



UNITED NATIONS  
INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION



Directives techniques pour le  
développement de la petite hydroélectricité  
**GESTION**

# **Partie 3 : Rénovation technique**

**SHP/TG 005-3: 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

**GESTION**

## **Partie 3 : Rénovation technique**

**SHP/TG 005-3: 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 :

- 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. Basse Edet Nkposong, M. Bernardo Calzadilla-Sarmiento, Mme. Arun Kumar, M. Atul Sarthak, M. Basse 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. Lamysr 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. Wei Jianghui, 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 Généralités.....	2
5 Analyse et évaluation de l'état.....	2
6 Détection et évaluation.....	3
7 Contenu et exigences de la rénovation .....	4
7.1 Dispositions générales .....	4
7.2 Structures hydrauliques.....	5
7.3 Turbine et équipements auxiliaires.....	7
7.4 Équipements auxiliaires.....	10
7.5 Générateur et autres équipements électriques .....	11
7.6 Automatisation .....	13
7.7 Chauffage, ventilation, contrôle des incendies et sécurité .....	14
7.8 Installation de décharge du débit écologique.....	15
8 Indice de performance technique.....	15

## 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 rédigées conformément aux règles éditoriales de la deuxième partie des Directives ISO/IEC, (voir [www.iso.org/directives](http://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 de référence 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-Gestion

## Partie 3 : Rénovation technique

### 1 Portée

Cette partie des lignes directrices de gestion spécifie les principes de base, le contenu, les méthodes et les exigences relatives à la rénovation technique d'une petite centrale hydroélectrique (PSH).

### 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.

IEC 60060-3-200, *Technique d'essai à haute tension - Partie 3 : Définition et exigences relatives aux essais sur site*

IEC 61439, *Ensembles d'appareillage à basse tension*

IEC 62006 :2010, *Machines hydrauliques-Essais de réception des petits aménagements hydroélectriques*

IEC 62208, *Enveloppes vides destinées aux ensembles d'appareillage à basse tension - Exigences générales*

IEC 60609-1, *Turbines hydrauliques, pompes d'accumulation et pompes-turbines - Évaluation de l'érosion de cavitation - Partie 1 : Évaluation dans les turbines à réaction, les pompes d'accumulation et les pompes-turbines hydrauliques*

IEC 60609-2, *Turbines hydrauliques, pompes d'accumulation et pompes-turbines - Évaluation de l'érosion de cavitation - Partie 2 : Évaluation dans les turbines Pelton*

ISO/DIS 5208, *Robinetterie industrielle-Essais sous pression des appareils de robinetterie métalliques*

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 le document SHP/TG 001 s'appliquent.

### **4 Généralités**

**4.1** La rénovation technique de la centrale électrique doit éliminer tout danger potentiel afin d'assurer la sécurité des personnes et des installations. Elle doit mettre en place des mesures pour protéger les employés, pour améliorer la capacité de la centrale à produire de l'électricité de manière plus efficace, pour rentabiliser les travaux et améliorer l'exploitation et la maintenance.

**4.2** Les installations ou les équipements existants doivent être pleinement utilisés, et les nouvelles technologies, les nouveaux processus, les nouveaux équipements et les nouveaux matériaux doivent être activement utilisés afin d'améliorer les aspects techniques, fonctionnels et financiers de la centrale hydroélectrique et de répondre aux exigences en matière de conservation de l'énergie et de protection de l'environnement. Les technologies obsolètes ne doivent pas être utilisées.

**4.3** Si l'installation ou l'équipement présente de graves défauts et que sa sécurité ne peut être garantie après plusieurs tentatives de réparation, ou s'il est estimé que le coût de la rénovation sera supérieur à 60 % du coût d'un nouvel équipement, l'installation ou l'équipement doit être mis au rebut et remplacé par un nouvel équipement ou de nouveaux composants.

**4.4** Avant de commencer toute rénovation, il est important d'effectuer une évaluation détaillée de l'état actuel des installations et de l'équipement. Si nécessaire, des contrôles de sécurité doivent être réalisés pour s'assurer que l'équipement et les installations ne présentent pas de risques. Une étude de faisabilité doit être menée pour déterminer la meilleure approche technique à adopter pour réaliser la rénovation.

**4.5** La rénovation doit tenir compte de l'interaction entre les centrales hydroélectriques en cascade situées dans le même bassin fluvial, notamment en ce qui concerne la gestion des débits d'eau et la production d'énergie.

**4.6** Une attention particulière doit être accordée aux impacts sociaux et environnementaux, notamment en ce qui concerne le débit d'eau nécessaire pour maintenir l'écosystème et la protection de l'environnement. Selon les spécificités de la centrale, des aménagements doivent être prévus pour permettre aux poissons de franchir la centrale (passe à poissons).

**4.7** Le programme de rénovation doit être conforme aux lois et réglementations en vigueur, tant au national que local.

### **5 Analyse et évaluation de l'état**

**5.1** Pour la rénovation technique de la centrale, les données suivantes doivent être collectées :

- a) Données de conception d'ingénierie, de réalisation et d'exploitation, et enregistrements des révisions et des maintenances effectuées au fil des ans ;

- b) Données hydrologiques et sédimentaires ;
- c) Résultats des inspections de sécurité et des tests de performance des équipements et des structures ;
- d) Autres données pertinentes.

**5.2** Avant de procéder à la rénovation technique de la centrale électrique, il convient d'examiner les structures hydrauliques et les équipements électromécaniques et hydromécaniques du point de vue de leur performance et de leur sécurité. Cette analyse doit être fondée sur les rapports de tests préventifs, les résultats des tests de performance, les résultats des inspections de sécurité et les données opérationnelles et de maintenance. Il convient également d'évaluer la nécessité de rénover les installations et les équipements de la centrale, compte tenu de leur performance actuelle et de leur niveau de conformité avec les normes de sécurité.

**5.3** Il faut analyser les données d'exploitation et de maintenance de la centrale électrique en prenant en compte la planification fluviale et les données hydrologiques. Il faut examiner la manière dont les changements des niveaux d'eau en amont et en aval, de la hauteur d'eau et de la concentration en sédiments ont évolué, ainsi que leur impact sur la centrale. Enfin, il convient d'évaluer si la rénovation est nécessaire et réalisable compte tenu de tous ces éléments d'information. Il faut notamment évaluer si la capacité de la centrale électrique doit être augmentée ou réduite, en se concentrant sur les éléments suivants :

- a) L'écoulement disponible et la crue de conception doivent être vérifiés, surtout si une inondation s'est produite depuis que la centrale hydroélectrique est exploitée ou s'il est prévu de modifier les structures hydrauliques pour augmenter la capacité de dérivation de l'eau ou la hauteur du déversoir ou du barrage. L'impact du changement climatique sur la capacité de déversement sécuritaire doit également être examiné ;
- b) Si la centrale hydroélectrique est rénovée en vue d'augmenter ou de diminuer sa capacité, il est nécessaire de revoir les calculs de débit ;
- c) Les facteurs qui sont susceptibles d'augmenter ou de réduire le débit et la hauteur de travail doivent être analysés ;
- d) Il faut examiner la possibilité d'utiliser des ressources en eau non exploitées ;
- e) Il faut évaluer les moyens de diminuer les pertes de charge et de débit ;
- f) Il faut s'assurer que le débit maintenu est compatible avec les exigences écologiques.

**5.4** Les éventuels impacts sociaux et environnementaux de la rénovation de la centrale hydroélectrique doivent être évalués.

## **6 Détection et évaluation**

**6.1** Avant de rénover la centrale, il convient d'inspecter les structures hydrauliques et d'évaluer leur aspect, leur sécurité structurelle, les conditions de leur exploitation et de leur gestion, ainsi que la qualité du projet. Les structures

hydrauliques présentant des anomalies identifiées lors de l'inspection ou du suivi doivent faire l'objet d'une attention particulière.

**6.2** Il convient d'effectuer des tests pour comparer la performance des équipements avant et après les travaux de rénovation. Les résultats des tests serviront à déterminer l'efficacité de la rénovation en termes d'amélioration des performances et de la rentabilité. Pour assurer la fiabilité et la comparabilité des résultats, il est recommandé d'utiliser les mêmes procédures et équipements de mesure pour les tests effectués avant et après la rénovation.

**6.3** Les tests de performance de la turbine doivent être adaptés aux caractéristiques particulières de la turbine et de la centrale ou être réalisés conformément aux dispositions pertinentes de la norme IEC 62006 :2010.

**6.4** Si les principaux équipements électromécaniques de la centrale hydroélectrique dépassent leur durée de vie utile ou présentent des conditions anormales pouvant compromettre la sécurité, il est nécessaire d'inspecter leurs éléments structurels principaux, en se concentrant sur la détection de la corrosion, des déformations et des fissures. Une révision et une évaluation de la résistance et de la rigidité de ces éléments sont également nécessaires.

**6.5** Pour la conduite forcée, les vannes spéciales et les treuils, il convient d'effectuer des tests non destructifs pour détecter les déformations, les torsions, les fissures, la corrosion ou l'abrasion des éléments structures principaux, ainsi que les soudures défectueuses. La résistance et la rigidité de ces composants doivent également être évaluées.

**6.6** Le test de performance de l'équipement électrique principal peut être réalisé en se fondant sur les résultats des tests préventifs ou des tests actuels effectués avant la rénovation. Ce test doit être réalisé conformément à la norme IEC 60060-3 : 2006.

**6.7** Les résultats de détection et d'évaluation sont essentiels pour déterminer si la rénovation technique de la centrale est nécessaire et pour élaborer un programme de rénovation approprié, ainsi que pour évaluer l'efficacité de la rénovation technique effectuée.

## **7 Contenu et exigences de la rénovation**

### **7.1 Dispositions générales**

**7.1.1** Une rénovation technique est nécessaire dans les cas suivants :

- a) Des dangers actuels ou potentiels pour la sécurité ont été identifiés ;
- b) Les conditions hydrologiques en amont et en aval changent de manière significative ;
- c) La ressource hydraulique n'est pas utilisée de manière efficace (en particulier la hauteur de chute et le débit) ou son utilisation entre en conflit avec d'autres ressources hydrauliques ;
- d) La construction civile, la fabrication ou l'installation de l'équipement sont de qualité médiocre, les performances de l'équipement sont dépassées et l'état technique de l'équipement est insuffisant ;
- e) Les conditions géologiques ont changé de manière significative ;

- f) La centrale a un impact écologique négatif important ;
- g) Toute autre situation rendant nécessaire une rénovation.

**7.1.2** Les composants actuellement en service dans la centrale doivent être examinés et leur utilité doit être évaluée. Toute intervention technique nécessaire doit être réalisée.

**7.1.3** Si la centrale hydroélectrique dispose d'une grande abondance d'eau, il peut être avantageux d'augmenter sa capacité de production. Si la centrale est caractérisée par un nombre réduit d'heures d'utilisation annuelles, par une faible hauteur d'eau ou par un débit décroissant, il peut être envisagé de réduire sa capacité.

**7.1.4** Dans les centrales hydroélectriques dont la capacité doit être augmentée, il convient de réviser la capacité installée ainsi que les éléments suivants :

- a) Il convient d'examiner la prise d'eau, les pertes de charge, la résistance structurelle et les transitoires hydrauliques, ainsi que l'équipement et les installations associées, comme les tunnels de dérivation et les conduites forcées.
- b) La capacité de décharge des tunnel et des canaux doit être vérifiée.
- c) Il faut réévaluer la classification du projet, la qualité de la structure et les normes de gestion des inondations.
- d) Les paramètres de régulation de l'unité et du système de conduite d'eau doivent être vérifiés afin de s'assurer qu'ils peuvent fonctionner avec la capacité augmentée.

## **7.2 Structures hydrauliques**

**7.2.1** La rénovation technique de la structure hydraulique doit répondre aux exigences suivantes :

- a) Les travaux de rénovation doivent éliminer tout danger potentiel pour la sécurité ;
- b) Les améliorations doivent minimiser les pertes dues aux crues ;
- c) Les modifications apportées doivent être réalisables et être pratiques à mettre en œuvre.

**7.2.2** Les mesures de rénovation technique suivantes peuvent être mises en place pour rationaliser et optimiser l'utilisation des ressources hydrauliques :

- a) Diriger l'eau de différentes zones d'un même bassin vers un réservoir ou un bassin de retenue, tout en respectant les exigences relatives au débit écologique. Cela peut nécessiter la construction de canaux ou de tunnels ;

- b) Élever la hauteur du barrage pour augmenter la capacité de production d'électricité et de stockage de régulation, tout en limitant les impacts sur les zones inondées ;
- c) Installer des barrages en caoutchouc, des vannes à clapet ou des vannes contrôlables et d'autres équipements sur le déversoir, tout en veillant à ne pas compromettre la sécurité en matière de prévention des inondations. Utilisés en conjonction avec des prévisions hydrologiques précises, ces dispositifs peuvent permettre de stocker de l'eau à la fin de la saison des crues, augmentant ainsi la hauteur de chute et la capacité de stockage pour la production d'énergie ;
- d) Éliminer les sédiments du lit de la rivière et réduire le niveau d'eau en aval, dans le respect des contraintes techniques comme la hauteur d'aspiration statique de la turbine.

**7.2.3** Les mesures suivantes peuvent être mises en place pour la rénovation technique du système de dérivation d'eau :

- a) Mettre en place des systèmes plus efficaces pour retirer les sédiments et les débris à l'entrée du système de dérivation. Revoir la disposition de la prise d'eau et modifier les structures hydrauliques afin de favoriser un écoulement plus fluide et moins perturbé, et essayer de créer une forme plus profilée pour l'écoulement d'eau ;
- b) Installer des équipements supplémentaires pour nettoyer les débris, ajouter des dispositifs pour retenir les débris et éjecter la glace. Ajuster l'espacement des barreaux de la grille de débris et améliorer leur forme pour minimiser l'obstruction par les débris ;
- c) Élargir les passages d'eau pour augmenter le débit et ajuster la rugosité des surfaces pour optimiser l'écoulement ;
- d) Effectuer des opérations de dragage et appliquer des traitements anti-infiltration dans les bassins de retenue, dans les tunnels et dans les canaux ;
- e) Retirer tout obstacle qui pourrait perturber le courant d'eau et procéder au désensablement pour améliorer le régime hydraulique du canal de fuite.

**7.2.4** La rénovation technique de la centrale électrique doit répondre aux exigences suivantes :

- a) Les installations de contrôle des inondations doivent être améliorées pour mieux gérer les risques d'inondation et assurer la conformité avec les normes actuelles en la matière ;
- b) Lorsque la rénovation vise à augmenter la capacité de la centrale, il convient d'examiner la solidité du pilier du générateur et de la poutre de la grue. De plus, la résistance de la dalle de sol doit être vérifiée pour s'assurer qu'elle peut supporter les charges supplémentaires ;
- c) Il faut garantir que toutes les opérations, notamment la maintenance et les révisions de l'équipement électromécanique, peuvent être effectuées en toute sécurité ;
- d) L'apparence de la centrale électrique après rénovation doit s'intégrer harmonieusement dans son environnement naturel et bâti.

**7.2.5** Dans les régions froides, des mesures spéciales doivent être prises pour protéger les structures hydrauliques et les équipements hydromécaniques contre le gel, telles que l'installation de barres de retenue de glace et de grilles de maintien de glace.

**7.2.6** La rénovation technique des vannes et des treuils doit répondre aux exigences suivantes :

- a) Si les vannes présentent des signes de corrosion, de déformation, de vibrations ou de fuites d'eau importantes, et si les treuils ne fonctionnent pas correctement, des travaux de rénovation sont nécessaires pour corriger ces problèmes ;
- b) Dans les cas où les vannes ont une capacité de levage supérieure à la normale en raison de la corrosion ou de la déformation, il est recommandé d'utiliser de nouveaux matériaux de support pour les renforcer. On peut également envisager de modifier la conception de support des vannes ou des appareils de levage afin d'améliorer leur fonctionnement ;
- c) Dans les centrales où le système de dérivation a été rénové ou la hauteur du barrage augmentée, il est important de réexaminer et éventuellement de renforcer les vannes et les appareils de levage existants.

**7.2.7** Des installations de remplissage d'eau et d'équilibrage de pression doivent être mises en place au niveau de la vanne de cloisonnement d'urgence à l'entrée d'eau de l'unité et au niveau de la vanne de cloisonnement des eaux de queue.

**7.2.8** Le treuil de la vanne de décharge des crues doit disposer d'une alimentation de secours fiable.

**7.2.9** La rénovation technique de la conduite forcée doit répondre aux exigences suivantes :

- a) Si les joints d'arrêt d'eau fuient ou sont vieillis, ils doivent être remplacés ;
- b) Les tuyaux en acier sérieusement corrodés ou endommagés doivent être remplacés ;
- c) Si des tassements différentiels sont observés, il est nécessaire de renforcer les blocs d'ancrage et les supports ;
- d) Les conduites en béton armé qui ont subi un vieillissement important doivent être remplacées ;
- e) Si le diamètre actuel des conduites forcées est trop petit, il faut envisager d'augmenter ce diamètre ou d'ajouter d'autres conduites pour réduire les pertes de charge.

**7.2.10** Le système de surveillance de la sécurité du barrage-réservoir doit être amélioré.

### **7.3 Turbine et équipements auxiliaires**

**7.3.1** La rénovation technique de la turbine doit être réalisée conformément aux principes suivants :

- a) Lors de la modernisation de la turbine, il convient d'opter pour des roues à haut rendement et technologiquement avancées. Il faut recueillir autant d'informations que possible sur différents modèles (au

moins trois) auprès de chercheurs et de fabricants, et procéder à une comparaison pour choisir le modèle le mieux adapté.

- b) Dans un souci de rationalité, il est nécessaire de tenir compte des limites et des caractéristiques spécifiques de la centrale qui ne peuvent ou ne devraient pas être modifiées lors de la mise à jour des équipements.
- c) La production d'énergie annuelle de la centrale doit être augmentée afin d'améliorer son efficacité économique.
- d) Enfin, pour améliorer le fonctionnement de la turbine, il faut prendre en compte les défis posés par des conditions de qualité d'eau spéciales, comme une forte teneur en sédiments, et mettre en œuvre des mesures pour renforcer la résistance de la turbine à l'abrasion et à l'accumulation de sédiments.

**7.3.2** La rénovation technique de la turbine doit répondre aux exigences suivantes :

- a) La roue de la turbine choisi doit présenter un indice énergétique élevé, de bonnes caractéristiques anti-cavitation et une stabilité opérationnelle fiable ;
- b) Lors de la définition des paramètres clés de la turbine, il faut tenir compte des dimensions et de l'élévation d'installation du système de dérivation et du passage d'eau de la turbine, ainsi que des caractéristiques du générateur. L'objectif est de s'assurer que la turbine peut fonctionner de manière efficace et stable, et que la hauteur d'aspiration statique est adéquate ;
- c) La turbine doit pouvoir s'adapter aux variations de hauteur de chute et de débit afin d'améliorer ses conditions de fonctionnement et d'augmenter sa stabilité et son efficacité opérationnelles ;
- d) Lorsque les eaux sont fortement chargées en sédiments, il convient d'évaluer et d'analyser l'impact de l'abrasion des sédiments sur la turbine. Il faut choisir des paramètres techniques adaptés et des mesures de résistance à l'abrasion, comme l'utilisation de matériaux résistants aux sédiments ou l'application de revêtements spéciaux. Lorsque la turbine traite des eaux fortement chargées en sédiments, il convient de veiller à ce qu'elles fonctionnent dans des conditions sans cavitation.

**7.3.3** La rénovation technique de la turbine doit être effectuée selon les conditions spécifiques de la centrale hydroélectrique, comme suit :

- a) Il faut installer une nouvelle roue de turbine qui offre de meilleures performances et qui est compatible avec le passage d'écoulement de la turbine existante. Si nécessaire, il faut améliorer le profil et la structure des parties du passage d'écoulement de la turbine, après une démonstration technique appropriée ;
- b) Dans les centrales électriques où les variations de hauteur d'eau et de débit par rapport à la conception originale sont faibles, mais où les équipements de turbine sont anciens et peu efficaces, il faut concentrer les efforts sur l'amélioration de la performance des turbines ;
- c) Dans les centrales où la hauteur d'eau et le débit actuels dépassent les conditions de conception originale, il convient d'augmenter la puissance nominale de sortie de la turbine ;

- d) Dans les centrales où la hauteur d'eau et le débit sont plus bas que ceux prévus dans la conception originale, il est nécessaire de réduire la puissance nominale de sortie de la turbine ;
- e) Dans les centrales électriques traitant de grandes quantités de sédiments, il faut améliorer la conception hydraulique et structurelle de la turbine en fonction du volume et des caractéristiques des sédiments. Il convient également d'utiliser des matériaux résistants à l'abrasion et des revêtements protecteurs pour protéger la turbine ;
- f) Si une unité présente un risque de sécurité important ou si elle est suffisamment endommagée pour justifier sa mise au rebut, elle doit être remplacée par une unité neuve.

**7.3.4** La roue de la turbine et l'aube directrice doivent être fabriquées avec des machines-outils à commande numérique.

**7.3.5** La rénovation technique des paliers de butée doit répondre aux exigences suivantes :

- a) Si les paliers de butée atteignent des températures élevées pendant la production d'énergie, il est nécessaire d'améliorer leur conception ou de renforcer leur système de refroidissement. Pour les unités dont la vitesse nominale est inférieure ou égale à 1 000 tours par minute, il est recommandé d'utiliser des paliers de butée élastiques métalloplastiques.
- b) Lors de la conception de l'augmentation de la capacité de l'unité, il est important de calculer et de réexaminer la poussée axiale maximale de l'unité, la capacité de charge du palier de butée et la capacité de charge de la fondation.

**7.3.6** Dans une turbine à axe horizontal, il est possible d'utiliser soit un palier antifriction, soit un palier glissant. Le palier glissant peut être équipé d'un patin en alliage Babbitt ou d'un autre type de patin approprié. Dans une turbine à axe vertical, le palier de guidage devrait avoir une structure parabolique, afin de prévenir les rayures sur le patin de palier.

**7.3.7** La rénovation technique du système de régulation de la turbine hydraulique doit répondre aux exigences suivantes :

- a) Si des modifications sont apportées à la hauteur d'eau, au débit ou au diamètre de la roue de la turbine, il est nécessaire de réviser les paramètres du régulateur, notamment sa capacité de travail ;
- b) Le système de régulation rénové doit pouvoir gérer efficacement les démarrages et les arrêts, la synchronisation rapide avec le réseau, l'augmentation et la réduction de la charge et l'arrêt d'urgence en cas de besoin ;
- c) Le système de régulation existant doit être remplacé par un régulateur entièrement automatique basé sur micro-ordinateur ou par un manipulateur équipé d'un dispositif de stockage d'énergie ;



- d) Après la rénovation, le système de régulation doit pouvoir fournir l'huile sous pression nécessaire au fonctionnement du dispositif de freinage automatique, tout en répondant aux exigences opérationnelles de la turbine ;
- e) Dans les situations où un redémarrage à froid est nécessaire, le système de régulation doit inclure une option de fonctionnement entièrement manuel.

**7.3.8** La rénovation technique de la vanne principale de la turbine doit répondre aux exigences suivantes :

- a) Si la vanne principale présente des fuites d'eau significatives, il est nécessaire soit d'améliorer sa conception d'étanchéité, soit de la remplacer par une nouvelle vanne ;
- b) La vanne doit être équipée d'un dispositif de protection contre les limites mécaniques ;
- c) La vanne devrait être dotée d'un mécanisme permettant son fonctionnement automatique ;
- d) Les vannes actionnées hydrauliquement devraient être équipées d'un dispositif hydraulique doté d'un équipement de stockage d'énergie.

#### **7.4 Équipements auxiliaires**

**7.4.1** Les équipements auxiliaires des machines hydrauliques doivent être mis à jour ou remplacés par des équipements adaptés aux améliorations apportées aux équipements principaux de l'unité.

**7.4.2** La rénovation technique du système d'alimentation en eau technique doit répondre aux exigences suivantes :

- a) Le système d'alimentation en eau doit être capable de fournir suffisamment d'eau pour répondre aux besoins de la centrale après sa rénovation ;
- b) Dans les centrales hydroélectriques conçues pour fonctionner avec peu ou pas de surveillance (un nombre réduit de personnes), le système d'alimentation en eau technique doit être équipé de filtres à eau automatiques, de vannes de contrôle automatiques et de dispositifs de signalisation du débit ;
- c) Le système de drainage des infiltrations doit utiliser des pompes auto-amorçantes, des pompes immergées ou des pompes de puits profond ;
- d) Toutes les canalisations qui présentent de graves signes de corrosion ou de fuites, ou dont le diamètre n'est pas adapté aux nouvelles conditions de fonctionnement, doivent être remplacées.

**7.4.3** Après la rénovation de l'unité, le système d'air comprimé doit pouvoir répondre aux nouveaux besoins en air comprimé. Si le dispositif de pression d'huile du régulateur est équipé d'un accumulateur hydropneumatique de type à vessie, il peut ne pas être nécessaire de conserver un système d'air comprimé dédié.

**7.4.4** La rénovation technique du système d'huile de la turbine doit répondre aux exigences suivantes :

- a) Le système d'huile doit être conçu avec des canalisations simplifiées, et l'huile devrait être fournie et évacuée à l'aide de tuyaux flexibles ;
- b) Dans les petites centrales hydroélectriques, où l'huile isolante est principalement utilisée pour les transformateurs et ne nécessite généralement ni chargement ni déchargement fréquent, le réservoir d'huile isolante peut être omis. De plus, l'huile peut être filtrée en ligne.

**7.4.5** Tout équipement de levage qui ne passe pas les tests de performance ou de sécurité doit être rénové ou remplacé.

**7.4.6** Lorsque la capacité de la centrale hydroélectrique est augmentée, il est nécessaire de revoir l'équipement de levage et les structures de support associées afin de s'assurer qu'elles peuvent supporter le poids de la partie la plus lourde de l'équipement en plus du poids du dispositif de levage lui-même. Si le poids à lever dépasse la capacité de levage nominale de la grue, des rénovations doivent être effectuées sur la grue et sa structure de support, ou d'autres mesures de sécurité doivent être prises pour gérer le poids supplémentaire.

## **7.5 Générateur et autres équipements électriques**

**7.5.1** La rénovation technique du générateur doit être compatible avec la capacité de la turbine et des équipements de transmission et de transformation d'énergie.

**7.5.2** La rénovation technique du générateur peut être réalisée comme suit :

- a) L'amélioration du système de refroidissement peut inclure le remplacement du système existant, le changement du ventilateur du rotor pour améliorer la circulation de l'air, ou la transition d'une ventilation par conduite à un système de refroidissement d'air étanche.
- b) Si l'isolation du stator ou du rotor est usée, le bobinage doit être remplacé par un matériau isolant de meilleure qualité. Par exemple, passer d'une isolation de grade B à une isolation de grade F plus résistante. Dans les cas où la capacité du générateur est considérablement augmentée, il est également conseillé d'augmenter la longueur du stator et du noyau du rotor pour améliorer la puissance électromagnétique. Si le générateur est vertical, l'augmentation de la taille du stator ne doit pas empêcher le soulèvement du rotor hors de la fosse du générateur.
- c) Pour rénover le palier du générateur, il est possible d'adopter des patins de butée en plastique qui offrent une faible friction et une grande capacité de charge, et qui ne nécessitent pas de meulage du patin de palier.
- d) Lors du remplacement du générateur, il convient de tirer pleinement parti des fondations et des composants intégrés de l'ancien équipement. De plus, il faut utiliser de nouveaux matériaux isolants et des tôles de silicium de haute qualité et efficaces.

**7.5.3** Il est important d'équiper le générateur de dispositifs capables de mesurer sa température.

**7.5.4** Si un générateur haute tension a une faible capacité, il peut être avantageux de le remplacer par un générateur basse tension, surtout si la capacité mise à jour du générateur ne dépasse pas 800 kW. Au-delà de cette capacité, des problèmes tels qu'un courant trop important, un câblage plus complexe et une augmentation des coûts peuvent survenir.

**7.5.5** Si un générateur présente une diminution significative de la résistance d'isolation de l'enroulement du stator après l'arrêt, un dispositif de chauffage et de déshumidification supplémentaire peut être utilisé pour le sécher. Si la résistance d'isolation ne répond toujours pas aux normes après ces traitements, il peut être nécessaire de remplacer l'isolation ou de prendre d'autres mesures correctives.

**7.5.6** Le système d'excitation rénové doit comprendre un dispositif d'excitation doté d'une fonction de régulation automatique, et les modes d'excitation statique ou sans balais doivent être privilégiés.

**7.5.7** La rénovation technique du transformateur principal doit répondre aux exigences suivantes :

- a) Après la rénovation de la centrale, la capacité nominale du transformateur principal doit être suffisante pour gérer la capacité de sortie améliorée de la centrale ;
- b) Les transformateurs qui consomment beaucoup d'énergie doivent être remplacés par des transformateurs plus économes en énergie ;
- c) Dans les centrales où un transformateur de distribution est actuellement utilisé comme transformateur principal, il est recommandé de le remplacer par un transformateur élévateur.

**7.5.8** La rénovation technique des autres équipements électriques doit répondre aux exigences suivantes :

- a) Il convient de sélectionner des équipements électriques qui sont sûrs, économes en énergie et respectueux de l'environnement. L'utilisation d'équipements qui consomment beaucoup d'énergie ou qui peuvent polluer l'environnement est à éviter ;
- b) Il est préférable de choisir des disjoncteurs haute tension qui n'ont pas besoin d'huile pour fonctionner ;
- c) Les armoires de commutation haute tension fermées et légères sélectionnées doivent répondre aux exigences suivantes :
  - 1) L'armoire doit être conçue de manière à éviter toute ouverture ou fermeture accidentelle du disjoncteur ;
  - 2) Il doit être impossible de mettre en marche ou d'arrêter le sectionneur(on/off) lorsqu'il est sous charge ;
  - 3) L'armoire doit empêcher le raccordement du fil de terre lorsque le système est sous tension ;
  - 4) Il doit être impossible d'activer l'alimentation électrique lorsque le fil de terre est connecté ;
  - 5) L'armoire doit être conçue pour empêcher l'opérateur d'accéder à des compartiments sous tension.

- d) Les armoires de commutation basse tension doivent être conformes aux normes IEC 61439 et IEC 62208 ;
- e) Les câbles électriques doivent être correctement installés, soit en les posant sur des chemins de câbles, soit en les passant à travers des conduits.

**7.5.9** Dans les centrales hydroélectriques conçues pour fonctionner sans surveillance (ou avec peu de personnel), il est crucial de disposer d'une alimentation électrique fiable. Pour les unités génératrices basse tension d'une capacité inférieure à 800 kW, l'alimentation électrique de fonctionnement peut être simplifiée pour répondre à leurs besoins spécifiques. Un système d'alimentation sans interruption (UPS) peut être utilisé pour garantir le fonctionnement ininterrompu des interrupteurs et des systèmes de contrôle électrique.

**7.5.10** Le système de protection contre la foudre doit être amélioré pour répondre aux exigences en matière de résistance de mise à la terre.

**7.5.11** Lors de la rénovation technique de la centrale, il est nécessaire d'installer un éclairage d'urgence à l'intérieur de la centrale. Cet éclairage doit être économe en énergie et respectueux de l'environnement, et être facile à entretenir.

## **7.6 Automatisation**

**7.6.1** Lors de la rénovation technique de l'automatisation de la centrale, le mode de contrôle doit être choisi en tenant compte des caractéristiques de la centrale hydroélectrique, de son mode opératoire et des besoins de régulation du réseau électrique. Il est recommandé d'opter pour un fonctionnement sans surveillance nécessitant un nombre réduit de gardiens.

**7.6.2** Les centrales électriques conçues pour fonctionner sans surveillance avec un nombre réduit de gardiens doivent satisfaire aux exigences suivantes :

- a) Un protecteur numérique fiable doit être mis en place. Ce système doit pouvoir arrêter automatiquement la machine en cas de problème et envoyer un signal de télémétrie pour alerter le personnel concerné ;
- b) La centrale doit être équipée de fonctions telles que le démarrage et l'arrêt à une touche, la régulation automatique de la fréquence et de la tension, ainsi que la régulation automatique de la puissance active et réactive ;
- c) Il doit être possible de contrôler et de gérer la centrale à distance ;
- d) Un système de vidéosurveillance doit être installé, avec une fonction de sauvegarde automatique des enregistrements ;
- e) Un dispositif d'alarme anti-intrusion doit être installé.

**7.6.3** Il est recommandé d'installer un dispositif de freinage automatique dans le système de freinage de l'unité.

**7.6.4** Le système de contrôle et de surveillance automatique par micro-ordinateur choisi pour la rénovation doit être simple et fiable.

**7.6.5** Lors de la rénovation technique de la centrale électrique, un système de surveillance des vannes doit être mis en place pour permettre leur contrôle et leur surveillance à distance. Les vannes à manœuvre rapide doivent disposer d'une fonctionnalité permettant leur fermeture rapide à l'aide d'un seul bouton.

**7.6.6** Si les conditions le permettent, le système de surveillance de la sécurité du barrage et le système d'observation et de rapport hydrologique automatisé doivent pouvoir partager leurs données avec le système de surveillance basé sur micro-ordinateur de la centrale hydroélectrique.

**7.6.7** Les centrales dotées d'unités basse tension peuvent être modernisées en adoptant un écran numérique tout-en-un qui combine la surveillance, la protection et le contrôle de l'excitation dans un format simple et fiable.

**7.6.8** Le degré de protection des armoires électriques secondaires ne doit pas être inférieur à IP42. Un dispositif d'éclairage et de déshumidification doit être installé à l'intérieur de ces armoires.

**7.6.9** La rénovation de la centrale électrique passe également par l'installation d'équipements de communication fiables. Des équipements de communication mobiles peuvent être utilisés pour surveiller à distance l'état opérationnel de la centrale hydroélectrique.

**7.6.10** Pour moderniser la centrale, il est possible d'adopter un mode de contrôle centralisé permettant de gérer plusieurs centrales électriques en même temps.

## **7.7 Chauffage, ventilation, contrôle des incendies et sécurité**

**7.7.1** Si une centrale dépasse les limites autorisées en matière de température, d'humidité ou de bruit, des travaux de rénovation techniques sont nécessaires.

**7.7.2** La rénovation technique du système de lutte contre les incendies doit être conforme aux réglementations locales en vigueur, et il est important d'installer des équipements de lutte contre les incendies adéquats.

**7.7.3** Dans les zones de la centrale où il existe un risque pour la sécurité du personnel, il est important d'installer des panneaux de sécurité lisibles et des dispositifs de protection appropriés afin de prévenir les accidents.

**7.7.4** Une sortie de secours additionnelle doit être mise en place dans les salles d'équipement de distribution d'énergie de plus de 7 mètres de long qui ne disposent que d'une seule sortie.

**7.7.5** Il est essentiel de prendre des mesures de protection autour des parties rotatives de l'unité et d'installer des panneaux d'avertissement de sécurité clairs.

## **7.8 Installation de décharge du débit écologique**

**7.8.1** Si une centrale hydroélectrique ne peut pas satisfaire aux exigences de décharge du débit écologique, des travaux de rénovation ou la construction d'une nouvelle installation sont nécessaires.

**7.8.2** Les mesures prises pour assurer un débit écologique adéquat doivent être adaptées aux conditions locales et doivent être technologiquement et économiquement réalisables.

**7.8.3** La rénovation des installations de décharge du débit écologique peut être réalisée comme suit :

- a) Mettre en place une unité spéciale, plus petite, conçue spécifiquement pour maintenir le débit écologique dans le cours d'eau. Cette unité fonctionnerait à long terme ;
- b) Dans les centrales hydroélectriques qui ont pour tâche principale de produire de l'électricité, intégrer la décharge du débit écologique directement dans le processus de production d'électricité ;
- c) Pour garantir le débit écologique, construire de nouvelles installations ou rénover les installations existantes telles que les canaux de dérivation, les vannes de libération d'eau, les dispositifs de désenvasement et les systèmes de décharge ;
- d) Mettre en œuvre des systèmes logiciels et matériels permettant d'assurer une gestion coordonnée des centrales hydroélectriques en cascade, afin de garantir que le débit écologique entre les différentes centrales en cascade est conforme aux exigences environnementales.

**7.8.4** Il est important de mettre en place un dispositif de surveillance en ligne du débit écologique dans le cours d'eau. Si le débit écologique s'avère insuffisant, il devrait être possible d'ouvrir en temps opportun une vanne de décharge (si elle existe) pour augmenter le débit, ou de prendre d'autres mesures pour rectifier la situation.

## **8 Indice de performance technique**

**8.1** Après la rénovation technique de la centrale, la puissance et l'efficacité de chaque unité de la centrale doivent satisfaire aux exigences suivantes :

- a) La puissance de sortie de chaque unité doit atteindre ou dépasser la puissance visée par cette rénovation ;
- b) L'efficacité de l'unité, lorsqu'elle fonctionne dans des conditions nominales, ne doit pas être inférieure aux indices fournis dans le tableau 1, lesquels varient en fonction de la puissance de l'unité. L'efficacité globale des groupes turbo-alternateurs équipés de turbines à impulsion peut être réduite de manière appropriée.

**Tableau 1 Indice d'efficacité unitaire dans les conditions de fonctionnement nominales**

No	Puissance de l'unité $P$ (kW)	Indice d'efficacité
1	$P \leq 100$	60 %
2	$100 < P \leq 250$	70 %
3	$250 < P \leq 500$	75 %
4	$500 < P \leq 3\ 000$	75 % à 85 %, l'efficacité de la turbine Francis étant de 77 % à 85 %.
5	$3\ 000 < P \leq 10\ 000$	81 % à 87 %, l'efficacité de la turbine Francis et de la turbine à bulbe étant de 83 % à 87 %.
6	$> 10\ 000$	85 % à 88 %, l'efficacité de la turbine Francis et de la turbine à bulbe étant de 88 %.

**8.2** Les équipements électromécaniques de la centrale doivent être disposés de manière efficace et rationnelle. Après la rénovation technique, le taux d'équipements en bon état doit être de 100 %.

**8.3** Après la rénovation technique, le bruit de la turbine et du générateur en fonctionnement normal doit satisfaire aux exigences suivantes :

- a) Dans le cas d'une turbine à arbre vertical, le niveau de bruit mesuré à un mètre au-dessus du sol de la fosse du générateur ne doit pas dépasser 90 dB(A) et le bruit mesuré à un mètre du trou d'homme du tube de fuite ne doit pas dépasser 95 dB(A).
- b) Dans le cas d'une turbine à arbre horizontal, le niveau de bruit mesuré à un mètre de l'arbre principal et du tube de fuite ne doit pas excéder 90 dB(A).
- c) Dans le cas d'un générateur à arbre vertical, le bruit mesuré à un mètre au-dessus du bord externe de la plaque de couverture ne doit pas dépasser 85 dB(A). Dans le cas d'un générateur à arbre horizontal, le bruit mesuré à un mètre du bord externe du stator ne doit pas excéder 85 dB(A).

**8.4** Après la mise à jour de la vanne principale, les fuites d'eau de cette vanne doivent être conformes aux dispositions pertinentes de la norme ISO/DIS 5208.

**8.5** Après la rénovation, lorsque l'aube directrice est complètement fermée, la fuite d'eau doit satisfaire aux exigences suivantes :

- a) Lorsque la nouvelle aube directrice conique de la turbine à réaction est complètement fermée, la fuite d'eau sous la hauteur nominale ne doit pas dépasser 0,4 % du débit nominal de la turbine. Lorsque la nouvelle aube directrice non conique est complètement fermée, la fuite d'eau ne doit pas excéder 0,3 % du débit nominal de la turbine.

b) Les nouveaux injecteurs des turbines Pelton, à jets inclinés et à flux transversal ne doivent présenter aucune fuite d'eau lorsqu'ils sont complètement fermés.

**8.6** La cavitation de la turbine doit être conforme aux exigences de la norme IEC 60609-1 ou IEC 60609-2.

---