



UNITED NATIONS
INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION

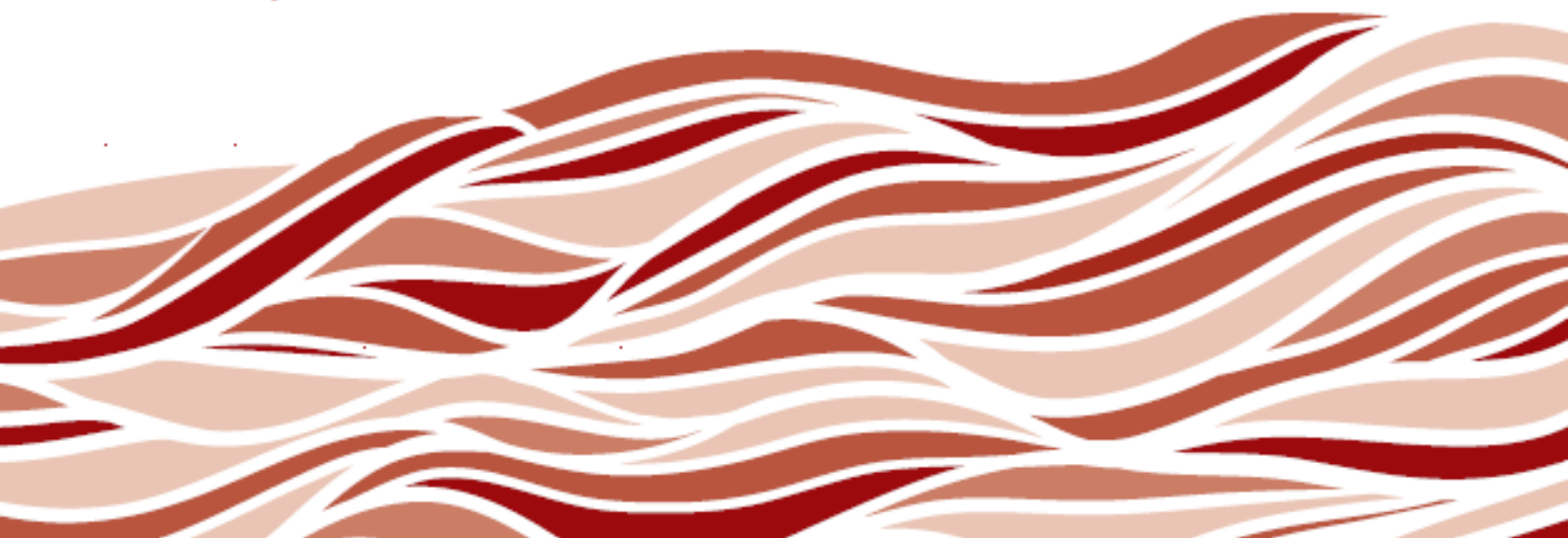


Directives techniques pour le développement de la
petite hydroélectricité

UNITÉS

Partie 2 : Générateur de turbine hydraulique

SHP/TG 003-2 : 2019



CLAUSE DE NON-RESPONSABILITÉ

Le présent document n'a pas été revu par les services d'édition de l'Organisation des Nations Unies. Les appellations employées dans le présent document et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part du Secrétariat de l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel (ONUDI) aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites, ou à leur système économique ou degré de développement. Les qualificatifs tels que « développé », « industrialisé » et « en développement » ne sont employés que pour des raisons de commodité statistique et n'expriment pas nécessairement un jugement sur le stade de développement atteint par un pays ou par une zone particulière. La mention de noms de sociétés ou de produits commerciaux ne signifie pas que l'ONUDI approuve lesdites sociétés ou produits. Bien que les auteurs du présent document aient veillé avec le plus grand soin à l'exactitude des informations y figurant, l'ONUDI et ses États Membres n'assument aucune responsabilité en ce qui concerne les conséquences qui pourraient découler de leur utilisation. Le présent document peut être cité ou réimprimé librement, mais une telle utilisation doit faire mention de la source.

© 2019 UNIDO / INSHP- Tous droits réservés

Directives techniques pour le développement de la
petite hydroélectricité

UNITÉS

Partie 2 : Générateur de turbine hydraulique

SHP/TG 003-2 : 2019

REMERCIEMENTS

Les directives techniques sont le fruit d'une collaboration entre l'Organisation des Nations unies pour le développement industriel (ONUDI) et le Centre International sur la Petite Hydraulique (INSHP). Environ 80 experts internationaux et 40 organismes internationaux ont participé à l'élaboration et à l'examen par les pairs du document, fournissant observations et suggestions concrètes pour garantir le professionnalisme et l'applicabilité des directives.

L'ONUDI et le Centre International sur la Petite Hydraulique apprécient grandement les contributions apportées lors de l'élaboration de ces directives et en particulier celles des organisations internationales suivantes :

- Le marché commun de l'Afrique orientale et australe (COMESA)

- Le réseau mondial de centres régionaux pour les énergies renouvelables (GN-SEC), en particulier le Centre de la CEDEAO pour les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique (ECREEE), le Centre d'Afrique de l'Est pour les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique (EACREEE), le Centre du Pacifique pour les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique (PCREEE) et le Centre des Caraïbes pour les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique (CCREEE).

Le gouvernement chinois a facilité la finalisation de ces directives et a joué un rôle important dans leur élaboration.

L'élaboration de ces directives a grandement bénéficié des apports précieux, de la révision, des commentaires constructifs et des contributions reçues de M. Adnan Ahmed Shawky Atwa, M. Adoyi John Ochigbo, M. Arun Kumar, M. Atul Sarthak, M. Bassey Edet Nkposong, M. Bernardo Calzadilla-Sarmiento, Mme. Arun Kumar, M. Atul Sarthak, M. Bassey Edet Nkposong, M. Bernardo Calzadilla-Sarmiento, Mme Chang Fangyuan, M. Chen Changjun, Mme Chen Hongying, M. Chen Xiaodong, Mme Chen Yan, Mme Chen Yueqing, Mme Cheng Xialei, Mme Chileshe Kapaya Matantilo. Chileshe Kapaya Matantilo, Mme Chileshe Mpundu Kapwepwe, M. Deogratias Kamweya, M. Dolwin Khan, M. Dong Guofeng, M. Ejaz Hussain Butt, Mme Eva Kremere, Mme Fang Lin, M. Fu Liangliang, M. Garaio Donald Gafiye, M. Guei Guillaume Fulbert Kouhie, M. Guo Chenguang, M. Guo Hongyou, M. Harold John Annegam, Mme Hou ling, M. Hu Jianwei, Mme Hu Xiaobo, M. Hu Yunchu, M. Huang Haiyang, M. Huang Zhengmin, Mme Januka Gyawali, M. Jiang Songkun, M. K. M. Dharsan Unnithan, M. Kipyego Cheluget, M. Kolade Esan, M. Lamyser Castellanos Rigoberto, M. Li Zhiwu, Mme Li Hui, M. Li Xiaoyong, Mme Li Jingjing, Mme Li Sa, M. Li Zhenggui, Mme Liang Hong, M. Liang Yong, M. Lin Xuxin, M. Liu Deyou, M. Liu Heng, M. Louis Philippe Jacques Tavernier, Li Zhenggui, Mme Liang Hong, M. Liang Yong, M. Lin Xuxin, M. Liu Deyou, M. Liu Heng, M. Louis Philippe Jacques Tavernier, Mme Lu Xiaoyan, M. Lv Jianping, M. Manuel Mattiat, M. Martin Lugmayr, M. Mohamedain SeifElnasr, M. Mundia Simainga, M. Mukayi Musarurwa, M. Olumide TaiwoAlade, M. Ou Chuanqi, Mme. Pan Weiping, M. Ralf Steffen Kaeser, M. Rudolf Hupfl, M. Rui Jun, M. Rao Dayi, M. Sandeep Kher, M. Sergio Armando Trelles Jasso, M. Sindiso Ngwenga, M. Sidney Kilmete, Mme Sitraka Zarasoa Rakotomahefa, M. Shang Zhihong, M. Shen Cunke, M. Shi Rongqing, Mme Sanja Komadina, M. Tareqemtairah, M. Tokihiko Fujimoto, M. Tovoniaina Ramanantsoa Andriampaniry, M. Tan Xiangqing, M. Tong Leyi, M. Wang Xinliang, M. Wang Fuyun, M. Wang Baoluo, M. Wei Jianghui, M. Wu Cong, Mme Xie Lihua, M. Xiong Jie, Mme Xu Jie, Mme Xu Xiaoyan, M. Xu Wei, M. Yohane Mukabe, M. Yan Wenjiao, M. Yang Weijun, Mme Yan Li, M. Yao Shenghong, M. Zeng Jingnian, M. Zhao Guojun, M. Zhang Min, M. Zhang Min, M. Zhang Min, M. Wang Baoluo, M. Weianghai, M. Wu Cong, Mme. Zhang Min, M. Zhang Liansheng, M. Zhang Zhenzhong, M. Zhang Xiaowen, Mme Zhang Yingnan, M. Zheng Liang, M. Zheng Yu, M. Zhou Shuhua, Mme Zhu Mingjuan.

Les suggestions et les recommandations concernant d'éventuelles mises à jour des directives sont les bienvenues.

Table des matières

Avant-propos	II
Introduction.....	III
1 Portée.....	1
2 Références normatives.....	1
3 Termes et définitions	2
4 Conditions de service	2
5 Exigences techniques	2
5.1 Exigences techniques de base	2
5.2 Caractéristiques électriques.....	3
5.3 Caractéristiques mécaniques.....	12
5.4 Exigences structurelles de base.....	14
5.5 Système de ventilation et de refroidissement.....	15
5.6 Système de freinage	15
5.7 Système d'extinction d'incendie	16
5.8 Système de détection.....	16
5.9 Système d'excitation	17
6 Portée de la commande d'équipements et de pièces de rechange	17
6.1 Composants requis	17
6.2 Pièces de rechange.....	17
7 Documents techniques.....	17
8 Inspection et acceptation.....	18
9 Plaque signalétique, emballage, transport et stockage.....	19
9.1 Plaque signalétique.....	19
9.2 Emballage, transport et stockage.....	19
10 Installation, utilisation et maintenance	20
10.1 Installation	20
10.2 Exploitation et entretien.....	20
11 Durée de la période garantie de qualité.....	21
Annexe A (Informatif) Pièces de rechange principales pour le générateur de turbine hydraulique	22
Annexe B (Informatif)Éléments d'inspection de la procédure d'acceptation des générateurs de turbine hydraulique.....	23

Avant-propos

L'ONUDI est un organisme spécialisé de l'Organisation des Nations Unies qui vise à promouvoir un développement industriel inclusif et durable à l'échelle mondiale. La pertinence du développement industriel inclusif et durable en tant qu'approche intégrée des trois piliers du développement durable (social, environnemental et économique) est reconnue par le Programme de développement durable à l'horizon 2030 et les objectifs de développement durable (ODD) correspondants, qui encadreront les efforts déployés par les Nations Unies et les pays en faveur d'un développement durable au cours des quinze prochaines années. Le mandat de l'ONUDI en ce qui concerne le développement industriel inclusif et durable répond à la nécessité d'appuyer la création de systèmes énergétiques durables, essentiels au développement économique et social et à l'amélioration de la qualité de vie. Les préoccupations internationales en matière d'énergie et les débats qu'elles suscitent ont pris de l'ampleur au cours des deux dernières décennies, les questions de la réduction de la pauvreté, des risques environnementaux et des changements climatiques occupant désormais le devant de la scène.

Le Centre International sur la Petite Hydraulique est une organisation internationale de coordination et de promotion du développement mondial de la petite hydroélectricité, qui s'appuie sur la participation volontaire de divers acteurs, notamment des points focaux régionaux, sous-régionaux et nationaux, ainsi que des institutions, des services publics et des entreprises, et dont l'objectif principal est le bénéfice social. Le Centre International sur la Petite Hydraulique s'emploie à promouvoir le développement mondial des petites centrales hydroélectriques en favorisant la coopération triangulaire, technique et économique, entre les pays en développement, les pays développés et les organisations internationales, en vue d'apporter aux zones rurales des pays en développement des solutions énergétiques adéquates, abordables et respectueuses de l'environnement ; ce qui leur permettra d'accroître les possibilités d'emploi, d'améliorer les conditions environnementales, de réduire la pauvreté, d'élever le niveau de vie des populations et les normes culturelles locales, et d'assurer le développement économique.

L'ONUDI et le Centre International sur la Petite Hydraulique collaborent à l'élaboration du Rapport mondial sur le développement des petites centrales hydroélectriques depuis 2010. D'après ce rapport, en l'état actuel, le développement de la petite hydroélectricité ne permet pas de répondre à la demande dans le monde. L'un des obstacles au développement, dans la plupart des pays, est le manque de technologies. L'ONUDI, en collaboration avec le Centre International sur la Petite Hydraulique et des experts issus de différents pays et organisations internationales, et sur la base d'expériences de développement réussies, a décidé d'établir les Directives techniques pour le développement de la petite hydroélectricité afin de répondre à la demande des États Membres.

Ces directives techniques ont été rédigés conformément aux règles éditoriales de la deuxième partie des Directives ISO/IEC, (voir www.iso.org/directives).

Nous appelons votre attention sur la possibilité que certains éléments de ces directives techniques soient soumis à des droits de brevet. L'ONUDI et le Centre International sur la Petite Hydraulique ne pourront être tenus responsables de l'identification de ces droits de brevet.

Introduction

La petite hydroélectricité est de plus en plus considérée comme une solution énergétique renouvelable essentielle pour répondre de manière adéquate au défi de l'électrification des zones rurales reculées. Toutefois, si la plupart des pays d'Europe, d'Amérique du Nord et du Sud, ainsi que la Chine, disposent d'une importante capacité installée, le potentiel de la petite hydroélectricité dans de nombreux pays en développement reste inexploité et son développement est souvent entravé par divers facteurs, notamment l'absence de bonnes pratiques et de normes de développement de petites centrales hydroélectriques acceptées à l'échelle mondiale.

Fondées sur l'expertise et les meilleures pratiques en usage dans le monde entier, ces Directives techniques pour le développement de la petite hydroélectricité permettront de remédier aux limites actuelles des réglementations régissant le développement des petites centrales hydroélectriques. L'objectif est que les pays utilisent ces directives convenues pour améliorer leurs politiques actuelles, ainsi que les technologies dont ils disposent et leurs écosystèmes. Les pays disposant de capacités institutionnelles et techniques limitées pourront améliorer leurs connaissances dans le domaine du développement de la petite hydroélectricité, attirant ainsi davantage d'investissements, tout en encourageant la mise en place de politiques favorables qui, à terme, contribueront à accélérer le développement économique au niveau national. Ces Directives techniques seront utiles à tous les pays, mais surtout elles faciliteront l'échange de données d'expérience et de meilleures pratiques entre les pays aux capacités techniques limitées.

Les Directives techniques peuvent servir de principes et de base pour la planification, la conception, la construction et la gestion des petites centrales hydroélectriques dont la capacité n'excède pas 30 MW.

- La section « Termes et définitions » des Directives techniques définit les termes techniques professionnels couramment employés dans le domaine des petites centrales hydroélectriques.
- La section « Conception » des Directives techniques fournit des lignes directrices sur les exigences fondamentales, la méthodologie et les modalités des différentes étapes du projet : sélection du site, hydrologie, géologie, élaboration du projet, configurations, calculs énergétiques, hydraulique, sélection des équipements électromécaniques, construction, estimation des coûts du projet, évaluation économique, financement, évaluations sociales et environnementales ; l'objectif étant de déployer les meilleures solutions de conception compte tenu de l'ensemble de ces aspects.
- La section « Unités » des Directives techniques précise les exigences techniques relatives aux turbines, aux générateurs, aux systèmes de régulation des turbines hydroélectriques, aux systèmes d'excitation, aux vannes principales et aux systèmes de surveillance, de contrôle, de protection et d'alimentation électrique en courant continu des petites centrales hydroélectriques.
- La section « Construction » des Directives techniques peut servir de document d'orientation technique pour la construction de petites centrales hydroélectriques.
- La section « Gestion » des Directives techniques fournit des orientations techniques pour la gestion, l'exploitation et l'entretien, la rénovation technique et l'acceptation des projets de petites centrales hydroélectriques.

Directives techniques pour le développement de la petite hydroélectricité-Unités

Partie 2 : Générateur de turbine hydraulique

1 Portée

Cette partie des directives relatives aux unités précise les exigences techniques générales ainsi que les exigences de base relatives aux équipements et aux pièces de rechange à fournir, aux documents techniques, à l'inspection et à l'acceptation, à l'emballage, au transport, au stockage, à l'installation, à l'exploitation et à la maintenance du turbo-alternateur synchrone à pôles saillants triphasés de 50 Hz ou 60 Hz d'une capacité nominale pouvant aller jusqu'à 12,5 MWA, connectés à une turbine.

2 Références normatives

Les documents suivants sont mentionnés dans le texte de telle sorte que tout ou partie de leur contenu constitue des exigences du présent document. Dans le cas des références datées, seule l'édition citée est valable. Dans le cas des références non datées, c'est la dernière édition du document visé (modifications comprises) qui est valable.

ISO 1680, *Acoustique-Code d'essai pour le mesurage du bruit aérien émis par les machines électriques tournantes*

IEC 60034-1, *Machines électriques tournantes-Caractéristiques assignées et caractéristiques de fonctionnement*

IEC 60034-2-1, *Méthodes normalisées pour la détermination des pertes et du rendement à partir d'essais*

IEC 60034-2A, *Mesure des pertes par la méthode calorimétrique*

IEC 60038, *Tensions normales de la CEI*

IEC 60050-411, *Vocabulaire électrotechnique - Partie 411 : Machines tournantes*

IEC-60085, *Classification des matériaux d'isolation électrique*

SHP/TG 001, *Directives techniques pour le développement de la petite hydroélectricité - Termes et définitions*

3 Termes et définitions

Aux fins du présent document, les termes et définitions figurant dans les documents IEC 60034-1, IEC 60050-411 et SHP/TG 001 s'appliquent.

4 Conditions de service

Le générateur doit être placé dans une usine protégée et doit pouvoir fonctionner en continu dans les conditions de service suivantes :

- a) Le générateur fonctionne idéalement à une altitude ne dépassant pas 1 000 mètres. Au-delà de cette altitude, les utilisateurs doivent discuter avec le fournisseur afin d'adapter le générateur à ces conditions, notamment en tenant compte de la réduction des propriétés diélectriques et de l'efficacité réduite du refroidissement par air ;
- b) La température de l'air utilisé pour refroidir le générateur ne doit pas dépasser 40 °C. Concernant les échangeurs de chaleur (comme le refroidisseur d'air et le refroidisseur d'huile du générateur), la température de l'eau entrante doit être maintenue entre 5 °C et 28 °C ;
- c) L'humidité relative dans l'usine où est installé le générateur ne doit pas dépasser 85 % ;
- d) Le générateur est conçu pour résister à des valeurs d'accélération sismiques spécifiques, qui varient en fonction de l'intensité sismique du lieu d'installation. Ces valeurs sont détaillées dans le tableau 1.

Tableau 1 Valeurs d'accélération de conception pour différentes intensités sismiques

Valeur d'accélération de conception	Intensités sismiques		
	7	8	9
Direction horizontale	0,2 g	0,25 g	0,4 g
Direction verticale	0,1 g	0,125 g	0,2 g

NOTE g est l'accélération gravitationnelle sur le site où le générateur est utilisé.

5 Exigences techniques

5.1 Exigences techniques de base

5.1.1 Capacité de sortie nominale

Le générateur doit pouvoir fournir sa capacité nominale dans les conditions suivantes :

- a) L'écart entre la tension réelle et la tension nominale du générateur ne doit pas excéder $\pm 5\%$, lorsque le générateur fonctionne à sa vitesse de rotation nominale et avec un facteur de puissance nominal ;

- b) De même, l'écart entre la fréquence réelle et la fréquence nominale ne doit pas dépasser $\pm 1\%$, lorsque le générateur fonctionne à sa tension nominale et avec un facteur de puissance nominal ;
- c) Dans les situations où la tension et la fréquence varient simultanément (les déviations ne dépassant pas $\pm 5\%$ et $\pm 1\%$ respectivement), les règles suivantes s'appliquent : si les écarts de tension et de fréquence sont tous deux positifs, leur somme ne doit pas dépasser 6% et si les écarts sont tous deux négatifs, ou si l'un est positif et l'autre négatif, la somme des valeurs absolues de ces écarts ne doit pas dépasser 5% . Le générateur doit être capable de fonctionner en continu, même lorsque les écarts de tension et de fréquence dépassent les limites susmentionnées. Dans de telles conditions, il est essentiel que le courant d'excitation ne dépasse pas la valeur nominale et que le courant du stator ne dépasse pas de plus de 105% sa valeur nominale.

5.1.2 Facteur de puissance nominale

Le générateur doit avoir un facteur de puissance nominal d'au moins 0,8 (en retard par rapport à la phase).

NOTE Si l'utilisateur a des besoins spécifiques, le facteur de puissance nominal peut être ajusté par voie de négociation entre le fournisseur et l'utilisateur.

5.1.3 Tension nominale

La tension nominale du générateur doit être déterminée conjointement par l'utilisateur et le fournisseur, et doit être conforme aux dispositions de la norme IEC 60038. Il est conseillé de choisir parmi les valeurs de tension standard suivantes (exprimées en kilovolts, kV) : 0,4, 0,48, 0,69, 3,15, 3,3, 4,16, 6,3, 10,5 et 11.

5.1.4 Vitesse de rotation nominale

La vitesse de rotation nominale du générateur doit être sélectionnée de préférence parmi les valeurs du tableau 2 :

Tableau 2 Vitesses de rotation nominales des générateurs de turbines hydrauliques Unité : tours par minute (tr/min)

50 Hz	60 Hz
1 500, 1 000, 750, 600, 500, 428,6, 375, 333,3, 300, 250, 214,3, 200, 187,5, 166,7, 150, 142,9, 136,4, 125, 115,4, 107,1, 100, 93,8, 88,2, 83,3, 75	1 200, 900, 720, 600, 514,3, 450, 400, 360, 300, 257,2, 240, 225, 200, 180, 171,5, 163,7, 150, 138,5, 128,5, 120, 112,6, 105,8, 100, 90

5.2 Caractéristiques électriques

5.2.1 Capacité

5.2.1.1 Le générateur peut augmenter sa puissance active jusqu'à atteindre sa capacité nominale (puissance apparente) en améliorant le facteur de puissance. Si l'utilisateur a des besoins spécifiques, la capacité maximale du générateur peut être établie. Dans ce cas, plusieurs paramètres doivent être déterminés par voie de négociation entre le fournisseur et l'utilisateur, notamment le facteur de puissance, les valeurs des paramètres électriques, la limite de montée en température acceptable et les performances du générateur en fonctionnement continu.

5.2.1.2 Le générateur doit être capable de fonctionner de manière continue et à long terme en phase avancée et en phase retardée. La capacité admissible du générateur en phase avancée et retardée, ainsi que l'étendue de son champ opérationnel et la capacité de charge acceptable pour une ligne électrique sans charge, doivent être fixées par voie de négociation entre le fournisseur et l'utilisateur.

5.2.2 Efficacité et pertes

5.2.2.1 Rendement nominal

La valeur garantie du rendement nominal du générateur doit être clairement définie dans le contrat de commande. Ce rendement est mesuré lorsque le générateur fonctionne à sa capacité nominale, avec sa tension nominale, son facteur de puissance nominal et sa vitesse de rotation nominale.

Le rendement nominal du générateur doit être le suivant :

- a) Pour les générateurs ayant une capacité nominale comprise entre 0,6 MVA et 1,25 MVA, l'efficacité attendue varie entre 90 % et 95 % ;
- b) Les générateurs dont la capacité nominale dépasse 1,25 MVA à 2,5 MVA, doivent avoir une efficacité comprise entre 90 % et 96 % ;
- c) Les générateurs dont la capacité nominale dépasse 2,5 MVA à 6,25 MVA doivent avoir une efficacité de 92 % à 96,5 % ;
- d) Les générateurs dont la capacité nominale excède 6,25 MVA à 12,5 MVA devraient avoir une efficacité de 93 % à 97 %.

5.2.2.2 Efficacité moyenne pondérée

L'efficacité moyenne pondérée est calculée comme la moyenne des efficacités du générateur dans différentes conditions de fonctionnement, comprenant la tension nominale, la vitesse de rotation nominale et le facteur de puissance spécifié, ainsi que différents niveaux de capacité. La valeur garantie de cette efficacité moyenne pondérée doit être clairement définie dans le contrat signé entre le fournisseur et l'utilisateur.

L'efficacité moyenne pondérée du générateur peut être calculée à l'aide de la formule (1). Le coefficient de pondération doit être fourni par l'utilisateur.

$$\eta = A\eta_1 + B\eta_2 + C\eta_3 \quad \dots\dots\dots(1)$$

où

A, B et C..... sont les coefficients de pondération attribués à différentes conditions de capacité et de facteur de puissance, et $A + B + C + \dots = 1$;

η_1, η_2 et $\eta_3 \dots$ représentent les valeurs d'efficacité du générateur sous différentes combinaisons de facteur de puissance, de capacité et de coefficients de pondération.

5.2.2.3 Pertes

5.2.2.3.1 Les pertes et l'efficacité du générateur doivent être mesurées en utilisant l'une des trois méthodes suivantes : la méthode directe, la méthode indirecte ou la méthode calorimétrique. Les types de pertes comprennent :

- a) Perte de cuivre du bobinage du stator ;
- b) Perte de cuivre du bobinage du rotor ;
- c) Perte de noyau ;
- d) Pertes dues au vent et à la friction ;
- e) Perte du palier de guidage ;
- f) Perte du palier de butée (uniquement celles attribuées à la partie rotative du générateur) ;
- g) Perte parasite ;
- h) Perte du système d'excitation ;
- i) Pertes électriques et par friction des balais ;
- j) Autres pertes.

5.2.2.3.2 Pour déterminer la valeur de perte I^2R des bobinages, il est nécessaire de convertir la résistance continue des bobinages en valeurs correspondant à la température de travail de référence. Cette température doit être en accord avec la classe d'isolation indiquée sur la plaque signalétique du générateur. Si la température nominale ou l'élévation de température spécifiée est inférieure à la classification thermique de la structure d'isolation, la température de travail de référence doit être ajustée selon la classification thermique inférieure, comme indiqué dans le tableau 3.

Tableau 3 Températures de travail de référence selon différentes classifications thermiques de l'isolation du générateur de la turbine hydraulique

Classification thermique de la structure d'isolation	Température de travail de référence °C
130(B)	95
155(F)	115
180(H)	130

5.2.3 Paramètres électriques et constante de temps

Les paramètres électriques tels que la réactance synchrone, la réactance transitoire, la réactance ultra-transitoire, le rapport de court-circuit et la constante de temps du générateur doivent être conformes aux besoins opérationnels du système électrique. Ces paramètres doivent être clairement définis dans le contrat de commande signé entre le fournisseur et l'utilisateur.

5.2.4 Facteur de distorsion harmonique totale

Lorsque le générateur fonctionne normalement (c'est-à-dire lorsque le bobinage du stator sont connectés selon la méthode standard), le facteur de distorsion harmonique total de la tension de ligne ne doit pas dépasser 5 %. Cette limite s'applique lorsque le générateur fonctionne à sa tension nominale à vide et à sa vitesse de rotation nominale.

5.2.5 Élévation de la température des composants comme le bobinage et le noyau du stator

Le générateur doit être capable de fonctionner en continu sur le long terme, dans des conditions de service et dans les conditions de travail nominales définies au point 4. La montée en température des bobinages du stator et du rotor, ainsi que celle du noyau du stator, doit être conforme aux limites définies dans le tableau 4. Le stator et le rotor doivent utiliser un matériau isolant dont la classification de température est de 130 (B) ou plus.

Tableau 4 Valeur limite admissible de l'élévation de température des bobinages du stator et du rotor et du noyau du stator du générateur de turbine hydraulique

Composants du générateur de turbine hydraulique	Valeur limite maximale admissible de l'élévation de température pour les matériaux isolants de différents niveaux (K)					
	130(B)			155(F)		
	Méthode du thermomètre Th	Méthode de résistance R	Méthode du détecteur de température intégré ETD	Méthode du thermomètre Th	Méthode de résistance R	Méthode du détecteur de température intégré ETD
Bobinage du stator	—	80	85	—	100	105
Noyau du stator	—	—	85	—	—	105
Bobinage du rotor à deux couches ou plus	—	80	—	—	100	—
Bobinage du rotor à couche unique avec surface exposée	—	90	—	—	110	—
Anneau collecteur	75	—	—	85	—	—

5.2.6 Ajustement de la limite maximale d'élévation de température d'un générateur pour des conditions de fonctionnement et des caractéristiques non standard

5.2.6.1 Lorsque le générateur est utilisé entre 1 000 mètres et 4 000 mètres d'altitude et que la température maximale de l'air ambiant ne dépasse pas 40 °C, il n'est pas nécessaire de corriger la valeur limite de l'élévation de température. Si le générateur est utilisé à une altitude supérieure à 4 000 mètres, les ajustements nécessaires devraient être déterminés par voie de négociation entre le fournisseur et l'utilisateur.

5.2.6.2 Lorsque le générateur est utilisé à une altitude ne dépassant pas 1 000 mètres et que la température de l'air ambiant ou de l'air de refroidissement diffère de 40 °C, des ajustements de la valeur limite de l'élévation de température spécifiée dans le tableau 4 peuvent être nécessaires. Ces ajustements s'appliquent uniquement aux mesures effectuées avec la méthode du détecteur de température intégré (ETD) :

- a) Si la température de l'air de refroidissement est inférieure à 40 °C, la limite d'élévation de température doit être augmentée de la différence entre la température réelle et 40 °C ;
- b) Si la température de l'air de refroidissement est supérieure à 40 °C mais inférieure à 60 °C, la limite d'élévation de température doit être réduite en fonction de la différence de température au-dessus de 40 °C ;
- c) Si la température de l'air de refroidissement dépasse 60 °C, la réduction de la limite d'élévation de température doit être négociée entre le fournisseur et l'utilisateur.

5.2.6.3 Si un générateur est démarré et arrêté trois fois ou plus chaque jour, il est recommandé de considérer une réduction de la valeur limite de l'élévation de température (indiquée dans le tableau 4) de 5 à 10 Kelvin (K).

5.2.7 Température des paliers

Dans des conditions normales de fonctionnement, la température maximale des paliers du générateur doit être mesurée en utilisant la méthode du détecteur de température intégré et ne doit pas dépasser les valeurs indiquées dans le tableau 5.

Tableau 5 Valeurs admissibles de l'élévation de température pour les paliers du générateur de turbine hydraulique

Composants du générateur de turbine hydraulique	Valeur maximale ad d'élévation de température °C
Bague de palier en babbitt du palier de butée	75
Bague de palier en babbitt du palier de guidage	70
Corps de bague de palier en plastique du palier de butée	55
Corps de bague de palier en plastique du palier de guidage	55
Bague de palier en babbitt du palier à manchon de type berceau	80
Palier à roulement	95 (mesuré avec la méthode du thermomètre)

5.2.8 Exigences opérationnelles spéciales

5.2.8.1 Le générateur est conçu pour tolérer des surintensités pendant une courte période en cas de conditions accidentelles. Les multiples admissibles de la surintensité dans le bobinage du stator ainsi que la durée pendant laquelle cette surintensité peut être maintenue doivent être déterminés en se référant au tableau 6. Toutefois, l'occurrence de surintensités atteignant la durée admissible indiquée dans le tableau 6 ne devrait pas excéder deux fois par an en moyenne.

Tableau 6 Relation entre les multiples admissibles de la surintensité du bobinage du stator et la durée admissible du générateur de turbine hydraulique

Multiples admissibles de la surintensité du stator (courant du stator/courant nominal du stator)	Durée admissible en minutes.
1,10	60
1,15	15
1,20	6
1,25	5
1,30	4
1,40	3
1,50	2

NOTE Pour les générateurs conçus pour fonctionner en surcharge (comme mentionné au point 5.2.1.1), les limites spécifiques de surintensité et la durée de tolérance pour le bobinage du stator doivent être définies par voie de négociation entre le fournisseur et l'utilisateur.

5.2.8.2 Le bobinage du rotor du générateur doit être capable de supporter un courant d'excitation équivalent à deux fois le courant nominal pendant au moins 50 secondes.

5.2.8.3 Lorsque le générateur fonctionne dans un système électrique asymétrique, il doit être capable de fonctionner de manière continue à long terme si deux conditions sont remplies : aucune des phases du générateur ne doit dépasser le courant nominal (I_N) et la composante de courant de séquence négative (I_2) par rapport au courant nominal ne doit pas excéder 12 % de sa valeur nominale.

5.2.8.4 En cas de dysfonctionnement entraînant un fonctionnement asymétrique de courte durée du générateur, le produit du carré du rapport de la composante de courant de séquence négative par rapport au courant nominal et de la durée admissible de ce fonctionnement asymétrique (t en secondes) ne doit pas dépasser 40 secondes. Cela est représenté par la formule $(I_2/I_N)^2 \times t = 40$ s.

5.2.9 Connexion au système électrique par synchronisation

Le générateur doit être connecté au système électrique par quasi-synchronisation.

5.2.10 Ligne principale sortante, ligne neutre sortante et séquence des phases

5.2.10.1 Ligne principale sortante et ligne neutre sortante

Le générateur doit avoir soit 3, soit 6 lignes sortantes principales issues du bobinage du stator. La direction et la disposition des lignes sortantes du bobinage du stator, ainsi que la manière dont les lignes neutres sortantes sont configurées, doivent être décidées par voie de négociation entre le fournisseur et l'utilisateur.

5.2.10.2 Séquence des phases

L'agencement de la séquence des phases de la borne sortante du générateur doit être le suivant : Lorsque l'on observe les bornes sortantes du générateur, la séquence des phases doit être U, V et W, disposées horizontalement de gauche à droite. Si un arrangement différent de la séquence des phases est nécessaire, cela doit également être déterminé par voie de négociation entre le fournisseur et l'utilisateur.

5.2.11 Propriétés isolantes et test de tenue en tension 5.2.11.1 Propriétés isolantes

5.2.11.1.1 La résistance d'isolation entre le bobinage du stator du générateur et son enveloppe (ou entre les bobinages) ne doit pas être inférieure à une certaine valeur déterminée par la formule (2), qui calcule la résistance d'isolation à chaud du bobinage à une température de 100 °C :

$$R = \frac{U_N}{1\ 000 + 0.01 S_N} \dots\dots\dots(2)$$

où

R est la résistance d'isolation calculée à 100 °C, en mégohms (MΩ) ;

U_N est la tension nominale de ligne du générateur, exprimée en volts (V) ;

S_N est la capacité nominale du générateur, en kilovoltampères (kVA).

Si le générateur est sec et propre, la résistance d'isolation réelle *R_t*(MΩ) du bobinage du stator à la température ambiante (*t* en °C) peut être ajustée selon la formule(3) :

$$R_t = R \times 1.6^{(100-t)/10} \dots\dots\dots(3)$$

5.2.11.1.2 Lorsque le rotor est testé avec un mégohmmètre de 500 V ou 1 000 V, dans des conditions de température ambiante comprise entre 10 °C et 40 °C, sa valeur de résistance d'isolation doit être conforme à certaines normes. Avant et après la suspension du pôle magnétique, elle ne doit pas être inférieure à 5 mégohms (MΩ). Après la suspension du pôle magnétique, la résistance d'isolation du bobinage complet du rotor ne doit pas être inférieure à 0,5 MΩ.

5.2.11.1.3 Lorsque le bobinage du stator du générateur est mesuré dans un état froid, la différence de résistance continue entre les différentes branches du stator ne doit pas excéder 2 % de la valeur minimale. Cette évaluation est effectuée après avoir corrigé les erreurs qui pourraient être dues aux différentes longueurs des fils de connexion.

5.2.11.1.4 Le coefficient de polarisation (R_{10}/R_1) du bobinage du stator ne doit pas être inférieur à 2,0. Ce coefficient ne sera pas évalué si la tension nominale du générateur est de 2,5 kV ou moins.

NOTE R_{10} et R_1 sont les valeurs de résistance d'isolation mesurées respectivement après 10 minutes et 1 minute, dans des conditions de température inférieure à 40 °C.

5.2.11.1.5 La tangente de l'angle de perte diélectrique du milieu en état normal du bobinage du stator et la valeur limite de son augmentation doivent être conformes aux valeurs indiquées dans le tableau 7 (cette mesure ne sera pas évaluée si la tension nominale est de 2,5 kV ou moins).

Tableau 7 Tangente de l'angle de perte diélectrique du milieu en état normal du générateur de turbine hydraulique et valeur limite de son augmentation

Tension d'essai	$0,2U_N$	$0,2U_N—0,6U_N$
Tangente de l'angle de perte diélectrique du milieu et son augmentation	$\tan\delta$	$\Delta\tan\delta = \tan\delta_{0,6U_N} - \tan\delta_{0,2U_N}$
Valeur de l'indice (%)	≤ 3	≤ 1
NOTE U_N est la tension nominale de ligne du générateur, exprimée en kilovolts (kV). Une inspection occasionnelle doit être réalisée pour 3 % des générateurs. Si une inspection occasionnelle échoue, la fréquence de ces inspections doit être doublée.		

5.2.11.1.6 Les valeurs de résistance d'isolation pour les paliers de butée, les paliers de guidage, les paliers à manchon de type berceau et les détecteurs de température intégrés (lorsque ces composants nécessitent une isolation à la terre) doivent être mesurées à des températures comprises entre 10 °C et 30 °C. Ces mesures doivent être conformes aux valeurs spécifiées dans le tableau 8.

Tableau 8 Valeurs de résistance d'isolation des différents composants du générateur de la turbine hydraulique

Composants du palier	Résistance d'isolation MΩ	Tension du mégohmmètre V	Remarque
Palier de butée	1	1 000	Il faut installer un thermomètre dans le palier de butée et dans le palier de guidage et effectuer la mesure avant d'injecter l'huile de lubrification.
Bague de palier de guidage de type séparé	5		
Palier à manchon de type berceau	1		Il faut mesurer la résistance d'isolation à la terre du socle de palier.
Détecteur de température intégré	5	250	

5.2.11.2 Tests de tenue en tension

5.2.11.2.1 Avant de réaliser un test de tenue en tension alternatif sur un générateur avec une tension nominale de 6,3 kV ou plus, il faut mesurer la tenue en tension continue et les fuites du bobinage du stator en utilisant une tension de test équivalente à trois fois la tension nominale. La tension d'essai doit être augmentée de manière stable par paliers, chaque palier correspondant à 0,5 fois la tension nominale, et chaque palier devant durer une minute. Le

courant de fuite ne doit pas augmenter avec le temps, et la différence entre les courants de fuite des différentes phases ne doit pas excéder 50 % de la valeur minimale.

5.2.11.2.2 La valeur de la tension de claquage à la fréquence du réseau pour l'isolation du bobinage du stator doit être de 5,5 à 6 fois la tension nominale et doit être confirmée par un test d'échantillonnage.

5.2.11.2.3 Les bobinages du stator et du rotor doivent résister à un test de tenue en tension alternatif à la fréquence du réseau spécifiée dans le tableau 9 (avec une forme d'onde sinusoïdale réelle) pendant une durée d'une minute, sans que l'isolation ne soit perforée.

Tableau 9 Norme pour le test de tenue diélectrique du bobinage du générateur de turbine hydraulique

Test du bobinage ou de la bobine		Tension d'essai, kV		Remarque
		$U_N < 6,3$	$6,3 \leq U_N \leq 13,8$	
Bobinage du stator	a) Produit de bobine finie	$2,75U_N + 4,5$	$2,75U_N + 6,5$	
	b) Après assemblage des cales de fente hors ligne	$2,5U_N + 2,5$	$2,5U_N + 2,5$	
	c) À l'achèvement de l'assemblage du stator	$2,25U_N + 2,0$	$2,25U_N + 2,0$	
	d) Stator après la guérison de la peinture par immersion	$2,0U_N + 2,0$	$2,0U_N + 2,0$	Immersion totale
	e) À l'achèvement de l'assemblage final du générateur	$2,0U_N + 1,0$	$2,0U_N + 1,0$	
Bobinage du rotor	a) À l'achèvement de l'assemblage du rotor	10 fois la tension d'excitation nominale +0,5 (le minimum est de 2,0 kV)		
	b) À l'achèvement de l'assemblage final du générateur	10 fois la tension d'excitation nominale +0,5 (le minimum est de 1,5 kV)		
<p>NOTE 1 U_N fait référence à la tension nominale du générateur (kV) ;</p> <p>NOTE 2 Le bobinage du stator non traité par immersion totale n'est pas soumis à l'essai spécifié dans le point d), tandis que le bobinage traité par immersion totale est testé à partir de ce point ;</p> <p>NOTE 3 Pour que le stator et le rotor soient acceptés sur site, la tension d'essai en courant alternatif de leur bobinage doit être de 0,8 fois la valeur de la tension d'essai utilisée à l'achèvement de l'assemblage final du générateur.</p>				

5.2.11.2.4 Pour les générateurs avec une tension nominale de 6,3 kV et plus, la bobine individuelle de leur stator ne doit pas présenter de phénomène de couronne à 1,5 fois la tension nominale, lorsque l'altitude du lieu de service est de 1 000 mètres ou moins. De plus, lors du test de résistance diélectrique d'une machine complète, les bornes ne doivent montrer aucun point lumineux doré évident ni bande de couronne continue à 1,05 fois la tension nominale. Lorsque l'altitude est supérieure à 1 000 m, la valeur d'essai de la tension d'amorçage de l'effet couronne doit être la suivante :

- a) La tension d'initiation de la couronne du bobinage du stator ne doit pas être inférieure à une valeur calculée selon la formule (4) :

$$U_{BS} = 1.5U_N \frac{1 - KH_s}{1 - KH_A} \dots\dots\dots(4)$$

où

U_{BS} est la tension d'initiation de la couronne du bobinage du stator, en kV ;

U_N est la tension nominale de ligne du générateur, en kV ;

K est le taux de diminution de la tension d'initiation de la couronne avec l'augmentation de l'altitude, K prend 0,1, en km^{-1} ;

H_s est l'altitude du lieu de test du moteur, en km ;

H_A est l'altitude du lieu d'installation du moteur, en km.

b) La tension d'initiation de la couronne pour le générateur complet doit également répondre à une valeur minimale, calculée selon la formule (5) :

$$U_{JS} = 1.3U_\phi \frac{1 - KH_s}{1 - KH_A} \dots\dots\dots(5)$$

où

U_{JS} est la tension d'initiation de la couronne du générateur, en kV ;

U_ϕ est la tension nominale de phase du générateur, en kV.

5.3 Caractéristiques mécaniques

5.3.1 Le sens de rotation du générateur doit être considéré comme horaire lorsqu'on le regarde depuis l'extrémité non motrice. Si des spécifications différentes sont nécessaires en ce qui concerne la direction de rotation, elles doivent être clairement énoncées dans le contrat de commande signé entre le fournisseur et l'utilisateur.

5.3.2 La valeur du moment d'inertie (GD^2) du générateur doit répondre aux exigences de calcul de la garantie de régulation et être techniquement et économiquement raisonnable pour la centrale hydroélectrique. Si la valeur de GD^2 ne peut pas satisfaire aux exigences de la centrale, une négociation entre le fournisseur et l'utilisateur est nécessaire pour déterminer une valeur appropriée.

5.3.3 Le générateur et toute machine auxiliaire directement connectée doivent pouvoir fonctionner pendant 5 minutes à leur vitesse maximale de fuite sans subir de déformations ni de dommages préjudiciables.

5.3.4 Les composants du générateur doivent résister à un court-circuit triphasé soudain de 3 secondes à la vitesse de rotation nominale et sous une tension à vide de 105 % de la tension nominale, tout en restant dans des conditions d'excitation stables, sans subir de déformation ou de dommage préjudiciable. Le générateur doit également pouvoir supporter un défaut de court-circuit de 20 secondes à la capacité nominale, au facteur de puissance nominal et à

105 % de la tension nominale, tout en restant dans des conditions d'excitation stables, sans subir de déformation ou de dommage préjudiciable.

5.3.5 La structure du générateur doit être suffisamment robuste pour supporter les forces générées par la traction magnétique déséquilibrée lors d'un court-circuit affectant la moitié des pôles magnétiques du rotor, sans subir de déformation ou de dommage préjudiciable.

5.3.6 Après l'assemblage du stator et du rotor du générateur, l'écart entre leurs rayons respectifs (rayon intérieur du stator et rayon extérieur du rotor) et le rayon de conception ne doit pas excéder ± 4 % de la valeur de l'espace d'air de conception. La différence entre la valeur maximale ou minimale de l'espace d'air entre le stator et le rotor et sa valeur moyenne ne doit pas dépasser ± 8 % de cette valeur moyenne.

5.3.7 La double amplitude admissible des vibrations du générateur doit être conforme aux valeurs spécifiées dans le tableau 10.

Tableau 10 Valeurs limites admissibles de vibration des différents composants du générateur de turbine hydraulique

Unité : mm

Type d'unité de générateur de turbine hydraulique	Éléments	Vitesse de rotation nominale n_N (tr/min)				
		$n_N < 100$	$100 \leq n_N < 250$	$250 \leq n_N < 375$	$375 \leq n_N \leq 750$	$750 < n_N$
Type vertical	Vibration verticale du support avec palier de butée	0,08	0,07	0,05	0,04	0,03
Type vertical	Vibration horizontale du support avec palier de guidage	0,11	0,09	0,07	0,05	0,04
Type horizontal	Vibration verticale des paliers à diverses positions	0,11	0,09	0,07	0,05	0,04

NOTE La valeur de vibration se réfère à la double amplitude de l'unité de générateur de turbine hydraulique dans toutes sortes de conditions de fonctionnement stables, à l'exception des situations de survitesse.

5.3.8 Le niveau de bruit du générateur de turbine hydraulique ne doit pas dépasser celui spécifié dans le tableau 11.

Tableau 11 Niveau de bruit du générateur de turbine hydraulique

Mode unité	Position de mesure	Vitesse nominale n_N (tr/min)		
		$n_N \leq 250$	$250 < n_N < 750$	$n_N \geq 750$
Unité verticale	Distance verticale de 1 m au-dessus du bord externe du couvercle supérieur	80 dB(A)	85 dB(A)	90 dB(A)
Unité horizontale	À 1 m de distance de l'unité à l'extrémité non-transmission	80 dB(A)	85 dB(A)	90 dB(A)

5.3.9 Une fois le générateur et la turbine assemblés, la première vitesse critique de la partie rotative du groupe turbo-alternateur hydraulique ne doit pas être inférieure à 120 % de la vitesse maximale de fuite.

5.3.10 La déflexion verticale du cadre porteur du générateur ne doit pas excéder 1,5 millimètres lorsqu'il est soumis à la charge axiale maximale.

5.4 Exigences structurelles de base

5.4.1 Le style structurel du générateur doit être choisi après une analyse technique et économique. Cette analyse prendra en compte plusieurs facteurs, dont le type de turbine, la vitesse de rotation du groupe turbo-alternateur hydraulique, la capacité nominale, le type de centrale électrique et la stabilité opérationnelle de l'unité.

5.4.2 La connexion entre le générateur et l'extrémité motrice doit utiliser une structure d'entraînement coaxiale, qui peut être soit rigide, soit flexible. Toutefois, les structures d'entraînement par courroie ne sont pas recommandées. Si une structure d'entraînement par courroie est nécessaire, cela doit être décidé par voie de négociation entre le fournisseur et l'utilisateur.

5.4.3 Les générateurs conçus avec des paliers à roulement ne doivent pas supporter de poussée axiale. Si un générateur doit supporter une poussée axiale, la valeur de cette charge doit être déterminée par voie de négociation entre le fournisseur et l'utilisateur.

5.4.4 Les générateurs à palier glissant doivent utiliser des paliers à auto-circulation. Sauf pour les unités de générateurs de turbine tubulaire à extension d'arbre, il est préférable d'avoir une structure avec deux points de support.

5.4.5 Les rotors des générateurs dont la capacité nominale est supérieure à 1 MVA doivent être équipés d'un bobinage d'amortissement ou d'une structure similaire. Les rotors des générateurs de 1 MVA ou moins ne sont généralement pas équipés d'un bobinage d'amortissement, sauf si nécessaire. Dans ce cas, la décision doit être prise par voie de négociation entre le fournisseur et l'utilisateur.

5.4.6 La structure des générateurs verticaux doit faciliter la maintenance et les travaux de révision. Si possible, le générateur devrait être conçu de manière à ce que son bâti inférieur et les composants amovibles de la turbine hydraulique puissent passer à travers le diamètre intérieur du noyau du stator. Cela permettra d'effectuer l'installation et la révision sans avoir à retirer le stator.

5.4.7 Pour les groupes turbo-alternateurs équipés de paliers de butée et de guidage avec des bagues en alliage, le générateur peut être démarré lorsque la température de l'huile dans la rainure d'huile est d'au moins 10 °C. De plus, le générateur peut être redémarré immédiatement après son arrêt. Pour les unités équipées de paliers de butée et de guidage avec des bagues en métal plastique élastique, le générateur peut être démarré lorsque la température de l'huile dans la rainure d'huile est d'au moins 5 °C. Comme pour les bagues en alliage, le redémarrage immédiat après l'arrêt est également possible.

5.4.8 Si un générateur nécessite l'installation d'un système de déshumidification par chauffage électrique, cette exigence doit être déterminée par voie de négociation entre le fournisseur et l'utilisateur.

5.5 Système de ventilation et de refroidissement

5.5.1 Le générateur peut employer les systèmes de ventilation et de refroidissement suivants :

- a) Système de ventilation et de refroidissement de type ouvert autonome : ce système est généralement adapté aux générateurs ayant une capacité nominale de 1 MVA ou moins ;
- b) Système de ventilation et de refroidissement basé sur des conduits : ce système est généralement adapté aux générateurs d'une capacité nominale supérieure à 1 MVA mais inférieure à 4 MVA ;
- c) Système de ventilation et de refroidissement à circulation fermée : ce système est généralement utilisé pour les générateurs dont la capacité nominale est supérieure à 4 MVA.

5.5.2 La pression de l'eau de refroidissement dans le refroidisseur d'air est généralement comprise entre 0,15 MPa et 0,3 MPa. La pression de travail peut être ajustée en fonction des conditions réelles et doit être confirmée par voie de négociation entre le fournisseur et l'utilisateur. La pression d'essai du refroidisseur d'eau doit être 1,5 fois la pression de travail (avec une pression minimale de 0,4 MPa), et l'essai doit durer 60 minutes.

5.6 Système de freinage

5.6.1 Les générateurs équipés de paliers à roulement ne seront pas pourvus de dispositifs de freinage.

5.6.2 Les générateurs verticaux à palier glissant doivent être équipés de dispositifs de freinage. Les générateurs verticaux à palier glissant ayant une capacité nominale supérieure à 1 MVA doivent être équipés d'un ensemble de dispositifs de freinage mécaniques, actionnés par air comprimé ou huile sous pression. Le système de freinage doit pouvoir soulever la partie rotative du générateur avec de l'huile hydraulique et se verrouiller de manière fiable.

5.6.3 Pour les générateurs horizontaux à palier glissant nécessitant un dispositif de freinage, la décision d'installer ou non un tel dispositif doit être prise par voie de négociation entre le fournisseur et l'utilisateur.

5.6.4 Pour les générateurs équipés de freins mécaniques, de l'air comprimé à une pression de 0,5 MPa à 0,7 MPa peut être utilisé. Autrement, de l'huile sous pression peut servir de moyen de freinage. Le système de freinage mécanique doit être capable d'appliquer un freinage continu et d'arrêter la partie rotative de l'unité de générateur de turbine hydraulique lorsqu'elle fonctionne à une vitesse de 20 à 30 % de sa vitesse de rotation nominale. Pour les générateurs équipés de bagues de palier en plastique, cette capacité doit être effective à des vitesses de 10 à 20 % de la vitesse nominale. L'arrêt doit se faire dans un temps spécifié. Si le couple de rotation généré par le groupe turbo-alternateur à cause d'une fuite d'eau de l'aube directrice de la turbine est inférieur ou égal à 1 % du couple de rotation nominal de la turbine, le système de freinage mécanique doit s'activer pour freiner et arrêter l'unité.

5.7 Système d'extinction d'incendie

La mise en place du système d'extinction d'incendie doit répondre aux exigences suivantes :

- a) Pour les générateurs ayant une capacité nominale de 12,5 MVA, il est recommandé d'équiper la tête de bobinage du stator d'un appareil d'extinction d'incendie à eau.
- b) Les générateurs d'une capacité nominale inférieure à 12,5 MVA peuvent ne pas être équipés d'un appareil d'extinction d'incendie ;
- c) La mise en place du système d'extinction d'incendie pour un générateur doit se faire conformément à la norme de lutte contre l'incendie du pays où le générateur est installé.

5.8 Système de détection

5.8.1 Un dispositif de mesure de la vitesse de pression résiduelle doit être installé dans le générateur. Si d'autres méthodes de mesure de la vitesse sont envisagées, elles doivent être approuvées par le fournisseur et l'acheteur.

5.8.2 Pour surveiller la température du bobinage et du noyau du stator, il est recommandé d'incorporer des thermomètres à résistance électrique dans la rainure du stator :

- a) Aucun thermomètre n'est requis pour les générateurs de 1 MVA ou moins ;
- b) Six thermomètres sont recommandés pour les générateurs dont la capacité nominale est supérieure à 1 MVA mais inférieure à 12,5 MVA.

5.8.3 Pour mesurer la température des paliers de butée et de guidage, il est nécessaire d'incorporer au moins les quantités suivantes de thermomètres à résistance électrique (thermomètres de signalisation) :

- a) Dans les générateurs dont la capacité nominale est supérieure à 1 MVA, il faut incorporer quatre thermomètres dans la bague de palier de butée, deux thermomètres dans la bague de palier de guidage, un thermomètre dans la rainure d'huile du palier de butée et un dans celle du palier de guidage ;
- b) Dans les générateurs de 1 MVA ou moins, un thermomètre doit être placé dans la rainure d'huile des paliers de butée et de guidage afin de mesurer la température de l'huile chaude dans ces rainures. Si l'installation de thermomètres à résistance électrique (thermomètres de signalisation) est nécessaire dans les paliers de butée et de guidage, cette décision doit être prise par voie de négociation entre le fournisseur et l'utilisateur ;
- c) Dans les générateurs horizontaux, au moins un thermomètre doit être incorporé dans le palier à manchon de type berceau. Si ce palier est équipé d'un palier de butée, un thermomètre supplémentaire doit être incorporé dans la bague de ce palier.

5.8.4 Chaque refroidisseur d'air doit être équipé d'un thermomètre à résistance électrique qui mesurera la température de l'air frais. Dans les générateurs équipés de deux refroidisseurs d'air, chaque refroidisseur doit avoir un thermomètre pour mesurer la température de l'air chaud. Si le générateur a deux refroidisseurs d'air ou moins, un seul thermomètre pour la température de l'air chaud est requis. Les thermomètres utilisés doivent être facilement remplaçables.

5.8.5 La configuration du système de détection automatique sur le générateur doit être déterminée par voie de négociation entre le fournisseur et l'utilisateur. Cela peut inclure divers types de détecteurs comme ceux pour le niveau de liquide, le flux d'eau de refroidissement, la présence d'eau dans l'huile, la pression, ainsi que pour le chauffage, le séchage et la déshumidification.

Le type et les exigences de performance de chaque système et appareil de détection automatique, ainsi que la configuration de l'interface du système de surveillance informatique, doivent être déterminés par voie de négociation entre le fournisseur et l'utilisateur. L'interface de communication doit être pourvue d'un RS-485.

5.9 Système d'excitation

Le générateur doit être équipé d'un système d'excitation à thyristor de rectification en auto-dérivation. Si d'autres méthodes d'excitation sont envisagées, elles doivent être approuvées par le fournisseur et l'acheteur.

6 Portée de la commande d'équipements et de pièces de rechange

6.1 Composants requis

6.1.1 Générateur et accessoires

6.1.2 L'offre concernant le système d'excitation complet doit être déterminée par voie de négociation entre le fournisseur et l'utilisateur.

6.1.3 Outils dédiés et outils spéciaux nécessaires pour l'installation et la révision du générateur

6.2 Pièces de rechange

6.2.1 Les articles et la quantité des pièces de rechange principales pour le générateur doivent être conformes aux dispositions de l'annexe A.

6.2.2 Toute autre pièce de rechange doit être déterminée par voie de négociation entre le fournisseur et l'utilisateur.

7 Documents techniques

Le fournisseur doit fournir à l'utilisateur les documents techniques suivants :

- a) Plan d'agencement, dessin de fondation et schéma des pièces encastrées du générateur ;
- b) Dessin d'assemblage général du générateur, dessins des divers composants du générateur, dimensions et agencement du refroidisseur d'air, et schémas pour le levage du rotor, l'installation et le retrait du bloc de butée, et la mise en barre de l'unité ;
- c) Détails sur les principaux paramètres électriques du générateur, dimensions et poids des principaux composants ;
- d) Courbes de caractéristiques à vide, de court-circuit et de rendement du générateur ;
- e) Schémas et plans de l'agencement du système de freinage, des conduites d'huile, d'eau et d'air du générateur, et schéma détaillé pour la connexion auxiliaire du générateur ;
- f) Instructions d'installation, d'utilisation et de maintenance, rapport d'inspection de livraison et détails de la livraison du générateur.

8 Inspection et acceptation

8.1 Chaque générateur doit être soumis à une inspection complète avant d'être livré, et il doit être accompagné d'un certificat de qualité du produit.

8.2 Si le générateur peut être entièrement assemblé, démarré et testé chez le fournisseur, l'inspection et l'acceptation doivent porter sur les éléments de tests de livraison et de mise en service spécifiés dans le tableau B.1.

8.3 Si le générateur n'a pas pu être assemblé, démarré et testé chez le fournisseur, l'inspection et l'acceptation doivent se baser sur les éléments de tests de remise spécifiés dans le tableau B.1.

8.4 Le fournisseur doit fournir les certificats de conformité, les rapports sur les composants chimiques des matériaux et sur les propriétés mécaniques des principaux composants du générateur suivants :

- a) Rapports sur les composants chimiques des matériaux, les propriétés mécaniques et les tests non destructifs des arbres forgés ;
- b) Rapports sur les composants chimiques des matériaux et les propriétés mécaniques de l'araignée du rotor (joug magnétique) ;
- c) Rapports sur les composants chimiques des matériaux et les propriétés mécaniques des forgés de la plaque de la roue ;
- d) Rapports sur la caractéristique de magnétisation et la perte de la tôle en acier au silicium ;

e) Rapports sur la taille du fil, la conductivité électrique et la résistance diélectrique du bobinage.

8.5 Avant la livraison, les dimensions des pièces de travail et les dimensions d'assemblage des composants devant être assemblées sur site doivent être vérifiées pour s'assurer de leur conformité. Certains composants, tels que le cadre divisé du stator, l'araignée du rotor à disque et les plaques d'assemblage et de couverture des paliers de guidage et de butée, ainsi que l'assemblage de l'écran de vent, doivent être préassemblés par le fournisseur si nécessaire.

8.6 Acceptation sur site :

- a) Les tests de démarrage et de mise à l'essai requis pour l'acceptation doivent se concentrer sur les éléments spécifiés dans le tableau B.1 ;
- b) De même, les tests de performance requis pour l'acceptation doivent se concentrer sur les éléments indiqués dans le tableau B.1.

9 Plaque signalétique, emballage, transport et stockage

9.1 Plaque signalétique

Les matériaux utilisés pour la plaque signalétique ainsi que la méthode de gravure doivent garantir que les inscriptions restent lisibles pendant toute la durée de vie du générateur. Les informations à marquer sur la plaque signalétique sont les suivantes :

Nom et modèle du générateur ; capacité nominale (en MVA ou kVA), tension nominale (V), courant nominal (A), fréquence nominale (Hz) et facteur de puissance nominal ($\cos\phi$) ; vitesse de rotation nominale (en tours par minute, tr/min) et vitesse de fuite (tr/min) ; tension d'excitation nominale (V) et courant d'excitation nominal (A) ; nombre de phases, méthode de connexion pour le bobinage du stator et classe d'isolation ; nom du pays de fabrication, nom du fabricant, date de livraison et numéro du produit.

9.2 Emballage, transport et stockage

9.2.1 L'emballage doit être déterminé par voie de négociation entre le fournisseur et l'utilisateur, et doit être conforme aux réglementations du pays importateur de l'équipement. Les exigences particulières relatives à l'équipement, s'il y en a, doivent être clairement indiquées sur le conteneur d'emballage.

9.2.2 Le conteneur d'emballage doit être construit conformément au dessin fourni. Les informations suivantes doivent être marquées sur l'extérieur du conteneur :

- a) Nom et adresse de l'utilisateur ;
- b) Nom et adresse du fournisseur ;

- c) Nom, modèle et numéro de série de l'équipement ;
- d) Poids net, poids brut, centre de gravité du conteneur, position des élingues et dimensions totales du conteneur d'emballage ;
- e) Instructions de manutention, telles que « Manipuler avec soin », « Tenir à l'écart de l'humidité » et « Ne pas mettre à l'envers ».

9.2.3 Avant l'emballage, les préparatifs suivants doivent être effectués :

- a) Inspecter l'équipement pour s'assurer qu'il n'est pas endommagé extérieurement ;
- b) Appliquer des traitements antirouille et des mesures préventives pour éviter la déformation des surfaces usinées de l'équipement ;
- c) Retirer et emballer séparément les composants et les instruments fragiles ou sensibles aux vibrations ;
- d) Attacher solidement les parties mobiles à l'intérieur de l'équipement au corps du générateur ;
- e) S'assurer que les pièces de rechange, le certificat de conformité et les documents techniques sont complets, bien emballés et fixés à un endroit adéquat.

9.2.4 Après l'ouverture des conteneurs d'emballage, les équipements doivent être transférés dans un entrepôt qui les protège des intempéries et des autres conditions environnementales extérieures. La température à l'intérieur de l'entrepôt ne doit pas descendre en dessous de 5 °C. Les équipements doivent être protégés de l'humidité, ils doivent être stockés correctement et ne pas être empilés de manière désordonnée ou inappropriée.

10 Installation, utilisation et maintenance

10.1 Installation

L'installation de l'équipement doit être effectuée selon les instructions d'installation, d'utilisation et de maintenance fournies par le fournisseur.

10.2 Exploitation et entretien

L'exploitation et la maintenance de l'équipement doivent être conformes aux normes de référence, aux instructions fournies par le fournisseur, ainsi qu'aux spécifications opérationnelles spécifiques à la centrale hydroélectrique.

Le fournisseur doit offrir un soutien technique pour résoudre les problèmes qui peuvent survenir durant l'installation, l'utilisation et la maintenance de l'équipement. Le fournisseur doit également fournir une formation au personnel de l'utilisateur sur les aspects spécifiques de l'installation, de l'utilisation et de la maintenance de l'équipement.

11 Durée de la période garantie de qualité

La garantie est valable à condition que le produit soit correctement stocké, installé et utilisé. La période de garantie est d'un an à compter de la date d'achèvement de l'essai de fonctionnement de 72 heures, ou de deux ans à compter de la date de livraison du dernier lot de marchandises ; la date la plus proche étant retenue. Si l'équipement est endommagé ou ne fonctionne pas correctement en raison de défauts de fabrication pendant la période de garantie, le fournisseur est tenu de le réparer ou de le remplacer gratuitement.

Annexe A
(Informative)

Pièces de rechange principales pour le générateur de turbine hydraulique

Tableau A.1 Principales pièces de rechange pour le générateur de turbine hydraulique

No	Nom	Unité	Quantité			Remarques
			1-2 unités	3-4 unités	5 unités ou plus	
1	Bloc de frein, joint torique et ressort	Unité/ensemble	1	1	1	Pièces de rechange obligatoires
2	Balai en carbone	Unité/ensemble	Un ensemble pour chaque unité ou 2 pièces pour chaque unité			
3	Silicium de rotation	pièce	2 pièces pour chaque unité			
4	Porte-balai	Unité/ensemble	1/4	2/4	3/4	
5	Plaque isolante et manchon isolant pour le palier	Unité/ensemble	1	1	1	
6	Composant de mesure de température	Pièce	Un de chaque type pour chaque unité			
7	Bobinage du stator	Unité/ensemble	1/15	2/15	3/15	Pièces de rechange optionnelles
8	Cale de fente du stator		1/3 du niveau de réserve des bobines, multipliée par le nombre de branches par fente			
9	Bague de palier de butée	Unité/ensemble	1	1	1	
10	Bague de palier de guidage	Unité/ensemble	1	1	1	
11	Bague de palier à manchon (palier horizontal)	Unité/ensemble	1	1	1	
NOTE Les termes « unité/ensemble » désignent le nombre d'ensembles ou de quantités pour chaque unité de générateur.						

Annexe B
(Informative)

**Éléments d'inspection de la procédure d'acceptation des générateurs de turbine
hydraulique**

Tableau B.1 Éléments d'inspection de la procédure d'acceptation du générateur de turbine hydraulique

No	Éléments de test	Tests de livraison	Tests de remise	Démarrage et essai	Test de performance	Remarques
1	Inspection des composants chimiques et des propriétés mécaniques des composants et matériaux clés		✓			Selon l'accord entre le fournisseur et l'acheteur
2	Test de la magnétisation du noyau du stator (perte de fer)		✓			Selon l'accord entre le fournisseur et l'acheteur
3	Inspection de la rigidité diélectrique de la bobine formée du stator		✓			S'applique à l'assemblage du stator divisé réalisé sur le site de construction de la centrale hydroélectrique
4	Mesure de la résistance d'isolation du bobinage par rapport à l'enceinte et entre les bobinages	✓	✓			
5	Mesure de la résistance d'isolation du composant de mesure de température	✓	✓			
6	Mesure de la résistance en courant continu du bobinage en état froid réel	✓	✓			
7	Test de tenue en courant continu de l'isolation du bobinage du stator par rapport à l'enceinte et entre les bobinages, ainsi que la mesure du courant de fuite	✓	✓			$U_N \geq 6,3$ kV
8	Test de tenue en courant alternatif à la fréquence du réseau de l'isolation du bobinage par rapport à l'enceinte et entre les bobinages	✓	✓			
9	Mesure de l'impédance en courant alternatif du pôle magnétique unique du rotor	✓	✓			Selon l'accord entre le fournisseur et l'acheteur
10	Test d'équilibrage du rotor	✓	✓			
11	Mesure de la résistance d'isolation du palier	✓	✓			La résistance ne doit pas être testée si le palier à roulement n'est pas équipé d'une isolation.

Tableau B.1 (suite)

No	Éléments de test	Tests de livraison	Tests de remise	Démarrage et essai	Test de performance	Remarques
12	Test de tenue en tension du refroidisseur	✓	✓			
13	Test de tenue en tension du frein	✓	✓			
14	Test du système huile-air-eau			✓		
15	Mesure de la température du palier	✓		✓		Si le palier est équipé d'un dispositif de mesure de température
16	Calibrage de l'équilibre dynamique			✓		Si nécessaire
17	Inspection de la fonction de freinage			✓		
18	Test de survitesse	✓		✓		
19	Mesure de la séquence de phases	✓		✓		
20	Mesure de la tension de l'arbre			✓		La résistance ne doit pas être testée si le palier à roulement n'est pas équipé d'une isolation.
21	Test des caractéristiques à vide	✓		✓		
22	Test de surtension	✓		✓		
23	Test de court-circuit stable en triphasé	✓		✓		
24	Test de surintensité	✓		✓		
25	Mesure de la vibration et du déplacement			✓		
26	Mesure du courant d'excitation nominal et du rapport de changement de tension				✓	
27	Mesure de l'impédance du bobinage et de la constante de temps				✓	
28	Mesure du facteur de distorsion harmonique totale (THD) de la forme d'onde de la tension				✓	
29	Mesure du niveau de bruit				✓	
30	Test d'élévation de température				✓	
31	Mesure de l'efficacité et des pertes				✓	Selon l'accord entre le fournisseur et l'acheteur
32	Test de modulation de phase en surexcitation et opération en phase avancée en sous-excitation				✓	Selon l'accord entre le fournisseur et l'acheteur

Tableau B.1 (suite)

No	Éléments de test	Tests de livraison	Tests de remise	Démarrage et essai	Test de performance	Remarques
33	Test de rejet de charge				✓	À réaliser sous 25 %, 50 %, 75 % et 100 % des charges nominales.
34	Test de court-circuit triphasé soudain				✓	Selon l'accord entre le fournisseur et l'acheteur
35	Test de vitesse de fuite				✓	Selon l'accord entre le fournisseur et l'acheteur
<p>NOTE 1 Les éléments de test marqués d'un « ✓ » dans le tableau doivent impérativement être réalisés.</p> <p>NOTE 2 Si l'équipement testé ne possède pas la structure ou la fonction correspondant à un élément de test spécifique, ce test particulier n'est pas nécessaire.</p> <p>NOTE 3 Les fonctions et les pièces qui ne sont pas listées dans le tableau 12 peuvent être testées selon les consignes du fournisseur ;</p> <p>NOTE 4 Certains tests qui n'ont pas pu être réalisés dans les locaux du fournisseur peuvent être effectués sur le site de la centrale hydroélectrique après l'installation du générateur.</p>						