



Raisons des défaillances des machines tournantes

Les machines tournantes, telles que les moteurs et les générateurs, sont des composants essentiels des applications industrielles et de production d'énergie. C'est la raison pour laquelle elles requièrent un niveau élevé de fiabilité et de disponibilité. Une défaillance prématurée peut engendrer des coupures non planifiées et endommager la machine, entraînant des pertes économiques considérables. Afin de planifier efficacement la maintenance, il est essentiel de disposer d'informations précises quant à l'état des composants de la machine pour savoir quand les réparer ou les remplacer.

Raisons des défaillances des machines tournantes

Il existe plusieurs méthodes et calculs afin d'évaluer les composants essentiels d'une machine. L'approche la plus pratique consiste à évaluer les études relatives à l'expérience des opérateurs de différentes machines dans différents secteurs. On peut par exemple citer l'étude relative aux défaillances des générateurs hydrauliques du groupe de travail A1.10 du CIGRE. Son résultat est illustré à la Figure 1a. Selon 16 opérateurs d'un parc total de 1 199 générateurs hydrauliques situés dans le monde entier, la cause la plus fréquente de défaillance des machines est l'endommagement de l'isolation. Ce dernier est causé par des sources spécifiques, illustrées à la Figure 1b. Nous allons expliquer comment ces problèmes courants sont mesurés et détectés dans les machines tournantes électriques.

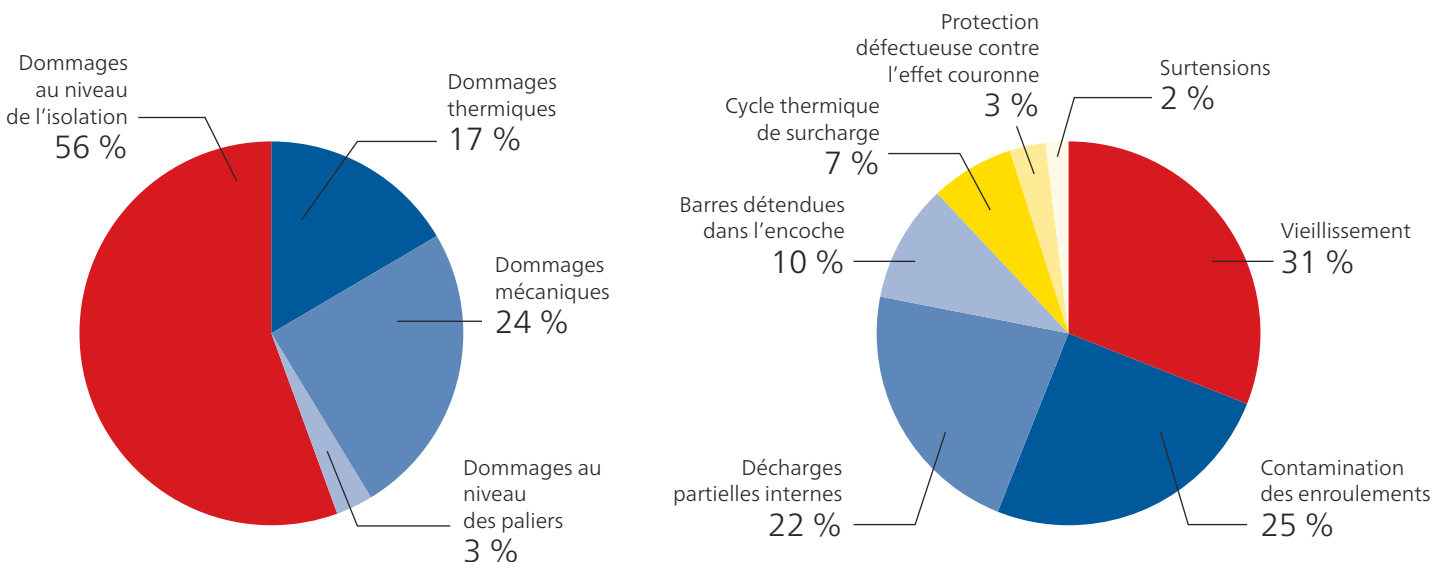


Figure 1a (gauche) : Étude sur les causes premières de défaillances dans les générateurs hydrauliques
 Figure 1b (droite) : Causes des dommages au niveau de l'isolation

Source : Brüttsch et al. « Insulation Failure Mechanisms of Power Generators », DEIS Juillet/Août 2008

Contraintes combinées sur l'isolation - TEAM

Les machines tournantes connaissent de nombreux facteurs de contraintes ponctuels et continus au cours de leur vie, telles que la contrainte thermique, la contrainte électrique, la contrainte ambiante et la contrainte mécanique (abrégées en TEAM, pour Thermal, Electrical, Aging et Mechanical).

- > Contrainte **T**hermique : De nombreux changements de température entraînent le vieillissement prématuré de l'isolation.
- > Contrainte **E**lectrique : La contrainte de tension et l'activité de décharge partielle (DP) pendant le fonctionnement exercent une pression constante sur l'isolation.
- > Contrainte **A**mbiante : Comprend l'humidité, les produits chimiques agressifs et réactifs (gaz, acides) et les particules étrangères (pièces métalliques, cendre, carbone, lubrifiants).
- > Contrainte **M**écanique : Forces électrotechniques dans l'encoche et dans la zone de l'enroulement d'extrémité, ainsi que différents niveaux de dilatation thermique.

Composition de l'isolation

L'isolation des machines tournantes électrique moyenne et haute tension doit établir un compromis entre résistance au champ électrique – afin de garantir la stabilité mécanique – et conduite de la chaleur du cuivre au système de refroidissement de la machine. C'est pourquoi les fabricants utilisent souvent un système d'isolation composite, comme illustré à la Figure 2. L'isolation principale ou à la terre se compose de mica associé à une résine époxy. C'est l'endroit où la contrainte électrique est la plus forte. De plus, le système d'isolation possède des couches conductrices ou semi-conductrices pour assurer des potentiels définis sur les interfaces entre les différents matériaux. C'est le cas par exemple de la protection extérieure contre l'effet couronne qui garantit un potentiel de terre régulier sur la surface de l'isolation. Les machines plus grosses ont également une répartition des potentiels d'extrémité et souvent une protection intérieure contre l'effet couronne.

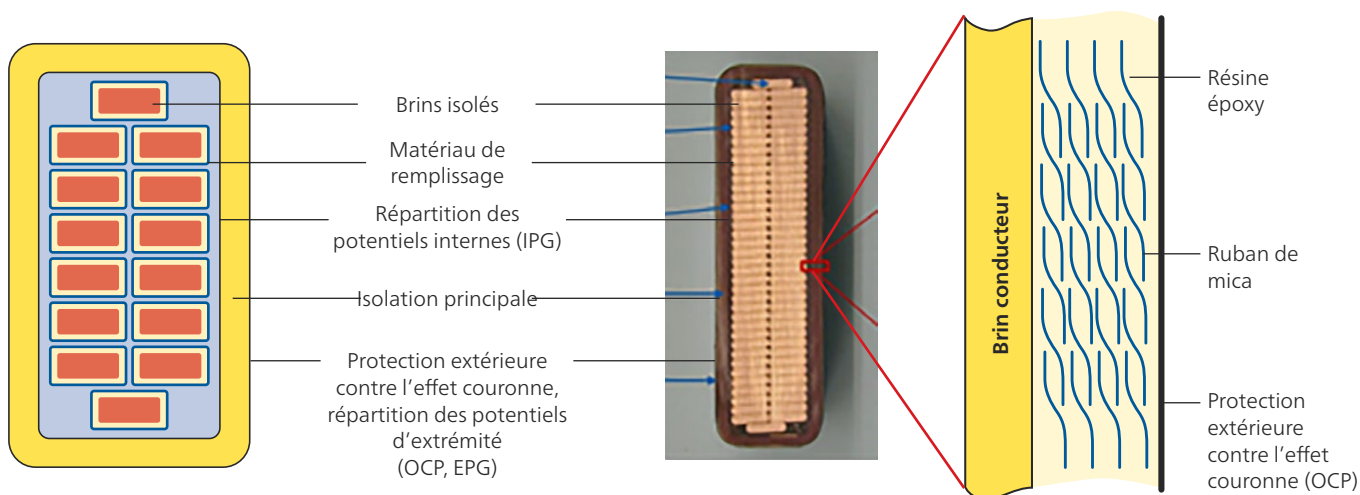


Figure 2 : Composition de l'isolation d'une machine haute tension

Défauts à la terre les plus courants dans les enroulements de stator

Vides

La présence d'un certain nombre de vides ou de cavités dans une isolation époxy/mica résulte du processus de fabrication et est tout à fait normale. Les processus de fabrication différant selon les fabricants, le niveau de petits défauts diffère également dans les machines neuves. Des cavités supplémentaires se développeront au fil du temps en raison des contraintes TEAM précédemment mentionnées.

Un système d'isolation correctement fabriqué peut résister sans problème aux petites cavités qui se forment avec le temps. Néanmoins, ces petites cavités sont source de DP, et peuvent engendrer un défaut d'isolation plus important. Le développement de tels défauts se fait sur de longues années, c'est pourquoi l'état de ces décharges partielles doit être contrôlé régulièrement.

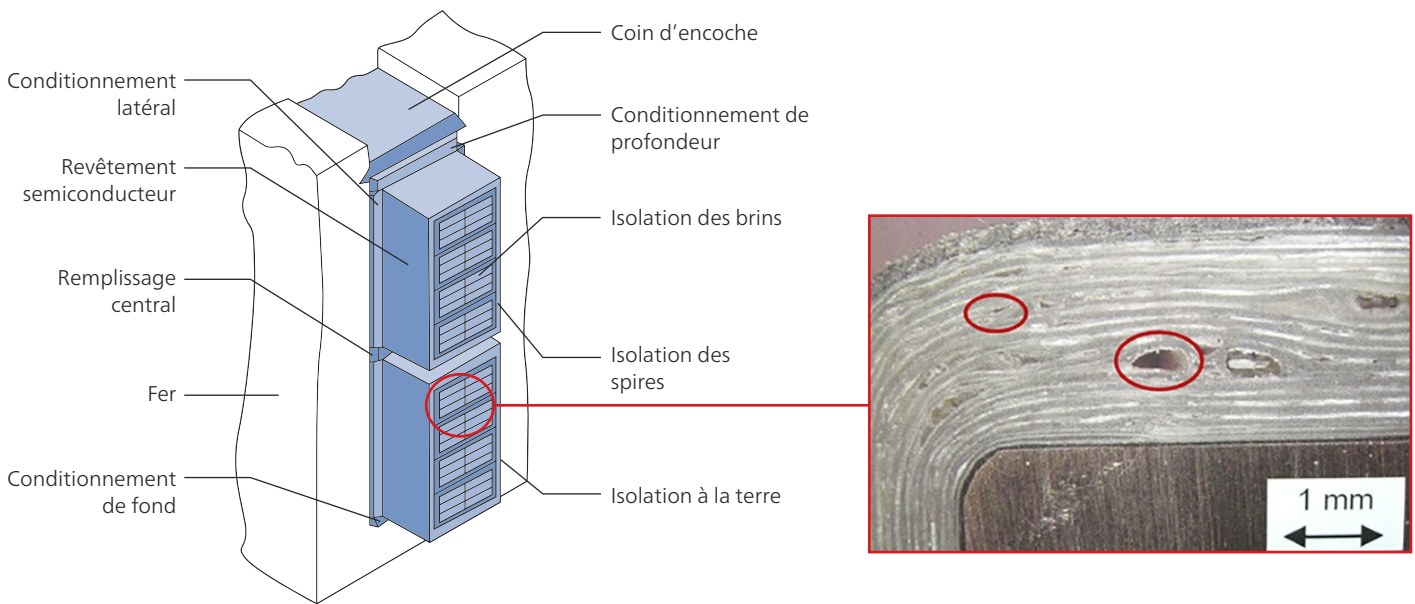


Figure 3 : Composition de l'isolation et vue au microscope de grands vides dans l'isolation à la terre
 Source : Vogelsang et al. « Performance testing of high voltage generator and motor insulation », décembre 2005

Délamination

La délamination, également appelée décollement, à l'intérieur de l'isolation engendre la formation de grandes cavités entre les couches d'isolation. La délamination peut également se produire entre le cuivre et la coque d'isolation principale.

Il en résulte une activité de DP plus importante que celle liée aux micro-vides. Les raisons principales en sont les tensions mécaniques causées par les différents matériaux et ou cycles de température pendant le fonctionnement normal.

Bobines ou barres détendues

Des forces électromécaniques interagissent sans cesse avec l'enroulement. Si le système de fixation de l'enroulement devient défectueux au fil du temps, ou s'il n'a pas été appliqué correctement, l'enroulement se détend. La protection extérieure contre l'effet couronne est alors attaquée et abrasée. Si le défaut n'est pas détecté, les vibrations se mettent également à détériorer l'isolation principale, ce qui entraînera un claquage de la machine. Le défaut a une signature de DP caractéristique et peut être identifié avec les mesures de DP.

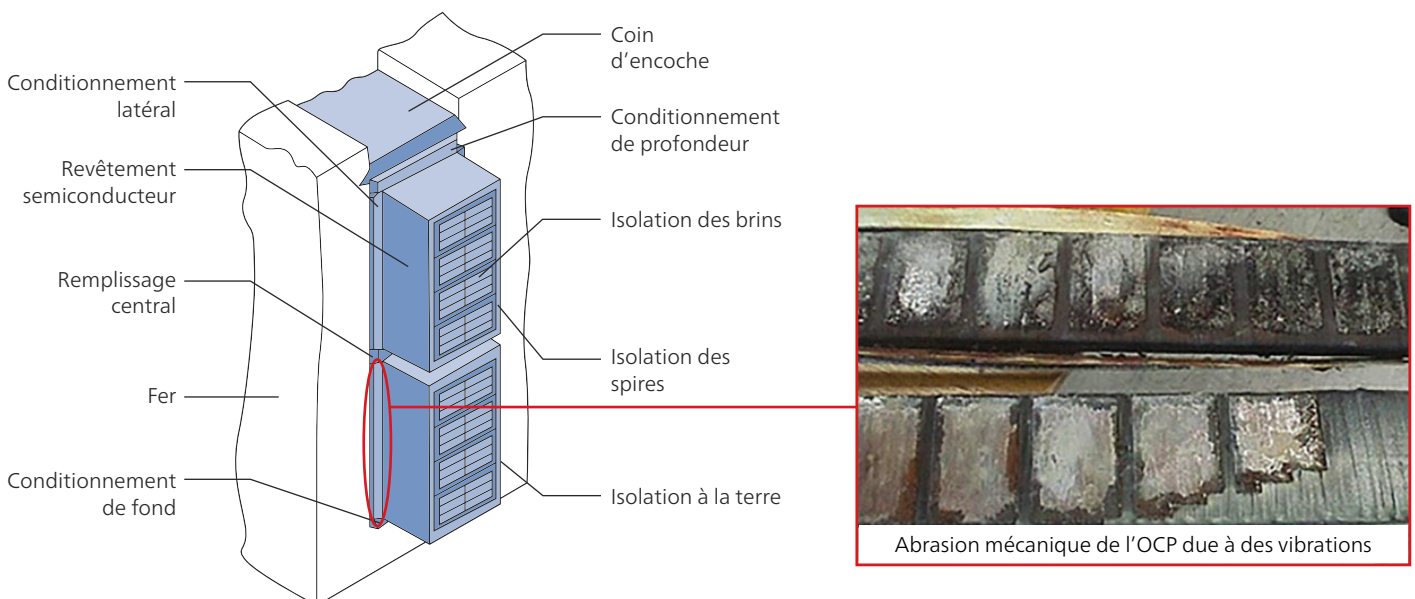


Figure 4 : Composition de l'isolation et symptômes typiques d'une barre qui vibre.



Contamination et distances imparfaites dans la zone de l'enroulement d'extrémité

Des problèmes de construction tels que des distances imparfaites (séparateur de phases) ou la contamination des enroulements entraînent une activité de décharge partielle dans la zone de l'enroulement d'extrémité. D'autres problèmes courants dans cette partie de l'enroulement sont des connexions fragiles entre les deux répartitions, la protection extérieure contre l'effet couronne et la répartition des potentiels d'extrémité. Un exemple de contamination et d'activité de DP est illustré ci-dessous (Figure 5).

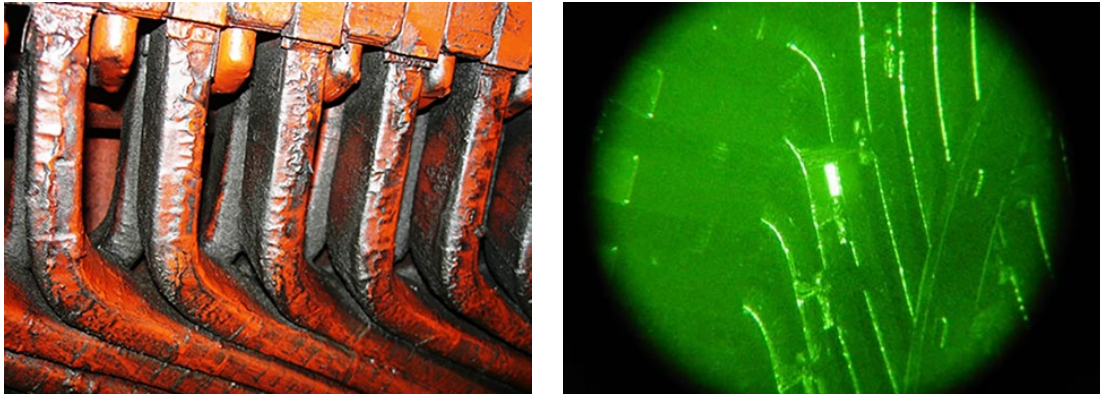


Figure 5 : Exemples de contamination et d'activité de DP dans la partie de l'enroulement d'extrémité

Les problèmes abordés ci-dessus sont liés à l'isolation principale. D'autres composants des machines tournantes sont souvent affectés par différents problèmes également. En voici quelques exemples :

- > Courts-circuits entre les spires
- > Problèmes de connexion (contact)
- > Brins parallèles interrompus
- > Soudure incorrecte des contacts

Prolongation de la durée de vie prévue

Les machines tournantes, comme tout élément du réseau électrique, ont une durée de vie prévue. Comme nous l'avons mentionné, les influences négatives telles qu'une contrainte thermique, ambiante, mécanique ou électrique provoquent une réduction de la durée de vie.

Pour empêcher les claquages et pannes de machines tournantes, une maintenance régulière ou périodique est essentielle. Différentes mesures de diagnostic vous permettent d'évaluer le risque afin de planifier correctement la maintenance en fonction de l'état de la machine.

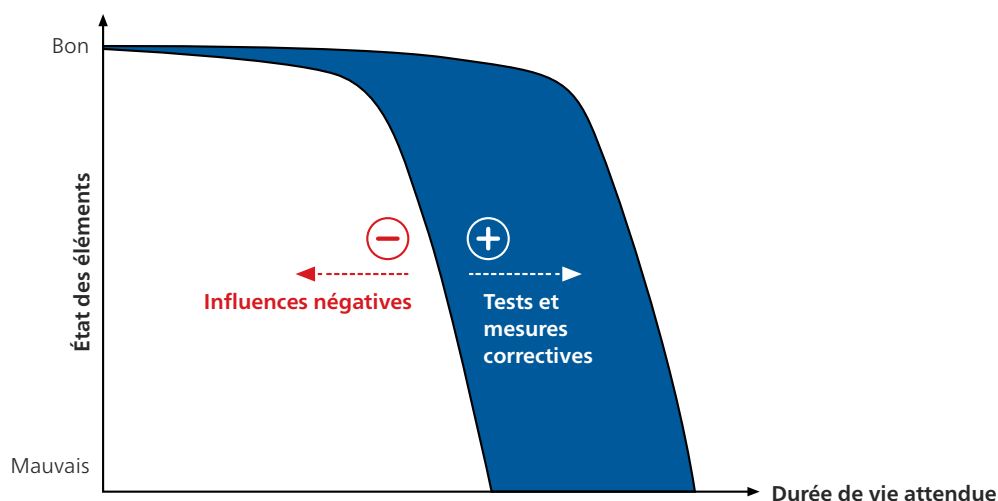


Figure 6 : Concept idéal de prolongation de la durée de vie grâce à une maintenance basée sur l'état

