

1. UN « BON BALAI »

"Bon balai" signifie avoir choisi le meilleur compromis possible : le balai, qu'on le veuille ou non, est une **pièce d'usure**.

Un bon balai doit présenter un ensemble de propriétés, dont certaines sont plus importantes que d'autres, qui peuvent être réduites à **deux qualités essentielles** :

- **une usure modérée du balai :**

Une usure excessive exigerait une surveillance accrue de la machine, notamment en raison du risque de diminution de la résistance d'isolation interne, et également du risque de dysfonctionnement dû à un épaissement anormal de la patine du collecteur, l'ensemble conduisant à des coûts de maintenance élevés.

- **le respect du collecteur :**

Les coûts de réparation d'un collecteur endommagé sont toujours élevés et peuvent entraîner des immobilisations imprévues et de longue durée de la machine.

2. DOMMAGES AU COLLECTEUR OU A LA BAGUE

Les causes les plus fréquentes sont les suivantes :

- **Usure du métal par abrasion mécanique**, due à :

- une abrasivité excessive de la nuance des balais,
- une charge inférieure au minimum,
- une température inférieure au minimum,
- une pression trop importante.



P14 – Collecteur rayé

- **Élévation anormale de la température**, au-delà des limites imposées par le fabricant, et dépassant la température à laquelle le matériau du collecteur ou de la bague a été stabilisé.



P42 – Oxydation du métal

- **Brûlures du métal** par des étincelles fréquentes ou des arcs électriques, qui peuvent provoquer des déformations locales ou répétitives, selon un schéma qui peut ou non être lié au pas d'encoche ou au pas polaire.



B6 – Brûlures aux bords des lames

GÉNÉRALITÉS

Un balai est un **frotteur conducteur de courant** : c'est donc un organe mécanique et électrique, qui a pour rôle de transférer un courant, d'intensité éventuellement très variable, entre la partie rotative d'une machine et son circuit externe fixe, d'alimentation ou d'utilisation.

Le balai fonctionne correctement dans une gamme plus ou moins large de vitesse et de charge électrique, dont les limites dépendent de la **nuance** (matériau) et du **montage**.



Le choix d'un balai pour une application consiste ainsi à adapter au mieux ses propriétés mécaniques et électriques aux conditions de la machine.

Le matériau du collecteur ou de la bague doit lui-même avoir des propriétés de frottement appropriées, car il forme un couple avec le balai.

PROPRIÉTÉ MERSEN

3. ÉTINCELLES (arcs électriques)

Quelle qu'en soit la source, une étincelle est toujours un problème potentiel, car c'est une forme d'énergie électrique nuisible qui augmente la température bien au-delà de la température de fusion du métal.

Les effets des étincelles augmentent avec :

- l'augmentation de l'énergie de dégradation, c'est-à-dire de l'auto-inductance de l'induit,
- la diminution du temps de décroissance, autrement dit lorsque la vitesse de rotation augmente,
- la diminution de la surface disponible pour l'étincelle, c'est-à-dire lorsque le nombre de points de contact de la face frottante des balais se réduit.

Les effets et la notation des étincelles sont décrits dans notre note technique *TDS-14*.

L'étincelle a toujours pour origine une différence de tension excessive entre le balai et la surface en rotation, résultant d'une rupture du contact électrique entre les surfaces de frottement.

Les causes directes peuvent être :

- **MÉCANIQUES,**

avec des ruptures de contact anormales, désordonnées et anarchiques, provoquées par des chocs ou des vibrations dus à un équilibre dynamique précaire et insuffisant du balai sur le collecteur / la bague.

- **ÉLECTRIQUES :**

- défaut d'isolation des bobines,
- mauvaise qualité de la tension / du courant de l'alimentation électrique (convertisseur électronique de puissance),
- pour des machines à courant continu : des ruptures de contact, nécessaires et inévitables, dues au passage des lames sous le balai, ou une « commutation » mal réglée (réglage de la ligne neutre, équidistance des bras porte-balais, taux de couverture tangentiel, nuance...).

Par conséquent, pour atténuer ou éliminer les étincelles, il faut éviter les pertes de contact accidentelles, et/ou limiter la chute de tension entre les balais et la surface de frottement.

Un « bon balai » possèdera les deux qualités suivantes :

- la stabilité dynamique, exigeant :
 - un frottement stable et modéré,
 - et une grande capacité d'absorption des chocs et des vibrations.
- la capacité de résistance aux étincelles, et, pour une machine à collecteur, la capacité de commutation, que l'on peut définir comme la capacité du balai à couper le courant sans étincelles dangereuses (critères définis dans la TDS-14).

PROPRIÉTÉ MERSEN

4. COMMUTATION (machine CC)

La commutation fait référence à tous les phénomènes électriques liés à **l'inversion du courant dans la section d'induit court-circuité par le balai** pendant le temps de défilement d'un interlame sous sa dimension t . Par définition, ce temps de défilement est appelé **temps de commutation mécanique**.

Temps d'inversion

Le temps d'inversion du courant peut être supérieur, égal ou inférieur au temps de commutation, en fonction de la tension de réactance e_r , de la tension sur les pôles auxiliaires e_s et de la chute de tension aux contacts sous les balais ΔU_c .

En effet, la tension de réactance e_r freine la vitesse d'inversion ; en revanche, la tension de compensation, induite par les pôles auxiliaires, accélère la vitesse d'inversion.

Plus la différence entre le temps d'inversion et le temps de commutation augmente,

- plus la différence de tension entre le balai et la lame du collecteur est importante,
- et plus les étincelles de commutation deviennent dangereuses.

Lorsque le **temps d'inversion est trop long**, le régime est la sous-commutation, et des étincelles apparaissent **à la sortie du balai**.

Lorsque le **temps d'inversion est trop court**, le régime est la sur-commutation, et des étincelles apparaissent **à l'entrée du balai**.

Chute de tension au contact sous le balai

La chute de tension au contact sous les balais ΔU_c , oppose une résistance au passage des courants de commutation ; elle a un effet d'amortissement, mais qui est toujours faible par rapport à celui des pôles auxiliaires. En d'autres termes, **la compensation par le balai est complémentaire de la compensation par les pôles auxiliaires, mais ne saurait la remplacer**.

La valeur de la chute de tension au contact dépend non seulement de la nuance du balai, mais aussi de la densité de courant, de la température, de la pression appliquée, de la vitesse périphérique, de la polarité, de l'état des surfaces en contact (patine et face frottante du balai), du matériau du collecteur ou de la bague, etc.

La chute de tension au contact d'un balai doit être modérée pour éviter toute élévation anormale de température et toute dégradation des performances du contact glissant en raison des pertes électriques (pour le calcul des pertes, voir *TDS-05*). En outre, elle a une influence sur la commutation et sur la distribution du courant entre les balais. Elle doit ainsi satisfaire à trois conditions principales :

- être relativement élevée,
- augmenter progressivement en fonction du courant dans le balai,
- être stable dans le temps et peu dépendante de la température.

MERSEN
SERVICES

Mersen vous propose des formations techniques pour vous aider à comprendre le processus de commutation :

- dans vos locaux
- ou chez Mersen

Sous-commutation : $\Delta U_c + e_s < e_r$

Sur-commutation : $\Delta U_c + e_s > e_r$

Commutation linéaire : $\Delta U_c + e_s < e_r$

PROPRIÉTÉ MERSEN

Ces trois conditions expriment en fait que la répartition des points de passage du courant doit être uniforme et stable sur toute la surface de frottement du balai ; c'est une condition théorique fondamentale pour une bonne commutation. Celle-ci est également confirmée par l'aspect de la patine (régulière et uniforme), qui reflète toujours fidèlement les conditions de fonctionnement ; la première chose à faire lors de la recherche de problèmes est toujours d'inspecter la patine.

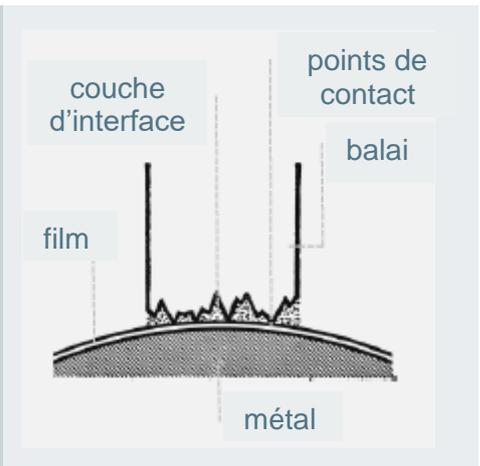
Certaines des considérations sur la chute de tension évoqués ci-dessus sont également valables sur les bagues, en dehors bien évidemment des aspects liés à la commutation.

5. PATINE

L'inspection de la patine est nécessaire pour le diagnostic de « l'état de santé » de votre machine électrique tournante. Vous pouvez vous référer à notre note technique *TDS-13*, qui présente divers aspects communs et typiques des états de de la patine et des défauts sur les collecteurs / les bagues, ainsi que leur signification. La **patine est un mélange complexe** qui se dépose sur le collecteur ou sur la bague. Sa stabilité dépend de l'équilibre de ses composants.

Ses trois principaux composants sont les suivants :

- **le carbone** (principalement le graphite),
- **l'eau** (provenant de l'humidité de l'air),
- **les oxydes métalliques.**



Effets des constituants

L'humidité de l'environnement et le carbone (graphite) déposé par le balai maintiennent le frottement dans des limites acceptables, et assurent par conséquent un comportement mécanique satisfaisant du balai. Les oxydes métalliques (cuivre ou ferreux) formés et régénérés à partir du métal du collecteur ou de la bague et de l'oxygène de l'air sont responsables de la stabilité physico-chimique de la patine.

Aussi, l'importance du dépôt de graphite conditionne non seulement l'apparition de la patine, mais également définit les limites de la charge électrique et les limites de vitesses entre lesquelles le balai fonctionne correctement :

- Un dépôt de graphite abondant donne une patine foncée et brillante qui convient à un fonctionnement à vide pendant de longues périodes, mais qui n'est pas adaptée aux machines à commutation difficile ou qui sont très chargées.
- Un faible dépôt de graphite donne une patine claire, fine, légèrement satinée et relativement fragile, adaptée aux commutations difficiles avec des surcharges sévères et fréquentes, mais ce type de patine est contre-indiqué dans les cas de très faibles charges ou de fonctionnement à vide fréquents et prolongés.

PROPRIÉTÉ MERSEN

Première évaluation de la patine

Les notations de la patine citées ci-dessous (et dans l'ensemble de ce document) sont communément utilisées par Mersen et précisément décrites dans la *TDS-13*.

On peut considérer qu'une patine fine et légère de type **P4** l'indique :

- un frottement modéré,
- une bonne commutation,
- un échauffement réduit du collecteur / de la bague,

C'est une **patine "idéale"**.

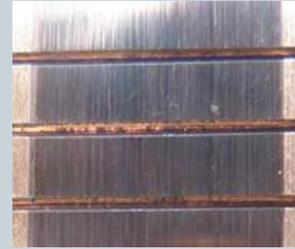
Une patine excessivement fine de type **P2** peut indiquer :

- un frottement élevé,
- une très faible usure des balais,

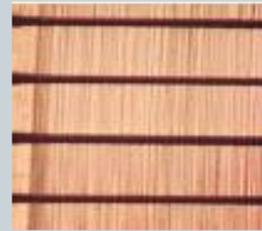
Cette patine a tendance à évoluer vers une patine de type **P12**, avec passages préférentiels de courant et une usure importante du collecteur / de la bague.

Une patine épaisse, sombre et brillante de type **P6** suggère :

- un frottement modéré,
- une usure modérée des balais,
- une très faible usure du collecteur.



P4



P2



P6

Si la patine évolue vers une patine excessivement épaisse, très foncée et mate, les conséquences pourront être :

- un échauffement du collecteur / de la bague,
- une mauvaise commutation (étincelle),
- d'éventuelles marques de brûlures sur les lames de collecteur ou sur les bagues, une usure élevée des balais.

La quantité du dépôt de graphite est un facteur très important pour le bon fonctionnement d'un balai. Elle dépend notamment :

- **de la nuance du balai (composition, procédé),**
- **du matériau de la bague / du collecteur et de sa rugosité (pour plus de précisions, se reporter à la *TDS-02*),**

l'ensemble contribuant au développement et au maintien de la patine.

PROPRIÉTÉ MERSEN

6. LA FABRICATION DES NUANCES DE BALAIS

Le fabricant de balais dispose de trois variables indépendantes, qu'il peut ajuster lorsqu'il sélectionne ou crée une qualité de balai pour une application donnée : les constituants, leur agglomération et les traitements.

Constituants

Le graphite est le constituant majoritaire des nuances de balais. Il s'agit d'une forme cristalline du carbone composée de feuillets (ou couches). Chaque feuillet est constitué d'atomes de carbones arrangés en forme hexagonale (on les appelle ainsi également graphène). Ces couches de graphite peuvent glisser les unes sur les autres, conférant ainsi ses propriétés lubrifiantes.

Vous pouvez vous référer à notre guide technique sur les balais, qui précise et explique les constituants principaux et leur origine pour chaque famille de nuances.

Agglomération des constituants

Les constituants sont agglomérés avec des **liants carbonés** qui, après cuisson, laissent un résidu solide de liaisons carbonées entre les grains des constituants de base.

Plus la quantité de liant ajoutée dans le mélange augmente, plus les liaisons sont nombreuses et plus le balai devient "dur". Ces balais "durs" ont une faible capacité d'amortissement interne (Shore élevé) ; leur usure est généralement faible, mais ils ne sont pas adaptés aux machines rapides.

À l'inverse, si la quantité de ce liant est réduite, le nombre de liaisons diminue et le produit devient "plus tendre". Ces balais ont une capacité d'amortissement interne élevée (faible Shore) et s'adaptent bien aux machines rapides, mais, habituellement, au prix d'une usure plus importante.

Traitements

Les traitements sont **des imprégnations** qui sont effectuées après le traitement thermique. Ils consistent à insérer des éléments étrangers dans la porosité du balai, afin de corriger au moins une des caractéristiques de base du matériau.

Il existe une très grande variété de produits d'imprégnation (mais très peu sont utilisés fréquemment), ils peuvent être regroupés en deux ensembles :

- Les **résines polymérisables** sont utilisées pour contrôler la patine (pouvoir « polissant ») et / ou fournir l'humidité nécessaire pour lubrifier les surfaces de frottement lorsque l'air ambiant est relativement sec ; ces résines augmentent systématiquement les caractéristiques mécaniques de la nuance du balai et permettent des pressions plus élevées sur le balai.
- Des **métaux** peuvent également être ajoutés dans la nuance, soit sous forme de sels métalliques, soit sous forme de métal fondu ; ils permettent de réduire la chute de tension au contact et d'augmenter la charge spécifique admissible, tout en conservant les avantages de la résistance à l'usure du matériau de base.

Note : Tous les traitements qui ont tendance à augmenter l'épaisseur de la patine réduisent également la capacité de commutation du balai. Ces traitements doivent donc être utilisés avec prudence.

Mersen a développé une large gamme de nuances de balais pour répondre aux applications les plus exigeantes. Nous vous recommandons de contacter l'assistance technique à la clientèle afin de sélectionner correctement le grade le plus approprié pour votre application spécifique. Pour nous aider, veuillez remplir le formulaire de description à la page 32 de notre guide technique des balais.

PROPRIÉTÉ MERSEN

7. FORMES DE BALAIS ET SUPPORTS

Les formes et les montages, c'est-à-dire les caractéristiques spéciales d'usinage des balais et les différentes méthodes de fixation des accessoires tels que les câbles, les rivets, les plaques, les butées, etc. sont conçus et réalisés de manière à garantir :

- la plus grande stabilité des balais même à vitesse maximale, dans la mesure où les défauts de cylindricité du collecteur (faux-ronds), les déformations des segments, les chocs et vibrations, et les imperfections des porte-balais restent dans les limites admissibles,
- la bonne qualité des liaisons électriques avec le circuit extérieur pendant toute la durée de vie du balai, sans risque de détérioration lente (vieillesse) ou rapide (ruptures) sous l'effet d'un échauffement et de vibrations.

Afin de satisfaire aux conditions de fonctionnement dynamiques, un montage satisfaisant des porte-balais doit :

- garantir un bon contact entre le balai et le collecteur grâce à de nombreux points d'appui stables et uniformément répartis sur toute la surface d'appui,
- assurer une répartition uniforme de la force d'appui fournie par le système de pression du porte-balais, afin que la pression reste constante sous la face de frottement (voir la *TDS-11*),
- garantir un amortissement rapide et efficace des chocs et des vibrations.

**EFFECTUEZ DES
CONTROLES
PERIODIQUES
DES PRESSIONS**

TROIS PRINCIPES SONT UTILISÉS POUR ATTEINDRE CES TROIS RÉSULTATS :

Symétrie des formes

La seule forme rationnelle **pour un moteur rapide tournant dans deux directions** est le **balai droit** (type radial) car elle est symétrique.

Le fonctionnement correct du balai radial dans les deux sens suppose évidemment un faible jeu entre le balai et son porte-balai (spécifié dans notre *TDS-04*), afin de limiter l'effet de basculement du balai à l'intérieur de son porte-balai lorsque le sens de fonctionnement est inversé.

Il est préférable d'utiliser des balais jumelés (2 ou 3 tranches) pour les mêmes raisons.

Un balai de forme **asymétrique inclinée** est plus stable pour un sens de rotation que pour l'autre (balai « trainant »), et est à **réserver pour des machines n'ayant qu'un seul sens de rotation**.

Certains fabricants de machines électriques tournantes, en particulier américains, tendent à utiliser des balais inclinés, avec un angle de 15° pour des machines unidirectionnelles, ou 25-30° pour des machines bidirectionnelles.



Balai incliné

PROPRIÉTÉ MERSEN

Division du balai

Sur une machine rapide, le balai monobloc doit être remplacé par un ensemble composé de deux, trois (voire quatre) tranches égales en épaisseur, parallèles et indépendantes mécaniquement ; chaque tranche est électriquement autonome (chacune possède ses propres câbles d'amenée de courant) afin d'améliorer le contact mécanique et électrique sur le collecteur ou la bague.

Cette complexité de montage accrue est compensée par une meilleure commutation (sur moteur à courant continu) et une moindre usure des balais.

La subdivision du balai n'est limitée que par l'épaisseur minimale admissible, dont dépendent :

- la solidité du matériau, et, par conséquent, la fixation des câbles dans la tranche,
- la complication de l'usinage qui se répercute sur le prix du balai.



Balai divisé (ici jumelé)

Note : pour une machine à courant continu, il convient également de considérer le taux de "couverture" tangentiel, correspondant au nombre de lames couvertes par le balai (calculé à partir de la dimension t et du pas de lames et comparé au nombre de lames par encoche). En outre ce nombre ne doit pas être un entier, afin de limiter toute résonance mécanique.

Amortissement

Sur une machine rapide et mal équilibrée, les chocs et vibrations transmis au balai par les masses en mouvement doivent être amortis efficacement.

Dans ce but, on adapte au balai des éléments d'absorption des chocs à haute impédance et stables (c'est-à-dire insensibles au vieillissement sous l'effet de la température et du temps). Ces systèmes d'amortissement sont généralement des élastomères et sont placés sur le dessus du balai, de préférence, par collage sur la tête (photo). Un enfilage sur les câbles est également possible.

En outre, il est bon de placer une plaquette dure au-dessus de l'amortisseur, ce qui permettra :

- d'empêcher le système de pression de perforer l'élastomère,
- et surtout distribuer uniformément la poussée du ressort du système de pression sur la tête du balai.

Enfin, et si nécessaire, la plaquette peut contribuer à maintenir le système de pression dans une position fixe, grâce à une conception appropriée (trou par exemple).



Plaquettes collées sur la tête du balai

PROPRIÉTÉ MERSEN

Note : Les vibrations transmises au balai, et qu'il convient d'amortir, se situent dans une large gamme de fréquences et d'amplitudes.

En principe, les vibrations de haute fréquence et de faible amplitude sont amorties, en partie, par la matière du balai. Cependant, les vibrations de basse fréquence et de haute amplitude sont absorbées dans l'amortisseur assemblé sur le balai

SERVICES MERSEN



Bénéficiez des connaissances et de l'expérience des experts Mersen pour tous vos besoins d'expertise moteur, de maintenance ou de formation :

- Mesures, contrôles et diagnostics
- Usinages in-situ et rénovation de vos jeux de bagues et de vos collecteurs
- Conseils techniques pour vous aider à tirer le meilleur parti de vos équipements et de minimiser vos coûts de fonctionnement et de maintenance
- Solutions de Retrofit

POUR DE PLUS AMPLES INFORMATIONS VEUILLEZ CONSULTER NOTRE GUIDE TECHNIQUE "MAINTENANCE DES BALAIS, PORTE-BALAIS, COLLECTEURS ET BAGUES" ET LES NOTES TECHNIQUES (VOIR NOTAMMENT LES DOCUMENTS CITÉS).

Mersen commercialise les outils pour la maintenance. Consulter notre brochure « *Outils pour l'entretien des machines électriques* ».

Ces documents sont disponibles sur notre site internet WWW.MERSEN.COM.

Notre Service d'Assistance Technique à la Clientèle est à votre disposition pour toute question :

Courriel : info.ptt@mersen.com

Liste des documents cités

- Guide Technique MERSEN "Maintenance des balais, porte-balais, collecteurs et bagues"
- TDS-02 : conditions de surface des collecteurs et des bagues : rugosité
- TDS-04 : Dimensions des balais et porte-balais
- TDS-11 : Pression sur les balais
- TDS-13 : Aspects de patines
- TDS-14 : étincelles aux balais

Les informations contenues dans ce catalogue sont données à titre purement indicatif et ne sauraient engager la responsabilité de Mersen pour quelque cause que ce, 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 catalogue.

Contact : info.ptt@mersen.com

PROPRIÉTÉ MERSEN