

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
1116**

Première édition
First edition
1992–10

**Guide pour l'équipement électromécanique
des petits aménagements hydro-électriques**

**Electromechanical equipment guide
for small hydroelectric installations**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 1116: 1992

Numéros des publications

Depuis le 1^{er} janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60 000.

Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement (Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60 000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates (On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
1116**

Première édition
First edition
1992–10

**Guide pour l'équipement électromécanique
des petits aménagements hydro-électriques**

**Electromechanical equipment guide
for small hydroelectric installations**

© CEI 1992 Droits de reproduction réservés — Copyright — all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher

Bureau central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

XA

● Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

AVA Documents
Document Sharing Hub

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	6
SECTION 1 – GÉNÉRALITÉS	
Articles	
1.1 Domaine d'application et objet	8
1.2 Références normatives	10
1.3 Terminologie	12
1.4 Méthodologie	12
SECTION 2 – DESCRIPTION DE L'AMÉNAGEMENT ET CONDITIONS D'EXPLOITATION DE LA CENTRALE HYDRO-ÉLECTRIQUE	
2.1 Conditions d'implantation	12
2.2 Conditions hydrauliques de l'aménagement et critères de dimensionnement des groupes	14
2.3 Conditions d'exploitation électrique de la centrale	16
2.3.1 La centrale est prévue pour fonctionner en réseau isolé	16
2.3.2 La centrale est prévue pour fonctionner en parallèle avec un réseau (qui impose la fréquence)	18
2.3.3 Transport et distribution de l'énergie	18
2.4 Types de réglage et modes de fonctionnement	20
2.4.1 Régulation de fréquence	20
2.4.2 Asservissement au niveau	20
2.4.3 Restitution	20
2.4.4 Régulation simplifiée	20
2.5 Automatismes, télémesures, téléconduites, alarmes	20
SECTION 3 – SPÉCIFICATION DES ÉQUIPEMENTS	
3.1 Prestations techniques	22
3.2 Limites de la fourniture	22
3.2.1 Pour le circuit hydraulique	22
3.2.2 Pour le circuit électrique	22
3.2.3 Eléments qui ne font habituellement pas partie de la fourniture	22
3.3 Spécifications des éléments de l'aménagement	22
3.3.1 Grilles et dégrilleurs	24
3.3.2 Contrôle du niveau d'eau	24
3.3.3 Organes d'obturation du débit (voir figure 7)	24
3.3.4 Conduite forcée	26
3.3.5 Turbine (voir figure 8)	28
3.3.6 Génératrice	34
3.3.7 Système de commande automatique	38
3.3.8 Transformateur principal (voir CEI 76)	40

CONTENTS

	Page
FOREWORD	7
SECTION 1 – GENERAL	
Clause	
1.1 Scope and object	9
1.2 Normative references	11
1.3 Nomenclature	13
1.4 Methodology	13
SECTION 2 – DESCRIPTION OF INSTALLATION AND OPERATING CONDITIONS OF POWER STATION	
2.1 Site conditions	13
2.2 Hydraulic conditions for plant and design criteria for the units	15
2.3 Electrical conditions for plant operation	17
2.3.1 The plant is intended to operate in isolated network	17
2.3.2 The plant is intended to operate in parallel with a grid which imposes the frequency	19
2.3.3 Energy transport and distribution	19
2.4 Types of regulation and modes of operation	21
2.4.1 Frequency regulation	21
2.4.2 Level control	21
2.4.3 Flow regulation	21
2.4.4 Simplified governing	21
2.5 Automation, telemetry, remote control, alarms	21
SECTION 3 – EQUIPMENT SPECIFICATIONS	
3.1 Technical requirements	23
3.2 Limits of the supply	23
3.2.1 For the hydraulic system	23
3.2.2 For the electric system	23
3.2.3 Elements not normally included in the supply	23
3.3 Specifications of the elements of the plant	23
3.3.1 Trashrack and rack cleaner	25
3.3.2 Water-level control	25
3.3.3 Discharge closure devices (see figure 7)	25
3.3.4 Penstock	27
3.3.5 Turbine (see figure 8)	29
3.3.6 Generator	35
3.3.7 Automatic control system	39
3.3.8 Main transformers (reference can be made to IEC 76)	41

Articles	Pages
3.3.9 Equipement auxiliaire	40
3.3.10 Pièces de rechange et outillages spéciaux	44
3.3.11 Manutention	44
3.3.12 Protection contre la corrosion	44
3.4 Garanties	44
3.4.1 Dispositions générales	44
3.4.2 Organes d'obturation du débit	48
3.4.3 Turbine	48
3.4.4 Génératrice	48
3.4.5 Régulation	48
3.4.6 Multiplicateur de vitesse	50
3.4.7 Commentaires s'appliquant à l'ensemble du groupe	50
3.4.8 Transformateur principal	50
3.5 Conditions générales pour l'appel d'offres et la comparaison des offres	50
3.5.1 Instructions aux soumissionnaires	52
3.5.2 Conditions générales du contrat	52
3.5.3 Comparaison technique des offres	52

SECTION 4 – CONTRÔLES D'EXÉCUTION, RÉCEPTION, EXPLOITATION ET ENTRETIEN

4.1 Approbation du projet et contrôle de l'ouvrage	54
4.1.1 Approbation des documents de projet	54
4.1.2 Contrôle des matières et des sous-ensembles	54
4.1.3 Inspection en usine	54
4.1.4 Livraison	56
4.1.5 Montage sur le site	56
4.2 Mise en service	58
4.2.1 Vérifications préalables à la mise en eau	58
4.2.2 Mise en eau	60
4.2.3 Rotation du groupe	60
4.2.4 Contrôles préalables et essais électriques en charge	62
4.3 Exploitation	62
4.3.1 Période probatoire	62
4.3.2 Période de garantie	64
4.3.3 Exploitation normale	68
4.4 Formation du personnel	68
4.5 Surveillance et entretien	68
Annexe A (informative) – Définitions et nomenclature	74
Tableaux	82
Figures	88

Clause	Page
3.3.9 Auxiliary equipment	41
3.3.10 Spare parts and special tools	45
3.3.11 Mechanical handling	45
3.3.12 Corrosion protection	45
3.4 Guarantees	45
3.4.1 General	45
3.4.2 Discharge closure devices	49
3.4.3 Turbine	49
3.4.4 Generator	49
3.4.5 Governor	49
3.4.6 Speed increaser	51
3.4.7 Comments concerning the complete generating set	51
3.4.8 Main transformer	51
3.5 General conditions for tender enquiries and comparison of tenders	51
3.5.1 Instructions to tenderers	53
3.5.2 General conditions of contract	53
3.5.3 Technical comparison of tenders	53

SECTION 4 – INSPECTION, DELIVERY, OPERATION AND MAINTENANCE

4.1 Approval of the design and inspection of the work	55
4.1.1 Approval of design documents	55
4.1.2 Inspection of materials and sub-assemblies	55
4.1.3 Inspection at manufacturer's works	55
4.1.4 Delivery	57
4.1.5 Assembly at site	57
4.2 Commissioning	59
4.2.1 Preliminary checks before watering-up	59
4.2.2 Watering-up	61
4.2.3 Unit rotation	61
4.2.4 Preliminary checks and electrical load tests	63
4.3 Operation	63
4.3.1 Probationary period	63
4.3.2 Guarantee period	65
4.3.3 Normal operation	69
4.4 Training of personnel	69
4.5 Checking and maintenance	69
Annex A (informative) – Definitions and nomenclature	74
Tables	83
Figures	89

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

GUIDE POUR L'ÉQUIPEMENT ÉLECTROMÉCANIQUE DES PETITS AMÉNAGEMENTS HYDRO-ÉLECTRIQUES

AVANT-PROPOS

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

La présente Norme internationale a été établie par le Comité d'Etudes n° 4 de la CEI: Turbines hydrauliques.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote
4(BC)46	4(BC)51

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

L'annexe A est donnée uniquement à titre d'information.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**ELECTROMECHANICAL EQUIPMENT GUIDE
FOR SMALL HYDROELECTRIC INSTALLATIONS**

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

This International Standard has been prepared by IEC Technical Committee No. 4: Hydraulic turbines.

The text of this standard is based on the following documents:

Six Months' Rule	Report on Voting
4(CO)46	4(CO)51

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the Voting Report indicated in the above table.

Annex A is for information only.

GUIDE POUR L'ÉQUIPEMENT ÉLECTROMÉCANIQUE DES PETITS AMÉNAGEMENTS HYDRO-ÉLECTRIQUES

SECTION 1 – GÉNÉRALITÉS

1.1 Domaine d'application et objet

La présente Norme internationale est utilisée comme guide. Elle est applicable aux aménagements hydro-électriques avec des groupes de puissance unitaire inférieure à 5 MW et des turbines ayant un diamètre de roue inférieur à 3 m. Ces valeurs ne représentent pas des limites absolues.

Le présent guide traite uniquement des relations directes entre acquéreur ou ingénieur-conseil et fournisseur. Il ne traite ni du génie civil ni des conditions administratives ou commerciales.

Ce guide est destiné à être utilisé par toutes les parties intéressées à l'installation de l'équipement électromécanique des petits aménagements hydro-électriques.

Le présent guide, élaboré sous l'aspect d'une information essentiellement pratique, a pour objet particulier de fournir à l'acquéreur de l'équipement des renseignements qui lui faciliteront:

- la préparation des appels d'offres;
- l'évaluation des offres;
- les contacts avec le fournisseur pendant le projet et la fabrication des équipements;
- le contrôle de qualité pendant la fabrication et les essais en usine;
- le suivi des montages sur le site;
- la mise en service;
- les essais de réception;
- l'exploitation et l'entretien.

Le guide comporte ce qui suit:

- a) des prescriptions générales pour l'équipement électromécanique des petits aménagements hydro-électriques;
- b) des spécifications techniques de l'équipement électromécanique, à l'exclusion de son dimensionnement et de toute normalisation dans ce domaine;
- c) des prescriptions pour la réception, l'exploitation et l'entretien.

Etant donné le type d'installation considéré, les documents doivent être aussi simples que possible, mais doivent définir convenablement les conditions particulières de fonctionnement. L'excès de spécifications est préjudiciable à la bonne économie du projet.

ELECTROMECHANICAL EQUIPMENT GUIDE FOR SMALL HYDROELECTRIC INSTALLATIONS

SECTION 1 – GENERAL

1.1 Scope and object

This International Standard is used as a guide that applies to hydroelectric installations with units having power outputs less than 5 MW and turbines with nominal runner diameters less than 3 m. These figures do not represent absolute limits.

This guide deals only with the direct relations between the purchaser or the consulting engineer and the supplier. It does not deal with civil works, administrative conditions or commercial conditions.

This guide is intended to be used by all concerned in the installation of electromechanical equipment for small hydroelectric plants.

This guide, based essentially on practical information, aims specifically at supplying the purchaser of the equipment with information which will assist him with the following:

- preparation of the call for tenders;
- evaluation of the tenders;
- contact with the supplier during the design and manufacture of equipment;
- quality control during the manufacture and shop-testing;
- follow-up of site erection;
- commissioning;
- acceptance tests;
- operation and maintenance.

The guide comprises the following:

- a) general requirements for the electromechanical equipment of small hydroelectric installations;
- b) technical specifications for the electromechanical equipment, excluding its dimensioning and standardization;
- c) requirements for acceptance, operation and maintenance.

Bearing in mind the type of installation considered, the documents shall be as simple as possible but must satisfactorily define the particular operation conditions. Over-specification is harmful to the economy of the project.

1.2 Références normatives

Les normes suivantes contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente Norme internationale. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Toute norme est sujette à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente Norme internationale sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des normes indiquées ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 34-1: 1983, *Machines électriques tournantes – Première partie: Caractéristiques assignées et caractéristiques de fonctionnement.*

CEI 34-2: 1972, *Machines électriques tournantes – Deuxième partie: Méthodes pour la détermination des pertes et du rendement des machines électriques tournantes à partir d'essais (à l'exclusion des machines pour véhicules de traction).*

CEI 34-2A: 1974, *Premier complément: Mesure des pertes par la méthode calorimétrique.*

CEI 34-5: 1991, *Machines électriques tournantes – Cinquième partie: Classification des degrés de protection procurés par les enveloppes des machines tournantes électriques (code IP).*

CEI 41: 1991, *Essais de réception sur place des turbines hydrauliques, pompes d'accumulation et pompes-turbines, en vue de la détermination de leurs performances hydrauliques.*

CEI 50(602): 1983, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI), Chapitre 602: Production, transfert et distribution de l'énergie électrique – Production.*

CEI 56: 1987, *Disjoncteurs à courant alternatif à haute tension.*

CEI 70: 1967, *Condensateurs de puissance.*

CEI 76-1: 1976, *Transformateurs de puissance – Première partie: Généralités.*

CEI 129: 1984, *Sectionneurs et sectionneurs de terre à courant alternatif.*

CEI 185: 1987, *Transformateurs de courant.*

CEI 186: 1987, *Transformateurs de tension.*

CEI 193: 1965, *Code international concernant les essais de réception sur modèle des turbines hydrauliques. Modification n° 1 (1977).*

CEI 193A: 1972, *Premier complément à la CEI 193 (1965).*

CEI 308: 1970, *Code international d'essai des régulateurs de vitesse pour turbines hydrauliques.*

CEI 545: 1976, *Guide pour la réception, l'exploitation et l'entretien des turbines hydrauliques.*

CEI 609: 1978, *Evaluation de l'érosion de cavitation dans les turbines, les pompes d'accumulation et les pompes-turbines hydrauliques.*

Etant donné l'objet du guide, celui-ci ne traite pas de la phase de recherche initiale, c'est-à-dire des études préliminaires et de faisabilité. Il ne traite pas non plus de l'aspect économique, avec l'étude de la demande potentielle et du placement de l'énergie.

1.2 Normative references

The following standards contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this International Standard. At the time of publication of this standard, the editions indicated were valid. All standards are subject to revision, and parties to agreements based on this International Standard are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the standards indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 34-1: 1983, *Rotating electrical machines – Part 1: Rating and performance*.

IEC 34-2: 1972, *Rotating electrical machines – Part 2: Methods for determining losses and efficiency of rotating electrical machinery from tests (excluding machines for traction vehicles)*.

IEC 34-2A: 1974, *First supplement: Measurement of losses by the calorimetric method*.

IEC 34-5: 1991, *Rotating electrical machines – Part 5: Classification of degrees of protection provided by enclosures of rotating electrical machines (IP Code)*.

IEC 41: 1991, *Field acceptance tests to determine the hydraulic performance of hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines*.

IEC 50(602): 1983, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV), Chapter 602: Generation, transmission and distribution of electricity – Generation*.

IEC 56: 1987, *High-voltage alternating-current circuit-breakers*.

IEC 70: 1967, *Power capacitors*.

IEC 76-1: 1976, *Power transformers – Part 1: General*.

IEC 129: 1984, *Alternating current disconnectors (isolators) and earthing switches*.

IEC 185: 1987, *Current transformers*.

IEC 186: 1987, *Voltage transformers*.

IEC 193: 1965, *International code for model acceptance tests of hydraulic turbines. Amendment No. 1 (1977)*.

IEC 193A: 1972, *First supplement to IEC 193 (1965)*.

IEC 308: 1970, *International code for testing of speed governing systems for hydraulic turbines*.

IEC 545: 1976, *Guide for commissioning, operation and maintenance of hydraulic turbines*.

IEC 609: 1978, *Cavitation pitting evaluation in hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines*.

Considering the scope of this guide, it does not cover the initial stage of investigations, that is to say the preliminary study and feasibility study. Neither does it deal with the economic study concerning the supply and demand of energy.

En résumé, ce guide ne remplace pas les études techniques nécessaires au choix, à l'étude, à la fabrication, à l'installation et aux essais de l'équipement. Il permet seulement d'attirer l'attention de l'acquéreur sur les principales données et indications à fournir, à spécifier et à considérer lors de la réalisation de petits aménagements hydro-électriques.

NOTES

1 Les normes de la CEI applicables pour la préparation des documents techniques sont énumérées en 1.2. Pour le cas de petits aménagements, on doit faire les simplifications nécessaires à ce type d'installation.

2 Les normes de la CEI ne couvrant pas tous les domaines de l'équipement et de l'appareillage, les normes ISO concernant les éléments spécifiques pourront être consultées, bien qu'en cas de conflit entre codes ou normes CEI et ISO, les règles de la CEI prévalent.

1.3 Terminologie

Voir l'annexe A.

1.4 Méthodologie

Dans un souci de clarté, la succession des opérations nécessaires à la réalisation d'un aménagement hydro-électrique de petite puissance est représentée sous forme d'organigramme (voir figure 1).

On retrouve principalement la préparation des spécifications techniques, l'examen des offres, la fabrication et finalement l'exploitation et l'entretien des équipements.

Cet enchaînement montre également l'interaction entre les différentes phases et les compétences des intervenants (ingénieur-conseil, maître d'oeuvre et exploitants).

Si l'acquéreur ne dispose pas de bureau d'étude ni des services d'un ingénieur-conseil, il pourra adopter, pour faciliter ses rapports avec les constructeurs, une fourniture du type «clefs en main» de tout l'équipement hydro-électrique, ou du moins prévoir un fournisseur chef de file responsable de tout ou partie de l'équipement électro-mécanique (par exemple le groupe ou l'ensemble depuis la turbine jusqu'au poste de couplage).

SECTION 2 – DESCRIPTION DE L'AMÉNAGEMENT ET CONDITIONS D'EXPLOITATION DE LA CENTRALE HYDRO-ÉLECTRIQUE

Les renseignements et données ci-après, généralement nécessaires pour le fournisseur de l'équipement, devraient figurer dans l'appel d'offres; dans quelques cas, certains de ces renseignements ne seront pas immédiatement disponibles. Il faut insister sur le fait que plus l'information est complète, meilleure est la compréhension du projet et meilleure est la solution technique.

2.1 Conditions d'implantation

2.1.1 Fournir un levé topographique (vue en plan et profil en long) indiquant l'altitude des points relevés et l'implantation souhaitée des principaux ouvrages (voir figure 4), prises d'eau, réservoir, canal ou galerie, cheminée d'équilibre ou bassin de mise en charge, conduite forcée, usine, hauteur d'eau en amont, hauteur d'eau en aval, ainsi que leurs principales caractéristiques (sections, longueurs, matériaux des canaux et conduites, etc.). Indiquer les conditions de fondation (sable, rocher, terrain meuble, etc.).

2.1.2 Joindre des photographies, numérotées et repérées sur le levé mentionné en 2.1.1, représentant les points d'implantation des principaux ouvrages.

To conclude, the guide does not replace the necessary engineering studies for the selection, design, manufacture, installation and testing of the equipment. It is intended only to make the purchaser aware of the important points and data to be furnished, specified and kept in due consideration in the construction of small hydroelectric plants.

NOTES

- 1 The IEC standards applicable for the preparation of technical documents are given in clause 1.2. In the case of small hydro developments, the necessary simplification relevant to the type of installation shall be made.
- 2 Where IEC standards do not cover all areas of the equipment, ISO Standards concerning specific items can be consulted, although where there is conflict between the IEC codes and the ISO Standards those of the IEC will prevail.

1.3 Nomenclature

See annex A.

1.4 Methodology

In the interests of clarity, the sequence of the necessary steps for the construction of a small hydroelectric power plant is represented diagrammatically in figure 1.

It principally covers the preparation of technical specifications, the examination of tenders, the manufacture, and finally the commercial operation and maintenance of equipment.

This sequence also shows the relationship between the different phases and areas of responsibility of all the parties concerned (consulting engineer, chief resident engineer, and users).

If the purchaser does not have in-house engineering capabilities or the services of a consulting engineer he may call for, to facilitate relations with contractors, a "turn-key" supply, or have at least a leading contractor responsible for the supply of all or part of the electromechanical equipment (e.g. the turbine/generator package, or a "water-to-wire" package).

SECTION 2 – DESCRIPTION OF INSTALLATION AND OPERATING CONDITIONS OF POWER STATION

The following data is generally required by the equipment supplier and should appear in the enquiry. In some cases, all these data are not always readily available. Nevertheless, it must be emphasized that the more information that is given the better will the project be understood and therefore the better the technical solution which will result.

2.1 Site conditions

2.1.1 Supply a topographic survey (plan and profile) giving the altitude of the points indicated and the position desired for the main works (see figure 4), water intake, reservoir, channel, surge tank or head pond, penstock, power plant, headwater, tailwater and their main characteristics (sections, lengths, materials of the channels and penstocks, etc.). Indicate the foundation conditions (sand, rock, soft ground, etc.).

2.1.2 Attach numbered pictures with cross-references to the topographic survey described in 2.1.1, showing the setting and location of the main works.

2.1.3 Fournir l'analyse chimique de l'eau, assortie des valeurs de ses températures extrêmes et, si nécessaire, d'une analyse granulométrique du débit solide à l'endroit de la prise d'eau ou en aval du dessableur s'il y en a un.

Indiquer la présence éventuelle d'organismes vivants, de végétaux flottants, etc.

2.1.4 Préciser les conditions locales: températures extrêmes de l'air, taux d'humidité, existence de vents violents, tremblements de terre, etc.

2.1.5 Indiquer les contraintes de transport ou d'accès.

2.1.6 Certains renseignements mentionnés en 4.1.5.1 et 4.1.5.3 (montages) peuvent être également signalés dans l'appel d'offres, s'ils revêtent un caractère particulier, propre au pays de l'acquéreur.

2.1.7 Préciser s'il s'agit d'un aménagement au fil de l'eau (voir figure 3), ou avec réservoir.

Indiquer s'il existe des contraintes particulières d'exploitation: aménagement à buts multiples, environnement, pêche, etc.

Citer et décrire (par un croquis) les éléments de l'aménagement qui font partie d'une installation existante et qu'il est éventuellement prévu de réutiliser.

2.1.8 Indiquer si l'usine sera gardiennée ou pas.

2.2 Conditions hydrauliques de l'aménagement et critères de dimensionnement des groupes

2.2.1 Préciser les niveaux extrêmes d'intumescence dans les canaux.

2.2.2 Joindre une courbe des débits classés avec indications du débit réservé (débit garanti, irrigation, eau potable) (voir figure 2).

2.2.3 Spécifier le débit d'équipement choisi Q_a , en mètres cubes par seconde, et la disponibilité en jours par an.

2.2.4 Spécifier les niveaux extrêmes à la prise d'eau (amont) et à la restitution (aval) en mètres (m) au-dessus du niveau de la mer, comme suit:

a) amont max ... m
 min ... m

b) aval max ... m
 min ... m

c) marnage autorisé: ... m

et donner les courbes:

d) niveau en fonction du débit (amont et aval)

e) niveau en fonction du volume du réservoir amont ou du bassin de mise en charge (essentiel pour un aménagement à accumulation)

2.2.5 Spécifier les puissances désirées et les durées de fonctionnement correspondantes. Les chutes nettes sont définies par la CEI 41. Les turbines à flux transversal avec diffuseurs sont considérées comme des turbines à réaction.

2.1.3 Supply the chemical analysis of the water with extremes of temperature and, if necessary, the amount and size of sediments carried by the water in the area around the water intake or downstream of the sand trap, if any.

Indicate the presence of any living organisms or floating debris, etc.

2.1.4 Specify the local conditions; extremes of air temperature, humidity, occurrence of strong winds, earthquakes, etc.

2.1.5 Indicate any transport or access limitations.

2.1.6 Certain information mentioned in 4.1.5.1 and 4.1.5.3 (erection) may also be shown in the tender enquiry if this reflects a particular feature of the purchaser's own country.

2.1.7 State if it is run-of-river (see figure 3) or a scheme with a reservoir.

Indicate if there exist any particular operational constraints: e.g. multi-purpose scheme, environmental, fisheries, etc.

State and describe (with drawings) those elements of the plant which are part of an existing installation which it is foreseen will eventually be put back into use.

2.1.8 State if the plant will be manned or unmanned.

2.2 Hydraulic conditions for plant and design criteria for the units

2.2.1 Specify the maximum allowable up or down surges in the channels.

2.2.2 Provide a flow duration curve (see figure 2) with an indication of the limiting flows (guaranteed water supply, irrigation, drinking-water).

2.2.3 Specify the chosen design flow, Q_a , in cubic metres per second, and the availability in days per year.

2.2.4 Specify the extreme water-levels at the intake and at the tail-race in metres (m) above sea-level, as follows.

a) upstream max ... m
 min ... m

b) downstream max ... m
 min ... m

c) operational range allowed: ... m

and give the curves for:

d) level versus discharge (upstream and downstream)

e) level versus volume of the upstream reservoir or head pond (essential for a reservoir scheme).

2.2.5 Specify the desired outputs and the duration of the corresponding operations. The net heads are defined as in IEC 41. The crossflow turbines with diffusers being considered as reaction turbines.

2.2.6 Indiquer le nombre de groupes souhaité.

2.2.7 Définir les critères d'évaluation des rendements pour toute la gamme de fonctionnement, y compris la surcharge (pondération des rendements par les énergies produites aux divers chutes et débits. Le poids à donner à un rendement ou à une possibilité de surpuissance dépend de la durée d'utilisation du point de fonctionnement considéré et de l'énergie que l'on peut alors tirer de l'aménagement). Pour les instructions aux soumissionnaires, voir article 3.5.

NOTES

- 1 Pour les aménagements à basse chute avec de courts ouvrages de prises, on doit soigner la forme de la prise d'eau de façon à éviter les problèmes hydrauliques comme vortex et admission d'air.
- 2 Un tracé adéquat des conduits hydrauliques est essentiel pour réduire les pertes de charge (différence entre chute brute et chute nette).

2.3 Conditions d'exploitation électrique de la centrale

L'acquéreur utilisera, suivant le cas, 2.3.1 ou 2.3.2.

2.3.1 La centrale est prévue pour fonctionner en réseau isolé

a) Sans autre source d'énergie sur le réseau

Pour une centrale en réseau isolé, il est nécessaire de pouvoir démarrer manuellement sans apport d'énergie.

- i) Tension réseau requise V
Tolérance (en régime établi) + ... % – ... %
- ii) Fréquence réseau Hz
Tolérance (en régime établi) + ... % – ... %
- iii) Puissance minimale requise par le réseau toute l'année kW
- iv) Vitesse de variation de la charge que le réseau peut admettre (pour définir si un volant d'inertie est nécessaire ou non) kW/s
- v) Valeur des échelons de charge que le réseau peut admettre + ... kW – ... kW
- vi) Facteur de puissance ($\cos \phi$)

b) Avec connexion permanente, à une autre source d'électricité définie comme suit:

- i) Groupe hydro-électrique: type
puissance min kW
- ii) Groupe thermo-électrique: type
- iii) Caractéristiques du générateur (alternateur ou génératrice asynchrone):
 - tension assignée V
 - fréquence assignée Hz
 - puissance apparente assignée kVA
 - GD^2 (inertie des parties tournantes) $\text{kg} \cdot \text{m}^2$
 - facteur de puissance ($\cos \phi$)

iv) Caractéristiques du régulateur de turbine

Conditions du réseau définies comme dans 2.3.1 a) points i) à iv).

v) Caractéristiques du régulateur de tension (répartition de la puissance réactive).

2.2.6 State the number of units suggested.

2.2.7 Define the evaluation criteria for efficiency over the full range of operation as well as overload conditions (weighting the efficiency according to the amount of energy produced at different heads and flows). The weight to be given to a particular efficiency or overload depends on the time of utilization at the point of operation considered and the energy thus recovered from the installation. For general instructions to tenderers see clause 3.5.

NOTES

- 1 For low head plants with short intakes, care must be taken in the design of the intake in order to obviate hydraulic problems such as vortices and air admission.
- 2 The proper design of the waterways is essential in order to minimize the head losses (difference between gross and net head).

2.3 Electrical conditions for plant operation

The plant electrical conditions and requirements listed under either 2.3.1 or 2.3.2.

2.3.1 *The plant is intended to operate in isolated network*

a) *Without any other energy supply on the network*

For isolated load networks, black-start capability is essential.

- i) Required network voltage V
Tolerance (under steady-state conditions) + ... % - ... %
- ii) Network frequency Hz
Tolerance (under steady-state conditions) + ... % - ... %
- iii) Minimum output required all year round by the network kW
- iv) Load acceptance rate of the network (to determine whether or not a flywheel is required) kW/s
- v) Value of the maximum step-change in load which the network can accept + ... kW - ... kW
- vi) Power factor ($\cos \phi$)

b) *With permanent connection to another electrical energy supply defined as follows:*

- i) Hydroelectric unit: type
min output ... kW
- ii) Thermoelectric unit: type
- iii) Generator characteristics (synchronous or asynchronous):
 - rated voltage V
 - rated frequency Hz
 - rated output kVA
 - inertia GD^2 of rotating parts $\text{kg} \cdot \text{m}^2$
 - power factor ($\cos \phi$)

iv) Turbine governor characteristics

The network conditions are to be defined as in 2.3.1 a), items i) to iv).

v) Voltage regulator characteristics (distribution of reactive power).

c) *Utilisation de l'énergie: variation de la charge quotidienne et saisonnière*

Puissance (kW)	minimale	moyenne	maximale
Charges passives (éclairage, chauffage, séchage, ...)			
Charges actives (moteurs électriques)			
Total			

Pour permettre le choix du mode de régulation et le dimensionnement du régulateur, fournir une indication de l'évolution de la charge (courbe de charge):

- a) quotidienne;
- b) hebdomadaire;
- c) saisonnière.

Indiquer les charges prioritaires et non prioritaires (délestage). Ces renseignements sont utiles au dimensionnement du régulateur.

2.3.2 *La centrale est prévue pour fonctionner en parallèle avec un réseau (qui impose la fréquence)*

a) *Caractéristiques du réseau*

- i) Tension V
Tolérance + ... % - ... %
- ii) Fréquence Hz
Tolérance + ... % - ... %
- iii) Puissance de court-circuit
(au point de raccordement du projet) kVA
- iv) Facteur de puissance ($\cos \phi$)

b) *Puissance apparente du plus gros alternateur en fonctionnement sur le réseau* kVA

2.3.3 *Transport et distribution de l'énergie*

Joindre les dessins suivants:

- pour le cas du fonctionnement en réseau isolé, un plan général de tout le réseau envisagé;
- pour le cas du fonctionnement en parallèle avec un réseau de grand transport, un plan comportant la liaison à celui-ci.

Il convient que ce plan comporte également l'indication des principaux centres de consommation et de production d'énergie.

Donner également des renseignements sur toute l'évolution possible du réseau.

c) *Energy utilization: daily and seasonal load variations*

Output (kW)	minimum	average	maximum
Passive loads (lighting, heating, drying, ...)			
Active loads (electric motors)			
Total			

In order to decide the method of regulation and the design of the governor, it is necessary to give an indication of the load variations (load curve):

- a) daily;
- b) weekly;
- c) seasonal.

Indicate the priority and non-priority loads (load shedding) as this is useful for designing the governor.

2.3.2 *The plant is intended to operate in parallel with a grid which imposes the frequency*a) *Characteristics of the grid*

- i) Voltage V
Tolerance + ... % – ... %
- ii) Frequency Hz
Tolerance + ... % – ... %
- iii) Short-circuit power (at the point where the new scheme is linked to the grid) kVA
- iv) Power factor ($\cos \phi$)

- b) *Apparent output of the largest generator working on the network* kVA

2.3.3 *Energy transport and distribution*

Provide the following drawings:

- a general layout drawing of the entire proposed network, in the case of isolated load operation;
- a drawing showing the link to the grid, in the case of operation in parallel with a large grid.

The layout should also show the main centres of energy consumption and supply.

Also provide information on any possible developments of the grid.

2.4 Types de réglage et modes de fonctionnement

2.4.1 Régulation de fréquence

Si le groupe ou l'aménagement fonctionne en réseau isolé ou représente une part importante du réseau considéré, un régulateur est nécessaire pour maintenir la fréquence du réseau lors des transferts de charge.

Pour les groupes de faible puissance et quand la puissance hydraulique disponible est abondante, une régulation simplifiée pourra se faire par dissipation de l'énergie inutilisée, la turbine fonctionnant en permanence à pleine charge.

2.4.2 Asservissement au niveau

Indiquer s'il est nécessaire de maintenir le niveau amont ou aval constant, ou compris dans une marge de réglage, à l'aide des groupes ou d'un organe d'évacuation quelconque. S'il en est ainsi, un asservissement de l'ouverture de la turbine au niveau est indispensable. C'est le cas en général des usines au fil de l'eau (en rivière, ou en dérivation) ou liées à un canal d'irrigation.

NOTE - En réseau isolé, l'asservissement peut se faire au niveau ou à la fréquence mais non aux deux.

2.4.3 Restitution

Préciser si les groupes doivent restituer un débit constant ou programmé.

NOTE - En réseau isolé, on peut contrôler le débit ou la fréquence, mais pas les deux.

2.4.4 Régulation simplifiée

Si l'aménagement considéré travaille sur un grand réseau qui impose la fréquence, ses groupes pourront être équipés de régulateurs simplifiés avec asservissement niveau-ouverture ou asservissement charge-ouverture. La stabilité peut être compromise dans le cas où un secteur du grand réseau se déconnecte par accident et où des régulateurs simplifiés sont utilisés.

2.5 Automatismes, télémesures, téléconduites, alarmes

- a) Indiquer si du personnel est à disposition pour les séquences de démarrage et d'arrêt des groupes, ou s'il faut minimiser les interventions des opérateurs.
- b) Si l'usine n'est pas gardiennée, préciser où doivent être transmises les alarmes.
- c) Définir si les séquences de démarrage, de mise en parallèle, de prise de charge et d'arrêt des groupes doivent être:
 - i) manuelles;
 - ii) et (ou) automatiques;
 - iii) et (ou) télécommandées (dans ce cas, indiquer la position du centre de contrôle, le support et le mode de transmission des signaux).
- d) Dans le cas d'un aménagement avec réservoir et avec plusieurs groupes, préciser si la gestion de l'eau du réservoir doit être optimisée manuellement ou automatiquement (introduction de programmes de marche).
- e) Signaler si l'aménagement projeté doit également jouer un rôle de centre de commande pour d'autres aménagements du réseau.

2.4 Types of regulation and modes of operation

2.4.1 Frequency regulation

If the unit or the plant operates in an isolated network, or is an important part of the network, a governor is required to maintain the network frequency during load changes.

For units with low output and where hydraulic energy is abundant, simplified governors could also be used by producing a constant output at full load and dumping the unused power.

2.4.2 Level control

Specify if it is necessary to maintain the upstream or downstream level constant, or within a working range using the generating sets or some other discharge device. If this is so, the turbine opening must then be governed with level feedback. This is generally the case with run-of-river plants (in the river itself or in a bypass channel) or when linked to an irrigation canal.

NOTE - On isolated load, level or frequency may be controlled but not both.

2.4.3 Flow regulation

Specify if the units are to provide a constant flow or a variable programmed flow.

NOTE - On isolated load, flow or frequency may be controlled but not both.

2.4.4 Simplified governing

If the plant is to operate on a large network which imposes the frequency, its units can be fitted with simplified governors (positioners) having level feedback or load feedback. Stability may be affected in the case where part of a large grid becomes accidentally detached and simplified governors are used.

2.5 Automation, telemetry, remote control, alarms

- a) Indicate if staff are available for the starting and shut-down sequences or if it is required to minimize the use of operators.
- b) If the plant is unattended, specify where the alarms are to be located.
- c) Specify whether the starting sequence, synchronization, loading and shut-down operations shall be:
 - i) manual;
 - ii) and/or automatic;
 - iii) and/or telecontrolled (in this case, indicate the location of the control centre, the carrier and the type and method of transmission of the signals).
- d) Where a scheme has a reservoir, and there are several units, specify if manual or automatic control of the reservoir water is required (operation according to a programme).
- e) Specify if the plant is to be the control centre for other energy supply sources in the network.

SECTION 3 – SPÉCIFICATION DES ÉQUIPEMENTS

Cette section donne quelques indications utiles pour établir les spécifications techniques et faire la comparaison des offres correspondant aux équipements les plus importants d'un petit aménagement hydro-électrique.

3.1 Prestations techniques

Outre la fourniture du matériel, il convient que le fournisseur assure les prestations suivantes:

- a) Adaptation des solutions techniques proposées aux caractéristiques de la chute et aux conditions de fonctionnement requises.
- b) Transmission à l'acquéreur des données nécessaires à la définition des ouvrages de génie civil, suffisamment tôt pour que la conception de ces ouvrages prenne en compte les exigences de l'équipement électromécanique (fourniture et vérification des plans guides de génie civil, dimensions géométriques, efforts à reprendre, etc.).
- c) Fourniture de la documentation nécessaire au montage, à la mise en eau, à l'exploitation et à l'entretien des équipements.

3.2 Limites de la fourniture

Ces limites doivent être parfaitement définies pour chaque lot et clairement localisées. On doit contrôler qu'aucun équipement n'est exclu.

3.2.1 *Pour le circuit hydraulique*

En amont, la limite peut se situer au niveau de la grille et du dégrilleur, s'ils existent, ou du premier organe de coupure (batardeau ou vanne), ou toute autre section convenable.

En aval, on peut définir comme limite de fourniture la fin de l'aspirateur, ou la fin du batardeau ou de la vanne ou toute autre section convenable.

3.2.2 *Pour le circuit électrique*

Tout l'équipement électrique peut être inclus, jusqu'au premier point de jonction avec le réseau extérieur à définir par l'acquéreur.

3.2.3 *Éléments qui ne font habituellement pas partie de la fourniture*

D'une façon générale, restent habituellement exclus:

- a) le génie civil,
- b) la télémessure et la téléconduite.

3.3 Spécifications des éléments de l'aménagement

Sans oublier le critère de simplicité qu'impose ce type d'aménagement, le choix de matériaux de qualité adaptée, de solutions techniques adéquates, de caractéristiques convenables pour les machines, apporte des avantages de fiabilité et de durabilité dont il faut tenir compte.

SECTION 3 – EQUIPMENT SPECIFICATIONS

The information given below is useful in establishing technical specifications and comparing the technical offers for the most important items in a small hydroelectric development.

3.1 Technical requirements

In addition to supplying the equipment, the supplier should provide the following:

- a) Suitability of the proposed technical solutions with regard to the hydraulic characteristics and the operational requirements.
- b) The supplier should inform the purchaser of the necessary civil work data at an early stage so that the civil work can be designed in accordance with the requirements of the equipment. Verification of the compatibility between the civil work and the electro-mechanical equipment (overall dimensions, floor loads, supply and verification of the preliminary civil work layout drawings, etc.).
- c) Information required for erecting, starting-up, operating and maintaining the equipment.

3.2 Limits of the supply

These limits should be clearly and physically defined for each item. It should be checked that no equipment has been excluded.

3.2.1 *For the hydraulic system*

On the upstream side the limit could be trashrack and the rack cleaning machine, if installed, or the first hydraulic closure device (stop-logs, gate or valve), or any other suitable section.

On the downstream side the limit could be defined as the end of the draft tube or of the stop-logs or gate, or any other suitable section.

3.2.2 *For the electric system*

This may include all the electrical equipment, up to the first point of connection with the grid to be defined by the purchaser.

3.2.3 *Elements not normally included in the supply*

Generally the following are not included:

- a) civil works,
- b) telemetry and remote control.

3.3 Specifications of the elements of the plant

Without overlooking the criterion of simplicity which this type of installation requires, the selection of good quality materials, suitable technology and good machine characteristics has the advantage of affording reliability and prolonged life of the plant.

3.3.1 Grilles et dégrilleurs

Il convient que l'espace libre entre les barreaux de la grille soit le plus grand possible, mais qu'il reste inférieur à la plus petite dimension du circuit hydraulique en aval (par exemple, l'écartement minimal des aubes de la roue pour une turbine Francis). Spécifier que la grille doit pouvoir supporter la charge correspondant à son obstruction complète.

Le dégrilleur, s'il existe, peut être manuel ou automatique. Mais dans tous les cas, il est nécessaire de prévoir l'évacuation, le transport et le stockage des déchets.

3.3.2 Contrôle du niveau d'eau

Selon le genre de fonctionnement de l'aménagement, le contrôle de niveau pourra être utilisé comme information et aussi comme protection et auxiliaire de réglage.

Les éléments de contrôle de niveau sont mis généralement en amont du groupe (prise d'eau, barrage, etc.). Dans certains cas, il peut être intéressant de contrôler le niveau à la restitution (débit réservé, usine aval, etc.).

Si les équipements de mesure de niveau sont très éloignés de la centrale hydro-électrique, il faut les protéger, de même que la ligne de jonction, contre les surtensions. Cela est particulièrement important dans le cas d'utilisation de dispositifs électroniques.

Comme les autres équipements associés, il importe que les dispositifs à flotteurs soient protégés contre les dégâts naturels ou causés par des tiers.

Pour les installations à basse chute, dans beaucoup de cas, l'indication du niveau peut être prise à l'entrée de la turbine, dans la centrale hydro-électrique.

3.3.3 Organes d'obturation du débit (voir figure 7)

Le groupe sera protégé par au moins un organe d'obturation qui, en cas d'urgence, fermera par manque ou émission de tension. Cet organe peut être le vannage ou l'admission d'air dans le cas d'une turbine à siphon.

L'ouverture des vannes et des robinets s'obtient en général à l'aide d'un servomoteur, avec égalisation préalable des pressions amont et aval. Ce servomoteur doit avoir une puissance suffisante pour ouvrir l'organe, sans que les pressions soient égalisées.

La fermeture sera garantie dans n'importe quelles circonstances pour des raisons de sécurité:

- a) pour les vannes planes, sous leur propre poids;
- b) pour les robinets et les vannes distributrices agissant comme appareil à fermeture de sécurité et n'ayant pas de tendance à la fermeture, avec l'aide d'un contrepoids ou de tout autre dispositif produisant un effet équivalent.

Pour obtenir un fonctionnement correct et durable des batardeaux et des vannes, il faut soigner le parallélisme des parties fixes.

Il convient de calculer les robinets et les vannes pour qu'ils puissent supporter une pression d'essai égale à 1,5 fois la pression totale maximale (y compris les surpressions) et couper le débit le plus grand y compris le débit de gueule-bée.

3.3.1 *Trashrack and rack cleaner*

The opening between the bars of the grating should be as large as possible, but less than the minimum dimension of the hydraulic circuit downstream (e.g. in Francis turbines, the minimum opening between the blades of the runner). Specify that the racks should be able to support the loads which can be produced when they are completely obstructed.

The rack cleaning machine, if it is required, could be manual or automatic, but in any event, the clearing away, transporting and dumping of the debris should be taken into account.

3.3.2 *Water-level control*

According to the operation of the plant, the control of level could be for information, and also for protection and auxiliary regulation.

The elements of level control are generally placed upstream of the unit (intake, dam, etc.) although in some cases it might be necessary to control the downstream level (flow requirements, downstream plant, etc.).

If the level measuring equipment is very remote from the power station, it shall be protected, together with the connecting line, against electrical surge. This is particularly important when electronic devices are used.

Moreover, the level control equipment (and other associated equipment) should be protected against damage from environmental causes or caused by a third party.

For low head stations, in most instances, the level control can be tapped at turbine inlet inside the power station.

3.3.3 *Discharge closure devices (see figure 7)*

The unit should be protected by at least one closure device, which in an emergency would close due to lack of electrical signal (this could be the admission of air in a siphon-type turbine) or activation by electrical signal. This device may be the guide vanes.

The opening of the gates and valves is generally performed by means of an actuator and with balanced upstream and downstream pressures. The actuator shall have sufficient power to enable it to open the device under unbalanced pressures.

The closure should be guaranteed under any circumstances for reasons of safety:

- a) for gates, closure should be affected by their own weight;
- b) while for valves and guide vanes acting as safety closing devices and not having a closing tendency, closure should be effected by a counterweight or any other device having an equivalent effect.

For the correct and lasting operation of the stop-logs and gates, it is necessary to maintain the parallelism of the fixed guides.

The valves and the gates should be designed to withstand a test pressure of 1,5 times the maximum total pressure, including surge, and to be capable of stopping the maximum discharge, including broken penstock flow conditions.

Il importe d'étudier les systèmes d'étanchéité et de définir le débit de fuites garanti (par exemple, en litres par minute). Il est recommandé que les étanchéités soient remplaçables.

3.3.3.1 *Batardeaux*

Dans certains cas, ces dispositifs pourront jouer le rôle d'un deuxième organe d'obturation, indépendant de la turbine.

3.3.3.2 *Vannes de prise et de tête*

Si ces vannes sont nécessaires, il faut étudier leur loi de fermeture et ses conséquences pour éviter des perturbations défavorables au circuit hydraulique et au groupe. Une aération appropriée de la conduite à l'aval de l'organe de fermeture est nécessaire pour éviter l'écrasement de la conduite ou de sérieux dommages dans les ouvrages d'aménée.

3.3.3.3 *Vannes ou robinets de protection du groupe*

Si le circuit hydraulique est court et s'il existe une vanne de prise, ces vannes ne sont pas toujours nécessaires. Si plusieurs turbines sont alimentées par la même conduite, on recommande l'installation d'une vanne de protection par groupe.

Dans le cas de machines Bulbe ou Kaplan, l'utilisation d'une vanne aval peut être avantageuse dans certains cas.

La vitesse de fermeture effective est à étudier avec soin, en établissant une relation correcte entre la survitesse du groupe et la surpression dans les conduits amont, selon les équipements concernés.

Il est spécialement important que la fermeture de l'organe d'obturation soit lente, afin de diminuer les surpressions dues au coup de bélier (influence sur le dimensionnement du circuit hydraulique en amont), mais il peut en résulter un accroissement de la survitesse.

3.3.4 *Conduite forcée*

On aura intérêt à prendre des dimensions normalisées pour les diamètres et les épaisseurs de la conduite. On vérifiera que les conduites forcées peuvent supporter une pression d'essai égale à 1,5 fois la pression totale maximale la plus défavorable, en tenant compte du coup de bélier qui peut être induit soit par la fermeture d'un organe de coupure, soit par l'emballement du groupe. La présence d'une cheminée d'équilibre dans un lieu convenable dans le circuit hydraulique aidera à diminuer les variations de pression lors des manoeuvres.

Dans certaines circonstances, il peut être nécessaire d'enterrer les conduites pour les protéger contre les chutes de pierres, les avalanches ou le gel. Il est important d'étudier si un dispositif antivide est nécessaire.

Une fois la turbine définie, les calculs du coup de bélier pourront être confirmés par le fournisseur. Il est très important de considérer que les surpressions modifient le dimensionnement de la conduite, et vice versa. D'autre part, selon la longueur de la conduite et la puissance du groupe, les surpressions peuvent être atténuées aux dépens d'une augmentation de la survitesse de la turbine.

It is important to study the sealing systems and to specify the guaranteed limit of leakage to be permitted (e.g. in litres/minute). It is recommended that the seals be replaceable.

3.3.3.1 *Stop-logs or maintenance gates*

In certain cases, these could act as a secondary closure device, independent of the turbine.

3.3.3.2 *Intake and head gates and valves*

If these devices are necessary, it is essential to study their closing rates and consequences on closing to avoid unfavourable disturbances in the waterway and hydraulic units. Suitable venting of the penstock downstream of the closure device is necessary to prevent the collapse of the penstock or serious damage to the water conveying structure.

3.3.3.3 *Inlet valves for unit protection*

If the penstock is short and there is an intake gate, inlet valves are not always necessary. If several units are fed by the same penstock, it is recommended that separate valves for each unit be installed.

In the case of Bulb or Kaplan turbines, the use of a valve on the tail-race side can in some cases, be more conducive.

The effective rate of closure should be studied with care, establishing the optimum relation between the overspeed of the unit and the overpressure in the penstock in accordance with the relevant equipment.

It is especially important that the closure of the inlet valve be slow, with the aim of reducing the overpressure caused by the "water hammer" effect (and thus influencing the design of the hydraulic pipeline), but it may result in an increased overspeed.

3.3.4 *Penstock*

It is advisable to use standard diameter and thickness pipes for the penstock. It should be verified that penstocks can withstand 1,5 times the maximum total pressure including surge to which it is subjected, taking into account the "water hammer" effect produced by a hydraulic shut-off device or sometimes when the unit goes to runaway. The presence of a surge chamber at an appropriate position in the hydraulic pipeline will help to reduce pressure rises and pressure drops.

In some cases, it may be necessary to bury the penstock to protect it against rock fall, avalanches or ice. It should be studied whether an anti-vacuum device is required.

Once the turbine is defined, the calculations for the "water hammer" effect may be confirmed by the supplier. It is very important to bear in mind that overpressures affect the design of the penstock, and vice versa. Depending on the penstock length and unit power output, pressure rises may be decreased at the cost of increasing the overspeed of the unit.

Pour le cas de longues conduites et faibles débits, l'emploi de vannes de décharge (réducteur de pression) est à considérer. C'est un organe de sécurité qui nécessite un contrôle et un entretien soignés.

Il est possible, suivant les cas, d'utiliser pour construire la conduite forcée d'autres matériaux que l'acier.

3.3.5 Turbine (voir figure 8)

Sans vouloir exclure un genre de fabrication quelconque, il convient de considérer que la plupart des turbines sont du type à action ou réaction.

La figure 5 donne une idée des zones couvertes par les plus grandes familles de turbines (Pelton, Francis, Kaplan, hélice et à flux transversal) en fonction de la hauteur de chute et du débit disponibles. Les limites de fonctionnement entre familles varient suivant les fournisseurs.

Dans tous les cas, il faut que les turbines aient une bonne résistance à la fatigue, à la cavitation, à l'érosion et à la corrosion, conformément aux conditions imposées par la qualité de l'eau.

Il convient que le matériau de base de la machine, et spécialement la roue, soit facilement réparable. Chaque cas est à analyser en particulier, en tenant compte des conditions d'exploitation (temps de fonctionnement et d'immobilisation).

En général, il est recommandé de construire toutes les articulations et tous les axes en matériau inoxydable et de prévoir les paliers correspondants du type autolubrifié.

La disposition du groupe – vertical, horizontal ou incliné – a une influence importante sur le volume du génie civil et sur la commodité d'accès et d'entretien.

3.3.5.1 Turbine à action (Pelton, ...)

Il est généralement recommandé que ses propres organes de fermeture aient une tendance naturelle à fermer pendant les déclenchements. S'il y a un déflecteur, il convient que celui-ci agisse rapidement et que les aiguilles de l'injecteur agissent lentement (diminution des surpressions).

Il convient que le bec de buse et l'aiguille de l'injecteur soient très résistants à l'érosion et facilement remplaçables.

Les augets sont également des éléments fortement soumis à des phénomènes d'érosion (ils doivent être facilement rechargeables) et de fatigue dus aux impacts répétés des jets (un choix attentif des matériaux, une bonne conception mécanique et généralement un bas niveau de contraintes sont requis).

3.3.5.2 Turbine à réaction (Francis, Kaplan, hélice, ...)

En général, plus le calage de la turbine par rapport au niveau aval est haut, plus la machine est grosse et la vitesse de rotation lente pour éviter la cavitation; et au contraire plus le calage est bas, plus la machine est petite, plus la vitesse de rotation peut être élevée mais généralement avec un génie civil plus coûteux.

For the case of long penstocks and low discharge, the use of pressure relief valves (discharge valve) is to be taken into consideration. Since this is a safety device, it calls for careful checking and maintenance.

The use of materials other than steel for manufacturing the penstock may be considered.

3.3.5 *Turbine* (see figure 8)

Without wishing to exclude any particular type of construction, it should be noted that the majority of turbines are of the impulse or reaction type.

Figure 5 gives some indication of the range covered by the largest family of turbines (Pelton, Francis, Kaplan, propeller, and cross-flow) as a function of head and discharge. The limits of operation of these turbines vary according to the supplier.

In all cases it is necessary that the turbines have good resistance to fatigue, cavitation, erosion and corrosion according to the conditions imposed by the quality of the water.

The material of the unit, especially the runner and other parts subject to wear, should be easily repairable. Each case should be studied individually bearing in mind the operating conditions (operational time and down time).

In general, all points of articulation and axes should be constructed in corrosion-resistant materials and the corresponding bushings should be of the self-lubricating type.

The horizontal, vertical or inclined arrangement of the unit has an important influence on the amount of civil work and the ease of access and maintenance.

3.3.5.1 *Impulse turbine (Pelton, ...)*

It is generally recommended that its closing devices should have a natural tendency to close during load rejections. The needles should act slowly to reduce the pressure rise and if there is a deflector it should act quickly.

The nozzle and the needle of the injector should be very resistant to erosion and readily replaceable.

The buckets are also parts which are subject to severe erosion (they should be easily repairable) and subject to severe fatigue due to repeated impact from the water jets (careful choice of materials, good mechanical design, and generally low stress levels are required).

3.3.5.2 *Reaction turbine (Francis, Kaplan, propeller, ...)*

In general, a higher setting of the machine above tailwater level will lead to larger turbine dimensions and slower running speeds in order to avoid cavitation and conversely a lower setting results in smaller turbine dimensions, faster running speeds but generally more expensive civil works.

On recommande que les articulations du vannage soient en matériau autolubrifiant. Un élément (de rupture ou équivalent) permettant d'éviter que le blocage de distributrices ne se propage à tout le cercle de vannage est nécessaire.

Il est bon que les matériaux utilisés pour les parties fixes et mobiles (labyrinthes surtout) soient être résistants à l'érosion. En fonction de la taille de la turbine et des conditions d'exploitation, il peut être avantageux d'avoir des labyrinthes, une roue et des joints facilement démontables.

Le joint d'étanchéité de l'axe de la turbine est un élément important qu'il convient d'étudier avec soin et de prévoir pour un démontage et un remplacement aisés.

3.3.5.3 *Pivot et paliers*

La ligne d'arbres sera conçue avec un nombre de paliers minimal. Il est indispensable de réaliser une étude d'ensemble avec les paliers du générateur. Pour le choix entre paliers lisses, à billes ou à rouleaux, il convient de faire attention à leur résistance aux vibrations, courants vagabonds et à l'emballement.

Si la taille de la machine le permet et pour la simplicité d'exploitation, des paliers auto-lubrifiants doivent être envisagés.

3.3.5.4 *Accouplement d'arbres direct ou avec multiplicateur de vitesse*

L'accouplement entre la turbine et le générateur peut se faire directement ou par l'intermédiaire d'un multiplicateur de vitesse permettant d'utiliser une génératrice de série ou de plus faible dimension à rotation plus rapide. Les multiplicateurs les plus utilisés sont à courroie ou à engrenages. Si des engrenages sont utilisés, il faut tenir compte du rendement, du comportement à l'emballement, des niveaux du bruit et des vibrations, ainsi que de la durée de vie.

Dans certains cas, pour éviter des problèmes d'alignement, des accouplements souples peuvent être envisagés (groupes horizontaux à longue ligne d'arbre). Dans ce cas, la vitesse critique doit être vérifiée.

3.3.5.5 *Surveillance et protection*

En principe, on peut définir deux niveaux de protection: alarme et déclenchement.

Les éléments à considérer sont:

- a) vitesse de rotation;
- b) niveau d'huile aux paliers;
- c) circulation de l'huile de graissage;
- d) niveau d'huile de régulation;
- e) niveau d'huile du multiplicateur;
- f) température aux paliers;
- g) température de l'huile de régulation;
- h) température de l'huile du multiplicateur;
- i) pression d'huile de régulation;
- j) circulation de l'eau de refroidissement.

Le déclenchement immédiat est requis pour les points a), c), i) et j). Pour les points b), d), e), f), g) et h), une alarme peut être enclenchée pour les usines gardiennées, suivie par un déclenchement si aucune mesure corrective n'intervient. Dans certains cas, un frein est utilisé pour réduire le temps nécessaire à l'arrêt du groupe.

It is recommended that the articulating parts of a guide vane apparatus be made of self-lubricating material. A suitable device (breaking or equivalent) to avoid obstructions between guide vanes being extended to the circle of the guide vanes is necessary.

The materials used for the fixed and the movable parts (especially the runner labyrinths) should be resistant to erosion. Depending on the size of the turbine and the operating conditions, it is advantageous for the labyrinths, runner and joints to be easily dismantled.

The shaft seal of the turbine is an item which should be studied with care and designed for ease of maintenance and replacement.

3.3.5.3 *Guide and thrust bearings*

The shaft system should be designed to minimize the number of bearings. It is essential to study the turbine and generator bearings as a system. In the choice between journal, ball or roller bearings, attention should be given to their ability to withstand vibrations, eddy currents and runaway conditions.

If the unit size allows it and for reasons of simplicity, the use of self-lubricating bearings is to be considered.

3.3.5.4 *Shaft coupling, direct or with speed increaser*

The shaft coupling, if any, between the turbine and the generator can be direct or through a speed increaser which allows the use of standardized or higher speed generators with smaller dimensions. The most widely used speed increasers are of the gear or belt type. If gears are used, then efficiency, runaway conditions, levels of noise and vibration, and life expectancy should be taken into account.

In order to minimize alignment problems, flexible couplings can be considered, especially in the case of long-shafted horizontal units. In this case the critical speed has to be checked.

3.3.5.5 *Monitoring and protection*

In principle, two levels of protection can be specified: alarm and tripping.

Elements to be considered are:

- a) speed of rotation;
- b) oil level in the bearings;
- c) circulation of lubricant;
- d) oil level of the governor system;
- e) oil level of the speed increasers;
- f) bearing temperature;
- g) oil temperature of the governor system;
- h) oil temperature of speed increasers;
- i) oil pressure of the governor system;
- j) circulation of cooling water.

Immediate tripping is required for items a), c), i) and j). Items b), d), e), f), g) and h) may have an alarm annunciated first if the station is manned allowing corrective action to be taken, but in any case, in the absence of corrective action, tripping will eventually follow. In some cases, braking is used to reduce the time to standstill.

Sur les machines de dimensions importantes, pour lesquelles la tenue à l'emballlement permanent n'est pas prévue, il est recommandé de prévoir deux dispositifs distincts de protection contre l'emballlement.

On devra prévoir les prises de pression amont et aval nécessaires (pour les essais et l'exploitation).

3.3.5.6 *Système de régulation*

Il faut spécifier si le fonctionnement aura lieu en parallèle avec un réseau, ou en réseau séparé. Un cas intermédiaire serait une centrale en «antenne» (connectée au réseau par une seule longue ligne de transmission).

A) Fonctionnement en parallèle avec un réseau important

Le régulateur actionne l'organe d'ouverture de la turbine, avec au minimum une régulation proportionnelle et un asservissement à l'ouverture.

Les valeurs de consigne peuvent être:

- a) débit;
- b) niveau (aménagement au fil de l'eau sans contraintes);
- c) puissance.

B) Fonctionnement en réseau séparé

Le régulateur de vitesse actionne l'organe d'ouverture de la turbine, avec au minimum une régulation proportionnelle et intégrale, avec asservissement à l'ouverture et à la vitesse.

Il est très important d'établir un compromis entre la qualité de la régulation et son coût (inertie et vitesse du groupe, variations de pression et de vitesse) en analysant le circuit hydraulique complet.

Il faut parfaitement définir la qualité de la régulation de fréquence du réseau à desservir (limites de fluctuations et vitesse de réponse) et son influence sur le circuit hydraulique (variations de pression). Les renseignements intéressant le fournisseur sont à indiquer dans l'appel d'offres, selon 2.4.

Dans les deux modes de fonctionnement, il faut étudier le comportement face à un changement brusque de la charge (surpressions, dépressions, survitesse, etc.). L'influence est importante sur le circuit hydraulique (épaisseurs de la conduite, matériau utilisé) et pour la conception mécanique (paliers, volant d'inertie, jeux aux labyrinthes, multiplicateur de vitesse, etc.).

Il convient que le système de régulation ait une réserve de puissance suffisante pour réaliser une régulation correcte et pour garantir l'arrêt d'urgence.

Le distributeur est en général à commande oléohydraulique. La même installation de commande peut alors être utilisée pour le fonctionnement de la vanne ou du robinet de protection du groupe.

Pour des machines de très faible puissance, et par souci de simplicité, la commande du distributeur peut être électromécanique, et non hydraulique.

Si la centrale comporte plusieurs groupes (voir 2.2.6), il est important d'étudier la loi de répartition de charge (qui peut être une consigne pour l'opérateur ou le réglage séparé du statisme permanent sur chaque machine).

It is recommended that two independent overspeed shut-down devices be used on larger units which might not be designed for continuous runaway.

The pressure tappings needed (for tests and operation) should be provided upstream and downstream as required.

3.3.5.6 *Governing systems*

It is necessary to specify if operation will be in parallel with a grid or on an isolated load system. A plant connected to the grid at a single point by a long transmission line will be an intermediary case.

A) Operating in parallel with a large grid

The governor (or gate positioner) operates on the turbine opening device with, as a minimum requirement, proportional control with opening feedback.

The controlled parameter could be:

- a) discharge;
- b) water level (run-of-river without constraints);
- c) power.

B) Operating on an isolated load system

The speed governor operates on the turbine opening device with, as a minimum requirement, proportional and integral control with opening and speed feedback.

It is very important to establish the compromise between the quality of the regulation and its cost (inertia and speed of the unit, variations in pressure and speed) when analyzing the entire hydraulic system.

It is necessary to define explicitly the quality of the frequency regulation of the network to be supplied (fluctuation limits and speed of response) and its influence on the hydraulic system (pressure variations). The information required by the supplier is to be shown in the tender enquiry, as described in clause 2.4.

For the two modes of operation, it is necessary to study the behaviour upon sudden load changes (pressure rises, pressure drops, overspeed, etc.). The effects are important for the hydraulic system (pipeline material thickness, type of materials) and for the mechanical system (bearings, flywheels, seal clearances, speed increasers, etc.).

The regulating system should have a sufficient reserve of energy to guarantee an emergency shut-down.

The governor is generally actuated by an oil pressure system. This same oil pressure system can also be used for operating the inlet valve or gate.

For units with low power, and in the interest of simplicity, the governor actuation can be from an electric-mechanical system rather than an oil pressure system.

If there are several units in the plant (see 2.2.6) it is important to study the laws of load distribution (which can be instructions to the operators, or the permanent speed droop setting on each machine).