

1. QU'EST-CE QUE LA RUGOSITÉ ?

La plupart des discussions sur la qualité de l'état de surface tournent autour de la mesure de la rugosité, bien que de nombreux experts préfèrent utiliser le terme de "texture de surface". Il existe plusieurs définitions de la rugosité. Celles que nous utilisons ci-après sont les plus couramment utilisées, et définies dans la norme ISO 4287 (les définitions principales sont précisées dans la note de bas de page).

La figure 1 représente le profil d'une surface sur une longueur de mesure l , obtenu après filtrage passe-haut du profil primaire. Sur cette figure sont indiquées les dimensions utilisées dans ce document.

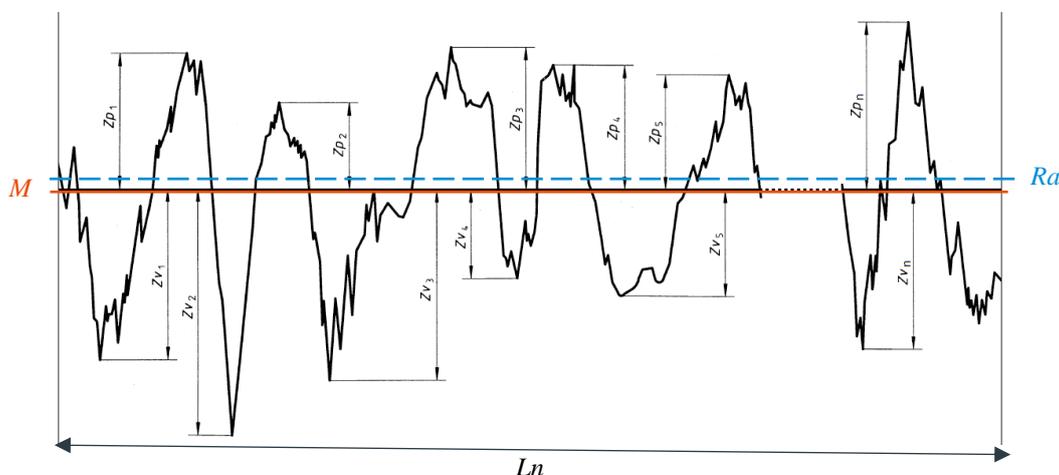


Figure 1 – Profil de surface et détermination des ordonnées [SOURCE : NF EN ISO 4287: 1998]

La rugosité Ra est la mesure de rugosité la plus courante pour les collecteurs et les bagues collectrices, elle est exprimée en microns (μm) ; elle est complétée par le nombre de pics RPc , en pics par cm.

Ces deux mesures sont effectuées à l'aide d'un rugosimètre. Tous les équipements modernes sont conformes aux normes ISO 4287 et ISO 3274 et donnent simultanément, après la mesure du profil, toutes les valeurs spécifiques de rugosité.

Le rugosimètre et son réglage doivent être choisis en fonction de la gamme des valeurs mesurées, en particulier en ce qui concerne la coupure (cut-off) à utiliser pour la détermination du profil de rugosité. Les réglages sont définis et expliqués dans la norme ISO 4288.

NOTE : DÉFINITIONS DE LA RUGOSITÉ

Comme représenté sur la figure 1, la ligne M est la ligne moyenne, déterminée de telle sorte que la somme des aires des pics entre le profil et ladite ligne moyenne au-dessus et au-dessous de M soit égale.

La valeur d'ordonnée $Z(x)$ pour chaque pic d'abscisse x est la distance de la ligne moyenne M au pic (sur la figure 1, p correspond aux saillies et v aux creux).

Ra

C'est la Moyenne arithmétique des valeurs absolues des ordonnées $Z(x)$ du profil à l'intérieur d'une longueur de base Ln . Elle est calculée à partir de la formule suivante :

$$Ra = \frac{1}{L} \times \int_0^{Ln} |Z(x)| dx$$

RPc

Le nombre de pics RPc correspond au nombre des éléments de profil qui dépassent une ligne prédéterminée dans une longueur de référence (généralement en cm). L'élément de profil est défini par une saillie et un creux consécutif. L'évaluation consiste ainsi à dénombrer le nombre d'éléments dépassant la ligne d'intersection supérieure (C1) et la ligne d'intersection inférieure (C2).

2. EFFETS DE LA RUGOSITÉ SUR LE FONCTIONNEMENT

La rugosité du collecteur / de la bague va à la fois **conditionner la formation de la patine** (voir *TDS-01*) **et assurer une bonne transmission du courant**, donc le comportement en fonctionnement du balai.

Pas trop poli...

On pense souvent à tort qu'après rectification, la surface doit être aussi brillante que possible. Sur des collecteurs polis miroir, le frottement est plus important, surtout au début, et instable. Cette différence de performance est due à deux causes qui sont en partie liées :

- Lorsque la surface de frottement tend vers la perfection (absence de défauts, comme sur une plaque de verre), les forces de frottement deviennent beaucoup plus importantes et irrégulières. Ce phénomène est également appelé effet "slip-stick".
- Le graphite, l'un des constituants essentiels de la pellicule et issu des balais, est en quantité insuffisante et n'adhère pas fermement à la surface métallique du collecteur/bague collectrice.

Ces deux phénomènes vont provoquer des vibrations et des échauffements.

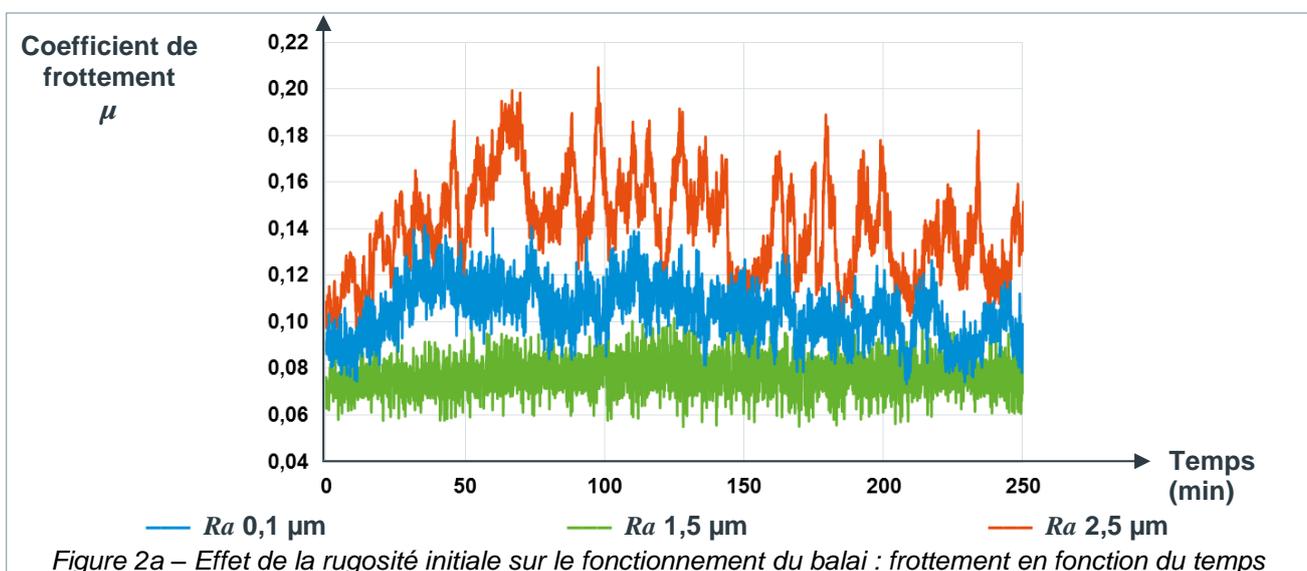
De plus, un profil à faible rugosité présentera généralement un petit nombre de pics, autrement dit un RP_c faible, ce qui réduit le nombre de points de contact pour le passage du courant. Cela génère un échauffement supplémentaire (voir aussi *TDS-05* sur les pertes aux balais) et éventuellement des étincelles, avec des traces de brûlure (voir figure 2).

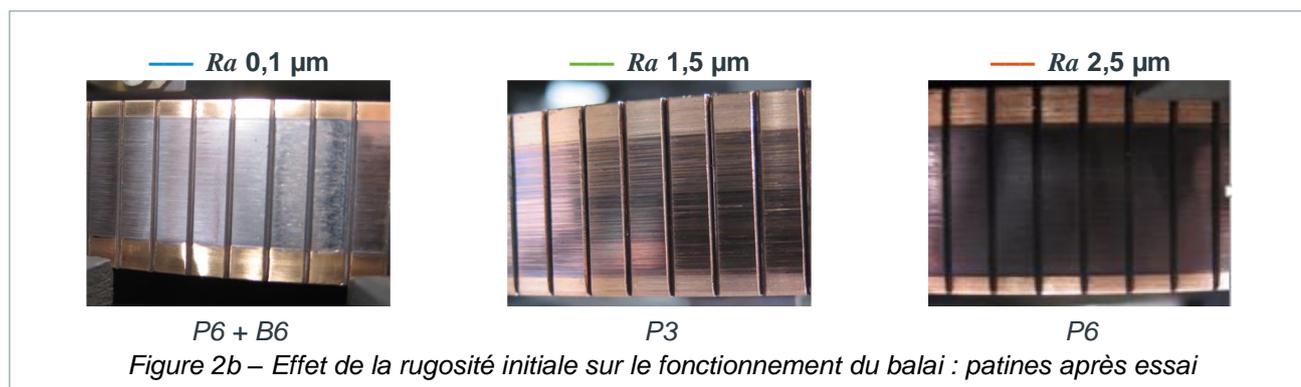
Ces inconvénients n'apparaissent pas sur les collecteurs non polis qui sont légèrement rugueux : la patine se forme normalement et les balais établissent rapidement un état stable.

Mais pas trop rugueux !

En revanche, si la surface est trop rugueuse, le collecteur se comporte un peu comme une meule. Il en résulte une usure excessive des balais, donc un dégagement de poussière plus important, ainsi qu'un frottement élevé et instable, ce qui génère un échauffement au contact. En général, sur une durée de fonctionnement longue, le frottement finit par atteindre un état stable et un niveau équivalent à celui d'une rugosité correcte.

Experimental study





La figure 2a représente l'évolution du coefficient de frottement dans le temps à partir d'une rugosité initiale faible (orange), élevée (bleu) ou correcte (vert). La figure 2b montre l'aspect de la patine à la fin de l'essai. L'essai a été réalisé sur une bague de cuivre avec des segments, sans commutation, et des balais en électrographite (procédure dérivée de la norme IEC 60773).

- Avec $Ra \approx 0,1 \mu\text{m}$:

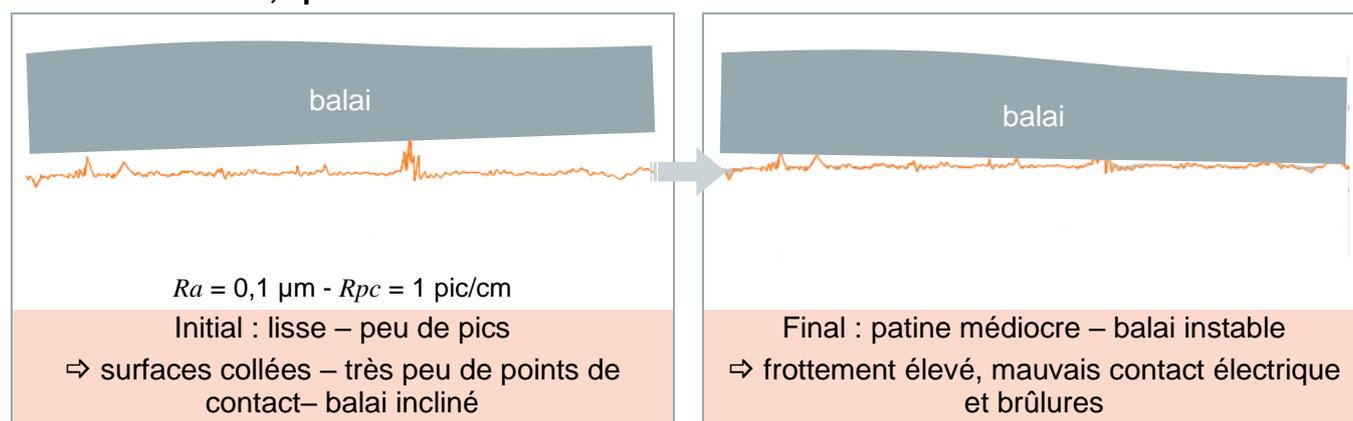


Figure 3a – Profil compromettant la formation de la patine et entraînant un dysfonctionnement (vibrations, brûlures...)

Les surfaces de l'élément rotatif et du balai sont très lisses, de telle sorte qu'elles adhèrent l'une à l'autre. Le frottement est élevé et instable au début (voir la courbe orange de la figure 2). Le courant passe par peu de points de contact.

Le balai a tendance à tourner dans sa cage et à frotter sur un seul point de contact, ce qui entraîne un échauffement local, avec un risque élevé d'étincelle, et donc de brûlure.

Avec le temps, la surface reste lisse et la brûlure devient visible, comme on peut le voir sur la photo du collecteur.

- Avec $Ra \approx 2,5 \mu\text{m}$:

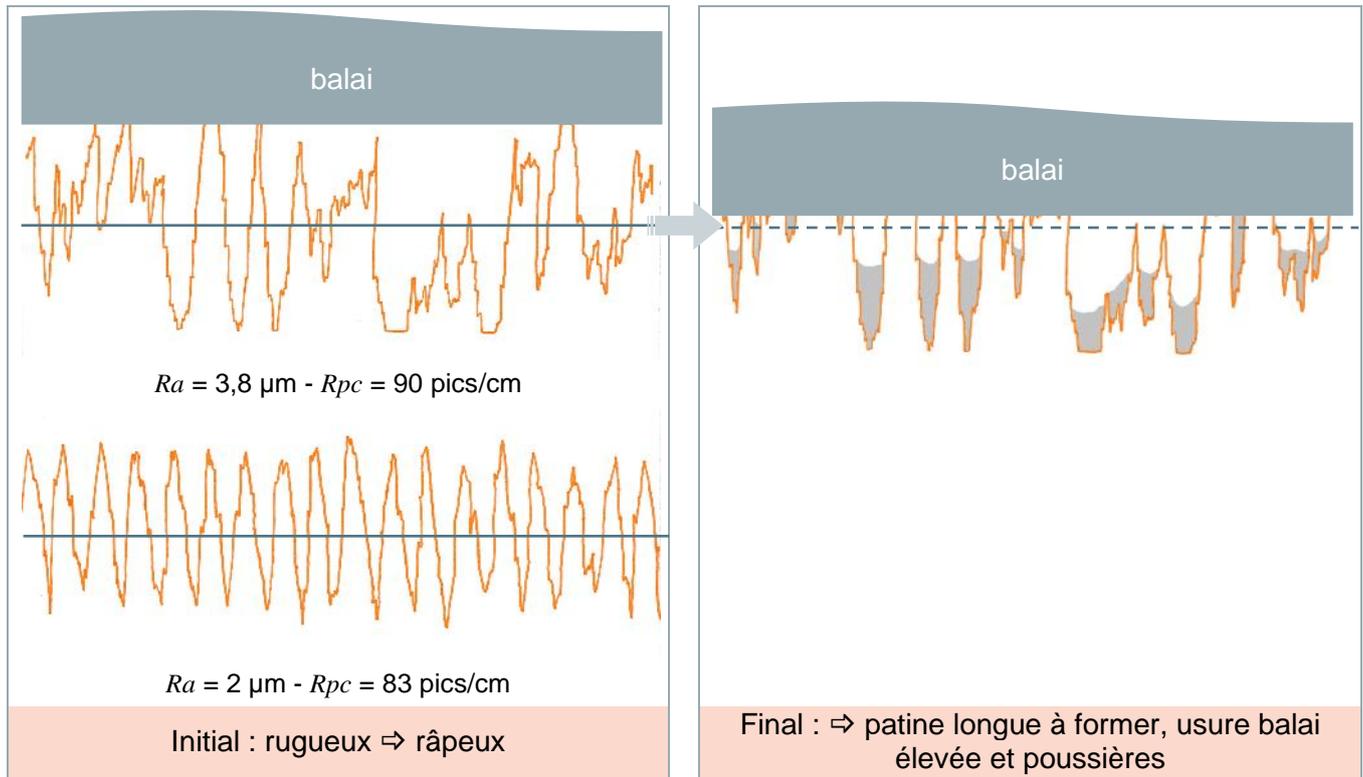


Figure 3b – Profils conduisant à un long temps nécessaire à la formation d'une patine appropriée et à une forte usure des balais

Ce profil initial est caractérisé par des pics pointus et hauts qui vont rayer la surface du balai (les pics sont d'ailleurs en dehors de l'échelle du rugosimètre). Le frottement est assez élevé (voir la courbe bleue sur la figure 2). Comme les creux sont également profonds, la patine met beaucoup de temps à se former. Avec le temps, la poussière de balai devient importante, elle peut être dispersée dans le compartiment balai, et finalement le frottement se stabilise.

Un cas particulier est illustré par le profil du bas, lorsque la surface n'a pas été rectifiée après l'usinage.

- Avec $Ra = 1,5 \mu\text{m}$:

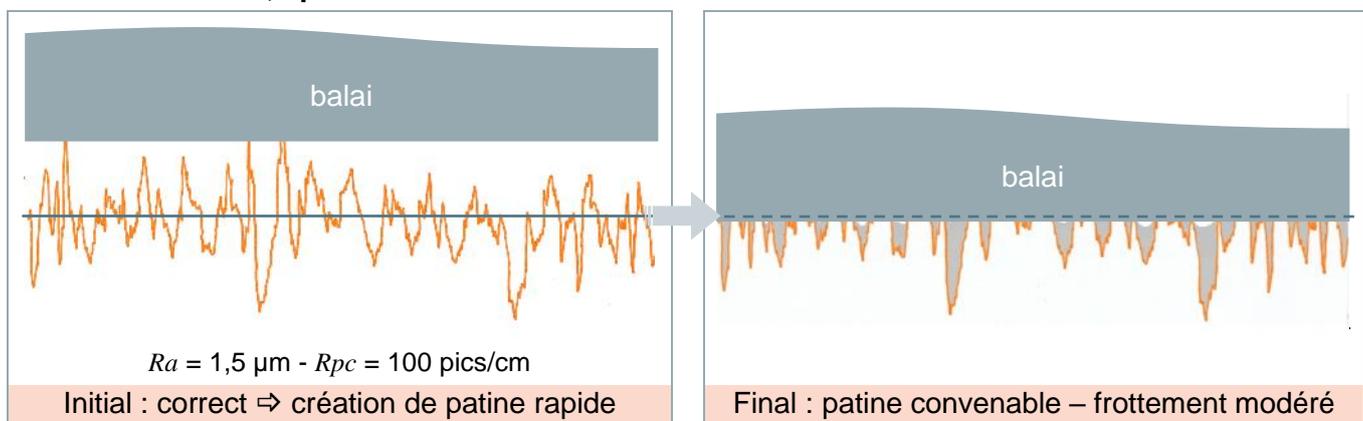


Figure 3c – Profil conduisant à un comportement optimal des balais dans un temps assez court

Avec un nombre élevé de pics et une valeur correcte de la hauteur des pics, la patine se formera très rapidement. On peut voir sur la courbe verte de la figure 2 qu'un état initial correct, non poli mais pas trop rugueux, fournira presque immédiatement un frottement stabilisé.

PROPRIÉTÉ MERSEN

3. VALEURS DE RUGOSITÉ RECOMMANDÉES

Plages recommandées

Des considérations ci-dessus, il ressort que la rugosité des collecteurs et des bagues doit être limitée.

Pour une machine neuve ou remise à neuf, d'après notre expérience, nous recommandons une rugosité Ra comprise entre :

- **0,9 et 2,0 μm pour les collecteurs de machines industrielles,**
- **0,5 et 1 μm pour les petits collecteurs de machines d'une puissance inférieure à 1 kW,**
- **0,75 et 1,8 μm pour les bagues collectrices en bronze,**
- **0,75 et 1,5 μm f pour les bagues collectrices en acier ou acier inoxydable.**

et une cible pour Rpc de **100 pics par cm**.

Une **rugosité au-delà de cette limite peut être acceptable** pour certaines applications, mais il faut garder à l'esprit qu'elle s'accompagne d'une usure excessive des balais lors du processus de création de la patine.

En fonctionnement, le balai peut être capable de fonctionner sous des valeurs étendues de rugosité Ra , en fonction de l'application et des paramètres opérationnels. L'expérience montre qu'en dessous de 0,4 μm , les machines peuvent être sujettes à des problèmes. Nous recommandons fortement une action corrective.

Action corrective

Dans tous les cas, il ne faut pas hésiter à « pierrer » la surface ! Cette action corrective s'effectue en appliquant une pierre abrasive sur la surface en rotation, avec un angle d'inclinaison. Il est recommandé d'utiliser un grain de corindon de taille moyenne (M). Pour les petites machines, si nécessaire, un grain plus fin (F) peut être appliqué.

Mersen peut vous proposer des pierres de différentes formes, dimensions et granulométries (voir notre catalogue).

Les experts Mersen peuvent vous aider soit à définir cette procédure et à vous y former, soit à réaliser cette opération sur votre site - N'hésitez pas à nous contacter. E-mail : info.ptt@mersen.com

Documents cités :

Brochures Mersen :

Guide technique Mersen : *Balais pour moteurs et générateurs.*
Outils et services pour la maintenance des machines électriques

Fiches techniques Mersen PTT :

TDS-01 : *Les devoirs d'un bon balai*
TDS-05 : *Pertes dans les balais*
TDS-15 : *L'usure des balais*
TDS-24 : *Poussières résultant de l'usure des balais*

Normes / standards :

ISO 3274 : *GPS- Texture de surface : Méthode du profil - Caractéristiques nominales des instruments de contact (stylet)*
ISO 4287 : *GPS- Texture de surface : Méthode du profil - Termes, définitions et paramètres d'état de surface*
ISO 4288 : *GPS- Texture de surface : Méthode du profil - Règles et procédures pour l'évaluation de la texture de surface*
CEI 60773 : *Méthodes d'essai et appareils pour la mesure des caractéristiques opérationnelles des balais.*

Les informations contenues dans ce document sont données à titre purement indicatif et ne sauraient engager la responsabilité de Mersen pour quelque cause que ce soit. Toute copie, reproduction ou traduction, intégralement ou partiellement, de ces informations est interdite sans l'accord écrit préalable de Mersen. En outre, en raison de l'évolution constante des techniques et des normes applicables, Mersen s'autorise à modifier à tout moment les caractéristiques et spécifications de ses produits telles que décrites dans le présent document.

Contact : info.ptt@mersen.com

PROPRIÉTÉ MERSEN