



UNITED NATIONS
INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION

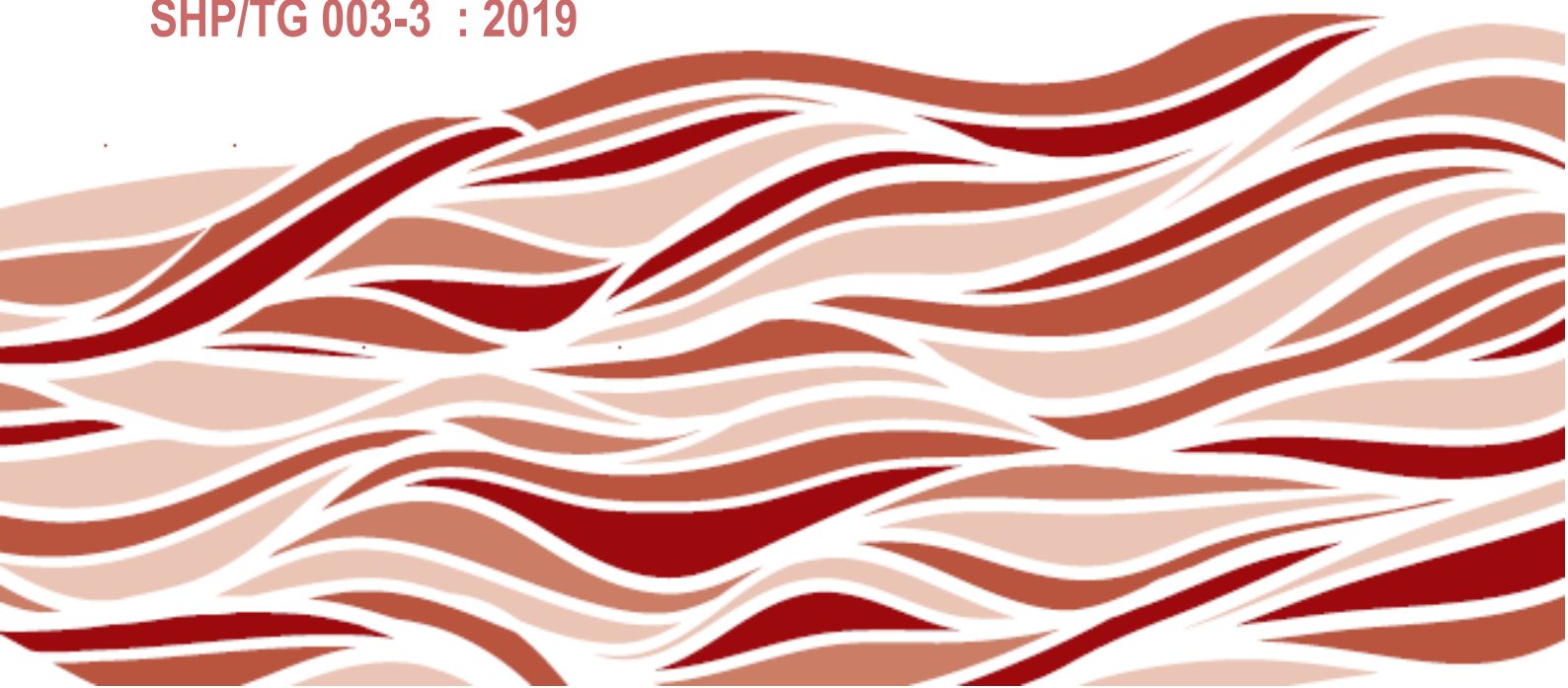


Directives techniques pour le développement de la petite
hydroélectricité

UNITÉS

Partie 3 : Système de régulation de turbine hydraulique

SHP/TG 003-3 : 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.

Directives techniques pour le développement de la petite
hydroélectricité

UNITÉS

Partie 3 : Système de régulation de turbine hydraulique

SHP/TG 003-3 : 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 :

- 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. Dharesan Unnithan, M. Kipyego Cheluget, M. Kolade Esan, M. Lamysier 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 Zaraso 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. Weianghui, 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.....	I
1 Portée	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions.....	2
4 Dispositions générales	2
4.1 Sélection du modèle de régulateur et du dispositif de pression d'huile.....	2
4.2 Situation opérationnelle du groupe turbo-alternateur.....	2
4.3 Constante de temps d'inertie de l'eau et constante de temps d'inertie du groupe turbo-alternateur	2
4.4 Conditions environnementales.....	2
4.5 Huile pour le système de régulation de la turbine hydraulique	3
4.6 Autres.....	3
5 Exigences techniques	3
5.1 Capacité du servomoteur.....	3
5.2 Niveau de pression d'huile.....	3
5.3 Caractéristiques statiques (déviations de vitesse)	3
5.4 Caractéristiques dynamiques	4
5.5 Régulateur	5
5.6 Dispositif de pression d'huile.....	9
6 Portée de la commande d'équipements et de pièces de rechange.....	10
7 Documents techniques.....	11
8 Inspection et acceptation.....	11
9 Plaque signalétique, emballage, transport et stockage	11
9.1 Plaque signalétique.....	11
9.2 Emballage.....	12
9.3 Transport	12
9.4 Stockage	12
10 Installation, fonctionnement et maintenance	13
10.1 Installation	13
10.2 Fonctionnement et maintenance.....	13
11 Période de garantie de la qualité.....	13
Annexe A (Informative).....	14
Inspection et test d'acceptation sur site.....	14

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 du développement durable durant les 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 la maintenance ainsi que la rénovation technique et l'acceptation des projets de petites centrales hydroélectriques.

Directives techniques pour le développement de la petite hydroélectricité-Unités

Partie 3 : Système de régulation de la vitesse

1 Portée

Cette partie des directives relatives aux unités précise les exigences techniques générales ainsi que les exigences de base relative aux équipements et aux pièces de rechange devant être fournis, 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 l'entretien du système de régulation des turbines de petites centrales hydroélectriques.

Le contenu de cette partie s'applique au régulateur électrohydraulique (ci-après dénommé le régulateur) d'une capacité de travail égale ou supérieure à 350 N-m, ainsi qu'au dispositif de pression d'huile.

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 8068, *Lubrifiants, huiles industrielles et produits connexes (classe L)-Famille T (turbines)-Spécifications pour les huiles lubrifiantes pour turbines*

ISO 11158, *Lubrifiants, huiles industrielles et produits connexes (classe L)-Famille H (systèmes hydrauliques)-Spécifications des catégories HH, HL, HM, HV et HG*

IEC 61000-4-4, *Compatibilité électromagnétique (CEM)-Partie 4-4: Techniques d'essai et de mesure-Essais d'immunité aux transitoires électriques rapides en sèves*

IECE 60308, *Turbines hydrauliques-Essais des systèmes de régulation*

IEC 61362, *Guide pour la spécification des systèmes de régulation des turbines hydrauliques*

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 60308, IEC 61362 et SHP/TG 001 s'appliquent.

4 Dispositions générales

4.1 Sélection du modèle de régulateur et du dispositif de pression d'huile

4.1.1 Les modèles de régulateur et de dispositif de pression d'huile doivent être sélectionnés de manière judicieuse. Les modèles choisis doivent garantir que la capacité de fonctionnement de ces éléments est bien adaptée à celle de la turbine. Ils doivent être capables de contrôler de manière fiable le groupe turbo-alternateur, même dans des conditions de charge d'eau maximale et de débit maximal. Il est important de prévoir une marge de sécurité.

4.1.2 L'ouverture maximale réelle de l'aube directrice doit correspondre à au moins 80 % de la capacité totale de la course du servomoteur qui actionne l'aube.

4.2 Situation opérationnelle du groupe turbo-alternateur

4.2.1 La turbine doit être exploitée conformément aux conditions et recommandations émises par le fabricant.

4.2.2 Le groupe turbo-alternateur doit être capable de fonctionner de manière stable dans diverses conditions manuelles. Lorsque la turbine fonctionne manuellement sans charge (avec l'excitateur du générateur en mode automatique), les variations de vitesse du groupe turbo-alternateur ne doivent pas dépasser $\pm 0,3$ % par rapport à la valeur nominale.

4.3 Constante de temps d'inertie de l'eau et constante de temps d'inertie du groupe turbo-alternateur

4.3.1 La constante de temps qui mesure l'inertie de l'eau (T_w) dans le système de dérivation d'eau de la turbine ne doit pas excéder 4 secondes.

4.3.2 Pour une turbine à réaction, la constante d'inertie du groupe turbo-alternateur (T_a) ne doit pas être inférieure à 4 secondes. Pour une turbine à impulsion, elle ne doit pas être inférieure à 2 secondes.

4.3.3 Le rapport entre la constante de temps d'inertie de l'eau et la constante de temps d'inertie du groupe turbo-alternateur ne doit pas excéder 0,4.

4.4 Conditions environnementales

Les conditions environnementales doivent être les suivantes :

- a) L'altitude du site d'installation ne doit pas excéder 2 500 mètres. Si l'équipement est utilisé à une altitude supérieure à 2 500 mètres, des ajustements doivent être faits pour tenir compte de la diminution des propriétés diélectriques et de l'efficacité de refroidissement de l'air. Ces ajustements doivent être négociés entre l'utilisateur et le fournisseur.
- b) La température ambiante doit être comprise entre 5 °C et 40 °C.
- c) Durant le mois le plus humide, l'humidité relative maximale ne doit pas dépasser 85 % (sans condensation), et la température moyenne minimale mensuelle pendant ce mois ne doit pas excéder 25 °C.

4.5 Huile pour le système de régulation de la turbine hydraulique

L'huile utilisée dans le système de régulation de la turbine hydraulique doit avoir une viscosité compatible avec celle utilisée dans la turbine elle-même. La température de cette huile doit se maintenir entre 10 °C et 50 °C pour assurer un fonctionnement optimal répondant aux exigences suivantes :

- a) Pour des systèmes fonctionnant à une pression d'huile ne dépassant pas 12,5 MPa, il est recommandé d'utiliser une huile hydraulique de type L-HL. De plus, la qualité de cette huile doit être conforme à la norme ISO 8068.
- b) Pour les systèmes où la pression d'huile excède 12,5 MPa, il convient de choisir une huile hydraulique de type L-HM et la qualité de cette huile doit être conforme aux exigences de la norme ISO 11158.

4.6 Autres

Si les conditions environnementales de service ne correspondent pas aux exigences standard, les indices de performance adaptés peuvent être établis par voie de négociation entre le fournisseur et l'utilisateur.

5 Exigences techniques

5.1 Capacité du servomoteur

La capacité du servomoteur utilisé dans le système de régulation de la turbine hydraulique doit correspondre aux spécifications de conception de la turbine.

5.2 Niveau de pression d'huile

La classe de pression d'huile pour le régulateur et le dispositif de pression d'huile doit être : 2,5, 4,0, 6,3, 10,0, 12,5 et 16,0 mégapascals (MPa).

5.3 Caractéristiques statiques (déviation de vitesse)

5.3.1 La courbe représentant les caractéristiques statiques du système doit être approximativement rectiligne.

5.3.2 Lorsque le coefficient de différence permanente (b_p) est de 4 %, consultez le tableau 1 pour déterminer la bande morte de vitesse mesurée au niveau du servomoteur principal.

Tableau 1 Bande morte de vitesse du système de régulation de la turbine

Élément	Type de régulateur			
	Régulateur de grande échelle ($A > 75\,000\text{ N} \cdot \text{m}$)	Régulateur de taille moyenne ($18\,000\text{ N} \cdot \text{m} \leq A \leq 75\,000\text{ N} \cdot \text{m}$)	Régulateur de petite échelle ($3\,000\text{ N} \cdot \text{m} \leq A < 18\,000\text{ N} \cdot \text{m}$)	Régulateur de très petite échelle ($350\text{ N} \cdot \text{m} \leq A < 3\,000\text{ N} \cdot \text{m}$)
Bande morte de vitesse i_x (%)	0,02	0,06	0,10	0,20

5.3.3 Pour une turbine Kaplan, l'erreur dans le système de commande des pales (servocommande de la pale) ne doit pas dépasser 0,8 %. L'écart entre la courbe de performance combinée réellement mesurée et celle théoriquement calculée pour le système de commande des pales ne doit pas excéder 1 % de la course totale du servomoteur de la pale.

5.3.4 Dans une turbine à impulsion dotée de plusieurs jets, l'écart de position entre n'importe quelles deux aiguilles ne doit pas dépasser 1 % de leur course totale. L'écart de position de chaque aiguille par rapport à la moyenne de toutes les positions des aiguilles ne doit pas excéder 0,5 % lorsque la turbine est en état stable.

5.4 Caractéristiques dynamiques

5.4.1 Le régulateur doit maintenir la stabilité du groupe turbo-alternateur dans différentes conditions de travail et dans différents modes de fonctionnement, et être conforme aux critères suivants :

- a) Lorsque le régulateur fonctionne automatiquement en condition de non-charge, un signal de commande de vitesse de type échelon doit être appliqué pour observer la réponse de l'unité. Après stabilisation du système, il faut enregistrer la valeur relative des oscillations de vitesse :
 - 1) Pour un régulateur de moyenne et petite échelle, l'oscillation ne doit pas excéder $\pm 0,25\%$;
 - 2) Pour un régulateur de très petite échelle, l'oscillation ne doit pas dépasser $\pm 0,3\%$.
- b) Si l'oscillation de la vitesse en mode manuel sans charge est supérieure à la valeur spécifiée, alors l'oscillation en mode automatique sans charge ne doit pas dépasser celle enregistrée en mode manuel.
- c) Pour les groupes turbo-alternateurs dont l'inertie rotationnelle est insuffisante pour répondre aux exigences de calcul de la garantie de régulation, la valeur relative de l'oscillation de vitesse en mode automatique sans charge doit faire l'objet d'une négociation entre le fournisseur et l'utilisateur.

5.4.2 Le temps mort du servomoteur ne doit pas excéder 0,2 seconde.

5.4.3 La qualité dynamique du groupe turbo-alternateur après le rejet de charge doit satisfaire aux exigences suivantes :

- a) Après un rejet de charge de 100 %, la vitesse ne doit pas dépasser de plus de 3 % de la vitesse nominale plus de deux fois pendant le processus d'ajustement de la vitesse ;
- b) Le temps de régulation doit répondre à l'une des exigences suivantes :
 - 1) Le temps nécessaire pour que la vitesse revienne à une oscillation de ± 1 % de la vitesse nominale, à compter du moment où le servomoteur commence son premier mouvement d'ouverture après un rejet de charge complet, ne doit pas dépasser 40 secondes ;
 - 2) Le rapport du temps de régulation f_E (du début du rejet de charge jusqu'à ce que l'écart de vitesse soit moins de ± 1 % de la vitesse nominale) au temps maximum t_M atteint par la vitesse de rotation doit être :
 - pas plus de 8 pour les turbines à réaction avec une hauteur d'eau moyenne à faible ;
 - pas plus de 12 pour les turbines Kaplan avec un temps de fermeture des pales long ;
 - pas plus de 15 pour les turbines à réaction avec une hauteur d'eau et pour les turbines à impulsion.
- c) Pour un groupe turbo-alternateur alimentant une centrale hydroélectrique après sa déconnexion du réseau électrique, la vitesse minimale relative après un rejet de charge ne doit pas être inférieure à 0,85. Cette condition exclut les turbines à bulbe présentant un contrôle d'afflux et un temps de fermeture des pales long.

5.5 Régulateur

5.5.1 Les paramètres de régulation du régulateur, fonctionnant selon le principe du PID (Proportionnel, Intégral, Dérivé), doivent être ajustés selon les spécifications de conception :

- a) La valeur minimale du gain proportionnel K_P ne doit pas dépasser 0,5 et sa valeur maximale ne doit pas être inférieure à 20.
- b) La valeur minimale du gain intégral K_I ne doit pas dépasser $0,05 \text{ s}^{-1}$ et sa valeur maximale ne doit pas être inférieure à 10 s^{-1} .
- c) La valeur minimale du gain différentiel K_D est 0 et sa valeur maximale ne doit pas être inférieure à 5 secondes.

5.5.2 Le coefficient de déviation de vitesse permanente b_p doit être de ± 10 %.

5.5.3 La plage de réglage du signal de commande de vitesse doit être de ± 10 % de la vitesse nominale.

5.5.4 La limitation de l'ouverture de la turbine (charge) doit être réglable sur une plage allant de 0 à l'ouverture maximale (charge maximale possible).

5.5.5 Les durées de fermeture T_f et T_g du servomoteur doivent pouvoir être ajustées en fonction des spécifications de conception.

5.5.6 Le régulateur doit être capable de gérer le démarrage, l'arrêt et l'arrêt d'urgence du groupe turbo-alternateur, tant en mode automatique qu'en mode manuel.

5.5.7 La bande morte artificielle du régulateur doit être réglable à ± 1 % de la vitesse nominale. Cette fonction permet un réglage précis en fonction des besoins de l'opération.

5.5.8 En cas de perte de signaux clés, comme la vitesse, la hauteur d'eau, la puissance ou la position du servomoteur, le groupe turbo-alternateur doit pouvoir maintenir sa charge actuelle. L'écart admissible dans l'ouverture du servomoteur principal de la turbine est de ± 1 % de sa course totale dans ces conditions. Même en cas de perte de ces signaux, les procédures d'arrêt ordonné et d'arrêt d'urgence de l'unité ne doit pas être affectées.

5.5.9 Exigences de base de la conception logicielle :

- a) Le logiciel utilisé dans le régulateur doit être conçu de manière structurée et modulaire afin de faciliter l'adaptation du logiciel aux différents besoins de régulation et de contrôle du groupe turbo-alternateur dans diverses conditions de travail ;
- b) Le système logiciel comprend les modules suivants : modules pour la mesure de la fréquence, la régulation PID, le traitement des entrées et sorties, l'affichage, ainsi que pour le diagnostic et la détection d'erreurs.

5.5.10 En plus des fonctions de base, le régulateur doit être capable de diagnostiquer les pannes et de continuer à fonctionner efficacement en présence de certaines défaillances. Le régulateur doit être équipé d'une interface de communication et d'un protocole de communication ouvert.

5.5.11 Le détecteur de vitesse doit répondre aux exigences suivantes :

- a) La courbe caractéristique du détecteur de vitesse doit être presque linéaire dans la plage de ± 10 % de la vitesse nominale, et sa bande morte de vitesse doit être conforme aux spécifications de conception ;
- b) La précision de la mesure du coefficient d'amplification du détecteur de vitesse doit être de ± 5 % par rapport à la valeur de conception, dans une plage de ± 2 % de la vitesse nominale.

5.5.12 Les convertisseurs électrohydrauliques et électromécaniques doivent répondre aux exigences suivantes :

- a) Les convertisseurs doivent pouvoir fonctionner de manière correcte et fiable dans les conditions pour lesquelles ils ont été conçus ;
- b) Même dans la bande morte des convertisseurs électrohydrauliques, la pression d'huile et l'écart du coefficient d'amplification ne doivent pas dépasser les valeurs de conception. La consommation d'huile doit également rester dans les limites de la conception. La plage de travail des convertisseurs ne doit pas être inférieure à celle requise par la conception ;
- c) La force opérationnelle et la course des convertisseurs électromécaniques ne doivent pas être inférieures aux valeurs de conception ;
- d) Les convertisseurs électrohydrauliques et électromécaniques doivent être capables de revenir automatiquement à une position neutre en cas de coupure de courant. De plus, en état stable, l'écart dans la course du servomoteur ne doit pas excéder ± 1 % de sa course totale lorsque le convertisseur est hors tension.

5.5.13 Les caractéristiques de débit de la vanne de distribution principale, compte tenu d'une chute de pression spécifiée, doivent être conformes aux valeurs définies dans la conception.

5.5.14 Le régulateur peut être équipé d'un dispositif de fermeture en plusieurs étapes, qui fonctionne en accord avec la règle de fermeture de l'aube directrice. Le point d'initiation où le dispositif commence à fermer peut être ajusté pour se situer dans une plage de 0 à 60 %. L'action du dispositif de fermeture doit être stable et fiable, et l'écart de position du point d'initiation doit pas dépasser ± 3 % de la course totale du servomoteur.

5.5.15 La vanne de distribution d'urgence doit répondre aux exigences suivantes :

- a) Le temps d'arrêt programmé pour cette vanne ne doit pas être inférieur au temps d'arrêt minimum du servomoteur dans des conditions d'arrêt d'urgence rapide ;
- b) Le temps entre l'action de la vanne de distribution d'urgence et l'action du servomoteur principal ne doit pas excéder 0,5 seconde ;
- c) Un signal de position doit être mis en place pour indiquer l'état d'action du noyau de la vanne.

5.5.16 Après l'assemblage des composants hydrauliques, les fuites d'huile ne doivent pas excéder les valeurs spécifiées dans la conception, lesquelles doivent être mesurées dans des conditions de température d'huile et de pression d'huile nominales.

5.5.17 Un transducteur de déplacement très fiable situé à proximité du servomoteur doit être utilisé comme dispositif de rétroaction pour le servomoteur. Les signaux de sortie de ce transducteur peuvent être de type tension (allant de -10 V à 0 V ou de 0 V à 10 V) ou de type courant (allant de 4 mA à 20 mA). Le niveau de précision du capteur de déplacement doit être d'au moins 0,5.

5.5.18 Le régulateur doit utiliser à la fois des alimentations en courant continu et en courant alternatif qui peuvent se substituer l'une à l'autre. En cas de défaillance de l'une des alimentations, le système doit basculer

automatiquement sur l'autre et déclencher un signal d'alarme. Lors du basculement de l'alimentation, la variation admissible de la course du servomoteur doit être limitée à $\pm 1\%$ de sa course totale. Cela permet d'assurer le fonctionnement continu et stable du régulateur dans la plage suivante d'alimentation électrique et de fréquence :

- a) Alimentation en courant alternatif :

Plage de tension d'entrée : $380/220 \times (85\% \text{ à } 110\%) \text{ V}$

Tolérance de fréquence : $\pm 10\%$

- b) Alimentation en courant continu :

Plage de tension d'entrée : $220/110 \times (85\% \text{ à } 110\%) \text{ V}$

5.5.19 La résistance d'isolation et la tension de tenue à la fréquence du réseau doivent répondre aux exigences suivantes :

- a) La résistance d'isolation entre les circuits électriques, ainsi qu'entre le circuit électrique et l'enveloppe ou la terre, doit être d'au moins $1 \text{ M}\Omega$, dans un environnement présentant une température de $15\text{ }^\circ\text{C}$ à $35\text{ }^\circ\text{C}$ et une humidité relative de 45% à 75% .
- b) Les tests doivent être réalisés entre les parties sous tension séparées et les parties conductrices exposées, ainsi qu'entre le circuit et l'enveloppe métallique (ou la terre). Ces tests doivent être effectués dans un environnement présentant une température de $15\text{ }^\circ\text{C}$ à $35\text{ }^\circ\text{C}$ et une humidité relative de 45% à 75% . Le système doit supporter la tension de tenue d'essai spécifiée dans le tableau 2 pendant 5 secondes, en fonction de sa tension de travail.

Tableau 2 Tension d'essai du système de régulation de la turbine hydraulique

Unité : Volt (V)

Tension nominale U_i	Tension de test à la fréquence du réseau (valeur efficace en courant alternatif)
$U_i \leq 60$	1 000
$600 < U_i \leq 300$	2 000
$300 < U_i \leq 690$	2 500

- c) Les circuits auxiliaires, qui ne sont pas adaptés pour être alimentés directement par la boucle principale, doivent supporter la tension de tenue d'essai spécifiée dans le tableau 3 pendant 5 secondes.

Tableau 3 Tension de tenue d'essai du circuit auxiliaire du système de régulation de la turbine hydraulique

Unité : Volt (V)

Tension nominale U_i	Tension de test à la fréquence du réseau (valeur efficace en courant alternatif)
$U_i \leq 12$	250
$12 < U_i \leq 60$	500
$U_i > 60$	$2 U_i + 1\,000$, avec une valeur minimale de $1\,500 \text{ V}$

5.5.20 L'appareil électrique doit être capable de gérer efficacement les interférences provenant de l'alimentation électrique, des sources de signal et des ports de commande. Il doit également résister aux interférences du champ électromagnétique rayonné provenant de l'environnement ambiant. L'appareil doit émettre un minimum d'interférences électromagnétiques, et doit passer le test de transitoires rapides électriques conformément à la norme internationale CEI 61000-4-4. Lorsqu'il est soumis à des interférences, l'appareil électrique doit continuer à fonctionner correctement. Le servomoteur, en particulier, ne doit pas présenter de comportement anormal sous l'effet de ces interférences.

5.6 Dispositif de pression d'huile

5.6.1 Le réservoir de pression utilisé dans le dispositif doit être conforme aux normes et spécifications de conception et d'utilisation du réservoir sous pression.

5.6.2 Pour des pressions de travail de l'huile dépassant 6,3 MPa, il faut utiliser un accumulateur de type à vessie, dans lequel l'huile et le gaz sont séparés. Lorsque la pression de l'huile ne dépasse pas 6,3 MPa, on peut utiliser soit un réservoir de pression ordinaire où l'huile et le gaz sont en contact, soit un accumulateur de type à vessie.

5.6.3 Dans un récipient de pression non isolé, le rapport volumique entre l'huile et le gaz devrait être entre 1/3 et 1/2 à la limite supérieure de la pression de travail normale.

5.6.4 La pression normale de travail du dispositif de pression d'huile doit se situer dans une plage de $\pm 2\%$ à $\pm 5\%$ de la pression de travail nominale. La pression minimale pour l'arrêt d'urgence doit être choisie de manière à ce que, même après un arrêt d'urgence, la pression ne tombe pas en dessous de la pression minimale requise pour le fonctionnement.

5.6.5 Lorsque la pression de l'huile est à sa limite inférieure de fonctionnement normal et que la pompe à huile n'est pas en marche, le réservoir de pression doit avoir une capacité suffisante. Cette capacité doit permettre de fournir un nombre spécifié de courses du servomoteur, sans que la chute de pression dépasse la différence entre la pression de travail normale minimale et la pression de fonctionnement minimale de l'huile.

- a) Pour la turbine Francis, le réservoir doit fournir 3 courses du servomoteur de l'aube directrice ;
- b) Pour la turbine à impulsion, en plus des 3 courses du servomoteur du déflecteur, il faut considérer (1,5 à 2) courses du servomoteur de l'aiguille ;
- c) Pour la turbine Kaplan, en plus des 3 courses du servomoteur de l'aube, (1,5 à 2) courses du servomoteur de la pale doivent être prises en compte ;
- d) En plus des 3 courses du servomoteur de l'aube directrice, (1,5 à 2) courses du servomoteur de la vanne de régulation de pression doivent être considérées.
- e) Dans le cas d'un système de contrôle conçu pour fonctionner avec un système de puissance isolé, le volume d'huile disponible dans le réservoir peut être augmenté, généralement de 1,5 à 2 fois les valeurs susmentionnées ci-dessus.

5.6.6 Exigences techniques relatives à la pompe à huile :

- a) Le dispositif de pression d'huile doit être équipé de deux pompes à huile : une pour le service et une autre en réserve ;
- b) La vitesse de fonctionnement de la pompe à huile ne doit pas dépasser 1 500 tours par minute. Dans des conditions de fonctionnement normal, le temps nécessaire pour que la pression monte de la limite inférieure à la limite supérieure de la plage de pression de travail normale ne doit pas excéder 100 secondes. Pour les régulateurs opérant dans des systèmes de puissance isolés, ce temps de montée de pression ne doit pas dépasser 40 secondes ;
- c) Dans un état statique ou stable du groupe turbo-alternateur, la pompe à huile à fonctionnement intermittent ne devrait pas être redémarrée à moins qu'un intervalle de plus de 20 minutes ne se soit écoulé depuis son dernier fonctionnement.

5.6.7 Exigences techniques relatives à la soupape de sécurité :

- a) La soupape de sécurité doit commencer à évacuer l'huile lorsque la pression d'huile dépasse de 2 % la limite supérieure de la pression de travail normale. Avant que la pression d'huile n'atteigne un niveau supérieur de 10 % à la limite de pression de travail, la soupape de sécurité doit être complètement ouverte pour éviter toute augmentation supplémentaire de la pression dans le réservoir ;
- b) Le taux de fuite de la soupape de sécurité ne doit pas excéder 1 % du volume d'huile délivré par la pompe à huile ;
- c) L'action de la soupape de sécurité doit être correcte et fiable, sans provoquer de fortes vibrations et de bruits excessifs.

5.6.8 L'erreur admissible pour la valeur réglée de l'annonceur de pression individuel dans le dispositif de pression d'huile doit se situer dans une marge de ± 2 % de cette valeur réglée.

5.6.9 Le débit d'huile dans les canalisations du système de contrôle ne doit pas excéder 5 mètres par seconde.

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

Les équipements et les pièces de rechange à fournir comprennent les éléments suivants :

- a) Portée de la commande : régulateur, dispositif de pression d'huile, transmetteurs de position et câbles spéciaux nécessaires pour connecter la partie électronique du régulateur à l'unité hydraulique ;
- b) Pièces de rechange : pièces qui s'usent rapidement et qui sont nécessaires pour le maintien du système ;

- c) tout équipement supplémentaire et les pièces de rechange doivent faire l'objet de négociations entre le fournisseur et l'utilisateur et être spécifiés dans le contrat de commande.

7 Documents techniques

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

- a) Diagrammes détaillés du système et schémas opérationnels ;
- b) Images et plans montrant l'aspect extérieur de l'équipement et les détails d'installation ;
- c) Plans d'agencement et schémas de câblage des principaux composants de l'armoire de commande ;
- d) Documents techniques de tous les équipements sous-traités (matériel compris) ;
- e) Rapport d'inspection et certificat de conformité pour chaque unité livrée (1 jeu/unité) ;
- f) Instructions d'installation, d'utilisation et de maintenance ;
- g) Spécifications de livraison.

8 Inspection et acceptation

Le tableau A.1 détaille les éléments à inspecter lors de la procédure d'acceptation.

9 Plaque signalétique, emballage, transport et stockage

9.1 Plaque signalétique

La plaque signalétique doit être fixée à un endroit bien visible sur chaque produit. Les matériaux de fabrication de la plaque et la méthode de gravure utilisée doivent garantir que le texte reste lisible pendant toute la durée de vie du produit. Les informations principales devant figurer sur la plaque signalétique sont les suivantes :

- a) Nom et modèle du produit ;
- b) Pression d'huile nominale (en mégapascals, MPa) ;
- c) Capacité de service (en Newton-mètres, N - m) ;

- d) Taille nominale de la vanne de distribution principale ;
- e) Volume du réservoir de pression (en mètres cubes, m³) ;
- f) Nom du fabricant, date de livraison et numéro de produit.

9.2 Emballage

9.2.1 Toute exigence spéciale concernant l'équipement doit être clairement indiquée sur le conteneur d'emballage.

9.2.2 Le produit doit être protégé par des emballages interne et externe. Les boîtes enfichables doivent être solidement verrouillées et attachées. Les conteneurs d'emballage doivent inclure des mesures contre la poussière, contre la pluie et contre les vibrations. Enfin, des dispositifs pour le levage et des marquages doivent être prévus pour faciliter la manutention et le transport.

9.2.3 Les inspections de produits avant emballage doit être réalisées comme suit :

- a) Il faut vérifier si tous les accessoires, les pièces de rechange, le certificat de conformité et les documents techniques pertinents du produit sont présents et complets ;
- b) Il est important de vérifier l'apparence du produit afin de s'assurer qu'il n'y a pas de dommages.

9.2.4 L'emballage des produits destinés à l'exportation doit être conforme aux normes et réglementations nationales en matière d'inspection et de quarantaine.

9.2.5 La garantie sur l'emballage ne doit pas excéder 12 mois à compter de la date de livraison du produit.

9.3 Transport

Le fournisseur et l'utilisateur doivent spécifier les moyens de transport adaptés à l'équipement, ainsi que les exigences spécifiques relatives au processus de transport. Le transport et la manutention des produits doivent être gérés conformément aux instructions et aux marques figurant sur les conteneurs d'emballage.

9.4 Stockage

9.4.1 Les produits doivent être stockés dans des entrepôts à l'abri de la poussière et de la pluie, à une température ambiante comprise entre -25 °C et +55 °C. L'humidité relative dans l'entrepôt ne doit pas dépasser 85 %, et l'entrepôt ne doit pas contenir d'acide, d'alcali, de sel, de gaz corrosifs ou explosifs, ni être soumis à un champ électromagnétique fort.

9.4.2 Le fournisseur doit garantir, à compter de la date de livraison, que les produits resteront exempts de corrosion et ne verront pas leur précision réduite en raison d'un emballage inapproprié pendant une période de 12 mois. Cette garantie est valable dans les conditions de stockage spécifiées au point 4.4.

10 Installation, fonctionnement et maintenance

10.1 Installation

L'installation du produit doit être effectuée par des professionnels compétents qui possèdent à la fois l'expérience et les qualifications nécessaires.

10.2 Fonctionnement et maintenance

10.2.1 Avant que l'équipement ne soit mis en service de manière formelle, des tests appropriés doivent être réalisés afin de s'assurer qu'il répond à toutes les exigences spécifiées.

10.2.2 L'exploitation et la maintenance de l'équipement doivent être conformes aux références normatives, ainsi qu'aux instructions fournies par le fournisseur, notamment en ce qui concerne l'installation, l'utilisation et la maintenance de l'équipement. Les opérations doivent également respecter les spécifications opérationnelles pertinentes se rapportant aux centrales hydroélectriques.

10.2.3 Le fournisseur doit offrir un soutien technique pour résoudre tout problème qui pourrait survenir pendant l'installation, l'utilisation et la maintenance de l'équipement. Il doit également fournir une formation au personnel de l'utilisateur sur l'installation, l'utilisation et la maintenance de l'équipement.

11 Période de garantie de la qualité

La garantie de qualité s'applique à condition que le produit ait été correctement stocké, installé et utilisé. La période de garantie de qualité du produit est d'un an à compter de la fin de l'opération d'essai de 72 heures, ou de deux ans après la date de livraison du dernier lot de marchandises ; la date la plus proche étant retenue. Si, pendant la période de garantie de qualité, l'équipement est endommagé ou ne fonctionne pas correctement en raison de problèmes liés à la qualité de fabrication, le fournisseur s'engage à le réparer ou à le remplacer gratuitement.

**Annexe A
(Informative)**

Inspection et test d'acceptation sur site

Tableau A.1 Éléments d'inspection en usine et de test d'acceptation sur site du système de régulation de la turbine hydraulique

No	Éléments de test	Inspection en usine	Acceptation sur site
1	Inspection de l'apparence	✓	✓
2	Inspection des compteurs	✓	✓
3	Inspection de la connexion électrique	✓	✓
4	Test d'isolation du circuit électrique	✓	
5	Inspection de la fonction de communication	✓	✓
6	Inspection et test de l'alimentation électrique	✓	✓
7	Test de pression étanche du réservoir de pression	✓	
8	Test de la pompe à huile	✓	
9	Test de fuite du dispositif de pression d'huile	✓	✓
10	Vérification des valeurs de réglage des signaux de pression d'huile et de niveau d'huile du dispositif de pression d'huile	✓	✓
11	Test de simulation du fonctionnement automatique du dispositif de pression d'huile	✓	✓
12	Inspection et test du détecteur de vitesse	✓	
13	Test du convertisseur électrohydraulique	✓	
14	Réglage du temps de fermeture T_f et du temps d'ouverture T_g du servomoteur	✓	✓
15	Mesure de la plage de fermeture et d'ouverture du servomoteur	✓	
16	Test d'action du circuit de fonctionnement	✓	✓
17	Test de commutation des modes de régulation et de contrôle	✓	✓
18	Mesure du gain en boucle ouverte pratique et test de réglage du gain en boucle ouverte	✓	✓
19	Vérification du signal de commande de la vitesse de rotation, du signal de commande d'ouverture, du signal de commande de puissance et du coefficient de différence permanente b_p	✓	
20	Vérification du gain proportionnel K_p , du gain intégral K_i et du gain différentiel K_D	✓	
21	Mesure et test des caractéristiques statiques (y compris la bande morte de vitesse artificielle) et de la bande morte de vitesse \dot{i}_x du régulateur	✓	✓

Tableau A. 1 (suite)

No	Éléments de test	Inspection en usine	Acceptation sur site
22	Mesure et test de la courbe combinée et de l'inexactitude i_a du système de servocommande de la pale		
23	Test de synchronisation entre les aubes directrices (aiguilles)		✓
24	Mesure et test du temps mort T_q du servomoteur	✓	✓
25	Mesure de la consommation totale d'huile du régulateur	✓	
26	Test de commutation de la simulation de panne et des modes de contrôle	✓	✓
27	Tests de démarrage/arrêt automatiques		✓
28	Test sans charge		✓
29	Test de rejet de charge		✓
30	Test de fermeture de l'aube directrice sous la pression d'huile de déclenchement inférieure		✓
31	Test de fonctionnement chargé continu de 72 heures		✓
<p>NOTE 1 Les éléments marqués d'un « ✓ » dans le tableau doivent être complétés.</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>			