

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE
NORME DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION
IEC STANDARD

Publication 607

Première édition — First edition
1978

**Méthode thermodynamique de mesure du rendement des turbines,
pompes d'accumulation et pompes-turbines hydrauliques**

**Thermodynamic method for measuring the efficiency
of hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines**



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe
Genève, Suisse

Révision de la présente publication

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

Les renseignements relatifs à ce travail de révision, à l'établissement des éditions révisées et aux mises à jour peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et en consultant les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Rapport d'activité de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la Publication 50 de la CEI: Vocabulaire Electrotechnique International (V.E.I.), qui est établie sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini, l'Index général étant publié séparément. Des détails complets sur le V.E.I. peuvent être obtenus sur demande.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit repris du V.E.I., soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Symboles graphiques et littéraux

Pour les symboles graphiques, symboles littéraux et signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera:

- la Publication 27 de la CEI: Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique;
- la Publication 117 de la CEI: Symboles graphiques recommandés.

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit repris des Publications 27 ou 117 de la CEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Autres publications de la CEI établies par le même Comité d'Etudes

L'attention du lecteur est attirée sur la page 3 de la couverture, qui énumère les autres publications de la CEI préparées par le Comité d'Etudes qui a établi la présente publication.

Revision 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 on the work of revision, the issue of revised editions and amendment sheets may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **Report on IEC Activities**
Published yearly
- **Catalogue of IEC Publications**
Published yearly

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC Publication 50: International Electrotechnical Vocabulary (I.E.V.), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field, the General Index being published as a separate booklet. Full details of the I.E.V. will be supplied on request.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the I.E.V. or have been specifically approved for the purpose of this publication.

Graphical and letter symbols

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to:

- IEC Publication 27: Letter symbols to be used in electrical technology;
- IEC Publication 117: Recommended graphical symbols.

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC Publications 27 or 117, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

Other IEC publications prepared by the same Technical Committee

The attention of readers is drawn to the inside of the back cover, which lists other IEC publications issued by the Technical Committee which has prepared the present publication.

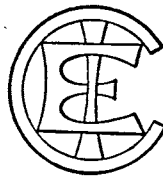
COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE
NORME DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION
IEC STANDARD

Publication 607
Première édition — First edition
1978

**Méthode thermodynamique de mesure du rendement des turbines,
pompes d'accumulation et pompes-turbines hydrauliques**

**Thermodynamic method for measuring the efficiency
of hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines**



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

1, rue de Varembe
Genève, Suisse

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
Articles	
1. Objet et domaine d'application	6
1.1 But de la norme	6
1.2 Exclusions et limites	6
1.3 Principe	6
2. Terminologie, définitions, symboles, unités	8
3. Procédés de mesure de l'énergie mécanique massique	12
3.1 Généralités	12
3.2 Mode opératoire « direct »	14
3.3 Mode opératoire par « détente partielle »	14
3.4 Procédé de détente pour l'étalonnage du thermomètre	16
4. Détermination de l'énergie hydraulique massique	16
5. Appareillage	16
5.1 Mesures principales	16
5.2 Mesures auxiliaires	20
6. Conditions pour l'exécution des mesures — termes correctifs	20
6.1 Sections de mesure et conditions des « échantillonnages »	20
6.2 Dispositions particulières de l'écoulement	24
6.3 Instabilité d'énergie totale à l'entrée	24
6.4 Echanges parasites	26
6.5 Limite des corrections	28
6.6 Conditions défavorables pour certains régimes	28
7. Précision des mesures	30
7.1 Estimation de l'erreur due à la détermination des grandeurs principales $(f_{em})_1$	30
7.2 Estimation de l'erreur sur les corrections dues aux phénomènes secondaires $(f_{em})_2$	32
7.3 Erreurs dues au défaut d'exploration de l'écoulement $(f_{em})_3$	32
Commentaires sur l'origine des valeurs des propriétés thermodynamiques de l'eau	34
TABLEAU I: Valeurs du volume massique de l'eau v	36
TABLEAU II: Valeurs du facteur isotherme a	38
TABLEAU III: Valeurs de la chaleur massique c_p	40

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
Clause	
1. Object and scope	7
1.1 Purpose of the standard	7
1.2 Excluded topics and limitations	7
1.3 Principle	7
2. Terms, definitions, symbols, units	9
3. Procedure for measurement of mechanical energy per unit mass	13
3.1 General	13
3.2 "Direct" operating procedure	15
3.3 "Partial expansion" operating procedure	15
3.4 Expansion procedure for thermometer calibration	17
4. Determination of hydraulic energy per unit mass	17
5. Apparatus	17
5.1 Main measurements	17
5.2 Auxiliary measurements	21
6. Conditions for taking measurement — Corrective terms	21
6.1 Measuring sections and "sampling" conditions	21
6.2 Particular flow arrangements	25
6.3 Instability of total energy at inlet	25
6.4 Extraneous exchanges	27
6.5 Limitation of corrections	29
6.6 Unfavourable conditions for some systems	29
7. Precision of measurements	31
7.1 Estimation of error due to determination of the main terms $(f_{em})_1$	31
7.2 Estimation of error in corrections due to secondary phenomena $(f_{em})_2$	33
7.3 Errors due to faulty exploration of flow distribution $(f_{em})_3$	33
Comments on the origin of the values for the thermodynamic properties of water	35
TABLE I: Values of the volume of water per unit mass v	36
TABLE II: Values of the isothermal factor α	38
TABLE III: Values for heat per unit mass c_p	40

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**MÉTHODE THERMODYNAMIQUE DE MESURE DU RENDEMENT
DES TURBINES, POMPES D'ACCUMULATION
ET POMPES-TURBINES HYDRAULIQUES**

PRÉAMBULE

- 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.

PRÉFACE

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

Un premier projet fut discuté lors de la réunion tenue à Munich en 1973. Un autre projet fut diffusé en juin 1974. A la suite de la réunion tenue à Tokyo en 1975, un projet, document 4 (Bureau Central)33, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en septembre 1975.

Les pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication:

Afrique du Sud (République d')	Italie
Allemagne	Japon
Australie	Norvège
Autriche	Roumanie
Belgique	Royaume-Uni
Bulgarie	Suède
Canada	Suisse
Egypte	Tchécoslovaquie
Espagne	Turquie
France	Union des Républiques
Hongrie	Socialistes Soviétiques

La présente publication sera ultérieurement incorporée à la révision des publications 41 et 198 de la CEI, actuellement à l'étude.

Autres publications de la CEI citées dans la présente norme:

- Publications n°s 41: Code international concernant les essais de réception sur place des turbines hydrauliques.
198: Code international concernant les essais de réception sur place des pompes d'accumulation.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**THERMODYNAMIC METHOD FOR MEASURING
THE EFFICIENCY OF HYDRAULIC TURBINES,
STORAGE PUMPS AND PUMP-TURBINES**

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.

PREFACE

This standard has been prepared by IEC Technical Committee No. 4, Hydraulic Turbines.

A first draft was discussed at the meeting held in Munich in 1973. A further draft was circulated in June 1974. As a result of the meeting held in Tokyo in 1975, a draft, Document 4(Central Office)33, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in September 1975.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia	Japan
Austria	Norway
Belgium	Romania
Bulgaria	South Africa (Republic of)
Canada	Spain
Czechoslovakia	Sweden
Egypt	Switzerland
France	Turkey
Germany	Union of Soviet
Hungary	Socialist Republics
Italy	United Kingdom

This publication will be later incorporated in the revisions of IEC Publications 41 and 198, at present under consideration.

Other IEC publications quoted in this standard:

- Publications Nos. 41: International Code for the Field Acceptance Tests of Hydraulic Turbines.
198: International Code for the Field Acceptance Tests of Storage Pumps.

MÉTHODE THERMODYNAMIQUE DE MESURE DU RENDEMENT DES TURBINES, POMPES D'ACCUMULATION ET POMPES-TURBINES HYDRAULIQUES

1. Objet et domaine d'application

1.1 But de la norme

La présente norme sert de base à l'exécution des mesures sur les turbines, les pompes d'accumulation et les pompes-turbines hydrauliques, et au calcul de leur rendement dans le cas de l'application de la méthode thermodynamique. Cette méthode a pour fondement l'évaluation de l'énergie massique de l'eau cédée à l'arbre de la turbine ou reçue par l'eau de l'arbre de la pompe. Cette évaluation peut être faite par des mesures des grandeurs de fonctionnement (pression, température, vitesse et niveau) et à partir des propriétés thermodynamiques de l'eau.

Cette norme peut être utilisée pour les essais de réception ou pour tout autre essai de rendement.

1.2 Exclusions et limites

Les aspects technologiques de l'appareillage ont été traités d'une façon générale parce que les appareillages actuellement disponibles sont sensiblement différents entre eux et peuvent être déclassés à l'avenir.

La seule contrainte imposée à l'appareillage est de satisfaire aux conditions stipulées dans la présente norme (précision, échanges de chaleur, etc.).

Les défauts d'uniformité des grandeurs mesurées dans les sections d'entrée et de sortie de la machine, les possibilités des appareillages de mesure et l'importance relative des termes correctifs ayant pour origine les imperfections des conditions de mesures limitent l'emploi de la méthode au domaine des hauteurs de chute ou d'élévation supérieures à 100 m; cependant, cette limite pourrait être abaissée au-dessous de cette valeur dans des conditions très favorables et sous réserve d'une analyse particulière de la précision des mesures.

1.3 Principe

La méthode thermodynamique résulte de l'application du principe de la conservation de l'énergie (premier principe de la thermodynamique) au transfert d'énergie entre la machine et l'eau qui la traverse.

Cette application, faite dans le cas du fonctionnement réel, donne la possibilité d'exprimer l'énergie massique cédée à l'arbre (turbine) ou reçue de lui (pompe) à partir des grandeurs mesurées (pression, température, vitesse, niveau) et des propriétés thermodynamiques de l'eau. Cette énergie est désignée par « énergie mécanique massique » (voir le paragraphe 2.2 et l'article 3).

Cette même application, faite dans le cas du fonctionnement idéal, c'est-à-dire ne donnant lieu à aucune perte par frottement dans l'écoulement (et en supposant les mêmes conditions de pression à l'entrée et à la sortie de la machine et la même température à l'entrée que dans le fonctionnement réel), permet de calculer l'énergie massique qui aurait été cédée à l'arbre (turbine) ou reçue de lui (pompe) dans le fonctionnement idéal. Cette énergie ne dépend que des propriétés de l'eau et des caractéristiques de l'installation hydroélectrique. Elle est désignée par « énergie hydraulique massique » (voir le paragraphe 2.1 et l'article 4).

THERMODYNAMIC METHOD FOR MEASURING THE EFFICIENCY OF HYDRAULIC TURBINES, STORAGE PUMPS AND PUMP-TURBINES

1. Object and scope

1.1 Purpose of the standard

This standard serves as a basis for the measurements to be made on hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines and for the computation of their efficiency applying the thermodynamic method. This method is based on the evaluation of the energy per unit mass of water delivered to a turbine shaft or received by water from a pump shaft. It may be determined by measurements of the performance variables (pressure, temperature, velocity and level) and from the thermodynamic properties of water.

This standard may be used for acceptance tests or for any other efficiency test.

1.2 Excluded topics and limitations

Technological aspects of instrumentation have been dealt with in a general way taking into account the fact that the apparatus presently available varies widely and may possibly become obsolete in the future.

The only requirements of instruments are to satisfy conditions stipulated in this standard (accuracy, heat exchange, etc.).

Due to the lack of uniformity in values measured at the inlet and outlet sections of the machines, the limitations of measuring equipment and the relatively high magnitude of the corrective terms originating from the imperfect measuring conditions, the scope of this method is limited and it can only be used for heads in excess of 100 m. However, under highly favourable conditions, the range could be extended to cover lower heads subject to an analysis of the accuracy of the measurements.

1.3 Principle

The thermodynamic method results from the application of the principle of conservation of energy (first law of thermodynamics) to a transfer of energy between water and the machine through which it is flowing.

In the case of actual machine operation, the energy per unit mass delivered to a turbine shaft or received by water from a pump shaft may be determined by measurement of the performance variables (pressure, temperature, velocity and level) and from the thermodynamic properties of water. This exchange of energy will be referred to as “mechanical energy per unit mass” (see Sub-clause 2.2 and Clause 3).

In the case of ideal operation, i.e. frictionless flow (assuming identical pressures at the inlet and at the outlet and an identical temperature at the *inlet* as in actual operation), the same application can be used for calculating the ideal energy per unit mass delivered to a turbine shaft or received from a pump shaft. Such energy is dependent solely upon the properties of the water and the characteristics of the hydroelectric plant. It is referred to as “hydraulic energy per unit mass” (see Sub-Clause 2.1 and Clause 4).

L'usage des deux valeurs d'énergies massiques, calculées comme ci-dessus, dispense de la mesure du débit comme grandeur principale.

Le principe énoncé ci-dessus suppose que toutes les pertes de la machine hydraulique sont évacuées par l'eau de l'écoulement. En réalité, les pertes par frottement dans les paliers peuvent être évacuées de façon différente. Dans ce cas, l'énergie mécanique massique est corrigée en conséquence (voir le paragraphe 2.4).

2. Terminologie, définitions, symboles, unités

Termes		Définitions	Symboles	Unités
2.1	Energie hydraulique massique ¹⁾	Energie par unité de masse cédée à l'arbre de la turbine ou reçue de l'arbre de la pompe dans le cas du fonctionnement idéal de la machine $e_h = \bar{v}(p_1 - p_2) + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2} + g(z_1 - z_2)$ Les points de mesure pour la détermination de e_h sont repérés: 1', 2', etc. (voir la figure 1, page 12)	e_h	$J \cdot kg^{-1}$
2.2	Energie mécanique massique ¹⁾	Energie par unité de masse cédée à l'arbre de la turbine ou reçue de l'arbre de la pompe dans le cas du fonctionnement réel $e_m = \bar{v}(p_{1-1} - p_{2-1}) + \bar{c}_p(T_{1-1} - T_{2-1}) + \frac{V_{1-1}^2 - V_{2-1}^2}{2} + g(z_{1-1} - z_{2-1}) + \Delta e_m$ Les points de mesure pour la détermination de e_m sont repérés: 1, 1-1, 1-2, 2-1, etc. (voir la figure 1)	e_m	$J \cdot kg^{-1}$
2.3	Terme d'énergie correctif dû aux phénomènes secondaires	Δe_m est calculé selon les recommandations données à l'article 6	Δe_m	$J \cdot kg^{-1}$
2.4	Energie massique correspondant aux pertes contractuelles	Energie massique correspondant aux pertes contractuelles à la charge de la machine hydraulique mais non évacuées par l'eau entre les sections de mesure (par exemple perte dans les paliers le cas échéant)	e_x	$J \cdot kg^{-1}$
2.5	Rendement de la machine	Pour une turbine: $\eta = \frac{e_m - e_x}{e_h}$ Pour une pompe: $\eta = \frac{e_h}{e_m + e_x}$		
2.6	Pression	Pression comptée au-dessus de la pression atmosphérique	p	P_a

¹⁾ L'usage des «énergies par unité de masse» est préférable parce qu'il offre la plus grande généralité. Il est possible cependant de raisonner en énergies rapportées au poids de l'eau, c'est-à-dire en «hauteurs» propres à l'installation considérée. Le passage des grandeurs exprimant les énergies massiques aux hauteurs se fait en divisant les premières par g , valeur moyenne de l'accélération de la pesanteur entre les niveaux extrêmes de l'installation.

The need to measure mass rate of flow is eliminated by using the two values of energy per unit mass calculated as above.

The above principle presupposes that all losses in hydraulic machines are dissipated in the flow. In actual operation, friction losses in the bearings may be dissipated differently. In this case, a corresponding correction is made to mechanical energy per unit mass (see Sub-Clause 2.4).

2. Terms, definitions, symbols, units

Term	Definition	Sym- bol	Unit
2.1 Hydraulic energy per unit mass ¹⁾	The energy per unit mass delivered to a turbine shaft or received from a pump shaft in the case of ideal machine operation $e_h = \bar{v} (p_1 - p_2) + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2} + g (z_1 - z_2)$ The measurement points for determining e_h are marked: 1', 2', etc. (see Figure 1, page 13)	e_h	$J \cdot kg^{-1}$
2.2 Mechanical energy per unit mass ¹⁾	The energy per unit mass delivered to a turbine shaft or received from a pump shaft in the case of actual operation $e_m = \bar{a} (p_{1-1} - p_{2-1}) + \bar{c}_p (T_{1-1} - T_{2-1}) + \frac{V_{1-1}^2 - V_{2-1}^2}{2} + g (z_{1-1} - z_{2-1}) + \Delta e_m$ The measurement points for determining e_m are marked: 1, 1-1, 1-2, 2-1, etc. (see Figure 1)	e_m	$J \cdot kg^{-1}$
2.3 Corrective term for energy due to secondary phenomena	Δe_m is calculated according to the recommendations given in Clause 6	Δe_m	$J \cdot kg^{-1}$
2.4 Energy per unit mass corresponding to contractual losses	Energy per unit mass corresponding to contractual losses in the hydraulic machine which are not removed by water between the measuring sections (e.g. losses through bearings, where applicable)	e_x	$J \cdot kg^{-1}$
2.5 Machine efficiency	For a turbine: $\eta = \frac{e_m - e_x}{e_h}$ For a pump: $\eta = \frac{e_h}{e_m + e_x}$		
2.6 Pressure	Pressure above atmospheric pressure	p	P_a

¹⁾ Use of the term "energy per unit mass" is considered to be preferable to "energy per unit weight" because it offers a more general meaning. Nevertheless, energy per unit weight (i.e. specific head for the installation considered) can be used as a basis. Conversion of numerical values expressing energy per unit mass into head is ensured by dividing the former by g , the mean value for acceleration due to gravity between the extreme levels of the installation.

Termes		Définitions	Symboles	Unités
2.7	Volume massique ¹⁾	$\left(\text{Volume par unité de masse} = \frac{1}{\rho} \right)$	ν	$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$
2.8	Température		T	$^{\circ}\text{C}$
2.9	Facteur isotherme ²⁾	Facteur caractérisant une propriété thermodynamique de l'eau	a	$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$
2.10	Chaleur massique ³⁾	Chaleur massique à pression constante	c_p	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$
2.11	Valeur moyenne de a ⁴⁾	Valeurs de a et c_p correspondant à : $\left\{ \begin{array}{l} \text{la valeur moyenne } \bar{p} \text{ où:} \\ \bar{p} = \frac{p_{1-1} + p_{2-1}}{2} \\ \text{et} \\ \text{la valeur moyenne } \bar{T} \text{ où:} \\ \bar{T} = \frac{T_{1-1} + T_{2-1}}{2} \end{array} \right.$	$\bar{a}$	$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$
2.12	Valeur moyenne de c_p ⁴⁾		$\bar{c}_p$	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$
2.13	Valeur moyenne de ν ⁴⁾	Valeur de ν correspondant à T_1 et à la valeur moyenne $\bar{p}$ où: $\bar{p} = \frac{p_{1-1} + p_{2-1}}{2}$	$\bar{\nu}$	$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$
2.14	Vitesse de l'eau		V	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
2.15	Niveau du point de mesure		z	m
2.16	Puissance sur l'arbre	Puissance sur l'arbre correspondant à l'énergie mécanique massique	P_m	W
2.17	Débit-volume	Débit-volume de l'eau turbinée ou pompée en un point déterminé	Q	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
2.18	Masse volumique	Masse par unité de volume $\left(= \frac{1}{\nu} \right)$	ρ	$\text{kg} \cdot \text{m}^3$
2.19	Accélération de la pesanteur	Accélération de la pesanteur au lieu considéré et au niveau de la centrale	g	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

¹⁾ Les valeurs de ν sont données dans le tableau I, page 36.

²⁾ Les valeurs de a sont données dans le tableau II, page 38.

³⁾ Les valeurs de c_p sont données dans le tableau III, page 40.

⁴⁾ L'erreur relative sur e_m ou e_h venant de l'usage des valeurs moyennes $\bar{a}$, $\bar{\nu}$ et $\bar{c}_p$ et non de la valeur des intégrales exactes dans les domaines de pressions 0 à 150 bar et de températures 0 à 30 $^{\circ}\text{C}$ ne dépasse pas $0,5 \times 10^{-4}$.

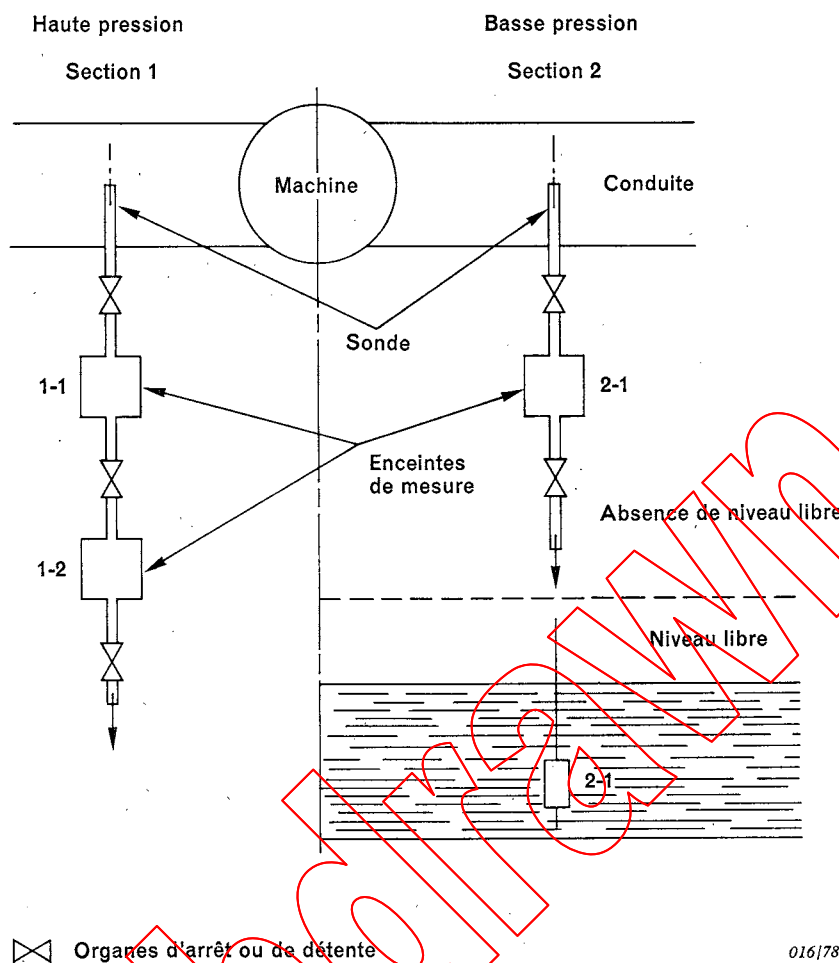
Term		Definition	Sym- bol	Unit
2.7	Volume per unit mass ¹⁾	$\left(\text{Volume per unit of mass} = \frac{1}{\rho} \right)$	v	$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$
2.8	Temperature		T	$^{\circ}\text{C}$
2.9	Isothermal factor ²⁾	Factor characterizing a thermodynamic property of water	a	$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$
2.10	Specific heat ³⁾	Specific heat at constant pressure	c_p	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$
2.11	Mean value of a ⁴⁾	Values of a and c_p corresponding to: $\left\{ \begin{array}{l} \text{the mean value } \bar{p} \text{ where:} \\ \bar{p} = \frac{p_{1-1} + p_{2-1}}{2} \\ \text{and} \\ \text{the mean value } \bar{T} \text{ where:} \\ \bar{T} = \frac{T_{1-1} + T_{2-1}}{2} \end{array} \right.$	$\bar{a}$	$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$
2.12	Mean value of c_p ⁴⁾		$\bar{c}_p$	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$
2.13	Mean value of v ⁴⁾	Value of v corresponding to T_1 and the mean value $\bar{p}$ where: $\bar{p} = \frac{p_1 + p_2}{2}$	$\bar{v}$	$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$
2.14	Water velocity		V	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
2.15	Measuring point level		z	m
2.16	Shaft power	Shaft power corresponding to mechanical energy per unit mass	P_m	W
2.17	Volume-flow	Volume-flow of water turbinised or pumped past a certain point	Q	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
2.18	Density	Mass per unit volume $\left(= \frac{1}{v} \right)$	ρ	$\text{kg} \cdot \text{m}^3$
2.19	Acceleration due to gravity	Acceleration due to gravity, at the point considered and at plant level	g	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

¹⁾ Values for v are given in Table I, page 36.

²⁾ Values for a are given in Table II, page 38.

³⁾ Values for c_p are given in Table III, page 40.

⁴⁾ Fractional error in e_m and e_h attributable to the adoption of mean values $\bar{a}$, $\bar{v}$ and $\bar{c}_p$ instead of exact integrals (for pressures between 0 and 150 bar and temperatures between 0 and 30 $^{\circ}\text{C}$) does not exceed 0.5×10^{-4} .



Note. — Pour la mise en œuvre de l'un ou de l'autre des modes opératoires pour la détermination de l'énergie massique, voir l'article 3.

Fig. 1. — Disposition générale schématique des enceintes de mesure.

3. Procédés de mesure de l'énergie mécanique massique

3.1 Généralités

Du fait des difficultés qu'il y aurait à les mesurer directement dans l'écoulement, les grandeurs définissant e_m doivent être mesurées dans des enceintes spécialement aménagées pour la mesure de la pression et de la température (voir le paragraphe 5.1.1). Lorsque les sections de mesure sont sous pression, le procédé consiste à soutirer un débit généralement compris entre 0,1 dm³/s et 0,5 dm³/s par une prise dynamique. L'eau ainsi soutirée est amenée à l'enceinte de mesure par une conduite calorifugée de telle sorte que les transferts de chaleur avec l'extérieur, estimés selon le procédé décrit au paragraphe 5.1.1, donnent lieu à une correction qui ne dépasse pas la limite fixée au paragraphe 6.5; cet « échantillonnage » est valable sous réserve de l'observation des recommandations relatives aux points de soutirage définies au paragraphe 6.1.

Dans le cas général où la sortie de la turbine est à la pression atmosphérique, une enceinte de mesure, conçue pour cet usage, est plongée directement dans l'écoulement.