

Annex A (informative)

Analyse des défaillances — Illustration des détériorations — Termes

A.1 Analyse des défaillances

A.1.1 Établissement de preuves avant et après le démontage

En cas de dépose d'un roulement d'une machine en raison d'une panne, il convient de classer la cause de la défaillance ainsi que les remèdes permettant d'éviter l'occurrence d'autres défaillances futures. Pour obtenir une fiabilité maximale des résultats, il est utile de suivre une méthode systématique lors de l'établissement de preuves et de l'inspection du roulement. La matrice donnée dans le Tableau A.1 montre la corrélation la plus probable entre les signes caractéristiques visuels des défaillances les plus fréquentes et leurs causes possibles.

L'examen des roulements requiert généralement d'effectuer les opérations suivantes:

- obtenir les paramètres de fonctionnement, analyser les enregistrements et les diagrammes des dispositifs de surveillance des roulements;
- prélever des échantillons de lubrifiant afin de déterminer les conditions de lubrification;
- examiner les influences externes dues à l'environnement du roulement, y compris les problèmes d'équipement;
- évaluer le roulement monté;
- repérer la position de montage;
- déposer le roulement et ses composants;
- marquer le roulement et ses composants;
- vérifier les portées du roulement;
- évaluer le roulement;
- examiner individuellement le roulement et ses composants;
- consulter les experts ou envoyer les roulements aux experts¹⁾, accompagnés des résultats complets des éléments de vérification ci-dessus et selon les besoins.

Des facteurs importants nécessaires à l'identification des causes de la défaillance peuvent se perdre, si la procédure choisie n'est pas correctement suivie.

A.1.2 Traces de contact

A.1.2.1 Généralités

L'interprétation des traces de contact, et plus particulièrement des traces de fonctionnement sur les chemins de roulement pour des applications données est très importante pour l'analyse d'une défaillance. Les types de charges, les jeux de fonctionnement et les défauts d'alignement éventuels peuvent être clairement mis en évidence. Les illustrations suivantes présentent les traces de fonctionnement typiques sur des chemins de roulement pour les applications et les roulements les plus communs.

1) Dans ce cas, il convient de conserver le roulement défectueux en l'état.

Tableau A.1 — Matrice d'identification des défauts

Causes possibles		Traits caractéristiques des défauts																					
		Usure							Fatigue	Corrosion	Ruptures		Déformation		Fissurations								
		Usure accrue	Traces	Strie	Grippage, usure par frottement	Rayures, éraflures	Cannelures, usure ondulatoire	Marques de broutage	Température de fonctionnement excessive	Piqûres	Écaillage naissant, écaillage avancé	Corrosion généralisée (rouille)	Corrosion de contact (rouille)	Cratères d'origine électrique, cannelures	Rupture, dissociation	Ruptures au niveau de la cage	Écaillage local, ébrèchement	Déformations	Indentations	Marques	Fissures thermiques	Fissures de tremp (tapures)	Fissures dues à une rectification inadéquate
Lubrifiant	Manque de lubrifiant	•			•	•			•	•	•				•						•		
	Excès de lubrifiant								•														
	Viscosité incorrecte	•			•	•			•	•	•				•						•		
	Qualité inappropriée	•			•	•			•	•	•	•									•		
	Contamination	•	•	•						•	•	•						•					
Conditions de fonctionnement	Vitesse excessive	•			•	•			•	•	•				•		•						
	Charge excessive	•			•				•	•	•			•			•	•			•		
	Variation fréquente des charges	•		•	•	•				•	•				•								
	Vibrations	•			•	•				•	•	•		•	•								
	Passage de courant électrique									•	•		•										
Montage	Isolation électrique défectueuse								•	•		•											
	Montage incorrect					•				•				•	•	•	•	•	•				
	Chauffage incorrect																				•		
	Défaut d'alignement	•								•	•										•		
	Précharge indésirable	•	•							•	•	•			•	•		•			•		
	Choc	•	•												•								
	Fixation inadéquate	•	•		•					•	•				•		•	•			•		
	Surface d'appui inégale	•	•							•	•		•		•								
Ajustement incorrect	•	•							•	•	•		•		•		•			•			
Conception	Choix de roulement inapproprié				•	•			•			•		•	•	•							
	Composants adjacents mal adaptés				•	•			•			•		•	•	•							
Manutention	Stockage inadéquat										•												
	Vibrations subies en cours de transport					•		•				•							•	•			
Fabrication	Traitement thermique incorrect	•							•	•	•											•	
	Rectification incorrecte																						•
	Fini de surface inadéquat	•	•							•	•												
	Composant d'application imprécis	•	•							•	•	•			•		•						
Matériau	Défauts de structure									•	•			•									
	Combinaison de matériaux incompatibles	•			•	•			•								•						

A.1.2.2 Roulements radiaux

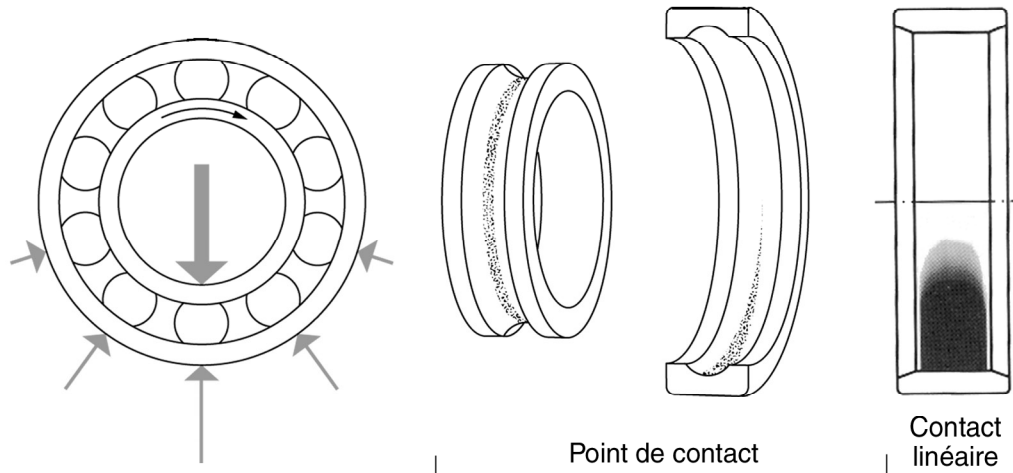


Figure A.1 — Charge radiale unidirectionnelle — Bague intérieure tournante — Bague extérieure fixe

Bague intérieure: Trace de fonctionnement uniforme en largeur, située au milieu du chemin de roulement et s'étendant sur toute la circonférence de celui-ci.

Bague extérieure: Trace de fonctionnement plus large dans le sens de la charge, avec une largeur plus réduite en direction des extrémités et située au milieu du chemin de roulement. Avec des ajustements normaux et un jeu interne normal, la trace de fonctionnement s'étend sur moins de la moitié de la circonférence du chemin de roulement.

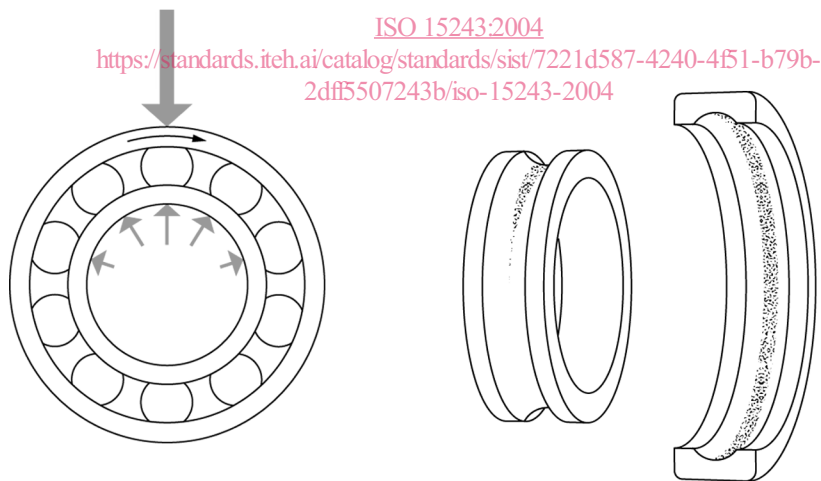


Figure A.2 — Charge radiale unidirectionnelle — Bague intérieure fixe — Bague extérieure tournante

Bague intérieure: Trace de fonctionnement plus large dans le sens de la charge, avec une largeur plus réduite en direction des extrémités, et située au milieu du chemin de roulement. Avec des ajustements normaux et un jeu interne normal, la trace de fonctionnement s'étend sur moins de la moitié de la circonférence du chemin de roulement.

Bague extérieure: Trace de fonctionnement uniforme en largeur, située au milieu du chemin de roulement et s'étendant sur toute la circonférence de celui-ci.

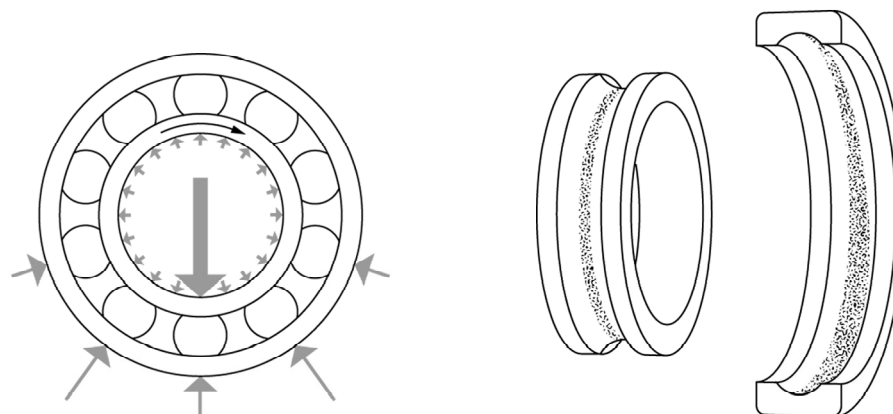


Figure A.3 — Précharge radiale avec charge radiale unidirectionnelle — Bague intérieure tournante — Bague extérieure fixe

Bague intérieure: Trace de fonctionnement uniforme en largeur, située au milieu du chemin de roulement et s'étendant sur toute la circonférence de celui-ci.

Bague extérieure: Trace de fonctionnement située au milieu du chemin de roulement et pouvant ou non s'étendre sur toute la circonférence de celui-ci. La trace de fonctionnement est plus large dans le sens de la charge radiale.

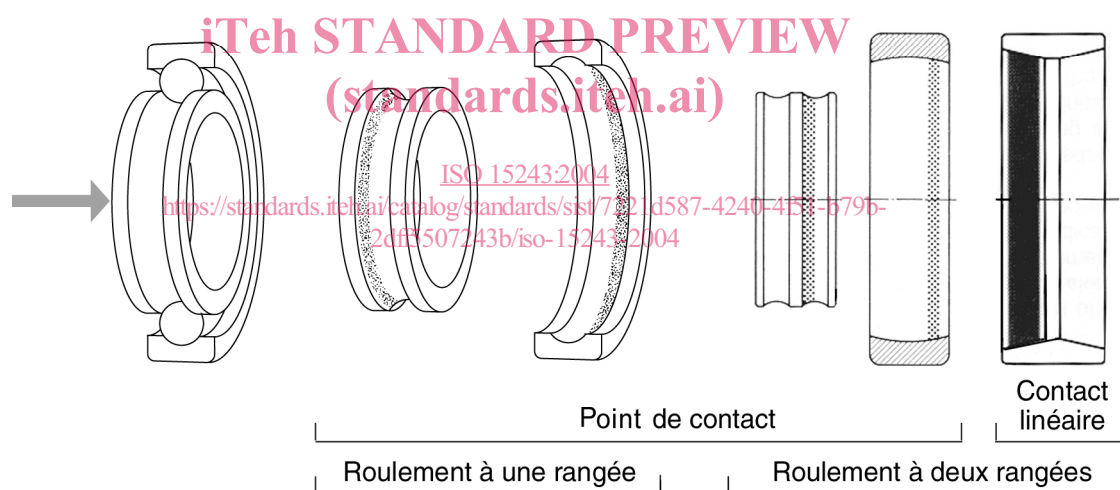


Figure A.4 — Charge axiale unidirectionnelle — Bague intérieure et/ou extérieure tournante

Bagues intérieure et extérieure: Trace de fonctionnement uniforme en largeur, axialement décalée et s'étendant sur toute la circonférence des chemins de roulement des deux bagues.

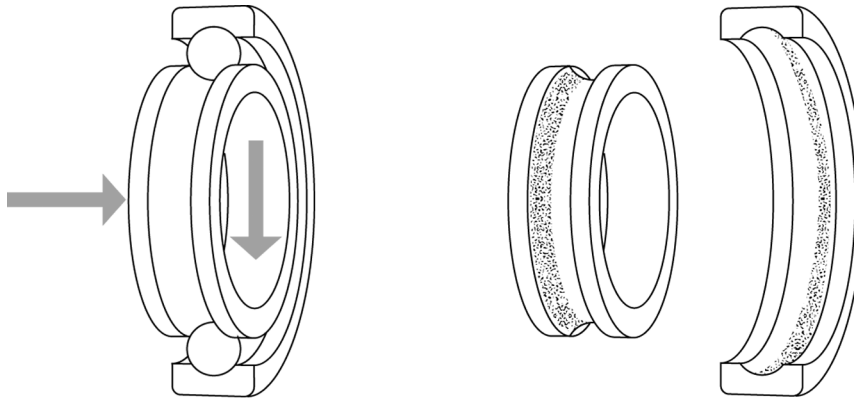


Figure A.5 — Combinaison de charges unidirectionnelles radiale et axiale — Bague intérieure tournante — Bague extérieure fixe

Bague intérieure: Trace de fonctionnement uniforme en largeur, s'étendant sur toute la circonférence du chemin de roulement et axialement décalée.

Bague extérieure: Trace de fonctionnement axialement décalée et pouvant ou non s'étendre sur toute la circonférence du chemin de roulement. La trace de fonctionnement est plus large dans le sens de la charge radiale.

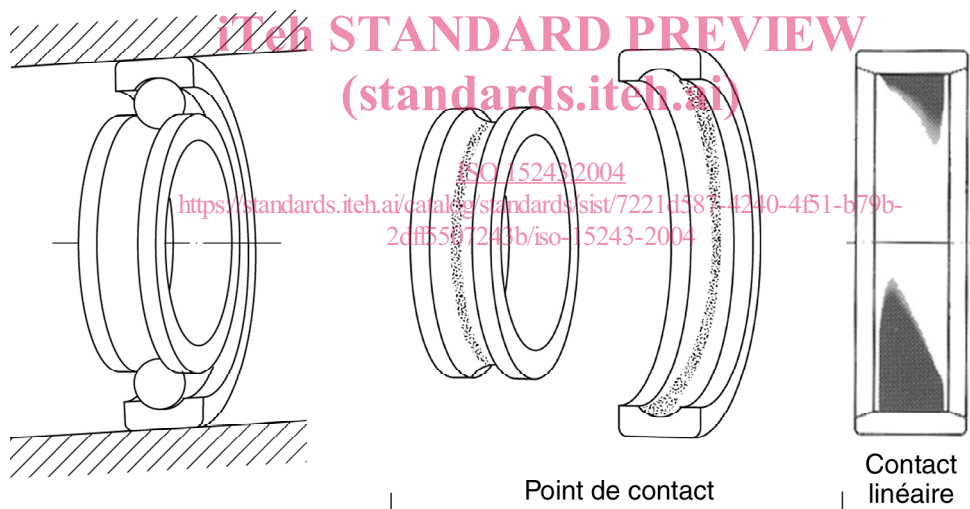
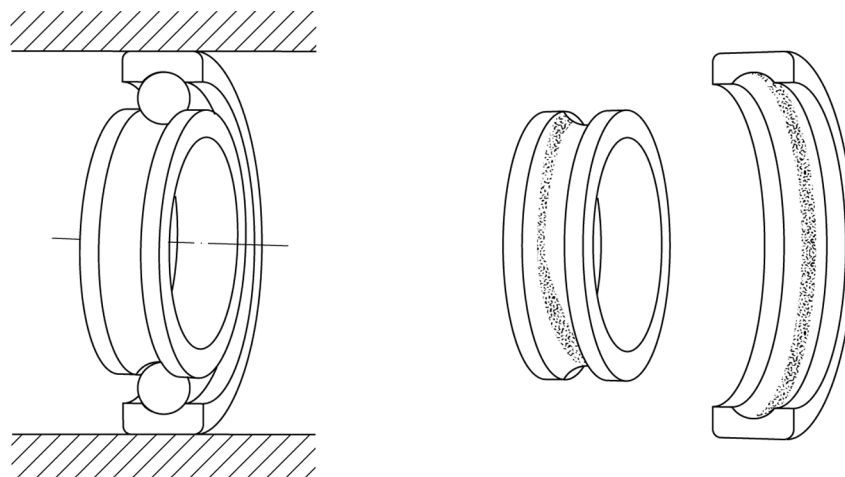


Figure A.6 — Défaut d'alignement de la bague extérieure dans le logement — Bague intérieure tournante – Bague extérieure fixe

Bague intérieure: Trace de fonctionnement uniforme en largeur, plus large qu'à la Figure A.1, située au milieu du chemin de roulement et s'étendant sur toute la circonférence de celui-ci.

Bague extérieure: Trace de fonctionnement variant en largeur dans deux sections diamétralement opposées et diagonalement décalées l'une par rapport à l'autre.



**Figure A.7 — Défaut d'alignement de la bague intérieure sur l'arbre —
Bague intérieure tournante — Bague extérieure fixe**

Bague intérieure: Trace de fonctionnement variant en largeur dans deux sections diamétralement opposées et diagonalement décalées l'une par rapport à l'autre.

Bague extérieure: Trace de fonctionnement uniforme en largeur, plus large qu'à la Figure A.2, située au milieu du chemin de roulement et s'étendant sur toute la circonférence de celui-ci.

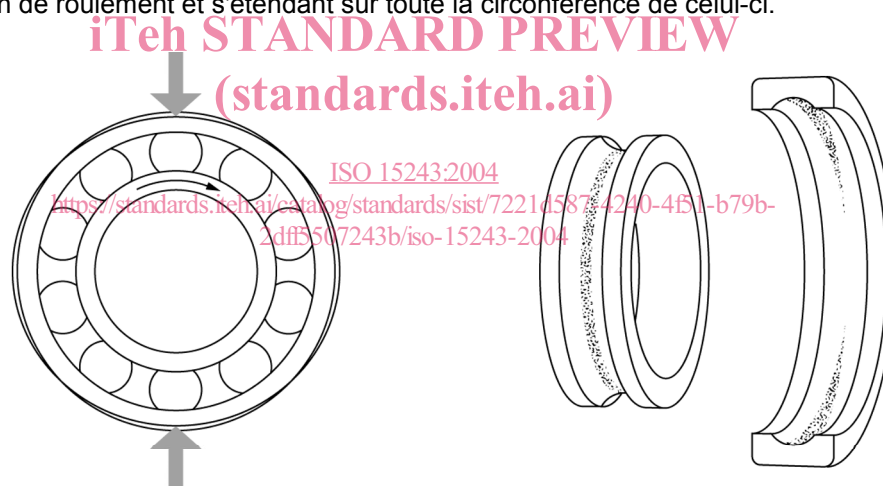


Figure A.8 — Ovalisation de la bague extérieure — Bague intérieure tournante — Bague extérieure fixe

Bague intérieure: Trace de fonctionnement uniforme en largeur, située au milieu du chemin de roulement et s'étendant sur toute la circonférence de celui-ci.

Bague extérieure: Trace de fonctionnement plus large au niveau de l'ovalisation et située dans deux sections diamétralement opposées du chemin de roulement. La longueur de la trace dépend de l'amplitude de l'ovalisation et du jeu radial interne initial du roulement.

A.1.2.3 Butées

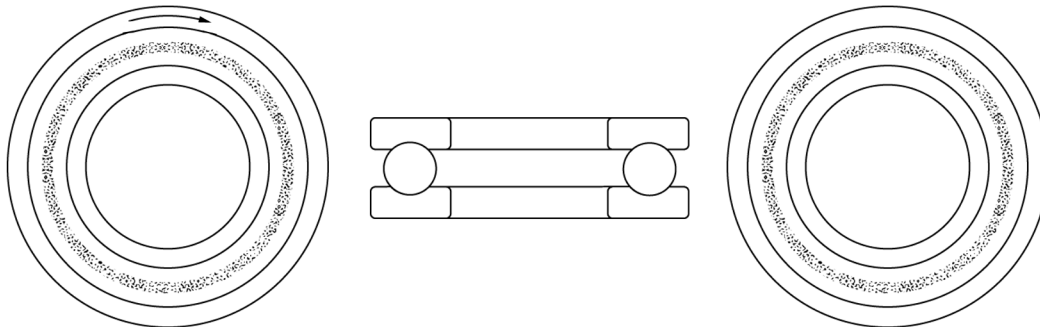


Figure A.9 — Charge axiale unidirectionnelle — Rondelle arbre tournante — Rondelle logement fixe

Rondelles arbre et logement: Trace de fonctionnement uniforme en largeur, située au milieu des chemins de roulement et s'étendant sur toute la circonférence des chemins de roulement.

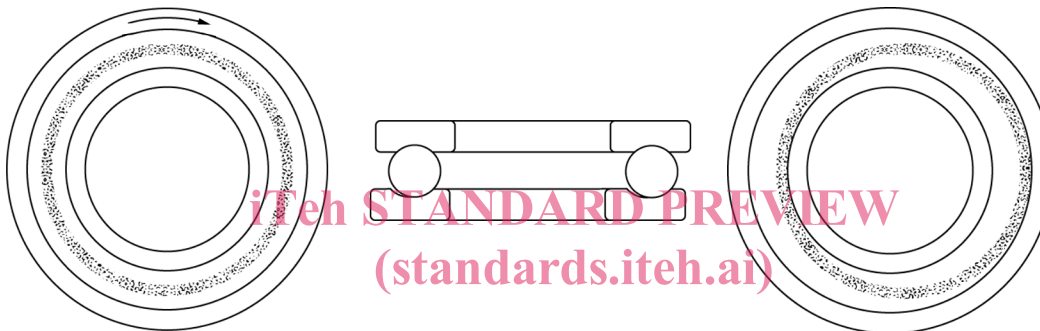


Figure A.10 — Charge axiale unidirectionnelle sur rondelle logement excentrée par rapport à la rondelle arbre — Rondelle arbre tournante — Rondelle logement fixe

Rondelle arbre: Trace de fonctionnement uniforme en largeur, plus large qu'à la Figure A.9, située au milieu du chemin de roulement et s'étendant sur toute la circonférence de celui-ci.

Rondelle logement: Trace de fonctionnement variant en largeur, s'étendant sur toute la circonférence du chemin de roulement et décentrée par rapport au chemin de roulement.

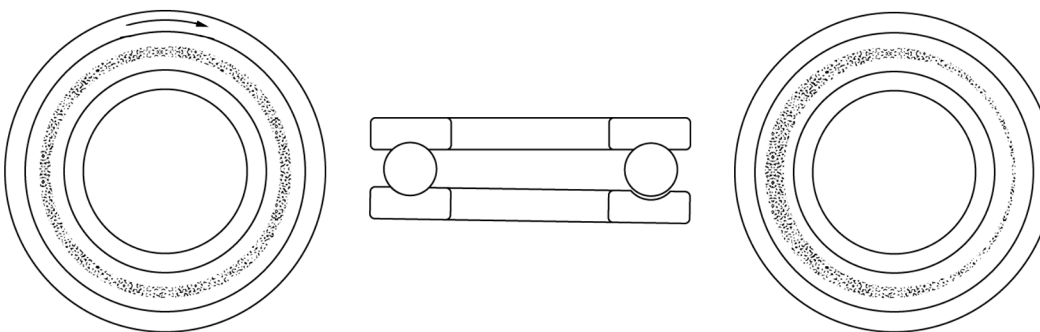


Figure A.11 — Défaut d'alignement de la rondelle logement — Rondelle arbre tournante — Rondelle logement fixe

Rondelle arbre: Trace de fonctionnement uniforme en largeur, située au milieu du chemin de roulement et s'étendant sur toute la circonférence de celui-ci.

Rondelle logement: Trace de fonctionnement au milieu du chemin de roulement, mais variant en largeur et pouvant ou non s'étendre sur toute la circonférence du chemin de roulement.

A.2 Catalogue illustré des défaillances — Causes de la défaillance et remèdes

A.2.1 Généralités

Chaque défaillance de roulement est imputable à une cause primaire souvent occultée, dans la pratique, par les détériorations occasionnées postérieurement.

L'ordre des illustrations suivantes suit le modèle de classification des modes de défaillance donné à la Figure 1. La classification des défaillances est fondée sur l'aspect observé.

Chaque illustration est accompagnée d'une explication concernant la défaillance dans le cadre d'un paragraphe portant le titre «Cause de la défaillance». Cette explication peut inclure une description de la défaillance, une indication de la cause probable (primaire) de la défaillance et un commentaire.

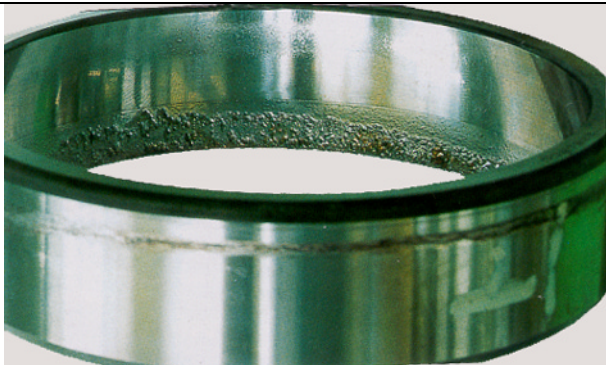
Pour chaque illustration et afin d'éviter l'occurrence des défaillances, des remèdes ou mesures correctives sont également proposés dans le paragraphe portant le titre «Remèdes».

A.2.2 Fatigue

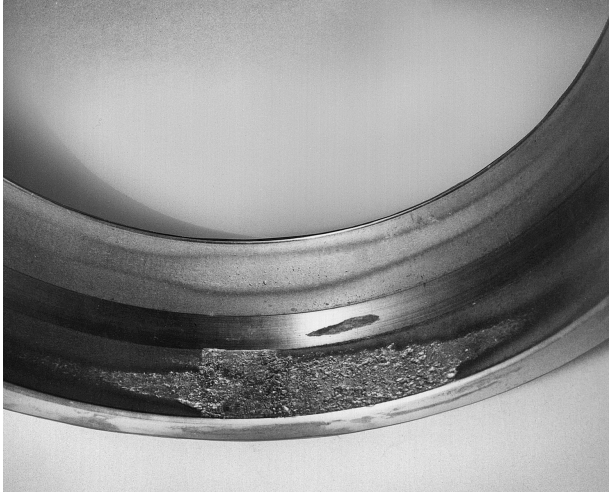
A.2.2.1 Écaillage

<p>Cause de la défaillance Fatigue initiée en sous-couche. L'accumulation de cycles alternés de chargement conduit à des changements de structure et à la formation de fissures initiées dans la zone chargée.</p> <p>Remède Utiliser un roulement à capacité de charge plus élevée, lorsqu'une durée de vie plus longue est requise</p>	
--	---

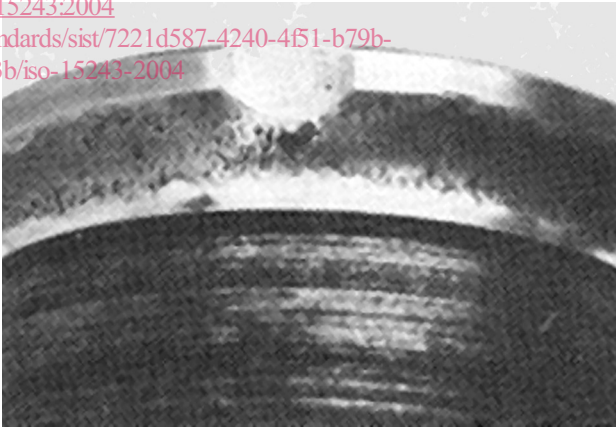
A.2.2.2 Écaillage au niveau d'un seul chemin de roulement d'un roulement à rotule sur rouleaux

<p>Cause de la défaillance Charge axiale excessive sur un roulement à rotule sur rouleaux, à l'origine d'une fatigue prématurée et d'un écaillage sur toute la circonférence de l'un des chemins de roulement.</p> <p>Remède Le cas échéant, choisir un roulement d'une capacité de charge axiale plus élevée. Mesurer la charge axiale appliquée sur le roulement.</p>	
---	--


A.2.2.3 Fatigue du chemin de roulement au niveau de deux sections diamétralement opposées

<p>Cause de la défaillance L'écaillage au niveau de la bague extérieure d'un roulement à rotule sur rouleaux était dû à l'ovalité du logement. Des détériorations similaires peuvent se produire lorsque des logements en deux parties sont incorrectement assemblés ou en cas de corps étrangers incrustés dans la portée du logement.</p> <p>Remède Vérifier la précision géométrique des pièces adjacentes et les améliorer, le cas échéant. Assembler correctement les logements en deux parties. Veiller à assurer une propreté maximale pendant le montage.</p> <p>NOTE La trace de fonctionnement sur les chemins de roulement donne une indication sur un défaut éventuel de circularité de la bague extérieure ou intérieure.</p>	
--	--


A.2.2.4 Écaillage naissant (écaillage avancé) initialisé au niveau de l'encoche de remplissage, par exemple sur un roulement à deux rangées de billes à contact oblique

<p>Cause de la défaillance Choix inapproprié du roulement; montage défectueux; charge axiale orientée vers l'encoche de remplissage.</p> <p>Remède Dans le cas des roulements à deux rangées disposant d'encoches de remplissage sur une seule rangée, tenir compte de la direction de la charge axiale en fonctionnement lors du montage du roulement. Dans le cas de charges axiales alternées, utiliser un roulement sans encoche de remplissage ou, au moins, appliquer seulement de faibles charges axiales dans la direction de l'encoche de remplissage.</p> <p>Pour les roulements à une rangée avec encoches de remplissage, il convient de maintenir les charges axiales à un niveau relativement bas par rapport à la charge radiale.</p>	<p style="text-align: center;">(standards.iteh.ai)</p> <p style="text-align: center;">ISO 15243:2004 https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/7221d587-4240-4f51-b79b-2dff5507243b/iso-15243-2004</p> 
--	---

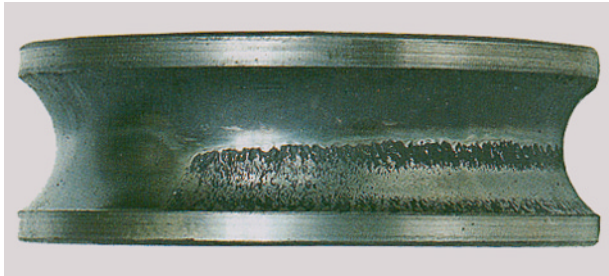
A.2.2.5 Écaillage naissant (écaillage avancé) du chemin de roulement à intervalles correspondant au pas des éléments roulants

<p>Cause de la défaillance Montage défectueux et/ou manutention incorrecte à l'origine d'indentations sur le chemin de roulement correspondant au pas des éléments roulants. L'écaillage est ensuite provoqué par le passage répété des éléments roulants sur les indentations.</p> <p>Remède Monter correctement le roulement en utilisant un outillage approprié. Ne pas transmettre des efforts de montage à travers les éléments roulants. Dans le cas de roulements à rouleaux cylindriques, si possible, tourner l'arbre lentement lors du montage.</p>	
---	--

A.2.2.6 Trace de fonctionnement sur toute la circonférence du chemin de roulement d'une bague extérieure fixe d'un roulement à rotule sur billes, avec bague intérieure tournante

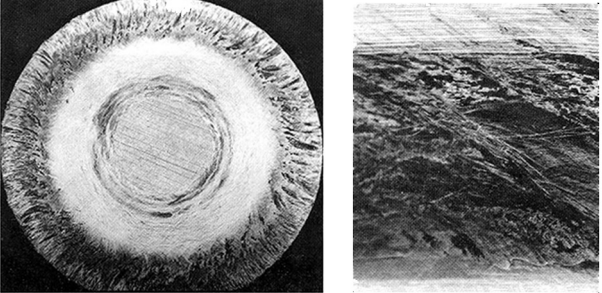
<p>Cause de la défaillance Différence de température trop importante entre l'arbre et le logement; pièces adjacentes hors tolérances; jeu interne du roulement mal adapté.</p> <p>Remède Vérifier les dimensions de l'arbre et du logement. Vérifier l'influence de la température sur le jeu du roulement. Choisir un roulement avec un jeu approprié. Lorsque la bague intérieure est montée sur une portée conique, choisir une cote d'enfoncement appropriée.</p>	
---	---

A.2.2.7 Trace d'écaillage oblique sur chemin de roulement d'une bague intérieure

<p>Cause de la défaillance Défaut d'alignement en fonctionnement; flexion de l'arbre; faux équerrage des faces d'appui.</p> <p>Remède S'assurer que l'équipement est adapté au type de roulement. Éliminer le défaut d'alignement ou choisir un type de roulement approprié autorisant le défaut d'alignement. Réduire la flexion de l'arbre. Vérifier l'équerrage des faces d'appui.</p>	
---	--

A.2.3 Usure

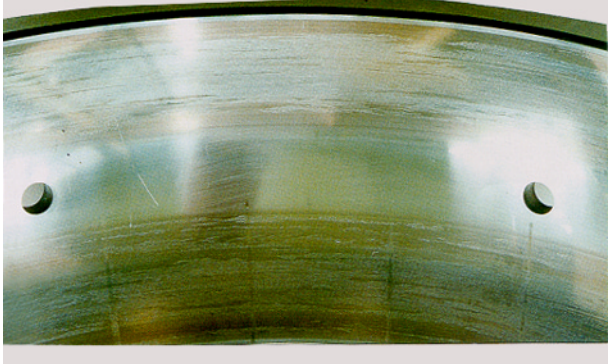
A.2.3.1 Usure (par adhésion) sur la face d'un rouleau

<p>Cause de la défaillance Charge axiale trop élevée appliquée sur le rouleau et/ou lubrification inadéquate à l'origine de l'usure par adhésion se manifestant sous la forme d'un grippage important sur la face du rouleau. Un grossissement du phénomène de grippage est présenté. (Un grippage moins marqué sur la face du rouleau est présenté à la Figure 9.)</p> <p>Remède Améliorer la lubrification. Utiliser un type de roulement plus adapté eu égard à la charge et aux conditions de lubrification au niveau du contact face rouleau/d'épaulement.</p>	
---	--

A.2.3.2 Usure (par abrasion) sur roulement à rouleaux coniques

<p>Cause de la défaillance Lubrifiant contaminé à l'origine de l'usure des surfaces de contact du roulement, laquelle apparaît clairement sur les faces des rouleaux.</p> <p>Remède Améliorer la propreté du système.</p>	
---	---

A.2.3.3 Grippage sur les chemins de roulement

<p>Cause de la défaillance Mauvaise conception et mauvais fonctionnement. Grippage (patinage) entre les éléments roulants et les chemins d'un roulement soumis à une faible charge en rotation ou à une trop forte inertie de l'ensemble billes/rouleaux (fortes accélérations), ou dû à des vibrations (sans charge). L'apparition de grippage (patinage) est un signe de lubrification inadaptée ou de l'existence d'un problème d'ordre dynamique au niveau de l'arbre.</p> <p>Remède Revoir le choix du roulement (réduire sa dimension). Lorsque des essais sont réalisés sans charges extérieures, suivre les procédures de rodage. Choisir un lubrifiant adapté (viscosité, composition, additifs). Amortir les vibrations</p>	
---	--