

NORME INTERNATIONALE

**Systèmes de génération d'énergie éolienne –
Partie 4: Exigences de conception des boîtes de vitesses des éoliennes**

(<https://standards.iteh.ai>)
Document Preview

[IEC 61400-4:2025](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iec/f8de4178-e3db-4ead-8ae6-6dad5ff0ff28/iec-61400-4-2025)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iec/f8de4178-e3db-4ead-8ae6-6dad5ff0ff28/iec-61400-4-2025>



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2025 IEC, Geneva, Switzerland

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Secretariat
3, rue de Varembé
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
info@iec.ch
www.iec.ch

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications IEC

Le contenu technique des publications IEC est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études, ...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et une fois par mois par email.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: sales@iec.ch.

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Découvrez notre puissant moteur de recherche et consultez gratuitement tous les aperçus des publications, symboles graphiques et le glossaire. Avec un abonnement, vous aurez toujours accès à un contenu à jour adapté à vos besoins.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 500 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 25 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

IEC 61400-4:2025

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iec/f8de4178-e3db-4ead-8ae6-6dad5ff0ff28/iec-61400-4-2025>

Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	100
INTRODUCTION.....	102
1 Domaine d'application.....	103
2 Références normatives	104
3 Termes, définitions, abréviations, unités et conventions	107
3.1 Termes et définitions	107
3.2 Symboles, abréviations et unités	110
3.3 Conventions.....	113
3.3.1 Désignations des arbres – exemples d'une architecture type de boîte de vitesses d'éolienne.....	113
4 Processus de conception	115
4.1 Généralités	115
4.2 Type de boîte de vitesses.....	115
4.3 Durée de vie théorique, durée de vie en service et fiabilité	116
4.4 Classe de composants et conséquence d'une défaillance.....	117
4.5 Processus de conception.....	117
5 Interfaces et charges des boîtes de vitesses	121
5.1 Généralités	121
5.2 Interfaces.....	121
5.3 Charges.....	121
5.4 Dynamique de train d'entraînement	122
5.4.1 Généralités	122
5.4.2 Exigences relatives au modèle	122
5.4.3 Analyses exigées	123
5.4.4 Évaluation de l'excitabilité.....	124
5.4.5 Vérification du comportement dynamique dans l'environnement du système	125
6 Exigences en matière de conception et d'évaluation	125
6.1 Engrenages	125
6.1.1 Considérations de fiabilité	125
6.1.2 Calcul de la capacité de charge des engrenages	126
6.1.3 Facteurs de charge	130
6.1.4 Matériaux.....	132
6.1.5 Exactitude.....	133
6.1.6 Fabrication.....	133
6.2 Paliers à roulement	134
6.2.1 Considérations de fiabilité	134
6.2.2 Sélection des paliers.....	137
6.2.3 Matériaux.....	139
6.2.4 Exigences en matière d'interface.....	139
6.2.5 Considérations de conception.....	140
6.2.6 Lubrification des paliers	142
6.2.7 Calculs d'évaluation	144
6.3 Paliers lisses.....	147
6.3.1 Considérations de fiabilité	147
6.3.2 Cas de charge de conception et risques associés	147
6.3.3 Exigences en matière d'interface.....	149

6.3.4	Assemblages de l'arbre et du carter	150
6.3.5	Régime de lubrification hydrodynamique.....	150
6.3.6	Analyse du régime de lubrifiant	151
6.3.7	Exigences relatives aux paliers	151
6.4	Arbres, clavettes, joints de carter, cannelures et fixations	153
6.4.1	Arbres	153
6.4.2	Raccordements arbre-moyeu.....	153
6.4.3	Joints d'étanchéité des arbres	154
6.4.4	Fermetures	154
6.4.5	Assemblages boulonnés.....	155
6.4.6	Circlips	156
6.5	Éléments structurels.....	157
6.5.1	Généralités	157
6.5.2	Interfaces, conditions aux limites et charges	157
6.6	Lubrification	157
6.6.1	Généralités	157
6.6.2	Caractéristiques de performance des lubrifiants.....	157
6.6.3	Viscosité du lubrifiant.....	158
6.6.4	Méthode de lubrification et de refroidissement	158
6.6.5	Quantité de lubrifiant dans le système de lubrification	159
6.6.6	Températures de fonctionnement	159
6.6.7	Régulation en température	159
6.6.8	Surveillance de l'état du lubrifiant	160
6.6.9	Filtration du lubrifiant	161
6.6.10	Ports.....	161
6.6.11	Indicateur de niveau de lubrifiant.....	162
6.6.12	Bouchons magnétiques	162
6.6.13	Orifice de reniflard	162
6.6.14	Capteur de flux	162
7	Vérification de la conception et validation de la conception	163
7.1	Généralités	163
7.2	Plan de vérification et de validation de la conception	163
7.3	Catégorisation des modes de défaillance	163
7.4	Méthodes de vérification.....	164
7.4.1	Généralités	164
7.4.2	Méthodes d'essai	164
7.4.3	Similitude.....	167
7.4.4	Simulation.....	167
7.5	Matrice de vérification et de validation	167
8	Fabrication et assurance qualité	172
8.1	Généralités	172
8.2	Plan qualité.....	172
8.2.1	Généralités	172
8.2.2	Inspection de l'état de surface des engrenages après rectification	172
8.2.3	Inspection de la rugosité de surface	172
8.3	Processus critiques	172
8.4	Contrôle statistique des processus	173
8.5	Recette en usine	173
8.5.1	Objectifs des essais	173

8.5.2	Plan d'essai de réception	173
8.5.3	Séquences d'essais en usine	173
8.5.4	Mesurages de réception	174
8.6	Composants non conformes	175
8.6.1	Généralités	175
8.6.2	Entailles de rectification	175
9	Conception pour l'entretien et l'exploitation	175
9.1	Généralités	175
9.2	Exigences de conception relatives à l'entretien et à l'exploitation	175
9.3	Exigences de documentation relatives à l'entretien et à l'exploitation	176
9.4	Sécurité	177
Annexe A (informative) Exemples de spécifications d'interfaces de train d'entraînement et de charges		178
A.1	Généralités	178
A.2	Architectures courantes de train d'entraînement d'éolienne	178
A.2.1	Train d'entraînement non intégré avec une suspension à 4 points	178
A.2.2	Train d'entraînement non intégré avec une suspension à 3 points	179
A.2.3	Train d'entraînement intégré	180
A.2.4	Interfaces	183
A.2.5	Repère orthogonal	183
A.2.6	Description des interfaces	184
A.2.7	Données d'ingénierie sur l'interface	185
A.3	Descriptions des charges de l'éolienne	186
A.3.1	Formats de description des charges	186
A.3.2	Matrices rainflow	186
A.3.3	Distribution de tours de charge	187
A.3.4	Descriptions des charges extrêmes	188
A.4	Puissance et vitesse de référence de l'éolienne	189
A.4.1	Généralités	189
A.4.2	Théorie de la commande de la puissance des éoliennes	189
A.4.3	Aspects pratiques de la commande de puissance	190
Annexe B (informative) Vérification et validation du modèle de boîte de vitesses dynamique		193
B.1	Généralités	193
B.2	Vérification des modèles de dynamique de train d'entraînement	193
B.3	Validation des modèles de dynamique de train d'entraînement	194
Bibliographie		196

Figure 1 – Désignation des arbres dans les boîtes de vitesses à axe parallèle à trois étages	113
--	-----

Figure 2 – Désignation des arbres dans les boîtes de vitesses à trois étages avec un étage planétaire	114
---	-----

Figure 3 – Désignation des arbres dans les boîtes de vitesses à trois étages avec deux étages planétaires	114
---	-----

Figure 4 – Désignation des arbres dans les boîtes de vitesses à quatre étages avec trois étages planétaires	115
---	-----

Figure 5 – Diagramme du processus de conception	119
---	-----

Figure 6 – Définition de l'épaisseur de jante des satellites	128
--	-----

Figure 7 – Exemples de critères de sélection de paliers	138
---	-----

Figure 8 – Conditions de fonctionnement théoriques et régions de risque associées aux paliers lisses	149
Figure A.1 – Train d'entraînement non intégré avec une suspension à 4 points	179
Figure A.2 – Train d'entraînement non intégré avec une suspension à 3 points	179
Figure A.3 – Intégration côté rotor avec raccordement rigide de l'arbre principal	180
Figure A.4 – Intégration côté rotor avec raccordement flexible de l'arbre principal	181
Figure A.5 – Intégration côté génératrice avec support du rotor dans la génératrice	181
Figure A.6 – Intégration côté génératrice avec support du rotor dans la boîte de vitesses et la génératrice	182
Figure A.7 – Intégration côté génératrice avec support du rotor dans la boîte de vitesses	182
Figure A.8 – Exemple de cycles rainflow par cas de charge de conception	187
Figure A.9 – Exemple de distribution de rotation de charge	188
Figure A.10 – Régions de commande de la puissance des éoliennes	189
Figure A.11 – Stratégie de commande théorique de la puissance et de la vitesse	190
Figure A.12 – Stratégie de commande comparée à la réponse réelle	191
Tableau 1 – Définition d'un type de boîte de vitesses	116
Tableau 2 – Facteurs de sécurité minimaux pour la résistance à la formation de piquûres et la résistance à la flexion	127
Tableau 3 – Facteur de charge d'engrènement pour les étages planétaires	130
Tableau 4 – Exactitude exigée pour les engrenages	133
Tableau 5 – Différences types de température pour le calcul du jeu en fonctionnement	141
Tableau 6 – Température du lubrifiant de palier pour le calcul du rapport de viscosité	143
Tableau 7 – Valeurs indicatives pour la pression de contact maximale	146
Tableau 8 – Risques associés aux paliers lisses liés aux conditions de fonctionnement	148
Tableau 9 – Facteurs de sécurité minimaux	153
Tableau 10 – Catégorisation des modes de défaillance	164
Tableau 11 – Matrice de vérification et de validation	168
Tableau A.1 – Informations d'analyse aux interfaces dans le cas de trains d'entraînement non intégrés	184
Tableau A.2 – Informations d'analyse aux interfaces dans le cas d'un train d'entraînement intégré	185
Tableau A.3 – Données d'ingénierie et descriptions des charges de conception	185
Tableau A.4 – Exemple de matrice rainflow	186
Tableau A.5 – Exemple de matrice de charges extrêmes	188

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

SYSTÈMES DE GÉNÉRATION D'ÉNERGIE ÉOLIENNE –

Partie 4: Exigences de conception des boîtes de vitesses des éoliennes

AVANT-PROPOS

- 1) L'ISO (Organisation internationale de normalisation) et l'IEC (Commission électrotechnique internationale) forment le système spécialisé de la normalisation mondiale. Les organismes nationaux membres de l'ISO ou de l'IEC participent au développement de Normes internationales par l'intermédiaire des comités techniques créés par l'organisation concernée afin de s'occuper des domaines particuliers de l'activité technique. Les comités techniques de l'ISO et de l'IEC collaborent dans des domaines d'intérêt commun. D'autres organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO et l'IEC, participent également aux travaux.
- 2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC et l'ISO concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC et de l'ISO intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents de l'IEC et de l'ISO se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréés comme telles par les Comités nationaux de l'IEC et de l'ISO. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC et l'ISO s'assurent de l'exactitude du contenu technique de leurs documents; l'IEC et l'ISO ne peuvent pas être tenues responsables de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC et de l'ISO s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les documents de l'IEC et de l'ISO dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre tous documents de l'IEC et de l'ISO et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC et l'ISO eux-mêmes ne fournissent aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC et de l'ISO. L'IEC et l'ISO ne sont responsables d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de ce document.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC et à l'ISO, à leurs administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris leurs experts particuliers et les membres de leurs comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC et de l'ISO, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de ce document de l'IEC/ l'ISO ou de toute autre document de l'IEC et de l'ISO, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans ce document. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte du présent document.
- 9) L'ISO et l'IEC attirent l'attention sur le fait que la mise en application du présent document peut entraîner l'utilisation d'un ou de plusieurs brevets. L'ISO et l'IEC ne prennent pas position quant à la preuve, à la validité et à l'applicabilité de tout droit de propriété revendiqué à cet égard. À la date de publication du présent document, l'ISO et l'IEC n'avaient pas reçu notification qu'un ou plusieurs brevets pouvaient être nécessaires à sa mise en application. Toutefois, il y a lieu d'avertir les responsables de la mise en application du présent document que des informations plus récentes sont susceptibles de figurer dans la base de données de brevets, disponible à l'adresse <https://patents.iec.ch> et www.iso.org/patents. L'ISO et l'IEC ne sauraient être tenues pour responsables de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets.

L'IEC 61400-4 a été établie par le comité d'études 88 de l'IEC: Systèmes de génération d'énergie éolienne, en coopération avec le comité technique 60 de l'ISO: Engrenages. Il s'agit d'une Norme internationale.

Elle est publiée comme norme double logo.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 2012. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente: