

Le DEVOIR du BON BALAI

Comment le comprendre

GÉNÉRALITÉS

Définition

Le balai est un frotteur **conducteur** du courant : c'est donc un organe à la fois mécanique et électrique dont le rôle est de transférer du courant d'intensité éventuellement très variable entre la partie tournante d'une machine et son circuit extérieur fixe, d'alimentation ou d'utilisation.

Le balai fonctionne correctement dans une bande plus ou moins large de vitesse et de charge électrique dont les limites dépendent de la **matière** et du **montage**. Choisir un balai pour une application consiste à adapter au mieux ses possibilités mécaniques et électriques aux conditions de la machine.

De son côté, la machine, et plus particulièrement le collecteur, qui assure le contact avec le balai, doit présenter des caractéristiques tribologiques adaptées.

Le BON BALAI

Devoirs du bon balai

“Adapter au mieux”, c'est faire le choix du 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, d'importance variable, et qu'il est possible de ramener à deux qualités essentielles.

- ❑ usure modérée du balai : une usure excessive exige une surveillance accrue de la machine, en raison des risques de chutes de résistance interne d'isolement et conduit à des frais d'entretien exagérés, avec, en plus, des risques de dysfonctionnement liés à l'épaississement anormal de la patine sur le collecteur.
- ❑ respect du collecteur : un collecteur endommagé entraîne des frais de réparation toujours élevés et peut occasionner des immobilisations inopinées et de longue durée de la machine.

Dégradations du collecteur

Les causes les plus fréquentes de dégradation des collecteurs sont :

- ❑ usure du métal par abrasion mécanique, en raison d'une abrasivité excessive du matériau du balai, ou d'une charge trop faible, ou encore d'une température trop basse de fonctionnement,
- ❑ échauffement anormal au delà des limites imposées par le constructeur et correspondant à une température de collecteur supérieure à celle à laquelle il a été stabilisé,
- ❑ brûlures du métal par étincelles abondantes, ou arcs électriques, pouvant entraîner des déformations localisées, ou répétitives selon un motif régulier lié au pas d'encoche, ou au pas polaire.

L'ÉTINCELLE

Quelle qu'en soit la source, l'étincelle "chaude" est toujours redoutable car elle est une forme de dégradation d'énergie électrique qui crée une élévation de température, très supérieure à la température de fusion du cuivre.

Les effets de l'étincelle sont d'autant plus dévastateurs que :

- ❑ l'énergie dégradée est plus importante, c'est-à-dire que la self induction d'induit est plus élevée,
- ❑ le temps de dégradation est plus court, c'est-à-dire que la machine tourne plus vite,
- ❑ la surface offerte à l'étincelle est plus réduite, c'est-à-dire que le nombre des points de contact balai sur collecteur est plus petit.

L'étincelle a toujours pour origine une différence de tension excessive entre balai et collecteur, résultant d'une rupture de contact électrique entre les surfaces frottantes.

Les causes directes peuvent être :

- ❑ d'origine MÉCANIQUE avec des ruptures de contact anormales, désordonnées et anarchiques, provoquées par des chocs ou vibrations résultant d'un équilibre dynamique précaire et insuffisant du balai sur le collecteur,
- ❑ d'origine ÉLECTRIQUE avec ruptures de contact anormales, nécessaires, inévitables par suite du défilement des lames sous le balai.

L'étincelle d'origine électrique est appelée étincelle de commutation.

Pour atténuer, sinon supprimer l'étincelle, il faut donc éviter les ruptures fortuites de contact et/ou limiter la chute de tension entre balais et lames de collecteur. Les propriétés mécaniques du bon balai peuvent se résumer à deux conditions :

❑ stabilité dynamique nécessitant :

- un frottement stable et modéré,
- une grande capacité d'amortissement des chocs et vibrations.

❑ pouvoir commutant

qu'il est possible de définir comme la capacité du balai à couper le courant sans étincelle dangereuse pour le collecteur.

La COMMUTATION

C'est l'ensemble des phénomènes électriques liés au renversement du courant dans la section d'induit court-circuitée par le balai pendant le temps de défilement d'un interlame sous la largeur t du balai. Ce temps de défilement, est par définition, le temps de commutation.

Par suite de la tension de réactance e_r , la tension des pôles auxiliaires e_s et la chute au contact sous les balais ΔU , le temps d'inversion du courant peut être supérieur, égal ou inférieur au temps de commutation.

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

Plus l'écart entre le temps d'inversion et le temps de commutation est important, plus la différence de tension entre balai et lame de collecteur est grande et plus les étincelles de commutation deviennent dangereuses.

Quand le temps d'inversion est trop long, on est en régime de sous-commutation et les étincelles apparaissent à **la sortie du balai**.

Quand le temps d'inversion est trop court, on est en régime de sur-commutation et les étincelles apparaissent à **l'entrée du balai**.

Quand les pôles auxiliaires, aidés de la chute au contact sous les balais, compensent exactement les effets de la tension de réactance, la commutation est dite "linéaire" et il n'y a pas d'étincelle aux balais.

Ces trois états de commutation se traduisent par les trois relations suivantes entre ΔU , e_s , e_r

$\Delta U + e_s < e_r$	sous-commutation
$\Delta U + e_s > e_r$	sur-commutation
$\Delta U + e_s = e_r$	commutation linéaire

Chute au contact sous le balai

La chute au contact ΔU sous les balais dont la valeur dépend non seulement de la matière du balai, mais aussi de la densité de courant, de la température, de la pression appliquée, de la vitesse, de la polarité, de l'état des surfaces au contact donc de l'état de la patine..., oppose une résistance au passage des courants de commutation ; elle a un effet amortisseur, mais qui est toujours réduit, comparé à celui des pôles auxiliaires.

Autrement dit : **la compensation par le balai complète la compensation par les pôles auxiliaires mais ne saurait la remplacer.**

La chute au contact d'un balai bon commutant doit satisfaire à trois conditions essentielles. Elle doit être :

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

Ces trois caractères expriment en fait que la distribution des points de passage du courant, sur toute la surface frottante du balai est à la fois bien régulière et bien stable, condition théorique fondamentale d'une bonne commutation. Elle est également confirmée par l'aspect de la patine, reflétant toujours si fidèlement l'état de fonctionnement et la qualité de commutation ; une recherche des causes de troubles aux balais doit nécessairement commencer par l'examen de la patine.

La PATINE

La patine est ce que l'on peut appeler l'épiderme du collecteur (ou des bagues).

Sa stabilité dépend de l'état d'équilibre des éléments qui la composent.

Une patine est formée de trois composants principaux.

- carbone (graphite)
- humidité
- oxydes métalliques

Rôle des constituants

L'humidité de l'ambiance, et le carbone (graphite) déposé par le balai maintiennent le frottement dans des limites admissibles et, par conséquent, assurent le bon comportement mécanique du balai.

Les oxydes métalliques (cuivreux ou ferreux), formés et régénérés à partir du métal du collecteur et de l'oxygène de l'air sont responsables de la stabilité physicochimique de la patine.

De cet ensemble oxydes métalliques et graphite déposé, dépend le bon comportement électrique et mécanique du balai.

Ainsi, l'importance du dépôt de graphite conditionne non seulement l'aspect de la patine, mais définit également les limites de charge électrique et aussi de vitesse entre lesquelles le balai fonctionne correctement.

Un dépôt de graphite abondant donne une patine foncée, luisante, bien adaptée pour supporter les marches à vide de longue durée, mais qui est contre-indiquée pour les machines dont la commutation est difficile, ou qui sont fortement chargées.

Un dépôt réduit de graphite donne une patine claire, mince, légèrement satinée, relativement fragile, bien adaptée pour résister aux commutations difficiles, avec surcharges sévères et fréquentes ; par contre, une telle patine est totalement contre-indiquée en cas de sous charge, ou de marches à vide fréquentes et prolongées.

On peut considérer qu'une patine mince et claire de type P4 (note STA AE 16-31) indique

- un frottement modéré,
- une bonne commutation,
- un échauffement réduit du collecteur,

c'est la patine "idéale".

Une patine épaisse, foncée et brillante, type P6, indique

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

Une patine trop mince type P2 peut indiquer

- un frottement élevé,
- une usure très faible des balais,
- une tendance à évoluer vers une patine de type P12, avec passage préférentiel de courant, et une usure des collecteurs.

Une patine trop épaisse, très foncée et mate de type P7 ou P8 indiquera

- un échauffement important du collecteur,
- une mauvaise commutation (étincellement),
- des possibilités de marques de brûlures sur les lames, ou sur les bagues,
- une usure importante des balais.

La teneur en graphite d'une patine est donc un élément très important du bon fonctionnement d'un balai. Elle est conditionnée par la rugosité du collecteur, contrôlée par la matière du balai, et dépend, en partie, du mode de fabrication du produit.

FABRICATION des BALAIS (ÉLECTROGRAPHITIQUES)

Pour créer un balai en vue d'une application donnée, le fabricant de balais dispose de trois registres indépendants : les constituants, l'agglomération et les traitements.

Les constituants

Le carbone dit "amorphe" se présente sous une grande variété de formes se distinguant les unes des autres par leur comportement et leur plus ou moins grande facilité de transformation en graphite bien cristallisé, par traitement thermique à haute température.

On peut regrouper les variétés de carbones amorphes en deux groupes distincts :

- les carbones dits graphitables du type "coke de pétrole" se transforment facilement et en proportions importantes en graphite artificiel. Ils déposent relativement beaucoup de graphite par frottement et, sont par conséquent, tout indiqués comme constituants de base pour les balais qui doivent former des patines riches, destinés aux machines sous-chargées,
- les carbones dits peu graphitables du type "noir de fumée" se transforment difficilement et en proportions réduites en graphite artificiel. Ils déposent peu de graphite par frottement et sont, par conséquent, tout indiqués comme constituants de base des balais à patine pauvre destinés aux machines à commutation difficile.

La combinaison en proportion variable des constituants de ces deux groupes conduit à des balais dits "intermédiaires" dont la caractéristique est de pouvoir s'adapter à la fois aux marches à vide et aux surcharges.

L'agglomération des constituants

Les constituants sont agglomérés avec des liants carbonés qui laissent, après distillation et cokéfaction, un réseau solide de liaisons carbonées entre les grains des constituants de base.

Plus la quantité de liant introduite dans le mélange est importante, plus les liaisons sont solides et plus le balai est "dur". Inversement, moins on utilise ce liant et moins les liaisons sont nombreuses et plus "tendre" est le produit.

Les balais "durs" ont une capacité d'amortissement interne réduite (Shore élevé), ils ont en général une usure réduite mais ne s'adaptent correctement qu'aux machines à vitesses lentes.

Les balais "tendres", au contraire ont un amortissement interne élevé (Shore bas), et s'adaptent bien aux machines rapides, mais, habituellement, au prix d'une usure plus importante.

Les traitements

Les traitements sont des imprégnations qui se pratiquent après graphitisation. Ils consistent à introduire dans la porosité du balai des éléments étrangers, dissous ou fondus, en vue d'un effet correctif d'une des caractéristiques de base du matériau.

Les produits d'imprégnation sont très variés mais, en fait, ceux d'emploi courant sont peu nombreux et peuvent être regroupés en trois ensembles :

- les **corps gras** comprenant les huiles minérales, cires, paraffines... en vue d'abaisser momentanément le frottement d'un balai ou de protéger la patine contre l'action agressive des polluants chimiques en suspension dans l'air ambiant,
- les **résines ou vernis** polymérisables, utilisés pour renforcer le pouvoir polisseur d'un balai, contrôler la patine ou fournir l'humidité nécessaire à la lubrification des surfaces frottantes quand l'air ambiant est partiellement desséché ; ces résines ou vernis durcissent toujours la matière du balai et nécessitent souvent des pressions plus importantes,
- on peut aussi citer les **métaux** introduits dans le balai soit sous forme de sels métalliques, soit à l'état fondu et sous pression, en vue de réduire la chute au contact et d'augmenter la charge spécifique admissible tout en conservant les avantages de résistance à l'usure de la matière de base.

Il faut noter que tous les traitements qui tendent à épaissir la patine affaiblissent du même coup la capacité de commutation du balai. Il faut donc utiliser ces traitements avec discernement.

FORMES et MONTAGES de BALAIS

Les formes et les montages, c'est-à-dire les particularités d'usinage des balais et les divers modes d'assemblage des accessoires tels que câbles, rivets, plaquettes, arrêteurs... doivent être conçus et réalisés en vue d'assurer :

- la plus grande stabilité des balais même aux vitesses les plus élevées et dans la mesure où les défauts de cylindricité du collecteur, les déformations de lames, les chocs et vibrations et les imperfections du porte-balai restent dans des limites admissibles,
- la bonne qualité des liaisons électriques avec le circuit extérieur pendant toute la durée de vie des balais, sans risque de dégradation lente (vieillessement) ou rapide (ruptures) sous l'effet d'échauffement et de vibrations.

Pour satisfaire aux conditions d'équilibre dynamique, un bon montage doit :

- garantir un bon contact balai sur collecteur par des points d'appui nombreux, stables et uniformément répartis sur toute la surface portante,
- assurer l'uniforme distribution de la force d'appui transmise par le poussoir du porte-balai pour que la pression reste constante sous la face frottante,
- garantir un amortissement rapide et efficace des chocs et vibrations.

Pour atteindre ce triple résultat, trois principes sont observés :

Symétrie des formes

Sur moteur rapide tournant dans les deux sens, la seule forme rationnelle est celle du balai droit (type radial), parce qu'elle est symétrique ; le balai incliné de forme dissymétrique, plus stable pour un sens de rotation que pour l'autre, est généralement réservé aux machines à un seul sens de rotation.

Le fonctionnement correct du balai radial dans les deux sens suppose, bien entendu, un jeu réduit entre balai et porte-balai, de manière à limiter l'effet de basculement du balai dans sa gaine à chaque renversement de marche. On utilisera de préférence des balais jumelés (2 ou 3 tranches) pour les mêmes raisons.

Division du balai

Sur machine rapide et, pour assurer un meilleur contact mécanique et électrique sur le collecteur, il faut diviser le balai, c'est-à-dire substituer au balai monobloc un ensemble articulé composé de deux, trois (ou même quatre) tranches égales, parallèles et indépendantes l'une de l'autre, ayant chacune son autonomie électrique, chaque tranche possédant ses propres câbles d'amenée du courant.

Cette complication accrue de montage est compensée par une commutation améliorée et une usure plus réduite du balai.

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

- la solidité, et par suite, la possibilité de fixation des câbles dans la tranche,
- la condition de "couverture" minimum sur le collecteur qui correspond pour une tranche à deux largeurs de lames environ,
- la complication d'usinage se répercutant sur le prix du balai.

Amortissement

Sur machine rapide mal équilibrée, il faut étouffer efficacement les chocs et vibrations transmis au balai par les masses en mouvement.

Dans ce but, on adapte au balai des éléments amortisseurs d'impédance élevée et stable, c'est-à-dire insensibles au vieillissement sous l'effet de la température ou du temps.

Ces amortissements sont fixés sur la tête du balai, le plus souvent par collage. Les matériaux utilisés sont des élastomères.

En plus, il est bon d'adapter sur l'amortisseur, une plaquette en matière isolante et dure : son rôle est d'empêcher le poussoir de perforer l'élastomère et surtout de distribuer uniformément la poussée du ressort de porte-balais sur la tête du balai.

Enfin, et si nécessaire, la plaquette doit maintenir le poussoir en position fixe, grâce à un évidement approprié usiné dans le milieu de la plaquette.

A noter que les vibrations transmises au balai et qu'il convient d'amortir, couvrent une large bande de fréquences et d'amplitudes. En principe, les vibrations de haute fréquence et de faible amplitude sont amorties dans la matière même du balai, grâce à ses possibilités de déformations élastiques ou plasto-élastiques. Les vibrations basse fréquence et haute amplitude, par contre, sont absorbées dans les amortisseurs du balai.

Les informations figurant dans ce catalogue sont données à titre indicatif et sans engagement. Leur publication n'implique pas que la matière exposée soit libre de tout droit de propriété industrielle et ne confère aucune licence d'un quelconque de ces droits. En raison de l'évolution constante des techniques et des normes, nous nous réservons le droit de modifier, sans préavis, les dimensions et caractéristiques figurant dans cette notice. LE CARBONE-LORRAINE n'assume aucune responsabilité quant aux conséquences de leur utilisation, à quelques fins que ce soit. Toute copie, reproduction ou traduction de ces informations, intégralement ou partiellement, sans l'accord écrit de LE CARBONE-LORRAINE, est interdite, conformément aux dispositions de la loi n° 92-597 du 1^{er} Juillet 1992.

LE CARBONE-LORRAINE
Applications Electriques
10, RUE ROGER DUMOULIN
F-80084 AMIENS Cedex 2
FRANCE

R.C.S. Nanterre B 572 060 333

SIÈGE SOCIAL : Immeuble La Fayette - LA DÉFENSE 5
TSA 38001
F-92919 PARIS LA DÉFENSE CEDEX
FRANCE

Tél. : + 33 (0)3 22 54 45 00
Fax : + 33 (0)3 22 54 46 08

<http://www.CARBONELORRAINE.com>