

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC
60193

1965

AMENDEMENT 1
AMENDMENT 1

1977-09

Amendement 1

**Code international concernant les essais de
réception sur modèle des turbines hydrauliques**

Amendment 1

**International code for model acceptance tests
of hydraulic turbines**

© IEC 1977 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

International Electrotechnical Commission

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland

Telefax: +41 22 919 0300

e-mail: inmail@iec.ch

IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

K

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

CHAPTER IV — TEST CONDITIONS TO BE FULFILLED

Page 39

Replace Sub-clauses 2.2, 2.3 and 2.4 by the following:

2.2 Similarity

2.2.1 Geometric similarity of prototype and model

A model turbine for acceptance tests shall include the turbine itself, the draft tube and turbine casing to an upstream limit which, depending on the type of turbine, should normally exceed twice the discharge diameter of the turbine runner upstream from the centre line of the runner and be such that the inlet flow conditions are not affected by any perturbation arising from the model.

Elbows, Y-pipes, valves or a free surface upstream are not normally included in the model turbine for acceptance tests even if they are likely to affect performance.

Upstream or downstream gate slots are not included unless they are an integral part of the turbine.

Information on the influence of these parts on the hydraulic behaviour of the turbine may be obtained from tests additional to the model acceptance tests.

For the prototype to reproduce the performance characteristics of the model, the prototype shall be geometrically similar to the model within the tolerances given in Sub-clause 2.4.

2.2.2 System of dimensional tolerances

All similarity tolerances refer to permissible deviations between prototype measurements and scaled model dimensions. The model dimension in each case shall be the average of all measurements made of that dimension on the model. The scaled average model dimension is the prototype reference dimension. It is recommended that the model should be made so that individual measurements should not differ from the average by more than the values given in Sub-clause 2.4.

The stipulated tolerances may require modification because of particular model tests which are required (e.g. high head tests) or because of particular manufacturing procedures employed. Such modifications must be the subject of separate agreement.

2.2.3 Efficiency majoration

The formulae for majoration of model performance, given in Clause 6 of Chapter VI, are assumed to apply where the geometric similarity of prototype to model falls within the limits set out in Sub-clause 2.4.7.

2.3 Definitions

Profile deviation: The departure of a surface profile from the reference profile (see Figure 1, page 14). For the prototype, the reference profile shall be the average of measured model profiles. When comparing an actual blade profile with a reference profile, the best fit may be obtained by adjusting the angular position of the reference profile.

CHAPITRE IV — CONDITIONS À REMPLIR POUR LES ESSAIS

Page 38

Remplacer les paragraphes 2.2, 2.3 et 2.4 par ce qui suit:

2.2 Similitude

2.2.1 Similitude géométrique du prototype et du modèle

Une turbine modèle pour des essais de réception doit comprendre la turbine elle-même, l'aspirateur et la bêche spirale jusqu'à une limite amont qui, suivant le type de turbine, doit normalement excéder deux fois le diamètre de sortie de la roue à partir de son axe et être telle que les conditions d'écoulement à l'entrée ne soient pas affectées par les perturbations éventuelles provoquées par le modèle.

Les coudes, les embranchements, les vannes ou la surface libre en amont de l'entrée ne sont normalement pas compris dans la turbine modèle pour des essais de réception même s'ils sont susceptibles d'affecter les performances.

Les rainures de vanne amont ou aval ne sont pas comprises à moins qu'elles ne fassent corps avec la turbine.

Des renseignements concernant l'influence de ces parties sur le comportement hydraulique de la turbine peuvent être obtenus à partir d'essais supplémentaires aux essais de réception sur modèle.

Afin de reproduire les performances du modèle, le prototype doit être géométriquement semblable au modèle suivant les tolérances données au paragraphe 2.4.

2.2.2 Système de tolérances dimensionnelles

Toutes les tolérances de similitude se réfèrent aux écarts tolérables entre dimensions du prototype et dimensions du modèle à l'échelle. La dimension du modèle, dans chaque cas, doit être la moyenne de toutes les mesures de cette dimension faites sur le modèle. La dimension moyenne du modèle à l'échelle est la dimension de référence du prototype. Il est recommandé que le modèle soit fabriqué de telle sorte que les mesures individuelles ne s'écartent pas de la moyenne d'une valeur supérieure aux valeurs données au paragraphe 2.4.

Les tolérances stipulées peuvent exiger des modifications en raison des essais particuliers qui sont exigés sur modèle (par exemple essais sous grande chute) ou en raison de procédés particuliers employés pour la construction. Les modifications de ce genre doivent être l'objet d'un accord particulier.

2.2.3 Majoration de rendement

Les formules de majoration de performance du modèle, données à l'article 6 du chapitre VI, sont supposées s'appliquer quand la similitude géométrique entre modèle et prototype se tient à l'intérieur des limites données au paragraphe 2.4.7.

2.3 Définitions

Ecart de profil: Déviation du profil d'une surface par rapport au profil de référence (voir la figure 1, page 14). Pour le prototype, le profil de référence doit être la moyenne, à l'échelle du prototype, des profils du modèle mesurés. Quand on compare un profil d'aube réel à un profil de référence, on peut obtenir une meilleure adaptation en ajustant la position angulaire du profil de référence de façon à obtenir une meilleure conformité.

Ondulation: Déviation du profil d'une surface par rapport à une courbe lisse à laquelle une baguette flexible se conformerait facilement. L'ondulation est exprimée comme le rapport de la déviation maximale à la distance selon laquelle la déviation par rapport à la courbe lisse se produit. C'est le rapport $\frac{X}{U}$ de la figure 1. Afin de distinguer l'ondulation de la rugosité de surface, U ne devrait pas être inférieur à 50 mm. Le point de déviation maximale X devrait se situer dans le tiers central de U .

Il convient de noter que, parfois, les bosses sur la surface ne sont pas aussi faciles à évaluer correctement que les trous suivant le rapport $\frac{X}{U}$, au moyen d'une baguette flexible. Cependant, les bosses peuvent être corrigées assez facilement si c'est nécessaire.

Rugosité de surface: Qualité caractéristique de la surface due à de petites déviations par rapport à sa forme générale, telles que celles produites par l'action coupante des extrémités d'outil, des grains abrasifs et de l'avance des machines-outils.

2.4 *Contrôle de la similitude du prototype et du modèle*

2.4.1 *Généralités*

Les parties suivantes au moins doivent être vérifiées pour montrer la conformité aux tolérances fixées:

- Les dimensions principales de la bêche et de l'avant-distributeur, du distributeur et de l'aspirateur, de l'intervalle entre distributeur et roue et de l'intervalle entre roue et fond quand cela est nécessaire; pour les turbines à action les dimensions principales de la roue et de la capote.
- Les dimensions principales de la roue, y compris les diamètres d'entrée et de sortie, la hauteur d'entrée, la ceinture de la roue et la couronne. La forme des canaux de la roue ainsi que des pales des directrices et des avant-directrices. Pour les turbines Pelton, la forme des augets, des injecteurs et des pointeaux et l'alignement des jets sur la roue.
- Le dispositif d'étanchéité ou les jeux d'extrémité de pale sur les roues et les jeux aux extrémités des directrices.

Des contrôles dimensionnels peuvent être faits en utilisant des gabarits, des jauges, par mesure directe ou au moyen d'appareils de relevé, à condition que les données ainsi obtenues soient interprétées en conformité avec les paragraphes suivants.

2.4.2 *Classification*

Les turbines sont classées en Francis, Kaplan et Pelton.

Les tolérances pour les turbines Francis s'appliquent aussi aux machines à écoulement diagonal.

Les tolérances pour les turbines Kaplan s'appliquent aussi aux turbines à aubes réglables et à écoulement diagonal (turbines Deriaz), aux turbines à écoulement axial avec aubes fixes ou réglables (turbines bulbes) et aux roues à aubes fixes du type hélice. Les tolérances pour les turbines Pelton peuvent être adaptées aux turbines à action à jet incliné.

2.4.3 *Roues*

Pour la vérification de la similitude des roues du prototype et du modèle, les règles suivantes s'appliquent:

Waviness: The departure of a surface profile from a smooth curve to which a flexible stick would readily conform. Waviness is expressed as the ratio of maximum departure divided by the distance over which departure from the smooth curve occurs. This is the ratio $\frac{X}{U}$ of Figure 1. In order to distinguish waviness from surface roughness, U should not be less than 50 mm. The point of maximum departure X should lie in the middle third of U .

It should be noted that bumps on the surface are sometimes not as easy as hollows to assess properly as the ratio $\frac{X}{U}$, using a flexible stick. However, bumps can be relatively easily corrected if necessary.

Surface roughness: The characteristic quality of the surface due to small departures from its general form such as those produced by the cutting action of tool edges, abrasive grains and the feed of machine tools.

2.4 Checking the similarity of prototype and model

2.4.1 General

At least the following parts must be checked to show compliance with the tolerances stated:

- The principal dimensions of the spiral casing, of the stay ring, of the distributor, of the draft tube, of the space between the distributor and runner and of the space between the runner and the head cover when necessary; for impulse turbines, the principal dimensions of the runner and of the casing.
- The principal dimensions of the runner including inlet and outlet diameters, inlet height, runner band and crown. The form of the runner water passages and of the guide and stay vanes; for Pelton turbines, the form of buckets, nozzles and spears and the alignment of the jets to the runner.
- The seal or blade tip clearances on runners and end clearances of guide vanes.

Dimensional checks may be made using templates, clearance templates, by direct measurement or by plotting devices, provided the data so obtained are interpreted in conformity with the following sub-clauses.

2.4.2 Classification

Turbines are classified as Francis, Kaplan and Pelton.

The tolerances for Francis turbines apply also to diagonal flow machines.

The tolerances for Kaplan turbines apply also to diagonal flow adjustable blade turbines (Deriaz turbines), axial flow turbines with fixed or adjustable blades (bulb turbines) and fixed blade runners of the propeller type. The tolerances for Pelton turbines can be adapted to inclined jet impulse turbines.

2.4.3 Runners

For checking the similarity of prototype and model runners, the following rules apply:

Roues de turbines Francis

- Les profils d'entrée d'aubes doivent être vérifiés au moins dans deux sections pour les turbines de faible vitesse spécifique et trois sections pour les turbines de grande vitesse spécifique. La section d'entrée doit s'étendre sur une distance de $0,1 D$ à partir du bord d'attaque de l'aube le long des deux côtés pression et dépression de l'aube (voir les figures 2 et 3, pages 15 et 16).
- Les angles à l'entrée des aubes doivent être vérifiés dans les mêmes sections que celles relatives aux profils d'entrée. L'angle d'entrée doit être mesuré en prenant l'inclinaison d'un gabarit s'étendant le long de l'aube sur une distance de $0,05 D$ à partir du bord d'attaque et positionné pour donner le meilleur ajustement aux deux côtés de l'aube simultanément (voir la figure 3).
- Les profils de sortie des aubes doivent être mesurés au moins pour trois sections. Sur le côté en pression, la section de sortie doit s'étendre le long de l'aube, sur une longueur de $0,1 D$ à partir du bord de fuite. Sur le côté en dépression, la section doit s'étendre sur une distance de $0,15 D$ à partir du bord de fuite le long de l'aube (voir la figure 3).
- Les angles à la sortie des aubes doivent être vérifiés aux mêmes sections que celles relatives aux profils de sortie. Les angles de sortie doivent être mesurés en prenant l'inclinaison d'un gabarit s'étendant le long de l'aube sur une distance de $0,05 D$ à partir du bord de fuite et positionné pour donner le meilleur ajustement aux deux côtés de l'aube simultanément (voir la figure 3).
- Le diamètre d'entrée de la roue doit être contrôlé en trois points (voir la figure 2).
- La largeur de sortie entre les aubes doit être vérifiée au moins en trois points sur chaque aube (voir la figure 4, page 17).
- La surface complète des aubes comprenant les sections définies relatives aux profils ainsi que le plafond de la roue et la ceinture doit être vérifiée pour établir que les profils sont des courbes continues lisses avec une ondulation inférieure à $0,02$. Pour cela, une baguette flexible peut être utilisée.
- Sur les surfaces sujettes à la cavitation ou à une cavitation naissante, l'ondulation doit être inférieure à $0,01$.

L'ondulation, jusqu'à ces limites, doit seulement être admise comme un défaut isolé ayant lieu occasionnellement sur la surface de l'aube.

Roues de turbines Kaplan

- Les profils de pale doivent être mesurés au moins pour trois sections à la fois sur les côtés en pression et en dépression de la pale.

Le profil d'entrée de chacune des sections mesurées doit être contrôlé. Le profil d'entrée doit s'étendre le long de la pale sur une distance de $0,05 D$ à partir du bord d'attaque, (voir la figure 6, page 19).

En faisant ces contrôles, la meilleure adaptation de la pale à chaque profil de référence peut être obtenue par une rotation du profil de référence à condition que l'ajustement angulaire du profil de référence n'excède pas $\pm 0,25^\circ$ et que l'ajustement axial n'excède pas $\pm 0,2\% D$ par rapport à la position correcte du profil de référence. Ces ajustements ne doivent être admis qu'une seule fois pour chaque section, et toutes les mesures de contrôle doivent être effectuées simultanément sur l'un et l'autre des côtés en pression et en dépression de chaque section (voir les figures 5 et 6, pages 18 et 19).

- La surface complète des pales comprenant les sections définies relatives aux profils doit être lisse avec une ondulation inférieure à $0,03$.

Sur les surfaces sujettes à la cavitation ou à une cavitation naissante, l'ondulation doit être inférieure à $0,01$.

Francis turbine runners

- Blade inlet profiles shall be checked at least at two sections for low specific speed turbines and at three sections for high specific speed turbines. The inlet section shall extend from the nose of the blade a distance $0.1 D$ along both pressure and suction sides of the blade (see Figures 2 and 3, pages 15 and 16).
- Blade inlet angles shall be checked at the same sections as for inlet profiles. Inlet angle shall be measured by taking the inclination of a template extending from the nose of the blade to $0.05 D$ along the blade and located to give the best fit to both sides of the blade simultaneously (see Figure 3).
- Blade outlet profiles shall be measured at least at three sections. On the pressure side, the outlet section shall extend from the tail of the blade a distance back along the blade of $0.1 D$. On the suction side, the section shall extend from the tail of the blade a distance $0.15 D$ back along the blade (see Figure 3).
- Blade outlet angles shall be checked at the same sections as for outlet profiles. Outlet angles shall be measured by taking the inclination of a template extending from the tail of the blade a distance $0.05 D$ back along the blade and located to give the best fit to both sides of the blade simultaneously (see Figure 3).
- The runner inlet diameter shall be checked at three points (see Figure 2).
- Outlet width between blades shall be checked at least at three points on each blade (see Figure 4, page 17).
- The whole surface of the blades including the defined profile sections and the runner crown and band shall be checked to establish that profiles are smooth continuous curves with a waviness less than 0.02 . A flexible stick may be used for this purpose.
- On surfaces subject to cavitation or incipient cavitation, the waviness shall be less than 0.01 .

Waviness to these limits shall be allowed only as an isolated defect occurring occasionally on the blade surface.

Kaplan turbine runners

- Blade profiles shall be measured at least at three sections on both pressure and suction sides of the blade.

The nose profile of each of the measured sections shall be checked. The nose profile shall extend from the nose of the blade a distance $0.05 D$ along the blade (see Figure 6, page 19).

In making these checks, the best fit between blade and each reference profile may be obtained by rotating the reference profile provided the angular adjustment of the reference profile does not exceed $\pm 0.25^\circ$ and the axial adjustment does not exceed $\pm 0.2\% D$ compared with the correct location of the reference profile. These adjustments shall be allowed only once for each section and all check measurements made simultaneously on both the pressure side and the suction side of the section considered (see Figures 5 and 6, pages 18 and 19).

- The whole surface of the blades, including the defined profile sections, shall be smooth with a waviness of less than 0.03 .

On surfaces subject to cavitation or incipient cavitation, the waviness shall be less than 0.01 .

L'ondulation, jusqu'à ces limites, doit seulement être admise comme un défaut isolé ayant lieu occasionnellement sur la surface de la pale.

- Les pales étant montées sur le moyeu, leur inclinaison l'une par rapport aux autres, doit être vérifiée. A cet effet, il faut procéder à la comparaison de l'inclinaison des profils extérieurs par des mesures. La différence entre la plus grande inclinaison et la plus petite inclinaison des pales ne doit pas excéder $0,25^\circ$.

Roues de turbines Pelton

- Le profil de chaque auget doit être vérifié au moins pour quatre sections transversales et pour quatre sections longitudinales (voir la figure 7, page 20).
- Les angles β de sortie de chaque auget doivent être vérifiés en quatre points de chaque côté (voir la figure 7).
- La forme de l'échancrure, l'angle γ du dos de l'échancrure, l'arête et l'angle α d'inclinaison de l'auget doivent être vérifiés sur chaque auget.
- La largeur intérieure de l'auget et le profil extérieur de l'auget doivent être vérifiés, les tolérances dans ce cas étant nominales et choisies seulement pour garantir qu'il ne peut y avoir plus d'interférence sur le prototype que sur le modèle.

2.4.4 *Directrices*

Les profils d'entrée et de sortie doivent être mesurés au moins pour deux sections sur une distance égale à 0,2 fois la longueur de l'aube.

2.4.5 *Jeux aux labyrinthes et aux extrémités de directrices*

Les jeux aux labyrinthes, les jeux aux extrémités des pales et les jeux aux extrémités des directrices des turbines à réaction doivent être vérifiés.

Le jeu sur le prototype ne doit pas excéder le jeu sur le modèle à l'échelle dans les conditions de fonctionnement.

2.4.6 *Rugosité de surface*

Les rendements réels obtenus par les deux turbines, modèle et prototype, sont affectés par la rugosité de toutes les surfaces hydrauliquement significatives. Un modèle fonctionnant sous une faible chute peut être hydrauliquement lisse tandis que la rugosité de la plupart des composants significatifs du prototype n'est pas normalement hydrauliquement lisse. La rugosité adoptée pour le prototype doit être l'objet d'un accord puisque la meilleure solution dépend de la valeur économique du rendement, du coût de la fabrication, de la dimension de la machine et des conditions d'emplacement si elles sont susceptibles de nuire à l'état de surface. Les surfaces hydrauliquement rugueuses réduisent le rendement à une valeur inférieure au rendement qu'il serait possible d'obtenir.

Par ailleurs, le fini de surface exigé peut être choisi en quelques points pour améliorer la résistance à la cavitation ou pour des raisons de fatigue et le choix n'est alors pas lié à la similitude dimensionnelle entre modèle et prototype.

Le tableau suivant indique des valeurs guides de rugosité de surface pour prototypes. L'exigence d'un bon état de surface se justifie quand elle permet de réaliser une économie due à un meilleur rendement. Lorsque l'érosion due au sable, etc, est susceptible de détériorer rapidement les surfaces, l'obtention d'un beau fini initial n'est probablement pas justifiée.

Waviness to these limits shall be allowed only as an isolated defect occurring occasionally on the blade surface.

- With the blades mounted in the hub, the inclination of the blades with respect to each other shall be checked. For this purpose, the inclination of the outer measured profiles shall be compared. The difference in inclination between the highest and lowest blades shall not exceed 0.25° .

Pelton turbine runners

- The profile of each bucket shall be checked at least at four transverse and four longitudinal sections (see Figure 7, page 20).
- The discharge angles β of each bucket shall be checked at four points on each side (see Figure 7).
- The form of the cutout, the angle γ of the back of the cutout, the splitter edge and the bucket inclination α shall be checked on each bucket.
- The bucket inside width and the bucket outside profile shall be checked, the tolerances in this case being nominal and chosen only to ensure that no more interference can occur on the prototype than on the model.

2.4.4 *Guide vanes*

The nose and tail profiles shall be measured at least at two sections over a distance extending to 0.2 of the vane length.

2.4.5 *Seal and guide vane end clearances*

The seal clearances, blade tip clearances and guide vane end clearances on reaction turbines shall be checked.

The prototype clearance shall not exceed the scaled model clearance under operating conditions.

2.4.6 *Surface roughness*

The actual efficiencies realized by both model and prototype turbines are affected by the roughness provided on all hydraulically significant surfaces. A model operating on a low head may be hydraulically smooth, while the roughness of most significant prototype components is normally not hydraulically smooth. The prototype roughness adopted must be the subject of agreement since the best solution depends upon the economic value of efficiency, cost of manufacture, machine size and on whether site conditions are likely to be damaging to surface finish. Hydraulically rough surfaces reduce the efficiency below that which is potentially obtainable.

Moreover, the finish required may be chosen at some points to improve cavitation resistance or for fatigue strength reasons and the choice is then not related to model-to-prototype dimensional similarity.

The following table indicates guidance values of prototype surface roughness. Good surface finish may be specified when warranted by the economic value of efficiency. When erosion due to sand, etc., is likely to deteriorate surfaces quickly, the initial provision of a fine finish is probably not warranted.

Rugosité de surface R_a (μm) (écart moyen arithmétique du profil par rapport à la ligne moyenne)	Application
0,8- 1,6 1,6- 6,3 6,3-12,5 12,5-25	Intérieur des augets de roues Pelton Roues Francis de moyenne et haute chute Roues Francis de basse chute ou roues Kaplan et directrices de haute chute Directrices de basse chute, avant-distributeur

La rugosité de surface peut être vérifiée par comparaison tactile avec des plaques d'échantillons standards préparées au moyen d'un procédé d'usinage similaire.

Une hauteur de 100 m devrait être prise comme limite entre faible et moyenne chute, comme c'est le cas dans le tableau ci-dessus.

2.4.7 *Ecarts de similitude géométrique*

	Ecarts maximaux admissibles entre dimension du proto- type et référence	Ecarts maximaux recommandés entre dimension individuelle du modèle et dimension moyenne du modèle
<i>Dimensions principales des conduits hydrauliques</i>		
Conduits en tôle et en béton et bâches	$\pm 2\%$	—
Avant-distributeur	$\pm 2\%$	—
Hauteur du distributeur	$\pm 0,4\%$	—
<i>Jeux</i>		
Dispositif d'étanchéité et extrémités de directrice	Inférieur ou égal à celui de la référence	—
<i>Profil de directrice</i>		
Individuel	$\pm 5\% T$	$\pm 3\% T$
Moyenne	$\pm 3\% T$	—
<i>Roues Francis</i>		
Profil à l'entrée	$\pm 0,1\% D$	$\pm 0,1\% D$
Pas à l'entrée P_1	$\pm 0,5\% D$	—
Angle à l'entrée:		
individuel	$\pm 3^\circ$	$\pm 1,5^\circ$
moyenne	$\pm 1,5^\circ$	—
Profil à la sortie	$\pm 0,1\% D$	$\pm 0,1\% D$
Angle à la sortie:		
individuel	$\pm 2^\circ$	$\pm 1^\circ$
moyenne	$\pm 1^\circ$	—
Largeur de sortie:		
individuel	$+5\% a$ $-3\% a$	$\pm 3\% a$
moyenne	$+3\% a$ $-1\% a$	—
Dimension principale de la roue	$\pm 0,25\%$	—
Diamètre d'entrée:		
individuel	$\pm 0,5\% D$	—
moyenne	$\pm 0,25\% D$	—
<i>Roues Kaplan et à écoulement diagonal</i>		
Profil de pale	$\pm 0,2\% D$	$\pm 0,2\% D$
Profil à l'entrée	$\pm 0,1\% D$	$\pm 0,1\% D$
Ceinture de roue	$\pm 0,2\% D$	—

Surface roughness R_a (μm) (centre line average)	Application
0.8– 1.6 1.6– 6.3 6.3–12.5	Pelton runners inside of buckets Medium to high head Francis runners Low head Francis or Kaplan runners; medium and high head guide vanes
12.5–25	Low head guide vanes, stay rings

The surface roughness may be checked by tactile comparison with standard sample plates prepared by a similar machining process.

A head of 100 m should be taken as the boundary between low and medium head as used in the above table.

2.4.7 Deviations in geometric similarity

	Permissible maximum deviations, prototype measurement to reference	Recommended maximum deviations, individual model measurement to average model measurement
<i>Principal dimensions of hydraulic passages</i>		
Metallic and concrete passages and casings	$\pm 2\%$	—
Stay ring	$\pm 2\%$	—
Distributor height	$\pm 0.4\%$	—
<i>Clearances</i>		
Seal and guide vane end clearances	Equal to or less than reference	—
<i>Guide vane profile</i>		
Individual	$\pm 5\% T$	$\pm 3\% T$
Average	$\pm 3\% T$	—
<i>Francis runners</i>		
Inlet section profile	$\pm 0.1\% D$	$\pm 0.1\% D$
Inlet pitch P_i	$\pm 0.5\% D$	—
Inlet angle:		
individual	$\pm 3^\circ$	$\pm 1.5^\circ$
average	$\pm 1.5^\circ$	—
Outlet section profile	$\pm 0.1\% D$	$\pm 0.1\% D$
Outlet angle:		
individual	$\pm 2^\circ$	$\pm 1^\circ$
average	$\pm 1^\circ$	—
Outlet width:		
individual	$+5\% a$ $-3\% a$	$\pm 3\% a$
average	$+3\% a$ $-1\% a$	—
Principal runner dimension	$\pm 0.25\%$	—
Inlet diameter:		
individual	$\pm 0.5\% D$	—
average	$\pm 0.25\% D$	—
<i>Kaplan and diagonal flow runners</i>		
Blade profile	$\pm 0.2\% D$	$\pm 0.2\% D$
Nose profile	$\pm 0.1\% D$	$\pm 0.1\% D$
Runner chamber	$\pm 0.2\% D$	—

	Ecarts maximaux admissibles entre dimension du prototype et référence	Ecarts maximaux recommandés entre dimension individuelle du modèle et dimension moyenne du modèle
<i>Turbines Pelton</i>		
Diamètre du pointeau et de l'injecteur:		
individuel	$\pm 0,3\% d$	—
moyenne	$\pm 0,3\% d$	—
Profil du pointeau et de l'injecteur	$\pm 1\% d$	—
Angle de l'injecteur:		
individuel	$\pm 1^\circ$	—
moyenne	$\pm 1^\circ$	—
Angle du pointeau		
individuel	$\pm 2^\circ$	—
moyenne	$\pm 2^\circ$	—
Largeur intérieure de l'auget *	-0%	—
Profil extérieur de l'auget *	+0%	—
Profil intérieur de l'auget	$\pm 0,5\% W$	$\pm 0,5\% W$
Inclinaison de l'auget α :		
individuel	$\pm 1^\circ$	$\pm 1^\circ$
moyenne	$\pm 1^\circ$	—
Angle β de sortie de l'auget:		
individuel	$\pm 1^\circ$	$\pm 1,5^\circ$
moyenne	$\pm 1^\circ$	—
Profil de l'échancrure	$\pm 1\% W$	$\pm 1\% W$
Angle de dégagement γ au dos de l'échancrure:		
individuel	+0°	$\pm 1^\circ$
	-3°	—
moyenne	+0°	—
	-3°	—
Rayon du cercle tangent à l'axe du jet	$\pm 0,2\% D$	—
Alignement du jet par rapport au plan de la roue	$\pm 0,5\% W$	—

Symboles employés et définition

T = épaisseur maximale d'une directrice pour chaque section de mesure

D = diamètre d'entrée de roue à mi-hauteur des aubes pour les turbines Francis (voir la figure 2, page 15)

diamètre hors tout des pales pour les turbines Kaplan et à écoulement diagonal (voir la figure 5, page 18), ou diamètre du cercle tangent à l'axe du jet pour les turbines Pelton

P_1 = pas à l'entrée des aubes pour les roues Francis (voir la figure 3, page 16)

d = diamètre de l'orifice de l'injecteur (voir la figure 7, page 20)

W = largeur intérieure maximale de l'auget (voir la figure 7)

a = largeur de sortie – largeur minimale entre le point de mesure sur l'arête de fuite d'une aube et l'aube voisine (voir la figure 4, page 17)

Note. — Indépendamment des tolérances fixées, il n'est pas possible normalement de fabriquer un modèle avec finition à la main et d'avoir des profils meilleurs que $\pm 0,2$ mm.

* Ces tolérances sont données dans la seule intention d'assurer que l'interférence de l'eau sur le dos de l'auget n'est pas plus grande sur le prototype que sur le modèle.

	Permissible maximum deviations, prototype measurement to reference	Recommended maximum deviations, individual model measurement to average model measurement
<i>Pelton turbines</i>		
Spear and nozzle diameter:		
individual	$\pm 0.3\% d$	—
average	$\pm 0.3\% d$	—
Spear and nozzle profile:	$\pm 1\% d$	—
Nozzle angle:		
individual	$\pm 1^\circ$	—
average	$\pm 1^\circ$	—
Spear angle:		
individual	$\pm 2^\circ$	—
average	$\pm 2^\circ$	—
Bucket inside width *	-0%	—
Bucket outside profile *	+0%	—
Bucket internal profile	$\pm 0.5\% W$	$\pm 0.5\% W$
Bucket inclination α :		
individual	$\pm 1^\circ$	$\pm 1^\circ$
average	$\pm 1^\circ$	—
Bucket discharge angle β :		
individual	$\pm 1^\circ$	$\pm 1.5^\circ$
average	$\pm 1^\circ$	—
Cutout profile	$\pm 1\% W$	$\pm 1\% W$
Angle of face at back of cutout γ :		
individual	+0° -3°	$\pm 1^\circ$ —
average	+0° -3°	— —
Jet circle radius	$\pm 0.2\% D$	—
Alignment of jet to runner	$\pm 0.5\% W$	—

Symbols used and definition

T = maximum thickness of guide vane for each measuring section

D = runner inlet diameter at mid-height of vanes at inlet for Francis turbines (see Figure 2, page 15)

overall diameter of blades for Kaplan and diagonal flow turbines (see Figure 5, page 18) or jet circle diameter for Pelton turbines

P_i = blade inlet pitch for Francis runners (see Figure 3, page 16)

d = nozzle orifice diameter (see Figure 7, page 20)

W = bucket maximum internal width (see Figure 7)

a = outlet width – the minimum width between measuring point on outlet edge of one blade and the adjacent blade (see Figure 4, page 17)

Note. — Irrespective of tolerances stated, it is not normally possible to manufacture a model by hand finishing to have profiles better than ± 0.2 mm.

* These tolerances are intended only to ensure that water interference on the back of the bucket is not greater on the prototype than on the model.

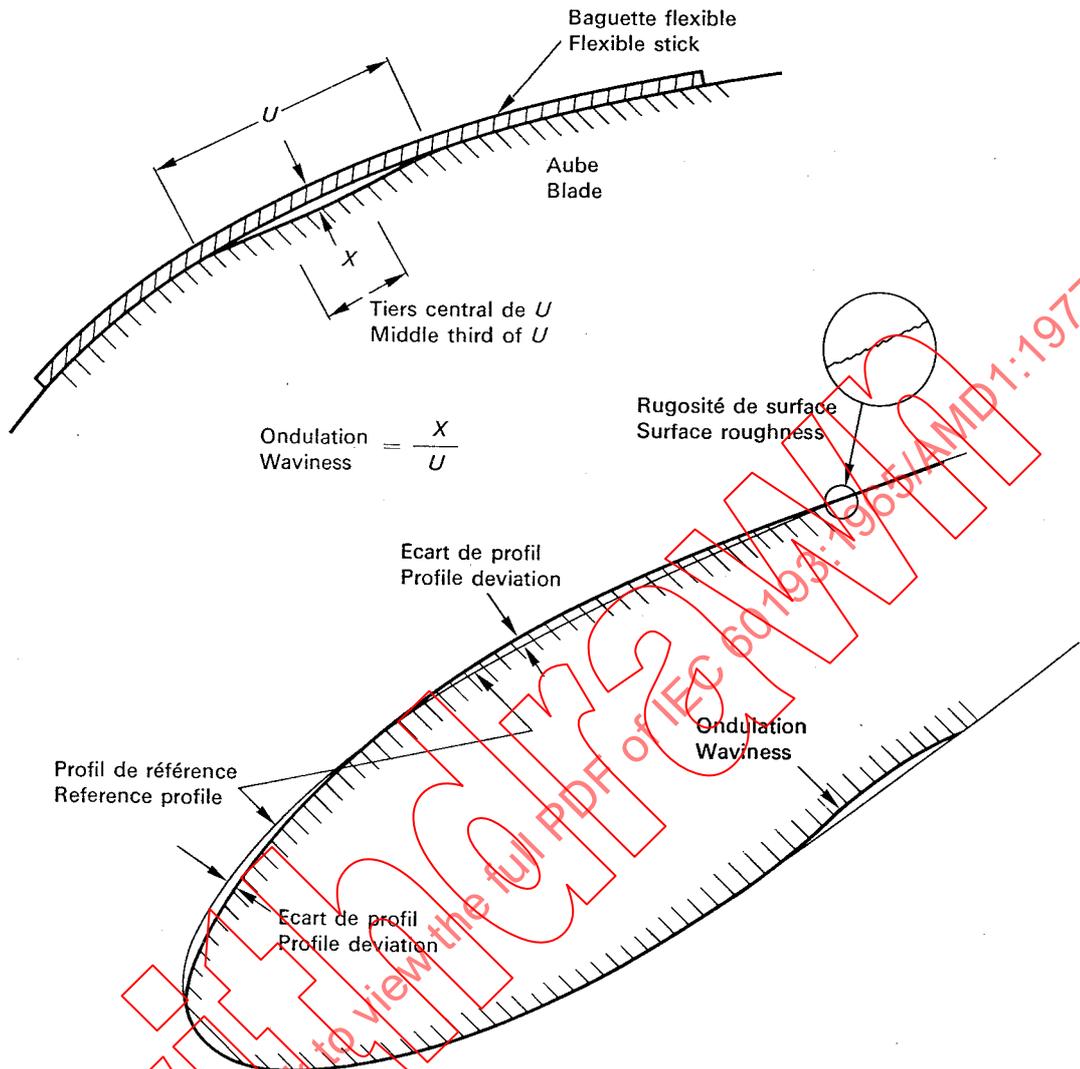
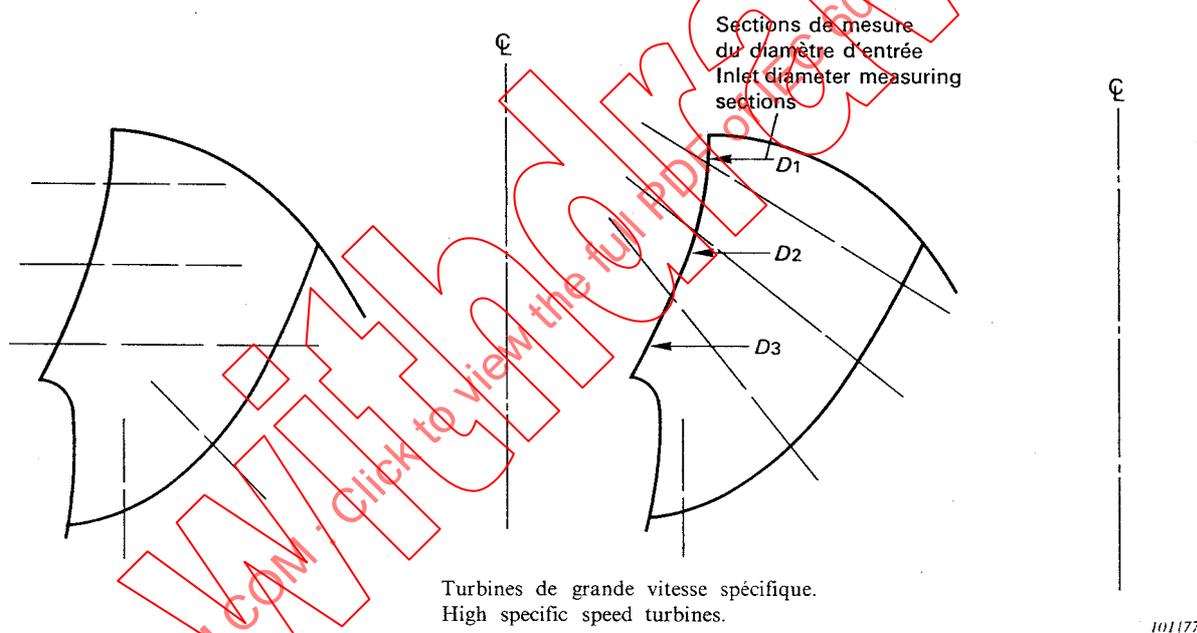
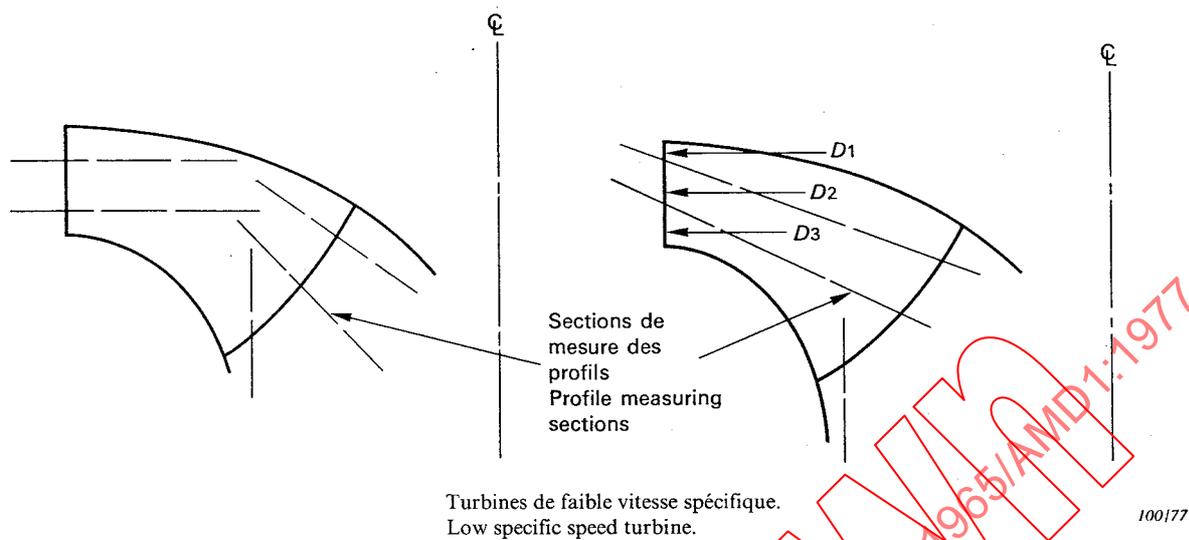


FIG. 1. — Définition de l'ondulation, de la rugosité de surface et de l'écart de profil.

Definition of waviness, surface roughness and profile deviation.

099/77



Note. — Les sections de mesure des profils d'aubes peuvent être planes ou coniques.
Blade profile measuring sections may be either plane or conical sections.

FIG. 2. — Sections de mesure des profils d'aubes de roues Francis.
Francis runner blade profile measuring sections.

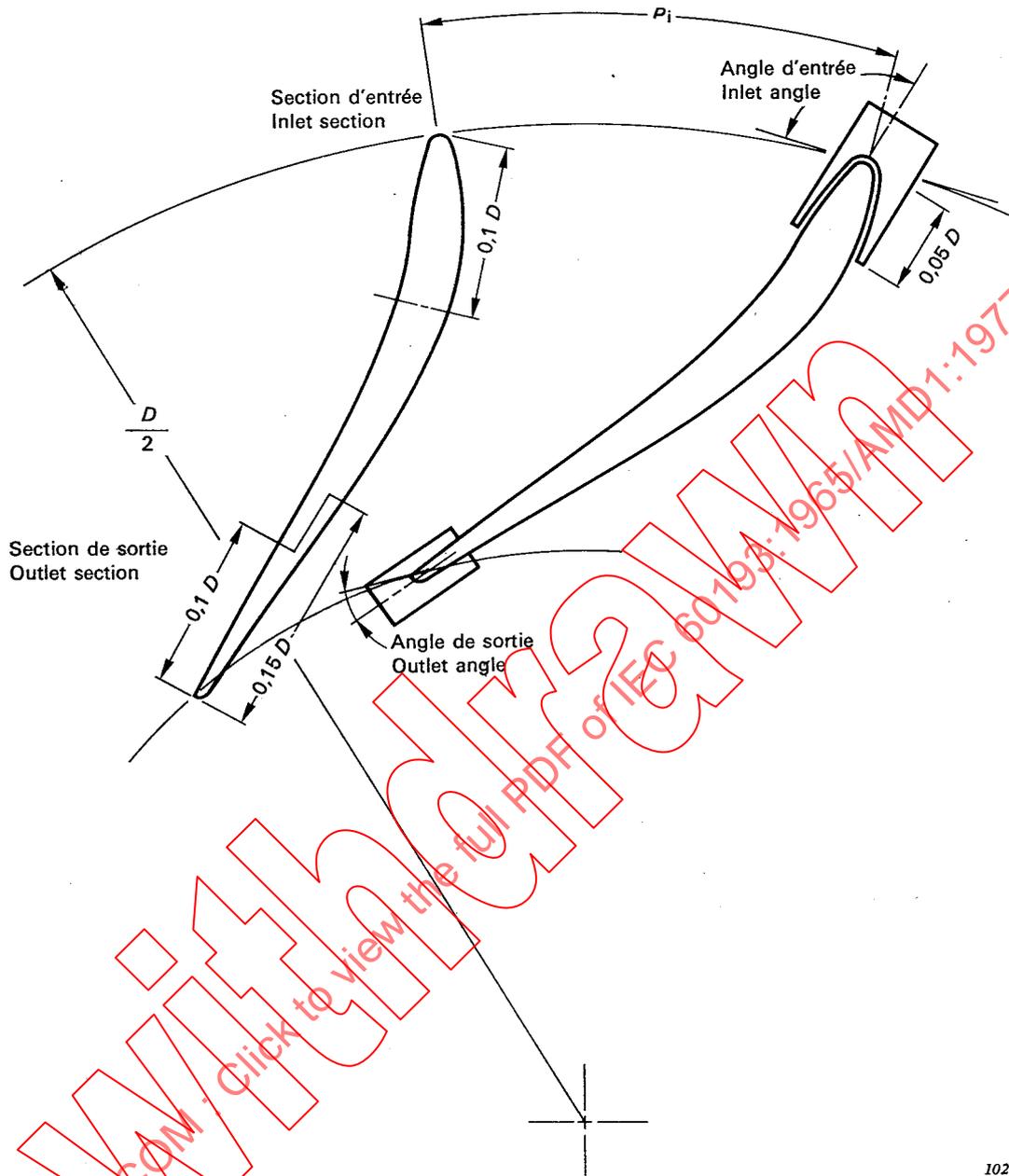


FIG. 3. — Définition des sections de mesure pour les roues Francis.
Francis runner definition of measuring sections.

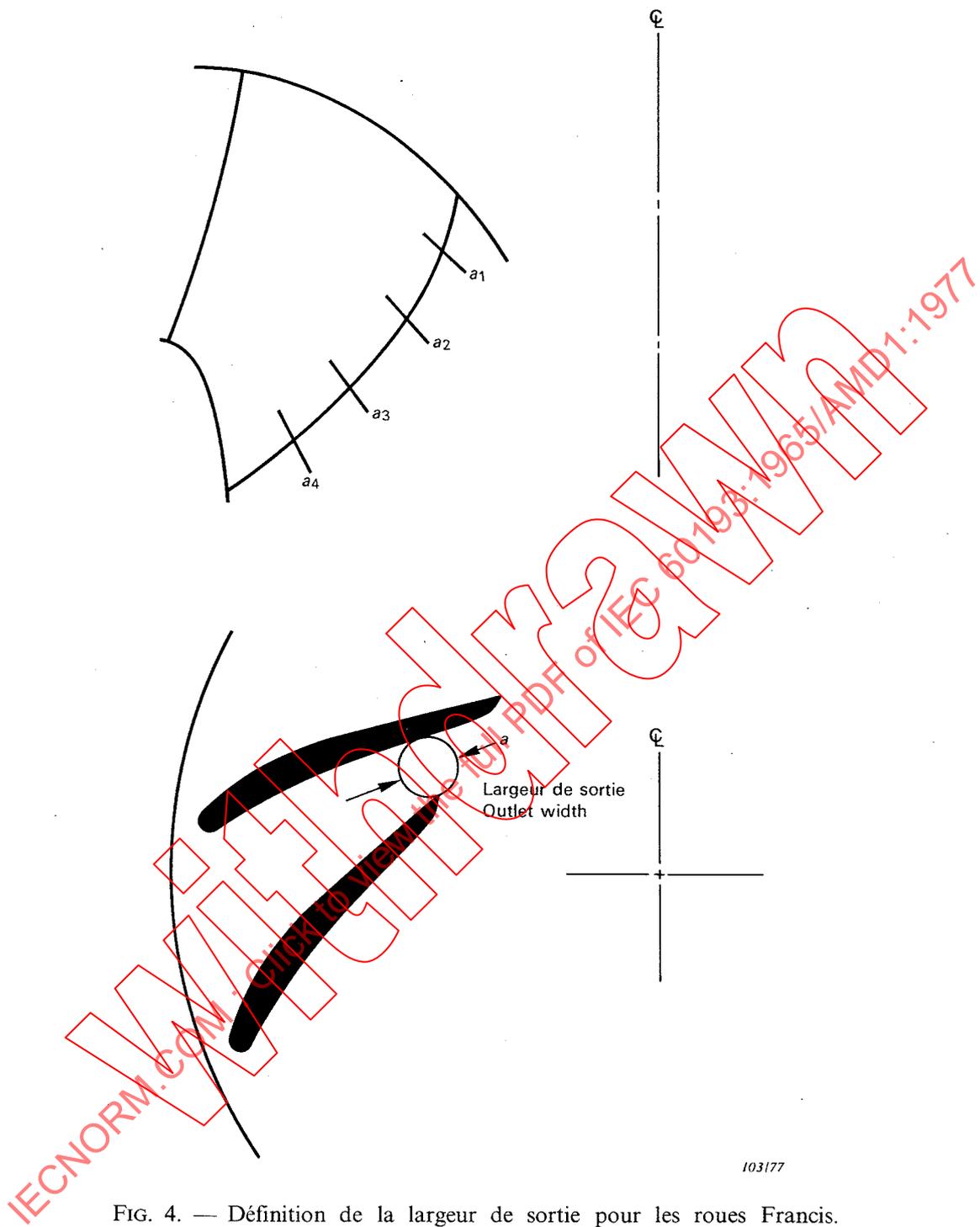


FIG. 4. — Définition de la largeur de sortie pour les roues Francis.
Francis runner definition of outlet width.