabilité Interne (TRI):**

Ce taux correspond au taux d'actualisation qui annule la VAN. Le calcul du TRI revient donc à rechercher le taux d'actualisation a tel que :

$$VAN = \sum_0^n \frac{Ri - Ii - Ci}{(1+a)^i} = 0$$

Entre deux (2) variantes d'un même projet, on considérera que celle qui présentera le TRI le plus élevé est à priori financièrement la plus intéressante.

En pratique, on calcule le TRI à partir de deux (2) valeurs de signes contraires de la VAN :

soit VAN1 positive et correspondant au taux d'actualisation $a1$;

soit VAN2 négative et correspondant au taux d'actualisation $a2$;

le TRI est obtenu par :

$$TRI = [a1 + (a2 - a1) \times \frac{VAN1}{VAN1 - VAN2}] \times 100$$

• **Le taux d'actualisation (a) :**

L'actualisation repose sur un principe simple à savoir qu'une somme d'argent S disponible immédiatement est préférable à la même somme obtenue dans 1, 2 ou 10 ans. Si la somme S peut être placée au taux d'intérêt i , elle vaudra par la règle des intérêts composés :

$$S_1 = S(1+i) \text{ dans 1 an ;}$$

$$S_2 = S(1+i)^2 \text{ dans 2 ans ;}$$

$$S_n = S(1+i)^n \text{ dans } n \text{ années.}$$

Donc, inversement, la valeur actuelle de la somme S obtenue dans n années est: $So = S(1+i)^{-n}$, i est alors un taux d'actualisation analogue à un taux d'intérêt.

Le choix du taux d'actualisation est donc déterminant. Ce choix engage donc toute la politique d'investissement d'une entreprise (projets privés) ou d'une nation (projets financés par les pouvoirs publics) et prend en compte un certain nombre de critères objectifs tels que :

- ◆ la disponibilité et le coût des capitaux ;
- ◆ la rentabilité du secteur ou la branche dans laquelle l'investissement est réalisé et les risques qui y sont liés ;
- ◆ la volonté politique (politique nationale de développement)

A la SONABEL, le taux d'actualisation pratiqué est de 12 %, ce taux est fixé par l'Etat.

- **Prix de Revient actualisé du kWh d'électricité produit (Pr_a) :**

Après détermination des investissements, des dépenses et des quantités d'électricité susceptibles d'être produites sur toute la période d'étude du projet, on pourra ainsi calculer le prix de revient actualisé du kWh d'électricité par la relation :

$$Pr_a = \frac{\sum I_a + \sum D_a}{\sum Q_a}$$

Avec :

$\sum I_a$ = Somme des investissements actualisés ;

$\sum D_a$ = Somme des dépenses actualisées ;

$\sum Q_a$ = Somme des quantités actualisées de kWh produits sur la période d'étude du projet.

Entre deux (2) variantes d'un même projet, on considérera que celle qui présentera le Pr_a le plus faible est à priori financièrement la plus intéressante.

VI.3. OPTIONS TECHNIQUES D'ELECTRIFICATION RURALE

VI.3.1. Electrification rurale par extension du réseau national existant

VI.3.1.1. Description de la technologie de transport d'électricité

L'électrification des zones par extension du réseau national existant est la solution la plus courante adoptée dans de nombreux pays. Cette option est de loin la plus confortable pour les populations, mais aussi la plus coûteuse au regard des caractéristiques à satisfaire dans le cadre de l'électrification rurale.

• Les réseaux :

Cette technique consiste à construire des lignes aériennes de transport entre les centres de production d'électricité et les centres de consommation. Ces lignes sont en Très Haute Tension (THT) ou en Moyenne tension (MT).

La hauteur des conducteurs dépend de la tension de la ligne et des difficultés du terrain; elle varie de 6 à 12 m. Ces lignes doivent se tenir à une distance suffisante des carrières, des dépôts d'hydrocarbures, des zones d'éboulis, etc.

Les lignes sont composées de(s) :

- ◆ ligne principale ou ligne d'ossature de forte section ;
- ◆ lignes secondaires, en dérivation sur l'artère principale, et de section plus faible ;
- ◆ conducteur(s) nu(s), almelec en général ;
- ◆ supports d'alignement et d'arrêt, scellés dans des socles en béton; ils peuvent être métalliques, en béton ou en bois ;
- ◆ l'armement (isolateurs + ferraille) ;
- ◆ organes de coupure permettant d'isoler les différents tronçons tels des Interrupteurs Aériens à Commande Manuelle (IACM) ou à Commande Télécommandée (IACT) ;
- ◆ postes de transformation (de départ et d'arrivée) ;
- ◆ régulateur (s) de tension ;
- ◆ condensateur(s), pour améliorer le $\cos \Phi$ du réseau ;
- ◆ parafoudre, protection contre la foudre.

Dans le cas des réseaux urbains, les lignes sont souterraines (le plus souvent) avec une profondeur de pose variant de 80 à 140 cm selon le niveau de tension, avec un dispositif avertisseur (grillage avertisseur rouge). Les réseaux souterrains sont souvent en câble de type HN33 S23 [Aluminium, de section $3 \times (50, 95 \text{ ou } 150) \text{ mm}^2$ + un câble de terre de section 25 mm^2].

Un réseau de distribution intérieur à un centre rural, compte tenu de la superficie réduite du centre, sera constitué de lignes secondaires aériennes de conducteurs nus, d'une section voisine de 50 mm^2 , alimentant des postes de transformation sur poteaux.

• *Les tensions :*

Les tensions des lignes de transport dépendent des puissances à transporter et des distances à parcourir. Les tensions courantes sont : 15, 20, 33, 63, 90, 110, 145, 225, 400 et 750 kV. Dans les réseaux urbains, elles varient de 5,5 à 20 kV.

• *Les transformateurs :*

On distingue :

- ◆ **des transformateurs éleveurs** de tension (placés au départ de lignes de transport après l'unité de production d'électricité) ;
- ◆ **des transformateurs abaisseurs** de tension (placés à l'arrivée des lignes de transport); ils permettent d'adapter la tension du réseau MT à la tension d'utilisation de la clientèle basse tension (230/400 V).

Les principales caractéristiques des transformateurs sont :

- ◆ la puissance (la gamme est très variée; ils existent en mono et en triphasé);
- ◆ la tension nominale d'entrée et de sortie (Rapport de transformation) ;
- ◆ la tension d'isolement et de choc ;
- ◆ les prises de réglage de tension (-5; -2,5; 0; +2,5; +5%) ;
- ◆ le couplage : Dyn 11 ; Yyn 0 ; Yzn 11 : (le nombre 11 est l'indice horaire correspondant au déphasage entre le secondaire et le primaire)
- ◆ les pertes à vide, pertes en charge ;
- ◆ la tension de court-circuit ;

La protection des transformateurs est souvent assurée par des fusibles DGPT (dispositif Détection, Gaz, Pression, Température), pour des puissances > 250 kVA.

VI.3.1.2. Différents types de réseaux de transport

On distingue quatre (4) types de réseaux de transport d'électricité :

- ◆ Réseau triphasé, composé de 3 conducteurs ;
- ◆ Réseau biphasé, composé de 2 conducteurs ;
- ◆ Réseau unifilaire (SWER), composé de 1 seul conducteur ;
- ◆ Réseau en système MALT, composé de 4 conducteurs.

Nous présentons ici sommairement chaque type de réseaux :

• *Réseau triphasé :*

C'est le type de réseau le plus répandu dans les pays en voie de développement; ce système est un héritage de la colonisation européenne. Il est alors composé de 3 conducteurs, et les 3 conducteurs sont sous tension. La tension entre phases est une tension composée U . Ce type de réseau est bien adapté pour le transport de grandes puissances électriques sur de grandes distances en lignes THT.

• Réseau biphasé :

C'est le type de réseau qui consiste au transport d'électricité avec 2 conducteurs en moyenne tension. Les 2 conducteurs sont sous tension (2 phases). On prévoit la possibilité de poser le 3^{ème} conducteur lorsque la charge à alimenter augmente. Après transformation, en bout de ligne, on a une distribution BT avec 2 phases + 1 neutre (tension: 220 V entre phase-neutre et 440 entre phases). Il existe des transformateurs spéciaux pour transformer le biphasé MT en triphasé BT+neutre (en Afrique du Sud).

Le système devient très intéressant (économiquement par rapport au triphasé) dans un contexte de rareté de devises et de dispersion des charges, caractéristique de pays en voie de développement.

• Réseau unifilaire : le SWER

Lorsque les conditions de sol le permettent, il est possible d'utiliser la terre comme conducteur de retour. C'est la technique du SWER (**S**ingle **W**ire **E**arth **R**eturn). Le système est largement utilisé au Canada, en Australie, en Inde, en Nouvelle Zélande... En Afrique, on le rencontre en Tunisie, en Afrique du Sud, en Côte d'Ivoire, au Liberia, récemment au Cameroun, etc.

On ne peut toutefois l'appliquer que si la résistivité du sol est suffisamment faible pour que les résistances de terre ne dépassent pas 5 ou 10 Ω (ohms), quelles que soient les variations saisonnières de l'humidité du sol. **Le SWER fait partie du système MALT.**

• Réseau en système MALT :

Le système MALT consiste au transport d'électricité avec 4 conducteurs : 3 phases + 1 neutre. Le neutre du réseau MT est déroulé tout le long du parcours et est mis à la terre non seulement à la source mais à tous les 100 m environ. D'où l'appellation **MALT (Mis A La Terre)**.

Alliant le triphasé (tension composée U) au monophasé (tension simple V), le MALT trouve son application aussi bien dans les villes que dans les campagnes. De façon générale, seules les charges importantes sont alimentées en triphasé, les autres l'étant en monophasé (phase+neutre). Les dérivations en monophasé peuvent passer en triphasé par simple ajout de fils, en cas d'augmentation de la charge.

VI.3.1.3. Critères de dimensionnement des réseaux

Les réseaux sont dimensionnés selon des critères mécaniques (NF C 11-201) et électriques :

- ◆ hypothèses de vent et de température (été et hiver) adaptées à la région ;
- ◆ respect des distances par rapport aux autres réseaux, aux terrains naturels, aux voiries, aux constructions ;
- ◆ respect des critères de chute de tension ($\pm 7\%$ pour la moyenne tension; $\pm 10\%$ pour la basse tension) ;
- ◆ respect des contraintes thermiques : limitation de l'échauffement des conducteurs en fonction de la température ambiante et de l'intensité transitée.

VI.3.1.4. Eléments de dimensionnement des réseaux

Pour dimensionner une ligne THT ou MT selon les critères électriques, il y a deux (2) paramètres qu'il faut toujours connaître :

- ◆ La puissance électrique P à alimenter ;
- ◆ La tension U de transport.

L'objectif du dimensionnement est de choisir une section de conducteur. Cette section doit être suffisante afin que :

- ◆ l'intensité nominale puisse transiter sans poser de problèmes thermiques ;
- ◆ la chute de tension reste dans les valeurs acceptables.

➔ **CHUTE DE TENSION** : $\frac{\Delta U}{U}$

La chute de tension sur un réseau de longueur L alimentant une charge de puissance P est donnée par :

Triphasé : $\frac{\Delta U}{U} = \frac{r+x \cdot \text{tg}\Phi}{U^2} \cdot P \cdot L$

Avec :

$\frac{\Delta U}{U} \leq 7 \%$ pour un réseau aérien ;

$\frac{\Delta U}{U} \leq 3,5 \%$ pour un réseau souterrain ;

r = résistance par Km ;

x = réactance par Km ;

$x = 0,3$ à $0,4 \Omega/\text{Km}$, pour les lignes aériennes (conducteurs nus) ;

$x = 0,1 \Omega/\text{Km}$, pour les câbles souterrains ;

P = puissance à alimenter en MW ;

L = longueur de la ligne en Km ;

U = tension entre phase en kV ;

$\text{tg}\Phi = 0,5$

Monophasé, selon MALT (phase + neutre) : multiplier la puissance à alimenter P par 6 ou par 4,5, et on aura : $\frac{\Delta U}{U} = \frac{r+x \cdot \text{tg}\Phi}{U^2} \cdot 6 \cdot P \cdot L$

Biphasé : multiplier P par 2.

➔ SECTION DE CÂBLE ET RESISTANCE / Km

La résistance d'un câble est donnée par : $R = \frac{\rho \cdot L}{S}$

⇒ la résistance/Km (r) = $\frac{R}{L} = \frac{\rho}{S}$

Pour le cuivre à 20°C, par exemple, la résistivité $\rho = 18 \text{ } \Omega/\text{Km}/\text{mm}^2$; ce qui signifie que $r(\Omega/\text{Km}) = \frac{18}{S(\text{mm}^2)}$; avec $L = 1 \text{ Km}$.

TABLEAU DE VALEURS de r

Matériau	Résistance / Km (r en Ω/Km)
Cuivre	$r = \frac{18}{S(\text{mm}^2)}$
Aluminium	$r = \frac{29}{S(\text{mm}^2)}$
Almelec (ou ASTER)	$r = \frac{33}{S(\text{mm}^2)}$

L'Almelec est le matériau le plus utilisé pour les conducteurs aériens des réseaux THT et MT.

➔ INTENSITE DE COURANT : I

On rappelle que $P = f(U, I)$, d'où I peut être déterminée par l'une des relations suivantes, selon le cas :

	Puissance entre 2 conducteurs phase-phase ou phase-neutre	Puissance en triphase
Puissance active P (W)	$P = U \cdot I \cdot \cos\phi$	$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\phi$
Puissance réactive Q (VAR)	$Q = U \cdot I \cdot \sin\phi$	$Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin\phi$
Puissance apparente S (VA)	$S = U \cdot I$	$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I$

NB: Pour un réseau monophasé (phase - neutre), remplacer la tension composée U par la tension simple V sachant que $V = \frac{U}{\sqrt{3}}$

➔ LIMITES THERMIQUES DES CONDUCTEURS Almelec

Variation température/limites thermiques

$\Delta\theta$	Jour	Nuit
15°C	1	1
20°C	2	2
25°C	3	3
30°C	4	4
35°C	5	

$\Delta\theta$ = différence de température entre la température de construction de la ligne (50 à 60°C, très souvent) et la température ambiante de référence.

Intensités admissibles dans les conducteurs aériens nus

Section conducteur (mm^2)	1	2	3	4	5
Almelec 34,4	110 A	130 A	150 A	165 A	180 A
Almelec 54,6	145 A	175 A	195 A	220 A	240 A
Almelec 117	235 A	280 A	320 A	355 A	390 A
Almelec 148	270 A	320 A	370 A	410 A	455 A
Almelec 228	350 A	420 A	485 A	540 A	595 A

EXEMPLE DE DIMENSIONNEMENT D'UNE LIGNE

Soit à déterminer la section de conducteur Almelec d'une ligne aérienne triphasée devant alimenter, en dérivation, une puissance $P=800$ kW d'un centre rural situé à 100 Km de la ligne principale.

Sachant que la chute de tension maximale est de 7 %, à quelle tension préconisez-vous alimenter ce centre ?

On donne : $\text{tg}\phi = 0,5$; $x = 0,35 \Omega/\text{Km}$; température de construction = 60°C ; température ambiante = 35°C .

Solution

Sachant que : $\frac{\Delta U}{U} = \frac{r+x \cdot \text{tg}\phi}{U^2} \cdot P \cdot L$, on a :

① Résistance / Km : $r = (\frac{\Delta U}{U} \cdot U^2) / (P \cdot L) - x \cdot \text{tg}\phi$

Pour $U = 20$ kV, on a : $r = 0,18 \Omega/\text{Km}$;

Pour $U = 33$ kV, on a : $r = 0,78 \Omega/\text{Km}$.

② Section du conducteur Almelec :

on a : $r = \frac{33}{S(\text{mm}^2)} \Rightarrow S(\text{mm}^2) = 33/r$

Pour $U = 20$ kV, on a : $S = 183 \text{ mm}^2$ (section trop forte, cher)

Pour $U = 33$ kV, on a : $S = 42 \text{ mm}^2$. On choisit donc une section normalisée de $S=54,6 \text{ mm}^2$, Almelec, pour une tension $U = 33$ kV.

③ Calcul de l'intensité I :

$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\phi \Rightarrow I = P / (\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\phi)$

$P = 800$ kW ;

$\text{tg}\phi = 0,5 \Rightarrow \cos\phi = 0,89$

$U = 33$ kV $\Rightarrow I = 16$ A

④ Vérification de la limite thermique (hypothèse : charge de jour)

$\Delta\theta = 60^\circ\text{C} - 35^\circ\text{C} = 25^\circ\text{C}$, ce qui correspond à une limite thermique de 3

Almelec $54,6 \text{ mm}^2$

limite thermique jour = 3 $\Rightarrow I_{\text{admissible}} = 195$ A

$I = 16 \text{ A} < I_a = 195 \text{ A}$, pas de problème thermique.

⑤ Conclusion : Le centre sera donc alimenté par une ligne aérienne triphasée de 33 kV; $54,6 \text{ mm}^2$ Almelec.

VI.3.1.5. Coûts des raccordements aux réseaux existants

La construction des lignes MT principales ou en dérivation (lignes secondaires) exige de grands travaux de génie civil et de pose d'équipements électriques sur plusieurs kilomètres. Ces lignes ont en général une longue durée de vie (plus de 30 ans) et les investissements à consentir sont souvent énormes.

Nous rappelons que l'échéancier du projet est de 15 ans, ce qui signifie que certains équipements auront une valeur résiduelle à la 15^{ème} année.

Les coûts des lignes dépendent des puissances à transporter et des tensions mises en jeu. Ces coûts sont composés de :

- coût de construction du réseau MT ;
- coût de maintenance du réseau MT ;
- coût de production d'énergie ;
- coût des postes de transformation ;
- charges du personnel ;
- valeur résiduelle du réseau MT au bout de 15 ans.

Tous ces coûts seront intégrés dans un échéancier sur 15 ans et actualisés à l'année 0 dans le but de calculer le prix de revient actualisé du kWh transporté.

Nous donnons ici, à titre indicatif, les coûts de certains ouvrages des réseaux triphasés.

COÛTS UNITAIRES DES OUVRAGES (Réseaux triphasés)

OUVRAGES	COÛT	UNITE
<u>Transport :</u>		
• ligne HTA 148 mm ² Almelec	15	MFCFA/Km
• ligne HTA 75,5 mm ² Almelec	12	MFCFA/Km
• ligne HTA 54,6 mm ² Almelec	11	MFCFA/Km
• Sectionneur IACM	2	MFCFA/Unité
• Sectionneur IACT	7	MFCFA/Unité
<u>Distribution :</u>		
• Transformateur H59 400 kVA	7,5	MFCFA/Unité
• Transformateur H61 100 kVA	4	MFCFA/Unité
• Transformateur H61 50 kVA	4	MFCFA/Unité
• Transformateur H61 25 kVA	3	MFCFA/Unité

1 MFCFA = 1.000.000 FCFA

source : Borderau de prix SONABEL

- ♦ Coût de production d'énergie (dérivation) : 35 à 40 FCFA/kWh
- ♦ Coût de maintenance des réseaux : 1,5 % du coût de l'investissement.

COUTS DES LIGNES A 2 OU 1 CONDUCTEUR(S)

La société Sud Africaine GIBB Africa pratique les prix suivants :

TYPE DE LIGNE	COUT/Km (en Rand)
19 kV SWER Magpie (1 conducteur)	5.476
22 kV Two Phase Magpie (2 phases)	10.745
22 kV Three Phase Magpie (3 phases)	15.378

Source : GIBB Africa SWER, édition du 17 Janvier 1997

1FF = 0,81 Rand (source Jeune Afrique Economie du 2 au 15 Février 1998)

En faisant les ratios de ces coûts, on constate que :

- ◆ le SWER ne représente que 36 % de la ligne triphasée ;
- ◆ le biphasé ne représente que 70 % de la ligne triphasée.

Si l'on applique les mêmes ratios aux coûts de la SONABEL, on a les coûts approximatifs suivants à Ouagadougou :

COUTS UNITAIRES DES LIGNES (en MFCFA/Km)

LIGNES	COUT (en triphasé)	COUT (en biphasé)	COUT (SWER)
• ligne HTA 148 mm ² Almelec	15	10,5	5,4
• ligne HTA 75,5 mm ² Almelec	12	8,4	4,3
• ligne HTA 54,6 mm ² Almelec	11	7,7	4

ADRESSE DE QUELQUES CONSTRUCTEURS D'EQUIPEMENTS "MALT"

<p>GIBB Africa PO Box 3965, Cape Town 8000 Fax : 021 24 55 71 E-Mail : tgaunt@dtech.eskom.co.za Afrique du Sud.</p>	<p>HYDRO-QUEBEC International 800, Boulevard de Maisonneuve est, Montréal, Québec, Canada, H2L 4L8</p>
--	---

VI.3.1.6. Avantages des réseaux

De manière générale, les réseaux offrent les avantages suivants :

- ◆ une longue durée de vie ;
- ◆ la réduction ou la suppression de la logistique d'approvisionnement en combustible ;
- ◆ les faibles coûts d'entretien ;
- ◆ la plus grande souplesse d'exploitation selon la variation de la charge dans le temps ;
- ◆ amélioration du taux d'utilisation des équipements grâce à un meilleur rendement des équipements ;
- ◆ les réseaux triphasés conviennent pour le transport de très fortes puissances à de grandes distances ;
- ◆ malgré sa limitation en puissance, le SWER est très économique (36 % du coût de la ligne triphasée environ); il en est de même pour les lignes biphasées qui ne représentent que 70 % environ du coût de la ligne triphasée ;
- ◆ en MALT, on peut faire des dérivations aussi bien triphasées + neutre que monophasées; les lignes monophasées peuvent, éventuellement, être passées en triphasé si la charge augmente ;
- ◆ la transformation du biphasé MT en triphasé BT est très intéressante; elle réduit les coûts des lignes et améliore la qualité de service auprès des consommateurs.

VI.3.1.7. Inconvénients des réseaux

Les principaux inconvénients des réseaux sont :

- ⇒ leurs coûts d'investissements élevés ;
- ⇒ le non bouclage des lignes peut entraîner des interruptions prolongées en cas d'intervention ou de défaut ;
- ⇒ les lignes biphasées et monophasées dont le SWER peuvent poser de problèmes de déséquilibre des phases sur le réseau ;
- ⇒ les lignes monophasées posent de problèmes pour les usages en triphasé chez les consommateurs ;
- ⇒ la réalisation de nouvelles lignes en MALT ou en biphasé par la SONABEL entraînera la diversification d'équipements électriques; cela posera certainement de problèmes de maintenance des équipements du réseau (acquisition de nouveaux types de matériels, pièces de rechange, formation du personnel, etc.)

(Voir inconvénients spécifiques en page suivante)

• *Les inconvénients spécifiques du SWER :*

- ◆ Faisant partie des systèmes MALT, le SWER s'adapte bien dans les zones où la résistivité du sol est faible; **cela peut poser problème dans le contexte du Burkina avec les sols granitiques et peu arrosés**. C'est un inconvénient majeur pour la diffusion des systèmes MALT en général au Burkina Faso ;
- ◆ La limitation de puissance à alimenter à moins de 300 kW et l'utilisation des transfos de **moins de 20 kVA** environ ;
- ◆ La limitation des longueurs des dérivationes à environ 10 Km des lignes principales ;
- ◆ Sa conception exige certaines précautions en matière de sécurité : **chaque transfo devra être muni de 2 prises de terre de qualité** (moins de 10 Ω) ;
- ◆ Son application est possible dans le système triphasé actuel, mais elle exige **soit qu'on installe un transfo d'isolement sur chaque dérivation, soit qu'on désensibilise la protection contre les terres résistantes**.

• *Les inconvénients spécifiques des systèmes MALT :*

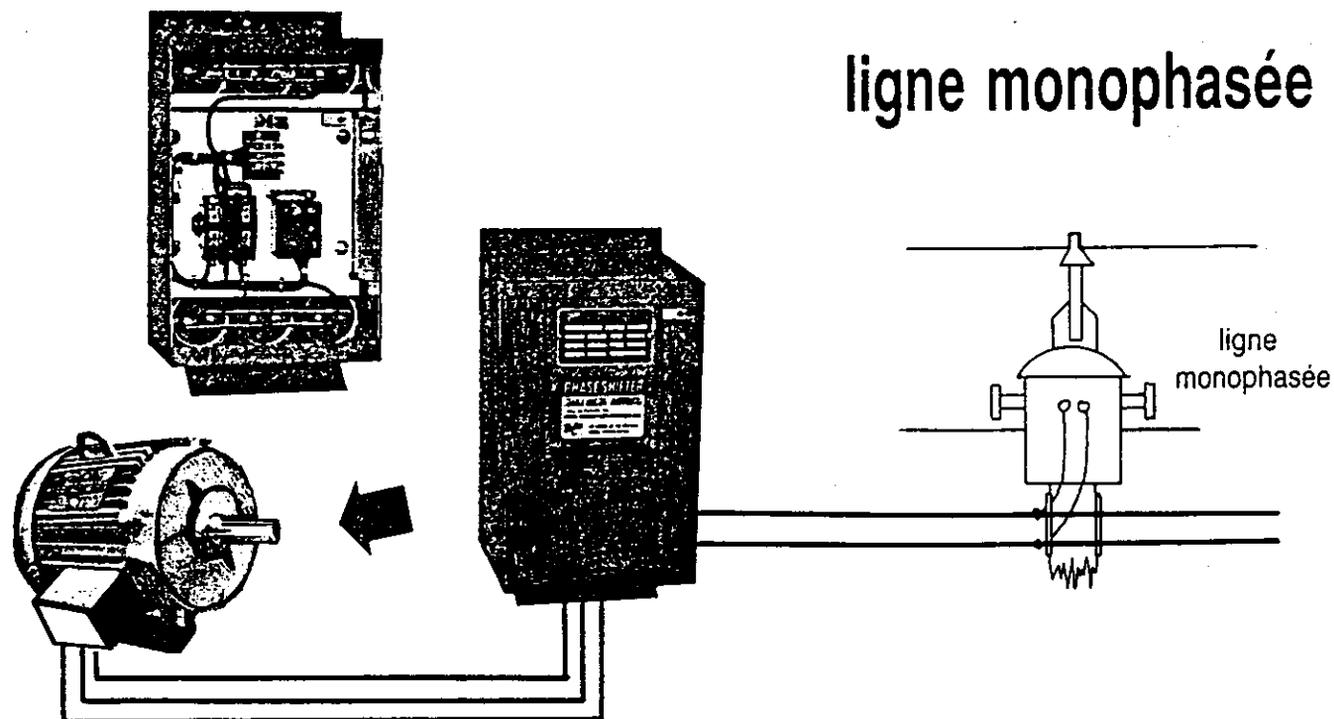
- ◆ Lorsque les sols sont humides (faible résistivité), les systèmes MALT sont bien adaptés au contexte des pays en voie de développement par la possibilité de réalisation des dérivationes en triphasé + neutre et en monophasé, **mais ce type de lignes peut coûter plus cher que le triphasé parce qu'il faut transporter aussi le neutre (le coût du 4ème fil)** ;
- ◆ Le passage **du triphasé au MALT** exige les modifications suivantes :
 - on doit dérouler le neutre sous la MT ;
 - on doit remplacer les transfos de courant sur les départs de lignes : transfos de couplage "Etoile-Etoile" pour nécessité de transport du neutre.
- ◆ La présence des **pièces métalliques dans le sol à proximité des réseaux n'est pas souhaitable** ;
- ◆ La prise de **mesures spéciales de sécurité en cas de montage des réseaux PTT** le long des supports MT (ce qui n'est d'ailleurs pas conseillé).

LES LIGNES MONOPHASEES ET LES MOTEURS

L'usage de lignes de distribution monophasées soulève inévitablement la question des moteurs. Lorsqu'il s'agit d'une puissance considérable, les moteurs triphasés sont préférables aux moteurs monophasés.

Un abonné pour qui le service triphasé est essentiel devra donc opter pour l'une des solutions suivantes :

- Utiliser un moteur monophasé de grande puissance; ils sont actuellement disponibles en une gamme allant jusqu'à 100 chevaux ;
- Utiliser un convertisseur qui transforme le monophasé en triphasé (voir photo ci-dessous) ;
- Se munir de son propre groupe électrogène.



Convertisseur de phase statique

VI.3.2. Electrification Rurale décentralisée

VI.3.2.1. Description générale

Le terme électrification décentralisée désigne toute électrification autonome. Elle s'effectue en dehors du réseau national interconnecté. La mise à disposition de l'électricité auprès des populations peut se faire par des équipements communautaires ou individuels.

L'électrification décentralisée nécessite la mise en place d'un service après vente efficace sous peine de voir les équipements rebutés après peu de temps suite à la défaillance d'un élément (pièce) du système.

VI.3.2.2. Différents procédés de production d'électricité

Lorsque le raccordement au réseau national n'est pas envisageable pour des raisons techniques ou économiques, une des solutions possibles est la production autonome pour alimenter un réseau local.

Les solutions techniques de production envisageables sont les suivantes :

- ◆ Centrales Diesel isolées ;
- ◆ Micro-centrales hydrauliques ;
- ◆ Centrales à biomasse ;
- ◆ Aéro-générateurs ;
- ◆ Centrales solaires photovoltaïques ;
- ◆ Centrales solaires à concentration.

D'autres systèmes de production d'électricité existent, mais nous n'avons retenu uniquement ceux qui peuvent être réellement envisageables dans le contexte du Burkina Faso.

VI.3.2.3. Analyse des différents procédés

Bien que chaque système de production présente un certain nombre d'avantages et d'inconvénients, il convient de noter que certains systèmes s'adaptent parfaitement bien au contexte du Burkina, alors que d'autres ne peuvent être envisageables pour la production continue d'électricité à grande échelle.

• Centrales Diesel isolées :

Dès lors que les réseaux sont lointains, qu'il n'y a pas de potentiel hydraulique, la solution la plus adaptée est en général le Groupe DIESEL.

Ce système est très répandu au Burkina, 74 % de la puissance installée de la SONABEL sur le territoire Burkinabé est constituée des centrales DIESEL.

• *Micro-centrales hydrauliques :*

La petite hydraulique peut être adaptée si on a :

- ◆ une pérennité des débits ;
- ◆ des probabilités fortes de développement ;
- ◆ une proximité de la consommation du lieu de production.

Dans le contexte du Burkina, pays sahélien, cette option est peu envisageable du fait que la plupart des cours d'eau sont saisonniers (faible pluviométrie, longue période de saison sèche). Rappelons que **26 %** seulement de la puissance installée de la SONABEL est d'origine hydraulique.

Pour nécessité de dimensionnement, la puissance électrique P produite par une micro-centrale est obtenue par :

$$P = \eta \cdot w \cdot Q \cdot H$$

Avec :

P = puissance en Watts ;

η = rendement de la turbine, environ **0,8** ;

w = poids spécifique de l'eau 10^4 N/m³ ;

Q = débit en m³/s ;

H = hauteur de chute d'eau (m).

• *Centrales à biomasse :*

Comme nous l'avons dit précédemment, au Burkina, la biomasse est utilisée prioritairement pour la reconstitution de la fertilité des sols partout en dégradation (fumure organique) et aussi pour les besoins d'énergie de la cuisine (bois de chauffe, charbon). Rappelons que le bois constitue à lui seul environ **88 %** d'énergie pour la cuisine au Burkina.

Les centrales à biomasse ont donc très peu de chance d'être utilisées pour la production d'électricité à grande échelle au Burkina.

• *Aéro-générateurs :*

L'énergie éolienne peut être intéressante dans les conditions climatiques favorables en cas d'éloignement du réseau national. Le potentiel éolien du Burkina est très faible (4m/s environ) et aléatoire; par conséquent, il n'offre pas de grandes chances de se développer.

Le système commence à être intéressant avec des vents de plus de **10 m/s**. Dans les régions bénéficiant des conditions climatiques favorables, l'éolienne offre des puissances importantes; nous citons le cas des pays suivants :

(Voir puissance éolienne de certains pays en page suivante)

PUISSANCES EOLIENNES DE CERTAINS PAYS

Pays	Puissance Produite en MW (en 1993)
Danemark	520
Allemagne	220
Grande Bretagne	131
Pays Bas	120
Espagne	57

Source : SYSTEMES SOLAIRES N° 104 - 1994
Eoliennes dans le monde

• *Centrales solaires photovoltaïques* :

Le potentiel solaire du Burkina est important (5,5kWh/m²/jour en moyenne). Le système solaire est à présent utilisé essentiellement pour la satisfaction des besoins électriques prioritaires du monde rural du Burkina.

Il s'adapte bien à l'alimentation électrique de zones d'habitations très isolées, éloignées des réseaux électriques existants, difficiles d'accès et sans espoir de raccordement au réseau dans un avenir planifiable.

Ce système est donc intéressant pour la **pré-électrification**.

• *Centrales solaires à concentration* :

Cette technologie utilise le rayonnement solaire pour chauffer l'eau d'une chaudière et alimenter un turboalternateur.

Bien que le potentiel solaire du Burkina soit énorme, cette technologie présente l'inconvénient d'utiliser d'importantes quantités d'eau; l'eau qui est une denrée "rare" au Burkina.

Au terme de cette analyse, nous retenons d'envisager l'électrification rurale décentralisée par les deux (2) procédés suivants que nous jugeons adaptés, à savoir :

- ◆ **les centrales Diesel isolées ;**
- ◆ **les centrales photovoltaïques.**

VI.3.3. Centrale Diesel Isolée

VI.3.3.1. Description des Groupes électrogènes

Les groupes électrogènes sont constitués de :

- un moteur à combustion interne ;
- un alternateur ;
- une armoire électrique contenant des appareillages de commande et de contrôle du groupe.

Les moteurs se répartissent en deux (2) catégories :

- ◆ les moteurs à compression (plus connus sous le nom de moteur DIESEL) ;
- ◆ les moteurs à explosion ou à allumage commandé qui utilisent généralement comme combustible l'essence (1 à 5 kVA) ou le kérosène.

Alimentés par des combustibles pétroliers (le plus souvent), les groupes électrogènes sont actuellement le moyen le plus répandu de production d'électricité en site isolé avec des puissances allant de 1,5 kW à plusieurs dizaines de mégawatts.

Ces mêmes groupes, adaptés, fonctionnent avec des combustibles issus de la biomasse (gazogène, biogaz, alcool, huiles végétales ou esters). Certains constructeurs ont développé des matériels standards pour ces usages.

La consommation en carburant varie de 0,3 à 0,6 litre/kWh électrique produit, selon le type, l'âge et le régime de fonctionnement.

VI.3.3.2. Le facteur de puissance

Le régime de fonctionnement du groupe a une influence direct sur son $\cos\phi$ et donc de sa consommation en carburant. En général, les groupes sont conçus avec un $\cos\phi = 0,8$, mais cette valeur dépend du **facteur de charge** (FC) de l'installation.

$$FC = \text{Puissance appelée/Puissance nominale}$$

VALEURS DU $\cos\phi$ EN FONCTION DU % DE CHARGEMENT DU GROUPE

% de charge nominale du groupe	0	25 %	50 %	75 %	100 %
$\cos\phi$	0,15	0,55	0,75	0,8	0,9

Il n'est pas conseillé de faire fonctionner un groupe en dessous de 50 % de sa puissance nominale.

VI.3.3.3. Applications à l'électrification rurale

Dans le cas de l'électrification d'un centre rural, la répartition de la demande est irrégulière. Elle est concentrée le matin, et surtout le soir.

Aussi, afin de fournir la demande résiduelle, on utilise souvent deux (2) groupes. Pendant les heures de forte charge, les 2 groupes sont en service. Pendant les heures de faible charge de jour ou de nuit, un seul groupe fonctionne.

Dans le cas où la demande résiduelle est très faible (facteur de charge faible), un système d'appoint peut être envisagé tel :

- ◆ un couplage avec un système solaire ;
- ◆ un stockage par batteries.

VI.3.3.4. Choix du Nombre de Groupes

Pour l'électrification des zones isolées, les moyens de production doivent être adaptés à la nature de la distribution envisagée. **Le choix du nombre de groupes dépend de l'analyse de la courbe de charge de l'installation et de la qualité de service souhaitée :**

- *Distribution intermittente : 6h/24h, pour l'éclairage.*

Un seul groupe pourra suffire; la puissance appelée ne devra pas descendre en dessous de 50 % de la puissance nominale du Groupe.

- *Distribution semi-continue : 12h/24h, pour l'éclairage, quelques besoins artisanaux, quelques services (pompage...)*

☉ Deux (2) groupes suffisent en général si la puissance minimale appelée se situe entre 50 et 100 % de la puissance nominale de base ;

☉ Si la puissance minimale appelée est inférieure à 50 % de la puissance nominale, un 3^{ème} groupe sera prévu pour assurer les périodes de veille et éviter ainsi l'écrasement des moteurs qui seraient surdimensionnés.

- *Distribution continue : 24h/24h, dans les agglomérations où il existe une activité industrielle, artisanale et commerciale suffisamment importante.*

Trois (3) groupes minimum sont nécessaires, en principe de puissances différentes pour permettre la meilleure adaptation aux charges. Si le réseau permet d'éviter la marche en parallèle, cela est préférable. Sinon, on évitera de coupler des groupes dont les puissances sont dans un rapport ≥ 2 .

VI.3.3.5. Conditions d'installation des Groupes

❶ Les conditions d'installation des groupes sont très variables selon le contexte :

- ◆ Groupe individuel ;
- ◆ Groupe pour alimentation d'un site industriel ;
- ◆ Groupe motopompe ;
- ◆ Groupe pour l'électrification d'un centre rural, etc.

Dans ce dernier cas, il est, en plus, nécessaire de réaliser le réseau de raccordement des usagers.

❷ Les groupes électrogènes sont d'autant plus indiqués que :

- ◆ la demande est importante ;
- ◆ la charge est proche de la puissance nominale dans les périodes de demande (bon facteur de charge) ;
- ◆ l'environnement technique est favorable (approvisionnement facile en pièces détachées et lubrifiants, trafic véhicule important, etc.) ;
- ◆ l'approvisionnement en fuel (ou essence) est facile et moins coûteux (distance) ;
- ◆ on souhaite un fonctionnement discontinu.

VI.3.3.6. Critères de dimensionnement et de Choix d'un Groupe

❶ *Environnement :*

- pression barométrique : la puissance du moteur thermique varie avec l'altitude (-1% pour 100 m) ;
- température ambiante : nécessite en principe une étude particulière si elle dépasse 38°C (déclassement) ;
- humidité relative : standard 70 % ;
- atmosphère + ou - poussiéreuse.

Ces éléments vont avoir une influence sur la puissance et sur le type de refroidissement (aéro, eau + échangeur).

❷ *Choix de la puissance :*

La puissance d'un groupe électrogène est donnée en **kVA**. Pour un facteur de puissance de 0,8, un groupe de puissance **S** est donc dimensionné pour fournir sous 400 V (tension composée **U**) :

- une intensité $I = \frac{S}{U\sqrt{3}}$; **S** en kVA, **U** en kV ;
- une puissance active $P = S \times 0,8$; **P** en kW.

Notion de capacité transitoire :

La fermeture d'un circuit pour alimenter une charge provoque sur le groupe ce que l'on appelle un **impact**. Le démarrage d'un moteur notamment provoque toujours une puissance transitoire supérieure à sa puissance nominale.

Les coefficients de surcharge transitoire sont particuliers à chaque constructeur et type de groupe. Les coefficients que l'on rencontre le plus souvent sont :

- les alternateurs admettent en général un impact compris entre 0 et 2 fois leur puissance nominale (la chute de tension transitoire instantanée peut atteindre 25 %) ;
- les moteurs DIESEL admettent un impact à vide de 0 à 50 % de leur puissance nominale active, et en charge un impact de 66 % de la puissance nominale.

La puissance en régime établi :

Soit **S**, la puissance apparente de l'installation en kVA et **P** la puissance active en kW. Il faudra un groupe de puissance active telle que :

- $P_{\text{groupe}} \geq P$ et,
- $P_{\text{groupe}} \geq S/0,8$.

La puissance en régime transitoire :

Ce calcul est nécessaire lorsque l'installation comporte des moteurs importants (plus de 5,5 kW). Le cas le plus défavorable pourra être par exemple :

- le démarrage du plus gros des moteurs de l'installation ;
- le démarrage aléatoire d'un moteur quand tout est alimenté.

Pour les gros moteurs, il est conseillé d'éviter un démarrage direct qui provoque un appel (pic) de courant très important ($I_0/I_n = 7$) en régime transitoire. Pour ce faire, on a recours à l'un des modes de démarrage suivants :

- Démarrage étoile - triangle ;
- Démarrage par résistances statoriques ;
- Démarrage par autotransformateur ;
- Démarrage rotorique.

VI.3.3.7. Bâtiments d'exploitation

① **Bâtiment de service** : Les groupes électrogènes doivent être placés à l'abri des intempéries. Pour ce faire, un bâtiment de service doit être construit suivant les normes définies par la SONABEL. Ce bâtiment pourra abriter les locaux suivants :

- la salle des machines (groupes, armoires BT) ;
- l'atelier d'entretien ;
- le bureau de(s) agent(s) de maintenance ;
- la salle de stockage de matériel ;
- le local sanitaire avec WC, lavabo, douche.

② **Bâtiment administratif** : un bâtiment administratif pourra également être construit en plein milieu de la ville afin de gérer les abonnés (la clientèle) et faciliter les relations avec eux.

VI.3.3.8. Maintenance des Groupes

L'entretien et la surveillance d'un groupe doivent se faire par une personne formée. En effet, les systèmes utilisant les moteurs imposent une intervention humaine importante tant pour le fonctionnement normal que pour les révisions périodiques et réparations.

La maintenance d'un groupe se fait par les actions suivantes :

- ◆ vérification du niveau d'huile moteur ;
- ◆ vérification du niveau de carburant ;
- ◆ remplissage du réservoir ;
- ◆ démarrage, arrêt du groupe ;
- ◆ changement de filtres et joints ;
- ◆ vérification des tensions de sortie groupe et de la batterie ;
- ◆ vérifications des courroies, des enroulements, etc.

VI.3.3.9. Durée de vie des Groupes

La durée de vie des groupes électrogènes est variable selon ses caractéristiques (puissance, vitesse de rotation, type..).

La durée annuelle d'utilisation des groupes constatée en 1992 (par la SONABEL) dans les centres électrifiés est de **3700 h** en moyenne. Actuellement, la SONABEL utilise de préférence des groupes fonctionnant à **1000 tr/mn**, compte tenu des problèmes rencontrés avec les groupes de 1500 tr/mn (**usure rapide des pièces**).

La durée de vie des groupes à 1000 tr/mn est de 100.000 heures (en moyenne); ce qui correspond, pour une durée d'utilisation annuelle de 3700 h à **27 ans**.

Pour le calcul des amortissements physiques, la Cellule des Programmes et Prévisions Economiques Générales (C.P.P.E.G) de la SONABEL considère une durée de vie de **20 ans** pour les gros groupes (**plus de 500 kW, soit 625 kVA**) et **15 ans** pour les autres.

Mais la SONABEL étudie les projets sur 15 ans ; ce qui signifie qu'à la 15^{ème} année, certains équipements auront une valeur résiduelle non négligeable.

VI.3.3.10. Coûts de création d'une Mini Centrale Diesel isolée

La mise à disposition de l'énergie électrique auprès des ménages conduit à la construction d'ouvrages de génie civil et à la mise en place d'équipements électriques sur les sites concernés.

Ces coûts sont constitués de :

- ◆ Investissement initial comprenant les coûts des groupes, réservoir(s) de fuel, bâtiments d'exploitation, équipements de maintenance, transport, etc.
- ◆ Coûts de maintenance des groupes (pièces de rechange, formation personnel..) ;
- ◆ Coûts de production d'énergie (consommation en carburant) ;
- ◆ Charges de personnel (salaires des agents de maintenance).

Tous ces coûts seront intégrés dans un échéancier sur 15 ans (période d'étude des projets) et actualisés à l'année 0. **L'objectif étant le calcul du coût de revient du kWh produit.** Il est évident que ces coûts dépendent des puissances mises en jeu et de l'éloignement des sites à électrifier.

Pour les équipements n'ayant pas la même durée de vie, il faudra incorporer dans le bilan la valeur résiduelle des ouvrages à la fin de la période d'étude du projet.

Notons que les coûts de réalisation de réseaux de raccordement des abonnés ne sont pas pris en compte.

VI.3.3.11. Coûts des Groupes électrogènes

Nous donnons ici, à titre indicatif, quelques prix des groupes électrogènes, prix sortie usine (France). A ces prix, il faut ajouter le coût du fret et de l'assurance pour avoir le prix CAF rendu Ouagadougou.

La fiscalité en la matière est la suivante :

- ◆ 36,7 % de taux de douane pour les groupes électrogènes ;
- ◆ 67 % de taux de douane pour les pièces de rechange ;
- ◆ 18 % de TVA.

PRIX DES GROUPES ELECTROGENES (France)

Puissance (kVA)	Essence		Diesel	
	1 - 5	1 - 10	20 - 50	100 - 500
Prix sortie Usine (en FF/kVA)	1500 - 3000	1800 - 4500	1000 - 2500	500 - 900

Ces prix ne représentent que des ordres de grandeurs. Ils varient dans les proportions importantes selon la configuration du groupe (manuel, automatique, secours).

Les options adoptées (remorque, capotage, insonorisation..) peuvent **doubler** les prix de petits groupes et augmenter de plus de **50 %** celui des gros.

A Ouagadougou, la société **Projet Production Internationale** (P.P.I. BF) pratique les prix magasins suivants :

- Groupe Deutz 5 kVA 1500 tr/mn, 220/380 V, 50 Hz.....3.000.000 FCFA
- Groupe Deutz 10 kVA 1500 tr/mn, 220/380 V, 50 Hz.....4.000.000 FCFA

VI.3.3.12. Avantages des Groupes électrogènes

L'usage des groupes électrogènes présente les avantages suivants :

- Faible coût d'investissement ;
- Technique très répandue et parfaitement connue ;
- Source d'énergie très souple : mise en marche et arrêt selon la demande ;
- Mobilité (sauf pour les gros systèmes) ;
- Parfaite adaptation en site isolé.

VI.3.3.13. Inconvénients des Groupes électrogènes

Les principaux inconvénients des groupes sont :

- ◆ La dépendance vis-à-vis des combustibles importés (sauf dans le cas de substitution par des combustibles issus de la biomasse). Les problèmes de pénurie et de rupture d'approvisionnement constituent des obstacles qui doivent être analysés à priori ;
- ◆ La nécessité d'un entretien et d'une surveillance permanents par une personne formée ;
- ◆ Coûts de fonctionnement élevés (combustible) ;
- ◆ Charges d'entretien et de maintenance élevées ;
- ◆ Faible rentabilité pour les puissances inférieures à quelques kW ;
- ◆ La charge doit être régulière et proche de la puissance nominale ;
- ◆ Les nuisances sonores (bruit) ;
- ◆ La pollution de l'environnement (combustibles brûlés).

VI.3.3.14. Adresses de quelques constructeurs de Groupes électrogènes

<p>AMAN 22 à 36, Rue Louis-Rameau 95870 Bezons, France Tél. (33)(1) 39 47 09 89 Tlx. 698 530 F</p>	<p>MOTEURS CERES 16, Rue du Sommerand BP. 16 10200 Bar-sur-Aube, France Tél. (33) 25 27 02 95 Fax. (33) 25 28 81 09 Tlx. 840 607 F</p>
<p>DIESEL ENERGIE Rue de la Taye BP. 95 28 110 Lucé cedex, France Tél. (33) 37 35 22 45 Tlx. 780 338 F</p>	<p>RENAULT Bâtiment CDO 402, Avenue Charles-de-Gaulle 69 625 Venissieux Cedex, France Tél. (33) 78 96 80 80 Tlx. 300 265 RVI F</p>
<p>SDMO 12 bis, Rue de la Villeneuve 29 272 Brst Cedex, France Tél. (33) 98 02 08 90 Fax. (33) 98 41 63 07</p>	<p>MOTEUR MIC Société des moteurs thermiques 26, Avenue Vladimir - Komaarov BP. 30 78 192 Trappes, France Tél. (33)(1) 30 51 61 04 Tlx. 697 029 F</p>

VI.3.4. Centrale solaire photovoltaïque

VI.3.4.1. Nécessité de la Pré-électrification

Pour la satisfaction des besoins électriques de base des populations rurales et en utilisant des équipements électriques de faible consommation et à haute efficacité électrique, il est utile de concevoir ou d'appuyer des projets de Pré-électrification des communautés villageoises complétant et précédant la venue du réseau ou d'un groupe électrogène. Ceux-ci n'apparaissent que lorsque la demande électrique le justifiera.

Propre, silencieux, sans consommation de carburant, d'une durée de vie très longue (20 ans), ce système s'adapte particulièrement bien aux sites isolés éloignés des réseaux électriques pour des consommations journalières de l'ordre de quelques kWh.

Les faibles besoins électriques et peu évolutifs du domaine de la Pré-électrification solaire justifient bien le fait qu'il serait absurde d'engager la SONABEL dans la gestion de 1 kW dans un village éloigné.

Il serait donc nécessaire d'encourager les sociétés privées de la place qui oeuvrent dans le domaine du solaire à poursuivre les opérations de Pré-électrification.

Il s'agit de :

Société	Adresse
Projet Production Internationale BF P.P.I. BF	01 BP. 2306 Ouagadougou 01 Avenue Bambanguida 437, rue 13.24 Tél. (226) 30 11 62 Burkina Faso
SAHEL énergie solaire	01 BP. 2723 Ouagadougou 01 Tél. (226) 30 69 73, Fax. (226) 30 14 02 Burkina Faso
Atelier Energie Solaire et Technologie Appropriée ATESTA	03 BP. 3306 Ouagadougou 03 Siège à Gounghin à côté du Lycée Mixte Burkina Faso
SOLTECH BURKINA	01 BP. 426 Ouagadougou 01 Rue 9.06 Porte 402 Tél./Fax. (226) 34 23 02 Burkina Faso

VI.3.4.2. Maintenance des Systèmes Solaires

L'entretien régulier de base est réalisé par l'utilisateur :

- ◆ Nettoyage des panneaux et des abords ;
- ◆ Surveillance des voyants de contrôle.

En site isolé, certaines installations fonctionnent sans surveillance plusieurs mois d'affilé (cas des relais de télécommunication en site isolé, par exemple)

Cependant, l'entretien périodique (1 à 2 fois par an) doit être effectué par un technicien de maintenance (parfois par l'utilisateur lui-même) qui contrôle l'ensemble des composants :

- ◆ Vérification et nettoyage des connexions électriques ;
- ◆ Vérification du niveau d'électrolyte des batteries ;
- ◆ Tests de fonctionnement de l'électronique (régulateur, onduleur).

Aussi, pour les installations collectives (Télévision solaire, pompage d'eau, équipements de centres de santé...), on aura toujours intérêt à :

- **Mettre en place des programmes** régionaux ou locaux intégrant les aspects suivi et maintenance par la constitution d'équipes d'entretien tournantes, prêtes à intervenir ;
- **Signer des contrats d'entretien** avec les installateurs d'équipements.

Notons que le montant d'un contrat d'entretien pratiqué par la société PPI BF est de **1.000.000 FCFA/an**. Pour les installations en dehors de Ouagadougou, **il faut ajouter 150 FCFA/km** au montant du contrat pour tenir compte des déplacements.

VI.3.4.3. Méthode de dimensionnement

Dimensionner un générateur photovoltaïque revient à déterminer le nombre de modules nécessaires ainsi que la capacité des batteries (s'il y a lieu) en fonction des besoins de l'utilisateur.

Ce dimensionnement dépend de :

- ◆ la puissance à alimenter (consommation) ;
- ◆ la durée d'utilisation de l'électricité par jour ;
- ◆ les conditions climatiques du site (rayonnement solaire et durée des périodes sans soleil) ;
- ◆ le type de l'installation (avec ou sans stockage d'énergie, usage en courant continu ou alternatif).

On peut envisager une utilisation :

- ⇒ Soit "au fil du soleil" c'est à dire sans stockage d'énergie dans le cas du pompage d'eau, par exemple, mais avec stockage d'eau dans un réservoir; un système de régulation du niveau d'eau sera alors prévu ;
- ⇒ Soit avec stockage d'énergie dans des **batteries** qui permettent une alimentation, à toute heure, pendant plusieurs jours, même par mauvais temps.

Pour les usages en alternatif (mono ou triphasé), on prévoira un onduleur (convertisseur) approprié.

PHOTOWATT International SA a mis au point une méthode de prédimensionnement rapide. La carte de l'Afrique ci-jointe comporte un tableau spécifique sur lequel se trouvent des valeurs de Watt crête (**Wc**) et de Watt heure (**Wh**) en fonction des différentes zones du continent.

METHODE

- ❶ Trouver sur la carte le lieu d'installation ;
- ❷ Relever le numéro de zone correspondant ;
- ❸ Lire dans le tableau la valeur Wc de la zone ;
- ❹ Calculer la consommation journalière nécessaire en multipliant la puissance nominale de l'équipement par le nombre d'heures de fonctionnement par jour ;
- ❺ Multiplier cette consommation par la valeur Wc indiquée dans le tableau ;
- ❻ Diviser ce résultat par la puissance crête du module choisi pour l'installation en arrondissant toujours à la valeur entière supérieure.

Vous connaissez ainsi le nombre de modules nécessaires à votre installation.

- ❼ Multiplier ensuite la consommation journalière par la valeur Wh batterie indiquée dans le tableau de la zone correspondante.

En divisant cette valeur par la tension nominale de votre installation, vous obtenez la capacité de la batterie à prévoir.

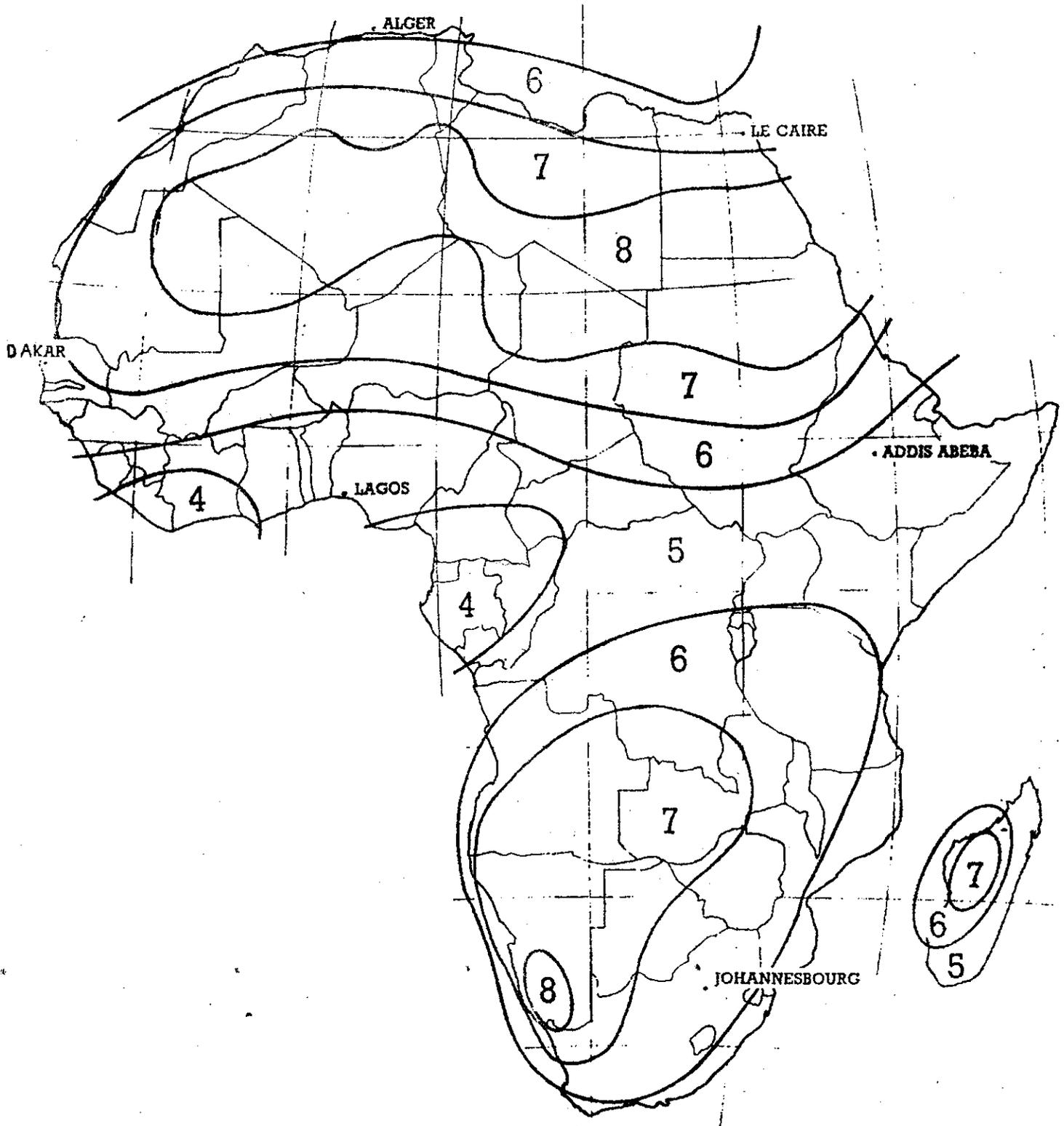
Toutes ces valeurs sont données à titre indicatif. Pour obtenir une garantie du système, il est nécessaire de faire confirmer vos résultats par un dimensionnement réalisé par PHOTOWATT International SA

GAMME DES MODULES, Constructeur TOTAL ENERGIE

11 Wc	16 Wc	24 Wc	32 Wc	40 Wc	48 Wc
56 Wc	64 Wc	70 Wc	75 Wc	80 Wc	

(Voir exemple de dimensionnement en page 87)

AFRIQUE



	4	5	6	7	8
Wp	0,56	0,43	0,36	0,33	0,32
Wh batt	7,44	7,44	7,44	7,44	7,44

EXEMPLE

Soit une habitation isolée de 4 pièces à Koudougou (Burkina Faso). On prévoit l'alimentation en 12 V de :

4 fluos	20 W	5 heures/jour
1 télévision	40 W	7 heures/jour
1 radiocassette	40 W	10 heures/jour
1 réfrigérateur	100 W	5 heures/jour

Dimensionner le générateur photovoltaïque et la batterie pour cette installation. Quelle est alors la durée de la période d'autonomie?

SOLUTION

①② Koudougou se trouve en zone 6 de la carte de l'Afrique ;

③ Coefficient module = 0,36 ;

④ Calcul de la consommation journalière :

4x20x5 =	400
1x40x7 =	280
1x40x10 =	400
1x100x5 =	500
TOTAL	1580 Wh/j

⑤ Puissance crête nécessaire : $1580 \times 0,36 = 569 \text{ Wc}$

⑥ Soit $569/40 \approx 15$ modules de 40 Wc
Soit $569/64 \approx 9$ modules de 64 Wc.

Lorsque le nombre de modules est déterminé, il faut vérifier qu'il est compatible avec la tension batterie choisie.

⑦ Coeff. Batterie = 7,44 ;

Capacité Batterie = $1580 \times 7,44/12 = 979,6 \text{ Ah}$, soit environ **1000 Ah**.

En se référant au tableau de performances des batteries (catalogue constructeur), on choisira la batterie offrant une capacité de 1000 Ah.

Période d'autonomie : On estime que 80 % de la capacité stockée est utilisable pour pallier aux jours sans soleil : $1000 \text{ Ah} \times 0,8 = 800 \text{ Ah}$, soit en 12 V, **9600 Wh**.

En admettant que la batterie ait déjà fourni l'énergie nécessaire à une journée d'utilisation, la capacité restant disponible est de : $9600 - 1580 = 8020 \text{ Wh}$; ce qui correspond à $8020/1580 = 5,07$ jours d'autonomie sans soleil.

VI.3.4.4. Coûts des systèmes photovoltaïques

La mise en place d'une centrale solaire nécessite les travaux suivants :

- ◆ le génie civil (socle, clôture, local technique) ;
- ◆ la fixation de supports (poteaux, rails) ;
- ◆ la pose d'équipements (modules, batteries, régulateur, onduleur) ;
- ◆ les raccordements électriques.

Tous les travaux énumérés ci-dessus ne sont pas toujours indispensables, les coûts des systèmes photovoltaïques en dépendent. Ils dépendent également des conditions locales et du type d'installation.

Dans le cas du pompage d'eau, ces coûts représentent le générateur, la pompe installés ainsi que les études et le génie civil (forage non compris).

Nous donnons ici quelques ordres de grandeur du coût du Wc installé.

COÛTS DU WATT CRETE INSTALLE

Types d'installation	Domestique	Pompage	Professionnelle
Puissance générateur	< 500 W	500 - 1500 W	> 1 kW
Coût du Wc installé en kFCFA	11 à 19	20 à 25	22 à 35
<u>Décomposition du prix en %</u>			
• modules	40 à 50 %	30 à 40 %	30 à 50 %
• batteries	15 à 20 %	--	10 à 30 %
• accessoires	25 à 30 %	15 à 25 %	25 à 35 %
• études, génie civil, install.	--	30 à 45 %	15 à 30 %
• transport	10 à 15 %	10 à 15 %	10 à 15 %
Coûts annuels de fonctionnement (en % d'investiss.)	1 à 2 %	1 à 2 %	1 à 4 %

- 1 kFCFA = 1000 FCFA
- **Pour le matériel importé, le taux de douane est de 56,65 %**

(Voir coûts de quelques installations en page suivante)

COUTS DE QUELQUES INSTALLATIONS FAITES A OUAGADOUGOU

Description	Utilisation	Coût en FCFA (société)
1 système avec 1 panneau de 12v/11Wc + support pour fixer sur le toit + 1 batterie 60Ah	alimentation de 2 à 3 lampes ou 1 radiocassette	298.000 P.P.I. BF
1 système avec 1 panneau de 12v/48Wc+1 régulateur 12V/6A+1 batterie 100Ah + 1 onduleur 12V/220V/200W	alimentation de 3 à 4 lampes ou 1 radiocassette ou 1 téléviseur 12 V	545.000 P.P.I. BF
1 système avec 2 panneaux de 12v/11Wc + support de toit + 1 régulateur+1 batterie 60Ah	alimentation Téléviseur couleur + Vidéo	1.078.000 P.P.I. BF
modules + régulateur + onduleur+pompe 1,5 kW	Pompage d'eau	12.500.000 SAHEL énergie solaire

VI.3.4.5. Intérêt économique du Photovoltaïque

Dans le contexte du Burkina, il apparaît aujourd'hui que le photovoltaïque trouve sa place pour des petits besoins en électricité en site isolé :

- en dessous de **1 kWh par jour**, il est la source d'énergie la moins chère (éclairage domestique + Télévision + petit électroménager, par exemple) ;
- de **1 à quelques kWh par jour**, il est concurrentiel (petit pompage, alimentation des dispensaires (chauffe eau, réfrigérateur), etc.) ;
- au **delà de 10 kWh par jour**, il n'est que très rarement économique. Cependant, sa grande fiabilité et son faible besoin de maintenance suffisent parfois à le justifier, même dans des cas où la rentabilité économique est nettement défavorable.

Ainsi, malgré son coût d'investissement très élevé, la solution photovoltaïque est très rentable pour des centres isolés peu peuplés avec de faibles consommations ponctuelles (besoins prioritaires des équipements communautaires des villageois).

VI.3.4.6. Avantages des Systèmes Photovoltaïques

Les systèmes photovoltaïques présentent les avantages suivants :

- ◆ Coûts de fonctionnement faibles (visites de routine, remplacement batterie) ;
- ◆ S'adaptent bien aux centres isolés de faible consommation ;
- ◆ Pas de nuisances sonores (pas de bruit) ;
- ◆ Installation, utilisation et entretien très aisés ;
- ◆ Modularité : si la demande croît, on rajoute des panneaux (modules) ;
- ◆ Absence de tout approvisionnement en carburant ;
- ◆ Absence de toute pollution ;
- ◆ Longue durée de vie (20 ans).

VI.3.4.7. Inconvénients des systèmes photovoltaïques

Les systèmes photovoltaïques présentent les inconvénients suivants :

- ◆ Investissement initial élevé ;
- ◆ Faible puissance mise en jeu ;
- ◆ Maintenance complexe (électronique) ;
- ◆ Puissance produite variable selon le temps (dépendant de l'éclairement) ;
- ◆ Rentabilité limitée à la fourniture de quelques kWh/jour ;
- ◆ Nécessité d'un stockage batterie ;
- ◆ Nécessité d'utiliser un onduleur pour des usages en alternatif ;
- ◆ Ils nécessitent une surface d'installation importante.

VI.3.4.8. Adresses de quelques Constructeurs

Batteries	
FULMEN 18, quai de Clichy, branchements privés. 306 92 111 Clichy, France Tlx. 620 822 F	SAFT 156, Av. de Metz 93 230 Romainville, France Tlx. 220 100 F
Régulateurs, Modules, pompes, Réfrigérateurs, autres matériel	
TOTAL ENERGIE 24, Av. Joannès-Masset 69 009 Lyon, France Tlx. 306 115 F	SOLELEC Systèmes solaires BP. 6, ZI 34 880 Laverune, France Tlx. 490 823 F
Onduleurs	
ELECTRONIC INDUSTRY 5, Rue de Saint - Cyr 69 009 Lyon, France	SFEI ZI du Quintin BP. 151 13 654 Salon-de Provence, France Tlx. 440 169 F

VI.4. SYNTHÈSE

Après analyse des conditions d'applications, des avantages et inconvénients des différentes technologies d'électrification rurale réellement envisageables dans le contexte du Burkina, nous pouvons faire la synthèse suivante :

❶ L'approvisionnement en électricité des centres ruraux ne peut se faire que par l'une des deux (2) sources qui sont :

- **une centrale Diesel isolée ;**
- **l'extension du réseau national existant (alimentation par ligne).**

Selon le contexte, une étude de faisabilité permettra de prendre des décisions en opérant des choix techniques conséquents.

Si la demande le justifie, ces types d'alimentation permettent de produire des puissances électriques nécessaires à une distribution publique locale en basse tension. Les centrales Diesel peuvent éventuellement être des sources de production d'électricité pour l'alimentation des lignes en moyenne tension.

Proposition :

A propos de l'alimentation des centres ruraux par extension du réseau national, nous proposons à la SONABEL la réalisation, à titre expérimental, de nouvelles technologies :

- ◆ **Le SWER pourra être expérimenté dans le Sud ouest du Burkina, région plus arrosée et disposant des sols plus humides ;**
- ◆ **Les lignes MT biphasées avec possibilité d'usage BT en triphasé.**

(voir schémas en Annexe)

Ces techniques pourront être expérimentées à la faveur de la réalisation probable des interconnexions externes (avec la Côte d'Ivoire et le Ghana) et des barrages de NOUMBIEL et de BOUGOURIBA.

Il faudra également développer la politique d'accès de l'électricité aux ménages dans les centres à électrifier.

❷ **La pré-électrification au solaire photovoltaïque** trouve bien sa place en site isolé. Elle se justifie pour la satisfaction des besoins électriques des équipements communautaires (pompage d'eau, centres de santé..) des populations rurales. Ces besoins sont prioritaires, ponctuels et peu évolutifs.

VI.5. CONCLUSION

Nous rappelons que le thème de ce Mémoire consiste en la proposition de technologies appropriées pour l'électrification rurale à un coût modéré au Burkina Faso.

Au regard des différentes technologies envisageables retenues ci-dessus, chaque projet d'électrification rurale devra faire l'objet d'une comparaison (ou analyse) des variantes sur les plans technique, économique et contextuel.

Sans une étude préalable pour un projet quelconque d'électrification rurale en site isolé, nous nous permettons d'affirmer, avec réserve, que les mini-centrales Diesel sont économiques par rapport aux lignes.

Cette affirmation sommaire se base sur les réalités de terrain, car le réseau MT burkinabé est encore embryonnaire et ne dispose pas de source de production abondante et bon marché.

D'où l'interconnexion d'un centre situé à des centaines de kilomètres d'une ligne principale risquerait d'être qu'une action utopique.

Pour les études de projet, un accent particulier sera également mis sur les aspects sociologiques et organisationnels des populations bénéficiaires pour mesurer leur degré de motivation au projet, car les chances de succès de toute action de développement résident dans la cohérence du tissu social □

RECOMMANDATIONS

Pour la mise à disposition de l'électricité auprès des populations rurales, il y a lieu de mobiliser tous les acteurs impliqués dans le développement du sous-secteur de l'énergie électrique au plan national d'abord avant de compter sur les partenaires extérieurs.

Pour ce faire nous faisons les recommandations suivantes :

• Pour la promotion de l'électrification rurale :

- ❶ Elaborer une politique nationale d'électrification rurale, par la mise en place d'un comité interministériel, par exemple ;
- ❷ Mettre en place des projets pilotes d'électrification rurale ;
- ❸ Etudier la possibilité de mettre en place une tarification forfaitaire pour le monde rural : **facturer plutôt un service qu'un kWh**. Ce système de tarification existerait déjà dans certains villages en Côte d'Ivoire;
- ❹ Etudier la possibilité de mise en place d'un système de gestion des équipements électriques par les populations bénéficiaires elles mêmes comme cela est le cas actuellement pour les pompes manuelles; la SONABEL n'interviendra qu'en cas de panne grave. Cela réduirait les charge d'exploitation.

• Pour la recherche des financements :

- ❶ L'identification de méthodes innovatrices telles la création des fonds spéciaux alimentés par des taxes ;
- ❷ La réorientation d'une partie des ressources publiques vers l'électrification rurale (**subventions de l'Etat**) ;
- ❸ Une mobilisation des capitaux du secteur privé (**opérateurs économiques**) ;
- ❹ Susciter l'adhésion des populations bénéficiaires par une contribution (Caisses populaires, Groupements villageois et cotisations diverses) ;
- ❺ La recherche des capitaux à faible taux d'intérêts ;
- ❻ La recherche des subventions auprès des organismes de coopération, les ONG et auprès de toute institution de bienfaisance ;
- ❼ La réduction du taux de douane sur le matériel solaire photovoltaïque.

• Pour la production et le transport d'électricité :

- ❶ Réaliser des projets de construction des barrages de NOUMBIEL et de la BOUGOURIBA ;
- ❷ Réaliser les interconnexions externes avec la Côte d'Ivoire et la Ghana;
- ❸ Choisir des groupes Diesel type brousse (marche sans nécessité de surveillance) et utilisant des combustibles moins onéreux;
- ❹ Les bâtiments de service peuvent être réduits à de simples hangars;
- ❺ Réaliser, à titre expérimental, de nouvelles lignes MT biphasées ou en SWER;
- ❻ Adapter les équipements d'électrification aux besoins en présence (cas des groupes électrogènes) □

CONCLUSION GENERALE

Les contraintes liées à la diffusion de l'électricité en milieu rural sont énormes au point où la volonté des hommes se heurte à la pure réalité économique. Si l'on veut faire de l'électricité un réel facteur de développement du milieu rural, il est utile que tous les acteurs impliqués dans le processus de développement du sous-secteur de l'énergie électrique revoient leurs stratégies.

Face à l'évolution technologique, l'électrification doit être agencée de manière à opter pour des technologies adaptées aux besoins en présence avec des coûts optimaux.

Bien que l'électrification rurale ne soit pas rentable pour la SONABEL, elle pourra être profitable pour le Burkina Faso, pays agricole, dont l'essentiel des producteurs se trouve en milieu rural avec des besoins énergétiques immenses; ces producteurs ruraux contribuent, à eux seuls, à environ 40 % du PIB.

Nous osons espérer que les enjeux socio-économiques pourront amener les décideurs à la prise de décisions susceptibles de concilier en partie le politique, le social et les exigences de la performance dans le but de mettre en place un système institutionnel et financier pour la promotion de l'électrification rurale au Burkina Faso; telle est la voie empruntée par plusieurs pays dans le monde □

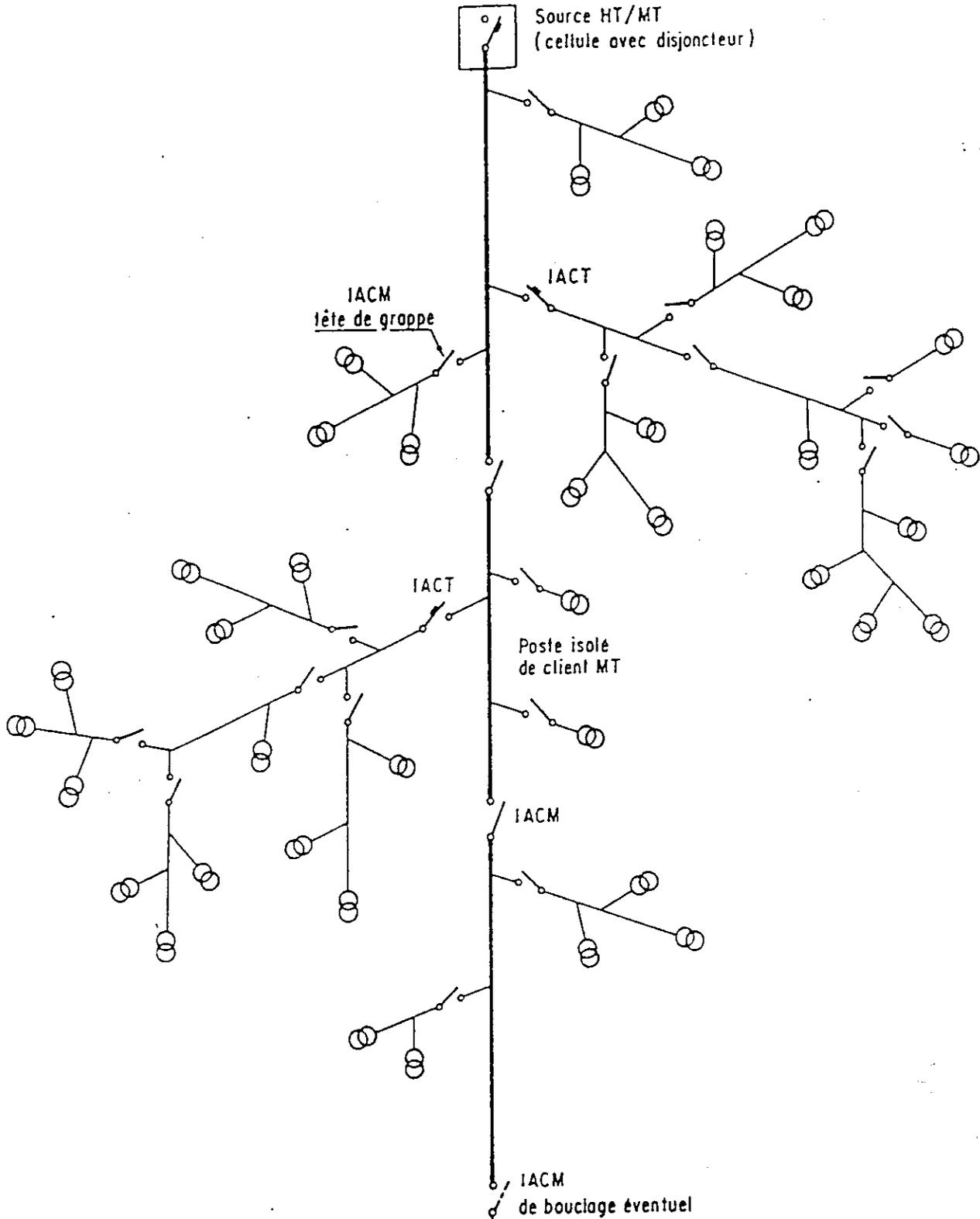
BIBLIOGRAPHIE

1. **Technologies Industrielles appropriées**
PRODUCTION AUTONOME DE L'ENERGIE,
Edition L'Harmattan
2. **Energies dans le Développement Rural - EIER**,
avec la participation de l'Ecole Nationale du Génie rural,
des Eaux et Forêts de Paris
3. **SOURCES D'ENERGIES** ,
Cours de M. Y. COULIBALY, Prof. EIER, Février. 90
4. **LE SYSTEME MALT** pour l'électrification des pays
en voie de développement,
HYDRO-QUEBEC International
5. **TECHNOLOGIE ELECTRIQUE**,
Cours de M. D. ROMAIN, Prof. EIER
6. **COURS D'ELECTRIFICATION RURALE**,
de M. J. LIEB, Prof. EIER, Janvier 97
7. **COURS DE GESTION DES PROJETS**
de MM. J. RIPOCHE et F. COUPEL, Prof. EIER
8. **GIBB AFRICA - ESKOM ELECTRIFICATION TOOL BOX**
Edition 17 Janvier 97
9. **Mémoire M. A. BASSILA**, Electrification rurale au Burkina,
Cas de la localité de LAYE
10. **L'ATLAS du Continent Africain**, Edition JAGUAR
4^e trimestre 1993 N° d'édition 1463/1
11. **Jeune Afrique Annuaire**
L'Afrique et le Moyen-Orient, imprimé le 30 Avril 96
12. **RAPPORTS D'ACTIVITES SONABEL**
Années : 91, 92, 93, 94, 95, 96
13. **ACTUALISATION DU SCHEMA DIRECTEUR**
D'ELECTRIFICATION du Burkina SDEB
Rapport Final EDF Juin 96
14. **LIVRET DE LA SONABEL**
15. **STRATEGIE D'ELECTRIFICATION RURALE**
au Burkina Faso, Etude réalisée par
SEMIS et GTAH, Juillet 95
16. **DOCUMENT PREPARATOIRE DES JOURNEES**
DE L'ENERGIE, Ministère de l'Energie et des Mines
17. **ASSISES SUR L'ENERGIE AU BURKINA FASO**,
Ministère de l'Energie et des Mines, Juillet 96
18. **ENERGIE ET DEVELOPPEMENT SOCIO-ECONOMIQUE**
Au Burkina, Ministère de l'Energie et des Mines, Juillet 96

ANNEXES

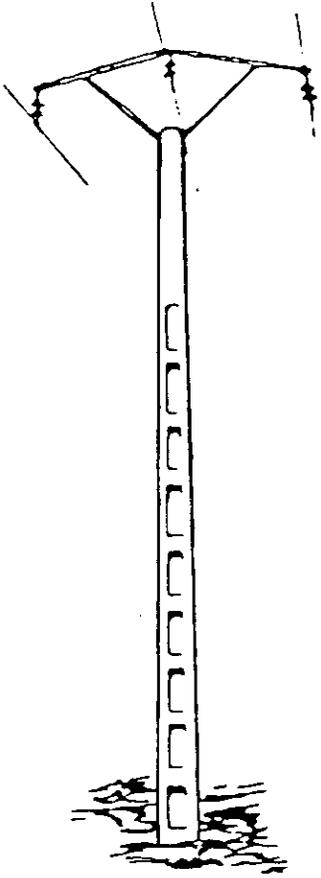
LES RESEAUX ELECTRIQUES

Source HT/MT
(cellule avec disjoncteur)



- Ossature principale (ligne triphasée à 3 ou 4 conducteurs)
- Ligne secondaire (ligne monophasée ou triphasée)
- IACT (interrupteur automatique)
- IACM (interrupteur manuel)

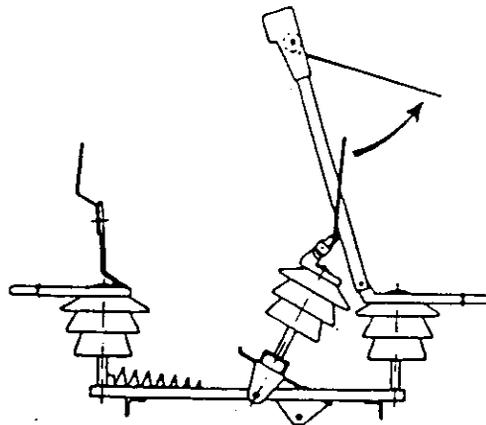
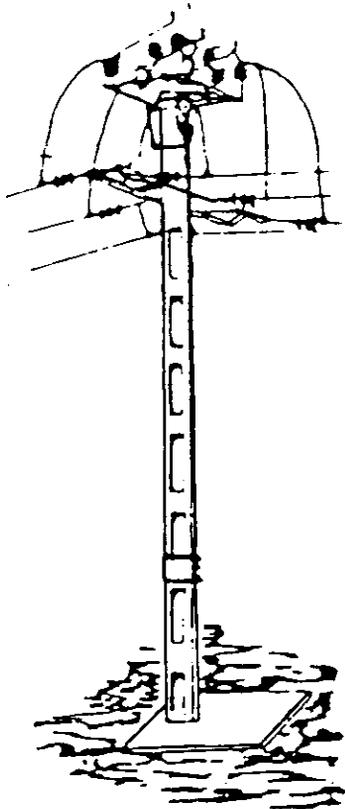
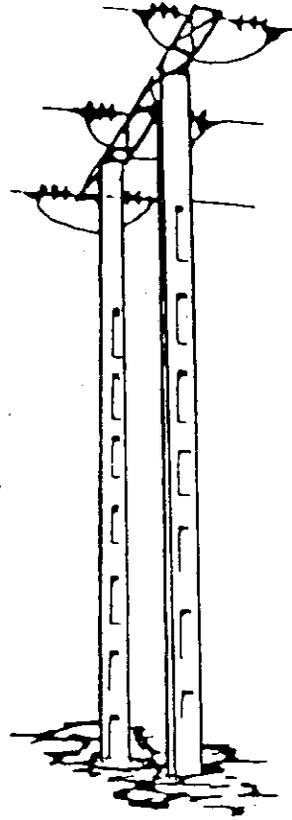
Structure d'un départ MT rural



RESEAU AERIEN
20 kV

← Support d'alignement avec nappe-voute

Portique →

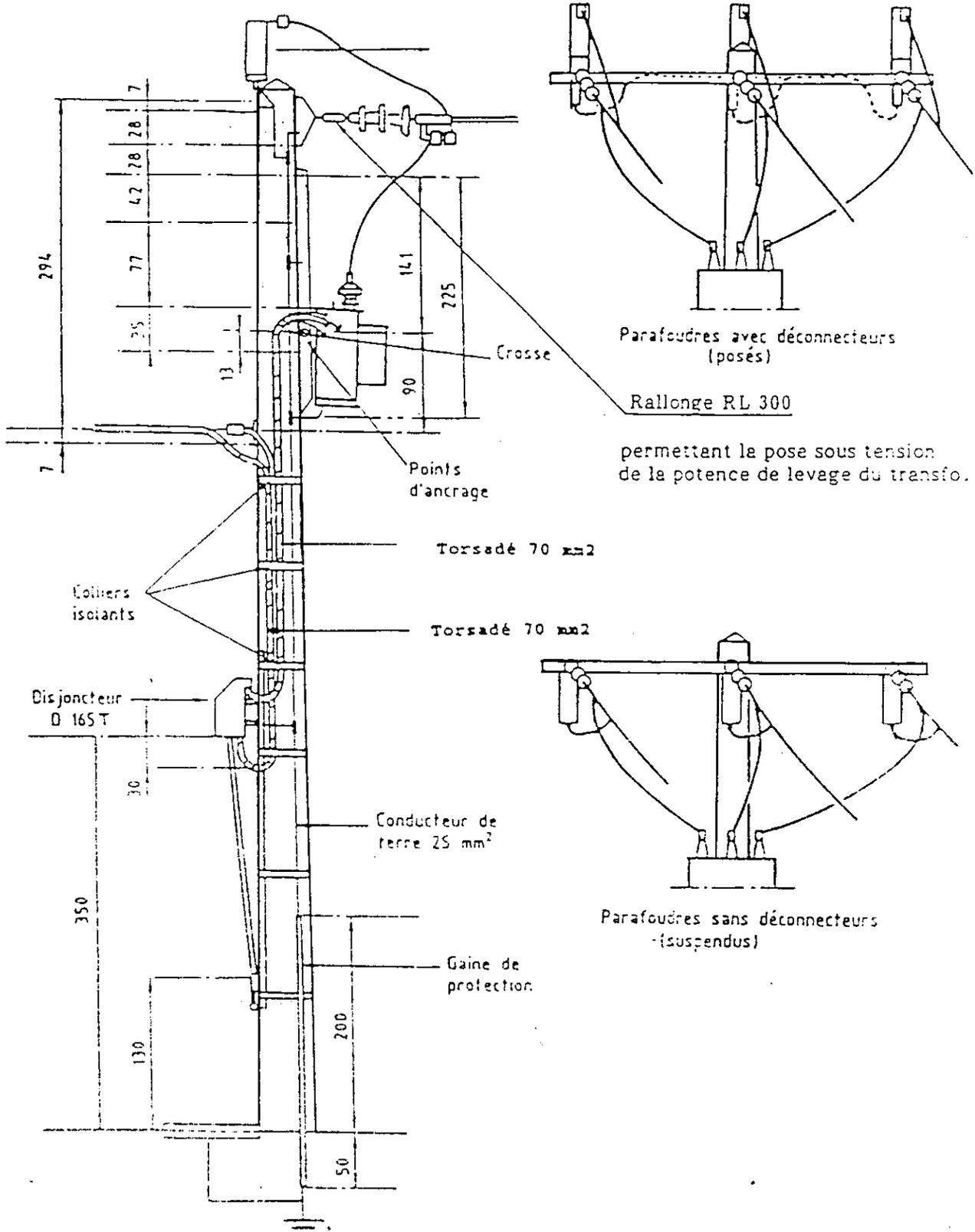


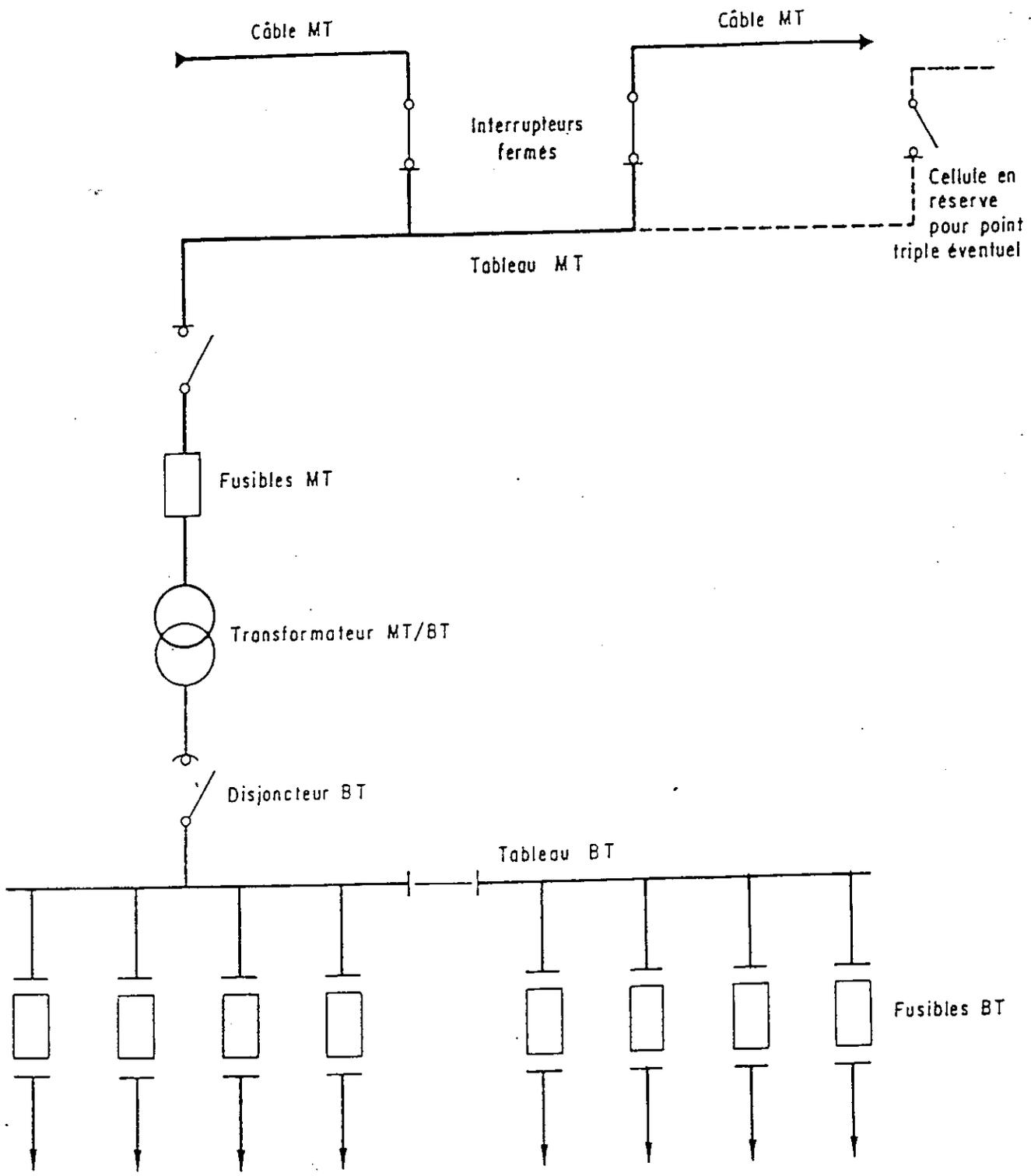
Interrupteur aerien à commande manuelle (IACH)

TRANSFORMATEURS DE 50 ET 100 kVA en ANTENNE

COTES en cm

Parafoudres (le détail des raccords et des fixations est fonction du modèle des parafoudres)





Poste MT/BT urbain en coupure d'artère

SCHEMAS ELECTRIQUES DES RESEAUX

SWER - Biphasé - Triphasé

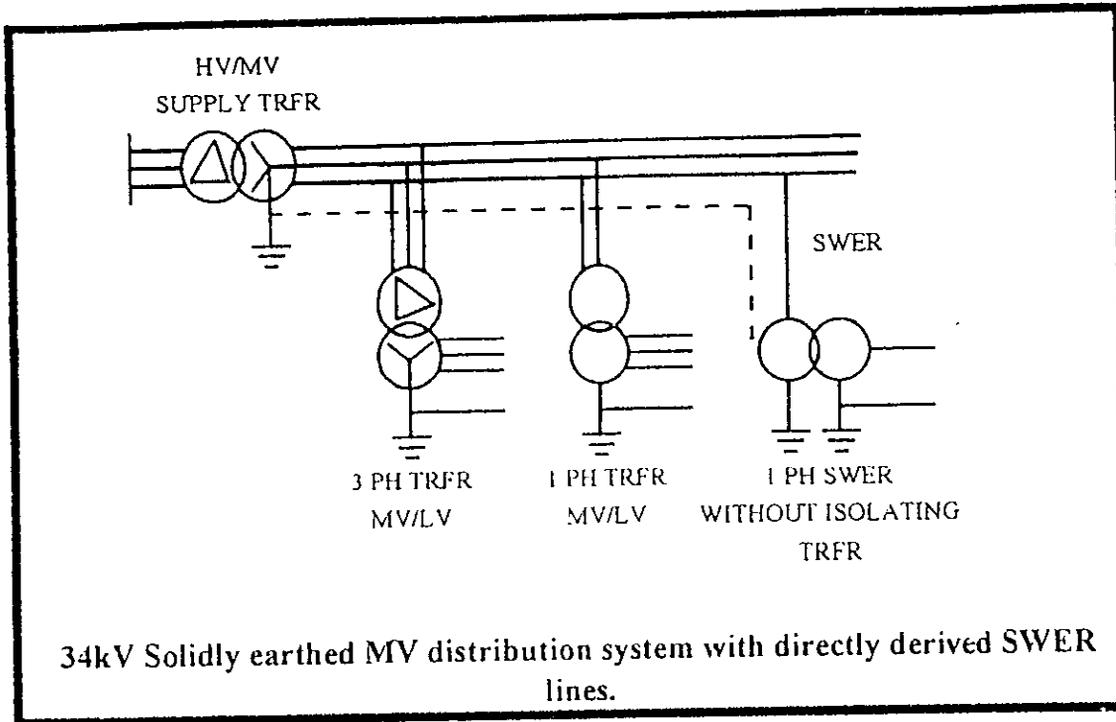


Figure 4.4 : SWER derived directly from a 34 kV solidly earthed system.

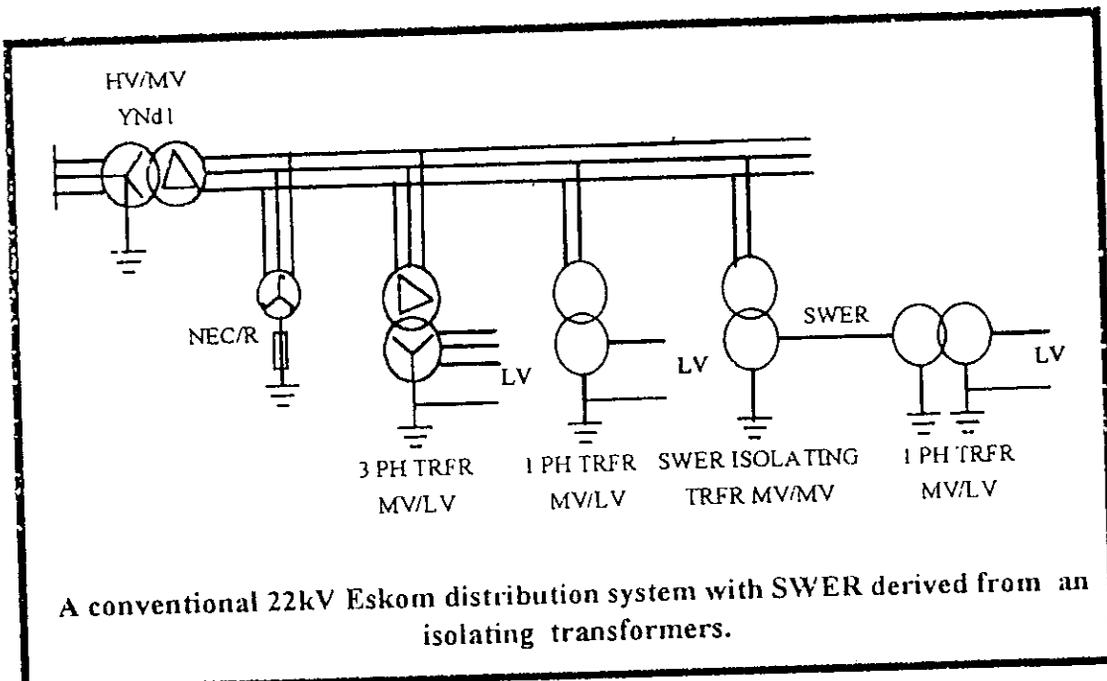
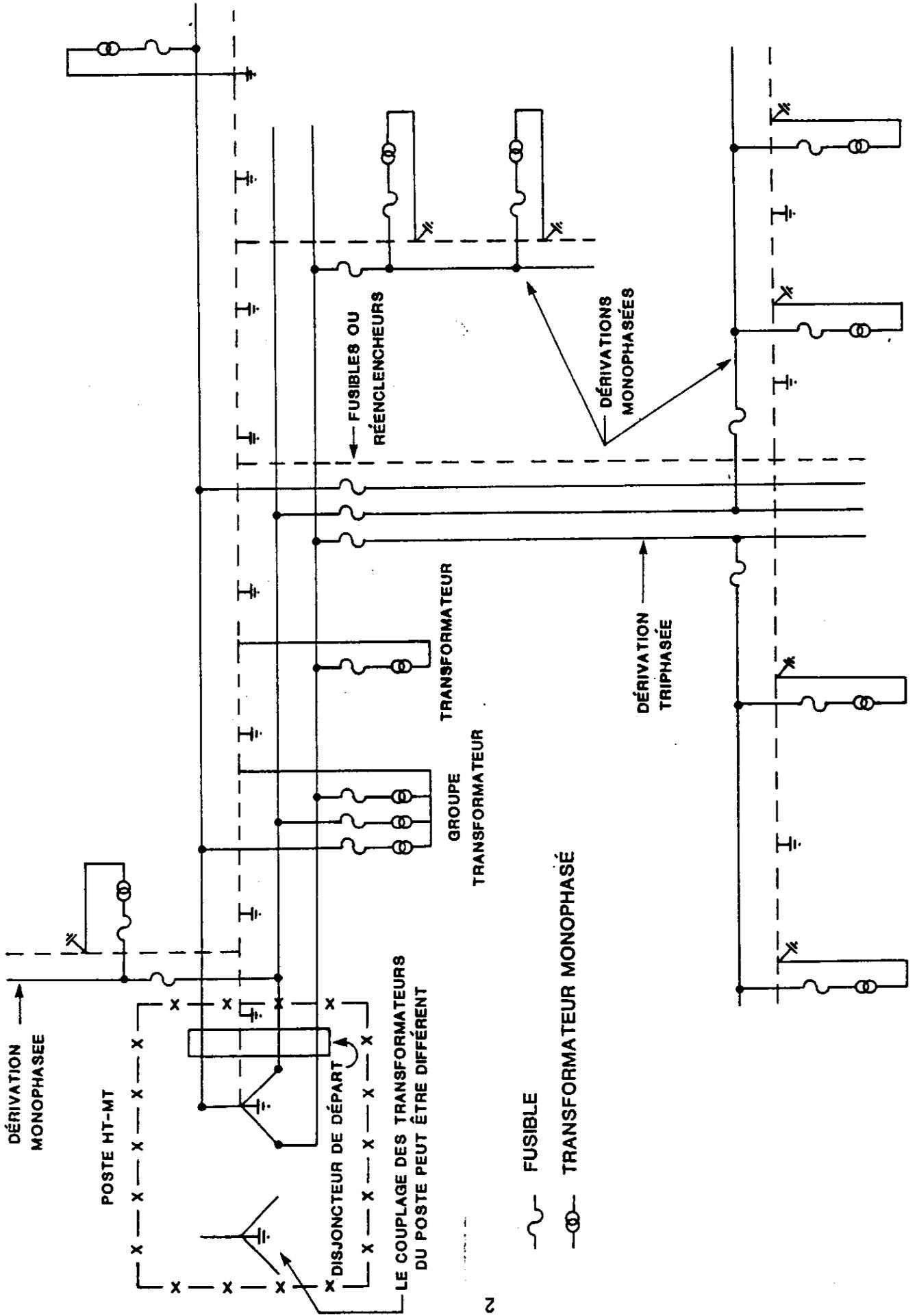
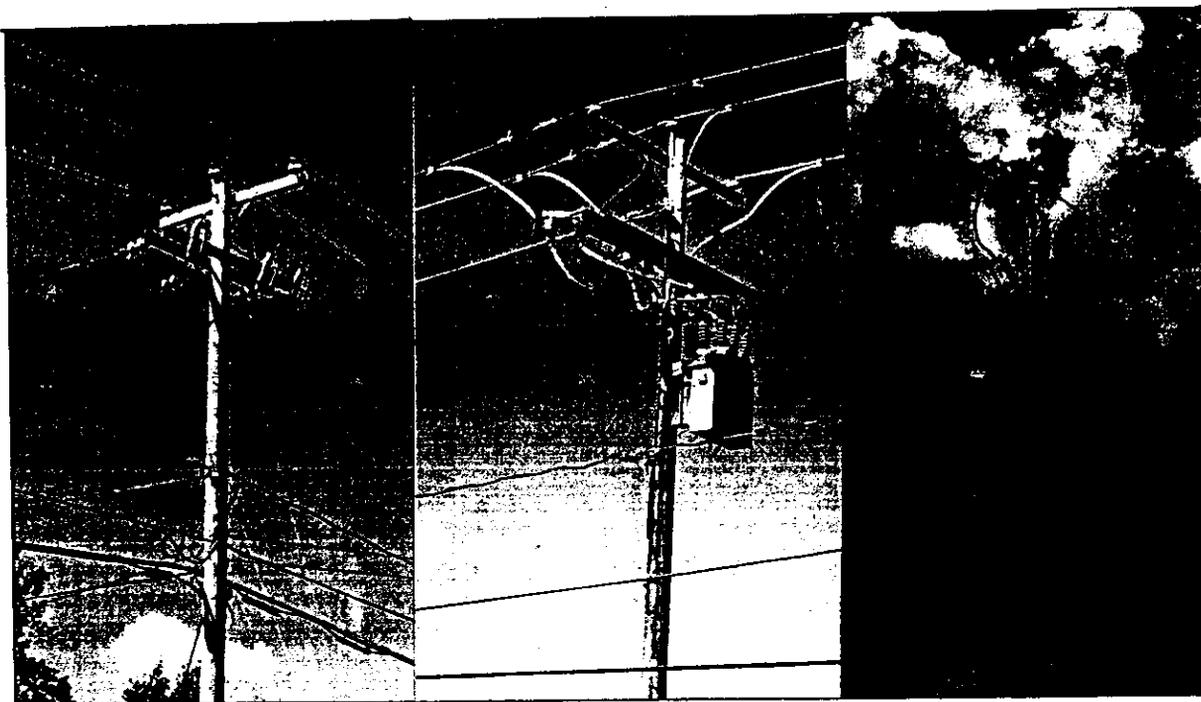


Figure 4.3 : A conventional Eskom MV system with SWER derived from an isolating transformer

SCHEMA TYPIQUE D'UNE LIGNE MT MALT

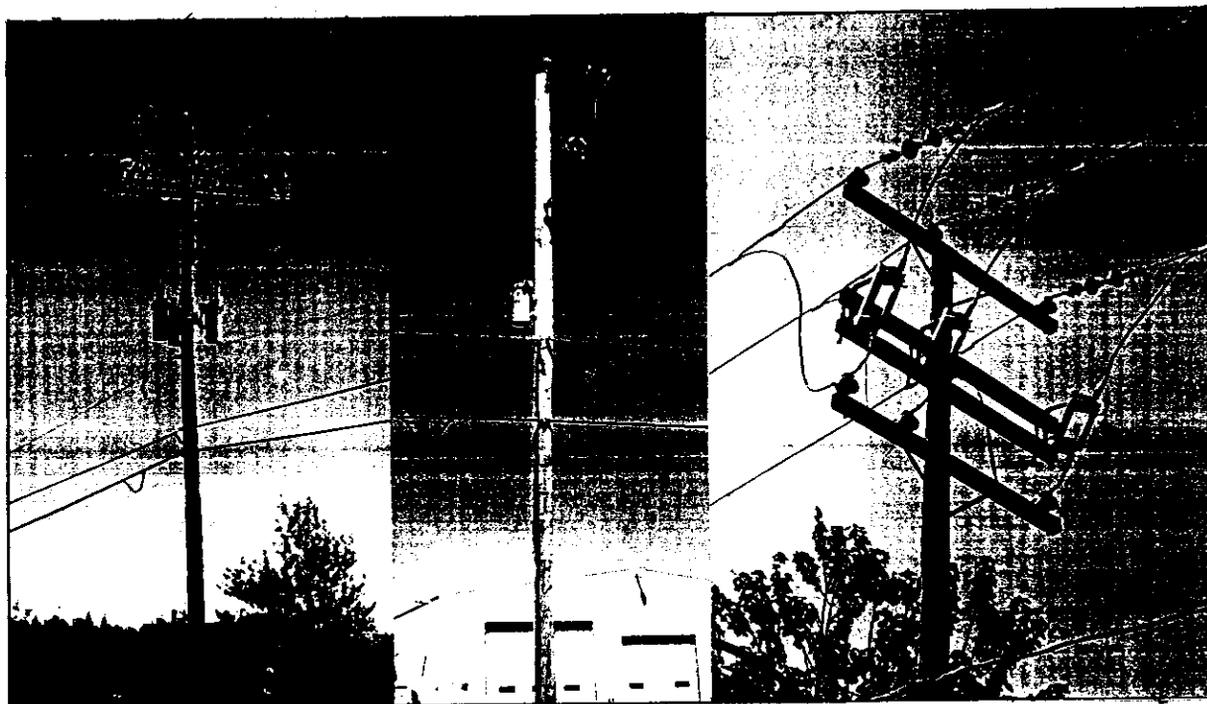




FUSIBLES

RECLOSER

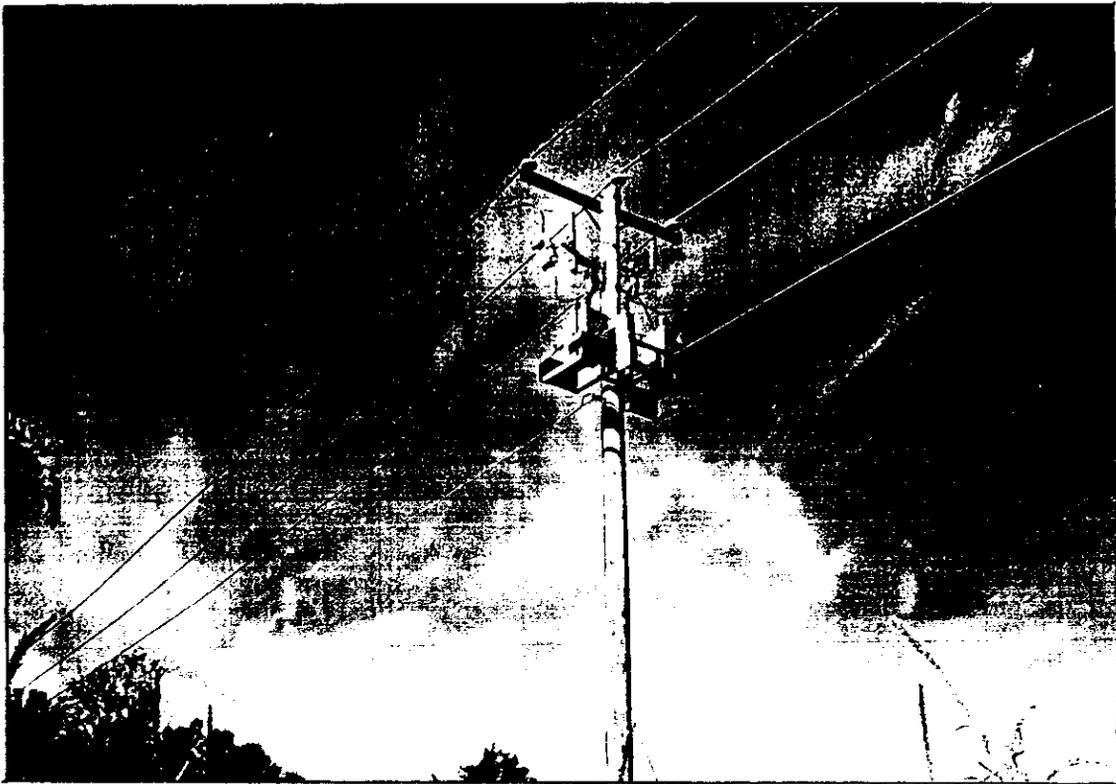
FUSIBLE



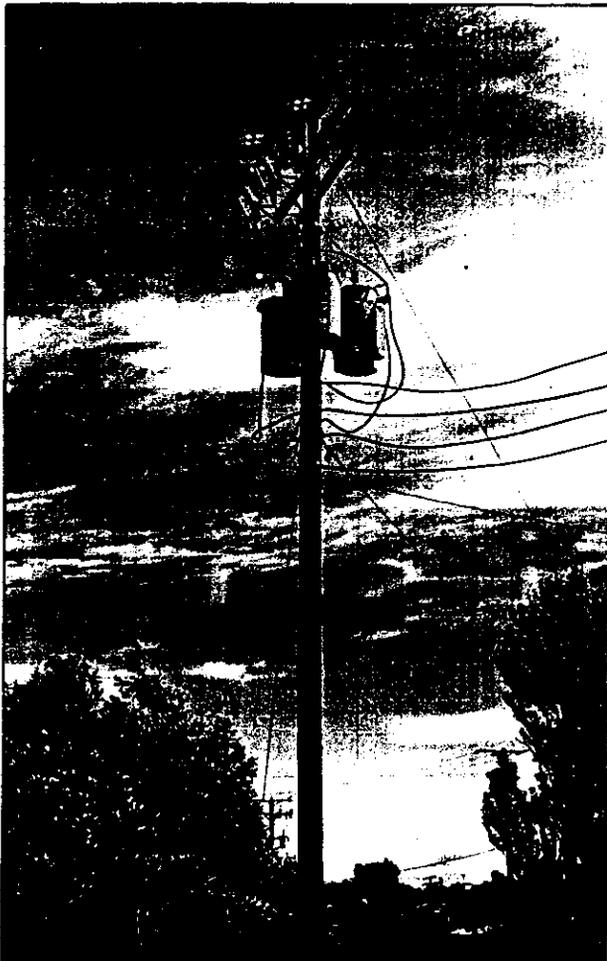
RECLOSERS

RECLOSER

SECTIONNEURS MANUELS
MANOEUVRES PAR PERCHE



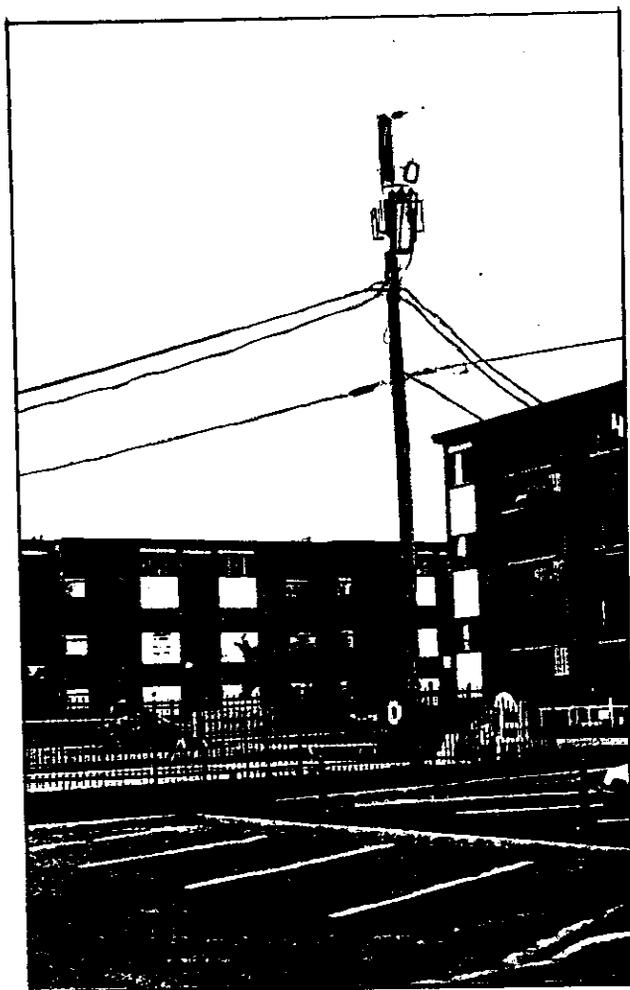
Condensateurs sur une ligne de 24,9 kV



Poste triphasé de 500 kVA



Poste triphasé de 2000 kVA



Transformateur monophasé de 167 kVA



Transformateur monophasé de 10 KVA

Les transformateurs monophasés ...

L'usage des transformateurs monophasés est généralisé en MALT; on peut les installer sur le tronc principal des artères ou tirer des dérivations monophasées pour alimenter ceux qui sont situés à l'écart.

Ces appareils sont disponibles dans une gamme étendue de puissance : 10, 25, 50, 75, 100, 167, 250, 333, 500, 667, 833, 1000 kVA.

Ces transformateurs n'ont qu'une seule borne MT, l'autre extrémité de l'enroulement étant reliée à la cuve qui sera mise à la terre. À puissance égale un transformateur monophasé coûte de deux à trois fois moins cher qu'en triphasé.



29

30



31

29: INTERRUPTEUR AÉRIEN À COMMANDE MANUELLE (IACM)

30: POSTE EN CABINE AVEC 4 ALIMENTATIONS MT

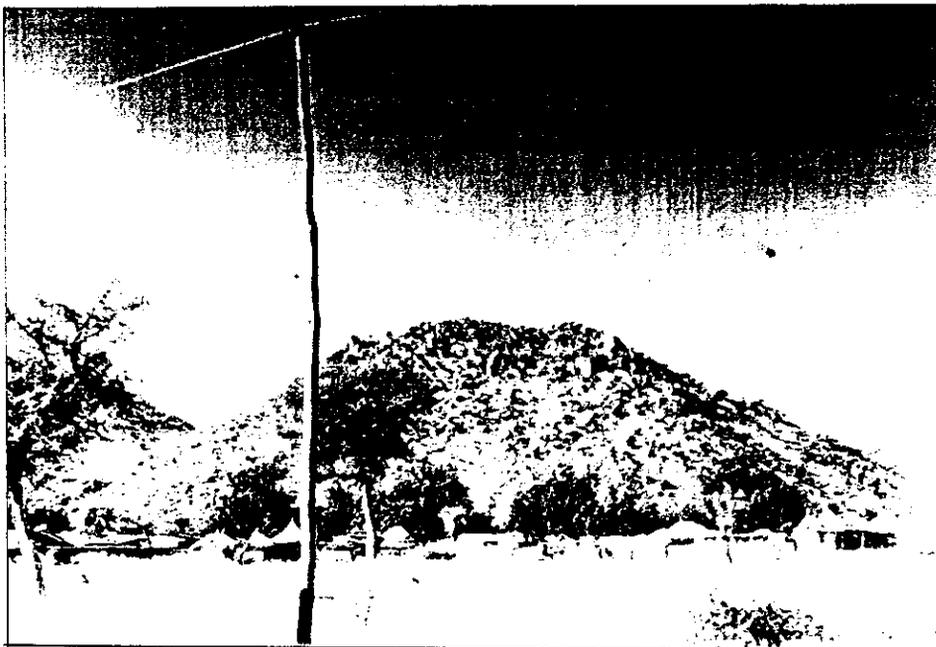
31: IACM ET POSTE



Ligne triphasée MALT

Ligne monophasée MALT

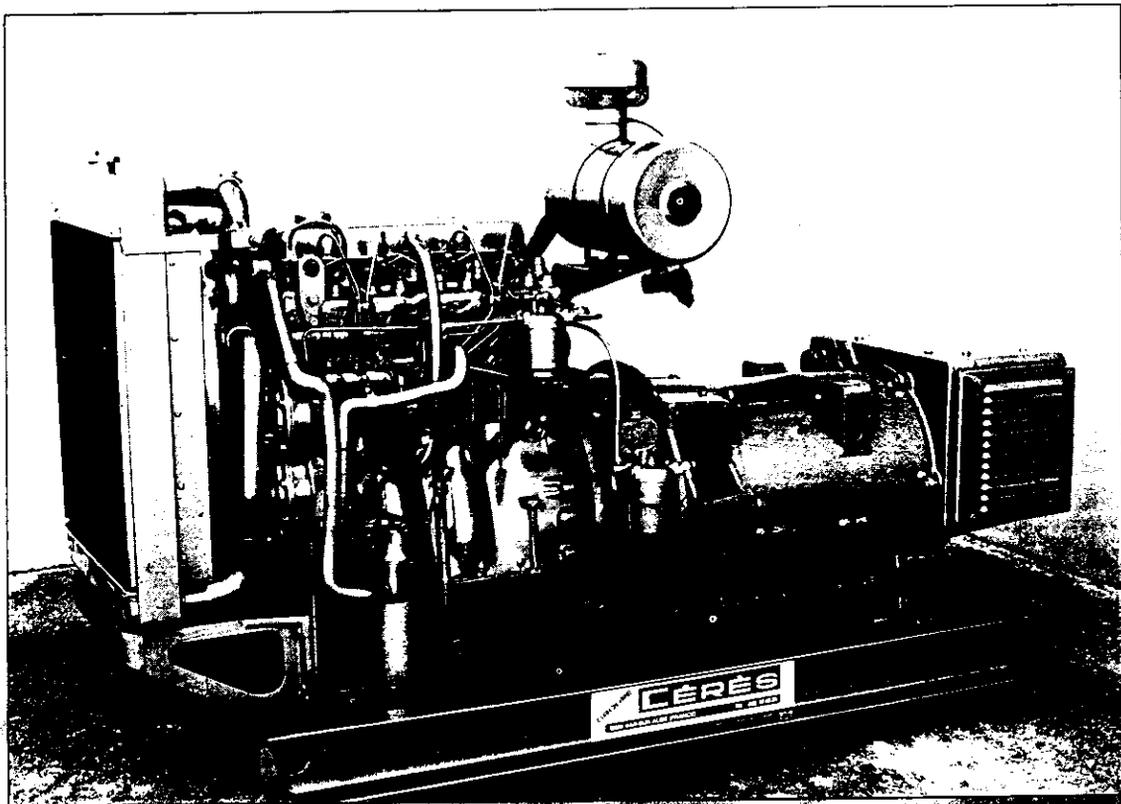
Ces deux lignes servent également aux P.T.T.



Ligne SWER, Cameroun

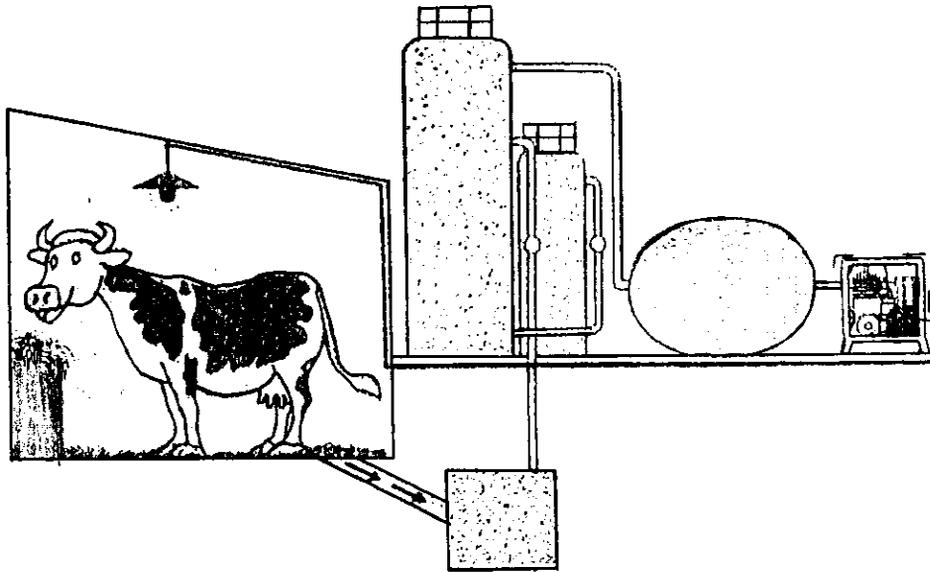
**LES GROUPES
ÉLECTROGÈNES**

***ELECTRIC
GENERATORS***



DERIVEE DE LA BIOMASSE

- ◆ Production du Biogaz à partir des matières organiques
- ◆ Utilisation du Biogaz comme combustible pour un Groupe électrogène



**L'ÉNERGIE
SOLAIRE**
***SOLAR
ENERGY***

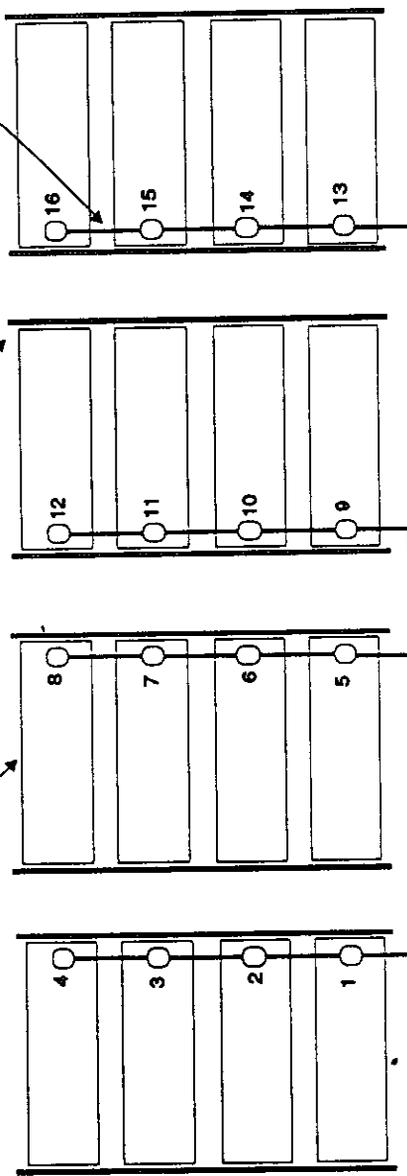


(Photo AFME)

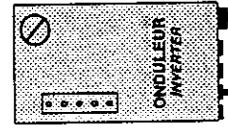
INTERCONNEXION MODULES
(type HO7 RNF 2x1,5 mm²)
INTERMODULE CABLE
(HO7 RNF type, 2x1,5 mm²)

STRUCTURE SUPPORT
SUPPORT STRUCTURE

MODULE PHOTOVOLTAÏQUE
PHOTOVOLTAIC MODULE



VERS GROUPE
MOTOPOMPE
TO MOTORPUMP UNIT



INTERCONNEXION PANNEAU
(type HO7 RNF 2x4 mm²)
MODULE / MAIN CONNECTION BOX CABLE
(HO7 RNF type, 2x4 mm²)

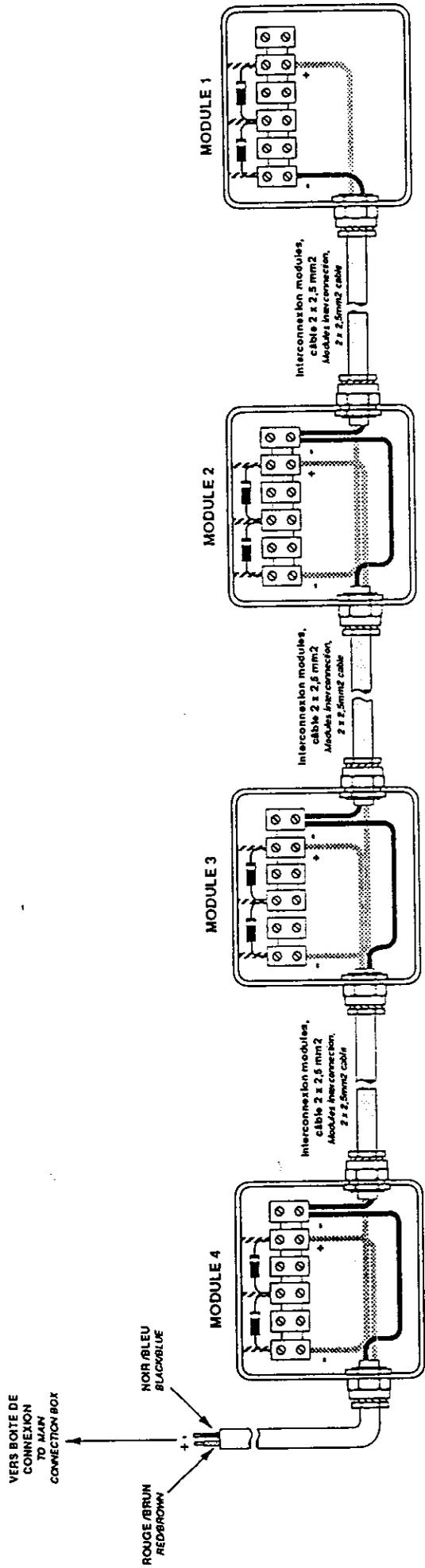
Trousse à épissure
Splicing Kit

LIAISON VERS MOTEUR
Cable Immergé 4x10 mm² (L=30m)
CABLE TO MOTOR
Submersible cable 4x10mm².

LIAISON VERS ONDULEUR
Cable U1000R02-V 2 x 6 mm² (L=5m)
CABLE TO INVERTER
Cables U1000R02-V 2 x 6mm².

DESSIN: J.ES.	SYNOPTIQUE DE CABLAGE GENERAL
TYPE: TSP 16M	GENERAL WIRING DIAGRAM
CODE: (Cde. 5051-JG46)	T S P 16 MODULES (PWX)
DATE: Mars 1995	16 MODULES (PWX) T S P





DESSIN : J.ES

TYPE : BP-48-4M

CODE : (Cde.3158-4569)

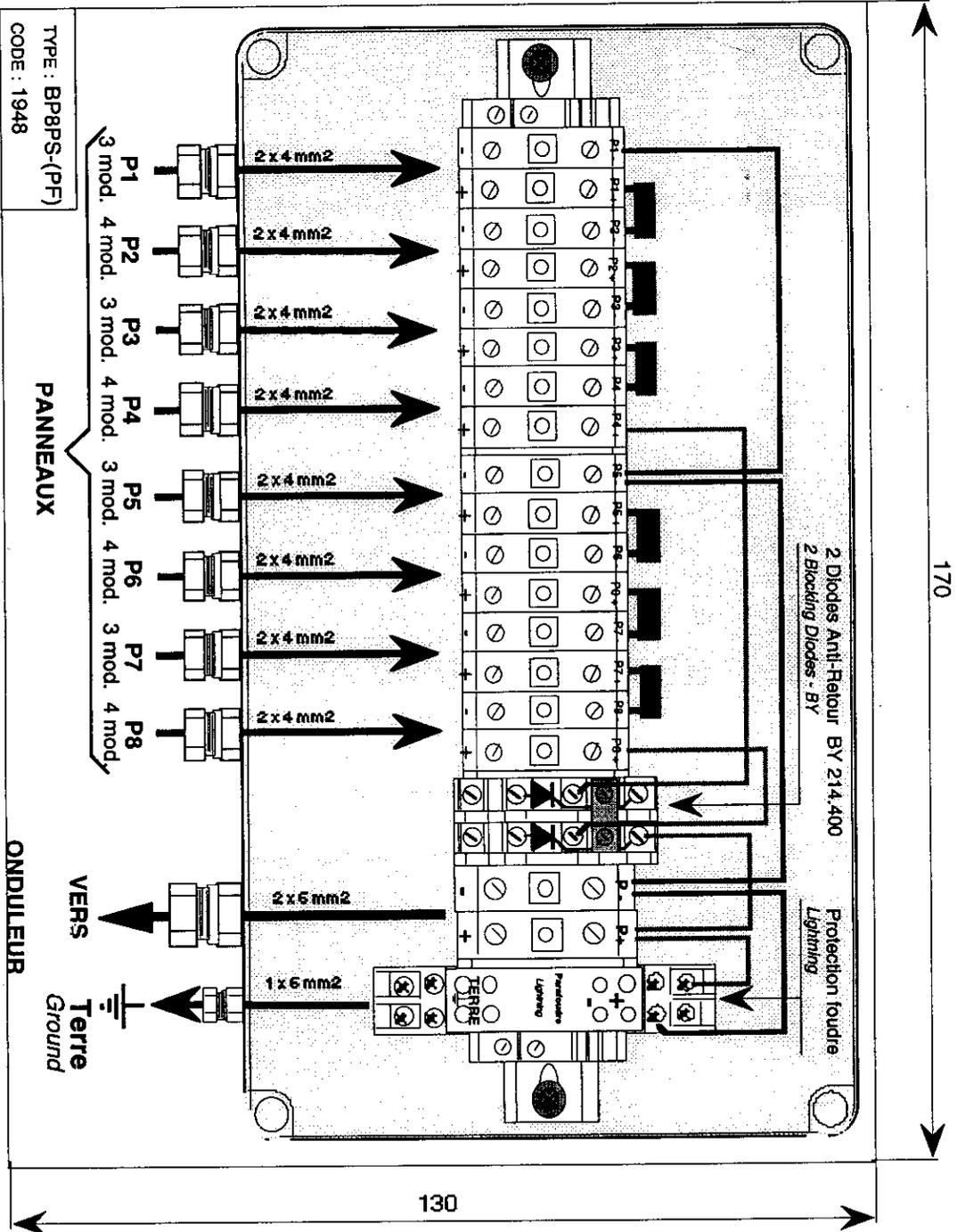
DATE : Mai 93 / Oct. 94

SCHEMA

4 MODULES PHOTOVOLTAIQUES EN 48 V
4 PHOTOVOLTAIC MODULES IN 48 V

TYPE

CABLAGE STANDARD
STANDARD PROCEDURE



TYPE : BP8PS-(PF)
CODE : 1948

PANNEAUX

ONDULEUR

- P1 3 mod. 4 mod.
- P2 4 mod. 3 mod.
- P3 3 mod. 4 mod.
- P4 4 mod. 3 mod.
- P5 3 mod. 4 mod.
- P6 4 mod. 3 mod.
- P7 3 mod. 4 mod.
- P8 4 mod.

VERS
Terre
Ground



DESSIN : JES.
TYPE : ETIQ. BP8PS
CODE : 12408
DATE : Avril 1995

BOITE DE CONNEXION PRINCIPALE 8 PANNEAUX Série - // avec PARAFONDRE

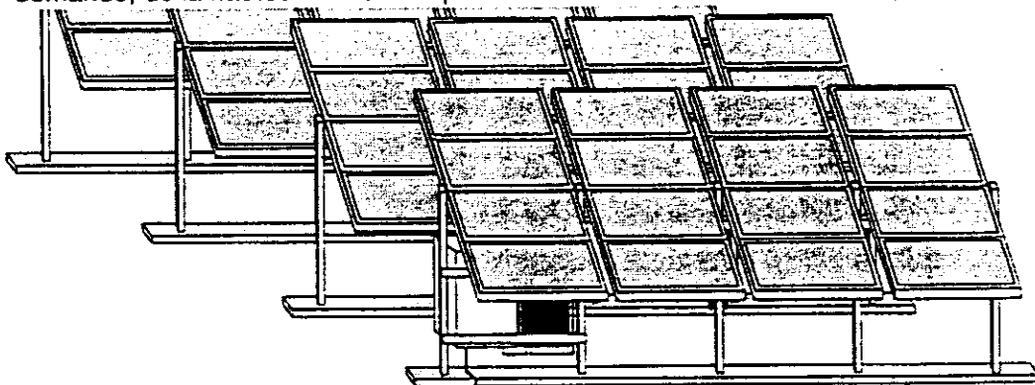
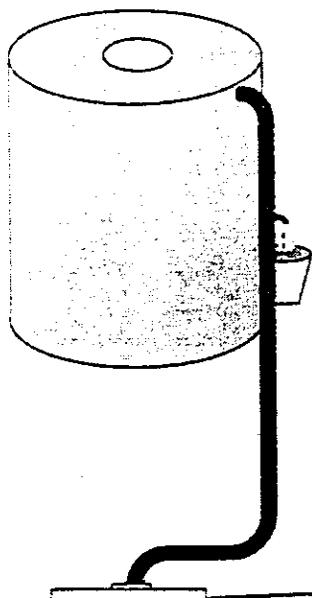
Etiquette adhésive vinyl 170 x 130 - câblage BP 8PS

COMPOSITION DU SYSTEME

Générateur photovoltaïque

Les pompes TSP utilisent des séries de 14 ou 16 modules multicristallins, assemblés en panneaux de 4 et installés sur une structure de support entièrement réalisée en aluminium. L'inclinaison des panneaux est réglable de 10 à 60 degrés.

Les modules photovoltaïques convertissent directement le rayonnement solaire en courant continu. La puissance du générateur est calculée en fonction du débit d'eau demandé, de la hauteur manométrique de l'installation, et des caractéristiques du site.



Onduleur à fréquence variable, TSP 4000

L'onduleur TOTAL ENERGIE convertit le courant continu généré par les modules en courant alternatif triphasé, de façon à alimenter le moteur de la pompe.

Sa fréquence de fonctionnement, et donc la vitesse de rotation du moteur, varie avec l'ensoleillement. Ceci permet d'absorber instantanément toute la puissance fournie par le générateur photovoltaïque. L'onduleur impose aussi une tension de fonctionnement fixe sur le générateur qui correspond à son maximum de puissance. Il assure également la protection contre les surintensités, les courts-circuits, le dénoyage de la pompe et le trop plein du réservoir (interrupteur à flotteur en option).

Tension d'entrée variable: 210 à 240V cc
Tension max. à vide : 340V cc
Courant max. : 17A
Puissance max. : 4000W

Tension de sortie (RMS) : 16 / 160V tri
Fréquence : 6 / 60 Hz
Rendement : 95%

Coffret : aluminium anodisé noir
Degré de protection : IP 55
Poids : 14,9 kg
Dimensions (mm) : 400 x 240 x 240

Groupe électropompe

Pompe centrifuge multicellulaire de 4 ou 6", dont le type et le nombre d'étages sont déterminés par TOTAL ENERGIE en fonction des paramètres hydrauliques de l'installation (débit requis et hauteur de pompage).

Roues et diffuseurs en Noryl renforcé par fibre de verre ou acier inoxydable

Arbre, corps et autres parties statiques en acier inoxydable

Clapet anti-retour

Tolérance au sable : 25 g / m3

Moteur immergé 4" à courant alternatif triphasé 160V, en acier inoxydable, alimenté par le générateur photovoltaïque au travers de l'onduleur.

Le moteur immergé est directement couplé à la pompe: le groupe motopompe est installé dans le forage, puis connecté à l'onduleur.

Puissance : 1400 / 2200W

Plage de tension : 16 à 160 V tri

Plage de vitesse : 0 à 3480 tr/min

Fluide de refroidissement : eau

Construction Inox/bronze/composite

Protection : IP 68

Accouplement Nema

LA GAMME TSP 4000

	TSP 2160	TSP 2520	TSP 2880	TSP 3150	TSP 3600	TSP 3780
Modules photovoltaïques	48	56	64	70	80	84
*Puissance du générateur	2160 Wc	2520 Wc	2880 Wc	3150 Wc	3600 Wc	3780 Wc
Structure support modules	SSU	SSU	SSU	SSU	SSU	SSU
Type d'onduleur	4000	4000	4000	4000	4000	4000
Type de moteur	1400 W	1400 W	2200 W	2200 W	2200 W	2200 W

* Puissance unitaire du module : 45Wc

Onduleurs pour systèmes de pompage photovoltaïques

TSP 2000 et 4000

PRESENTATION

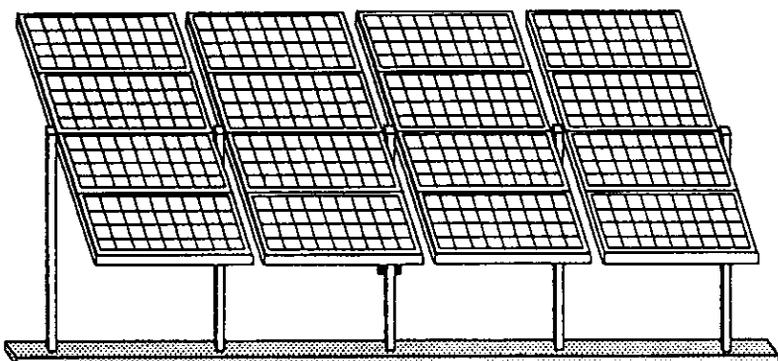
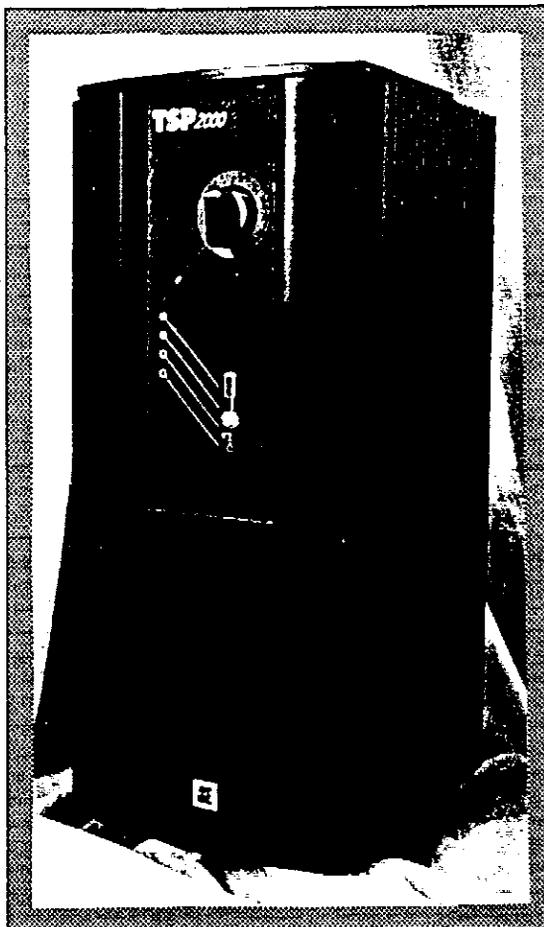
Les onduleurs TSP 2000 et 4000 spécialement conçus par TOTAL ENERGIE sont utilisés dans les systèmes de pompage photovoltaïques fonctionnant au fil du soleil.

FONCTIONNEMENT

L'onduleur TSP convertit le courant continu généré par le générateur photovoltaïque en courant alternatif triphasé, de façon à alimenter le moteur de la pompe.

La fréquence de fonctionnement de l'onduleur (et donc la vitesse de rotation du moteur) varie avec l'ensoleillement. Ceci permet d'absorber instantanément toute la puissance fournie par le générateur.

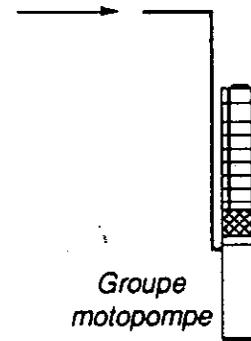
L'onduleur impose aussi une tension de fonctionnement sur le générateur qui correspond à son maximum de puissance. Il assure également la protection contre les surintensités, les courts-circuits, le dénoyage de la pompe et le trop-plein du réservoir (interrupteur à flotteur en option).



Générateur



Onduleur



Groupe motopompe

TSP 2000

Tension en entrée :	105/120V cc
Tension max. à vide :	170V cc
Courant max. :	17A
Puissance max. :	2000W

Tension de sortie (RMS) :	33 / 86V tri
Fréquence :	6 / 60 Hz
Rendement :	95%

Coffret : aluminium anodisé noir
Degré de protection : IP 55
Poids : 6 kg
Dimensions (mm) : 310 x 240 x 240

TSP 4000

Tension en entrée :	210/240V cc
Tension max. à vide :	340V cc
Courant max. :	17A
Puissance max. :	4000W

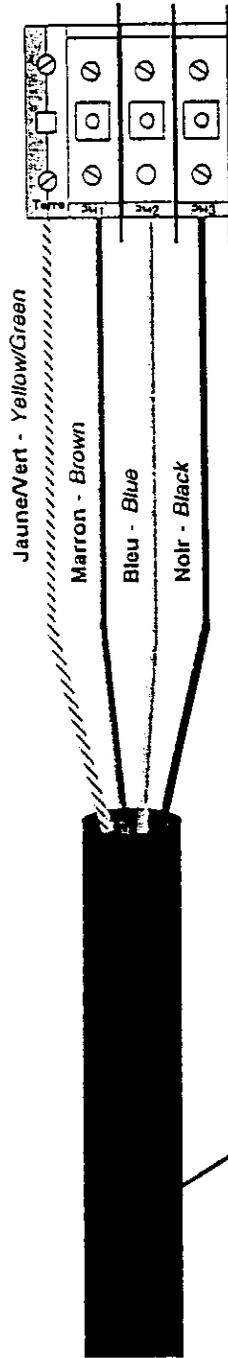
Tension de sortie (RMS) :	66 / 192V tri
Fréquence :	6 / 60 Hz
Rendement :	95%

Coffret : aluminium anodisé noir
Degré de protection : IP 55
Poids : 14,9 kg
Dimensions (mm) : 400 x 240 x 240

Les onduleurs TSP peuvent être équipés, en option, d'un système d'acquisition de données (débit, HMT, tension, courant, etc) - Nous consulter pour plus de détails.

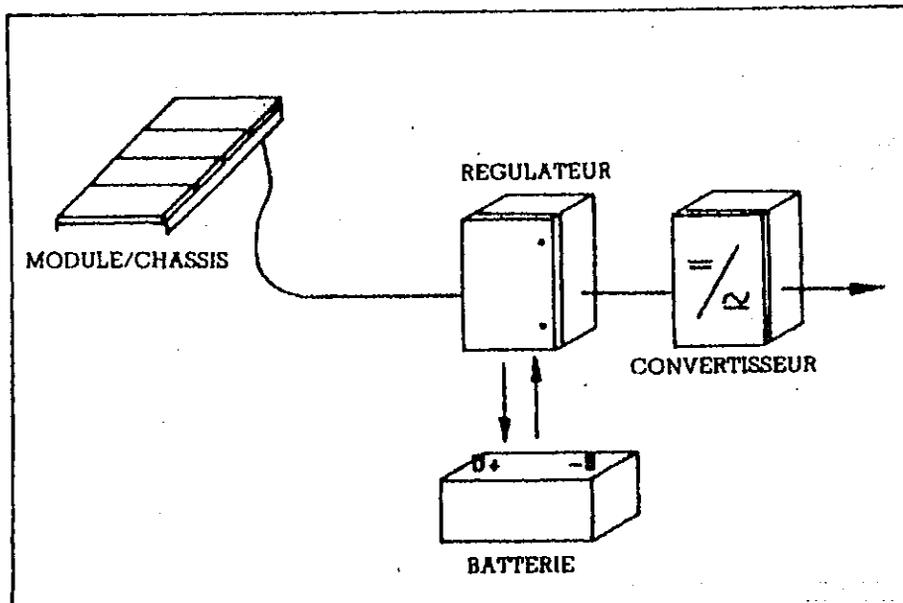
08.10.93

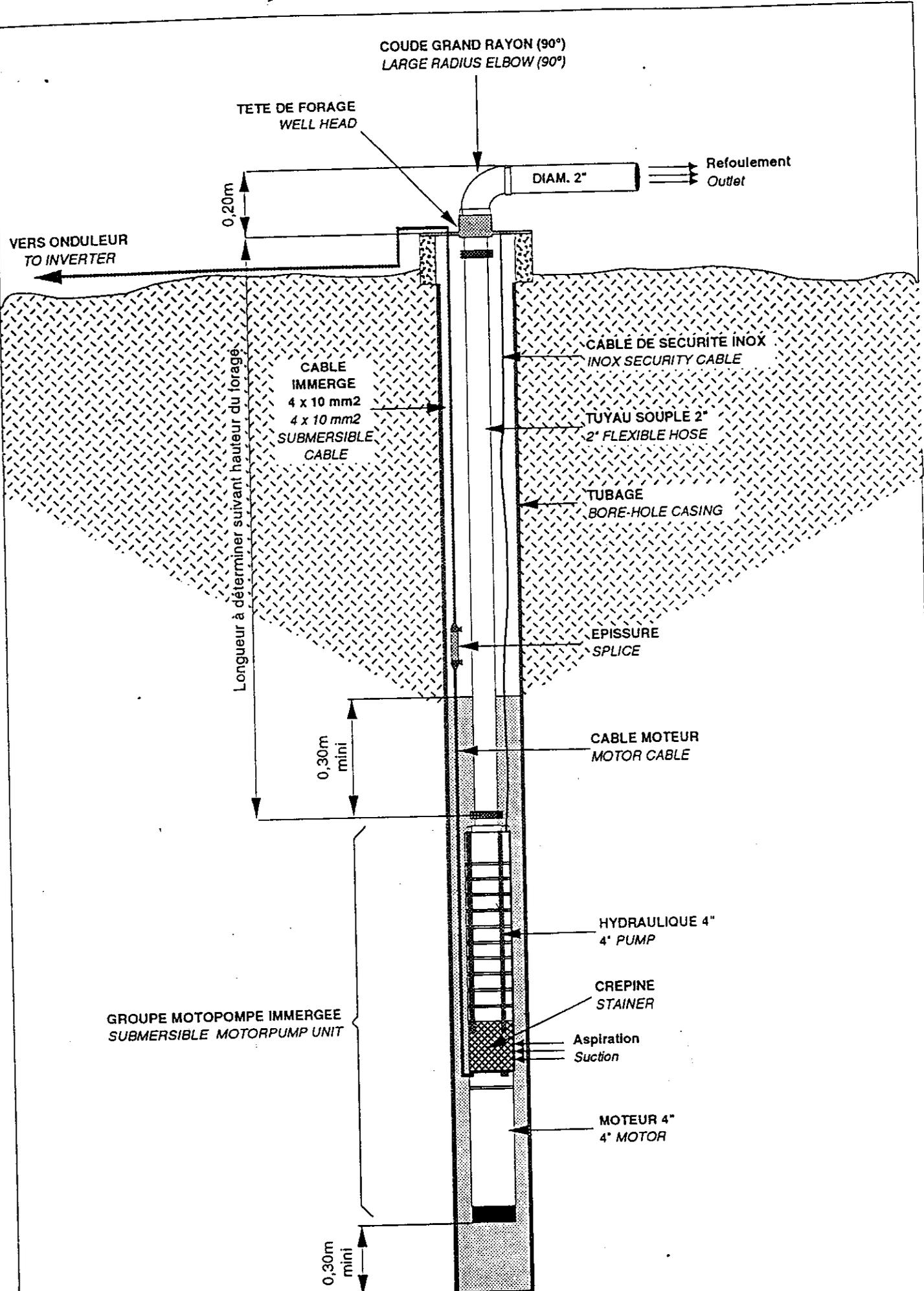
CONNECTEURS ONDULEUR
INVERTER TERMINALS



CABLE IMMERGEABLE 4 X 10 mm²
4 X 10 mm² SUBMERSIBLE CABLE

VERS MOTEUR
TO MOTOR





COUDE GRAND RAYON (90°)
LARGE RADIUS ELBOW (90°)

TETE DE FORAGE
WELL HEAD

DIAM. 2"

Refoulement
Outlet

0,20m

VERS ONDULEUR
TO INVERTER

Longueur à déterminer suivant hauteur du forage

CABLE
IMMERGE
4 x 10 mm²
4 x 10 mm²
SUBMERSIBLE
CABLE

CABLÉ DE SECURITE INOX
INOX SECURITY CABLE

TUYAU SOUPLE 2"
2' FLEXIBLE HOSE

TUBAGE
BORE-HOLE CASING

EPISSURE
SPLICE

0,30m
mini

CABLE MOTEUR
MOTOR CABLE

HYDRAULIQUE 4"
4' PUMP

CREPINE
STAINER

Aspiration
Suction

GRUPE MOTOPOMPE IMMERGEE
SUBMERSIBLE MOTORPUMP UNIT

MOTEUR 4"
4' MOTOR

0,30m
mini



DESSIN : J.ES.
DATE : Févr. 1995

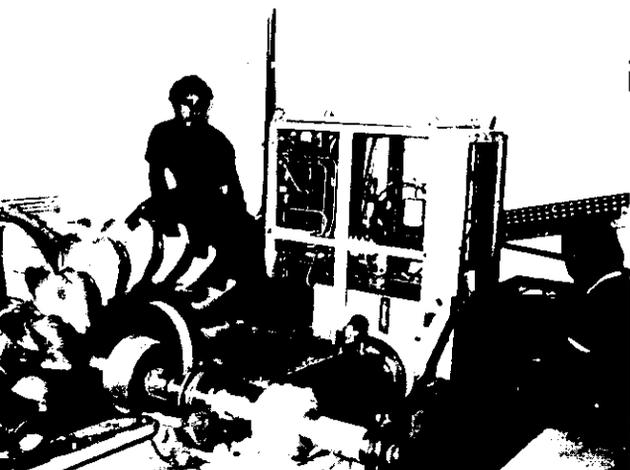
TSP : Forage équipé d'un groupe motopompe
TSP : Bore-hole equipped with a motorpump unit

**L'ÉNERGIE
HYDRAULIQUE**

***HYDRAULIC
ENERGY***



(Photo AFME)



LES PETITES CENTRALES HYDRO-ÉLECTRIQUES (PCH)
SMALL HYDROELECTRIC PLANTS

Turbine Pelton — Pelton Turbine
(photo AFME)

LES PETITES CENTRALES HYDRO- ÉLECTRIQUES (PCH)

Une petite centrale se définit comme une installation hydro-électrique d'une puissance comprise entre 5 et 8000 kW. Elle intéresse des chutes d'eau de 1,5 à 400 m de hauteur, avec des débits pouvant varier de quelques centaines de litres à plusieurs dizaines de mètres cubes par seconde.

Elle peut contribuer à l'alimentation d'un réseau général interconnecté à d'autres centrales, ou bien être utilisée en réseau indépendant pour fournir l'électricité nécessaire à un village, une petite ville, un complexe industriel ou agricole.

Par exemple, une unité de 200 kW permet d'alimenter en électricité une usine à thé ou à coton pendant la journée, et un village important pendant la nuit. Une petite centrale de beaucoup plus faible puissance (20 kW) suffit pour assurer la production électrique nécessaire à la vie d'un village africain de 500 habitants.

SMALL HYDRO- ELECTRIC PLANTS

A small plant is defined as a hydroelectric installation with power between 5 and 8000 kW. It relates to heads of water from 1,5 to 400 meters with flow rates varying from a few hundred of liters to several tens of cubic meters per second.

It can contribute to feeding a general network interconnected to other plants, or can be used as an independent network to supply the electricity needed by a village, a small township, an industrial or agricultural complex.

For instance, one 200 kW plant will provide the electricity needed for a tea or cotton works for a full day, and a large village during the night. A small plant with far lower power (20 kW) is sufficient to produce the electricity needed for the life of a 500 inhabitant African village.

LA TECHNOLOGIE

Descriptif

Une petite centrale comprend généralement :

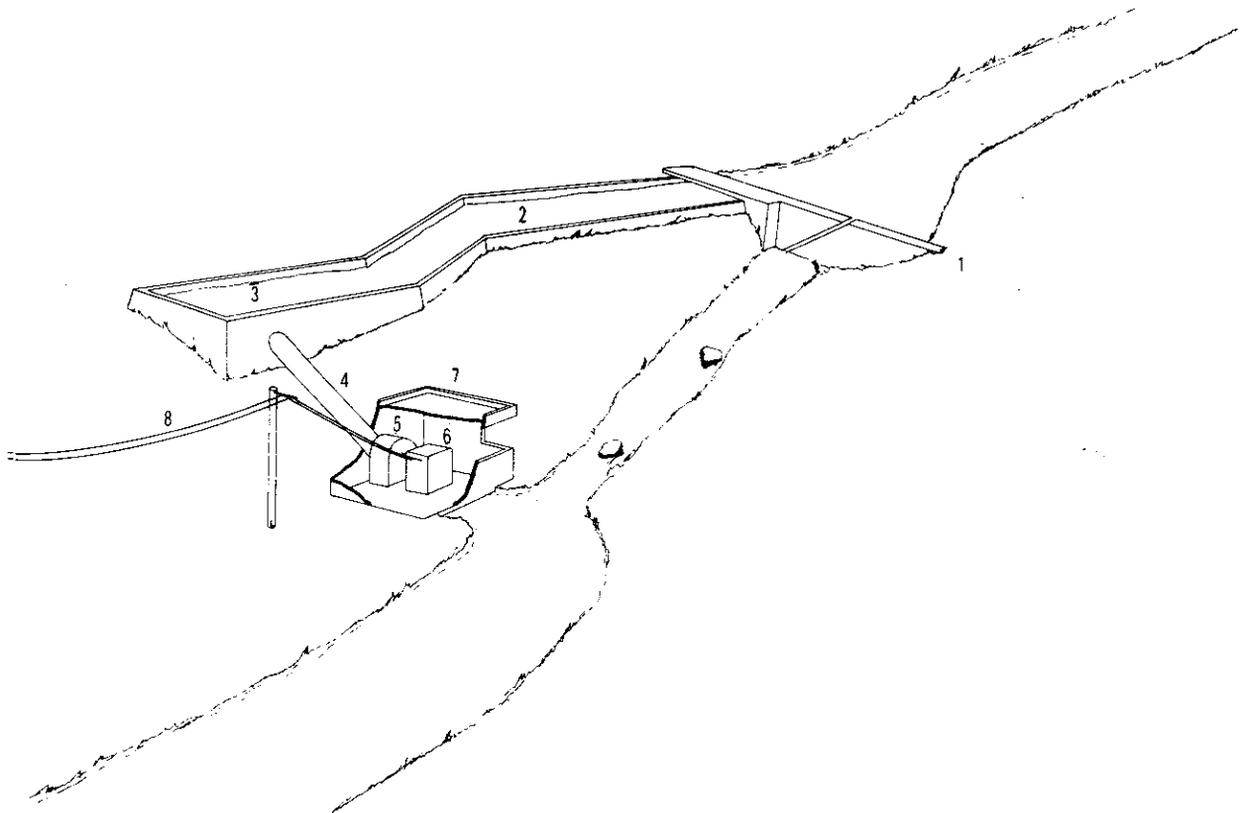
- 1 — Un ouvrage de prise d'eau.
- 2 — Un canal d'aménée.
- 3 — Une chambre de mise en charge.
- 4 — Une conduite forcée.
- 5 — Une turbine.
- 6 — Un générateur.
- 7 — Un bâtiment.
- 8 — Une ligne d'évacuation.

TECHNOLOGY

Description

A small plant generally includes :

- 1 — A water supply construction.
- 2 — A supply canal.
- 3 — A loading chamber.
- 4 — One forced duct.
- 5 — A turbine.
- 6 — A generator.
- 7 — A building.
- 8 — An evacuation line.



Un système de vannes permet de couper l'arrivée d'eau sur la turbine ; un système de régulation a pour rôle d'adapter en permanence les variations parfois brutales du débit d'eau à la demande des consommateurs.

Différents types de turbines permettent toutes les adaptations aux caractéristiques de la chute d'eau :

- **Turbines Hélices et Kaplan, Groupes Bulbes**, pour les basses chutes.
- **Turbine Francis et Banki** adaptées aux moyennes chutes.
- **Turbine Pelton et Turgo** utilisées pour des hautes chutes.

A system of valves makes it possible to cut off the water supply to the turbine ; a regulation system adapts constantly the sometimes abrupt variation of the water flow conditions to consumer demands.

Different types of turbines allow all possible adaptations to waterfall characteristics :

- **Propeller and Kaplan Turbines, Bulb Units** for moderate heads of water.
- **Francis and Banki Turbines** adapted to medium power heads of water.
- **Pelton and Turgo Turbines** used for significant heads of water.

**L'ÉNERGIE
ÉOLIENNE**

***WIND
ENERGY***



Taxonomy

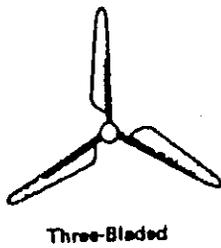
HORIZONTAL AXIS



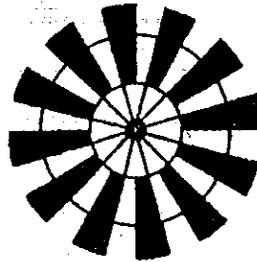
Single-Bladed



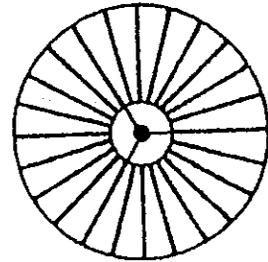
Double-Bladed



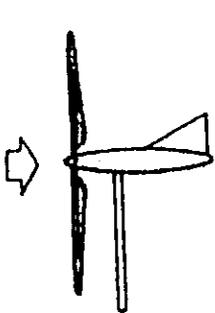
Three-Bladed



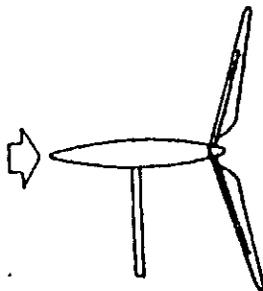
U.S. Farm Windmill
Multi-Bladed



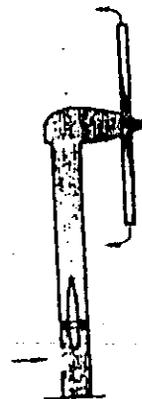
Bicycle Multi-Bladed



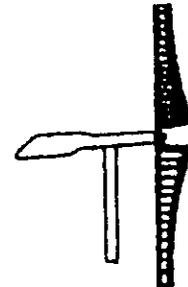
Up-Wind



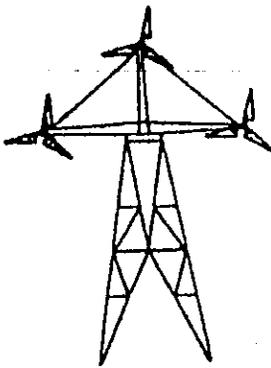
Down-Wind



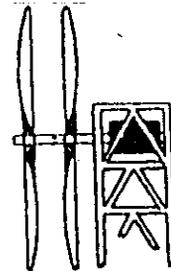
Enfield-Andreau



Sail Wing



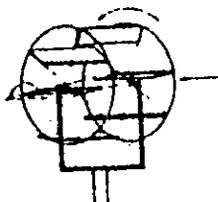
Multi-Rotor



Counter-Rotating Blades



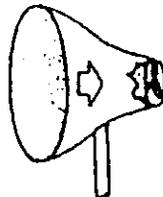
Cross-wind Savonius



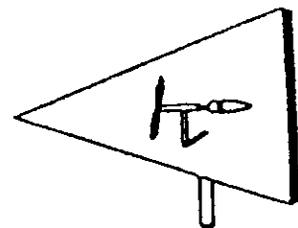
Cross-wind Paddles



Diffuser



Concentrator



Unconfined Vortex

Extrait de WIND MACHINES par Frank R. ELDRIDGE
(Octobre 1975 - The Mitre Corporation)

Différents types de machines éoliennes

VERTICAL AXIS

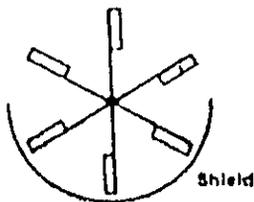
PRIMARILY DRAG-TYPE



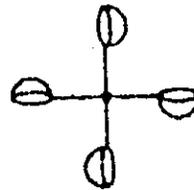
Savonius



Multi-Bladed Savonius

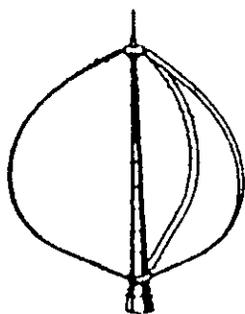


Plateau

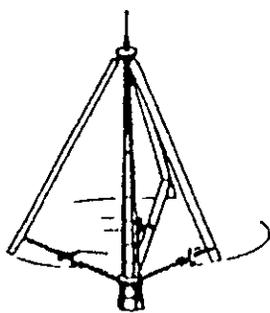


Cupped

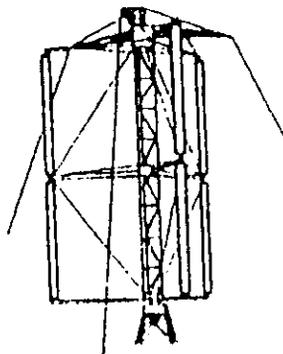
PRIMARILY LIFT-TYPE



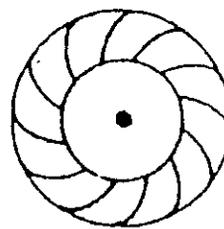
φ-Darrieus



Δ-Darrieus

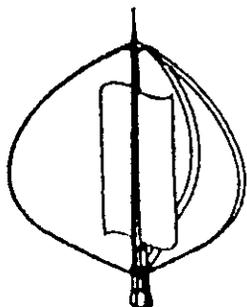


Girardin



Turbine

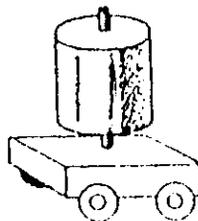
COMBINATIONS



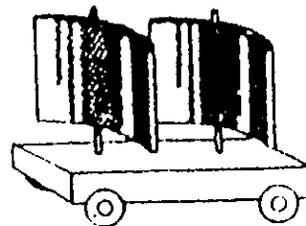
Savonius/φ-Darrieus



Split Savonius

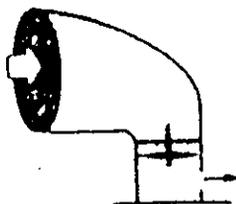


Magnet

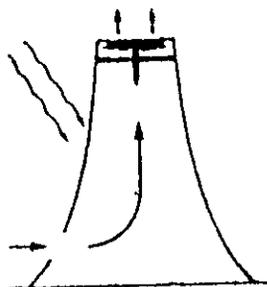


Airfoil

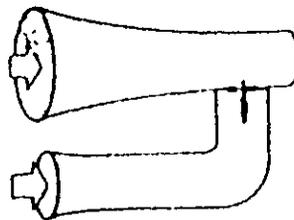
OTHERS



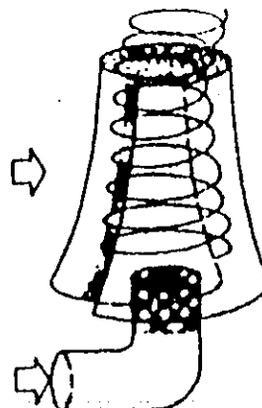
Deflector



Sunlight



Venturi



Confined Vortex

Extrait de WIND MACHINES par Frank R. ELDRIDGE
(Octobre 1975 - The Mitre Corporation)