



**TOGETHER**  
*for a sustainable future*

## OCCASION

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



**TOGETHER**  
*for a sustainable future*

## DISCLAIMER

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

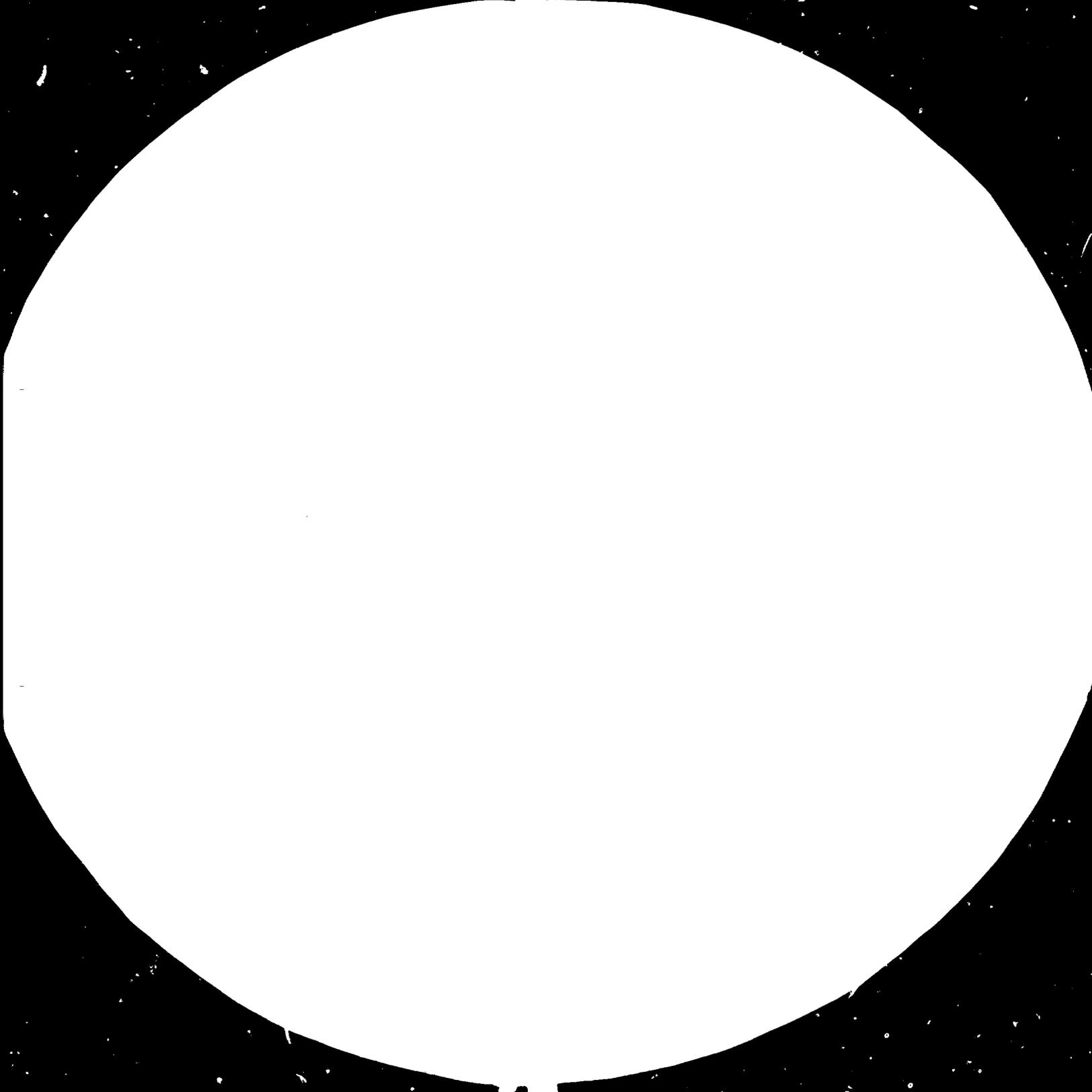
## FAIR USE POLICY

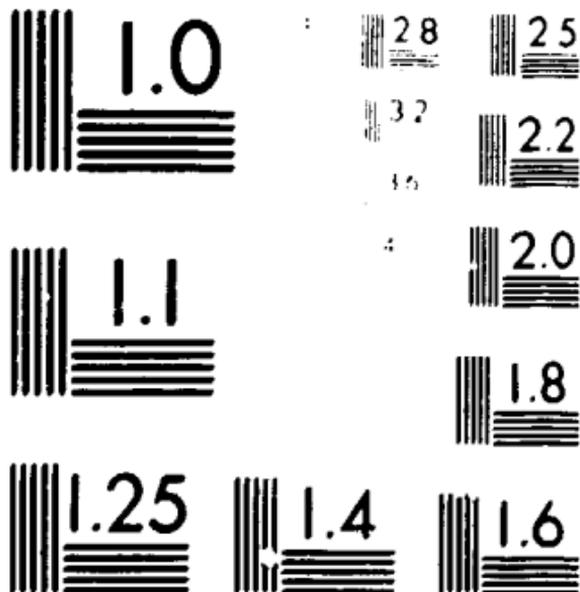
Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

## CONTACT

Please contact [publications@unido.org](mailto:publications@unido.org) for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at [www.unido.org](http://www.unido.org)





MICROCOPY RESOLUTION TEST CHART

NATIONAL BUREAU OF STANDARDS-1963-A

# 10457 - F

ORGANISATION DES NATIONS UNIES  
POUR LE DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL

Distr. LIMITEE  
UNIDO/78.225  
27 avril 1981  
FRANCAIS  
Original: ANGLAIS

## LES MINI-CENTRALES HYDROELECTRIQUES

(Manuel à l'usage des décideurs)\*

rédigé conjointement par

LE PROGRAMME TECHNOLOGIQUE DE L'ONUDI  
et  
L'ORGANISATION LATINO-AMERICAINE DE L'ENERGIE (OLADE)

110

---

\*) Cet ouvrage est l'édition préliminaire d'une publication de l'ONUDI qui paraîtra dans la série: „Mise au point et transfert des techniques". Le présent document est la traduction d'un texte qui n'a pas fait l'objet d'une mise au point rédactionnelle.

## Préface

La mise en valeur de sources d'énergie nouvelles et renouvelables est désormais au premier rang des préoccupations de nombreux pays du monde entier. On s'intéresse notamment de plus en plus à la création de micro- mini- et petites centrales hydroélectriques capables, dans certaines circonstances, de contribuer utilement au développement industriel et économique de régions rurales ou lointaines.

Là où les ressources hydrauliques sont limitées, les mini centrales hydro électriques (MCHE) constituent une source facilement accessible d'énergie renouvelable. Elle font appel à des techniques éprouvées qui, dans bien des cas, ne nécessitent qu'une adaptation, n'exigent que des investissements limités, et évitent les frais de transmission excessifs.

Dans le cadre de son programme d'action pour la technologie industrielle appropriée, l'ONUDI a pris une part active à la promotion de la création et de l'emploi des MCHE dans les pays en développement. Elle a dans ce domaine organisé trois réalisations:

1. le voyage d'un groupe d'études en République populaire de Chine dans le secteur des centrales hydro-électriques moyennes et petites, du 14 mai au 2 juin 1979.
2. Un séminaire et groupe de travail sur l'échange d'expériences et le transfert de technologies dans le domaine des minicentrales hydroélectriques, à Katmandou (Népal), du 10 au 14 septembre 1979.
3. Un deuxième voyage d'études d'un séminaire sur l'élaboration et l'application de techniques destinées aux minicentrales hydroélectriques, du 17 octobre au 2 novembre 1980 à Hangzhou (République populaire de Chine) et du 3 au 7 novembre 1980 à Manille (République des Philippines).

Le séminaire et groupe de travail du Népal a recommandé que l'ONUDI encourage la rédaction de manuels pour servir de directives en vue de la création de minicentrales hydro-électriques dans les pays en développement.

On a jugé bon, dans un premier temps, de rédiger un manuel sur les MCHE à l'usage des personnes qui ont à prendre des décisions dans ce domaine, soit à l'échelon des administrations publiques centrales ou régionales, soit à celui de la planification et de l'exécution des projets. Le manuel est destiné à fournir aux décideurs un instrument qui les aide à créer des petites centrales et des mini-centrales hydroélectriques et à formuler des politiques et des programmes complets et cohérents à cet effet.

Ce manuel a pu être rédigé grâce à l'appui financier de la SIDA (Agence suédoise pour le développement international).

Le texte du manuel a été établi par l'OLADE, sous la direction générale de M. G. Rodriguez Elizarraras, Secrétaire exécutif de l'OLADE, avec le concours d'un groupe de spécialistes de cette organisation, MM. C. A. Hernandez, L. E. Machado et L. A. Suarez, la coordination technique étant assurée par M. Enrique Indacochea, chef du Programme régional des petites centrales hydroélectriques. L'ouvrage a également bénéficié des contributions de MM. Guo Ruizhang, ingénieur en chef de l'Office de conservation des eaux de Shanghai et Thovild Persson, de la VAST, en Suède.

Nous espérons que ce Manuel rendra service à tous ceux qui œuvrent dans le domaine des minicentrales hydroélectriques. Il ne doit toutefois être considéré que comme un premier ouvrage destiné à être mis à jour et complété dans l'avenir pour devenir plus utile encore. Nous accueillerons avec reconnaissance toutes les suggestions ou propositions constructives qui pourraient être faites à ce sujet.

## TABLE DES MATIERES

Chapitre	Page
1. INTRODUCTION .....	1
2. DEFINITIONS ET CLASSIFICATION .....	2
3. AVANTAGES ET LIMITES DES MCHÉ .....	15
4. COMPARAISON AVEC D'AUTRES SYSTEMES .....	17
4.1 EXTENSION D'UN RESEAU EXISTANT .....	17
4.2 CENTRALES THERMIQUES .....	19
4.3 AUTRES SOURCES RENOUVELABLES D'ENERGIE .....	20
a) Energie solaire directe .....	21
b) Le Vent .....	21
c) La bio-énergie .....	21
d) L'énergie géothermique .....	21
5. L'EVOLUTION DES MCHÉ .....	22
5.1 LES POSSIBILITES D'APPLICATION .....	22
5.2 ORGANISATION DE LA PLANIFICATION ET DE LA PROGRAMMATION ...	25
5.3 EVALUATION GENERALE DES RESSOURCES ET DE LA DEMANDE .....	33
a) Inventaire des MCHÉ existantes .....	36
b) Identification et classification des bassins et sous-bassins .....	38
c) Identification des micro-régions et localités isolées .....	39
d) Priorités à accorder aux zones ou micro-régions dans l'évaluation générale ...	39
e) Evaluation générale des ressources dans chaque zone .....	44
1) Hydrologie .....	45
2) Ecologie .....	46
3) Géologie .....	46
4) Géomorphologie .....	46
5) Géotechnique .....	47
6) Présence d'agrégats .....	47
f) Evaluation générale des besoins en énergie et de la demande économique dans chaque zone .....	47
g) Définition de projets déterminés .....	48
h) Affectation de priorités provisoires aux projets .....	49
5.4 ETUDES DE PRE-INVESTISSEMENT .....	50
a) Etude de pré-faisabilité/reconnaissance .....	54
b) Faisabilité .....	58
c) Etude technique détaillée .....	58

Chapitre	Page
5.5 FINANCEMENT.....	62
a) Lignes de crédit internationales.....	65
b) Lignes de crédit nationales.....	66
c) Contributions du budget national ou d'entreprises d'électrification.....	66
d) Contributions des collectivités.....	66
e) Subventions directes.....	67
f) Subvention partielle.....	67
g) Récupération totale de l'investissement.....	67
5.6 CONSTRUCTION ET DEMARRAGE.....	68
a) Révision des études et inspection.....	70
b) Acquisition du matériel de base.....	70
c) Coordination avec l'organe de financement.....	70
d) Coordination de l'appui de la collectivité.....	70
e) Programme de construction.....	71
f) Recrutement du personnel et organisation de l'appui de la collectivité.....	72
g) Excavation.....	72
h) La construction.....	72
i) Installation du matériel et des systèmes électriques.....	73
j) Essais de démarrage et de recette.....	73
5.7 EXPLOITATION ET ENTRETIEN.....	74
a) Subordination directe à une autorité énergétique nationale ou régionale.....	74
b) Entreprise énergétique communale, éventuellement sous la forme d'une entreprise municipale, d'une coopérative ou de tout autre mode d'association.....	75
c) Entreprise électrique privée.....	75
5.8 BESOINS DANS LE DOMAINE DES RESSOURCES HUMAINES ET DE LA FORMATION.....	78
5.9 SYNTHÈSE DU PROCESSUS DE CONSTRUCTION D'UNE MCHÉ (PLANIFICATION EN COURS D'EXECUTION).....	83
<b>6. DEVELOPPEMENT DES CAPACITÉS TECHNIQUES.....</b>	<b>85</b>
6.1 EVALUATION DES CAPACITÉS TECHNIQUES.....	85
6.2 MATÉRIEL.....	87
a) Capacité de fabrication.....	87
b) Développement et adaptation de technologie.....	89
c) Acquisition de technologie.....	95
d) Les importations de matériel.....	96
6.3 CREATION ET ADAPTATION DE TECHNOLOGIES POUR LA CONSTRUCTION.....	97
6.4 LISTE DE POINTAGE DES OPTIONS TECHNOLOGIQUES.....	98
a) Construction.....	98
b) Matériel.....	100

Chapitre	Page
<b>7. ETUDES DE PROJETS DETERMINEES</b> .....	103
7.1 EVALUATION SPECIFIQUE DE LA DEMANDE ET DES RESSOURCES .....	103
a) La demande .....	103
b) Les ressources .....	105
7.2 SELECTION DES TECHNIQUES POUR LA CREATION ET LA CONCEPTION DES SYSTEMES DE MCHE .....	105
a) Ouvrages de prise d'eau seulement .....	105
b) Système d'amenée .....	106
c) Bassin de décantation – cheminée d'équilibre .....	106
d) Conduite forcée .....	107
e) Chambre des machines .....	108
7.3 METHODES DE CONSTRUCTION .....	108
7.4 LE CHOIX DU MATERIEL .....	110
7.5 EXPLOITATION, ENTRETIEN, REPARATION .....	113
7.6 LES COUTS .....	116
a) Coûts unitaires de l'investissement total dans une MCHE .....	116
b) Coûts unitaires des études de pré-investissement .....	119
c) Coûts unitaires du matériel électro-mécanique .....	120
d) Coûts unitaires des ouvrages de génie civil .....	123
<b>8. LA COOPERATION INTERNATIONALE</b> .....	126
8.1 ORGANISATIONS INTERNATIONALES OPERANT A L'ECHELON MONDIAL .....	126
8.2 COOPERATION REGIONALE ET SOUS-REGIONALE .....	128
8.3 LA COOPERATION BILATERALE .....	130
8.4 LES ORGANISATIONS NON GOUVERNEMENTALES .....	131
 <b>ANNEXES</b>	
<b>A BIBLIOGRAPHIE</b> .....	123
I. REFERENCES UTILISEES DANS LE MANUEL .....	132
II. AUTRES REFERENCES .....	133
<b>B CALCULS DE BASE</b>	
Etude de la demande .....	137
Etude des ressources .....	137
Choix du site et conception des ouvrages de génie civil .....	139
Choix du matériel .....	139
a) Choix de la génératrice .....	139
b) Choix des turbines .....	139
Conception de la chambre des machines .....	141
<b>C SYMBOLES ET ABBREVIATIONS</b> .....	142

## FIGURES

1.	SCHÉMAS DE MCHÉ .....	8
2.	BARRAGES .....	9
3.	SCHÉMA GÉNÉRAL DE PRISE D'EAU .....	10
4.	SCHÉMA D'UN BASSIN DE MISE EN CHARGE TYPE .....	11
5.	TURBINES A ACTION .....	12
6.	TURBINES A RÉACTION .....	13
7.	CHAMBRE DES MACHINES TYPE .....	14
8.	LES PROBLÈMES DE LA CRÉATION DES MCHÉ ET LEURS SOLUTIONS .....	16
9.	SCHÉMA DES RELATIONS ENTRE LES ÉLÉMENTS À ENVISAGER POUR LA CRÉATION DE MCHÉ .....	26
10.	ORGANE DE PLANIFICATION POUR LA CRÉATION DE MCHÉ .....	32
11.	FORMULAIRE DE FICHE DE RENSEIGNEMENTS SUR LES MCHÉ .....	36
12.	FORMULAIRE DE RENSEIGNEMENTS SUR LES CENTRES ISOLÉS ET MICRO-RÉGIONS .....	40
13.	ORGANE D'ÉVALUATION DES RESSOURCES ET DE LA DEMANDE .....	52
14.	ORGANE D'EXÉCUTION DES ÉTUDES ET DES TRAVAUX .....	61
15.	ORGANE DE FINANCEMENT .....	67
16.	ORGANE D'EXPLOITATION .....	77
17.	ORGANE DE FORMATION .....	82
18.	OPÉRATIONS À EXÉCUTER POUR LA CONSTRUCTION DE MCHÉ SUR UNE GRANDE ÉCHELLE .....	84
19.	ORGANE DE PRODUCTION DE MATÉRIEL .....	88
20.	ORGANE DE DÉVELOPPEMENT TECHNOLOGIQUE .....	91
21.	SÉQUENCE TYPE DE L'EXÉCUTION D'UN PROJET DÉTERMINÉ DE RECHERCHE TECHNOLOGIQUE DE MATÉRIEL POUR MCHÉ .....	92
22.	STADES DE L'ÉLABORATION D'UN PROJET DE RECHERCHE TECHNOLOGIQUE POUR MCHÉ .....	93
23.	INDICATEURS DE RÉFÉRENCE DES COÛTS D'INVESTISSEMENT UNITAIRES .....	118
24.	INDICE APPROXIMATIF DE LA VARIATION DANS LE TEMPS DU COÛT D'INVESTISSEMENT D'UNE MCHÉ .....	119
25.	POURCENTAGE MAXIMAL RECOMMANDÉ DES FRAIS D'ÉTUDE DE L'ENSEMBLE DU PROJET, EN FONCTION DE LA PRODUCTION DE LA MCHÉ .....	120
26.	COÛT DU MATÉRIEL ÉLECTRO MÉCANIQUE IMPORTÉ PAR KILOWATT INSTALLÉ .....	122
27.	COÛT, PAR KILOWATT INSTALLÉ, DU MATÉRIEL ET DE LA TECHNIQUE NATIONAUX .....	122
28.	COÛT DE LA CONSTRUCTION CIVILE PAR KILOWATT INSTALLÉ .....	125

## 1. INTRODUCTION

Ce manuel est destiné à servir d'instrument de travail aux décideurs à divers niveaux. Comme les principaux utilisateurs éventuels de cet ouvrage n'auront pas nécessairement une formation d'ingénieur, nous nous sommes bornés, en ce qui concerne la technique, à des descriptions et à des notions élémentaires, en insistant plutôt sur les questions de création, de politique, de planification et de programmation des MCHÉ que sur les exigences et les possibilités techniques, l'instruction et la formation.

Ce manuel contient des propositions de méthodes déterminées et dans certains cas de solutions de remplacement. Les solutions optimales de chacun des problèmes concernant les MCHÉ peuvent toutefois varier considérablement selon les pays en raison des différences entre les systèmes socio-économiques, les régimes politiques, le degré de développement, l'histoire et la culture. Il faudra donc, lorsqu'on voudra appliquer les recommandations du manuel, tenir compte des conditions particulières à chaque pays ou région.

Le manuel comprend huit chapitres. Les quatre premiers donnent des renseignements généraux y compris la définition et la classification des MCHÉ, leurs avantages et leurs limites pour la solution des problèmes de développement énergétique et industriel dans des régions rurales et lointaines ainsi qu'à l'échelon national, et aussi une comparaison entre les MCHÉ et les autres systèmes énergétiques.

S'agissant de la classification de MCHÉ, il faut noter qu'à l'heure où ces lignes sont écrites il n'existe pas de classification unifiée et généralement admise. Les méthodes diffèrent selon les organisations et les pays. C'est pourquoi nous présentons au chapitre 2 plusieurs systèmes de classification, y compris celui qui a été proposé au séminaire-groupe de travail de l'ONUDI sur l'échange d'expérience et le transfert de technologie tenu du 10 au 14 septembre 1979 à Katmandou (Népal).

Le chapitre 5 donne une analyse et une méthode de création des MCHÉ, en commençant par l'évaluation des applications possibles dans certaines zones et par celle des ressources et de la demande afin de fournir aux décideurs des renseignements utiles sur le fonctionnement et l'entretien de ces installations.

Les chapitres 5 et 6 sont le cœur du manuel, ils proposent une méthode permettant d'envisager les possibilités de créer des MCHÉ dans une région donnée, et énumèrent les aspects dont il faut tenir compte avant de prendre une décision définitive.

Le chapitre 7 s'adresse aux personnes responsables de l'organisation et de la direction des projets et examine l'élaboration de projets déterminés de MCHÉ.

L'annexe A contient des références bibliographiques à l'intention de ceux qui désirent approfondir le sujet, et notamment ses aspects techniques.

L'annexe B donne des calculs de base qui pourront intéresser les lecteurs possédant une formation d'ingénieur.

Bien que la méthode de traitement du problème et les recommandations que contient le manuel s'appliquent surtout à des MCHÉ de moins de 1000 kW, elles sont également utilisables pour des puissances plus fortes à condition de ne pas perdre vue que certaines notions, notamment technologiques, ne peuvent trouver qu'une application limitée.

Ce manuel aura atteint l'un de ses objectifs s'il parvient à bien faire comprendre qu'une mini-centrale hydroélectrique n'est pas simplement une grande centrale en miniature.

## 2. DEFINITIONS ET CLASSIFICATION

Une mini-centrale hydroélectrique (MCHE) est une installation dans laquelle l'énergie hydraulique sert à produire de petites quantités d'électricité au moyen d'un ou plusieurs turbo-générateurs ou groupes de turbogénérateurs.

<b>ELEMENTS PRINCIPAUX D'UNE MCHE</b>	
<b>LISTE DE POINTAGE</b>	<b>DEFINITION</b>
<b>BARRAGE</b>	Ouvrage construit en travers du courant d'eau principal afin d'emmagasinier l'eau et/ou d'en élever le niveau. Dans les MCHE, il sert ordinairement à ce dernier usage et est d'une construction simple. MATERIAUX: béton, terre, pierre, bois, plastique (ou combinaisons de ces matériaux).
<b>PRISE D'EAU</b>	Ouvrage destiné à faciliter l'entrée de l'eau dans le système d'aménée. Il peut être submergé ou non, et, pour les MCHE, construit en dur ou de façon artisanale. MATERIAUX: béton, maçonnerie, débris (construction artisanale)
<b>SYSTEME D'AMENEE</b>	L'eau est amenée depuis la prise d'eau jusqu'au bassin de mise en charge au moyen d'un canal ou d'un tunnel. Pour les MCHE, on peut utiliser à cet effet un canal d'irrigation. CONSTRUCTION: Maçonnée ou non.
<b>BASSIN DE MISE EN CHARGE</b>	Ouvrage qui facilite l'entrée de l'eau dans la conduite forcée. MATERIAUX: béton maigre, amiante-ciment, ferro-ciment.
<b>BASSIN DE DECANTATION</b>	Dispositif destiné à empêcher des particules solides de pénétrer dans la conduite forcée et d'endommager la turbine. Peut faire partie de la prise d'eau ou du bassin de mise en charge (selon le courant, le terrain, et le matériaux du canal).
<b>REGULATEUR DE VITESSE</b>	Servo-mécanisme qui maintient constante la vitesse de rotation de la turbine et par conséquent la production à fréquence constante de l'énergie électrique. TYPES: - Mécanique: n'est presque jamais employé - Oléo-mécanique: système normal - Electro-électronique avec réglage du débit - Electro-électronique avec dispersion d'énergie - Alternatif - A commande manuelle
<b>GENERATEUR</b>	Machine électrique qui transforme l'énergie mécanique en énergie électrique. TYPES: - Alternateur (générateur synchrone) le plus fréquemment utilisé dans les MCHE. - Générateur asynchrone (moteur à induction).

TRANSFORMATEUR	Dispositif électrique qui fait varier la tension et permet ainsi de transporter économiquement l'énergie à longue distance.
ACCESSOIRES ELECTRO-MECANIKES	<ul style="list-style-type: none"><li>- Vanne principale (à porte ou papillon)</li><li>- Transmission du turbo-générateur par couplage direct ou par l'intermédiaire d'une courroie en V, d'une chaîne ou d'un engrenage.</li><li>- Instruments hydrauliques (manomètres).</li><li>- Conducteurs d'éclairage.</li></ul>
LIGNE DE TRANSMISSION	<ul style="list-style-type: none"><li>- Dans les MCHÉ on se sert de tensions basses ou moyennes pour transmettre l'énergie électrique depuis la centrale jusqu'au point de consommation.</li></ul>
ACCESSOIRES DE GENIE CIVIL	Ecrans (pour retenir les solides), portes, déversoirs.
CHEMINEE D'EQUILIBRE OU DE COMPENSATION	Ouvrage destiné à compenser l'excès de pression. Employé rarement dans les MCHÉ, selon la hauteur de chute, la longueur de la conduite forcée, la vitesse de l'eau dans cette conduite, les matériaux dont elle est faite et le temps nécessaire pour fermer la vanne principale. Peut faire partie du bassin de mise en charge.
CONDUITE FORCEE	Tube sous pression qui transporte l'eau depuis le bassin de mise en charge jusqu'à la turbine.
CHAMBRE DES MACHINES	Bâtiment où sont installés les générateurs et autres appareils électromécaniques.
CANAL DE FUITE	Ouvrage qui renvoie l'eau de la chambre des machines soit directement en aval dans le cours d'eau où elle a été prise soit à un bassin avoisinant.
TURBINE	Moteur hydraulique qui transforme l'énergie de l'eau (chute ou courant) en énergie mécanique. <b>TYPES:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- PELTON: Turbine à action, à jet libre, employée pour les grandes hauteurs de chutes: peu coûteuse.</li><li>- MICHELL BANKI: Turbine à action à écoulement transversal, employée pour les faibles hauteurs de chute; peu coûteuse, rendement faible.</li><li>- FRANCIS: Turbine à réaction (fonctionne remplie d'eau), employée avec les hauteurs de chute moyennes; prix et rendement élevés.</li><li>- AXIALE: Turbine à réaction (variantes: Kaplan à pales ajustables, pales fixes du type hélice, tubulaire, à bulbe etc.) utilisée pour les faibles hauteurs de chute.</li></ul> <b>Autre solution:</b> <b>ROUE A EAU:</b> Ce n'est pas une turbine. peu coûteuse, rendement faible. Peut être construite artisanalement. Lente, fonctionne avec de faibles hauteurs de chute.

La quantité d'énergie qui peut être produite, exprimée en kilowatts, est égale à celle que contient l'eau après déduction des pertes de rendement subies dans chaque élément de la MCHÉ, et proportionnelle au produit de la hauteur de chute nette par le débit.

<b>HAUTEUR DE CHUTE BRUTE:</b>	Différence de niveau entre la surface de l'eau au point le plus élevé utilisable et le niveau inférieur de son utilisation par la turbine. Mesurée en mètres.
<b>HAUTEUR DE CHUTE NETTE:</b>	Equival à la hauteur brute, moins les pertes hydrauliques subies dans les divers éléments qui amènent l'eau à la turbine. Mesurée en mètres.
<b>DEBIT:</b>	Quantité d'eau (en volume) par unité de temps. Mesuré en mètres cubes par seconde.

On peut classer les MCHÉ d'après des critères divers et il vaut mieux ne proposer aucune système unique, non seulement parce que toute classification comporte des éléments arbitraires mais aussi parce que des classifications différentes peuvent mieux correspondre aux caractéristiques différentes du degré de développement de chaque pays.

Les systèmes indiqués ci-dessous constituent des directives pouvant servir à définir des critères convenant à des pays ou régions déterminés.

- a) Selon la puissance et la hauteur de chute  
Nous proposons deux systèmes:

Pays ou organisation		Micro centrale (kW)	Mini centrale (kW)	Petite centrale (kW)
ONUDI	Séminaire de Katmandou	jusqu'à 100	100 - 1.000	
	Séminaire de Hangzhou-Manille	jusqu'à 100	101 - 2.000	2.001 - 10.000
Chine	par unité par capacité installée			jusqu'à 6.000 jusqu'à 12.000
Philippines				jusqu'à 5.000
Pérou		5 - 50	51 - 500	500 - 5.000
Roumanie				5 - 5.000
Thaïlande*			jusqu'à 1.000	
Turquie*		0 - 100	101 - 1.000	1.001 - 5.000
Etats-Unis				iusqu'à 20.000
Suède				100 -- 1.500
Comité préparatoire de la Conférence des Nations Unies sur les sources d'énergie nouvelles et renouvelables (Groupe de l'énergie hydraulique)		jusqu'à 1.000		1.001 - 10.000

\*) Classification moins nette

SYSTEME PROPOSE PAR OLADE POUR LA REGION LATINO AMERICAINE  
ET LES CARAIBES

	GAMME DE PUISSANCE (kW)	HAUTEUR de CHUTE (mètres)		
		FAIBLE	MOYENNE	HAUTE
Micro-centrales	jusqu'à 50	moins de 15	15 – 50	plus de 50
Mini-centrales	50 – 500	moins de 20	20 – 100	plus de 100
Petites centrales	500 – 5.000	moins de 25		plus de 130

NOTES:

- Les hauteurs de chute faible, moyenne et forte correspondent approximativement à l'emploi de turbines Axiales, Francis ou Michell-Banki et Pelton respectivement.
- Le terme de „petites“ centrales hydroélectriques couvre aussi toutes les installations produisant moins de 5.000 kW.

Les chiffres limites indiqués pour les hauteurs de chute et pour la production dans toutes les classifications sont indicatifs et n'ont pas à être rigoureusement observés.

Pour les très faibles productions, généralement inférieures à 5 kW, et là où les ressources en eau et les caractéristiques du pays le justifient, on peut également employer des roues à eau, notamment pour l'obtention d'énergie mécanique directe.

b) Selon la prise d'eau

- dans le courant (prise latérale sur le cours principal);
- avec un réservoir ou un barrage.

c) Selon le réglage

- débit ajustable (réglage du débit à l'entrée de la turbine) – soit à la main soit automatique;
- charge constante, soit en raison de sa nature même, soit du fait de la dissipation de l'excédent d'énergie.

d) Selon la liaison avec le réseau

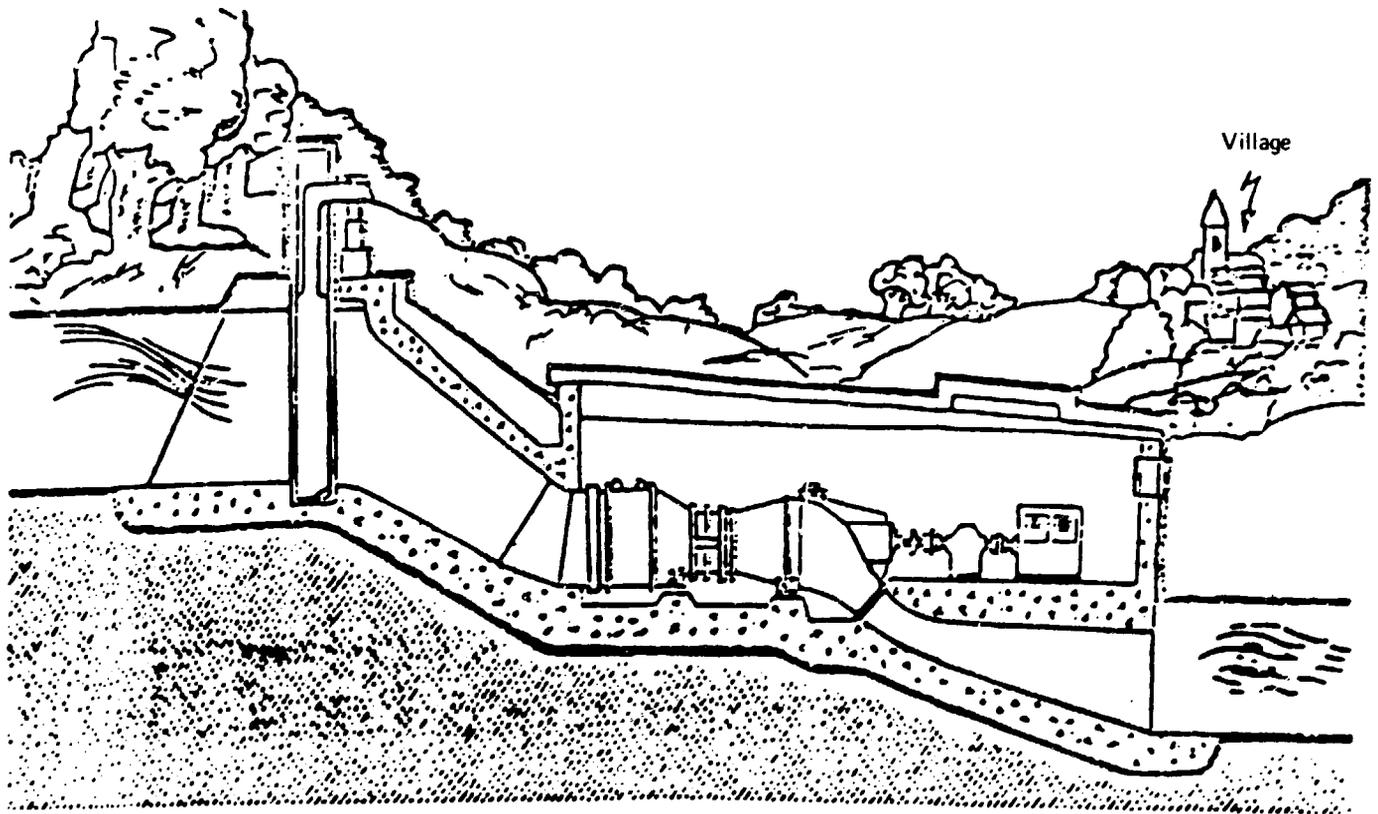
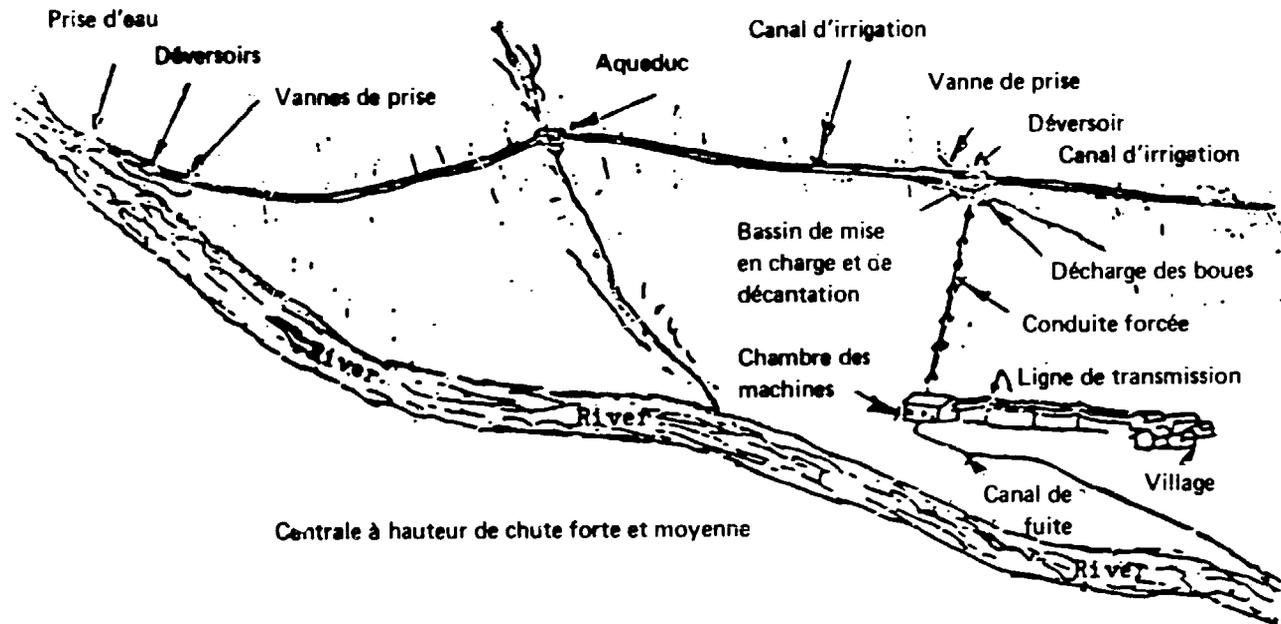
- installations isolées;
- installations reliées à de petits réseaux électriques;
- installations reliées à de grands réseaux régionaux ou nationaux.

e) Selon la conception technologique

Cette classification indicative repose sur la nature des principaux composants technologiques de l'installation.

- installations à technologie traditionnelle. Ceci signifie des ouvrages de génie civil en dur pour la prise d'eau, le canal et les bassins de mise en charge; un bassin de décantation à la prise d'eau, des tuyaux en acier, un matériel-électro-mécanique coûteux construit avec les meilleurs matériaux et selon les règles les plus strictes, des tableaux de commande complets.
- installation à technologie non traditionnelle. Elles emploient souvent comme prises d'eau des canaux d'irrigation aménagés, le bassin de mise en charge est installé sur le cours du canal et comprend le bassin de décantation, le matériel électro-mécanique est conçu et construit selon des techniques appropriées au degré de développement du pays et avec les matériaux disponibles sur place, l'équipement est de série et les tableaux de commande comportent un minimum d'instruments.

FIGURE 1 SCHEMAS DE MCHÉ



Centrale à faible hauteur de chute

FIGURE 2 BARRAGES

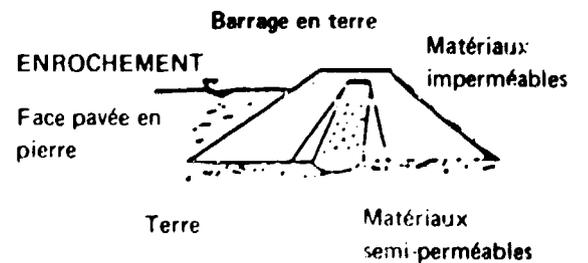
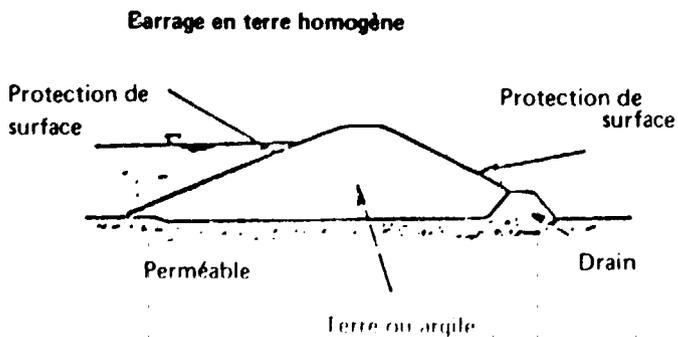
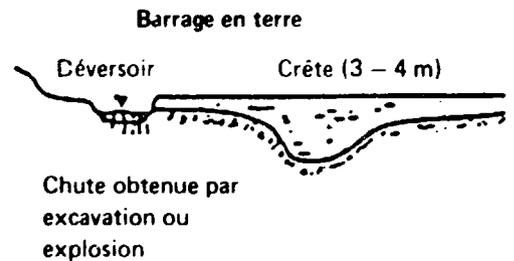
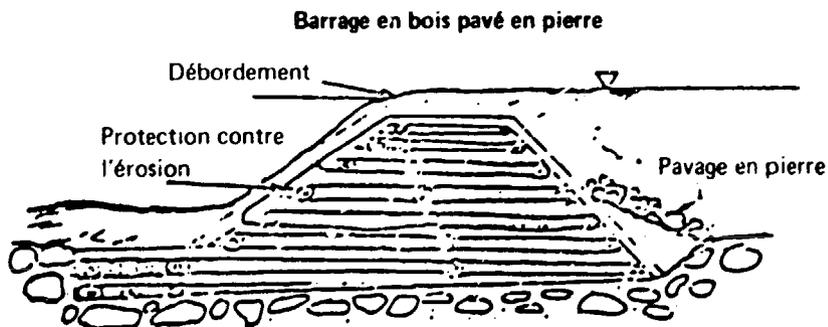
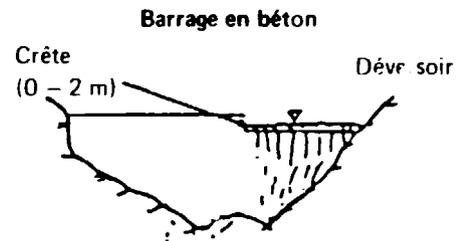
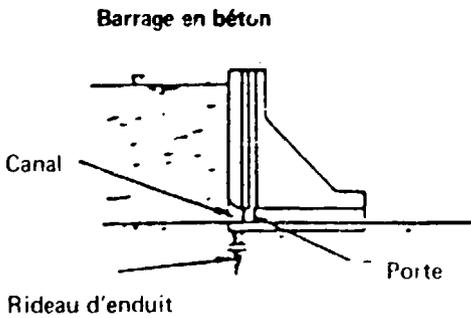
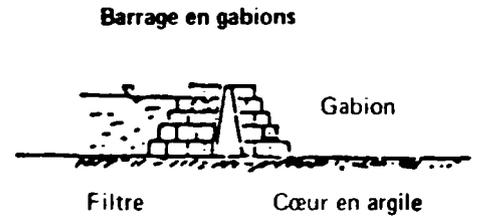
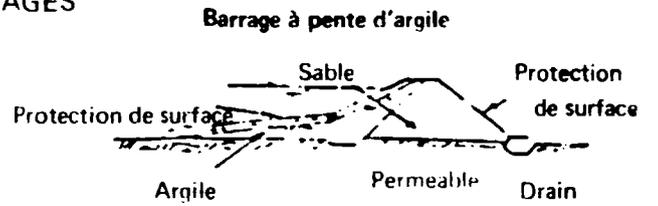
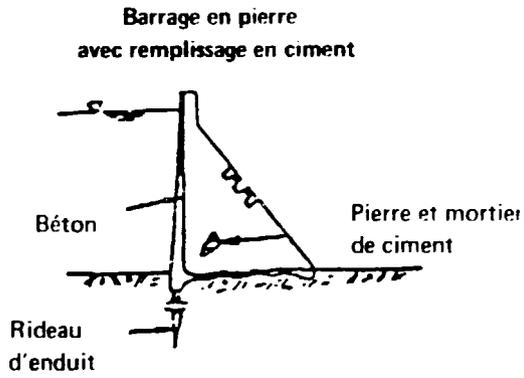
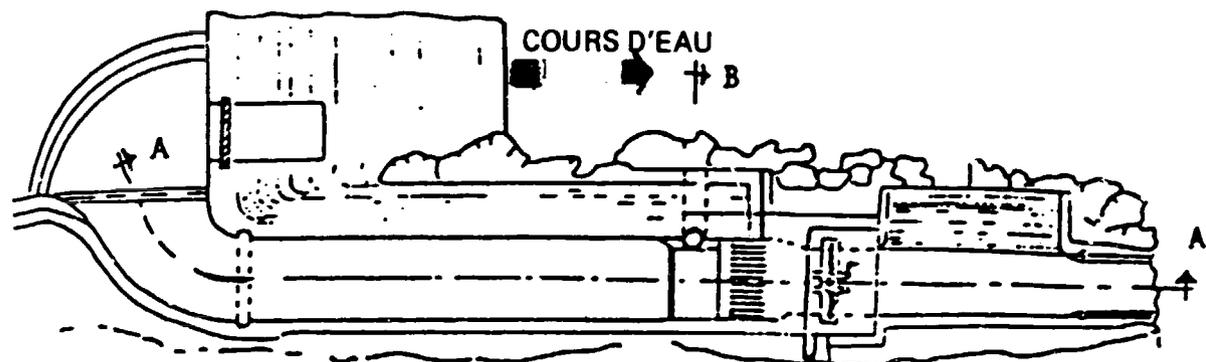
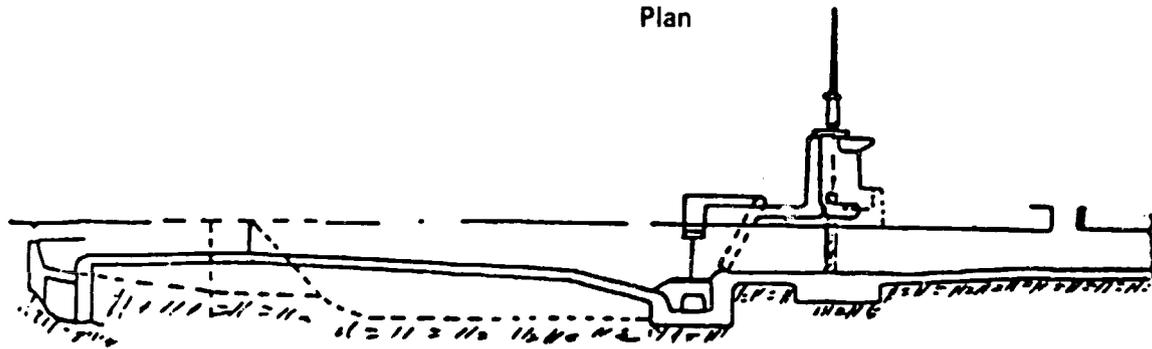


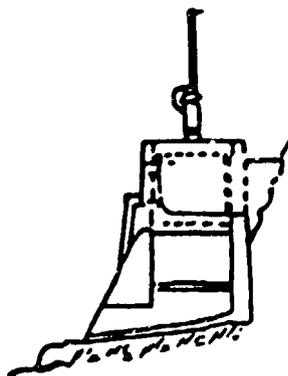
FIGURE 3 SCHEMA GENERAL DE PRISE D'EAU



Plan



Coupe (A - A)



Coupe (B - B)

FIGURE 4 SCHEMA D'UN BASSIN DE MISE EN CHARGE TYPE

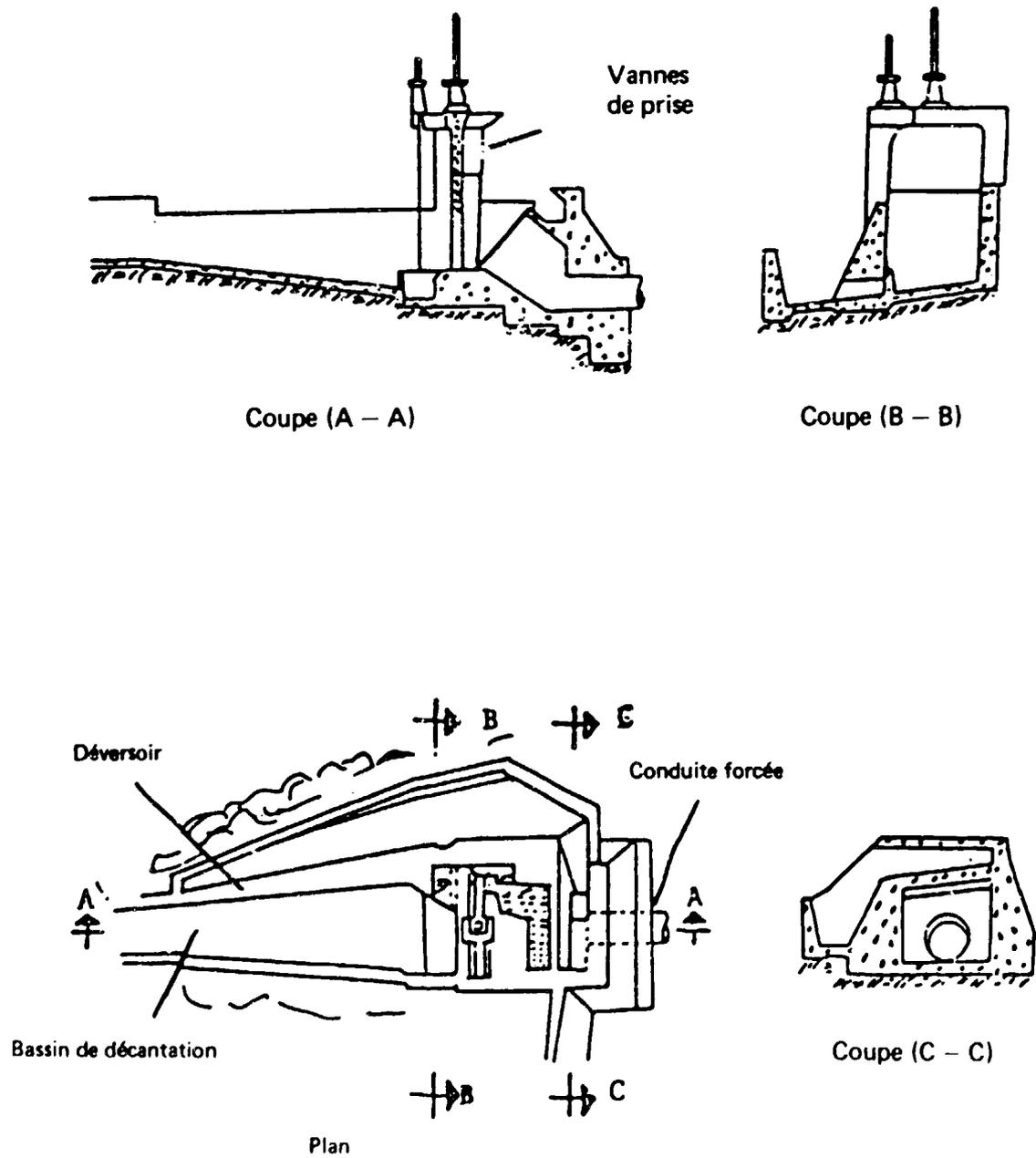
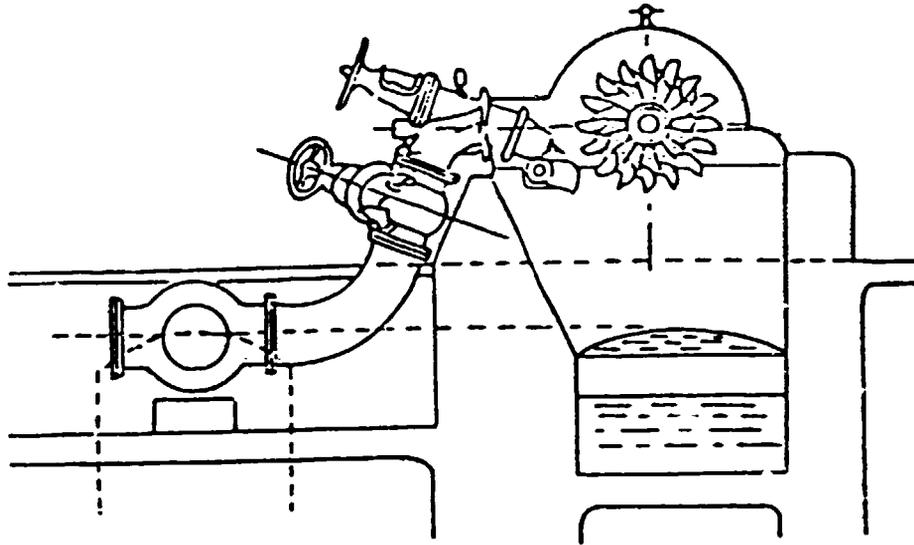
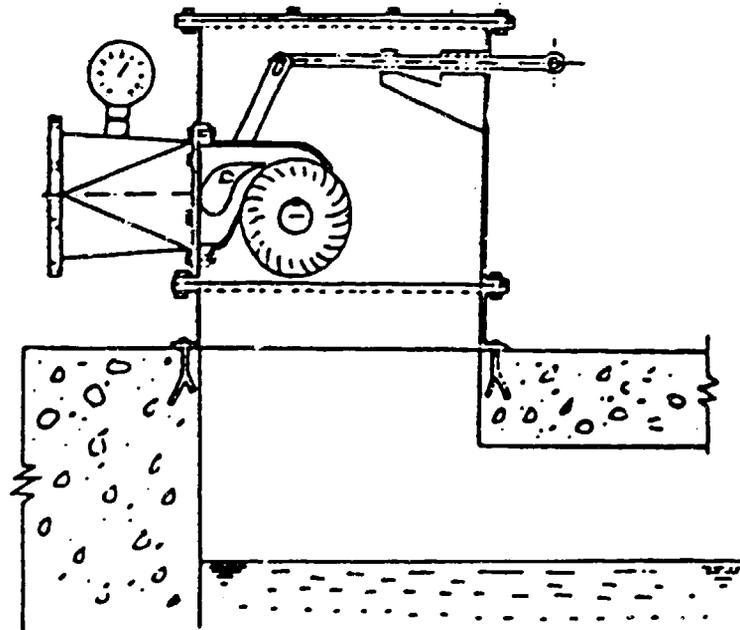


FIGURE 5 TURBINES A ACTION

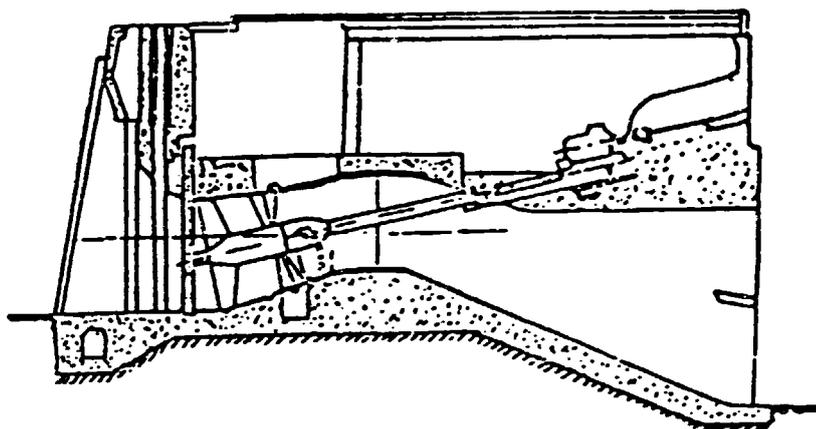


TURBINE PELTON

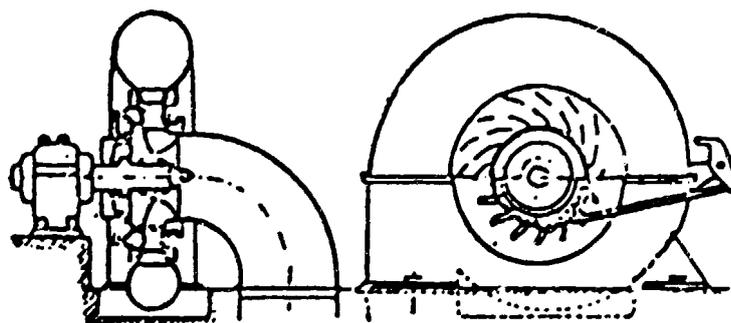


TURBINE MICHELL BANKI

FIGURE 6 TURBINES A REACTION

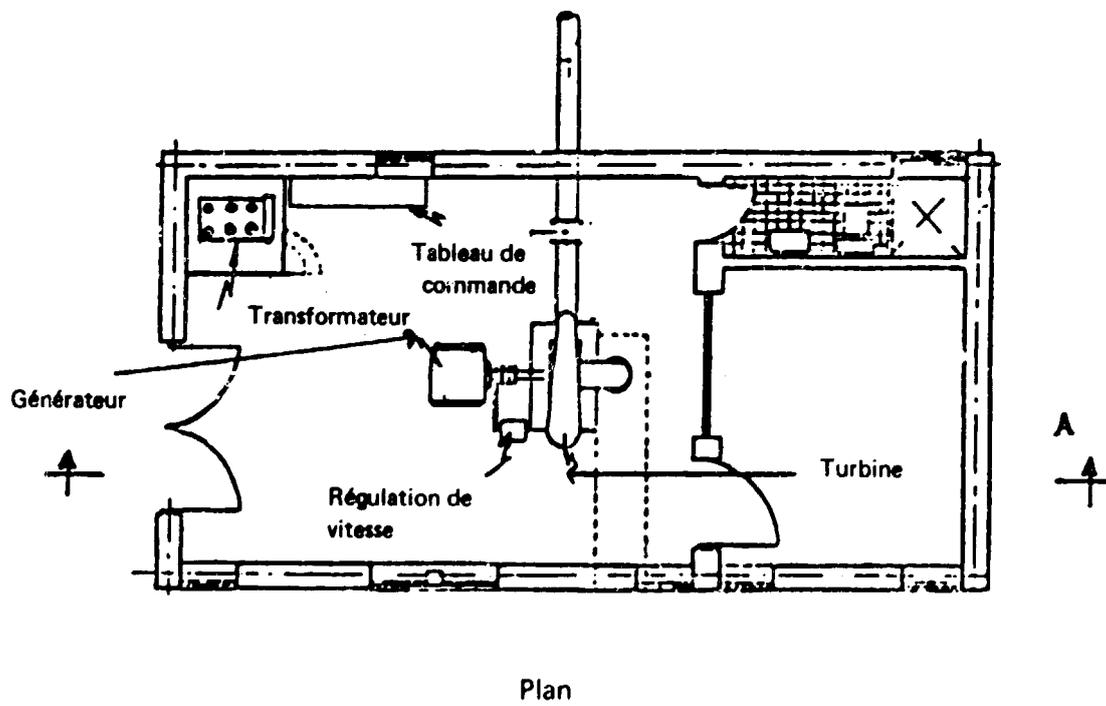
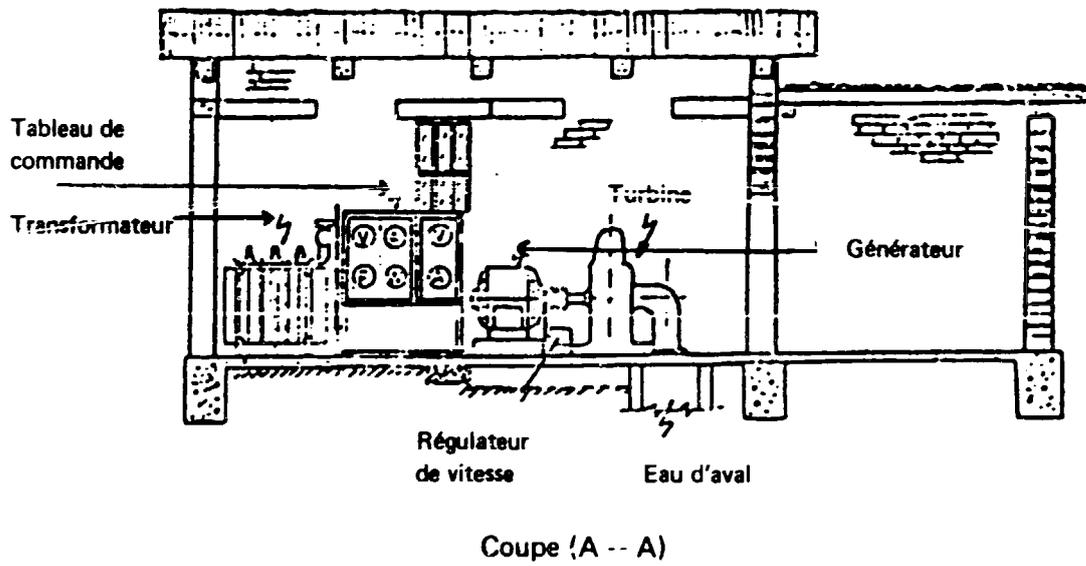


TURBINE KAPLAN



TURBINE FRANCIS

FIGURE 7 CHAMBRE DES MACHINES TYPE



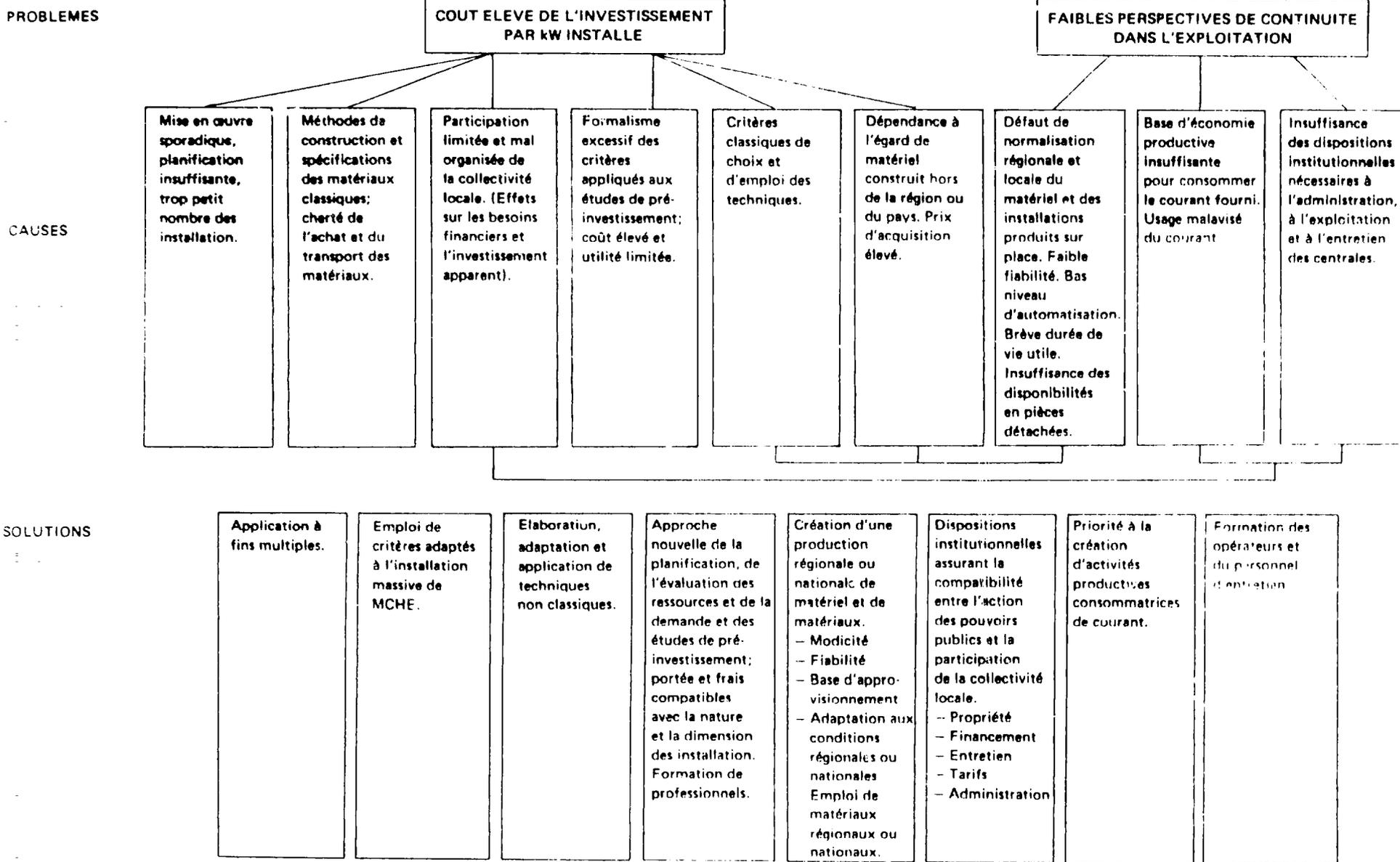
### 3. AVANTAGES ET LIMITES DES MCHE

Si l'on veut avoir recours aux MCHE comme source d'énergie il faut tirer le meilleur parti possible de leurs avantages et connaître leurs limites pour pouvoir les franchir. Nous donnons ci-dessus quelques unes de leurs principales caractéristiques à cet égard. On ne saurait cependant leur accorder une valeur absolue.

LES AVANTAGES	LIMITES
<ul style="list-style-type: none"><li>- Solution des problèmes de croissance et des difficultés d'approvisionnement en combustible, notamment dans les régions rurales et isolées.</li><li>- Les MCHE aident à promouvoir le développement socio-économique et culturel en milieu rural.</li><li>- Les technologies existantes ne nécessitent qu'une adaptation à des conditions déterminées, notamment pour réduire les frais.</li><li>- Frais d'exploitation modiques.</li><li>- Entretien simple et peu coûteux.</li><li>- Longue durée de vie utile.</li><li>- Peu ou pas d'impact sur l'environnement; meilleur réglage du système hydraulique.</li><li>- Compatibilité avec l'emploi de l'eau à d'autres fins (irrigation, boisson etc.) ce qui améliore le rendement de l'investissement.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Gros investissement par kW installé.</li><li>- Part importante des frais d'étude dans le total de l'investissement.</li><li>- Nécessité de la présence de ressources hydrauliques à proximité des points de demande.</li><li>- Nécessité de résoudre des contradictions entre priorités pour l'emploi de l'eau, notamment en ce qui concerne l'irrigation.</li><li>- La production d'énergie peut varier en fonction des conditions météorologiques et saisonnières.</li><li>- La continuité du fonctionnement dépend des caractéristiques technologiques de l'installation, de l'existence d'une base économique productive apte à consommer l'énergie produite et de dispositions institutionnelles appropriées en ce qui concerne l'administration, l'exploitation et le financement.</li></ul>

Les avantages spécifiques des MCHE ouvrent d'énormes perspectives d'application. Leurs inconvénients peuvent être rangés dans deux grandes catégories: l'importance de l'investissement nécessaire par kW installé et les perspectives de continuité dans le fonctionnement des installations. La figure 8 montre schématiquement les causes de ces difficultés et indiquent certaines solutions qu'on peut envisager lors de l'établissement d'un programme.

FIGURE 8 LES PROBLEMES DE LA CREATION DES MCHE ET LEURS SOLUTIONS



#### 4. COMPARAISON AVEC D'AUTRES SYSTEMES

Nous ne nous proposons pas, au présent chapitre, de déterminer les avantages absolus de tel ou tel système énergétique, mais plutôt d'exposer sous un aspect qualitatif, sans avancer de méthodes d'analyse quantitative, les principaux éléments et critères de comparaison entre les solutions possibles.

Souvent, lorsqu'on fait des analyses comparatives entre MCHE et autres systèmes, on suppose à priori l'existence de certains inconvénients, réels ou imaginaires, des MCHE et l'évaluation économique des autres solutions est souvent faussée par des indices exagérément conservateurs.

Nous ne prétendons pas que les MCHE soient la „meilleure“ solution, mais qu'il y a dans chaque cas une solution appropriée déterminée au moyen d'une analyse comparative des diverses solutions possibles.

##### 4.1 EXTENSION D'UN RESEAU EXISTANT

La question de savoir s'il faut installer une MCHE ou étendre un réseau existant se pose surtout en termes économiques, notamment en ce qui concerne l'investissement nécessaire. Voici quelques uns des éléments à prendre en considération dans une telle analyse:

MINI-CENTRALE (MCHE)	EXTENSION DE RESEAU EXISTANT (ERE)
<b>GENIE CIVIL</b> (Prise d'eau, système d'amenée, bassin de mise en charge, chambre des machines, accessoires etc.)	<b>GENIE CIVIL</b> (Sous-station, zone de commutation)
<b>MATERIEL ELECTRO-MECANIQUE</b> (Turbine, régulateur, générateur, tableau de commutation etc.)	
<b>TRANSFORMATION</b> En moyenne tension; n'est pas toujours nécessaire (Transformateur)	<b>TRANSFORMATION</b> De la haute à la moyenne tension (transformateurs, commutation etc.)
<b>LIGNE DE TRANSMISSION ET DE DISTRIBUTION</b> De la chambre des machines jusqu'au point de consommation; petite distance (tension basse ou moyenne, abaissement de la tension pour la distribution et la consommation).	<b>LIGNE DE TRANSMISSION ET DE DISTRIBUTION</b> Moyenne tension depuis la sous-station jusqu'au point de consommation, abaissement de la tension pour la distribution et la consommation.

Les avantages de l'une ou l'autre solution sont déterminés par les caractéristiques de l'emploi, c'est à dire la plus ou moins grande importance ou dimension d'un paramètre donné détermine s'il vaut mieux installer une MCHÉ ou étendre un réseau existant.

PARAMETRES	AVANTAGES COMPARES	
	PLUS GRANDE IMPORTANCE OU DIMENSION DU PARAMETRE	MOINDRE IMPORTANCE OU DIMENSION DU PARAMETRE
- Distance du point de consommation au réseau existant	MCHÉ	ERE
- Distance du point de consommation au point découlement de l'eau (facteur lié à la puissance)	ERE	MCHÉ
- Quantité d'énergie à fournir	ERE	MCHÉ
- Facteur de charge	MCHÉ	ERE
- Importance de la fiabilité de l'approvisionnement	ERE	MCHÉ
- Terrain accidenté	MCHÉ	ERE
- Présence de petites ressources hydrauliques économiquement exploitables	MCHÉ	ERE
- Disponibilité d'énergie	ERE	MCHÉ
- Perspectives de participation de la collectivité locale	MCHÉ	ERE

### COMBINAISON DE MCHÉ et ERE

On peut combiner MCHÉ et ERE dans des situations ci-dessous:

- Dans les pays possédant d'abondantes petites ressources hydrauliques, à population dense et très électrifiés.
- Quand on peut utiliser pour la production d'énergie des barrages construits pour l'irrigation ou la régularisation des cours d'eau dans les endroits proches du réseau, là où la demande d'électricité au voisinage du barrage est faible.
- Dans les pays qui dépendent par trop d'importations de combustibles pour produire du courant et qui disposent d'abondantes petites ressources hydrauliques.
- Pour assurer un développement progressif de l'électrification dans plusieurs localités rurales, en commençant par installer une MCHÉ pour ensuite raccorder au réseau existant lorsque l'augmentation de la demande le justifie.

## 4.2 CENTRALES THERMIQUES

On utilise d'ordinaire pour produire de l'électricité des moteurs Diesel, ou lorsque les besoins sont peu importants, des moteurs à essence (cycle OTTO).

Ces installations ont traditionnellement été utilisées au lieu de MCHÉ, et leur popularité a été due:

- au bas prix du combustible et des lubrifiants
- au bas prix d'acquisition
- à la facilité d'installation
- à la simplicité de fonctionnement

Depuis qu'on ne peut plus invoquer le bas prix des hydrocarbures, ces installations ne constituent plus, dans bien des cas, un mode valable d'électrification des régions rurales. On peut aussi avoir recours à de petites centrales à vapeur fonctionnant selon le cycle de Rankine qui brûlent souvent des déchets voire du charbon lorsqu'il est facilement accessible et bon marché, comme par exemple dans les bouillères.

<b>AVANTAGES ET INCONVENIENT DES CENTRALES THERMIQUES PAR RAPPORT AUX MCHÉ</b>	
<b>AVANTAGES</b>	<b>INCONVENIENTS</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Investissement plus faible</li><li>- Facilité d'installation</li><li>- Simplicité de fonctionnement</li><li>- L'installation nécessite moins d'études</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Cherté croissante des combustibles et lubrifiants</li><li>- Entretien et réparation coûteux</li><li>- Nécessite davantage de personnel technique pour l'entretien et la réparation</li><li>- Nécessite des pièces de rechange importées et difficiles à obtenir</li><li>- Faible perspective de développement de la production locale de moteurs</li><li>- Durée de vie brève (5 à 8 ans)</li><li>- Contribuent à la pollution de l'environnement</li><li>- Contribuent à augmenter la demande de pétrole</li></ul>

Les comparaisons économiques entre les deux solutions, installations thermiques ou MCHÉ, sont souvent faussées du fait que dans certains pays le prix du pétrole et de ses dérivés est subventionné. Il y a lieu en pareil cas de corriger l'analyse micro-économique au moyen de facteurs macro-économiques faisant état du coût véritable des carburants.

A l'heure actuelle les principaux cas dans lesquels l'emploi de petites centrales thermiques est indiqué sont:

- Les installations de secours ou d'urgence.
- Les régions isolées ne possédant pas de ressources hydrauliques facilement exploitables et où l'extension des lignes de transmission ne se justifie pas.

#### 4.3 AUTRES SOURCES RENOUVELABLES D'ÉNERGIE

Les autres sources renouvelables d'énergie peuvent contribuer au développement rural. Dans la plupart des cas, elles ne sauraient toutefois pas remplacer les MCHÉ soit en raison de la forme sous laquelle elles fournissent l'énergie (énergie mécanique directe ou chaleur) soit parce que, même quand elles peuvent produire du courant électrique, leur emploi n'est ordinairement rentable que pour des charges très faibles.

Les avantages des MCHÉ par rapport aux autres sources renouvelables d'énergie peuvent se récapituler comme suit:

- Facilité d'adaptation à la production d'énergie électrique
- Faible investissement par unité de courant produite
- Technologie mûre et éprouvée

S'agissant des caractéristiques des principales autres sources d'énergie, on peut faire observer ce qui suit:

a) Energie solaire directe

Elle trouve son principal champ d'application dans les pays du tiers monde pour le chauffage et le séchage.

Dans son utilisation passive, elle joue un rôle particulièrement important pour le chauffage environnemental assuré grâce à des dispositifs architecturaux appropriés.

On peut se servir de l'énergie solaire pour produire directement de l'électricité au moyen d'installations thermiques fonctionnant selon le cycle de Rankine mais l'investissement initial est très élevé et le rendement très faible. On utilise aussi des cellules photovoltaïques pour convertir directement le rayonnement solaire en énergie électrique mais dans le tiers monde ce procédé ne se justifie que pour la production d'énergie en petites quantités et dans des applications très spécialisées, car elles ne sont pas encore une source d'énergie à bon marché.

b) Le Vent

Bien qu'on emploie l'énergie du vent surtout pour pomper l'eau du sous-sol, elle peut trouver d'autres applications et l'on fabrique même déjà à l'échelle industrielle des éoliennes pour la production de courant électrique.

c) La bio-énergie

La production du biogaz présente de grands avantages, non seulement comme source d'énergie mais aussi parce qu'elle se prête à la production d'engrais et parce qu'elle a une influence bénéfique sur la santé et l'environnement.

Elle sert surtout à la production de chaleur pour l'éclairage, la cuisson des aliments et d'autres usages analogues. Le biogaz peut aussi servir de carburant pour des moteurs à combustion adaptés à cet usage, et rivaliser dans ce domaine avec les MCHÉ dans la gamme des faibles puissances.

La pyrolyse et l'alcool peuvent aussi constituer des sources de bio-énergie intéressante pour de petites installations thermiques.

d) L'énergie géothermique

Là où elle peut être captée, l'énergie géothermique peut elle aussi servir à produire de l'électricité. Le plus souvent on l'emploie dans des centrales de grande ou moyenne importance, mais on peut aussi l'utiliser dans de petites installations.

## 5. L'EVOLUTION DES MCHE

### 5.1 LES POSSIBILITES D'APPLICATION

Avant de mettre en œuvre des projets précis de promotion du développement des MCHÉ dans un pays donné, il importe de déterminer, tout au moins sur le plan qualitatif et en fonction de quelques éléments quantitatifs, la nature et l'importance des problèmes qu'elles pourront résoudre, et d'inventorier les petites ressources hydrauliques existantes ainsi que de faire une évaluation générale des capacités du pays.

<b>PROBLEMES A RESOUDRE AU MOYEN DES MCHÉ</b>	
<b>PROBLEME OU BESOIN</b>	<b>ELEMENTS A ETUDIER</b>
<p><b>FOURNIR DE L'ENERGIE AUX CAMPAGNES NOTAMMENT POUR Y CREER DE PETITES INDUSTRIES</b></p>	<p>Situation: ordres de grandeur du problème</p> <p>Options Dans quel but?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– améliorer les conditions d'existence</li> <li>– développer l'industrie à la ferme</li> <li>– créer de petites industries (engrais, scieries etc.)</li> <li>– exploitation minière</li> <li>– développement de l'artisanat</li> <li>– irrigation et drainage par pompage</li> <li>– éducation et culture</li> <li>– santé</li> </ul>
<p><b>REPLACER LES HYDROCARBURES</b></p>	<p>Situation de l'emploi d'installations thermiques pour la production d'électricité, emploi de dérivés du pétrole pour la cuisson des aliments, l'éclairage ou le chauffage.</p> <p>Situation du pays en matière de production et d'importation d'hydrocarbures; ordres de grandeur, perspectives et limites de la substitution.</p>
<p><b>PROBLEME OU BESOIN</b></p>	<p><b>ELEMENTS A ETUDIER</b></p> <p>Transport des hydrocarbures vers les zones rurales.</p> <p>Conditions de l'emploi d'installations thermiques (coût, durée de vie utile, approvisionnement en carburant, entretien et réparations etc.).</p> <p>Erosion du sol</p> <p>Equilibre hydraulique</p> <p>Déboisement</p> <p>Pollution</p>

<b>DETERMINATION DES RESSOURCES HYDRAULIQUES EXISTANTES QUI PEUVENT ETRE EXPLOITEES AU MOYEN DE MCHÉ</b>	
<b>POTENTIEL</b>	<b>ELEMENTS A ETUDIER</b>
<b>DISPONIBILITE DE RESSOURCES HYDRO- ENERGETIQUES</b>	Evaluation qualitative: a) des précipitations et de l'hydrologie (débit) b) du terrain et des hauteurs de chute c) des caractéristiques géologiques et de la qualité géomorphologique du terroir Estimation (si possible) de l'ordre de grandeur du potentiel. Analyse par zones ou régions.
<b>EMPLACEMENT DES RESSOURCES HYDRAULIQUES PAR RAPPORT A LA DEMANDE</b>	Ne pas perdre de vue que pour les MCHÉ isolées ou reliées à de petits réseaux, la mise en œuvre de l'énergie hydraulique doit être proche de l'emplacement de la demande. Il faut estimer le potentiel des zones proches de la demande, sauf pour les MCHÉ reliées à de grands réseaux.
<b>ACCESSIBILITE DES RESSOURCES DISPONIBLES</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Communications</li><li>- Accidents du terrain</li><li>- Climat</li><li>- Salubrité</li></ul>
<b>POSSIBILITE D'EMPLOIS MULTIPLES</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Irrigation, emploi des voies d'eau existantes</li><li>- Emploi des barrages existants</li><li>- Projets à fins multiples (irrigation et énergie)</li></ul>

<b>UTILISATION AU MAXIMUM DES CAPACITES NATIONALES DE CREATION DE MCHÉ</b>	
<b>CAPACITES</b>	<b>ELEMENTS A ETUDIER</b>
<b>PLANIFICATION</b>	Organisation, expérience
<b>EVALUATION GENERALE DES RESSOURCES ET DE LA DEMANDE</b>	Institutions, études antérieures, organisation
<b>PREPARATION DES ETUDES DE PRE- INVESTISSEMENT</b>	Institutions, conseillers capables d'établir des projets et des études techniques; expérience
<b>FINANCEMENT</b>	Disponibilités, institutions financières, sources extérieures
<b>ORGANISATION INSTITUTIONNELLE</b>	Les entreprises électrique et leurs activités dans les régions rurales; entreprises municipales et coopératives. Producteurs privés, participation communale; traditions et expérience.
<b>CONSTRUCTION</b>	Expérience, petits entrepreneurs, entreprises de construction; matériaux.
<b>EXPLOITATION ET ENTRETIEN</b>	Organisation de l'exploitation et de l'entretien.
<b>RESSOURCES HUMAINES</b>	Disponibilité à tous les niveaux
<b>TECHNOLOGIE</b>	Disponibilité, capacité de mise en œuvre et d'adaptation, information. Expérience de l'acquisition de technologies.
<b>FOURNITURE DU MATERIEL</b>	Production existante ou potentielle, importation, in- formation.

Après avoir analysé les besoins en énergie, la disponibilité des ressources hydro-énergétiques et les capacités du pays, il faudra prendre une décision de principe sur la question de savoir s'il y a ou non lieu d'encourager la création d'une MCHE. A cet égard, il faudra avoir présentes à l'esprit les considérations ci-dessous:

- S'appuyer sur l'information existante et ne pas attendre la réalisation d'études ad hoc; en conséquence, la décision reposera sur des éléments essentiellement qualitatifs et très approximativement quantitatifs. Les études devront porter, en même temps que sur le mode de planification des MCHE, sur la définition de l'étendue d'un programme de développement, ainsi que pour les corrections éventuelles à apporter à la décision adoptée.
- Ne pas oublier qu'en ce qui concerne la création de MCHE, il peut y avoir des différences entre les diverses régions d'un pays, selon la disponibilité des ressources hydrauliques et des besoins en énergie à satisfaire.
- La décision de principe doit tenir compte de la séquence dans le temps et de la nature des priorités de développement relatives aux autres sources d'énergie.
- Une politique de création de MCHE dépend absolument de facteurs tels que la disponibilité de ressources hydrauliques et les besoins en énergie. Les capacités nationales sont des facteurs qui peuvent faciliter ou gêner la création de MCHE dans un pays, mais ce ne sont pas des facteurs absolus, car ils peuvent être modifiés.
- La création de MCHE exige des actions intégrées sur plusieurs fronts, comme le montre le tableau des capacités nationales et comme le récapitule la figure 9.
- La décision de principe de créer des MCHE doit servir de base à la formulation d'une stratégie de développement et d'actions spécifiques, dont les éléments sont analysés dans la suite du présent chapitre.

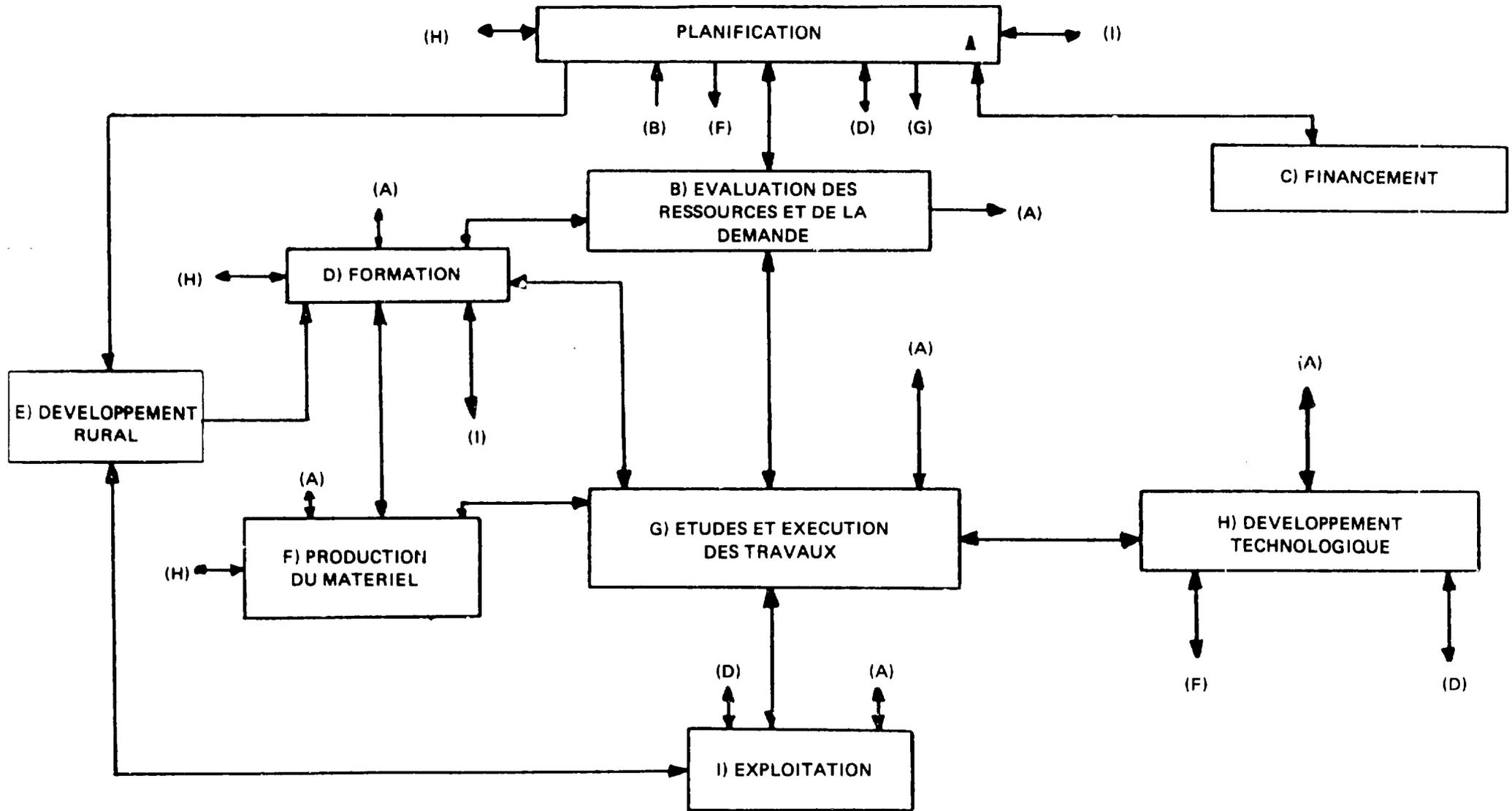
## 5.2 ORGANISATION DE LA PLANIFICATION ET DE LA PROGRAMMATION

Une fois qu'on aura décidé de créer de MCHE dans un pays, il faudra définir ce qui suit:

- a) L'autorité gouvernementale responsable (ministère, secrétariat d'Etat, institution nationale etc). Elle sera généralement du ressort du Ministère ou secrétariat d'Etat chargé de l'énergie.
- b) L'organisme responsable de la planification, de la direction et/ou de la coordination de la création des MCHE pourra être:
  - L'organe central de planification
  - Le service de planification du Ministère ou secrétariat d'Etat compétent
  - Le service de planification d'une entreprise ou d'un institut chargés du développement de l'énergie

Il faudra créer, au sein de l'organisme chargé de la planification, un bureau ou une section expressément chargés du développement des MCHE, séparés de ceux qui s'occupent des sources d'énergie hydraulique plus importantes. Ses fonctions pourront être les suivantes:

FIGURE 9 SCHEMA DES RELATIONS ENTRE LES ELEMENTS A ENVISAGER POUR LA CREATION DE MCHÉ



- Proposer des politiques et une stratégie de développement
- Dresser des plans de développement
- Dresser des programmes périodiques d'exécution (études sur le génie civil et le financement)
- Coordonner et contrôler les sections chargées des programmes d'évaluation des ressources et de la demande, d'exécuter les travaux de génie civil et de l'exploitation des installations
- Servir d'organe consultatif en matière de MCHE
- Assurer la coordination avec les institutions et entreprises chargées du financement, de la mise au point technique, de la production du matériel et de la formation
- Fixer des tarifs ou les critères de leur établissement

Le plan sera obligatoire ou indicatif selon le régime socio-économique du pays, son organisation politique, et selon l'importance relative de la participation des secteurs publics et privé à l'exécution des divers éléments du plan.

La figure 10 donne le schéma des relations qui s'établissent au cours de la planification des MCHE; il fait partie du schéma général de la figure 9.

La section chargée de la planification pourra exercer les fonctions complémentaires suivantes:

- Inventorier les localités privées d'électricité et cataloguer les ressources hydrauliques appropriées; ce sera le travail de l'organe chargé d'évaluer les ressources et la demande.
- S'occuper tour à tour des demandes de financement et des mesures prises par la population locale et décider si elles peuvent s'insérer dans les programmes d'exécution.
- Entreprendre des négociations générales sur l'achat en grand de matériel.
- Coordonner l'action avec les institutions et organismes communaux susceptibles de promouvoir la création de MCHE dans leurs localités.
- Exposer les besoins de développement technologique aux institutions compétentes et évaluer l'emploi possible de technologie non traditionnelle.
- Proposer des dispositions institutionnelles en vue de la construction et de l'exploitation de MCHE.
- Coordonner la coopération technique internationale.

La première chose à faire dans un pays où l'on entreprend des projets systématiques de création de MCHÉ est de dresser un „plan à court terme” portant sur certains projets concrets cependant qu'on dresse un „plan de développement” qui exigera des études sur l'évaluation des besoins en énergie, les ressources existantes, et l'ordre des priorités, et qui devra aussi promouvoir les activités dans divers domaines ayant trait à la technologie, à la production du matériel, à la formation et au financement.

En s'appuyant sur le plan à court terme, on dressera un programme d'exécution d'un ou deux ans, qui devra tenir compte des éléments ci-dessous:

- Achèvement des travaux non terminés
- Travaux abandonnés (centrales où les travaux de génie civil ont commencé, qui ont acheté du matériel non encore installé etc.)
- Remise en place de matériel existant dans des installations abandonnées
- Besoins constatés (nouveaux projets, ou projets à l'étude)
- Existence d'ouvrages de génie civil (canaux d'irrigation, barrages etc.) susceptibles de réduire les frais et les délais d'exécution
- Création d'installations-pilotes afin d'évaluer les options technologiques et les possibilités d'exécution

L'élaboration du plan à court terme et des programmes qu'il comporte offre les avantages suivants:

- Il permet de faire démarrer les projets de MCHÉ sans attendre l'établissement d'un plan général cohérent; d'autre part, il donne le temps d'établir le plan de développement.
- Il permet d'acquérir une expérience qui servira pour le plan de développement.
- Il permet de mettre au point des projets suffisamment mûris.
- Il contribue à faire connaître les MCHÉ.
- Il stimule l'élaboration de projets communaux d'auto-assistance.

Pendant la rédaction et l'exécution du plan à court terme et de son plan d'exécution, la section de planification devra commencer à établir le „plan de développement des MCHÉ” qui exige une série d'études préalables et d'évaluations qui fourniront au plan sa base objective.

**ETUDES ET EVALUATIONS NECESSAIRES POUR REDIGER LE PLAN**

Inventaire des centres peuplés et isolés et des micro-régions qui ont besoin d'une mise en valeur énergétique (Etude confiée, éventuellement par contrat, à l'organe d'évaluation des ressources et de la demande).

Evaluation des ressources de chaque bassin hydrographique et aire d'alimentation (première approximation) et évaluation approximative des ressources potentiellement exploitables dans les zones proches de centres de population isolés et de micro-régions (deuxième approximation); études confiées à l'organe d'évaluation des ressources et de la demande, ou à l'extérieur par contrat.

Inventaire des MCHÉ existantes, évaluation de leur état et de leurs conditions de fonctionnement.

Estimation du potentiel de ressources financières.

Evaluation de la technologie existante et perspectives de perfectionnement, d'adaptation et d'acquisition.

Evaluation des possibilités de fourniture de matériel et des matériaux nationaux ou importés. Capacité potentielle de fabrication de matériel de l'industrie. Evaluation des spécialistes disponibles pour la recherche et la technique.

Récapitulation des indices d'investissement et de frais d'exploitation.

Evaluation de la situation institutionnelle et du personnel spécialisé nécessaire pour la construction et l'exploitation des MCHÉ. Possibilités de participation communale.

Le plan doit également tenir compte des mesures spécifiquement propres à établir le cadre d'une stratégie de développement. Nous donnons ci-dessous quelques suggestions au sujet de ces mesures et de leurs caractéristiques éventuelles; elles devront être adaptées aux conditions de chaque pays.

- |   |   |
|---|---|
| <b>POLITIQUE DE DEVELOPPEMENT<br/>ENERGETIQUE DES CAMPAGNES</b> | <ul style="list-style-type: none"><li>— Accroissement de la valeur ajoutée à la production par la création d'industries rurales.</li><li>— Amélioration des conditions d'existence.</li><li>— Santé, culture, loisirs.</li><li>— Pompage de l'eau.</li><li>— Utilisation des barrages à des fins multiples.</li><li>— Création de petits réseaux électriques ruraux.</li><li>— Interconnexion des MCHE avec les réseaux nationaux ou développement des localités isolées.</li></ul> |
| <b>POLITIQUE INSTITUTIONNELLE</b>                               | <ul style="list-style-type: none"><li>— Situation dans les contexte du développement rural.</li><li>— Participation des organismes ou entreprises d'électrification et des communes; formes d'organisation (entreprises municipales mixtes, coopératives, privées).</li><li>— Répartition des responsabilités institutionnelles entre les diverses activités du développement des MCHE.</li></ul>   |
| <b>POLITIQUE DE LA<br/>CONSTRUCTION</b>                         | <ul style="list-style-type: none"><li>— Exécution progressive visant à la construction de MCHE en grands nombres dans l'avenir.</li><li>— Emploi intensif de matériaux et de main d'œuvre locaux.</li><li>— Emploi de techniques et de matériaux non traditionnels.</li></ul>   |
| <b>POLITIQUE DU FINANCEMENT</b>                                 | <ul style="list-style-type: none"><li>— Principe de répartition des ressources destinées aux MCHE.</li><li>— Critères de financement: investissements non récupérables et exploitation financée par les tarifs.</li><li>— Evaluation de la contribution communale en main d'œuvre et en matériaux.</li><li>— Moyens d'obtenir un financement extérieur.</li></ul>   |
| <b>POLITIQUE D'EQUIPEMENT</b>                                   | <ul style="list-style-type: none"><li>— Origine des fournitures; priorité aux fournitures nationales.</li><li>— Promotion du développement de la production du pays.</li><li>— Adaptation de l'étude technique aux fournitures nationales de matériel et de matériaux.</li><li>— Qualité et critères d'acceptation. Perspectives de normalisation.</li><li>— Détermination des éléments du matériel à obtenir de la production nationale et à importer.</li></ul>                   |

#### POLITIQUE TECHNIQUE

- Promotion du développement et de l'adaptation des techniques relatives au matériel et aux matériaux.
- Détermination des voies de transfert à l'industrie de techniques évoluées.
- Promotion de la mise au point de techniques de construction non traditionnelles.
- Détermination des voies de transmission des techniques de construction aux chantiers et aux collectivités.
- Déterminer le matériel qui sera mis au point au moyen de techniques locales et celui qui nécessitera l'acquisition de techniques étrangères.
- Déterminer les conditions inacceptables pour l'acquisition de technologie.

#### POLITIQUE DE TARIFS

- Mettre l'énergie à la portée des habitants de régions éloignées économiquement faibles.
- Assurer la continuité de l'exploitation des MCHÉ au moyen de fonds procurés par les tarifs.
- Proportions fondamentales des systèmes de tarifs nationaux; subventions.
- Promotion de l'emploi de l'énergie électrique dans le pays.
- Promotion de l'emploi de l'énergie électrique à des fins productives.

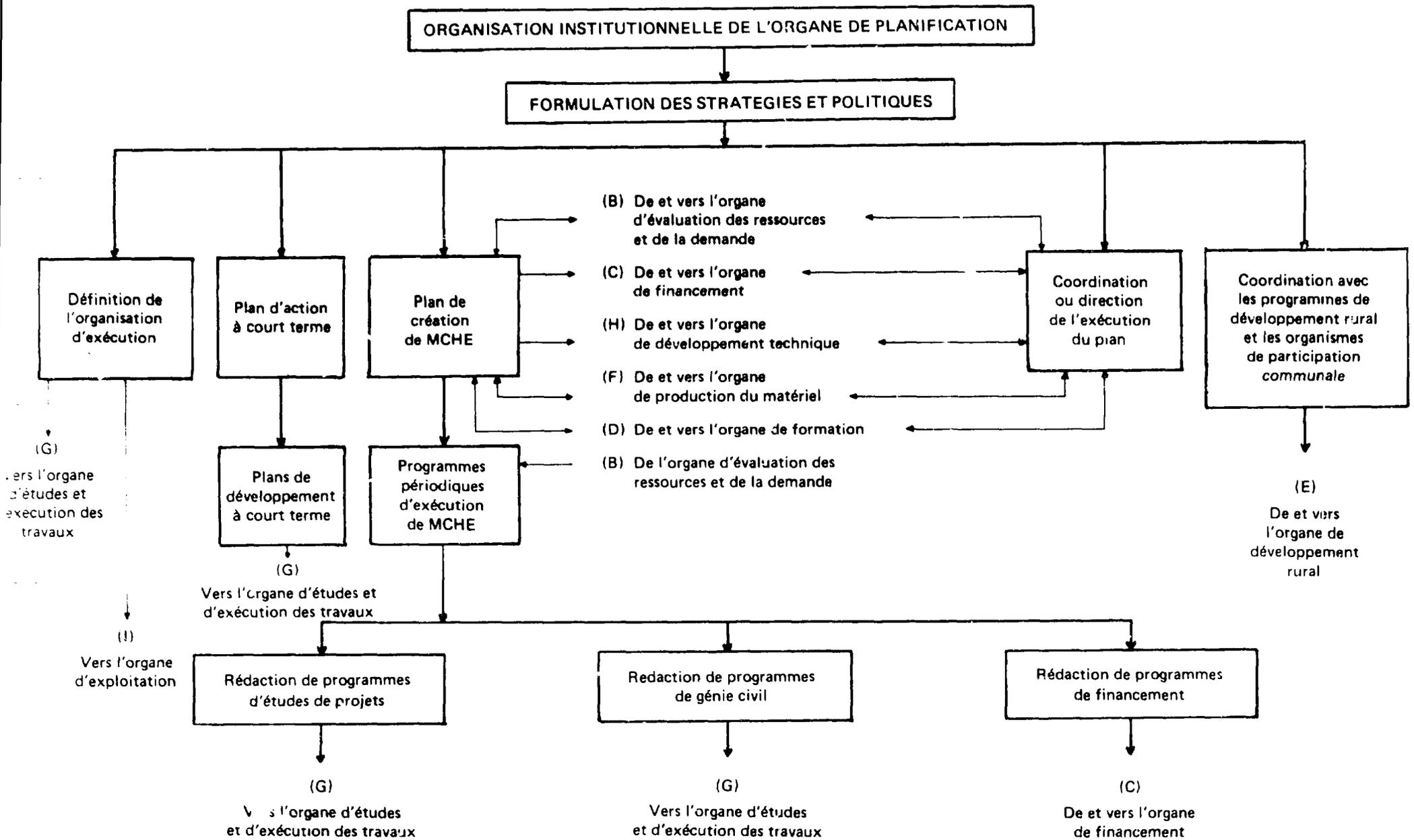
#### POLITIQUE DE FORMATION

- Former des cadres professionnels et techniques pour la recherche, les études de projets et la conception technique, la construction et l'exploitation des MCHÉ.

#### POLITIQUE D'EXPLOITATION ET D'ENTRETIEN

- La technique du matériel à employer doit tenir compte de la durée utile, de la simplification de l'entretien préventif, réduire au minimum les besoins d'entretien, faciliter l'entretien et les réparations, favoriser la fabrication des composants dans le pays, prévoir la constitution de stocks de pièces détachées etc.
- Organiser des équipes régionales d'entretien.
- Former un personnel d'origine rurale pour l'entretien préventif.
- Installer des ateliers pour la réparation et la reconstruction du matériel.
- Promouvoir la participation de la population locale à l'entretien des ouvrages de génie civil.

FIGURE 10 ORGANE DE PLANIFICATION POUR LA CREATION DE MCHE



### 5.3 EVALUATION GENERALE DES RESSOURCES ET DE LA DEMANDE

C'est un des principaux éléments à envisager quand on veut construire une MCHE, et c'est aussi le principal cadre de référence pour l'établissement de programmes de développement et de programmes d'exécution.

#### CONSIDERATIONS GENERALES RELATIVES A L'EVALUATION D'ENSEMBLE DES RESSOURCES ET DE LA DEMANDE

- Les évaluations générales visent à étudier la demande et les ressources dans des micro-régions et des bassins et n'entrent pas dans l'étude détaillée de projets déterminés.
- Lorsqu'on envisage la création de MCHE dans des micro-régions ou des localités isolées, il ne faut pas oublier le lien géographique étroit qui existe entre demande et ressources, du fait de la distance limitée à laquelle on peut transmettre du courant sous tension basse et moyenne.
- Lorsqu'on entreprend de relier une MCHE à un réseau existant, il faut établir un lien géographique entre la zone où se trouvent les ressources hydrauliques et les lignes de transmission auxquelles on entend se raccorder.

Il est très important de faire la distinction entre l'évaluation générale des ressources et de la demande et les évaluations faites pour l'étude de projets déterminés.

#### DISTINCTIONS ENTRE EVALUATIONS GENERALES ET EVALUATIONS PORTANT SUR DES PROJETS DETERMINES

EVALUATIONS GENERALES	EVALUATION PORTANT SUR DES PROJETS DETERMINES
<ul style="list-style-type: none"><li>- Nécessaire pour formuler des plans et programmes de création de MCHE.</li><li>- Etude des besoins généraux en énergie d'une micro-région ou d'un groupe de population dans une zone déterminée.</li><li>- Etude des ressources exploitables dans un bassin ou dépression et établissement d'une liste préliminaire de projets spécifiques.</li><li>- Etudes générales, extensives et multidisciplinaires pour l'évaluation des ressources, entre autres: Hydrologie Ecologie Géologie Géotechniques Présence d'aggrégats</li><li>- L'évaluation de la demande générale dans une zone doit avoir un caractère intégral et statistique.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Nécessaire pour l'étude de chaque projet en particulier.</li><li>- Etude des besoins en énergie d'une localité ou d'un groupe de population qu'on espère desservir grâce à un projet déterminé.</li><li>- Etudes des ressources ayant trait à un projet déterminé.</li><li>- Etudes détaillées d'un projet réduite au strict minimum afin de limiter les frais de pré-investissement: Mesure du débit de l'eau Géotechnique (ponctuelle et approximative) Topographie</li><li>- L'évaluation de la demande doit reposer sur une étude détaillée des localités intéressées par le projet.</li></ul>

La question des évaluations nécessaires pour des projets déterminés est traitée au chapitre 7, section 1.

Selon les conditions locales de chaque pays, l'évaluation générale des ressources et de la demande doit être faite par un groupe technique *ad hoc*, responsable devant l'organe chargé de la planification des MCHÉ; ces fonctions peuvent aussi être confiées à un établissement spécialisé dans l'évaluation des ressources naturelles ou l'hydrologie. On peut aussi envisager de les faire assurer par un élément spécialisé d'une entreprise d'électrification.

Si l'organisation institutionnelle de l'évaluation générale présente des difficultés, on peut envisager de louer les services de conseillers spécialisés qui exécuteront l'opération sous le contrôle de la section de planification.

Les principales fonctions de l'organe chargé de l'évaluation générale seront les suivantes:

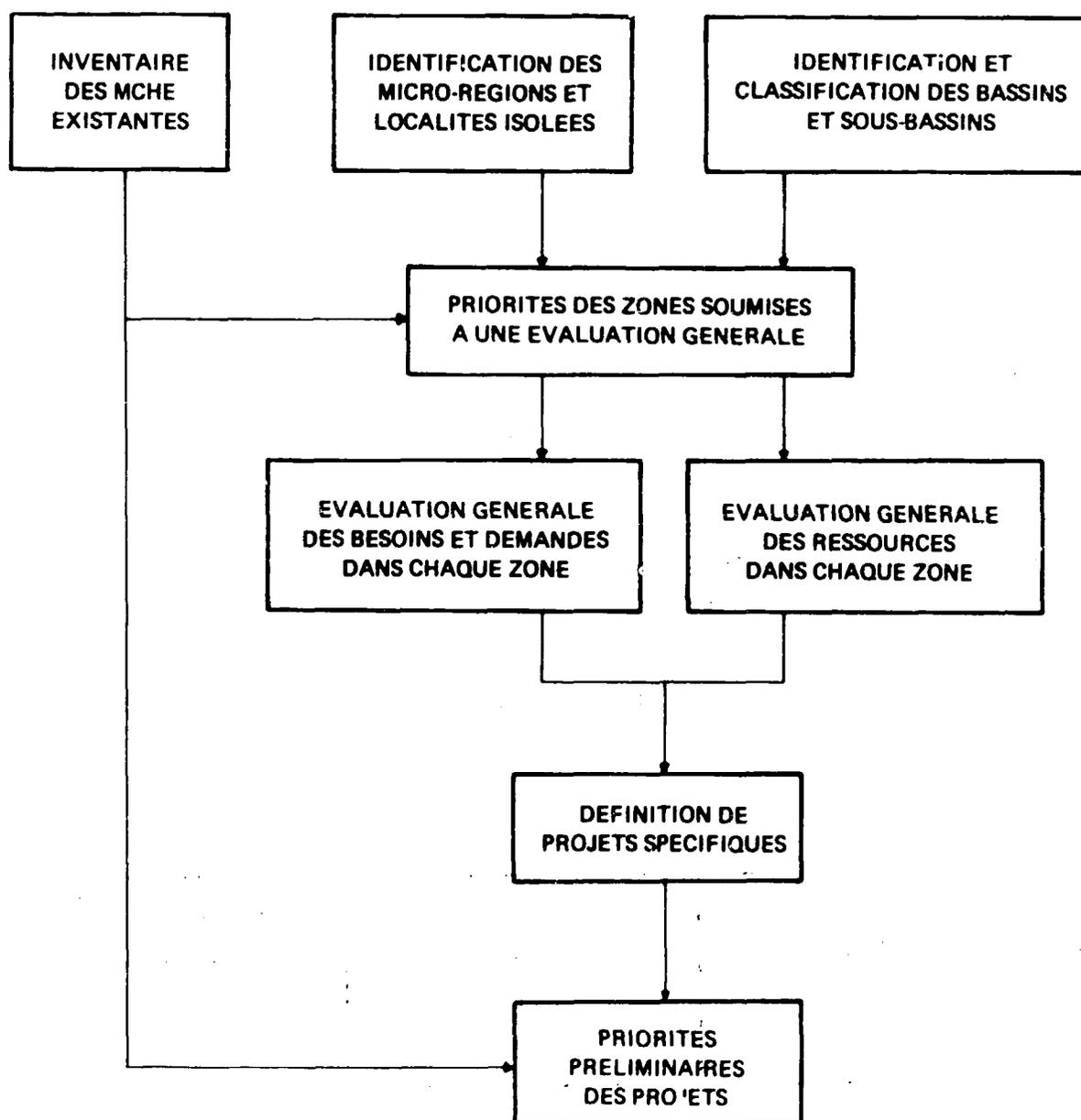
#### FONCTIONS DE L'ORGANE CHARGÉ DE L'ÉVALUATION GÉNÉRALE DES RESSOURCES ET DE LA DEMANDE

- Identifier et évaluer les MCHÉ existantes.
- Affecter, en coordination avec l'organe de planification, un ordre de priorités aux zones à évaluer.
- Effectuer l'évaluation des bassins, sous-bassins et aires d'alimentation soit directement soit au moyen de modèles mathématiques.
- Évaluer les besoins et le potentiel de développement énergétique des régions rurales.
- Définir des projets spécifiques de MCHÉ et proposer un ordre de priorités pour leur mise en œuvre.

Ces indications relatives à l'évaluation des ressources et de la demande ne doivent pas être appliquées mécaniquement dans n'importe quel pays, car chacun d'eux présente des conditions spéciales qui exigent un traitement particulier reposant sur:

- Les caractéristiques et la répartition des petites ressources hydrauliques.
- L'importance relative des MCHÉ pour le développement rural.
- L'existence d'institutions, de statistiques, d'études et de cadres techniques permettant d'exécuter l'évaluation.

Le graphique ci-dessous donne les activités de l'évaluation générale



Nous décrivons ci-dessous certaines des caractéristiques que doivent présenter les activités d'évaluation:

a) **Inventaire des MCHÉ existantes**

Cela consiste à inventorier les installations existantes et projetées.

Il est recommandé d'établir des formulaires spéciaux pour enregistrer les données suivantes:

- Données sur l'emplacement
- Données hydrologiques et appréciation du bassin
- Spécifications essentielles de la centrale et des principaux éléments de son matériel (capacités, hauteur de chute, débit, type de turbines, tuyauterie, générateurs etc.
- Etat de conservation (pour les installations existantes)
- Données sur les services et la population desservie, y compris les caractéristiques de la demande et les types de consommation

L'inventaire constitue un instrument utile pour l'organisation des plans et programmes, tant lorsqu'il s'agit d'évaluer l'état de développement des MCHÉ que pour déterminer les activités à court terme à entreprendre pour réadapter, déplacer et poursuivre les projets, ainsi que pour déterminer les indices de référence du pays lui-même.

Cet inventaire peut servir à étudier d'autres sources d'énergie existantes notamment en ce qui concerne l'extension de réseaux électriques existants et des centrales thermiques installées. La figure 11 donne un exemple de formulaire d'évaluation.

FIGURE 11 FORMULAIRE DE FICHE DE RENSEIGNEMENTS SUR LES MCHÉ

Nom de l'installation:

Emplacement:

(1)	(1)	(1)	Emplacement

(1) A désigner conformément à la division politico-administrative du pays

BASSIN	SOUS-BASSIN		AIRE D'ALIMENTATION	
	Superficie (m <sup>2</sup> )	Débit quotidien (m <sup>3</sup> /seconde) Minimum	Débit (m <sup>3</sup> /seconde) Maximum en crue	Débit moyen sur plusieurs années (en m <sup>3</sup> /seconde)

(2) Indication éventuelle portant sur le bassin ou le sous-bassin

Situation de l'installation:	Existante	En construction	En projet
Etat de l'installation:	Bon	Mauvais	Inactif
Situation des réseaux:	Existante	En construction	En projet
Etat des réseaux:	Bon	Mauvais	Inactif
Puissance installée ou à installer (kW) (3):			
Demande maximale prévue (kW):			
Moyenne énergétique annuelle (kWh):			
Type de turbine:			
Débit prévu (m <sup>3</sup> /sec):			
Hauteur de chute brute (m) (4):			

(3) Aux terminaux des générateurs

(4) Différence entre le niveau supérieur de l'eau dans le bassin de mise en charge et le débit inférieur d'utilisation à la turbine

Population desservie:							
Nombre de consommateurs:							
Emploi de l'énergie électrique (%)							
Service publics	Foyers domestiques	Commerce	Industrie	Irrigation	Mines	Divers	Eclairage
Divers (% détailler):							

Activités productives utilisant l'énergie électrique (Détailler: menuiserie, boulangerie, briqueterie etc.)

---

---

---

OBSERVATIONS:

---

**b) Identification et classification des bassins et sous-bassins**

Il s'agit ici d'une approximation provisoire reposant sur des études en chambre de cartes géographiques ou topographiques et sur des évaluations hydrographiques existantes.

Elle comprend la détermination approximative des paramètres hydrographiques et physiques des bassins et sous-bassins du pays, soit d'après des mesures et études déjà faites soit au moyen de modèles mathématiques.

Cette étude peut également porter sur les systèmes d'aires d'alimentation appartenant à un sous-bassin si l'on établit des paramètres de corrélation en déterminant le ruissellement. Elle entraînera la nécessité d'effectuer des études hydrologiques de bassins ou sous-bassins déterminés là où des données hydrologiques plus certaines s'imposeront.

Il faudra établir des critères de corrélation géographique au sujet des micro-régions et localités isolées inventoriées.

**c) Identification des micro-régions et localités isolées**

Il s'agit d'une approximation préliminaire des besoins en énergie reposant principalement sur les données statistiques existantes extraites de recensements et d'études régionales.

Il y a lieu d'établir des dossiers appropriés pour enregistrer les principales données concernant les micro-régions et localités rurales: population, activités productives et production, voies de communication, approvisionnements, besoins approximatifs en énergie etc. Les données de cette évaluation préliminaire doivent être réduites au strict minimum.

Le groupage des localités en micro-régions doit tenir compte des facteurs suivants:

- Proximité physique
- Communications
- Divisions politiques et administratives du pays
- Emplacement par rapport aux sous-bassins et aires d'alimentation
- Liens économiques et sociaux

Comme les renseignements statistiques disponibles ne seront souvent pas à jour et ne contiendront pas certains éléments d'information, il faudra établir des modèles mathématiques de croissance démographique (ou de déclin) et des indices de corrélation afin de déterminer des paramètres quantitatifs, qui seront à vérifier au moyen d'échantillonnages sur le terrain.

Les dossiers établis doivent être constamment tenus à jour, non seulement dans le temps mais en ce qui concerne l'exactitude de l'information. La figure 12 donne un exemple de formulaire de collecte des données sur les micro-régions et localités isolées.

**d) Priorités à accorder aux zones ou micro-régions dans l'évaluation générale**

Les informations recueillies au cours des trois étapes précédentes fourniront les éléments de base permettant de donner un ordre de priorités aux zones où s'effectuera l'évaluation générale, d'autant qu'il ne serait guère possible ni justifiable d'évaluer en même temps tout le territoire d'un pays et ce pour les raisons suivantes:

- Les frais, et le caractère limité des ressources financières disponibles.
- La moindre importance de certaines zones au point de vue de la création de MCHÉ du fait de leur potentiel hydro-énergétique ou de la densité de leur population.
- Le caractère limité des ressources humaines et du nombre d'experts qualifiés permettant d'effectuer l'évaluation générale.

Ce travail consiste à établir un ordre de priorités entre les zones afin d'obtenir une évaluation à petite échelle des ressources hydrauliques des sous-bassins et aires d'alimentation en eau de la zone ainsi qu'une évaluation générale des besoins et demandes d'énergie des localités qui y sont situées; en d'autres termes, on affectera des priorités afin de déterminer quelles sont les zones qui nécessiteront des études d'évaluation plus détaillées parce qu'elles offrent de meilleures possibilités à la création de MCHÉ, comme l'auront montré les études préliminaires d'identification des bassins et des populations.

FIGURE 12 FORMULAIRE DE REINSEIGNEMENTS SUR LES CENTRES ISOLES ET MICRO-REGIONS

Nom du centre: \_\_\_\_\_

Emplacement:

(1)	(1)	(1)

(1) A désigner conformément à la division politico-administrative du pays

DEMANDE

Population		Densité (habitants au km <sup>2</sup> )	
Nombre des potentiels abandonnés			
Domestiques	Commerciaux	Industriels	Divers

**AIRE D'ALIMENTATION A LAQUELLE LE CENTRE APPARTIENT**

SUPERFICIE (km <sup>2</sup> )	DEBIT QUOTIDIEN MINIMUM (m <sup>3</sup> /sec)	DEBIT MAXIMUM EN CRUE (m <sup>3</sup> /sec)	DEBIT MOYEN ANNUEL OU SUR PLUSIEURS ANNEES (m <sup>3</sup> /sec)

**AUTRES SPECIFICATIONS POSSIBLES**

	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
Chute utilisable pour une MCHÉ (m) (2)			
Debit utilisable pour une MCHÉ (m <sup>3</sup> /sec)			
Puissance pouvant être installée dans des MCHÉ (kW)			

(2) Mesurée depuis le niveau de la prise d'eau jusqu'au niveau minimal utilisable à la décharge

**ETAT DE LA DESSERTE**

Y a-t-il une distribution d'électricité?	Oui	Non
Nature:	Hydraulique	Thermique Transmise d'un réseau plus important
Qualité de la desserte:	Bonne	Mauvaise Passable
Année de l'installation ou de l'interconnexion:		
Niveau de tension de sous-transmission (kW):		
Etat des réseaux:	Bon	Mauvais Passable

Production hydraulique:	Existante	En construction	En projet
Etat de la MCHE:	Bon	Mauvais	Inactif
Puissance installée (kW):	Demande maximale:		Energie (kW):
Hauteur de chute disponible (m):			
Débit utilisable (m <sup>3</sup> /sec)			
Distance des petites centrales hydroélectriques (PCHE):			

Note: S'il y a plusieurs installations, indiquer les caractéristiques de chacune d'elle.

Production thermique:	Existante	En construction	En projet
Etat:	Bon	Mauvais	Inactif
Puissance installée (kW):	Demande max. (kW):		Energie (kW):
Nombre de groupes:	Potentiel de chacun:		Nature du matériel:
Combustible employé:	Rendement (kWh/gal.):		

<b>Production provenant d'autres systèmes électriques</b>			
	Existante	En construction	En projet
Capacité de la ligne (kW):	Longueur (km)		
Puissance du réseau le plus grand (kW):	Energie annuelle total (kWh)		
Demande maximale (kW):			
Type: Hydraulique			
Thermique (combustible utilisé)			
Mixte			

### RESEAU ROUTIER

Route:	Goudronnée	Pavée	Non pavée
Période pendant laquelle il est utilisable (mois par an):			
Distance d'autres centres de population:	Centre	Distance (km)	

### IRRIGATION

Nombre:	Existante (E)	En projet (P)	
Irrigation	Situation (E ou P)	Superficie irriguée (km <sup>2</sup> )	Débit (m <sup>3</sup> /sec)

### ACTIVITES ECONOMIQUES

Élevage (nombre de têtes):                      Porcs      Ovins      Bovins      Divers      Détail \_\_\_\_\_

---

Agriculture (superficie cultivée) (nature des cultures, détail): \_\_\_\_\_

---

Mines (type de mineral, réserves, quantité exploitée): \_\_\_\_\_

---

Agro-industrie (types et capacités de production): \_\_\_\_\_

Industries et artisanats divers (détail): \_\_\_\_\_

---

La détermination de ces priorités exigera l'établissement de critères d'évaluation pondérés en coordination avec l'organe de planification. On pourra envisager les paramètres ci-dessous dont la pondération et les valeurs devront toutefois être établies en liaison avec les priorités définies par les plans nationaux de développement et par la politique du gouvernement:

#### PARAMETRES D'AFFECTATION DE PRIORITES AUX ZONES POUR L'EVALUATION GENERALE DES RESSOURCES ET DES BESOINS

- Population que l'on pourra desservir.
- Existence de ressources hydrauliques.
- Existence de conditions favorables à la construction de MCHÉ, dans la mesure où les études préliminaires permettront de le déterminer.
- Possibilités de la zone en matière de développement économique et d'emploi de l'énergie à des fins productives.
- Relations physiques entre localités de la zone et avec d'autres régions (réseau routier).
- Possibilité d'interconnexion avec des réseaux plus importants.
- Autres modes d'énergie possibles.
- Possibilités de développement à fins multiples.

Certains des critères énumérés ci-dessus ne sauraient guère intervenir pour la détermination des priorités du fait du caractère limité de l'information fournie par les études et inventaires d'identification préliminaires.

Cette étape ne constitue toujours pas une base adéquate au „plan de développement” et aux „programmes d'exécution de MCHÉ” qui en découlent, mais elle est certainement utile à l'établissement du „plan à court terme” notamment dans les cas où l'on aura pu constater des possibilités particulièrement avantageuses pour certains projets.

#### **e) Evaluation générale des ressources dans chaque zone**

L'évaluation générale portera principalement sur les sous-bassins et aires d'alimentation offrant les meilleures possibilités et les plus étroitement liées aux localités qui seront consommatrices; elle devra en conséquence être effectuée parallèlement à l'évaluation de la demande mentionnée plus loin et en même temps qu'elle.

Comme on l'a vu, l'évaluation générale des ressources de chaque zone et sous-bassin à analyser pourra comprendre des études sur l'hydrologie, l'écologie, la géologie, la géomorphologie, la géotechnique et la présence d'aggrégats, dont la portée éventuelle fait l'objet des paragraphes suivants. Il faut toutefois répéter que bien que ces évaluations puissent permettre de définir des projets déterminés, elles ne doivent pas être faites pour chaque projet, afin d'éviter les frais de pré-investissement excessifs. De plus, la profondeur et la précision détaillée de l'évaluation dépendent

du potentiel hydro-énergétique et des besoins en énergie qui dans bien des cas n'ont à faire l'objet que d'évaluations qualitatives ou approximatives.

### 1) Hydrologie

But: estimer les débits utilisables par des minicentrales; cela se fait généralement en déterminant les débits minimaux, c'est-à-dire ceux pour lesquels la probabilité de dépassement mensuel est de 85 à 95 pour cent.

Aspects méthodologiques: Le débit minimal est généralement constaté au moyen de courbes débit/durée; il est souvent difficile à déterminer directement car dans bien des cas les enregistrements hydrométriques font défaut et l'on doit avoir recours à des méthodes indirectes par détermination et application de valeurs indicelles.

On peut aussi établir des critères de similitude constante entre les sous-bassins et les principaux bassins, permettant de généraliser l'information la plus probablement disponible en l'étendant aux bassins plus importants, notamment en ce qui concerne les courbes de précipitation/durée et de débit/durée.

Il y a lieu de compléter l'information pluviométrique existante (mesure des précipitations) en établissant des équations de régression. De plus, l'information hydrométrique généralement disponible doit être utilisée en appliquant des critères d'interpolation afin de compléter les enregistrements de débits. Quand il n'y a pas de séries hydrologiques représentatives dans les sous-bassins on peut aussi avoir recours à des modèles hydrologiques qui simulent des séries de ruissellement pour la zone de drainage en cause. Il y a un modèle intéressant, dont l'emploi pratique nécessite toutefois une certaine adaptation: c'est le système norvégien SNFS dans lequel le transfert dans chaque sous-bassin est simulé par un dispositif de réservoirs.

Dans l'analyse finale, en supposant qu'il s'agira surtout de mini-centrales „au fil de l'eau", le débit mensuel minimal, ou celui qui est dépassé pendant 95 pour cent du temps, peut être défini comme un pourcentage du débit moyen de plusieurs années. On peut poser des équations qui établissent un rapport entre le débit moyen annuel ou la capacité hydraulique annuelle moyenne ( $m^3/S/km^2$ ) (appelée également module de décharge) et la surface de drainage correspondante du bassin ce qui, avec les courbes de durée établies directement, permet de définir des expressions linéaires afin de calculer le débit mensuel minimum.

Les débits quotidiens peuvent varier considérablement, car les valeurs minimales quotidiennes sont généralement inférieures aux valeurs mensuelles. Il est toutefois impossible de les prévoir avec précision, ce qui poserait un problème apparemment insoluble, si l'on considère que dans le cas des mini-centrales „au fil de l'eau" il n'y a pratiquement pas de stockage. En dépit de cette difficulté, le problème peut ne pas se poser car les débits quotidiens minimaux inférieurs aux mensuels ne pourraient gêner que provisoirement le fonctionnement de l'installation.

Il serait certes préférable d'avoir des estimations portant sur une période d'au moins trois ans au sujet du cours d'eau qui fournira l'eau, mais ce n'est pratiquement possible que pour un groupe de projets dans un bassin donné et non pour une mini-centrale déterminée.

Les renseignements fournis par la population locale peuvent également être utiles à condition de bien les interpréter, pour évaluer les débits historiques, notamment en ce qui concerne les inondations. Les débits maximaux fournissent une référence utile pour l'étude des travaux de génie civil, notamment en ce qui concerne leur protection.

## 2) Ecologie

**But:** décrire l'environnement dans lequel la faune et la flore évolueront, afin d'en déterminer l'incidence sur les caractéristiques du projet, les types de construction, les matériaux, et le matériel à employer; ses effets sur les perspectives de conservation et d'autre part l'incidence de l'installation de MCHÉ sur l'écologie du bassin ou du sous-bassin.

**Aspects méthodologiques:** Pour les raisons exposées plus haut, ce genre d'étude ne convient que pour évaluer des bassins et non des projets déterminés; dans ce dernier cas, on n'a besoin que d'observations générales sur les aspects écologiques. Il s'agit des aspects suivants:

- Climat
- Zones biologiques
- Sols (du point de vue de leur utilisation par l'homme)
- Végétation
- Faune
- Étendues d'eau et biologie aquatique

## 3) Géologie

**But:** déterminer les caractéristiques fondamentales et la composition du sol et du sous-sol du bassin afin d'établir des directives générales pour la construction, notamment en ce qui concerne les aspects structuraux et sismologiques.

**Aspects méthodologiques:** Il est recommandé d'entreprendre des études portant sur des bassins ou sous-bassins plutôt que sur des projets déterminés. Les sujets les plus intéressants à étudier sont:

- La lithologie (formations géologiques, par des méthodes stratigraphiques)
- La géologie structurale (failles, détermination des directions de l'activité volcanique)
- La sismologie (archives, probabilité de tremblements de terre et leur importance)

## 4) Géomorphologie

**But:** Etudier la conformation de la surface du terrain et l'apprécier afin notamment de déterminer l'accumulation et le dépôt de sédiments dans les cours d'eau, tout en tenant compte de son effet d'érosion sur le matériel et de la nécessité qui en résulte de prévoir des bassins de décantation et de choisir des matériaux appropriés pour les turbines (il s'agit surtout de rotors et de systèmes d'injection). Il est également bon de choisir le site de manière à éviter les glissements de terrain et l'érosion éventuels.

**Aspects méthodologiques:** Identification des structures d'après des cartes géomorphologiques, notamment en ce qui concerne les escarpements, les pentes et les fonds de vallées (lits des rivières): ceci peut s'appliquer à l'étude générale des bassins et sous-bassins.

## 5) Géotechnique

But: Etude des sols en ce qui concerne leurs caractéristiques, leurs propriétés mécaniques, leur stabilité et la nappe d'eau, principalement en vue d'aider à l'établissement de projets de construction d'ouvrages hydrauliques.

Aspects méthodologiques: Les études géotechniques ne trouvent qu'une application limitée en ce qui concerne les bassins et sous-bassins vu l'infinie diversité des cas d'espèce; on se limitera donc à des descriptions reposant sur des études géologiques.

Une étude géotechnique est particulièrement indiquée pour connaître les sols des emplacements éventuels d'ouvrages de génie civil déterminés, afin de faciliter le choix d'emplacements définitifs et de la conception.

L'étendue de son emploi dépend de l'importance de chaque projet, tant en ce qui concerne le coût de l'étude que les risques inhérents à l'ouvrage lui-même. Dans le cas des mini-centrales hydroélectriques, les études géotechniques doivent généralement être réduites au minimum, selon un jugement qualitatif, et s'effectuer surtout au moyen d'excavations et de forages, d'une estimation approximative de la capacité portante du sol, et des facteurs de sécurité à faire intervenir dans la conception de la prise d'eau, du bassin de mise en charge, de certains supports des tuyauteries et de l'ancrage des principaux appareils.

## 6) Présence d'agrégats

But: Rechercher la présence de matériaux pouvant servir d'agrégats (pierre, gravier, sable etc.) qui peuvent contribuer puissamment à réduire les frais de construction.

Aspects méthodologiques: Etude différenciée sur la présence et les caractéristiques des principaux types de matériaux nécessaires (matériaux granulaires, enrochement, matériaux à extraire de carrières, sable, gravier etc.).

## f) Evaluation générale des besoins en énergie et de la demande économique dans chaque zone

Comme on l'a indiqué plus haut, cette étude doit être combinée avec une évaluation des ressources hydro-énergétiques de la zone en question afin de s'assurer de sa pertinence et de permettre l'établissement par la suite de projets déterminés de MCHE.

Cette étape exige une étude détaillée des données fournies par l'identification préliminaire des micro-régions et zones isolées au moyen de relevés sur le terrain, étude qu'il faut toutefois maintenir à un niveau général et statistique lorsqu'on décrit les caractéristiques de chaque localité.

Il faut tenir pour chaque localité un dossier complet de données et établir des fichiers pour les micro-régions ou groupes de localités pouvant être reliés pour constituer un petit réseau.

L'analyse socio-économique de chaque localité peut porter sur les points exposés plus loin. Il faut toutefois ne pas oublier que cette analyse peut être plus limitée et qu'on peut réserver l'examen de certains éléments aux études de projets déterminés, voire même n'en pas tenir compte.

## PORTEE DE L'ANALYSE SOCIO-ECONOMIQUE DES LOCALITES

POPULATION	Chiffre, importance des familles, répartition par activités, revenus, niveaux de culture etc. Types des niveaux possibles de satisfaction des besoins en énergie. Historique de la croissance (ou stagnation), des migrations. Prévisions estimatives de la croissance et de l'élévation des indices de besoins d'énergie.
ACTIVITES ECONOMIQUES	Description des activités existantes de production et d'appoint; impact économique. Potentiel de la zone: Inventaire d'projets concernant les activités consommatrices d'énergie. Conditions de leur exécution: limites dans le temps.
TRANSPORTS ET COMMUNICATIONS	Systèmes de transport (voyageurs et marchandises); routes, système postal, télécommunications etc.
SERVICES	Eau potable, drainage, alimentation en énergie; commerce.
EDUCATION	Ecoles et activités culturelles; besoins en matière d'éducation et énergie nécessaire à cet effet.
DESCRIPTION PHYSIQUE DE LA LOCALITE	Emplacement géographique, distance, description physique (rues, distances, types de bâtiments etc.).

L'analyse socio-économique doit fournir pour chaque localité les données fondamentales permettant de déterminer au moyen d'indices les besoins en matière de capacité installée, ainsi que les besoins et le potentiel de la consommation d'électricité.

A ce stade de l'évaluation générale, on ne peut que déterminer approximativement au moyen d'indices les besoins de capacité installée qu'il faudra connaître pour établir des projets déterminés.

De plus, on peut procéder à des évaluations préliminaires de la consommation par catégories:

- Usage domestiques
- Eclairage public
- Activités économiques productives
- Divers (santé, éducation, culture; activités sociales, politiques, religieuses etc.)

On peut aussi estimer les périodes approximatives d'usage quotidien dans chaque catégorie et leurs variations saisonnières. Cette analyse supplémentaire fournit des données permettant de déterminer la capacité installée nécessaire et la demande lors des études de pré-faisabilité portant sur des projets déterminés.

### g) Définition de projets déterminés

L'évaluation générale des ressources, ainsi que celle des besoins et de la demande dans toutes les localités d'une zone, permettent de déterminer et de définir approximativement les séries de projets aptes à satisfaire aux moindres frais les besoins essentiels en énergie d'une population. A cette fin, il faut prendre en considération les facteurs suivants:

## FACTEURS A ENVISAGER POUR LA DEFINITION DE PROJETS DE MCHÉ

- Le point auquel il est économiquement justifiable d'organiser des groupements de localités afin de créer de petits réseaux d'interconnexion sous moyenne tension, selon leur étendue et les caractéristiques topographiques du lieu.
- Choisir les projets d'une capacité relativement plus forte qui peuvent remplacer plusieurs projets plus petits.
- Selon la topographie et les caractéristiques du site, choisir le type de centrale en fonction de la hauteur de chute; les plus hautes sont préférables car elles nécessitent de moindres investissements, et permettent une plus grande économie d'eau, bien qu'elles soient sujettes à une plus forte usure et que la différence de niveau entraîne des pertes plus fortes ce qui laisse moins d'eau utilisable à d'autres fins aux niveaux supérieurs.
- Tenir compte de l'augmentation des besoins de capacité installée, soit en concevant une installation dépassant les besoins immédiats, soit en en prévoyant l'agrandissement.
- Prévoir les difficultés de la construction dans la définition des projets.
- S'assurer de l'existence de solutions et de projets de remplacement.
- Faire une évaluation sur le terrain à l'appui des considérations ci-dessus.

Il faut faire observer qu'à ce stade, l'objectif consiste à essayer de définir l'ensemble de projets capable de répondre aux besoins essentiels d'énergie de la zone en question en échafaudant les meilleures combinaisons possibles; il ne s'agit pas d'établir un ordre de priorités pour l'exécution, opération qui fait partie de l'étape suivante.

### **h) Affectation de priorités provisoires aux projets**

C'est là la base même de la définition du „plan de développement” et de son „programme d'exécution” dont est chargé l'organe de planification.

Il y a lieu d'établir des critères d'évaluation pondérés afin de déterminer les priorités tout en tenant compte de facteurs économiques, techniques et sociaux, dont nous proposons la liste ci-dessous.

## FACTEURS D'ETABLISSEMENT DES PRIORITES POUR L'EXECUTION DES PROJETS

- Dimension et coût, y compris celui des lignes de transmission.
- Population à desservir; facteurs de charge.
- Energie consommée par des activités productives; production industrielle par rapport à l'énergie produite.
- Disponibilité et permanence des ressources hydrauliques.
- Possibilités d'utilisation complémentaire mutuelle en cas de projets multiples ou difficultés possibles de l'utilisation de l'eau à d'autres fins.
- Possibilité d'apport de main d'œuvre et de matériaux de la part de la collectivité.
- Existence de voies d'accès et de liaisons routières.
- Possibilité de créer des emplois sur place.
- Possibilités de continuité du service, d'auto-financement de l'exploitation et d'appui de la part de la collectivité.
- Possibilité de fourniture de matériel, de préférence d'origine nationale.
- Impératifs techniques et problèmes posés par le projet.

Le tableau 1 énumère quelques activités pouvant être créées dans des localités isolées ainsi que les besoins approximatifs de capacité installée correspondants.

Cette évaluation permettra d'établir des listes de projets dans un ordre de priorités utilisable pour la planification et la programmation, sans pour autant garantir automatiquement que ces projets feront partie du programme car l'organe de planification devra établir d'autres séries de priorités en fonction des questions de développement régional, d'industrialisation des campagnes et de la politique sectorielle.

### 5.4 ETUDES DE PRE-INVESTISSEMENT

Les études ayant trait à l'analyse générale des ressources et de la demande ayant fait l'objet du chapitre 5.3, nous traiterons ici surtout des études de pré-investissement portant sur un projet déterminé. La ligne de démarcation n'est toutefois pas toujours facile à tracer, car les études de projets déterminés peuvent être liées aux opérations d'identification des projets et d'établissement des priorités.

Les études de projets déterminés servent à deux fins essentielles

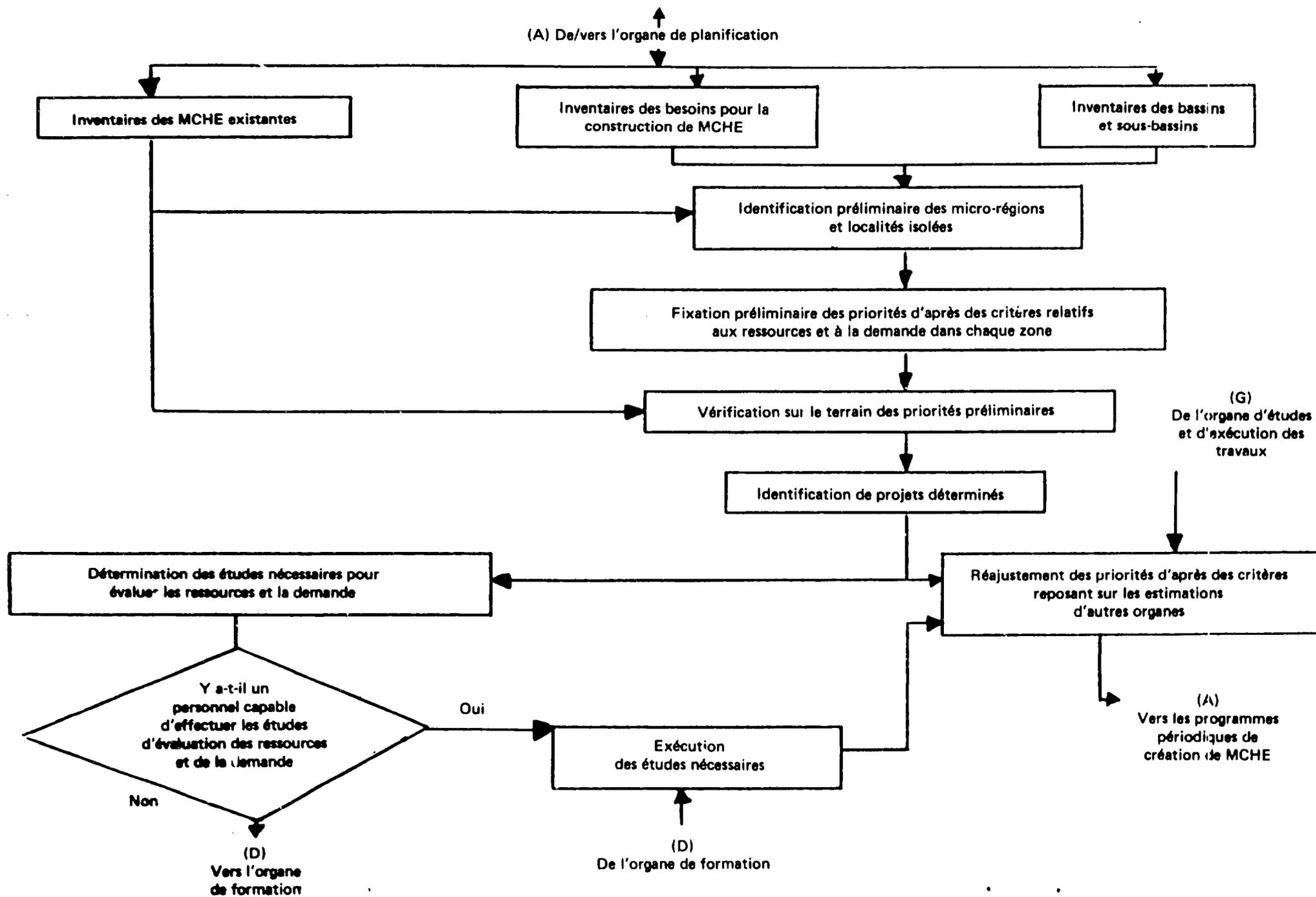
- Justification technique et économique
- Directives pour l'exécution du projet

**TABLEAU I**

Activités productives des localités isolées et zones rurales qui pourraient utiliser l'énergie produite par les PCHE (petites centrales hydroélectriques).

ACTIVITES	PUISSANCE INSTALLEE POUR LA CONSOMMATION (kW)
Ateliers de menuiserie	5 – 15
Boulangeries	2 – 5
Activités artisanales	1 – 2
Petites scieries	15 – 30
Traitement de canne à sucre	10 – 20
Moulin à céréales	3 – 20
Tissage	0,5 – 6
Extraction de café	5 – 30
Carrières	6 – 30
Glacières	6 – 60
Pompe d'irrigation	2 – 100
Briqueterie	1 – 5
Logement (20 personnes)	2 – 5
Restaurant	1 – 2
Conserverie de légumes	5 – 20
Produits laitiers (beurre, fromage)	2 – 10
Traitement du lait (réfrigération et pré-évaporation)	5 – 20
Silos	3 – 5
Ateliers électriques et mécaniques (réparations)	5 – 15
Pompes à essence	0,5 – 5

FIGURE 13 ORGANE D'ÉVALUATION DES RESSOURCES ET DE LA DEMANDE



On peut dire que les études de pré-investissement constituent l'une des différences essentielles entre les MCHÉ et les installations plus grandes, et c'est pourquoi la préparation des études pose souvent les problèmes suivants:

#### PROBLEMES LES PLUS FREQUENTS DANS L'ETUDE DES MCHÉ

- Coût élevé des études, qui atteint souvent de 30 à 50 pour cent de l'investissement total.
- Termes de référence qui ne correspondent pas toujours aux besoins du projet.
- Information surabondante, traitement des données peu utile, et manque de faits; manque de corrélation entre l'étude et les réalités du projet.
- Valeur pratique limitée pour la détermination des investissements nécessaires et pour guider la construction de l'installation.

Ces inconvénients peuvent être attribués aux causes ci-dessous:

#### RAISONS

- Emploi indiscriminé des termes de référence souvent utilisés pour les grands projets.
- Division routinière des études en phases successives (pré-faisabilité, faisabilité et étude technique détaillée) sans tenir compte de l'objet de l'étude en question.
- Formalisme et demande excessive de détails de la part des institutions de financement.
- Insuffisante définition des objectifs, qui ne permet pas de proportionner les coûts de l'étude à l'investissement total.
- Manque d'études complètes sur les ressources et la demande dans les bassins et sous-bassins.
- Quantité limitée d'information directe et traitement excessif de données hypothétiques ou estimatives.
- Manque de manuels techniques et économiques sur la mise en œuvre des projets.
- Insuffisance des systèmes de consultation et de l'aptitude des administrations publiques à effectuer des études.
- Attention insuffisante accordée aux solutions de remplacement.
- Attention insuffisante accordée aux perspectives de participation de la population locale au projet.

Il importe qu'à l'échelon de la planification, l'on fixe le montant maximal des frais d'études et de leur proportion par rapport à l'investissement total et à la dimension de la centrale. Ces objectifs doivent évidemment être fixés pour chaque pays dans le cadre d'un calcul approximatif du coût des composants des études et de la détermination de leur étendue. Il ne faut pas oublier que les études doivent servir de directives sommaires pour la suite des opérations et de moyen de protection de l'investissement total; il faut en conséquence en limiter raisonnablement les proportions afin qu'elles ne constituent pas à elles seules un investissement très hasardeux; il serait absurde que leur coût risque de compromettre la réalisation du projet.

Il faut, dans chaque pays, fixer un maximum au coût des études de pré-investissement par rapport à l'investissement total dans une MCHÉ, et définir ainsi l'étendue même des études en question. On trouvera au chapitre 7.6, consacré aux coûts, une courbe de référence établie d'après le tableau ci-dessous et qui montre que le coût des études portant sur des centrales de faibles puissance pourrait augmenter dans des proportions raisonnables.

PUISSANCE EN KILOWATTS %	POURCENTAGE MAXIMUM DU COUT TOTAL A AFFECTEUR AUX ETUDES
10	15
100	11
1000	8

L'étendue des études est en rapport étroit avec la proportion qu'on désire observer entre leur coût et l'investissement total, ainsi qu'avec la place que le projet occupe dans la planification du développement, en d'autres termes avec la question de savoir si l'on possède ou non sur les bassins et les zones une information assez complète pour permettre de grouper des projets et si les études qui ont déterminé les projets retenus dans les évaluations mentionnées en 5.3 ont été suffisamment approfondies.

Ceci posé, nous présenterons dans les paragraphes qui suivent quelques directives générales pour la réalisation d'études de pré-investissement dans les trois phases classiques: pré-faisabilité, faisabilité et étude technique détaillée.

#### a) Etude de pré-faisabilité/reconnaissance

S'agissant de MCHÉ, il est bon de ne poser à ce stade que des conditions minimales, et l'on pourrait substituer à la notion d'„étude de faisabilité" celle de „reconnaissance" qui évoque quelque chose de plus restreint.

D'autre part il est bon, dans cette phase, de faire en sorte que les renseignements nécessaires pour résoudre la question de l'investissement soient disponibles, afin que l'on puisse éventuellement se passer d'une étude de faisabilité.

L'étude de pré-faisabilité sera plus ou moins approximative selon que le projet en question est ou non indépendant du processus de planification et d'évaluation générale, comme le montre le tableau récapitulatif ci-dessous.

**CARACTERISTIQUES DES ETUDES DE PRE-FAISABILITE EN FONCTION DE LEUR  
RELATION AVEC LA PLANIFICATION ET L'EVALUATION GENERALE**

<b>PROJETS FAISANT PARTIE DU PLAN ET DE L'EVALUATION GENERALE DES RESSOURCES ET DE LA DEMANDE</b>	<b>PROJETS INDEPENDANTS DES EVALUATIONS GENERALES ET DES PLANS</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- La décision d'effectuer des études a été prise à l'échelon de la planification et s'est fondée sur des évaluations générales effectuées; l'étude de faisabilité n'a plus qu'à analyser les diverses solutions possibles, à fixer les spécifications de l'installation, à déterminer la portée de l'étude technique et à évaluer ses perspectives de faisabilité.</li> <li>- L'évaluation générale peut contenir des informations suffisantes sur l'hydrologie, l'évaluation des ressources, la demande d'énergie et la capacité installée nécessaire, en sorte qu'il n'y a plus qu'à vérifier ces données sur le terrain, à mesurer le débit et à compléter l'information ou à donner davantage de détails.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Si un examen préliminaire fait apparaître le projet comme intéressant, l'étude de pré-faisabilité peut avoir l'étendue des projets envisagés; si non elle doit offrir un choix et des approximations en matière de spécifications et de besoins d'investissement, et dire s'il y a lieu de poursuivre les études.</li> <li>- L'évaluation des ressources et l'analyse de la demande sont dans le cadre de l'étude.</li></ul>

Il faudra également tenir compte de la dimension du projet, qui déterminera l'étendue de l'étude de pré-faisabilité par rapport aux investissements nécessaires, et d'autres facteurs ayant trait à cette dimension, comme le montre le tableau ci-dessous, dans lequel on a rangé les centrales en deux catégories de puissances:

## CARACTERISTIQUES DES ETUDES DE PRE-FAISABILITE EN FONCTION DE LA DIMENSION DE LA MCHE

PUISSANCE INFÉRIEURE A 100 kW	PUISSANCE ÉGALE OU SUPÉRIEURE A 100 kW
<ul style="list-style-type: none"><li>- Vérifier le débit de l'eau par des méthodes indirectes pendant de brèves périodes et généraliser à l'aide d'évaluations qualitatives</li><li>- Procéder à des relevés topographiques très limités ou y renoncer; emploi de méthodes artisanales pour le nivellement des chutes.</li><li>- Evaluation visuelle de la structure du terrain en vue de la construction.</li><li>- Sur-dimension et marges de sécurité plus fortes pour tenir compte de plus grands facteurs d'incertitude.</li><li>- Envisager davantage l'emploi de techniques non traditionnelles visant à réduire les frais, même au prix d'un renoncement aux marges de fiabilité et de durée.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Vérifier le débit au moyen de mesures prises pendant des périodes prolongées ou de modèles de similitude.</li><li>- Relevés topographiques détaillés des zones essentielles (prise d'eau, chenal d'aménée, bassin de mise en charge, chute, canal de fuite); détermination précise de la hauteur de chute et de la disposition d'une conduite forcée.</li><li>- Vérification des caractéristiques du terrain par des méthodes géotechniques dans les zones où se situeront les principales constructions.</li><li>- Sur-dimension moindre et marges de sécurité réduites, les études ayant été plus approfondies et les investissements étant plus importants.</li><li>- Envisager moins les techniques non traditionnelles bien qu'elles puissent souvent être applicables dans la gamme de puissances en cause.</li></ul>

Il ne s'agit là bien entendu que d'indications de tendances car l'étendue du projet doit dans chaque cas être décidée à la lumière de ses caractéristiques objectives.

### Liste de pointage d'une étude de pré-faisabilité d'une MCHE

1. Récapitulation synoptique de tous les résultats essentiels de chaque paragraphe.
2. Historique du projet
  - a) Initiateur(s) du projet
  - b) Historique
  - c) Coût des études et/ou recherches déjà effectuées

3. Capacité du marché et de l'installation
  - a) Demande de charge et marché  
Croissance passée, estimation de la croissance future, liaison avec le réseau.
  - b) Prévision de ventes et commercialisation
    - i) Concurrence des autres sources d'énergie
    - ii) Estimation des recettes annuelles procurées par la fourniture de courant
  - c) Estimation de la puissance
    - i) Etude hydrologique
    - ii) Puissance standard
    - iii) Puissance secondaire
    - iv) Eau usée
  - d) Détermination de la capacité installée
4. Emplacement et implantation (y compris, le cas échéant, une étude géologique et l'estimation du coût du terrain et du remboursement du stockage).
5. Etude technique
  - a) Détermination préliminaire de l'étendue du projet
  - b) Technique(s) et matériel
    - i) Estimation grossière des coûts des techniques locale et étrangère
    - ii) Esquisse du matériel et de la chambre des machines envisagés: turbine, générateur, porte et vanne, matériel auxiliaire etc.
    - iii) Estimation grossière de l'investissement en matériel
  - c) Ouvrages de génie civil
    - i) Esquisse de la prise d'eau, du dispositif d'amenée et de la chambre des machines
    - ii) Estimation grossière de l'investissement en ouvrages de génie civil (locaux, étrangers)
6. Organisation de l'installation et frais généraux
7. Main-d'œuvre
  - a) Estimation des besoins en main-d'œuvre par principales catégories professionnelles
  - b) Estimation des dépenses annuelles de main-d'œuvre
8. Calendrier de l'exécution
  - a) Principale méthode de construction et calendrier d'exécution
  - b) Estimation des frais d'exécution
9. Evaluation financière et économique
  - a) Total des investissements
  - b) Financement du projet
    - i) Structure du capital et financement envisagés (locaux, étrangers)
    - ii) Intérêts
  - c) Coût de production

- d) Evaluation financière basée sur l'estimation ci-dessus
  - i) Période d'amortissement
  - ii) Rendement simple
  - iii) Seuil de rentabilité
  - iv) Rendement interne
- e) Evaluation du point de vue de l'économie nationale
  - i) Essais préliminaires
  - ii) Analyse coûts-bénéfices approximative effectuée à l'aide de pondérations estimatives et de prix virtuels (taux de change, main-d'œuvre, capital)
  - iii) Diversification des industries
  - iv) Estimation de l'effet sur la création d'emplois
  - v) Estimation des économies de devises étrangères

**b) Faisabilité**

Il serait bon que les études de pré-faisabilité ou de reconnaissance portent sur les éléments nécessaires pour prendre une décision en matière d'investissement, afin de pouvoir se dispenser des études de faisabilité et passer directement à l'étude technique.

Les études de faisabilité sont toutefois désirables pour les projets comportant des doutes au point de vue économique ou technique ou chaque fois qu'il faut faire des comparaisons avec d'autres solutions et que la nature du projet paraît devoir l'exiger.

**c) Etude technique détaillée**

Elle doit porter sur les éléments suivants:

**PORTEE DE L'ETUDE TECHNIQUE DETAILLEE**

- Détails topographique supplémentaires
- Etude géotechnique supplémentaire (lorsque l'importance du projet paraît le nécessiter)
- Spécifications définitives du projet
- Description détaillée de chaque ouvrage de génie civil et spécification des matériaux
- Spécifications définitives du matériel électromécanique et auxiliaire; cotations, évaluation des diverses solutions possibles et des achats envisagés
- Conception des lignes et installations de transmission
- Recommandations en vue de la construction, de l'installation et du démarrage
- Calendrier d'exécution et programme de travaux

En l'absence d'études de faisabilité, l'étude technique doit comporter une analyse financière et économique supplémentaire portant sur les points suivants:

#### SUPPLEMENT ECONOMIQUE ET FINANCIER AUX ETUDES TECHNIQUES

- Investissement et financement
- Echancier
- Personnel nécessaire
- Frais d'exploitation et d'amortissement
- Examen des systèmes de tarifs
- Analyse de la sensibilité des investissements
- Organisation de la construction et de l'exploitation

L'étendue et l'approfondissement des études techniques dépendront aussi de l'importance des investissements envisagée. Elles peuvent être classées comme suit:

#### CARACTERISTIQUES DES ETUDES TECHNIQUES EN FONCTION DE L'IMPORTANCE DE LA MCH

PUISSANCES INFERIEURES A 100 kW	PUISSANCES SUPERIEURES A 100 kW
<ul style="list-style-type: none"><li>— Moins de détails dans la conception; on les ajoutera en cours de travail</li><li>— Facteurs de sécurité plus forts dans la conception</li><li>— Usage relativement plus important de matériaux locaux</li><li>— Dessins au niveau d'un contremaître du bâtiment</li><li>— Le choix final du matériel sera dominé par des considérations de prix et de simplicité</li><li>— Plus grand emploi de techniques non classiques</li><li>— Plus grand emploi de conceptions semi-normalisées</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>— Conception plus détaillée</li><li>— Facteurs de sécurité plus faibles dans la conception</li><li>— Usage relativement moins important de matériaux locaux</li><li>— Dessins au niveau d'un ingénieur</li><li>— Le choix final du matériel sera dominé par des considérations de fiabilité et de durabilité</li><li>— Plus grand emploi de techniques classiques</li><li>— Plus grand emploi de conceptions „sur mesure“</li></ul>

Pour toutes les MCHE, il y a lieu de spécifier du matériel normalisé, y compris les turbines.

Plusieurs formules sont possibles pour l'exécution des études de pré-investissement, qui peuvent être confiées:

- au bureau „projets et études techniques” d'un Office de l'électricité ou d'une entreprise chargée de réaliser la MCHE
- à un organisme spécialisé dans l'hydraulique
- à des consultants et spécialistes indépendants

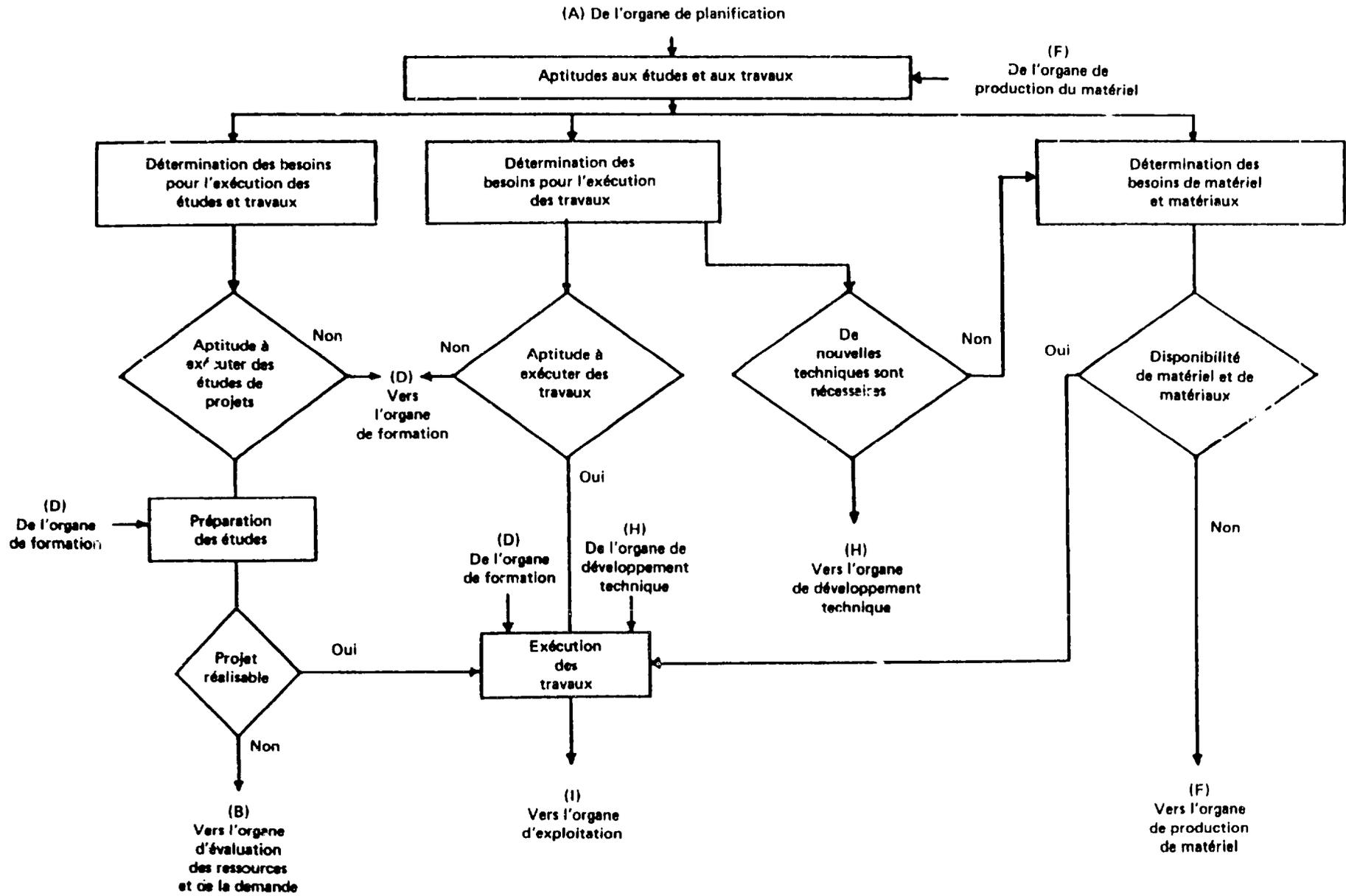
Le choix dépendra de la politique du pays intéressé, à son système social et économique et de son potentiel technique.

Il est bon que l'Office ou l'entreprise en question possède un bureau d'études techniques capable de faire les études de pré-investissement nécessaires ou d'en contrôler la réalisation par un sous-traitant lorsque ses propres capacités sont surchargées.

Il est souvent difficile de s'assurer par contrat les services de bons consultants et l'organe de contrôle doit posséder une haute compétence technique pour être à même de définir nettement la portée des études, d'en évaluer le coût et de vérifier la qualité de l'étude. Il faut éviter l'erreur fréquente qui consiste à élaborer des études contenant peu de substance et une abondance d'information sans rapport avec le sujet.

Souvent aussi, les institutions financières posent en matière de compétence des consultants et de portée des études des conditions telles que les coûts du pré-investissement deviennent exorbitants et que les études contiennent des éléments de pure forme le plus souvent sans intérêt pour l'évaluation et la mise en œuvre des projets.

FIGURE 14 ORGANE D'EXECUTION DES ETUDES ET DES TRAVAUX



## 5.5 LE FINANCEMENT

Nous traiterons ici de problèmes généraux du financement des investissements destinés aux MCHÉ, en mettant l'accent sur les éléments susceptibles de réduire les investissements et les besoins en devises étrangères qu'ils pourraient comporter.

### PROBLEMES QUI SE POSENT D'ORDINAIRE POUR LE FINANCEMENT DES MCHÉ

- Importance de l'investissement par kW installé
- Gros besoins de devises étrangères
- Coût élevé des études sans rapport avec l'exploitation et l'exécution du projet
- Chaque projet est trop peu important pour présenter un intérêt financier et son administration et son évaluation financières coûtent cher
- On a peu d'expérience de systèmes permettant de financer des groupes de projets
- Difficulté de faire figurer la technique nationale dans les études de pré-investissement
- Insuffisance des systèmes de financement des fournitures nationales
- Sous estimation de la contribution des collectivités en main-d'œuvre et en matériaux
- Absence d'une politique de financement des MCHÉ
- Insuffisante capacité économique des collectivités
- Idées fausses sur l'„électrification rurale" à base de développement spontané d'activités productives nécessitant de l'énergie

Nous donnons au tableau suivant quelques recommandations qui méritent d'être retenues pour résoudre ces difficultés. Un grand nombre d'entre elles seront commentées de façon plus détaillée au présent chapitre.

DIRECTIVES GENERALES POUR L'AMELIORATION DES PERSPECTIVES FINANCIERES  
DES MCHÉ

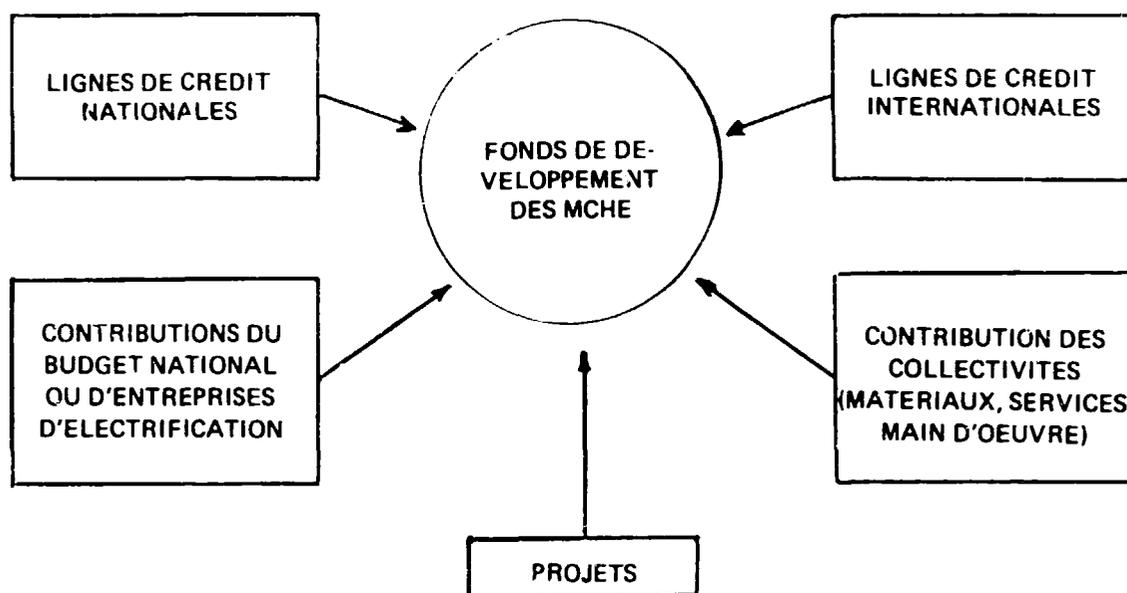
- Réduire les investissements et les besoins de devises étrangères par l'emploi de techniques non conventionnelles, la normalisation, la production du matériel dans le pays et l'emploi de matières nationales, la participation de la collectivité aux travaux de construction.
- Augmenter l'efficacité et réduire le coût des études de pré-investissement en procédant à des évaluations générales des ressources et de la demande par zones et bassins, et en rédigeant des directives pour l'établissement des projets, des manuels etc.
- Financer des groupes de projets connexes.
- Augmenter la participation de la collectivité à la construction et à l'exploitation des installations.
- Augmenter la part de la technique nationale en renforçant les aptitudes techniques des institutions chargées d'exécuter les projets de MCHÉ et en donnant à des consultants nationaux compétents la préférence sur les consultants étrangers.
- Mettre au point des systèmes de financement de fournitures nationales.
- Stimuler la participation des collectivités à l'exécution des projets en mettant ce facteur en vedette dans l'étude des priorités, et en élaborant des systèmes appropriés d'évaluation financière des contributions de la collectivité et des besoins d'assistance technique.
- Etablir une politique nationale de financement des MCHÉ.
- Promouvoir le développement parallèle d'activités productives à forte intensité en énergie.
- Elaborer des directives sur l'emploi rationnel de l'énergie.

La réduction des investissements, qui comprend celle des études de pré-investissements, et des besoins en devises étrangères mérite une attention particulière.

## DIRECTIVES GENERALES POUR LA REDUCTION DU COUT DES INVESTISSEMENTS ET DES BESOINS DE DEVISES ETRANGERES

- L'évaluation générale de la demande et des ressources doit s'effectuer par zones et par bassins, ce qui réduit le coût de chaque étude et procure des économies d'échelle dans l'étude pluridisciplinaire de régions qui peuvent se prêter à plusieurs projets.
- Chaque fois qu'il sera possible, passer directement des études de pré-faisabilité aux études techniques détaillées.
- Simplifier les sujets d'études et rédiger des directives pour leur élaboration.
- Rédiger des manuels sur la conception.
- Envisager l'emploi de techniques non traditionnelles et l'utilisation intensive de matériaux nationaux dès la phase des études de pré-investissement.
- Employer du matériel et des matériaux produits dans le pays et si possible des techniques élaborées ou adaptées dans le pays pour éviter de payer des redevances et d'importer de grandes quantités de pièces.
- Utiliser des matériels normalisés de série; pour les installations de faible puissance, donner la préférence aux solutions moins coûteuses et moins durables.
- Semi-normalisation des ouvrages de génie civil.
- L'emploi de techniques nationales contribue à économiser les devises étrangères, à réduire les coûts relatifs et à faciliter l'adaptation aux conditions réelles du pays.
- La participation des collectivités aide à réduire l'investissement apparent et nécessite par conséquent un moindre financement national.

Pour promouvoir la mise en œuvre de projets de MCHÉ il importe de définir des mesures appropriées telles que la création d'un fonds de développement des MCHÉ qui peut être géré par un organisme financé par l'Etat ou par l'Office de l'électricité ou l'institution concernée.



Le financement des MCH doit être organisé de la façon suivante:

**a) Lignes de crédit internationales**

Il faut distinguer nettement entre les lignes de crédit non liées, telles que peuvent les fournir certains organismes financiers internationaux, et les lignes de crédit liées fournies par des institutions financières de pays qui désirent mettre à profit le financement pour promouvoir leurs ventes de matériel et de techniques.

Les crédits liés sont acceptables dans les cas où les éléments en question ne sont pas produits dans le pays et après analyse de leurs caractéristiques techniques, des prix et des conditions financières démontrant qu'ils constituent la meilleure solution. Les tentatives de financement „facile” entraînent souvent l'achat de matériel trop coûteux ou inapproprié.

La négociation doit porter sur des lignes de crédit précises définissant certaines conditions financières afin qu'on puisse par la suite négocier le financement de groupes de projets.

Les critères et l'objet des études doivent être réalistes, et il y a intérêt à les faire connaître en publiant des manuels et des directives pour la préparation et l'évaluation des projets.

**b) Lignes de crédit nationales**

Elles doivent être utilisées avant tout pour financer des fournitures de matériel et de matières produits dans le pays.

Elles peuvent faire l'objet d'arrangements conclus avec des organismes de financement de la promotion industrielle.

Les crédits relatifs à l'aménagement des sites peuvent être obtenus auprès d'organismes s'occupant de financement du développement rural.

**c) Contributions du budget national ou d'entreprises d'électrification**

A la lumière des plans de développement et des programmes annuels de création de MCHÉ qu'ils comportent, des ressources peuvent être allouées à concurrence d'une proportion donnée des crédits obtenables.

Certains financements d'investissements peuvent prendre la forme de subventions.

On peut consacrer au financement des MCHÉ une partie des bénéfices des offices d'électrification „à fonds perdus“.

**d) Contributions des collectivités**

Elles sont à déterminer au cours de la phase des études.

La contribution de la collectivité doit être considérée comme faisant partie de l'investissement total et en conséquence être évaluée avec soin.

Les contributions en question consistent ordinairement en main d'œuvre du bâtiment non qualifiée, en matériaux (principalement des agrégats pour les ouvrages de génie civil) et en services (camionnage et transport locaux, stockage, site, sécurité etc.).

Lors que les investissements doivent faire l'objet de remboursements partiels, le financement doit s'effectuer sous forme de crédits tournants.

Ceci dit, quel que soit le mode de remboursement et même lorsqu'il s'agit de subventions, les centrales doivent gagner au moins de quoi couvrir les frais d'exploitation et d'entretien faute de quoi l'installation risque d'être arrêtée au premier incident de fonctionnement ou de se voir endommagée. Il serait d'ailleurs difficile de monter un système permettant une croissance ininterrompue des MCHÉ au moyen de contributions qui ne seraient jamais remboursables.

Il y a lieu de définir en termes généraux les parts du financement provenant des crédits, du budget de l'Etat et des collectivités. Certains pays ont adopté une division de l'investissement en trois parts à peu près égales, la première financée par des crédits, la seconde par le Budget et la troisième par les collectivités.

Les critères de remboursement des investissements doivent aussi tenir compte des possibilités en matière de tarification, et des objectifs de l'électrification rurale. Nous citons ci-dessous trois cas caractéristiques, mais d'autres situations peuvent aussi se présenter:

e) **Subventions directes**

La questions du remboursement ne se pose pas; les contributions du Budget et le financement sont l'affaire de l'Etat et de l'Office de électricité et les tarifs n'ont à couvrir que les frais d'exploitation et d'entretien.

Ce système peut servir à créer de MCHÉ dans les régions où les revenus sont très faibles, mais sa capacité financière limitée ne permet d'en construire qu'un petit nombre.

f) **Subvention partielle**

En ce cas les contributions du budget et celles des collectivités sont souvent considérées comme faisant partie de la subvention et le remboursement des prêts obtenus s'effectue au moyen de dispositions tarifaires appropriées.

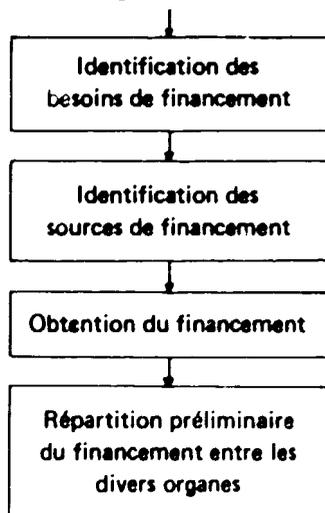
g) **Récupération totale de l'investissement**

Ce serait la solution idéale du point de vue financier mais elle est généralement impossible dans l'électrification rurale car elle freine considérablement l'exécution en la limitant aux cas où les recettes probables de la fourniture de courant couvriront l'amortissement du capital et le service de l'emprunt pendant un laps de temps donné.

Ce système peut surtout s'appliquer à des MCHÉ installées à des fins productives lucratives telles que l'exploitation minière, l'agro-industrie etc.

FIGURE 15 ORGANE DE FINANCEMENT

(A) De l'organe de planification



(A) Vers l'organe de planification

## 5.6 CONSTRUCTION ET DEMARRAGE

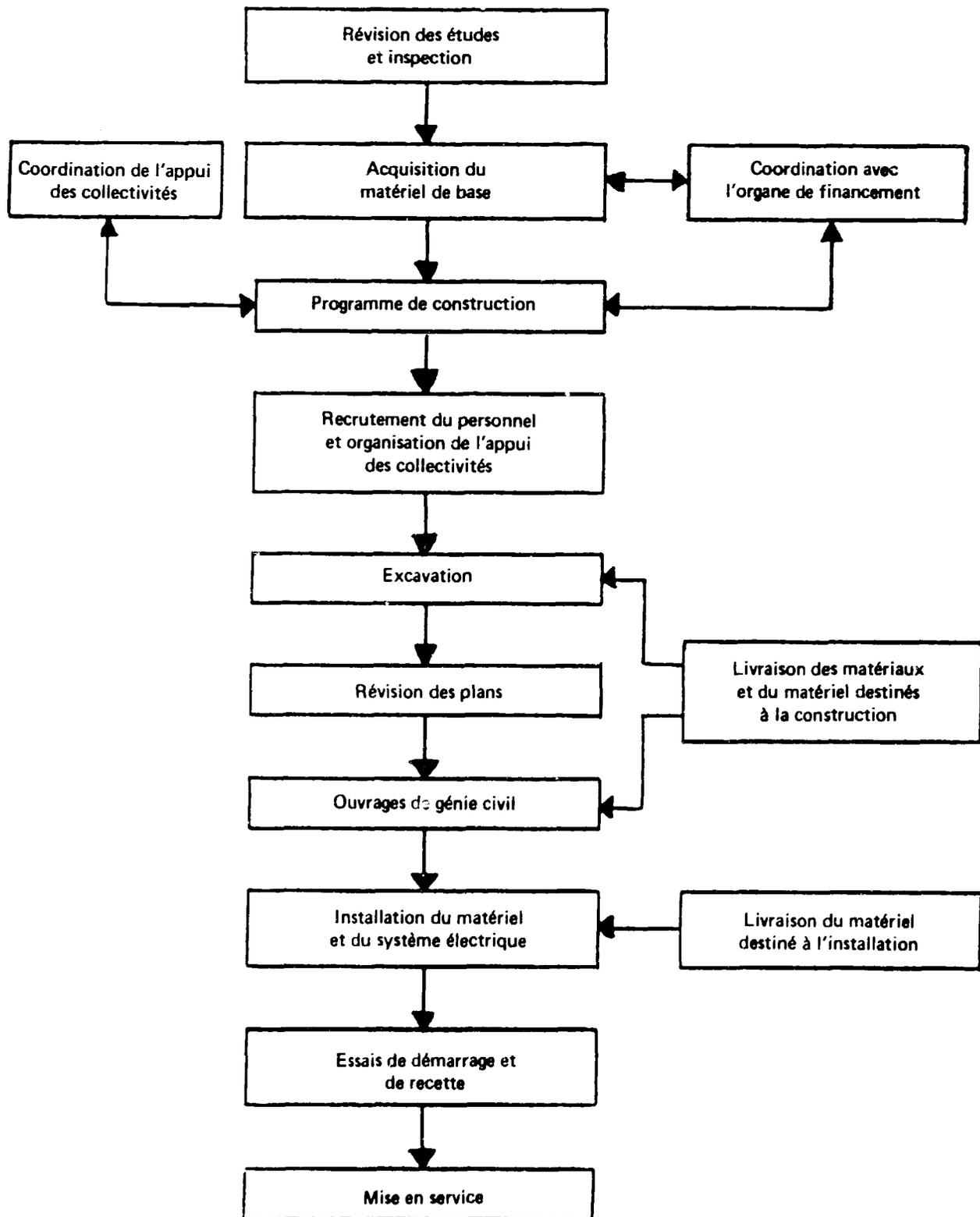
Il sera surtout question ici des problèmes et des méthodes de construction ayant trait aux travaux d'excavation, aux ouvrages de génie civil, à l'installation de systèmes électro-mécaniques et de matériel et au démarrage effectif de l'installation.

De toutes les diverses sources d'énergie, ce sont les MCHÉ qui comportent les exigences les plus rigoureuses en matière de construction du fait de la relative importance des travaux et de la dimension considérable des installations.

Les procédés de construction varieront selon:

- La puissance installée prévue
- La nature du terrain
- L'emplacement
- Le mode d'exploitation (indépendante ou reliée)
- La présence de main d'œuvre qualifiée
- La technique de construction
- La facilité d'accès et de transport
- La complication technique du matériel
- Le climat
- Certains facteurs particuliers dans le cas de projets à fins multiples

Le tableau ci-dessous donne une représentation simplifiée du processus de construction dont les éléments sont analysés par la suite.



**a) Révision des études et inspection**

L'organe chargé de l'exécution du projet (qui peut faire partie d'un office ou entreprise d'électrification) doit avant tout répartir les responsabilités de la gestion et du contrôle du projet.

L'opération suivante sera une révision des études et une inspection du site portant principalement sur les caractéristiques, les spécifications et les directives pour la construction.

La révision peut être confiée à des spécialistes ou consultants indépendants si l'on ne dispose pas d'un personnel compétant suffisant à cet effet ou lorsqu'un projet est conçu pour être exécuté directement sous les auspices d'une municipalité ou d'une entreprise privée.

**b) Acquisition du matériel de base**

Pour parer à d'éventuelles difficultés en matière de délais de livraison, il faut s'occuper de l'acquisition du matériel dès l'achèvement de la révision des études. Dans certains cas, on peut commencer à prendre ces dispositions au stade même de l'étude technique.

Sous le titre de „matériel de base“ figurent normalement des articles tels que turbines, régulateurs de vitesse, générateurs, vannes principales, tableaux de commande électrique, et transformateurs, ainsi que, éventuellement des matériaux électriques et tuyaux sous pression avec leurs accessoires.

**c) Coordination avec l'organe de financement**

Cette coordination est nécessaire pour déterminer les modalités et le calendrier du dégagement des fonds pour les diverses étapes prévues au programme de construction. A l'échelon de la collectivité, cette coordination peut également porter sur les débours et les contributions de la commune. L'achat du matériel doit également faire l'objet d'une coordination avec l'organe de financement.

**d) Coordination de l'appui de la collectivité**

Les domaines de cette coopération doivent être déterminés dès le stade de l'étude et de la décision d'exécution. La coordination est nécessaire avant même le commencement des travaux, afin d'établir avec la collectivité une manière de convention portant entre autres sur les points suivants:

- Main d'œuvre: types et nombres d'homme/heure pour chaque phase des travaux; responsabilités du contrôle.
- Matériaux: (il s'agit généralement de remblais inertes tels que pierre et sable, de bois de coffrages; quantités, emplacement etc.).
- Service: (transport, stockage et magasinage des matériaux, transport du personnel, dispositions de sécurité etc.); définition des responsabilités.

Selon le type d'organisation sociale et les traditions du pays, ces conventions seront conclues avec les autorités les plus représentatives capables de mobiliser l'appui nécessaire. Il pourra s'agir de notables locaux, de hauts fonctionnaires d'organismes coopératifs, ou de membres de la municipalité. Il est également essentiel de s'assurer que ces conventions soient portées à la connaissance de la population locale et jouissent de son appui.

**e) Programme de construction**

Le programme de construction doit être dressé en harmonie avec les démarches exposées plus haut.

Les caractéristiques de ce programme sont déterminées par la nature du projet. S'agissant notamment des MCHÉ, il faut prévoir de grandes marges d'incertitude au cours des diverses phases de l'exécution, invertiture due surtout au caractère sommaire des études, aux problèmes logistiques inhérents à tout projet ne comportant qu'un minimum d'appareil administratif et des difficultés qui surgissent souvent au sujet de l'organisation et de l'observation du calendrier d'exécution dans des activités comportant un élément de participation communale relativement bénévole.

**QUESTIONS A ENVISAGER DANS UN PROGRAMME DE CONSTRUCTION**

- Eviter les programmes par trop détaillés; les limiter à leurs éléments principaux.
- La planification doit être assez souple pour qu'on puisse faire face à des imprévus notamment en ce qui concerne les modifications du plan, les approvisionnements, et les travaux à effectuer par la commune.
- Pour l'établissement des calendriers, donner la préférence aux systèmes logiques afin de définir nettement les „parcours critiques“ mais en n'envisageant que les événements principaux.
- La programmation des travaux à effectuer par la collectivité locale doit tenir compte de la possibilité d'interférence avec d'autres activités intéressant les habitants, notamment en période de semailles ou de moissons.
- Prévoir un appui technique pour faire face aux nécessités résultant de modifications du plan, notamment en ce qui concerne les ouvrages de génie civil.
- La planification du transport de matériaux et de matériel en provenance de l'extérieur de la zone doit tenir compte d'éventuelles difficultés d'accès, notamment pendant la saison des pluies.
- Le mode de transport des matériaux doit être prévu à l'avance, notamment lors qu'il faut employer des animaux de trait.
- Le programme doit préciser toutes les responsabilités ayant trait aux travaux.

f) **Recrutement du personnel et organisation de l'appui de la collectivité**

L'équipe de base de la construction peut être organisée de la façon suivante:

- Un chef (généralement un ingénieur, qui peut être chargé de plusieurs projets)
- Un Chef de chantier
- Ouvriers qualifiés (maçons, charpentiers etc.)
- Manœuvres

L'ingénieur fait normalement rapport à l'organe responsable de l'exécution du projet.

Le chef de chantier est souvent un entrepreneur possédant sa propre équipe d'ouvriers qualifiés; les manœuvres sont fournis par la collectivité locale. Dans des situations de ce genre, il faut prendre des dispositions pour éviter tout conflit de responsabilités entre l'entrepreneur et la commune.

L'organisation de l'appui de la communauté doit préciser le personnel mis à la disposition du directeur de la construction.

La phase de l'installation nécessitera la présence d'un ingénieur en chef (mécanicien ou électricien) à la tête d'une équipe qui pourra se composer:

- d'un mécanicien/monteur
- d'un installateur électricien
- d'assistants

L'équipe d'installation technique sera souvent fournie par l'organe d'exécution du projet. Les assistants pourront être désignés parmi les futurs opérateurs locaux de l'installation.

Ces recommandations concernant la composition de l'équipe de construction sont surtout indicatives et peuvent être sensiblement modifiées en fonction de l'importance et des particularités du projet. Le but essentiel est de limiter l'équipe technique au strict minimum, car elle coûte cher, notamment dans le cas de petites installations de moins de 50 kW.

Il ne faut pas oublier que la présence dans la localité, pendant l'exécution du projet, de techniciens et d'ouvriers qualifiés peut entraîner des situations socio-économiques insolites. Elles peuvent avoir un effet bénéfique, en créant l'occasion d'échange sociaux et culturels, mais elles peuvent aussi avoir des effets négatifs si le personnel extérieur ne s'adapte pas aux coutumes locales ou si son comportement provoque des difficultés.

Pour faciliter la participation des collectivités locales au projet, il faut envisager la formation de groupes de travail ou brigades qu'on encourage à accomplir des tâches déterminées du plan.

g) **Excavation**

On peut employer un matériel plus ou moins mécanisé, selon la structure et le développement socio-économique du pays, et selon l'importance et les caractéristiques du projet. S'agissant de MCHÉ, on préfère un emploi intensif de main d'œuvre locale et peu de mécanisation. D'autre part, il importe d'éviter de sousestimer la valeur de l'effort fourni par la collectivité simplement parce qu'elle ne figure pas au budget chiffré; en effet on commet souvent l'erreur de ne pas prévoir le minimum de mécanisation susceptible d'économiser un grand nombre d'homme/heures.

A ce stade, la tâche principale est le creusement du chenal. Viennent ensuite la prise d'eau et la cheminée d'équilibre avec le bassin de décantation et enfin la chambre des machines et le soubassement de la conduite forcée.

#### **h) La construction**

Les ouvrages de génie civil exigent davantage de personnel qualifié, auquel peuvent s'adjoindre les assistants et le personnel de transport fourni par la collectivité. Pour élargir cette participation de la collectivité, on peut envisager de former du personnel local, notamment des maçons.

Pour éviter des frais excessifs et des retards dans l'exécution il importe que les matériaux soient transportés en temps utile.

Selon les conditions du pays et la nature du terrain, l'emploi d'animaux de trait disponibles sur place peut jouer un rôle important. Lorsqu'on y a recours il faut faire préparer les pistes nécessaires et organiser avec soin le mouvement des charges afin d'éviter les interférences.

Pour assurer la sécurité du personnel, il faut tenir compte de ses aptitudes et de son expérience, et ne pas lésiner sur les matériaux et le matériel nécessaires à cet effet.

Les plans techniques étant destinés à être complétés ou rectifiés en cours d'exécution, l'expérience du chef de chantier joue un rôle essentiel. Dans le cas de modifications dues principalement au terrain ou aux bâtiments existants, l'avis des habitants peut rendre de grands services.

#### **i) Installation du matériel et des systèmes électriques**

L'installation du matériel exige normalement un personnel qualifié. Il faut toutefois s'efforcer de faire participer à ces opérations les habitants qui paraissent capables de recevoir une formation d'opérateurs, afin de les familiariser avec le matériel et l'installation.

La sûreté et la sécurité du système électrique est un facteur essentiel de la bonne marche de l'installation et de la protection de son personnel. On doit supposer que l'installation elle-même ne sera guère inspectée ni réparée très fréquemment.

#### **j) Essais de démarrage et de recette**

A ce stade, qui marque une transition vers le fonctionnement normal de l'installation, il faut avoir présents à l'esprit les points suivants:

- Les essais de recette doivent être normalisés et faire l'objet de documents conformes à la dimension et au type de l'installation.
- Le démarrage effectif de l'installation doit être soigneusement organisé et comporter une répartition bien nette des tâches et des responsabilités ainsi que la prise de mesures de sécurité.
- Dans le cadre de l'opération de démarrage, il y a lieu d'évaluer les opérateurs locaux désignés pour assurer la marche de l'installation et de vérifier leur compétence.
- Il est bon que les fournisseurs des principaux matériels soient présents au démarrage de l'installation.

## 5.7 EXPLOITATION ET ENTRETIEN

Dans les quatre sections qui précèdent, il a surtout été question de l'exécution d'une MCHE su point de vue de l'évaluation complète des ressources et de la demande, des études de pré-investissement, du financement, de la construction et du démarrage, et indirectement de l'exploitation et de l'entretien.

Nous examinons maintenant quelques points ayant trait à la phase suivante à savoir l'exploitation suivie de l'installation. Cette phase présente naturellement une importance décisive car même les projets dont l'exécution a été très bien gérée peuvent échouer si l'organisation et les modalités de l'exploitation ne sont pas prévues de façon à garantir une utilisation optimale du capital investi.

### PROBLEMES FREQUENTS DE L'EXPLOITATION ET DE L'ENTRETIEN D'UNE MCHE

- Administration, organisation et dispositif financiers defectueux.
- Liaison insuffisante entre la direction de l'installation et la collectivité locale et ses organes.
- Aptitudes limités des collectivités rurales à la gestion et à l'exploitation.
- Frais d'exploitation et d'entretien hors de proportion avec la quantité d'énergie produite.
- Bureaucratie excessive de la gestion centralisée des petites installations.
- Frais élevés et problèmes d'adaptation sociale entraînés par l'introduction d'opérateurs venus de l'extérieur.
- Aptitudes souvent insuffisantes des opérateurs recrutés sur place.
- Tarifs trop élevés qui freinent le développement dans les zones rurales.
- Tarifs trop bas pour couvrir les frais d'exploitation et d'entretien.
- Absence d'appui technique pour l'entretien et la réparation.
- Normalisation inadéquate et manque de pièces détachées.

En soi, les problèmes de l'exploitation et de l'entretien des MCHE sont simples, comme on le verra en détail au chapitre 7. Les principales difficultés sont de nature institutionnelle et ont trait au fonctionnement et à la gestion de l'installation ainsi qu'à l'origine et à la formation technique du personnel d'exploitation et d'entretien.

Nous examinons ci-dessous trois des dispositions administratives caractéristiques qui peuvent être adoptées pour la gestion d'une MCHE.

#### a) Subordination directe à une autorité énergétique nationale ou régionale

##### Avantages

- Possibilité de centraliser les opérations d'une grande complexité technique et de tirer parti des économies d'échelle inhérents à la gestion d'ensemble d'un groupe d'installations.
- Personnel hautement qualifié.
- Appui technique et financier solide.

#### Inconvénients

- Chacune des installations est trop petite dans le contexte d'une vaste organisation et risque d'être négligée du fait de la longue filière de prise de décision.
- Frais d'exploitation élevés en raison de l'importance des frais généraux, de salaires et d'entretien.
- L'autorité, et par conséquent l'installation sont loin de la collectivité locale et de ses problèmes.
- Difficultés pour concilier les besoins d'eau destinés à l'irrigation et ceux de l'eau qui sert à produire du courant électrique.

#### b) **Entreprise énergétique communale, éventuellement sous la forme d'une entreprise municipale, d'une coopérative ou de tout autre mode d'association**

##### Avantages

- Activités centralisées à un échelon qui facilite la prise de décisions ayant trait au service.
- Facilité accrue de mobilisation de l'appui de la collectivité pour les travaux d'entretien.
- Règlement au sein de la collectivité des conflits d'intérêts ayant trait à l'usage de l'eau.
- Moindres frais d'exploitation.

##### Inconvénients

- Manque d'expérience et de pratique de la gestion des affaires.
- Difficultés de perception des notes d'électricité et d'emploi des réserves financières pour les remplacements et l'entretien (ces réserves risquant à l'occasion d'être détournées à d'autres fins).
- Risque d'entretien défectueux.
- Faible possibilité d'économies d'échelle.

#### c) **Entreprise électrique privée**

Cette solution se heurte, même dans les pays à économie de marché à des difficultés lorsqu'il s'agit de MCHÉ assurant un service public en zones rurales car ces installations sont généralement considérées non comme des entreprises dans lesquelles on investit pour recueillir des bénéfices, mais comme des instruments de promotion du développement.

Normalement, cette solution peut être avantageuse lorsqu'on a affaire à des producteurs indépendants qui ont besoin de courant pour leurs opérations productives (agro-industries, aciéries, mines etc.) et qui peuvent revendre leur excédent de courant aux localités voisines.

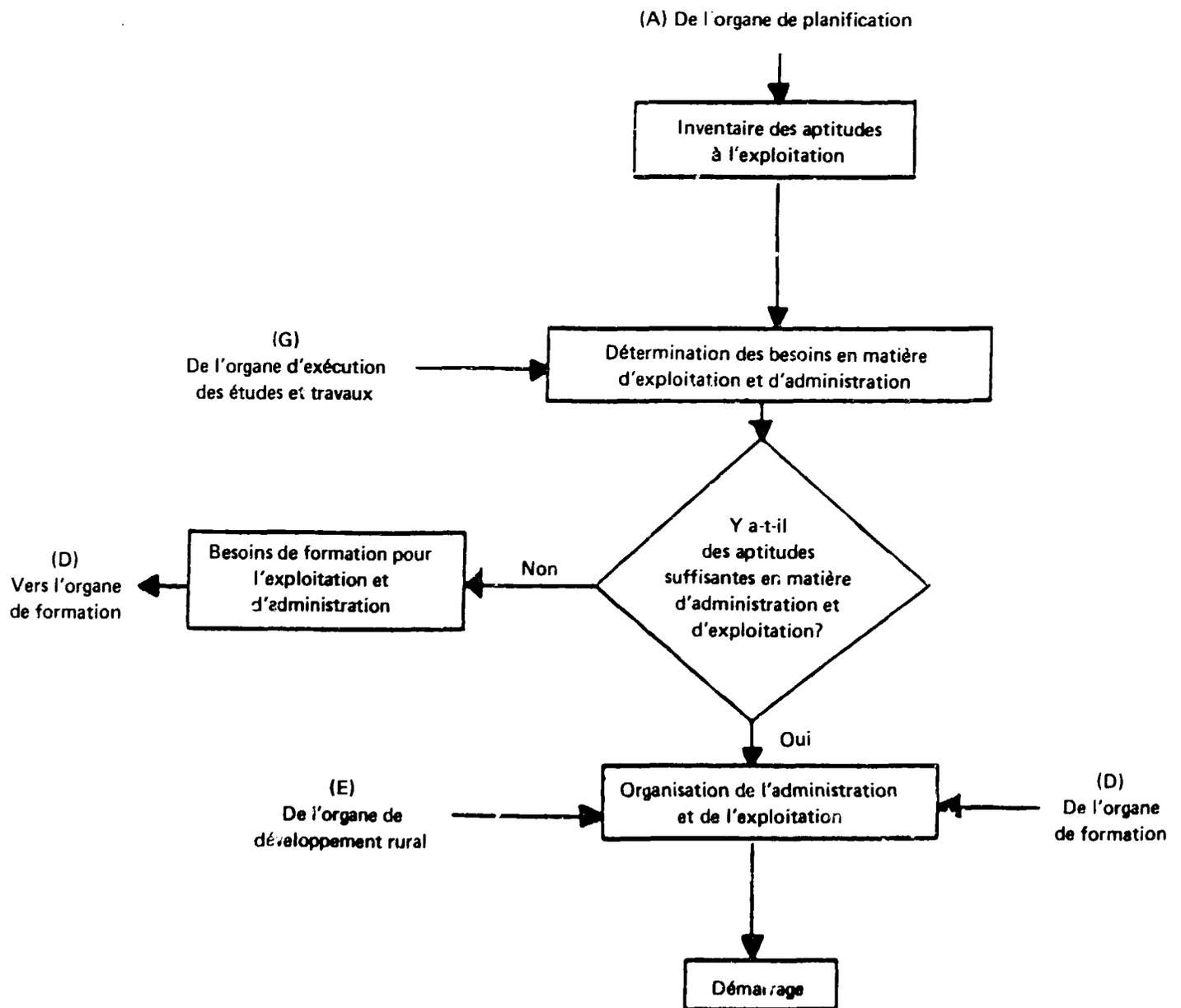
Le choix de l'organisation administrative dépendra de la structure socio-économique du pays, de la mesure dans laquelle des installations analogues y ont déjà été créées, de la capacité et de la nature des entreprises d'électricité, de la dimension et de l'éloignement des installations et enfin des traditions, de l'expérience pratique et des aptitudes à la gestion de la collectivité.

Sans recommander expressément aucune solution déterminée, on peut souvent adopter un modèle combiné comportant une entreprise communale, municipale ou coopérative associée à l'organisme d'état responsable de l'énergie électrique.

DIRECTIVES GENERALES POUR UNE SOLUTION COMPORTANT UNE ASSOCIATION  
ENTRE UNE ENTREPRISE COMMUNALE ET UN OFFICE D'ELECTRIFICATION

- L'entreprise est constituée en fonction des contributions apportées à sa création. La valeur de la main d'œuvre, des matériaux et des services utilisés est considérée comme représentant la contribution de la collectivité locale.
- L'entreprise a un conseil d'administration composé d'un représentant de l'office d'électrification et des organisations ou associations représentatives de la collectivité locale ou la municipalité.
- L'entreprise emploiera le personnel minimum nécessaire à son fonctionnement en vue de satisfaire quatre nécessités essentielles: la gestion des fonds, l'encaissement des factures, l'exploitation de l'installation, l'entretien préventif; le nombre des employés pourra varier en fonction de l'importance de l'installation et du degré d'automatisation de son matériel. Dans les petites installations produisant moins de 100 kW, le personnel pourra se composer d'un ou deux opérateurs chargés, outre leur tâches dans l'exploitation et l'entretien préventif, de travaux administratifs et de l'encaissement des factures. Dans les installations plus grandes desservant un petit réseau, il pourra y avoir aussi un administrateur et un encaisseur.
- Tout le personnel devra dans la mesure du possible être recruté dans la localité et formé par l'office d'électrification national ou régional.
- L'office d'électrification donnera au personnel une formation à l'entretien préventif et fournira un appui technique au cas où des réparations seraient nécessaires, sous la forme de „brigades volantes de réparation” organisées pour desservir des groupes d'installations à l'échelon régional.
- L'entreprise communale percevra et gèrera les fonds encaissés sur factures, et constituera une réserve pour financer les réparations et renouvellements ainsi que si possible un agrandissement de l'installation, outre la couverture des frais d'exploitation et les rémunérations du personnel.
- L'entreprise communale devra faire en sorte que ces fonds ne soient utilisés qu'à des fins utiles au développement du système énergétique local. L'office national ou régional d'électrification sera chargé de contrôler et de vérifier la gestion des fonds.
- L'entreprise communale et l'office d'électrification définiront les conditions de leur coopération dans un accord ou un contrat.
- Les investissements directs fournis par la collectivité locale ou par l'office d'électrification ne seront pas remboursés et ne porteront pas intérêt. Le financement obtenu par voie d'emprunts sera remboursé par l'office d'électrification ou bien en tout ou partie par l'entreprise communale.

FIGURE 16 ORGANE D'EXPLOITATION



## 5.8 BESOINS DANS LE DOMAINE DES RESSOURCES HUMAINES ET DE LA FORMATION

La bonne exécution des plans, programmes et chantiers de MCHÉ exige la promotion d'une formation portant entre autres sur l'emploi de techniques non conventionnelles dans les études de pré-investissement, d'ouvrages de génie civil, de matériel électromécanique, de réparation et d'entretien.

### COMMENT ORGANISER LES COURS DE FORMATION

- Etude de l'infrastructure des établissements de formation.
- Se procurer les fonds pour financer les cours.
- Etablir un programme-pilote de formation sur la mise en valeur des ressources hydrauliques, notamment en zones rurales.
- Etablissement de programmes de formation spécialisée pour les MCHÉ.

Il serait bon de dresser un inventaire des possibilités du pays en matière d'établissements d'enseignement supérieur, d'instituts de recherche et d'écoles spécialisées dans la formation de techniciens de niveau moyen.

La première démarche devrait consister à dresser un programme-pilote de formation sur la mise en valeur des ressources hydrauliques en zones rurales. L'expérience acquise grâce à ce programme permettrait de prendre une décision en ce qui concerne la création d'un cours spécialisé sur les MCHÉ.

Il serait bon que les pays en développement commencent par échanger leurs expériences avant d'entreprendre de compléter leur information en faisant appel à des sources extérieures.

Nous examinons ci-dessous les divers types de cours de formation technique:

### TYPES DE COURS POUR INGENIEURS

- Cours de formation.
- Cours universitaires réguliers sur les techniques non conventionnelles.
- Cours post-universitaires spécialisés.

Les cours de formation, qui sont de courte durée, sont conçus pour renseigner sur toutes les phases de la conception et de l'installation des MCHÉ les ingénieurs dont l'activité a trait à ces centrales.

Il importe de compléter les programmes normaux des universités et instituts techniques en y introduisant des cours sur les MCHÉ et les techniques non-conventionnelles qui s'y appliquent.

Les cours post-universitaires se situeront à un niveau théorique plus élevé et pourront en principe se prolonger pendant toute une année académique.

La conception des cours devra tenir compte des considérations suivantes.

### CARACTERISTIQUES DES COURS D'INGENIEURS

- Les cours doivent être conçus pour consolider les progrès déjà réalisés dans le pays.
- Ils seront organisés pour tous les domaines spécialisés et échelonnés en conséquence. L'accent sera mis sur la rédaction de monographies par des groupes inter-disciplinaires.
- Les cours porteront sur les techniques du génie civil, de l'électricité de la mécanique et de l'industrie, l'administration économique et la recherche opérationnelle.

Nous donnons ci-dessus les critères à recommander pour la préparation de cours destinés aux techniciens de niveau moyen:

### CARACTERISTIQUES DES COURS POUR TECHNICIENS DE NIVEAU MOYEN

- Les aspects théoriques seront envisagés dans le cadre du même programme que celui des ingénieurs et comme faisant partie de la formation au sein de l'entreprise.
- Il est recommandé de créer une „installation-école” pour le personnel technique et les ouvriers qualifiés. Ces installations pourront également expérimenter l'emploi de techniques non conventionnelles.
- Les cours porteront sur le génie civil, le matériel électromécanique et l'administration, le tout essentiellement du point de vue technique.
- Il est très important de former des mécaniciens et des électriciens d'entretien en créant des services de formation dans les principaux ateliers de réparation.

Ces cours ont pour but essentiel de réduire l'écart entre le nombre des gens ayant reçu une éducation supérieure, domaine dans lequel il y a eu un progrès relatif, et le nombre insuffisant de techniciens de niveau moyen: c'est là un phénomène général dans les pays en développement.

S'agissant de la formation des opérateurs de MCHE, il faudrait donner la préférence à des dispositions institutionnalisées conçues pour former un personnel issu des zones rurales. L'expérience acquise enseigne que la première partie de ces cours doit être donnée à l'„installation-école" pour se poursuivre dans les MCHE existantes.

La première partie doit être théorique et pratique et correspondre au niveau d'éducation des opérateurs. S'agissant d'opérateurs ruraux, il faudra qu'ils aient reçu au moins un enseignement primaire complet. Les cours seraient d'une durée de trois mois et porteraient sur les matières suivantes:

#### MATIERES DES COURS D'OPERATEURS

- Sciences fondamentales (éléments de mathématiques, de physique et de chimie).
- Principes fondamentaux du fonctionnement d'une MCHE et de son matériel.
- Exploitation des MCHE et interprétation des manuels de fonctionnement.
- Principes et méthodes d'entretien préventif des MCHE.
- Entretien et réparation des bâtiments et installations.
- Entretien et petites réparations du matériel mécanique.
- Entretien et petites réparations du matériel électrique.
- Dépannages mécanique et électriques.
- Identification des incidents de fonctionnement mécaniques et électriques.
- Notions fondamentales de dessin technique et de lecture de graphiques.
- Notions fondamentales sur les installations électriques.
- Lecture des instruments.
- Travail mécanique au banc (ajustage).
- Sécurité du travail.
- Notions élémentaires d'administration et de comptabilité.

La seconde partie doit être essentiellement pratique et consisterait en une période de formation de deux mois dans une MCHE existante sous la direction d'un opérateur qualifié.

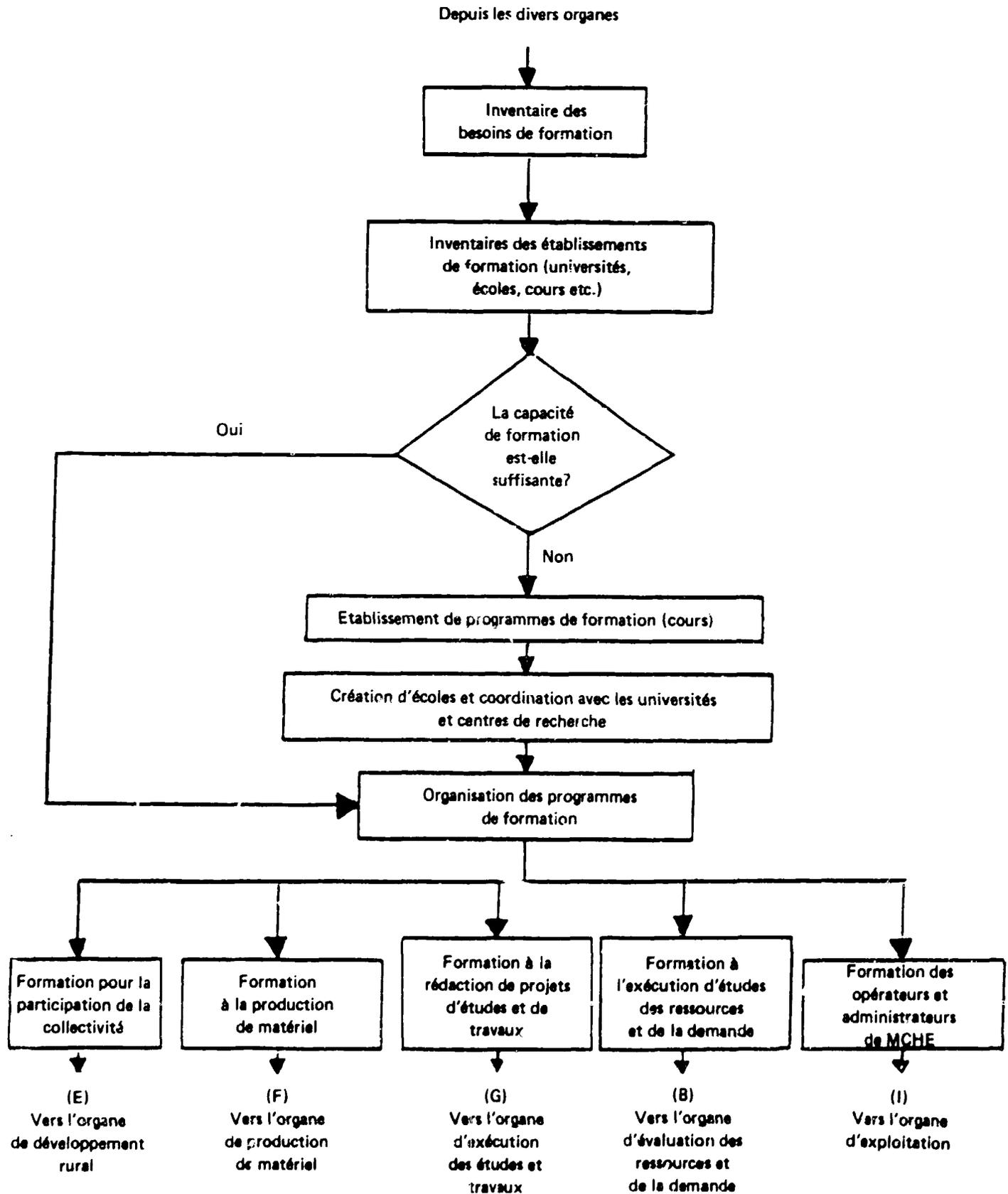
## BESOINS DE MAIN D'OEUVRE A CHAQUE STADE D'UN PROJET DE MCHÉ

- A) Planification et programmation
  - Ingénieurs
  - Economistes et spécialistes des sciences sociales
  
- B) Evaluation globale des ressources et des demandes
  - Ingénieurs civils
  - Hydrologues
  - Géologues
  - Spécialistes de la géomorphologie
  - Ecologistes
  - Ingénieurs électriciens
  - Ingénieurs mécaniciens
  - Economistes de l'énergie
  - Sociologues
  - Topographes
  - Spécialistes de l'hydrométrie
  - Dessinateurs
  - Ingénieurs assistants
  
- C) Etudes de projets déterminés
  - Ingénieurs civils (principalement spécialisés dans la construction et assistés par des hydrauliciens)
  - Ingénieurs mécaniciens
  - Ingénieurs électriciens
  - Topographes
  - Dessinateurs
  - Ingénieurs assistants
  - Vérificateurs
  
- D) Construction
  - Ingénieurs civils
  - Ingénieurs électriciens
  - Ingénieurs mécaniciens
  - Topographes
  - Dessinateurs
  - Inspecteurs du bâtiment
  - Techniciens de l'électricité
  
- E) Exploitation et entretien
  - Ingénieurs électro-mécaniciens
  - Mécaniciens et électriciens
  
- F) Chaque pays doit déterminer ses besoins en personnel de mise au point technique et de production de matériel et de matériaux en fonction de la nature des programmes et des activités qu'il envisage.

Cette énumération des besoins de personnel représente une situation idéale. Dans la pratique, les pays peuvent commencer leurs programmes avec des ressources humaines moins vastes, car on peut s'attendre à ce que, à mesure que les travaux avanceront, ils puissent trouver des solutions définitives à leurs pénuries temporaires de personnel qualifié.

La figure 17 donne un graphique de l'organe de formation.

FIGURE 17 ORGANE DE FORMATION



## 5.9 SYNTHÈSE DU PROCESSUS DE CONSTRUCTION D'UNE MCHÉ (PLANIFICATION EN COURS D'EXECUTION)

Comme on vient de le voir, le processus de prise de décision que comporte la construction d'une MCHÉ doit être complet, car il faut tenir compte de plusieurs facteurs différents.

Comme le montre la figure 18, ce processus commence par une évaluation préalable des perspectives de ces centrales. Cette phase doit comporter une étude sur les problèmes à résoudre, sur les ressources en eau existantes, et sur l'aptitude du pays à entreprendre un ou plusieurs projets de MCHÉ dans le contexte de sa planification nationale du développement, et plus précisément en ce qui concerne l'énergie. Cette étude préalable une fois achevée, il faudra prendre une décision politique: celle de déployer l'effort nécessaire pour construire les installations en question.

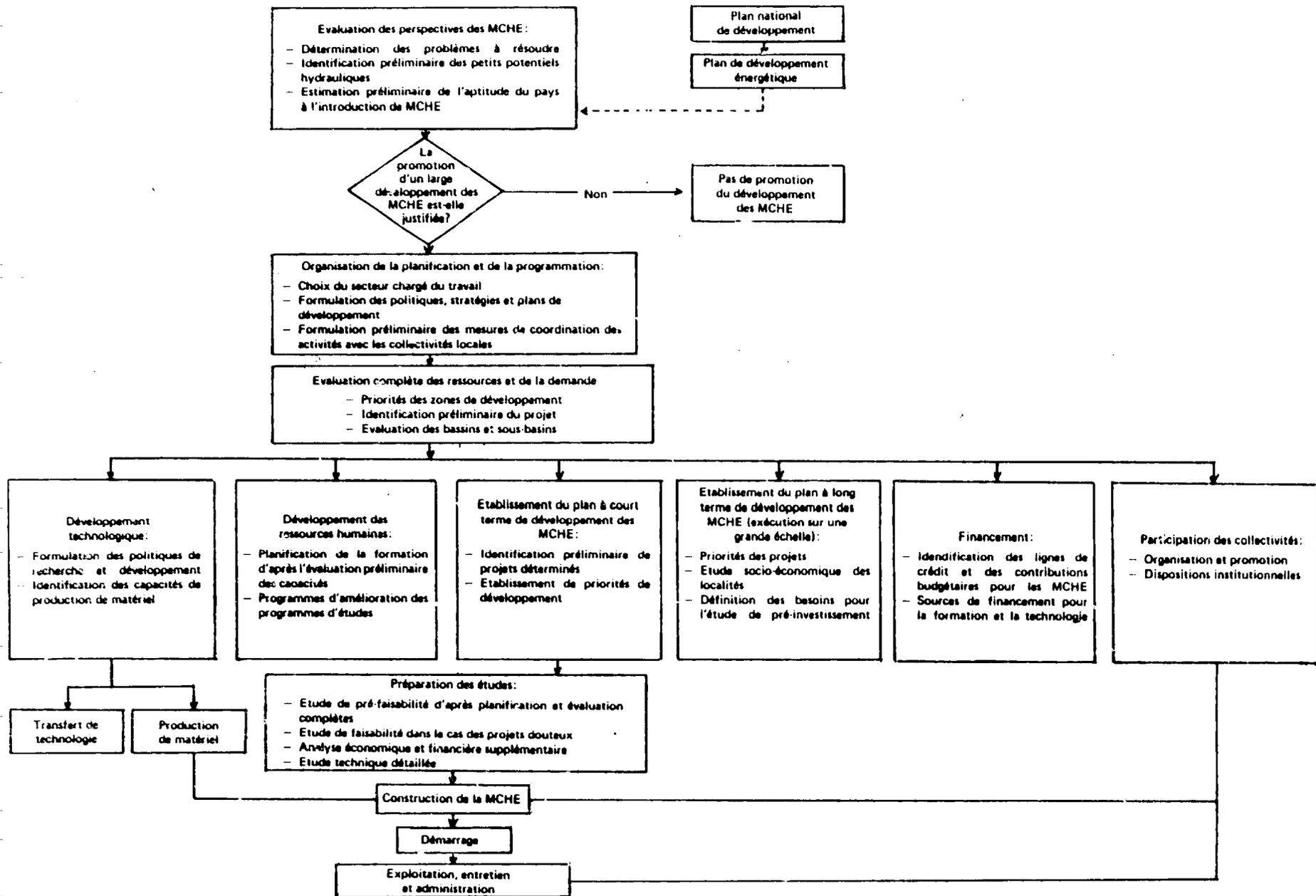
Si l'on décide d'aller de l'avant dans le cadre du plan national de développement, il faut alors créer un cadre d'organisation pour planifier et programmer et prendre des dispositions en vue d'une évaluation, à l'échelon des bassins et sous-bassins, des ressources et de la demande; cette évaluation servira de base à un plan à court terme qui permettra l'exécution immédiate de projets déterminés puis à un plan à plus long terme prévoyant la construction sur une grande échelle de MCHÉ. Parallèlement, il y aura lieu de définir des politiques et de prendre des mesures dans le domaine du financement, du développement des ressources humaines (formation), de la participation des collectivités, et du perfectionnement technique. Ce dernier point joue un rôle décisif pour la détermination de directives portant sur le transfert de technologies et la promotion de la production locale de matériel.

C'est dans le contexte de ces plans et de ces décisions que doivent être entrepris des projets déterminés. Le premier pas dans cette direction consiste en une étude de pré faisabilité si le besoin s'en fait sentir. Il ne faut l'envisager que dans les cas douteux car bien souvent on peut s'en passer et entreprendre immédiatement l'étude technique détaillée à laquelle il suffira d'ajouter une analyse économique et financière.

La seconde phase consistera en la construction de l'installation et la mise en place de son matériel, suivie de son démarrage (voir les détails en 5.6 et 7.4).

Enfin, il faudra organiser l'exploitation de l'installation, ce qui comporte son entretien et son administration. Les chapitres 5.7 et 7.5 décrivent l'essentiel de cette phase.

FIGURE 18 OPERATIONS A EXECUTER POUR LA CONSTRUCTION DE MCHÉ SUR UNE GRANDE ECHELLE



## 6. DEVELOPPEMENT DES CAPACITES TECHNIQUES

### 6.1 EVALUATION DES CAPACITES TECHNIQUES

Le développement technologique d'un pays doit commencer par un inventaire de ses ressources humaines et de son potentiel industriel. S'agissant des techniques nécessaires à la construction et à l'équipement des MCHÉ l'inventaire doit être établi en référence aux ressources humaines ainsi qu'à la production du matériel et des matériaux, comme le montrent les deux tableaux qui vont suivre.

Il faut envisager, si les marchés national et régional le justifient, de mettre au point ou d'acquérir à l'étranger la technique permettant de produire dans le pays les matériels et matériaux qui n'y sont pas encore produits. Sans quoi, il faudra les importer.

## PRODUCTION DES MATERIELS ET MATERIAUX UTILISES POUR LES MCHÉ

- A) Matériaux pour les travaux de génie civil
  - Matériaux en grains; argile et sable
  - Ciment
  - Poutrelles en acier
  - Tubes pour conduite forcée (acier, PVC, polyéthylène, amianta-ciment)
  - Vannes (portes et papillons)
  - Grilles et portes
  - Bois
  - Câbles en acier
  - Briques
  - Tuiles
  - Clous
  - Explosifs
  - Grillages galvanisés
  - Ecrus, boulons, rondelles et vis divers
  
- B) Production de matériel et d'outils pour les travaux de génie civil
  - Pioches
  - Pelles
  - Brouettes
  - Moto-pompes
  - Bétonnières
  
- C) Production de matériaux électro-mécaniques
  - Cuivre et alliages
  - Aciers de construction
  - Acier inoxydable
  - Arbres
  - Paliers
  - Conducteurs électriques
  - Poteaux et accessoires
  - Matériaux électriques
  
- D) Production de matériel électro-mécanique
  - Turbines hydrauliques
  - Régulateurs de vitesse
  - Générateurs de courant
  - Instruments de mesure (voitmétres, ampèremètres, compteurs de facteurs de puissance, compteurs de kilowatts et d'énergie, manomètres)
  - Systèmes de transmission mécanique (engrenages, courroies et coupleges)
  - Transformateurs de mesure et de courant à haute tension
  
- E) Industries
  - Fonderie
  - Technique et travail des métaux
  - Mécanique de précision
  - Electro-technique et industries connexes

## 6.2 MATERIEL

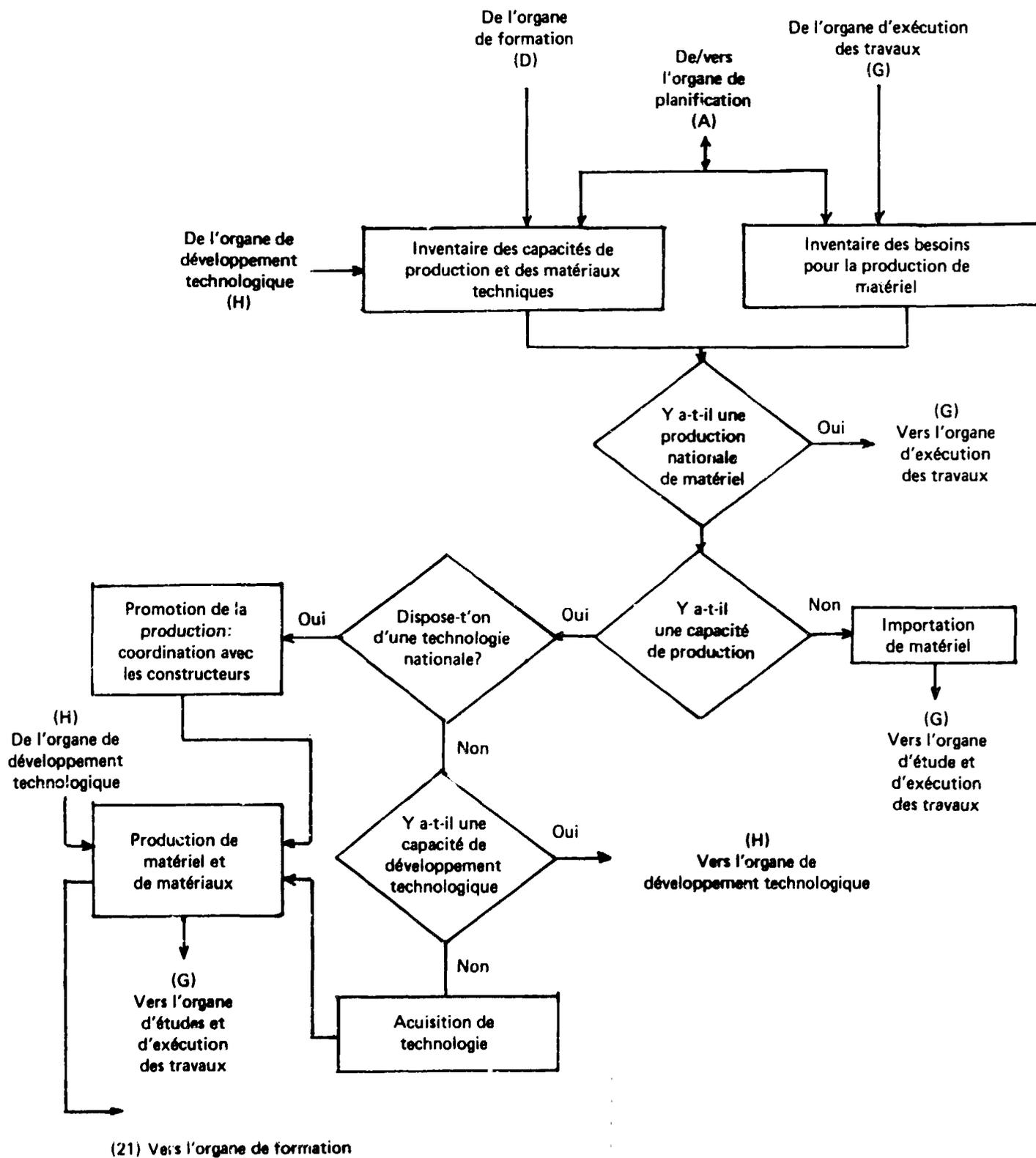
### a) Capacité de fabrication

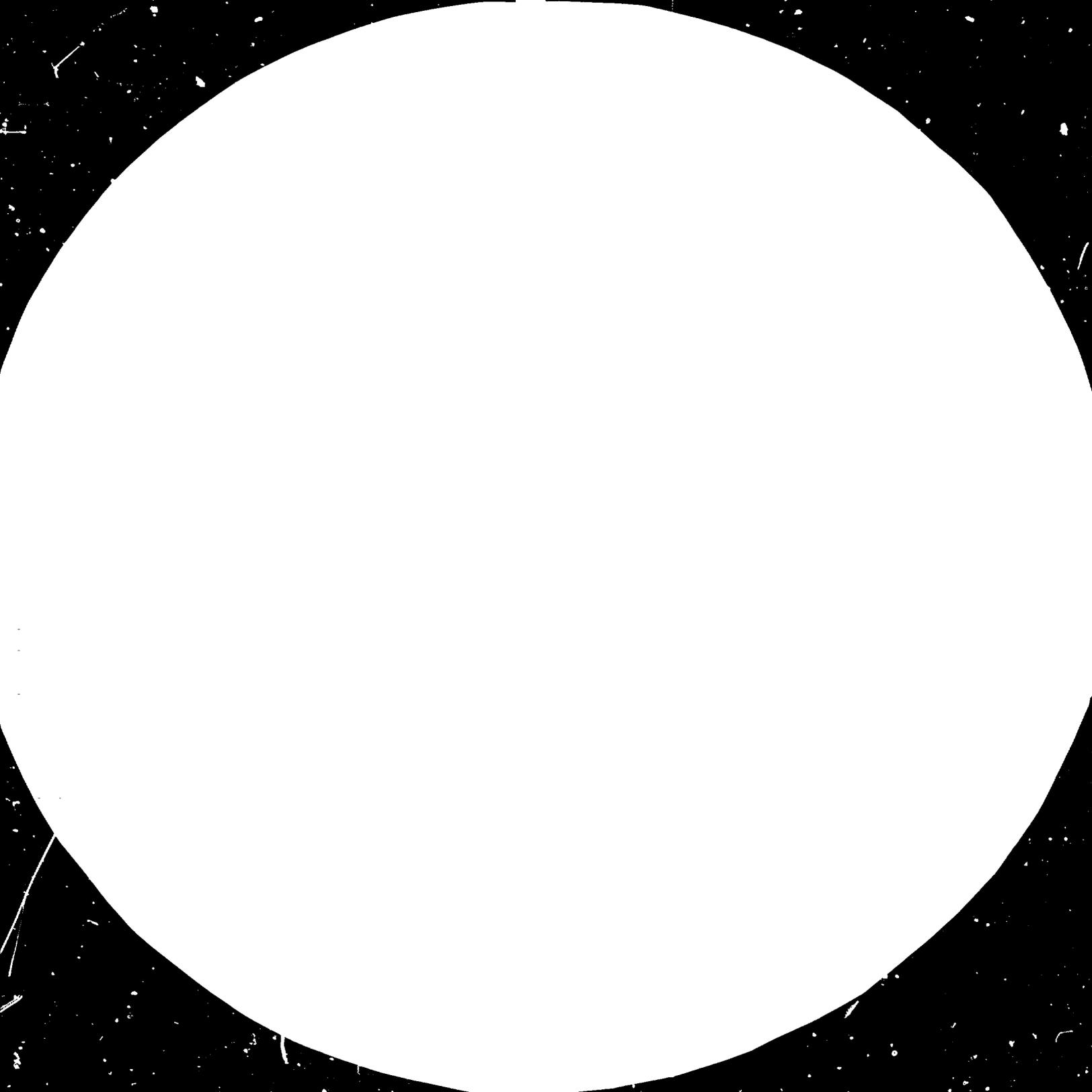
Quand on aura inventorié les matières et matériels produits dans le pays, il faudra faire une étude pour déterminer s'il est bon d'y fabriquer le matériel qui n'y est pas produit. Nous énumérons ci-dessus certains des facteurs dont il faudra tenir compte à cet effet.

### CONDITIONS DE LA PRODUCTION DE MATERIEL DESTINE AUX MCHÉ

- Disposer d'une information technique suffisante sur la production. Les sources possibles sont:
  - La recherche effectuée par le constructeur lui-même.
  - La recherche effectuée par des centres et instituts du pays.
  - L'achat de technologie à des constructeurs et centres de recherche étrangers.
- S'agissant de compléter la fabrication de l'équipement, il faut mettre l'accent sur les articles dont la dimension et la nature correspondent à l'infrastructure productive de chacun des pays en cause.
- Il faut porter au maximum l'emploi et l'adaptation de matériaux d'origine intérieure ou régionale.
- Le matériel produit doit être normalisé.
- Il faut monter des lignes de production reliées à celles du matériel en question, car vu la faible dimension du marché, une production exclusivement consacrée au matériel pour MCHÉ ne se justifierait pas.
- Il faut envisager la production de pièces détachées, et surtout de celles qui subissent une forte usure, et en entretenir un stock en permanence.

FIGURE 19 ORGANE DE PRODUCTION DE MATERIEL







2.5 2.5



View this chart from 25 centimeters (10 inches).  
 The number of the smallest line you can read is your  
 visual acuity.

FIGURE 19 LA PRODUCTION DE MATERIEL INDUSTRIES DONT LA PRODUCTION PEUT ETRE ASSOCIE A CELLE DE CERTAINS MATERIELS ET MATERIAUX POUR MCHÉ

MATERIEL OU MATIERE	PRODUCTION ASSOCIEE
TUYAUX POUR CONDUITES FORCEES	USINES FABRICANT DES TUYAUX QUI SE VENDENT AUX INDUSTRIES LOCALES ET PAS SEULEMENT AUX MCHÉ
TURBINES HYDRAULIQUES ET REGULATEURS DE VITESSE	ENTREPRISES DE TRAVAIL DES METAUX ET DE CONSTRUCTIONS MECANIQUES CONSTRUCTEURS DE POMPES CENTRIFUGES, VANNES, MATERIEL SOUS VIDE, VENTILATEURS, MELANGEURS ET FONDERIES
GENERATEURS DE COURANT	CONSTRUCTEURS D'ALTERNATEURS POUR CENTRALES THERMIQUES ET DE MOTEURS ELECTRIQUES
TRANSFORMATEURS, MATERIAUX ELECTRIQUES ET ACCESSOIRES	CONSTRUCTEURS DE MACHINES ELECTRO-MECAN'QUES

**b) Développement et adaptation de technologie**

La recherche et développement technologique peut être un des instruments essentiels de la promotion des MCHÉ, car les techniques en cause sont arrivées à maturité et l'on n'a besoin que d'adaptation et d'innovation non conventionnelles correspondant aux conditions particulières de chaque pays.

Comme il n'est pas possible d'établir un mode unique d'organisation du développement et de l'adaptation des technologies applicable à tous les pays du Tiers monde, vu la grande diversité des situations en ce qui concerne les activités de recherche, les programmes de construction de MCHÉ et le développement industriel, le tableau ci-dessous ne donne que quelques recommandations générales et propose des modes d'organisation possibles, à l'intention des pays qui cherchent à pousser leurs programmes d'élaboration et d'adaptation technologique pour les MCHÉ.

L'élaboration et l'adaptation des techniques en matière d'équipement devront être considérées comme faisant partie intégrante des plans nationaux de développement de chaque pays; il faudra donc à cet effet déterminer une politique précise, des objectifs généraux et l'affectation des ressources nécessaires.

## RECOMMANDATIONS POUR L'ORGANISATION DE LA CREATION ET DE L'ADAPTATION DE TECHNIQUES DESTINEES AUX MCHÉ

- Il faudra établir un projet financier bien défini dès le stade de la fixation du programme, afin d'éviter que le manque de fonds ne rende inutiles les recherches.
- Pour assurer la bonne administration du programme, une surveillance opérationnelle des résultats, des temps d'exécution et de l'emploi des fonds s'impose.
- Il faudra définir nettement, dès le stade initial du programme, la forme et les caractéristiques des résultats à atteindre, ce qui pourra nécessiter une diffusion et/ou un transfert de technologie (voir figure 20).
- L'exécution du programme pourra s'effectuer selon des critères industriels divers fournis par des universités, des instituts de recherche, des entreprises industrielles et/ou des offices d'électrification.
- Normalement le programme s'exécutera d'après des lignes de recherches ou des groupes de projets reliés entre eux. Chacun d'eux exige, préalablement à l'exécution, une définition brève mais nette.
- Le travail comporte deux types d'activités: génie civil et installation d'une part; conception et fabrication du matériel et des matériaux de l'autre.
- Chaque projet doit comporter une séquence d'exécution bien définie. La figure 21 donne un exemple de méthode à cet effet.
- L'équipe d'exécution ne se compose pas nécessairement d'„experts”. On n'a besoin que d'un ou deux spécialistes expérimentés, les autres pouvant être des jeunes gens du métier ayant fait des études sérieuses.
- Il y a lieu d'établir des directives pour la rédaction, à chaque stade du projet, de documents et de rapports indiquant les aspects positifs et négatifs ainsi que les échecs, afin s'assurer sans interruption l'accumulation des connaissances nécessaires pour l'exécution du programme et d'éviter ainsi la nécessité de la présence personnelle de chaque exécutant.
- Pendant la mise en œuvre du programme, l'organe d'exécution doit rester en contact étroit avec l'industrie et l'entreprise chargée de l'électrification afin d'obtenir des résultats applicables dans la pratique.
- S'agissant de l'installation et de la construction des ouvrages de génie civil, les résultats peuvent être diffusés au moyen de manuels ou de brochures.
- S'agissant du matériel, il faudra communiquer les résultats à l'industrie afin de l'encourager à en entreprendre la production, et fournir à l'entreprise toute l'information technique voulue.
- La création et l'adaptation technologique en ce qui concerne le matériel devra porter principalement sur la mise au point de techniques non conventionnelles, compte tenu de la capacité industrielle de chaque pays.

FIGURE 20 ORGANE DE DEVELOPPEMENT TECHNOLOGIQUE

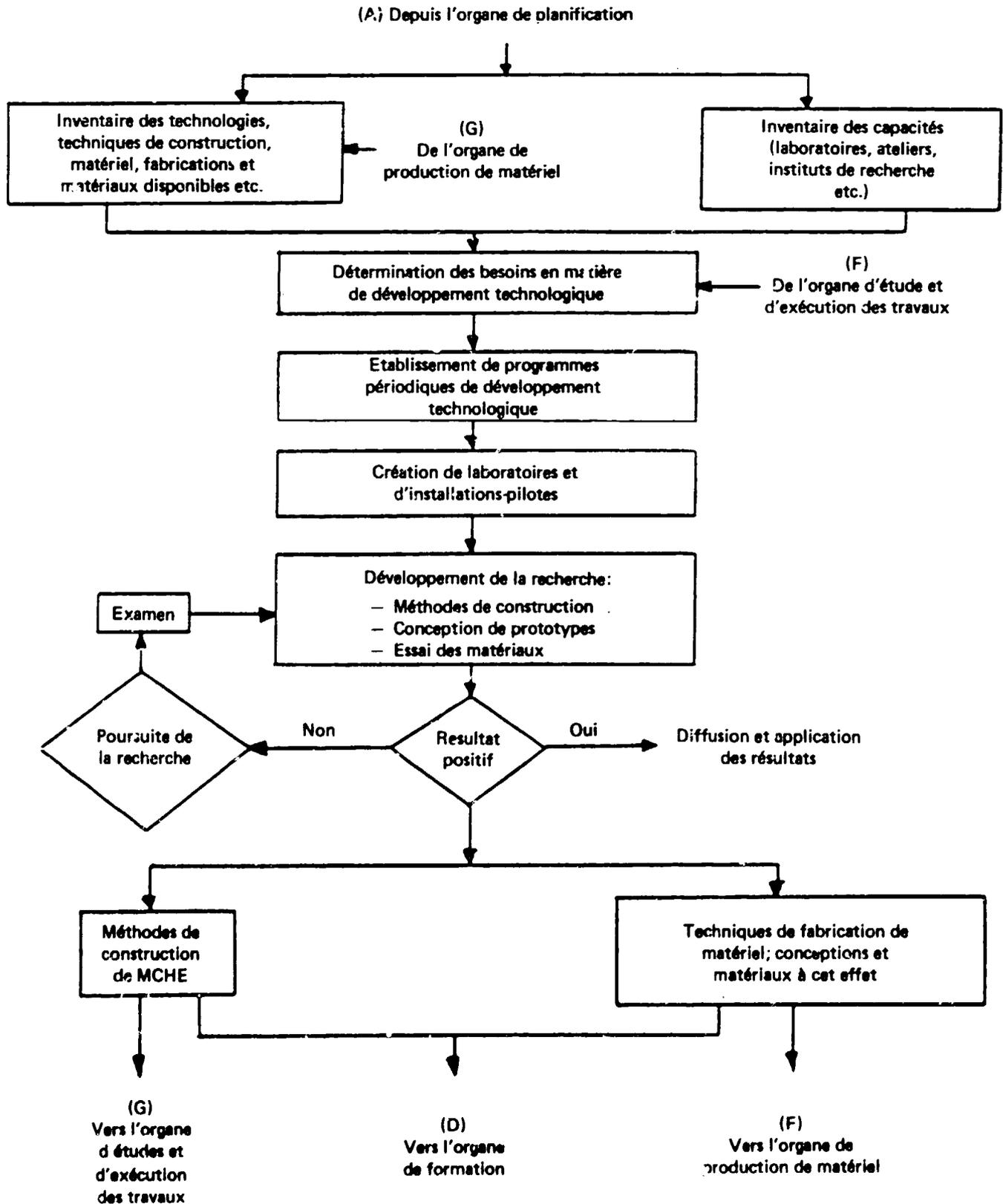


FIGURE 21 SEQUENCE TYPE DE L'EXECUTION D'UN PORJET DETERMINE DE RECHERCHE TECHNOLOGIQUE DE MATERIEL POUR MCHÉ

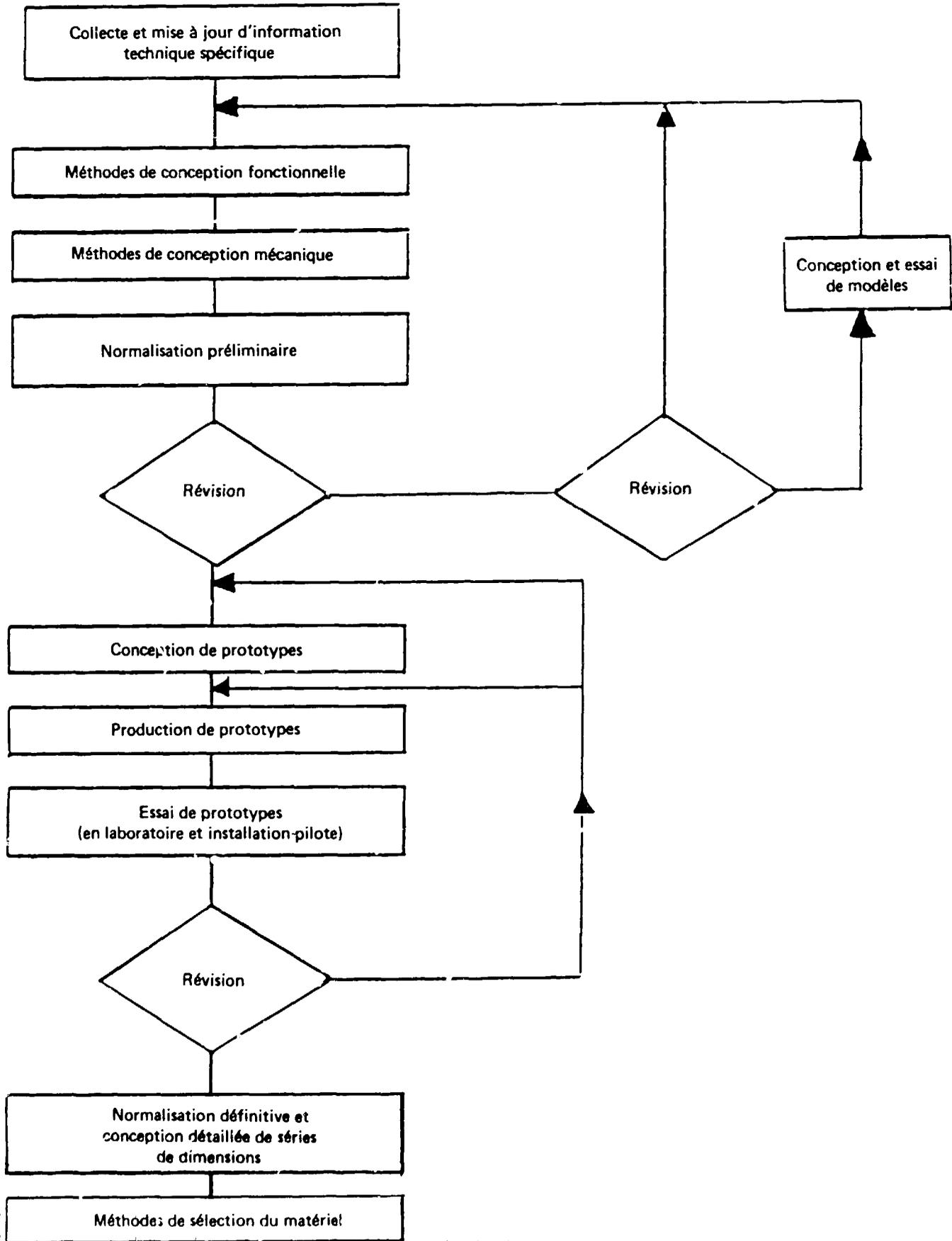
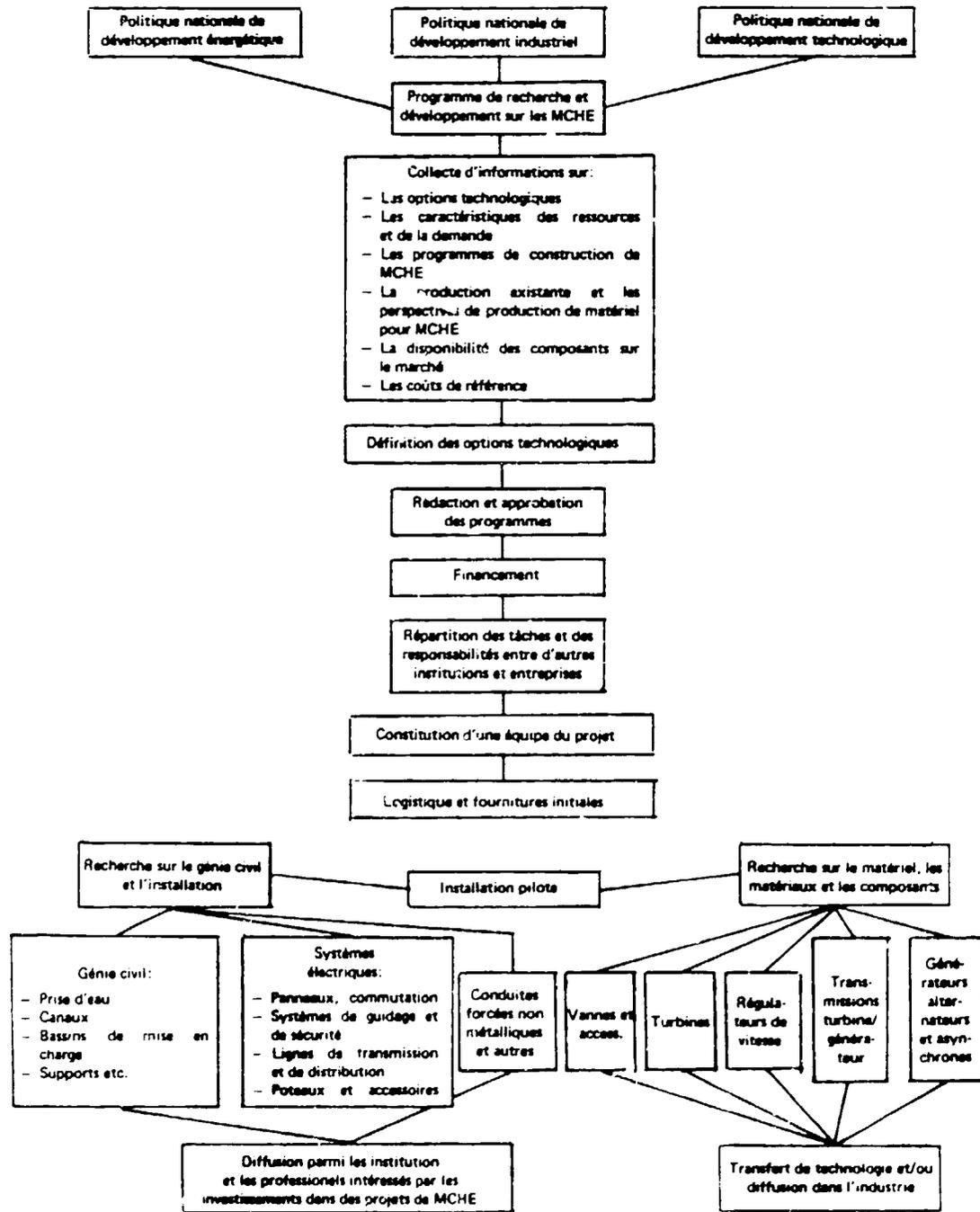


FIGURE 22 STADES DE L'ELABORATION D'UN PROJET DE RECHERCHE TECHNOLOGIQUE POUR MCHE



**LE MATERIEL A UTILISER DANS LES MCHÉ : OPTIONS TECHNOLOGIQUES**

<b>MATERIEL</b>	<b>TYPE</b>	<b>DEVELOPPEMENT TECHNIQUES RECOMMANDES</b>
Turbines hydraulique	PELTON, MICHELL-BANKI, FRANCIS, KAPLAN, OU A FLUX AXIAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sélection de deux ou trois types de turbine à la lumière des caractéristiques des ressources et de la demande du pays;</li> <li>- Mise au point de modèles hydrauliques et mécanique;</li> <li>- Etude des questions ayant trait, pour chaque pièce, à la fabrication et aux matériaux, à la lumière des caractéristiques de la production industrielle du pays;</li> <li>- Etablissement de méthodes de sélection des turbines;</li> <li>- Etablissement de méthodes de montage et de démontage du matériel;</li> <li>- Rédaction de recommandations concernant l'exploitation et l'entretien.</li> </ul>
Régulateur de vitesse	OLEO-MECANIQUE, ELECTRIQUE ET ELECTRONIQUE, A DISPERSION D'ENERGIE	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Choix du type de régulateur le mieux adapté aux caractéristiques de l'exploitation, à la capacité industrielle et à l'expérience technologique du pays;</li> <li>- Conception fonctionnelle et mécanique;</li> <li>- Normalisation correspondant à celle des turbines;</li> <li>- Rédaction de manuels de fabrication;</li> <li>- Etude des questions relatives à la fabrication et aux matériaux;</li> <li>- Etablissement de méthodes de sélection;</li> <li>- Rédaction de recommandations sur le fonctionnement et l'entretien;</li> </ul>
Générateurs de courant	ALTERNATEURS POUR MCHÉ, MOTEURS A INDUCTION SERVANT DE GENERATEURS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Etude de l'adaptation des alternateurs à la production d'électricité par la voie thermique surtout en ce qui concerne la protection contre l'emballement, de façon à pouvoir les employer avec des turbines hydrauliques;</li> <li>- Adaptation de moteurs électriques à leur emploi comme générateurs autonomes;</li> <li>- Rédaction de recommandations sur le fonctionnement et l'entretien;</li> <li>- Conception générale des générateurs et des procédés de fabrication les mieux appropriés.</li> </ul>
Transformateurs	HAUTE TENSION MESURE	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Etudes de modèles et de formes de construction, compte tenu des capacités industrielles du pays;</li> <li>- Normalisation;</li> <li>- Rédaction de recommandations pour le fonctionnement et l'entretien.</li> </ul>
Matériels et matériaux électriques divers	TABLEAUX DE COMMANDE, CONDUCTEURS, ISOLATEURS, PARAFONDRES	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Etudes de la production de ces matériels après normalisation;</li> <li>- Etablissement de méthodes de sélection;</li> <li>- Recommandations pour l'installation et l'entretien.</li> </ul>

c) **Acquisition de technologie**

Selon le niveau de développement atteint par chaque pays en ce qui concerne l'aptitude à créer des techniques utilisables, les possibilités d'exécution de projets et les perspectives de mise en œuvre de la production de matériel, il restera nécessaire d'acquérir à l'étranger une plus ou moins grande quantité de technologie.

On peut considérer comme une acquisition de technologie les divers procédés d'acquisition de connaissances utilisables pour la production, qui comprennent l'assistance technique et la fourniture d'information, l'achat d'„enveloppes“ technologiques contenant de quoi établir des lignes de production, ainsi que des plans et instructions détaillés en vue de la fabrication, du montage et des services techniques.

La plupart des pays ont des lois régissant l'acquisition de technologies et c'est pourquoi il est impossible de donner des directives précises à ce sujet; on peut toutefois faire des recommandations générales portant sur l'acquisition de techniques destinées à la fabrication de matériel pour MCHÉ.

Dans ce domaine, il s'agit avant tout du matériel électro-mécanique et de ses accessoires.

Nous donnons ci-dessous quelques observations et recommandations à ce sujet:

- Si l'on veut atteindre un développement technologique compatible avec les caractéristiques et les aptitudes de l'industrie d'un pays, il est bon de limiter l'acquisition de technologie aux cas dans lesquels on juge qu'il n'y a pas intérêt à créer une technologie, ou bien lorsque les travaux de recherche ne débouchent pas sur des perspectives d'application pratique dans un délai plus bref que celui qu'il faudra à l'industrie pour atteindre les mêmes résultats.
- L'acquisition de technologies doit s'effectuer par voie de sélection, et se limiter aux éléments que le niveau de développement atteint permet de produire entièrement, et dans des délais compatibles avec les priorités établies pour le développement technologique national. Il faut organiser cette acquisition de manière à ce qu'elle apporte à ce développement une contribution réelle en permettant l'assimilation des connaissances par les techniciens du pays. Il faut aussi éviter les acquisitions camouflées en programmes d'assistance technique qui ne visent qu'un objectif commercial, celui d'acquérir des licences exclusives.
- L'acquisition de technologie se justifie lorsque la complexité du matériel ou de certains de ses éléments dépassent les aptitudes du pays. Elle doit se borner aux éléments nécessaires qui ne peuvent être conçus ni fabriqués dans le pays sans une assistance étrangère. Il faut éviter les restrictions qui obligent à importer des pièces qui pourraient être fabriquées dans le pays et par contre favoriser la fabrication sur place de composants et l'emploi de matériaux du pays.
- Avant d'entreprendre un transfert de technologie, il faut analyser de la façon la plus complète et la plus approfondie les autres solutions possibles. On groupera dans une même rubrique le plus grand nombre possible de solutions à choisir, et l'on fixera les critères d'évaluation préalablement à l'analyse. On favorisera les techniques adaptées au développement industriel technologique du pays et qui font principalement appel aux matières premières et à la main d'œuvre locales.

- Les contrats d'achat de technologie seront conclus pour des durées déterminées à l'expiration desquelles cessera l'obligation de payer des redevances; ces dernières ne devront être fixées qu'en pourcentage des ventes et ne comporter aucune obligation de paiement minimum. Il faudra également éviter les dispositions restreignant le marché des produits et refuser toute obligation d'acheter à un fournisseur déterminé, pour conserver ainsi la faculté d'acheter sur le marché si l'on y trouve des conditions plus avantageuses.
- Pour améliorer la capacité de négociation des entreprises nationales dans l'achat de technologie, il importe de définir une politique bien nette en matière d'acquisition et de passer des lois limitant l'imposition de clauses restrictives par les fournisseurs.

d) **Les importations de matériel**

Lorsque la politique industrielle d'un pays ou sa capacité de production sont de nature à ne pas justifier la fabrication locale de certains types ou de certaines dimensions de matériel, il faudra les importer. On aura alors besoin de personnel formé à l'étude et à la sélection des solutions possibles et du matériel technique nécessaire pour l'exécution des essais de recette. Les établissements de recherche technologique peuvent à cet égard jouer un rôle important.

L'achat de matériel doit tenir compte des considérations techniques suivantes:

- Les possibilités de fabriquer et de réparer dans le pays des composants et des pièces de rechange.
- Les caractéristiques d'entretien et d'exploitation adaptées aux conditions d'utilisation.
- L'aptitude à faire face à des situations résultant d'incidents de fonctionnement.
- La facilité de montage et de démontage des pièces et accessoires.

Il faudra obtenir des fournisseurs, non seulement l'exécution de leurs engagements en matière de spécifications techniques, de prix et de délais de livraison, mais aussi les éléments suivants:

- Les dessins du matériel.
- Des informations sur les matériaux utilisés pour les principaux composants pouvant nécessiter des réparations.
- Des listes de pièces de rechange.
- Des instructions pour le montage, le démontage et la réparation.
- Une assistance technique pour la formation du personnel local chargé de l'entretien et de la réparation du matériel.

Les appels d'offres pour la fourniture de matériel électro-mécanique destiné aux MCHE doivent contenir les indications techniques ci-dessous:

- La hauteur de chute utilisable.
- La puissance génératrice maximale aux contacts du générateur.
- La fréquence installée.
- La tension installée.
- Les conditions environnementales de fonctionnement du matériel.

Il faudra également demander aux fournisseurs de donner les indications techniques suivantes:

- Type et spécifications de la turbine.
- Courbes de rendement de la turbine dans différentes conditions de charge.
- Type et spécifications du régulateur de vitesse.
- Type de transmission mécanique ou de couplage direct entre turbine et générateur.
- Spécification du tableau de commande, y compris les portées et la précision des instruments qu'il comporte.

Préalablement à tout appel d'offres, il est bon d'établir une liste de fournisseurs possibles à qui l'on demandera de donner des renseignements sur:

- La fiabilité et le rendement de leur matériel.
- Les indices de prix.
- Les conditions de crédit.
- La durée de vie probable du matériel.
- Les délais de livraison.
- La facilité d'adaptation du matériel aux possibilités de l'industrie locale en matière de fabrication de pièces de rechange.

### 6.3 CREATION ET ADAPTATION DE TECHNOLOGIES POUR LA CONSTRUCTION

Il est essentiel, à cet égard, de souligner la nécessité de recherches tant sur les méthodes même de construction que sur l'emploi de matériaux non conventionnels. Des installations-pilotes assureront la liaison entre la recherche et les projets d'investissement.

Bien que la conception et l'exécution des ouvrages de génie civil soient en grande partie déterminées par la nature du site, il faut envisager la possibilité de rédiger des manuels traitant de la normalisation ou de la seminormalisation de ces ouvrages.

Il est aussi très important de faire des recherches sur la production d'éléments préfabriqués destinés à ces ouvrages.

Les institutions qui se livrent à des recherches sur les matériaux et autres éléments des MCHE devront coordonner leurs travaux avec ceux des bureaux d'études techniques susceptibles d'effectuer des recherches dans le cadre de programmes d'investissement pendant et après la construction.

La recherche sur les matériaux doit tendre à déterminer leurs propriétés hydrauliques et mécaniques.

D'une façon générale, deux solutions techniques sont possibles en ce qui concerne les ouvrages de génie civil: la solution traditionnelle repose sur l'emploi du béton, de fers à béton et d'aciers de construction en envisageant séparément les structures appropriées à une MCHE, et la solution qui comporte un emploi minimal de ces matériaux et s'efforce d'intégrer les structures (par exemple en réunissant le bassin de décantation et le bassin de mise en charge) ainsi que d'utiliser l'infrastructure existante (canaux d'irrigation par exemple). S'agissant des méthodes de construction, il y a celles qui reposent sur un emploi intensif de main d'œuvre (dans le meilleur des cas avec la participation de la collectivité locale), celles qui font appel à un emploi intensif de machines et les solutions mixtes.

Il y a grand intérêt à promouvoir ou à appuyer des études destinées à mieux connaître les capacités existantes de production de matériaux afin de pouvoir l'intensifier.

Les techniques de construction seront utilisées au moyen de manuels sur la conception et l'exécution des ouvrages.

#### 6.4 LISTE DE POINTAGE DES OPTIONS TECHNOLOGIQUES

On ne saurait fixer irrévocablement les choix technologiques les mieux appropriés à chaque pays parce que les conditions qui déterminent l'adoption de programmes de création et d'adaptation de technologies destinées aux MCHE sont variables, comme le sont aussi celles qui ont trait à la géographie, à l'hydraulique, à la main d'œuvre, à la disponibilité de personnel qualifié, au financement etc. Tous ces éléments influenceront sur les choix technologiques.

Nous présentons ci-après, compte tenu de ces divers éléments, quelques uns des domaines susceptibles d'intéresser le développement technologique:

##### a) Construction

Nous examinons ci-dessous les divers matériaux utilisables pour les ouvrages de génie civil. Il importe de souligner que dans le contexte des technologies non conventionnelles, on a tenu compte des éléments suivants: emploi et amélioration des prises d'eau et canaux d'irrigation existants; bassin de mise en charge „en ligne" avec le canal et comprenant le bassin de décantation; aménée de la conduite forcée en matériaux non métalliques, barrages de construction artisanale, réduction au minimum de l'emploi de matériaux coûteux tels que le béton et emploi de matériaux non traditionnels tels que ferro-ciment, ciment naturel etc.

La spécification des matériaux doit tenir compte des normes nationales et, en l'absence de ces dernières, des normes étrangères les mieux appropriées. Pour pouvoir établir des spécifications appropriées et obtenir un bon contrôle de la qualité, il y a intérêt à favoriser l'élaboration de normes nationales pour les principaux matériaux employés dans les MCHE.

**OPTIONS TECHNOLOGIQUES CONCERNANT LES MATERIAUX**

<b>MATERIAUX</b>	<b>EMPLOI</b>	<b>AVANTAGES</b>	<b>INCONVENIENTS</b>
Argile ou limon	Barrages ou parois intérieures	Forte imperméabilité	Fissures possibles
Matériaux granulaires	Barrages ou parois intérieures	Meilleure résistance aux tensions extérieures	Faible imperméabilité
Bois	Barrages, conduites forcées, chambre des machines, portes	Bon marché	Peu durable
Gabions	Barrages, canaux, protection des talus	Bon marché, facilité d'adaptation en site	Perméable dans la période initiale
Béton	Barrages, canaux, ancrages, parois, bassin de mise en charge chambre des machines	Durable; résistant aux fortes compressions	Coûteux; peu indiqué pour les ouvrages sur torrents
Ferro-ciment	Revêtements, bassin de décantation, bassin de mise en charge	Bon marché; bonne résistance générale	Faible résistance aux charges concentrées et pénétrantes, construction difficile
Ciment naturel	Revêtements, barrages	Bon marché	Peu durable, peu résistant
PVC	Conduite forcée	Bon marché; léger, installation rapide, facilement adaptable au profil, faibles pertes de hauteur	Relativement fragile; enfouissement recommandé; faible résistance au rayonnement solaire
Polyéthylène	Conduite forcée	Longueurs continues, forte résistance à la déformation, facilité de transport et d'installation; bonne résistance au choc et au rayonnement solaire	Nécessité de joints spéciaux en acier difficiles à installer; fortes pertes de hauteur
Amiante-ciment	Conduite forcée	Meilleur marché que le PVC; bonne adaptation au profil de la chute; joints d'expansion non nécessaires; réduction des pertes de hauteur	Relativement lourd et fragile, enfouissement recommandé

b) Matériel

La liste ci-dessous énumère les principaux matériels employés dans les MCHE, ainsi que des recommandations concernant les projets de recherche technologique.

**GENERATEURS HYDRAULIQUES**

TYPE	CARACTERISTIQUES GENERALES
PELTON	<ul style="list-style-type: none"> <li>- C'est une turbine à flot tangentiel comportant un ou plusieurs becs et une roue portant plusieurs godets.</li> <li>- Les turbines Pelton ne sont utilisables qu'aux vitesses spécifiques faibles. Avec une grande hauteur de chute et des débits réduits, cette turbine peut avoir un rendement de 85 pour cent environ.</li> <li>- Sa fabrication exige une installation industrielle capable d'effectuer des opérations de fonderie, de soudage, de coupage et d'usinage élémentaire (tournage, rabotage et perçage). La roue et les becs sont normalement produits en fonderie.</li> </ul>
MICHELL-BANKI	<ul style="list-style-type: none"> <li>- C'est une turbine à admission partielle, à flux transversal à entrée radiale; elle se compose d'un injecteur et d'une roue à plusieurs lames courbes.</li> <li>- Son domaine d'emploi se situe entre celui de la Pelton à double bec et celui de la turbine Francis à grande vitesse, pour des hauteurs de chute moyennes et des débits modérés. Son rendement est de l'ordre de 80 pour cent et elle peut donner jusqu'à 1000 kW.</li> <li>- Grâce à sa géométrie particulière, la turbine Michell-Banki est facile à construire et est considérée comme peu coûteuse.</li> <li>- Sa fabrication exige une installation industrielle capable de faire des opérations de soudage, de coupage et d'usinage élémentaire (tournage, rabotage et perçage). On peut la construire avec des pièces soudées.</li> </ul>
FRANCIS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cette turbine n'est utilisable qu'aux vitesses spécifiques moyennes et, comme pour la Michell-Banki, avec des hauteurs moyennes et des débits modérés. Son rendement est de 83 à 90 pour cent.</li> <li>- Sa fabrication exige une installation industrielle équipée pour la fonderie, le soudage, le perçage et l'usinage.</li> </ul>
TYPE AXIAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>- C'est une turbine à réaction à flux axial comportant, dans le cas particulier des turbines Kaplan, un système de réglage de la vitesse incorporé à la roue. Elle n'est utilisable qu'aux vitesses assez élevées. Fonctionnant avec des hauteurs de chute très faibles et de grands débits, elle peut atteindre des rendements de l'ordre de 90 pour cent.</li> <li>- Sa fabrication exige une installation industrielle capable de faire des opérations de fonderie, de soudage et de coupage, munie des machines outils essentielles.</li> </ul>

REGULATEURS DE VITESSE POUR TURBINES HYDRAULIQUES

TYPE	CARACTERISTIQUES GENERALES
<p>ELECTRIQUE- ELECTRONIQUE (avec réglage du débit)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Ce régulateur est un dispositif électronique conçu pour détecter les variations de la vitesse de la turbine d'après celles de la fréquence qui accompagnent une modification de la charge; il comporte un moteur électrique qui actionne un mécanisme d'ouverture et de fermeture de la soupape de réglage du débit dans les deux sens.</li> <li>– Le dispositif électronique étant toujours le même quelle que soit la puissance, ce régulateur ne coûte pas cher à fabriquer; c'est surtout le coût de moteur électrique qui varie.</li> <li>– Sa fabrication exige une installation industrielle spécialisée dans les travaux électriques et mécaniques et possédant un atelier d'électronique.</li> </ul>
<p>TYPE A DISSIPATION D'ENERGIE (électrique-électronique)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Ce régulateur se compose d'un dispositif électronique conçu pour détecter les variations de vitesse de la turbine d'après celles de la fréquence qui accompagnent une modification de la charge et d'un système de résistances électriques qui augmente ou réduit des charges fictives afin de maintenir constante la charge de la turbine.</li> <li>– Le dispositif électronique est analogue à celui du régulateur électrique électronique et comporte un réglage positif de l'eau.</li> <li>– Sa fabrication exige une installation industrielle possédant un atelier d'électronique.</li> </ul>
<p>OLEO-MECANIQUE</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Ce type de régulateur se compose d'un élément sensible à la vitesse, ayant d'ordinaire la forme d'un pendule centrifuge, d'un élément de répartition des forces comportant une soupape de distribution d'huile sous pression et un servomoteur, d'un système de compensation et de renversement conçu pour stabiliser la vitesse du groupe, d'une pompe à engrenage ou à ailette coulissante, et de plusieurs dispositifs de déclenchement qui commandent la soupape de réglage du débit de la turbine.</li> <li>– Ce régulateur est relativement plus cher à fabriquer que le modèle électro-électronique, et sa production exige une installation industrielle équipée pour des opérations de soudage, de coupage et d'usinage de précision.</li> </ul>

### GENERATEURS ELECTRIQUES

TYPE	CARACTERISTIQUES GENERALES
ALTERNATEURS	<ul style="list-style-type: none"><li>– Ce sont des générateurs comportant un régulateur de tension et des bobines renforcées capables de supporter des emballements de la turbine.</li><li>– Par raison d'économie il est bon d'employer dans les MCHÉ des alternateurs à deux ou quatre pôles.</li><li>– La fabrication exige une installation électro-mécanique disposant des machines-outils essentielles et de matériel de bobinage, de soudage et de coupage.</li></ul>
GENERATEURS A INDUCTION	<ul style="list-style-type: none"><li>– Ce sont des moteurs à induction fonctionnant comme générateurs soit indépendamment soit en parallèle avec un alternateur.</li><li>– Leur fabrication n'exige rien de plus qu'une adaptation de moteurs électriques existants et peut être entreprise à l'usine même.</li></ul>

## 7. ETUDES DE PROJETS DETERMINES

### 7.1 EVALUATION SPECIFIQUE DE LA DEMANDE ET DES RESSOURCES

#### a) La demande

Il importe de ne pas perdre de vue que c'est sur la demande évaluée dans la phase de planification que reposera la phase des projets déterminés.

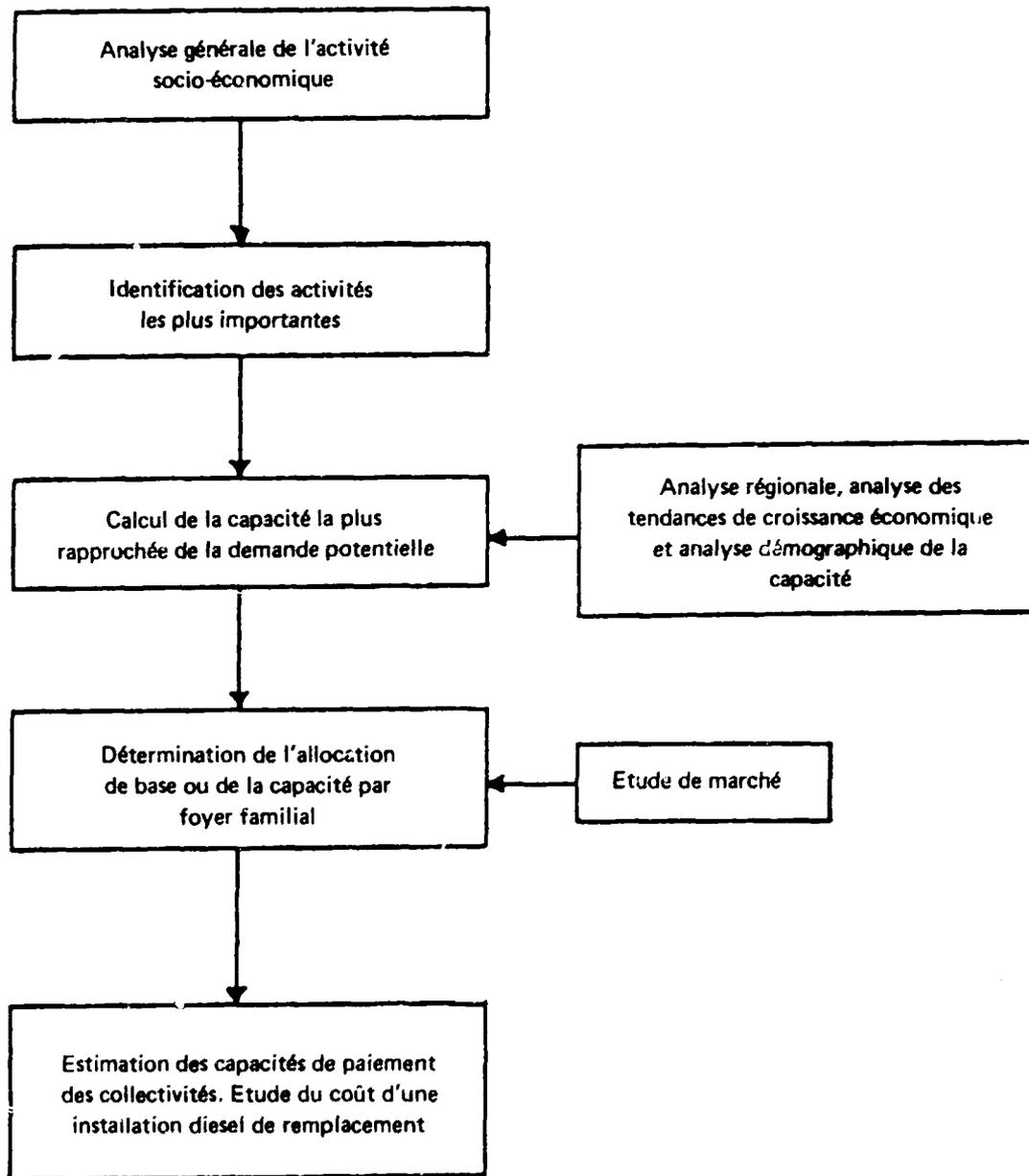
La demande s'évalue à la lumière des conditions locales et régionales. On calcule la demande totale de courant et l'on fait une estimation globale de sa future croissance en fixant un objectif qui devra être atteint dans un délai égal à celui qu'exigerait un raccordement au réseau.

Ces études nécessitent des recherches sur le terrain et un traitement des données constatées.

#### ACTIVITES NECESSAIRES POUR L'EVALUATION DE LA DEMANDE SPECIFIQUE

- Détermination du principal complexe de développement de la zone.
- Détermination de la zone d'influence du complexe de développement.
- Inventaire des activités socio-économiques.
- Détermination des facteurs possibles de croissance future dans la zone.
- Analyse des données provenant des recherches sur le terrain et d'autres sources.

Les phases de l'estimation de la demande peuvent se dérouler dans l'ordre indiqué par le diagramme ci-dessous:



**b) Les ressources**

Les ressources s'évaluent d'après les données cartographiques, géologiques, géomorphologiques, hydrologiques et éconologiques existantes, complétés par des relevés hydrologiques et topographiques sur le terrain.

Les eaux d'amont éventuelles sont déterminées d'après les renseignements fournis par la population locale. Celles qui sont proches (c'est à dire à moins de 15 km environ) des établissements situés dans le bassin étudié sont recherchées et le plan de leurs décharges est établi.

La hauteur disponible est déterminée au moyen de méthodes topographiques simples. Un altimètre de poche suffit pour les chutes élevées, mais un altimètre de précision est nécessaire pour les chutes basses. Dans les deux cas on peut aussi utiliser un niveau à alcool.

**7.2 SELECTION DES TECHNIQUES POUR LA CREATION ET LA CONCEPTION DES SYSTEMES DE MCHÉ**

**CRITERES GENERAUX DE CONCEPTION**

- Caractéristiques de la région, par exemple facilités d'accès en vue de l'emploi de matériel de construction.
- Disponibilité de matériaux de construction locaux.

**a) Ouvrages de prise d'eau seulement**

**CRITERES DU CHOIX DU SITE DE LA PRISE D'EAU**

- Rechercher l'étréitesse maximale du cours d'eau afin de réduire au minimum la longueur du déversoir et par conséquent les excavations et travaux de construction.
- Rechercher un site conforme aux conditions de sédimentation.
- Rechercher la fondation optimale; de préférence sur affleurements rocheux assurant la stabilité.
- Choisir une longueur minimale de canal associée à un volume maximal d'eau afin de réduire la quantité de béton armé.

b) **Système d'amenée**

**CRITERES DE CONCEPTION POUR LE SYSTEME D'AMENEE**

- Conception permettant un minimum d'excavations.
- Débit du cours d'eau d'au moins 1,0 m/s afin d'éviter la sédimentation.
- Section du chenal proche de la valeur hydraulique maximale.
- Vérifier l'infiltration pour savoir si les parois et le fond du canal d'amenée ont besoin d'un revêtement. D'après un calcul sommaire, le revêtement double le coût du chenal.

c) **Bassin de décantation – cheminée d'équilibre**

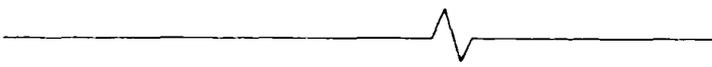
**CRITERES DE CONCEPTION DU BASSIN DE DECANTATION  
ET DE LA CHEMINEE D'EQUILIBRE**

- Vérifier la capacité pour assurer une bonne alimentation de la conduite forcée, l'absorption et le freinage des oscillations provoquées par les ouvertures et fermetures des vannes d'entrée dues aux variations de la charge de la turbine et le réglage du niveau de l'eau à l'entrée de la conduite forcée.
- Les dimensions du bassin de décantation se déterminent en fonction de la taille des particules qu'on peut laisser pénétrer dans la turbine et de la nature des solides en suspension dans l'eau.
- Le bassin doit avoir une profondeur suffisante pour éviter les perturbations dues aux variations du débit entraînées par celles de la température.

d) Conduite forcée

CRITERES DE CONCEPTION DE LA CONDUITE FORCEE

- On peut avoir recours à divers matériaux.
- On peut combiner divers types et dimensions pour obtenir une solution optimale.  
Nous indiquons ci-dessous les divers matériaux utilisables pour différentes hauteurs de chute:

	0 m	50 m	100 m	150 m	600 m	800 m
ACIER						
FONTE MALLEABLE						
PLASTIQUE ARME						
AMIANTE CIMENT						
PVC						
POLYETHYLENE						
BOIS						

Pour pouvoir résister au coup de bélier maximal acceptable dans une centrale, la pression nominale dans les tuyaux doit être considérée comme à tant d'environ 30 pour cent supérieure à la chute brute. Le coup de bélier peut être maîtrisé en réglant le moment de fermeture du régulateur.

- Les coûts de construction augmentent en raison directe du diamètre et en fonction des conditions du terrain. D'autre part en abaissant la pression dans le tuyau on réduit la production. La comparaison entre ces deux facteurs aidera à déterminer le diamètre optimal.
- Les ancrages doivent être conçus en fonction de facteurs de sécurité exprimant la capacité de retournement, de glissement et de charge. Il faut également tenir compte des trois catégories de charges imposées aux tuyaux: charge de pression dynamique, charge de pression statique et charge sur le tuyau vide. Il y a également intérêt à monter sur toute la longueur de la conduite forcée un filtre qui drainera les infiltrations éventuelles.

e) **Chambre des machines**

**CRITERES DE CONCEPTION DE LA CHAMBRE DES MACHINES**

- La superficie du bâtiment dépend des besoins de l'installation, de la hauteur de chute, du débit du cours d'eau et du nombre de générateurs. Si l'on a assez d'argent, on peut également prévoir le logement de l'opérateur. On peut aménager un système d'alimentation en eau comportant une épurateur à lit filtrant et une évacuation par fosse septique.
- Il faut aménager autour de la chambre des machines des drains ou quelque autre système pour intercepter les eaux de surface et maintenir le bas niveau de la nappe.

**CRITERES DE CONCEPTION POUR LES LIGNES DE TRANSMISSION**

**LES VARIABLES:**

- Tension de la ligne
- Capacité
- Facteur de puissance
- Longueur
- Altitude
- Températures extérieures moyennes, maximales et minimales
- Vitesse du vent

**7.3 METHODES DE CONSTRUCTION**

Nous examinerons maintenant les diverses méthodes possibles pour construire les divers éléments d'une MCHE.

### **Barrage**

- Les gabions sont faciles à installer et peu coûteux. On peut prévenir les infiltrations possibles dans la période initiale au moyen de cloisons en bois ou en béton. La situation peut devenir critique lorsque le débit est très faible dans les cas où les pertes trop fortes sont inadmissibles.
- Si l'on peut trouver dans la région des matériaux convenables, il vaut la peine d'envisager l'emploi de béton massif ou de briques. Le béton massif offre l'avantage de permettre l'emploi de roches provenant des travaux d'excavation. C'est la meilleure solution pour les sites à forte hauteur de chute à partir du barrage, mais les fondations sont plus faciles à aménager lorsque la hauteur ne dépasse pas deux mètres. La principale difficulté vient du fait que la structure étant rigide, les différences de tassement peuvent provoquer des fissures. Si l'on dispose de possibilités de transport des matériaux et du matériel, on peut envisager des structures combinées en béton armé pour le barrage et la prise d'eau, à condition que l'ouvrage soit de petites dimensions.

### **Prise d'eau**

- Il y a plusieurs possibilités. S'il y a des lits anciens, on peut les agrandir en creusant et s'en servir pour faire dévier l'eau ce qui permet de construire la prise d'eau pratiquement à sec.
- On peut aussi avoir recours à un rideau de palplanches. On construit d'abord la prise d'eau, l'écluse et le conduit, puis le déversoir pendant que l'eau s'écoule par l'écluse et la prise d'eau. Cette solution exige un rideau de palplanches sur une assez grande longueur et réduit l'espace nécessaire au travail pendant la construction; la décharge maximale admissible de l'écluse aggrave le risque de détérioration due aux crues.
- La première solution peut être préférable si la réduction des risques et de l'incommodité justifie les frais d'excavation.

### **Bassin de décantation**

- On peut le mettre en place immédiatement après les travaux de la prise d'eau auquel cas la proximité du cours d'eau permet de nettoyer économiquement les sédiments. L'eau doit aussi être exempte de sédiments le long du conduit, mais il peut s'en produire dans la partie ouverte du courant.
- On peut aussi avoir recours à une combinaison de piège à sable et de bassin de mise en charge. Cette solution est peu coûteuse mais exige un courant plus rapide dans le conduit pour éviter la sédimentation. Elle s'applique ordinairement lorsque l'on emploie des conduits en terre et elle est avantageuse dans les MCHE.

### **Conduite forcée**

- Les tuyaux en acier coûtent cher à acheter et à installer. Les tuyaux en amiante-ciment sont meilleur marché et plus faciles à trouver mais dans certains cas il peut y avoir des difficultés lorsque le diamètre maximal obtainable sur le marché est insuffisant.

### **Chambre des machines**

- C'est là que, plus que dans toute autre partie de la construction, on peut faire appel aux éléments préfabriqués pour réduire les frais. Il faut surtout ne pas oublier les matériaux locaux, non seulement par raison d'économie, mais aussi à cause de leur aspect et de leur comportement en cas de séisme.

#### 7.4 LE CHOIX DU MATERIEL

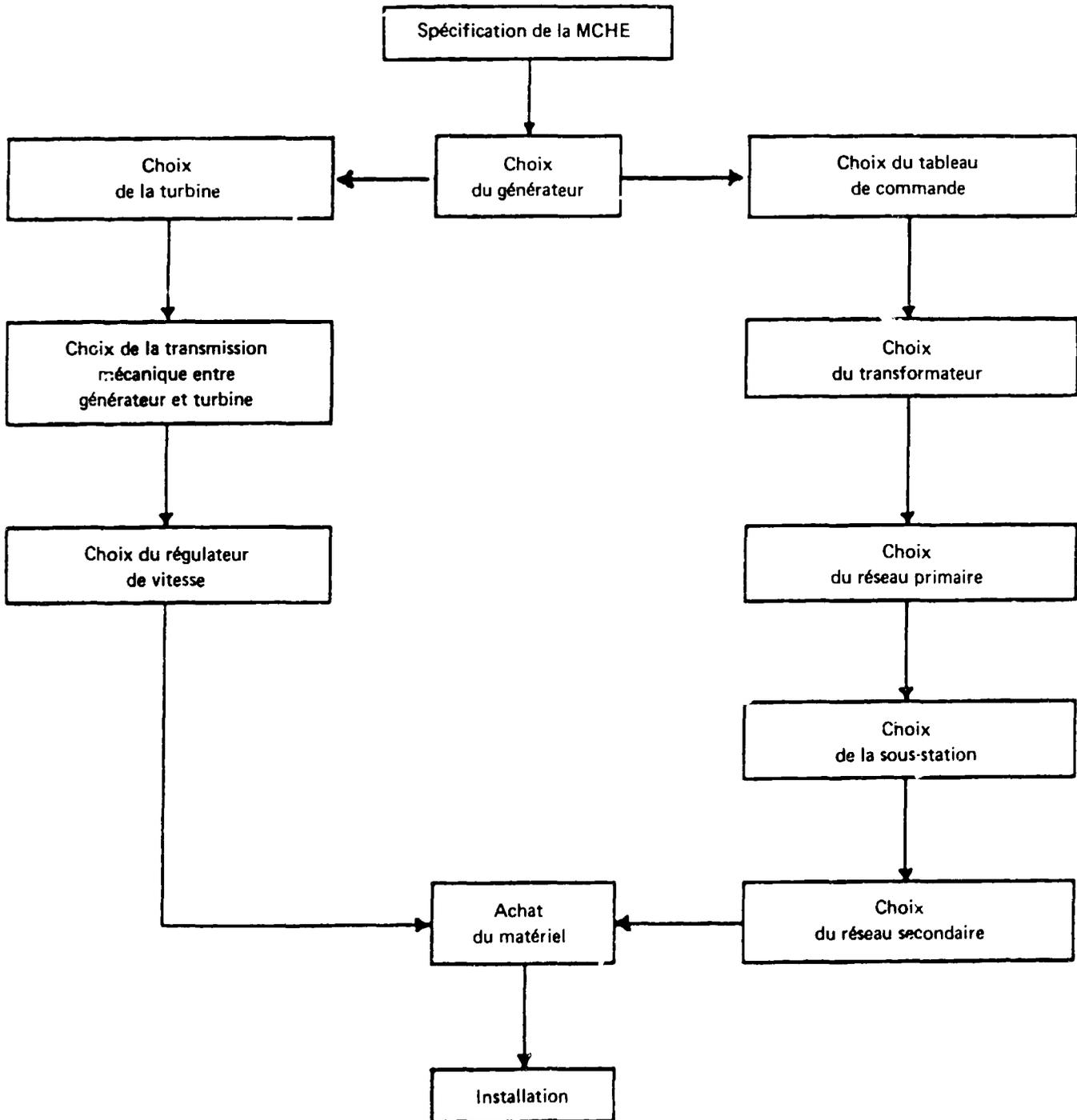
On choisit l'équipement des MCHÉ sur les catalogues commerciaux des constructeurs nationaux et internationaux de matériel. Les principaux critères de choix sont la fiabilité et le bon marché.

Le tableau ci-dessous donne les détails de la procédure de choix des divers éléments de l'équipement des MCHÉ.

MATERIEL	PARAMETRE DE CHOIX	PROCEDURE DE CHOIX
Tiret venant	Dimension admissible des particules	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Spécification des matériaux de la turbine, débit minimal et hauteur de chute. Peut comporter le nettoyage automatique ou manuel.</li> </ul>
Vanne	Dimension du tuyau, pression	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Porte principalement utilisée, vannes papillon ou sphériques selon la dimension du tuyau, l'admission à la turbine, la hauteur de chute et le temps de fermeture.</li> </ul>
Turbine	Hauteur de chute, Décharge, Puissance	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Une fois que l'on connaît les caractéristique de la turbine (voir chap. 6) et la vitesse du générateur, on peut décider de la vitesse de la turbine et choisir le meilleur type d'après la méthode exposée à l'annexe B du présent manuel. Ne pas oublier que le coût de la turbine est en raison inverse de sa vitesse.</li> <li>- Une fois que l'on a décidé du type de la turbine, on choisit sur les catalogues du commerce un modèle normalisé correspondant à la hauteur de chute, à la décharge et à la puissance; ces paramètres détermineront la vitesse de la turbine, qui ne sera pas très différente de la valeur prévue.</li> </ul>
Régulateur de vitesse	Capacité, Fréquence	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le choix du régulateur de vitesse résulte automatiquement du choix de la turbine.</li> <li>- Le régulateur peut être oléo-mécanique ou électro-électronique.</li> </ul>
Turbine/Générateur, Transmission	Tours/minute, Charge	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La transmission mécanique entre turbine et générateur doit être choisie à la lumière des vitesse de l'une et de l'autre, étant entendu que la transmission par courroie convient aux grandes vitesses et la transmissions par engrenage aux petites. Si la turbine et le générateur tournent à la même vitesse on a recours à un couplage direct.</li> </ul>
Générateur	Capacité	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tension et fréquence sont choisis en référence aux normes de production de courant de chaque pays.</li> <li>- On choisit en conséquence le type de générateur le plus approprié, comme indiqué au chapitre 6 du présent manuel.</li> <li>- Trouver dans les catalogues du commerce un générateur de la fréquence et de la tension voulues. Ne pas oublier que le coût du générateur est en raison inverse de sa vitesse.</li> </ul>

MATERIEL	PARAMETRE DE CHOIX	PROCEDURE DE CHOIX
Tableau de commande pour la chambre des machines	Capacité, Tension, Fréquence	- Choisir un tableau de commande correspondant à la capacité, la tension et la fréquence maximales du générateur. Il s'agit d'avoir le minimum d'instruments compatible avec un bon fonctionnement.
Transformateurs de puissance	Capacité, Tension	- On choisit la tension de transmission conformément aux normes de chaque pays en matière de transformateurs; le transformateur à employer peut être choisi sur catalogue en fonction de la capacité. Ne pas oublier que les courants de court-circuit peuvent atteindre cinq ou six fois la valeur des courants estimés.
Transmission ou réseau primaire	Capacité, Tension de transmission	- On choisit la section optimale du cable conformément aux normes de chaque pays en matière de conducteurs électriques et de manière à réduire au minimum les chutes de tension et pertes de courant.
Sous-station	Capacité	- La tension de distribution est déterminée conformément aux normes du pays. On peut alors trouver le taux de transformation et choisir les sous-stations correspondantes sur catalogue.
Distribution ou réseau secondaire (branchements des consommateurs)	Tension de distribution	- Appliquer les mêmes critères et normes que pour le choix du réseau primaire.

### SCHEMA DU CHOIX DU MATERIEL POUR LES MCHE



Le choix peut aussi commencer par la turbine

## 7.5 EXPLOITATION, ENTRETIEN, REPARATION

Les caractéristiques opérationnelles dépendent principalement:

- De la dimension de l'installation
- Du type de service
- Du degré d'automatisation des commandes
- De la fiabilité du matériel
- De la structure institutionnelle du système électrique

Si l'on suppose une MCHÉ dont l'automatisation se limite aux régulateurs de vitesse et de tension et aux dispositifs de sécurité, et conçue pour ne fonctionner qu'un certain nombre d'heures par jour, un seul opérateur peut suffire. Pour une centrale fonctionnant en permanence il faut toutefois deux opérateurs.

Ces opérateurs doivent être en mesure de remplir leurs fonctions avec compétence et d'assurer l'entretien préventif ainsi que de petites réparations d'urgence.

Un opérateur de MCHÉ doit posséder des connaissances au moins élémentaires dans les domaines suivants:

- Elements essentiels des systèmes électriques industriels
- Usinage au banc
- Soudage
- Administration
- Séquences opérationnelles

Les opérations d'entretien et de réparation peuvent être réparties comme suit:

ACTIVITE	RESPONSABILITE
- Entretien préventif du matériel	Opérateur
- Entretien préventif et réparations générales des ouvrages de génie civil	Opérateur avec l'appui de la collectivité
- Réparations générales du matériel	„Equipes volantes“ d'entretien de l'organisme d'électricité, et/ou opérateur
- Grosses réparations du matériel	Ateliers spécialisés ou constructeur

## RECOMMANDATIONS CONCERNANT LES OUVRAGES DE GENIE CIVIL

- Il est extrêmement important d'inspecter régulièrement les chenaux, barrages de détournement, déversoirs, portes de contrôle, tuyaux et conduites. La fréquence des inspections varie en fonction des conditions climatiques.
- En période de crue, il faut effectuer des inspections quotidiennes afin de détecter les menaces dues à la montée des eaux ou aux glissements de terrain. Ces situations peuvent comporter l'érosion des piliers de soutènement, la présence de charges exceptionnelles sur les conduites ou le long du lit du cours d'eau, l'accumulation de déchets sur les grilles ou portes des barrages de détournement, une érosion excessive en aval de ces barrages, ou des niveaux d'eau inadmissibles en aval sur le chenal.
- Les crues peuvent être plus dangereuses dans les installations à faible hauteur de chute parce qu'elles risquent alors d'endommager le barrage et les générateurs.
- Les glissements de terrain peuvent endommager les canaux et les conduites, parfois les combler de débris et provoquer des débordements et une sédimentation excessive dans les turbines.
- Les inspections en cas d'urgence doivent être effectuées par un personnel expérimenté connaissant bien le fonctionnement de l'installation.
- Il faut inspecter le barrage chaque année pour s'assurer de sa solidité et de celle de ses culées.
- Toute fissure ou fuite dans le barrage ou ses culées doit faire l'objet d'inspections fréquentes et approfondies permettant de détecter des changements éventuels.
- Pendant la construction, il faut poser sur le barrage des témoins permettant de constater tout début éventuel de glissement ou de déplacement.
- Il faut installer, dans les fondations du barrage, des piézomètres et en vérifier les indications au moins une fois par mois pour détecter toute modification soudaine de pression sous l'ouvrage.

## RECOMMANDATIONS CONCERNANT LE MATERIEL ELECTRO-MECANIQUE

- Les machines et les vannes doivent être entretenues à intervalles réguliers afin de s'assurer de leur bon fonctionnement.
- Il faut, au moins une fois par mois, faire fonctionner les portes et les vannes sur toute la longueur de leur course.
- Dans les petites installations on peut remplacer les vannes et portes défectueuses pendant qu'on les envoie à la réparation. Il en va de même des turbines, régulateurs, générateurs et transformateurs quand ils sont assez petits.
- Dans les installations à faible et forte hauteur de chute, il faut essayer les vannes et les portes au moins une fois par mois pour s'assurer qu'elles fonctionneront convenablement en cas de besoin. S'il y a plusieurs portes, il vaut mieux qu'elles soient toutes du même modèle, et il est bon d'acquérir une porte de rechange qu'on pourra monter en cas de détérioration causée par des débris flottants ou par l'usure.
- Les générateurs doivent être inspectés tous les six mois et débranchés une fois par an pour subir un entretien préventif.
- Les turbines doivent être débranchées et inspectées tous les ans.
- Les tableaux de commande doivent être inspectés tous les quatre mois et débranchés une fois par an pour subir un entretien préventif.
- Les barres de connexion, et plus spécialement leurs branchements, doivent être inspectées tous les quatre mois.
- Les transformateurs doivent être inspectés tous les six mois et débranchés chaque année pour subir un entretien préventif.
- Les circuits doivent être inspectés tous les six mois et vérifiés pour constatation des défauts au moment de l'entretien annuel.
- Les sous-stations doivent être vérifiées périodiquement (tous les trois mois) pour détecter les court-circuits.

## 7.6 LES COÛTS

Nous examinons ici quelques directives qualitatives pouvant servir à l'estimation très approximative du coût d'une MCHÉ au stade de la planification. Il n'est guère possible de faire des estimations faibles d'après des indicateurs généraux pour un projet déterminé, car chaque cas d'espèce exige une analyse détaillée des coûts qui tienne compte des particularités du projet.

Les graphiques présentés plus loin indiquent des coûts unitaires pour l'ensemble de l'investissement dans une MCHÉ ainsi que pour ses trois principaux éléments: les études de pré-investissement, le matériel, et les ouvrages de génie civil. Les courbes sont établies d'après les informations dont on dispose dans plusieurs pays d'Amérique latine; il faut donc que l'organe de planification des MCHÉ de chaque pays les adapte à ses conditions particulières. Cette adaptation a été réalisée au moins approximativement au moyen d'une détermination expérimentale de certains facteurs de correction applicables aux graphiques en question.

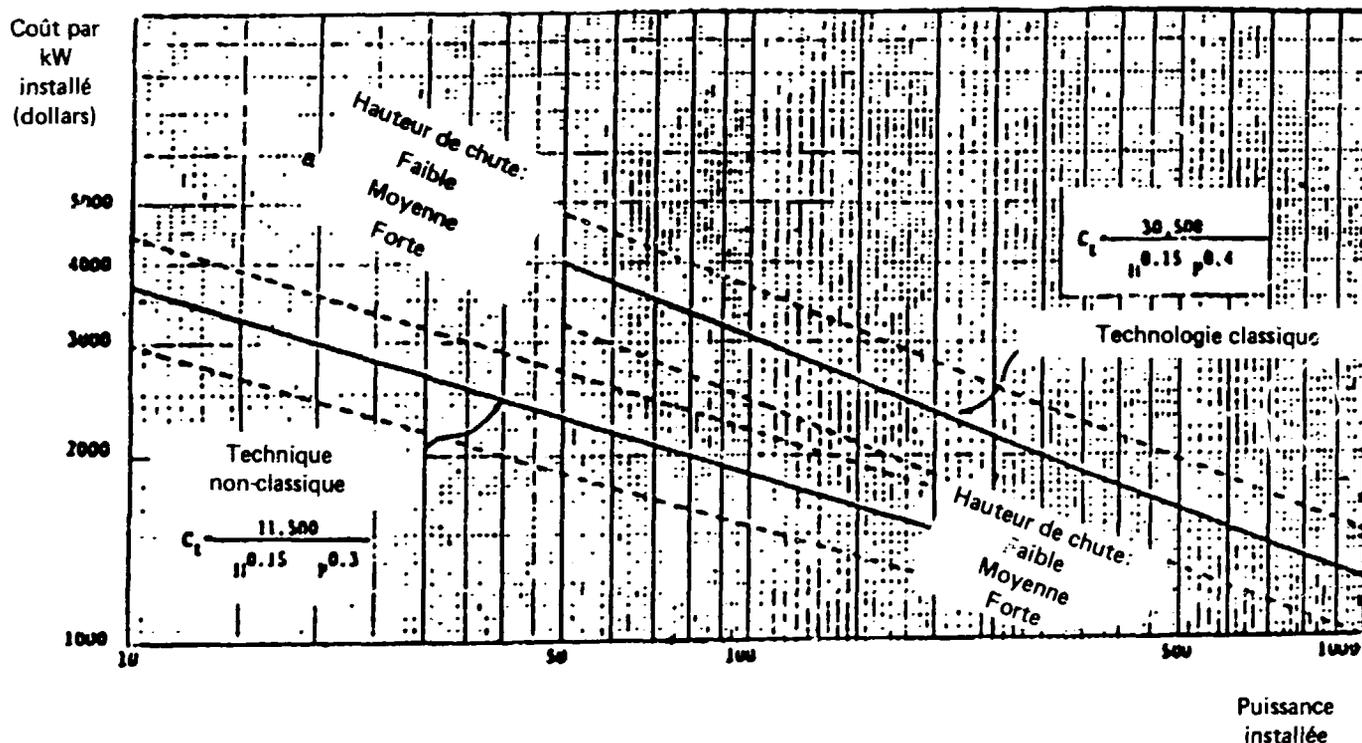
### a) Coûts unitaires de l'investissement total dans une MCHÉ

La Figure 23 donne les coûts totaux en dollars par kilowatt de puissance installée pour différentes puissances nominales et hauteurs de chute. Le tableau ci-dessous expose les éléments et les hypothèses envisagées pour l'établissement du graphique.

### ASPECTS ENVISAGES POUR L'ETABLISSEMENT DE LA FIGURE 23

- Les données traitées proviennent de 35 projets exécutés dans trois pays d'Amérique latine, les facteurs de corrélation correspondants étant de l'ordre de 70 pour cent.
- Les courbes inférieures, relatives à la technologie non conventionnelle, ont été établies en ajoutant les coûts des études à ceux du matériel et des ouvrages de génie civil, dans l'hypothèse d'un matériel fabriqué dans le pays.
- Ces coûts reposent sur les prix de 1980, les données étant ajustées d'après les indices de la figure 24, ce qui donne une indication très sommaire des variations dans le temps dont tient compte le présent manuel. Dans des cas d'espèce, il est bon d'étudier les variations de prix de chaque composant du matériel et des coûts des travaux de génie civil en fonction des conditions particulières de chaque pays.
- Les courbes présentées n'ont qu'une valeur statistique relative, car les cas d'espèce diffèrent sensiblement d'un pays à un autre.
- Ces variations peuvent être dues aux facteurs suivants:
  - Disponibilité et coûts de la main d'œuvre
  - Disponibilité et coût des matériaux
  - Achat du matériel et fret
  - Coûts de l'étude technique
  - Conditions géographique et problèmes d'accès
  - Cours du dollar
  - Conditions et contrôle du marché des changes
  - Variations dans le temps des indicateurs de coûts
- Les variations relatives aux cas d'espèce sont dues:
  - aux distances et aux conditions d'accès
  - aux conditions physique (géologie, hydrologie, géomorphologie, mécanique du sol, écologie etc.)
  - aux différences sensibles de l'importance des travaux de génie civil
- Le graphique a trait à des centrales ne comportant qu'une seule unité électro-mécanique.
- La définition des hauteurs de chute: forte, moyenne faible, est empruntée à la classification de l'Organisation latino-américaine de l'énergie figurant en page 7.

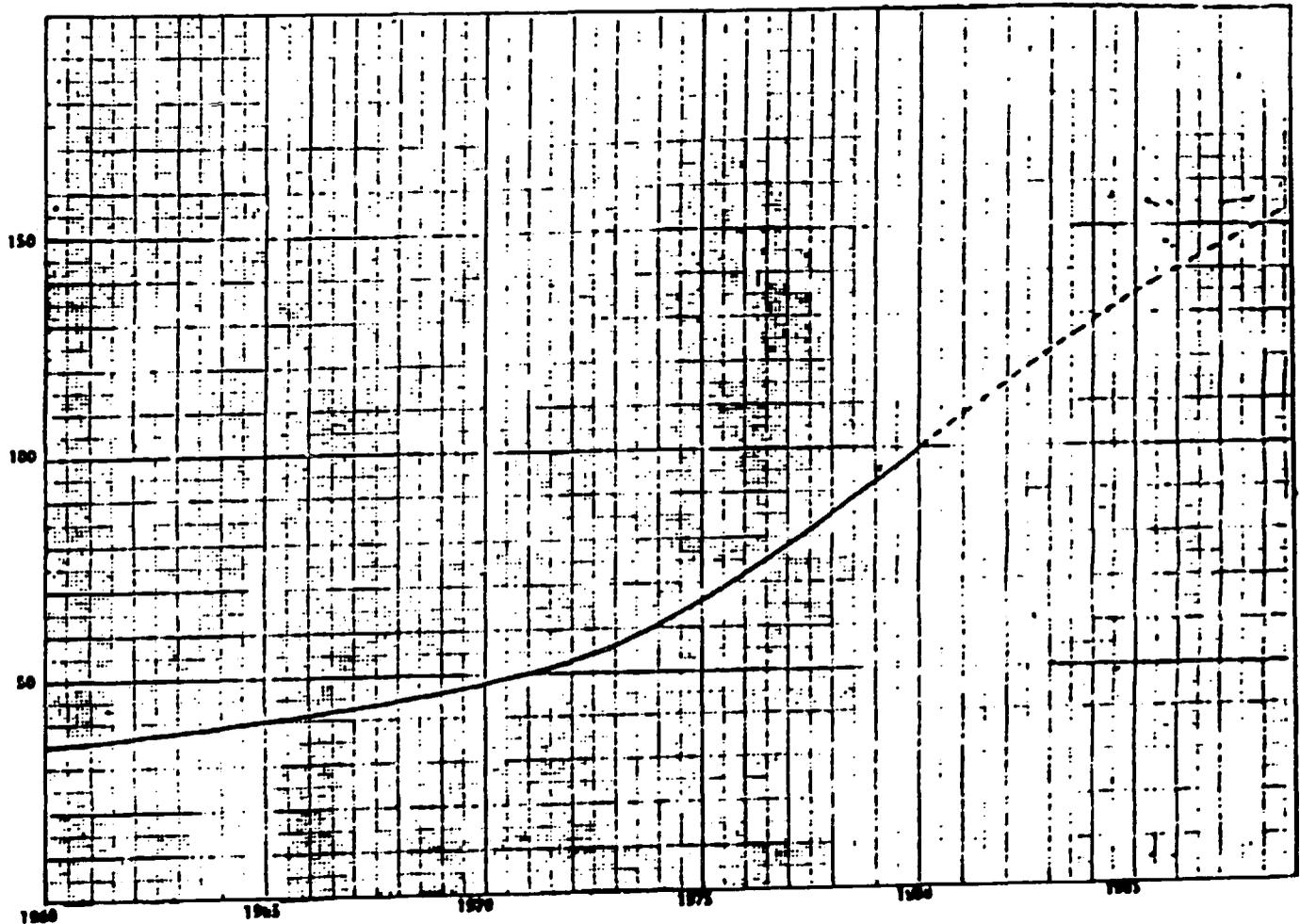
FIGURE 23 INDICATEURS DE REFERENCE DES COÛTS D'INVESTISSEMENT UNITAIRES



CONCLUSIONS A TIRER DES COURBES D'INVESTISSEMENT TOTAL

- Les coûts d'une MCHÉ peuvent varier de 1000 à 5000 dollars des Etats-Unis par kW installé.
- Les coûts unitaires augmentent rapidement en raison inverse de la puissance nominale.
- Les installations a faible hauteur de chute coûtent plus cher que celles à forte hauteur.
- L'emploi de techniques non conventionnelles pour les travaux de génie civil et l'emploi de matériel et de techniques du pays permet d'obtenir des coûts unitaires inférieurs à ceux qui résultent de la technique conventionnelle et du matériel importé. Cet avantage est en raison inverse de la puissance.

FIGURE 24 INDICE APPROXIMATIF DE LA VARIATION DANS LE TEMPS DU COUT D'INVESTISSEMENT D'UNE MCHÉ

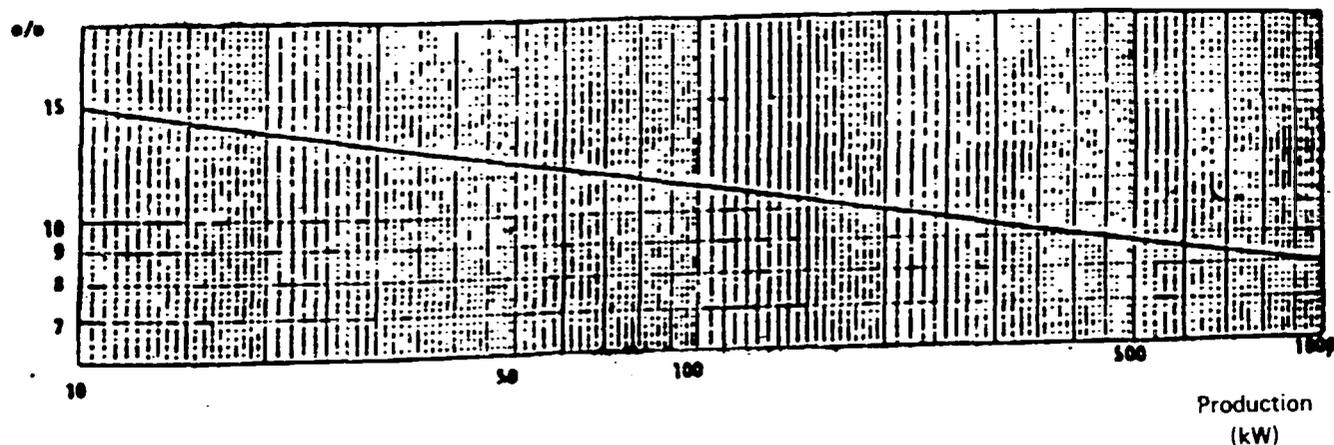


**b) Coûts unitaires des études de pré-investissement**

Comme l'indique le chapitre 5.4, les frais d'étude sont souvent hors de proportion avec l'investissement total. C'est pourquoi il est bon de fixer un pourcentage limite de ces frais par rapport au coût total du projet.

La figure 25 donne à titre indicatif un graphique des frais d'étude maxima désirables en fonction de la production de l'installation. En pratique, il est bon que chaque pays envisage ces frais dans le cadre de sa politique en matière de MCHÉ et en fonction du caractère plus ou moins étendu et approfondi des études elles mêmes.

FIGURE 25 POURCENTAGE MAXIMAL RECOMMANDE DES FRAIS D'ETUDE DE L'ENSEMBLE DU PROJET, EN FONCTION DE LA PRODUCTION DE LA MCHÉ



c) Coûts unitaires du matériel électro-mécanique

Les figures 26 et 27 donnent les coûts unitaires du matériel électro-mécanique respectivement dans le cas de matériels importés de pays développés et dans celui de matériel fabriqué sur place au moyen de techniques créées ou adaptées dans le pays et ne comportant pas le paiement de redevances.

ARTICLES FIGURANT DANS LE MATERIEL ELECTRO-MECANIQUE

- Turbine
- Régulateur de vitesse
- Générateur
- Tableau de commande et instruments électriques
- Installation (à l'exception du système d'ancrage)

#### ASPECTS ENVISAGES POUR L'ETABLISSEMENT DES FIGURES 26 & 27

- Les données employées pour la fig. 26 proviennent de 25 cas, le facteur de corrélation des courbes étant de 97 pour cent.
- Les données employées pour la fig. 27 proviennent de 10 cas, le matériel étant construit dans un seul pays d'Amérique latine. Les courbes sont établies d'après la fig. 26, avec un facteur de corrélation inférieur.
- Les coûts sont en dollars de 1980 et reposent sur un ajustement des valeurs de la figure 24.
- Les variations de pays à pays peuvent être dues:
  - Au fret et à l'assurance
  - Aux droits de douane à l'importation
  - Aux impôts
  - Aux frais du transport local
  - Aux lois en faveur du développement industriel
  - Aux taux de change
  - Aux conditions du marché et au contrôle des changes
  - Aux variations dans le temps des indicateurs de coût
- Les variations d'un projet à un autre peuvent être dues:
  - Aux conditions d'accès et aux transports locaux
  - Aux coûts d'installation
- L'estimation du coût du matériel implique que l'on a choisi le type de turbine optimal pour la hauteur de chute et la puissance de la centrale.

FIGURE 26 COUT DU MATERIEL ELECTRO MECANIQUE IMPORTE  
PAR KILOWATT INSTALLE

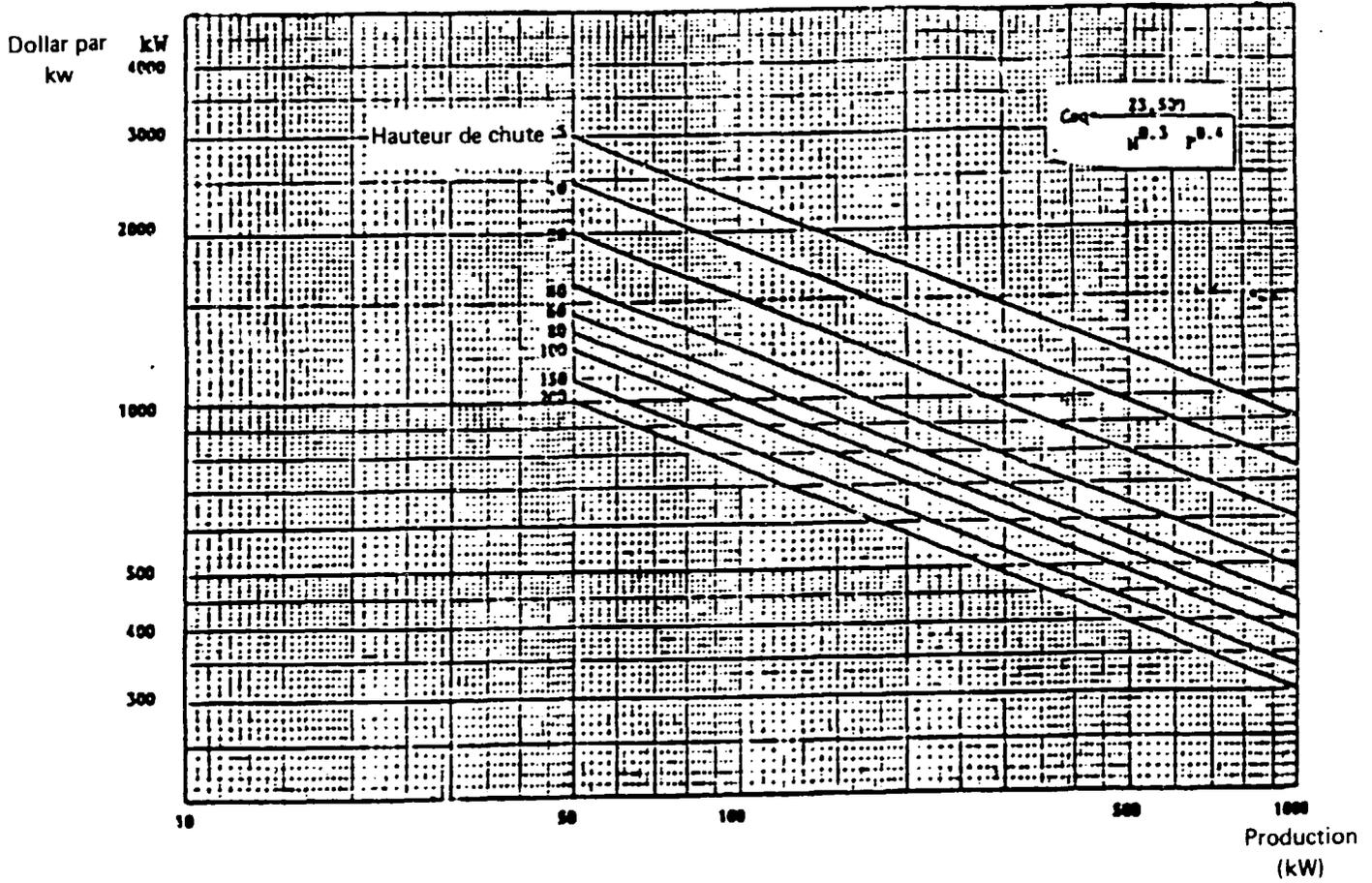
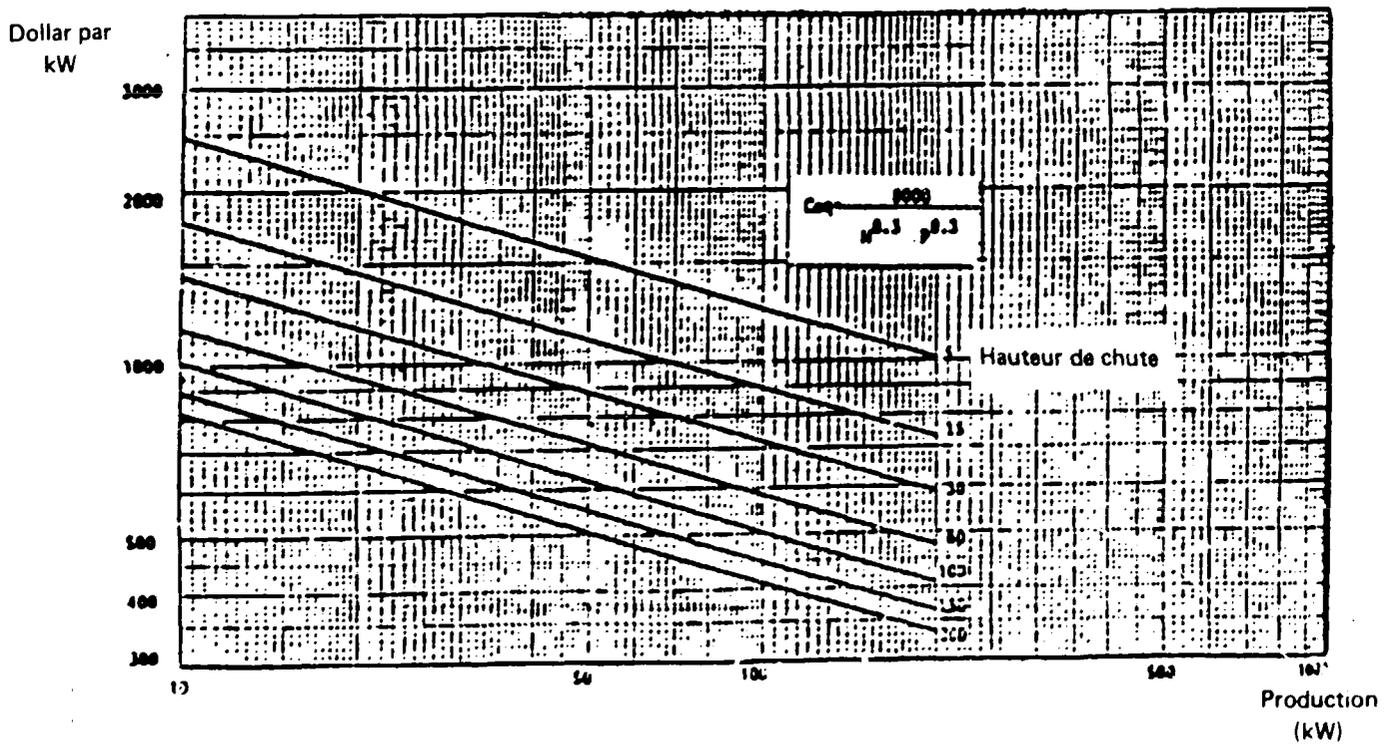


FIGURE 27 COUT, PAR KILOWATT INSTALLE, DU MATERIEL  
ET DE LA TECHNIQUE NATIONAUX



On peut tirer des figures 26 et 27 un certain nombre de conclusions générales utiles à la sélection du matériel.

#### CONCLUSIONS A TIRER DES COURBES DE COÛTS UNITAIRES DU MATERIEL ELECTRO-MECANIQUE

- Les coûts unitaires du matériel électro-mécanique pour une MCHÉ peuvent varier de 300 à 3000 dollars des Etats-Unis par kW installé.
- Ces coûts augmentent rapidement pour les faibles puissances.
- Ils augmentent rapidement lorsque la hauteur de chute diminue (dans la proportion de 3 : 1 pour des hauteurs de 5 et 200 m respectivement).
- D'une façon générale le matériel et la technique du pays reviennent moitié moins cher que le matériel et la technique importées.

#### d) Coûts unitaires des ouvrages de génie civil

La figure 28 donne les indicateurs des coûts pour les ouvrages de génie civil que comporte une MCHÉ. Comme on le verra plus loin, le graphique ne peut servir que de référence.

#### ARTICLES FIGURANT DANS LES OUVRAGES DE GENIE CIVIL

- Barrages et prise d'eau
- Canal
- Bassin de mise en charge
- Bassin de décantation
- Conduite forcée et ancrage
- Accessoires (portes, grilles etc.)
- Chambre des machines et supports du matériel
- Canal d'écoulement

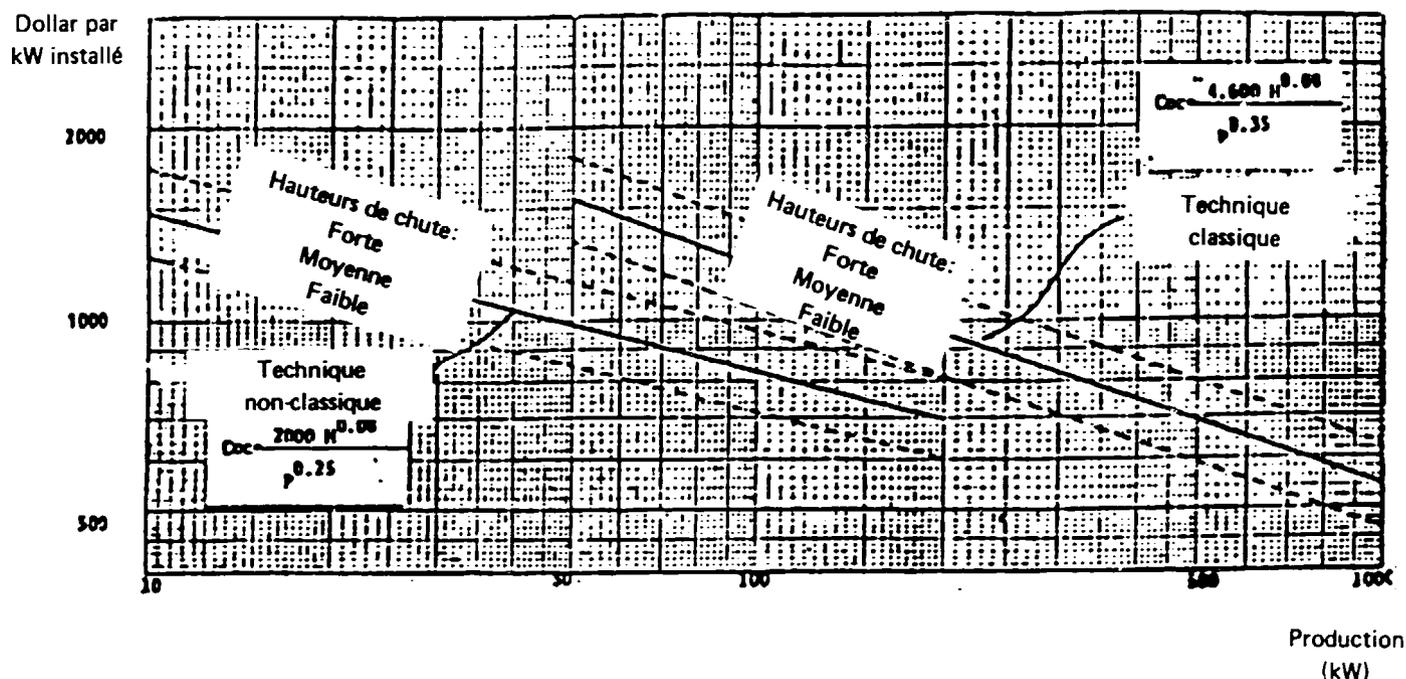
Il faut signaler que ces éléments du coût ne comprennent pas les systèmes de transmission et de distribution du courant. Le tableau ci-dessous donne quelques observations sur les facteurs qui interviennent dans l'établissement des courbes de coûts des ouvrages de génie civil:

## ASPECTS ENVISAGES POUR L'ETABLISSEMENT DE LA FIGURE 28

- Les courbes, qui reposent sur les données de 25 projets simulés, ayant un facteur de corrélation d'environ 60 pour cent, reflètent la corrélation approximative de la différence des coûts unitaires totaux moins le coût des études et du matériel.
- Les écarts entre les cas d'espèces sont considérables.
- Les corrélations relatives aux techniques conventionnelles reposent sur l'hypothèse que les conditions technologiques du projet sont celles que décrit le chapitre 2 (point «e» page 7).
- Les coûts sont donnés en dollars de 1980.
- Les variations de pays à pays peuvent être dues:
  - Au coût et à la disponibilité des matériaux de construction
  - Au coût de la main d'œuvre
  - Aux conditions géographiques et aux difficultés d'accès
- Les variations de projet à projet peuvent être dues:
  - Aux caractéristiques physiques du projet (géologie, géomorphologie, hydrologie, mécanique des sols, longueur du canal, topographie, agrégats etc.
  - Aux méthodes de construction
  - Au caractère plus ou moins approfondi des études techniques
  - A l'expérience de la conception technique

La figure 28 suggère un certain nombre de conclusions générales ayant trait aux limites d'application du graphique lui-même et aux tendances qu'il révèle.

FIGURE 28 COUT DE LA CONSTRUCTION CIVILE PAR KILOWATT INSTALLE



CONCLUSIONS A TIRER DES COURBES DE PRIX UNITAIRES DES OUVRAGES DE GENIE CIVIL

- Les courbes ne sont faites que pour donner une estimation approximative, utilisable au stade de la planification. Pour chaque projet une approximation satisfaisante exige des relevés physiques à l'emplacement même de l'ouvrage.
- Les coûts unitaires des ouvrages peuvent varier de 450 à 1800 dollars par kilowatt installé.
- Les coûts unitaires augmentent en raison inverse de la puissance, mais moins rapidement que pour le matériel électro-mécanique.
- Les coûts unitaires des ouvrages augmentent en raison directe de la hauteur de chute dans un rapport qui est l'inverse de celui qui existe entre les coûts unitaires de matériel et la hauteur de chute, et qui est aussi moins marqué.
- Tous autres facteurs étant égaux d'ailleurs, l'emploi de techniques non conventionnelles est moins coûteux que celui des techniques conventionnelles, cet avantage étant plus marqué pour les puissances nominales plus faibles.

## 8. LA COOPERATION INTERNATIONALE\*

Les principales possibilités de coopération internationale en matière de MCHE se trouvent dans les domaines de la technologie, de la formation, des études, et de la construction. Des projets en coopération peuvent être entrepris aux échelons mondial, régional, sous-régional, ou simplement bilatéral.

Nous employons ici le terme de «coopération internationale» pour désigner tous les types de relations internationales conçues pour procurer des avantages mutuels aux coopérants et qui font l'objet d'accords internationaux.

La coopération internationale repose sur les principes suivants:

- Respect de la souveraineté des parties
- Egalité des droits entre toutes les parties
- Participation volontaire de toutes les parties
- Assistance mutuelle
- Avantages réciproques

### 8.1 ORGANISATIONS INTERNATIONALES OPERANT A L'ECHELON MONDIAL

La liste ci-dessous énumère certaines des organisations en mesure d'appuyer le développement des MCHE.

---

\* Ce chapitre est destiné à être mis à jour et complété dans la prochaine édition si l'on recueille des informations plus détaillées sur les activités des organisations mentionnées dans le présent manuel.

ORGANISATION	DOMAINE D'ACTIVITE
Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD)	Financement de plans de développement, de programmes et de projets.
Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO)	Coopération aux programmes de développement scientifique et éducatif.
Organisation météorologique mondiale (CMM)	Coopération aux programmes météorologiques et hydrologiques ayant trait à des projets de développement.
Organisation internationale du travail (OIT)	Coopération aux programmes de formation pour techniciens de niveau moyen et ouvriers qualifiés.
Organisation des Nations Unies pour le développement industriel (ONUDI)	Coopération aux programmes de développement industriel; s'occupe actuellement de la promotion de programmes de MCHE et d'exécution de plusieurs projets dans des pays en développement.
Banque internationale pour la reconstruction et le développement - Banque mondiale (BIRD)	Financement de projets de développement; accorde des prêts à court et à moyen terme portant intérêt aux Gouvernements des pays membres ainsi qu'aux institutions publiques et privées à condition qu'elles aient l'appui du Gouvernement du pays intéressé.
Organisation des pays exportateurs de pétrole (OPEP); Fonds de l'OPEP pour le développement international	Assistance financière aux projets de développement, notamment dans le domaine de nouvelles sources d'énergie et pour les pays les plus gravement atteints par les prix du pétrole; finance actuellement un programme de MCHE.

Problèmes qui se posent dans les relations avec les organisations internationales et moyens de les résoudre:

PROBLEMES	SOLUTIONS
Mauvais choix des experts	Demande d'une liste plus complète d'experts présentée par les organisations nationales; fourniture à l'organisation internationale de renseignements adéquats et suffisamment détaillés.
Utilisation insuffisante des aptitudes des experts	Etablissement d'un plan détaillé précisant les activités que l'institution désire voir exécuter; ce plan doit être prêt dès avant l'arrivée de l'expert; désignation de contreparties suffisamment compétentes pour travailler avec l'expert.

Dans leurs efforts de promotion des MCHÉ, les organisations internationales doivent aider à l'établissement d'infrastructures locales dans des domaines tels que la planification, les études, la conception, l'exploitation et l'entretien, l'administration, le financement et le développement technologique.

En règle générale les contacts avec ces organisations doivent être assurés par l'intermédiaire de leurs représentants permanents dans les pays intéressés.

Au nombre des établissements bancaires opérant à l'échelon mondial il faut mentionner, outre la BIRD, l'Export-Import Bank (EXIMBANK) et l'International Finance Corporation.

## 8.2 COOPERATION REGIONALE ET SOUS-REGIONALE

Cette forme de coopération peut porter sur les études et la construction et être entreprise par un groupe de plus de trois pays. En principe, la terme «régional» qualifie des organisations opérant à l'échelon d'un continent ou sous-continent et le terme «sous-régional» des groupes de pays situés dans une zone géographique moins vaste.

ORGANISATIONS	DOMAINES D'ACTIVITE
Organisation des Etats américains (OEA)	Services de consultation et appui aux projets de développement économique.
Organisation commune africaine et mauricienne (OCAM)	
Organisation afro-asiatique pour la reconstruction rurale	
Organisation des services communs de l'Afrique orientale	Commerce, financement et étude de problèmes sociaux.
Organisation des Etats d'Amérique centrale (ODEAC)	Recherche des solutions aux problèmes communs et entreprend la promotion du développement économique, social et culturel au moyen d'actions coopératives concertées.
Organisation de l'unité africaine (OUA)	Possède une commission de la recherche scientifique et technique.
Organisation latino-américaine de l'énergie (OLADE)	A entrepris un programme de MCHÉ à l'échelon régional.

Il faut mentionner tout spécialement le travail de l'OLADE pour la promotion, la coordination et la consultation en matière de projets et programmes de MCHÉ ainsi que ses activités dans d'autres secteurs du domaine de l'énergie.

Il est indispensable que toutes les organisations d'appui fassent leur travail dans un cadre de coordination, de promotion et de consultation afin qu'elles puissent contribuer à renforcer ou à créer l'infrastructure nécessaire dans les pays intéressés.

Au nombre des banques régionales, il y a lieu de mentionner plus spécialement les suivantes:

BANQUE	BUTS
Banque africaine de développement (BAfD)	Son but est de contribuer au développement économique et du progrès social de ses membres. Elle a créé un Fonds africain de développement.
Banque asiatique de développement (BA sD)	Contrairement à la Banque africaine de développement cette banque a des souscripteurs extra-régionaux outre ceux de la région d'Asie. Elle accorde des prêts pour des investissements d'infrastructure.
Banque centraméricaine d'intégration économique (BCIE)	C'est la principale institution financière du programme centraméricain d'intégration et le principal établissement de prêts au développement économique régional.
Banque interaméricaine du développement (BID)	Elle a pour but de promouvoir le développement des pays membres, individuellement et collectivement, en finançant des projets de développement et d'assistance technique; elle étudie actuellement le financement de projets de MCHÉ dans plusieurs pays.

### 8.3 LA COOPERATION BILATERALE

Dans le cas de la coopération bilatérale il faut veiller avec le plus grand soin à la définition des objectifs et de la portée du programme afin d'éviter des formes occultes de ventes de technologie dans un but commercial. Lorsque cela est inévitable, les termes de la négociation portant sur l'achat de technologie doivent être sans équivoque; de plus, les conditions de l'accord doivent être avantageuses et ne pas comporter, sous le couvert d'un programme d'assistance technique, l'octroi de droits d'exclusivité. De même, dans tous les cas d'assistance technique internationale, les moyens par lesquels le savoir-faire en question sera efficacement assimilé par la partie prenante doivent être nettement explicités. Il est essentiel que la contre-partie qui reçoit l'assistance soit parfaitement au fait des objectifs et qu'un programme de travail ait été préparé à l'avance. La contre-partie doit posséder des qualifications suffisantes pour lui permettre d'assimiler efficacement les connaissances transférées.

Les pays en développement peuvent demander une assistance bilatérale par l'intermédiaire de leurs missions diplomatiques ou de leurs attachés commerciaux.

En règle générale, il est recommandé aux pays en développement, afin qu'ils puissent aborder en même temps que des projets de MCHÉ d'autres questions de technologie et de coopération, de créer un bureau officiel de l'assistance technique étrangère, qui sera chargé de coordonner la coopération internationale dans le pays et de conseiller les intéressés sur le moyen de faire le meilleur usage de cette assistance.

#### 8.4 LES ORGANISATIONS NON GOUVERNEMENTALES

Les Nations Unies définissent les organisations non-gouvernementales comme des organisations internationales qui n'ont pas été créées en vertu d'accords entre Gouvernements.

Le Conseil économique et social des Nations Unies a établi des procédures régissant la coopération consultative d'un certain nombre d'organisations non-gouvernementales qui l'intéressent. Il y avait en 1975, 2500 organisations non-gouvernementales dont certaines avaient des activités dans le domaine de la science et de la technique. La section des organisations non-gouvernementales du Département de l'information publique du Secrétariat des Nations Unies est chargée de coopérer avec ces organismes. Elle réunit aussi la Conférence des Organisations non-gouvernementales, qui a son siège à Genève et constitue l'organe permanent des organisations gouvernementales consultatives.

Si l'on veut savoir quelles sont celles de ces organisations qui s'occupent de programmes de MCHE, on peut prendre contact avec elles par l'intermédiaire des services d'information des missions diplomatiques ou consulaires des divers pays ou de leurs offices d'information à l'étranger.

L'action des organisations non-gouvernementales peut se heurter à des limitations dans les domaines suivants: financement, restrictions constitutionnelles ou politiques des activités, réticence de certains gouvernements etc.

## ANNEXE A

### I. REFERENCES UTILISEES DANS LE MANUEL

1. «El Desarrollo de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas en Latinoamérica». OLADE, Quito, Agosto de 1979.
2. «Situación y Perspectivas de la Tecnología y Equipamiento para P.C.H. en Latinoamérica». (E. Indacochea, R. Trejos, F. Cuenca, y C. Hernández). OLADE, Quito, abril de 1980.
3. «Requerimientos y metodología para la implementación masiva de P.C.H. en Latinoamérica». (E. Indacochea, O. Chaquea, L. Machado, R. Vargas, M. Fleites, E. Enríquez, F. Ferrán, L. Haro, S. Mancilla). OLADE, Quito, junio de 1980.
4. «Metodología sintética para el cálculo y especificación preliminar de microcentrales hidroeléctricas». (Enrique Indacochea). OLADE, Quito, julio de 1980.
5. «Manual de microgeneración hidráulica». (Sergio Valverde y A. M. Martínez). Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), México, 1978.
6. «Viabilidad de las Microcentrales Hidroeléctricas en Colombia». (O. Chaquea, J. Lobo Guerrero, J. D. Burton y C. Casasbuenas). Fundación Mariano Ospina Pérez, Colombia, 1979.
7. «Problemática del Desarrollo de la Tecnología de Microcentrales Hidroeléctricas y su contribución a la Electrificación Rural». (E. Indacochea). Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas (ITINTEC). Perú, Junio de 1979.
8. «Desarrollo Tecnológico para el Equipamiento de P.C.H.» Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas (ITINTEC), Perú, Abril 1980.
9. «Estudio del caso de la Microcentral Hidroeléctrica Piloto de Obrajillo». (Enrique Indacochea). Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y Normas Técnicas (ITINTEC), Perú, Septiembre 1979.
10. «Seminar-Workshop on the Exchange of Experiences and Technology Transfer on Mini Hydro Electric Generation Units»; draft Report UNIDO, Nepal, September 1979.
11. «Seminar-Workshop on Mini Hydroelectric Power Generation at Kathmandu, Nepal». Norwegian Water Resources and Electricity Board (NVE). Oslo, August 1979.
12. «Swedish Development of Mini Hydro Electric Generation Units». Englesson Swedish Capabilities for Assistance 1979.
13. «Guía para la elaboración de proyectos de P.C.H. destinadas a la electrificación Rural del Perú» (Nozaki). Ministerio de Fomento y Obras Públicas. Perú, Julio de 1968.
14. «La Electrificación en Colombia». Instituto Colombiano de Energía Eléctrica (ICEL). 1977 – 1978.
15. «Plan Nacional de Electrificación con Pequeñas Hidroeléctricas». Consorcio Hidroeléctrico S.A. Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo. Ministerio de Energía y Minas. Peru 1979.

16. «Programa de Desarrollo de P.C.H. en Panamá». Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación en Panamá. Noviembre 1979.
17. «Reconocimiento de Pequeños Aprovechamientos Hidroeléctricos en la región este de la República Dominicana». Corporación de Presas del Este (CPE). República Dominicana. Febrero 1977.
18. «Development of equipment for harnessing Hydropower on a Small Scale». (V. Meier). Balaju Yantra Shala Put Ltd. and Swiss Association for Technical Assistance. Nepal, September 1979.

## II. AUTRES REFERENCES

1. «Metodología de Cálculo del valor económico de una planta Hidroeléctrica». Comisión Federal de Electricidad. México, 1975.
2. «Plan de Microcentrales. Reconocimiento Preliminar. Resumen de costos y características de los Desarrollos», por Tecno-Consulta Ltda. Instituto Colombiano de Energie Eléctrica (ICEL). Colombia 1979.
3. «Plan de microcentrales en Colombia» por Mercy Blanco de Monton. Grupo de Trabajo para el Programa Perspectivas del Desarrollo de P.C.H. en América Latina 1979.
4. «Fuentes de Energía no Convencionales». Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). Costa Rica 1979.
5. «Una experiencia en Programación de Electrificación Rural» por el Comité Técnico de Electrificación Rural. Ministerio de Industria y Energía. España 1979.
6. «Microcentrales Hidroeléctricas Autónomas» por Dr. Roger J. L. Soulier. BRIAU S.A., Francia 1979.
7. «Metodología para el Desarrollo de Minicentrales Hidroeléctricas» por Grupo de Trabajo para definir el Programa Regional de P.C.H. de OLADE. Ecuador 1979.
8. «Plan Nacional de Electrificación Rural 1979 - 1982» por Comisión Federal de Electricidad, México 1979.
9. «El Desarrollo de P.C.H. en Latinoamérica y El Caribe», IX Junta de Expertos, OLADE. Panamá. Noviembre 1979.
10. «La energía y sus perspectivas» por Ing. Hernán Bustamante. Ministerio de Energía y Minas. Perú, 1979.
11. «Fuentes de Energía para la Electrificación Rural en el Perú». ELECTROPERU. Sector Energía y Minas. Perú 1979.
12. «El Programa de Pequeñas y Medianas Centrales Hidroeléctricas en el Perú». ELECTROPERU. Hidrandina, Perú 1979.
13. «Material sobre algunas de las investigaciones y Desarrollo Experimentales en Micro centrales Hidroeléctricas de 5 a 100 kW» por Ings. R. Trejos Glen Dewey y E. Doryan. Universidad de Costa Rica. Costa Rica, 1980.
14. «Plan de Implementación de Microcentrales Hidroeléctricas» por Ing. L. Galarza. Instituto Ecuatoriano de Electricidad. INECEL. Ecuador 1980.

15. «Feasibility Studies for Small Hydropower additions. A Guide Manual.» The Hydrologic Engineering Center and Institute for Water Resources, US. Army Corps of Engineers. USA. July 1979.
16. «Seminar-Workshop on the Exchange of Experiences and Technology Transfer on Mini Hydro Electric Generation Units. Prospect of Mini Hydro Power Development in Bangladesh» by W. Choudhuri. Power Development Board, Nepal, September 1979.
17. «Seminar-Workshop on the Exchange of Experiences and Technology Transfer on Mini Hydro Electric Generation Units. Mini Hydro Power Development Program in Burma». Nepal, September 1979.
18. «Seminar-Workshop on Mini Hydroelectric Power Generation in Kathmandu, Nepal 1979. A typical example of the development and construction of a modern mini hydro power plant in Norway». Norconsult as. Oslo, July 1979.
19. «Estado Atual de desenvolvimento da tecnologia sobre aproveitamentos com a utilização de máquinas tubulares no Brasil. ELETROBRAS. Brazil, 1979.
20. «Mini power stations – Small Hydro Power 100 – 1500 kW» by VAST, Stockholm, December 1980.

## ANNEXE B

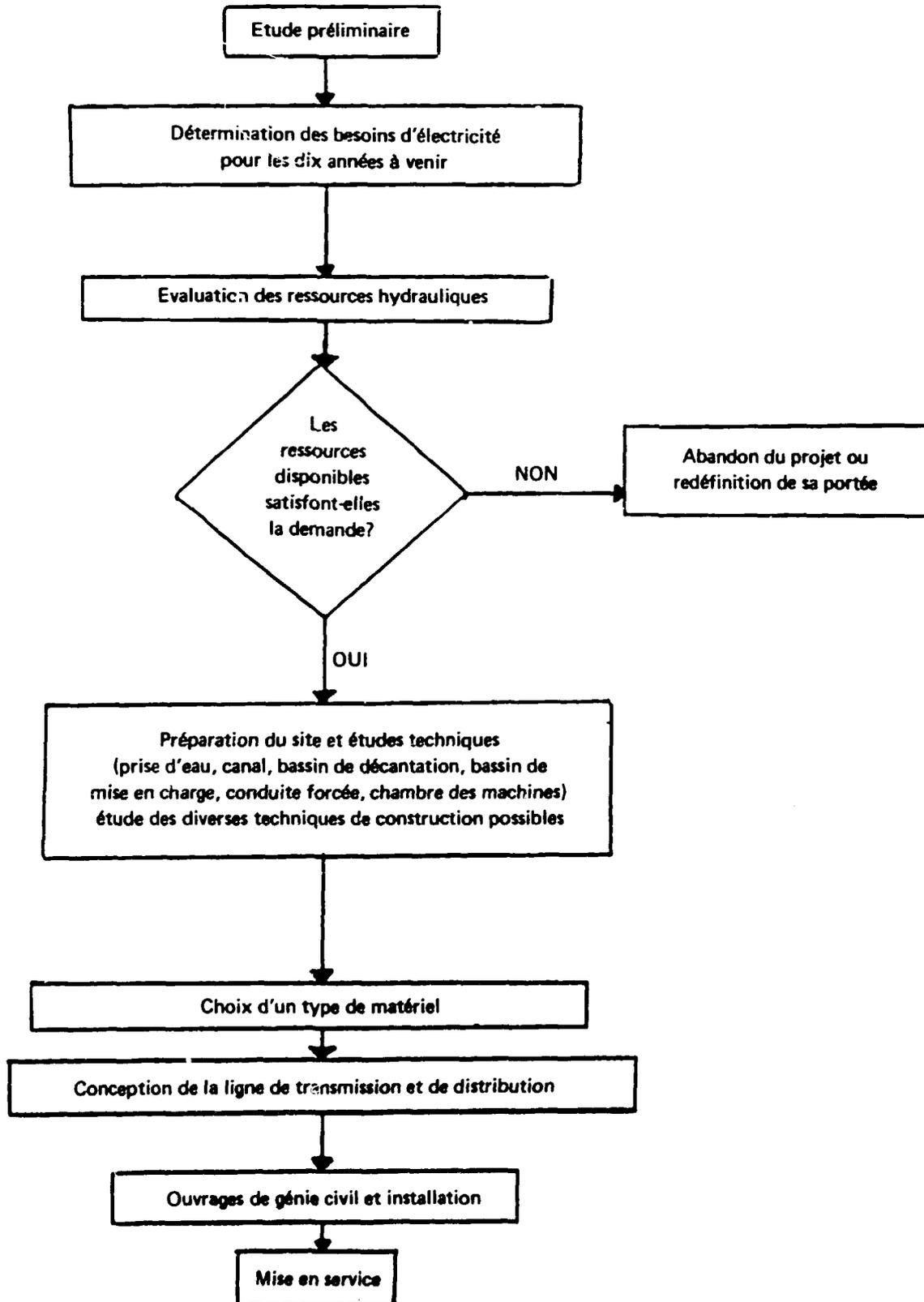
### CALCULS DE BASE

La présente annexe illustre les démarches que comporte la préparation d'un projet de mini-centrale hydro-électrique en prenant pour exemple le projet de centrale pilote de 16 kW d'Obrajillo (Pérou).

Il faut signaler que ce projet a été exécuté aux fins de recherche et qu'on a utilisé pour le réaliser un canal d'irrigation existant.

Le schéma ci-dessous indique les étapes probables d'un projet:

### SEQUENCE SCHEMATIQUE D'UN PROJET DETERMINE



La conception du projet a suivi la marche ci-dessous:

### **Etude de la demande**

La collectivité à alimenter en courant avait une population de 595 habitants avec un taux de croissance pratiquement nul, les statistiques n'accusant depuis quelques années aucune augmentation de la population, en raison de la migration vers la ville.

Le village possédait une boulangerie produisant son courant au moyen d'un groupe électrogène à moteur. Il y avait également une petite laiterie possédant aussi son propre groupe électrogène. Le village ne disposait d'aucun éclairage public ni privé.

Pour déterminer la puissance qu'on devrait tirer de la future centrale hydraulique, on a tenu compte des facteurs suivants:

- La boulangerie consomme du courant entre 3 h et 7 h du matin.
- La laiterie ne consomme de courant qu'entre 8 h et 18 h.
- L'éclairage domestique n'avait à être fourni que de 18 h à 22 h.
- L'éclairage public n'avait à être fourni que de 18 h à 22 h.

La charge maximale de la centrale serait donc déterminée par l'éclairage public et domestique. On a calculé cette consommation à raison de 25 watts par habitant, ce qui donne un besoin de puissance de 16 kW environ (compte tenu d'une éventuelle expansion permettant d'avoir une capacité installée par habitant plus élevée).

### **Etude des ressources**

Dans le cas de ce projet il y avait déjà un canal proche de la localité et utilisé pour l'irrigation. Ce canal est alimenté par le Chillon, dont le débit annuel minimum est de  $1,2 \text{ m}^3/\text{sec}$ .

La prise d'eau au canal est curée et entretenue chaque année par les habitants.

Il fallait avant tout trouver une chute, dont on a par la suite établi le niveau au moyen de techniques topographiques. La détermination de la hauteur de chute (56,5 m) et la connaissance de la puissance nécessaire (16 kW) ont permis de déterminer le débit et en même temps le diamètre optimal de la conduite forcée. Avec le tuyau de 8 inches en PVC choisi, on a obtenu une chute nette de 55,3 m et un débit maximal de  $0,048 \text{ m}^3/\text{sec}$ ., d'après la formule ci-dessous:

$$= \frac{P}{9,807 \eta H_n}$$

où P est la puissance (16 kW)  
H<sub>n</sub> la hauteur de chute nette (55,3 m)  
η le rendement total de l'installation (62 pour cent)  
d'après le tableau ci-dessous

Une fois le débit déterminé, on a effectué une analyse hydraulique pour savoir si la capacité du canal était suffisante pour alimenter en même temps l'installation et l'irrigation. Cette étude a permis de constater l'existence de certaines zones critiques nécessitant un élargissement du canal.

RENDEMENT TOTAL DES MINI CENTRALES  
(en %)

Puissance en kW	Type de turbine			
	Pelton	Michell-Banki	Francis	Axiale
jusqu'à 50	58 – 65	54 – 62	59 – 65	58 – 66
50 – 500	65 – 69	62 – 65	66 – 70	66 – 70
500 – 5.000	69 – 73	65*	70 – 74	70 – 74

\* La turbine Michell-Banki fonctionne jusqu'à une puissance maximale de 1000 kW.

Les chiffres ci-dessus tiennent compte du rendement du générateur qui est faible pour les petites puissances.

### **Choix du site et conception des ouvrages de génie civil**

Il a fallu améliorer la prise d'eau existante afin de pouvoir régler l'admission d'eau au canal d'irrigation.

On a renforcé et élargi les zones critiques du canal afin d'obtenir la capacité nécessaire.

On a construit le bassin de mise en charge servant en même temps de bassin de décantation et aménagé un retour de l'excès d'eau au canal d'irrigation.

La conduite forcée en PVC a été convenablement ancrée. Bien qu'il soit d'ordinaire recommandé d'enterrer une conduite de ce genre, le tuyau en question a été installé à ciel ouvert afin qu'on puisse en constater le bon fonctionnement et la résistance aux intempéries et aussi faire l'essai de plusieurs revêtements de protection.

### **Choix du matériel**

#### **a) Choix du générateur**

On s'est appuyé sur l'hypothèse du besoin de 16 kW. Sur cette base, il y avait lieu de spécifier un alternateur de 20 kVA, avec un facteur de puissance de 0,8, une tension installée de 220 V et une fréquence installée de 60 Hz. Ce générateur peut satisfaire le besoin maximal de puissance. La vitesse de rotation de l'alternateur est de 1800 tours/minute. A titre d'expérience, on a également installé un générateur asynchrone avec un banc de condensateurs permettant un fonctionnement indépendant.

#### **b) Choix des turbines**

L'installation d'Obrajillo est une centrale-pilote devant servir à étudier et à mettre au point une technique adaptée aux turbines à faible vitesse spécifique. Le tableau ci-dessous donne les vitesses spécifiques de divers types de turbines:

**CHOIX DE LA TURBINE EN FONCTION DE LA VITESSE SPECIFIQUE**

Type de turbine	$N_s$	$N_q$	$N_{\text{maxi admissible}}$
Pelton à bec unique	10 à 29	3 à 9	1800 à 400
Pelton à deux ou plusieurs becs	29 à 59	9 à 18	400 à 350
Michell-Banki	29 à 220	9 à 68	200 à 80
Francis lente	59 à 124	18 à 38	350 à 150
Francis normale	124 à 220	38 à 68	150 à 80
Francis rapide	220 à 440	68 à 135	80 à 20
Turbines à hélice et Kaplan	342 à 980	105 à 300	35 à 5

Deux formules sont possibles pour le calcul de la vitesse spécifique. La première est fonction du rendement de la turbine et s'écrit:

$$N_s = N \frac{P^{1/2}}{H_n^{5/4}}$$

- où P est la puissance nette en cv  
 $H_n$  la hauteur de chute nette, en mètres  
 N la vitesse en tours/minute

La deuxième formule permet d'obtenir des critères de similitude indépendants du rendement et s'écrit:

$$N_q = N \frac{Q^{1/2}}{H_n^{3/4}}$$

- où Q est le débit en  $m^3$ /seconde

Puisqu'on s'intéressait aux faibles vitesses on a décidé d'avoir des turbines Pelton et Michell-Banki fonctionnant dans les mêmes conditions de hauteur de chute et de débit.

Pour être sûr que les turbines fonctionnant dans ces conditions respecteraient les limites de leurs gammes de vitesses, il fallait déterminer des diamètres de roues propres à assurer une vitesse optimale de la turbine.

Dans le cas de la turbine Michell-Banki, la formule est:

$$N = \frac{39,85 \sqrt{H_n}}{D_{ext}}$$

où N est la vitesse de la turbine en tours/minute  
H<sub>n</sub> la hauteur de chute effective nette, en mètres  
D<sub>ext</sub> le diamètre extérieur de la roue en mètres

La formule pour la turbine Pelton est:

$$N = \frac{41,46 \sqrt{H_n}}{D_p}$$

où D<sub>p</sub> est le diamètre de la roue du Pelton, en mètres

On a adopté des diamètres de roue de 200 mm pour la Michell-Banki et de 600 mm pour la Pelton, ce qui a exigé l'installation d'un système mécanique de transmission par courroie entre la turbine et l'alternateur.

#### Conception de la chambre des machines

Dans le projet en question, on a pris comme chambre des machines un moulin existant, assez grand pour abriter le matériel et les opérations de recherche.

## ANNEXE C

### SYMBOLES ET ABREVIATIONS

<b>W</b>	Watt
<b>kW</b>	Kilowatt
<b>MW</b>	Megawatt
<b>kWh</b>	Kilowatt-heure
<b>kWh/gal</b>	Kilowatt-heure par gallon
<b>m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup></b>	mètre cube par seconde et par km carré
<b>m<sup>3</sup>/sec</b>	mètre cube par seconde
<b>mos/an</b>	mois par an
<b>habit./km<sup>2</sup></b>	habitants par kilomètre carré
<b>gal</b>	gallon
<b>hr</b>	heure
<b>m</b>	mètre
<b>km</b>	kilomètre
<b>ERE</b>	Extension de réseau existant
<b>MCHE</b>	Mini-centrale hydro-électrique
<b>OLADE</b>	Organisation latino-américaine de l'énergie
<b>ONU DI</b>	Organisation des Nations Unies pour le développement industriel



