

ÉCOUTES ET INSPECTIONS ULTRASONORES DES ÉQUIPEMENTS ÉLECTRIQUES

➤ Y a-t-il quelque chose de bon dans les décharges partielles ou les effets corona ?



➤ Par Jean-Christophe ERNOUX, responsable US de dBVib Technologies.

Les dommages engendrés par ces phénomènes ne sont pas amusants.

Les effets couronnés ont causé de nombreuses casses d'équipements électriques ces dernières décennies : transformateurs, jeux de barre, isolateurs, têtes de câble, alternateurs. Ce phénomène n'est apparemment pas bien assimilé par les fabricants, les installateurs, et les responsables maintenance.

Et souvent, il n'est pas identifié comme étant la source de défauts. Pourtant une défaillance de ceux-ci entraîne des arrêts de production et des pertes d'exploitation qui peuvent être colossales dans certains cas...

Un peu d'histoire...

Grâce aux travaux de Coulomb, Volta, Ampère..., les premières lois de l'électrostatique et de l'électricité apparaissent dès le début du XVIII^e siècle. La loi de Coulomb s'exprime comme suit : l'intensité de la force électrique entre deux corps est proportionnelle au produit de leur charge électrique et inversement pro-

portionnelle au carré de la distance qui les sépare.

Un peu de théorie...

Une charge électrique crée un champ électrique dans l'espace qui l'entoure. Lorsque nous approchons une deuxième particule chargée, celle-ci ne va pas interagir directement avec la première, mais

plutôt réagir au champ dans lequel elle se trouve. De cette façon, le champ joue le rôle d'intermédiaire entre les particules chargées. L'unité de charge adoptée par le Système International est le coulomb (C), ce qui représente une valeur assez élevée puisque la charge d'un électron est $-1.60219E-19$ C.

Nous pouvons obtenir la configuration du champ créé par une charge ponctuelle statique Q en mesurant la force agissant en divers points sur une petite charge d'essai q. Le vecteur champ électrique, E, est la force par unité de charge placée en ce point :

$$E = \frac{F}{q} \text{ (newton/coulomb)}$$

Le champ électrique est dans la même direction que la force agissant sur une charge d'essai positive et dans le sens opposé si la charge d'essai est négative. Ainsi, les lignes de champ (ou lignes de force) se dirigent des charges positives vers les charges négatives. Le champ électrique créé par une charge ponctuelle Q est :

$$E = \frac{Q}{4 * (\pi) * E0 * R^2} \cdot iR$$

où :

- Q est la valeur de la charge ponctuelle statique à l'origine du champ électrique.
- R est la distance entre la charge Q et le point à partir duquel nous mesurons le champ électrique.
- E0 est une constante environ égale à $8.854E-12$ C²/N*m².
- iR est un vecteur unitaire situé sur la ligne reliant les deux points sous considérations.



De gauche à droite : Alessandro Volta (1745-1827), Charles de Coulomb (1736-1806), André Marie Ampère (1775-1836).



Les micro-amorçages générés par les effets corona engendrent des détériorations sur les isolants, de sérieuses avaries, des arrêts de production et parfois des morts.



Le contrôle ultrasonore prend alors toute son importance. Dans ces cas l'opérateur, avec un détecteur de défauts ultrasonores de type Ultraprobe 2000, écoute les joints de portes, les aérations et au niveau des vitres plexiglas en face avant des appareillages. La sensibilité de certains appareils ultrasonores a été validée par EDF afin de connaître leur seuil de détection.

L'expérience précédente nous apprend donc que lorsque les lignes du champ électrique se resserrent, l'intensité de celui-ci croît ! Inversement, lorsque celles-ci s'écartent, l'intensité du champ décroît.

Les lignes de champ présentent une autre propriété fondamentale : elles sont toujours perpendiculaires à la surface d'un conducteur. Dans le cas d'une surface plane, il suffit de constater que le champ engendré en un point donné est la résultante des champs créés par toutes les charges se trouvant réparties uniformément sur la surface.

Les champs électriques intenses (valeur de crête proche de 20 kV/cm dans l'air) peuvent se produire à la surface des conducteurs et des composants des systèmes à haute tension. Dans certaines circonstances, ce phénomène mène à l'ionisation et à la disruptive électrique de l'air entourant le conducteur. Cet effet est connu sous les noms d'effluves, d'aigrettes, ou simplement "couronne". Le feu de Saint Elme qui apparaît parfois sur les mâts des navires est un exemple de couronne naturelle.

En général, les effets corona se concentrent sur des éléments saillant des parties métalliques sous tension.

La forte densité de charge accumulée sur les pointes donne naissance à un champ électrique important dans le voisinage de la pointe (ce champ est proportionnel à la densité de charge par unité de surface). Ce champ électrique accélère les quelques électrons libres qui se trouvent dans le voisinage et ces électrons peuvent acquérir suffisamment d'énergie cinétique pour à leur tour ioniser d'autres molécules de l'air au voisinage de la pointe, libérant d'autres électrons qui sont accélérés à leur tour, et ainsi de suite. Il existe donc un faible courant qui passe de l'atmosphère vers la pointe. La recombinaison des électrons avec les ions s'accompagne de l'émission de photons (de lumière) et c'est cette lumière qui génère les micro-étincelles que l'on peut parfois voir dans l'obscurité. Pour que le phénomène se produise, le champ électrique doit être suffisamment fort pour accélérer les électrons à une vitesse minimum avant que

Nous pouvons appliquer le principe de superposition au champ électrique. Ainsi, pour calculer en un point le champ créé par un système de charges, nous devons d'abord déterminer séparément les champs électriques dus à chacune des charges prises individuellement, ce qui donne, pour un ensemble de n charges :

$$E = \frac{Q1}{4*(\pi)*E0*R1^2} iR1 + \frac{Q2}{4*(\pi)*E0*R2^2} iR2 + \dots + \frac{Qn}{4*(\pi)*E0*Rn^2} iRn$$

Le champ électrique semble rayonner dans l'espace à partir des sources du champ – c'est-à-dire des charges électriques – en suivant les lignes de champ. Dans le cas de deux charges de signe opposé, le champ se comporte à la manière d'un fluide qui jaillirait de la charge positive et disparaîtrait en s'engouffrant dans la charge négative un peu comme un liquide dans un siphon. Les lignes de champ peuvent être assimilées aux lignes d'écoulement d'un fluide aux propriétés particulières ; l'intensité du champ en un point correspondrait à la vitesse du fluide imaginaire en ce même point. Cette analogie fut formellement

mise en évidence dès 1847 par William Thomson (Lord Kelvin).

Le champ électrique assimilé à un fluide non compressible

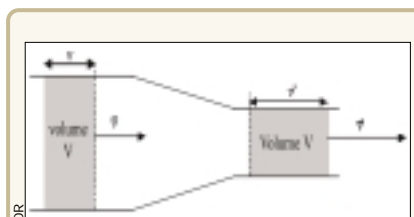


Figure 1 : le rétrécissement des lignes de champ (resserrement du tuyau) induit un accroissement du champ (augmentation de la vitesse du fluide).

ceux-ci n'entrent en collision avec les autres molécules, sinon celles-ci ne peuvent être ionisées. C'est pour cela qu'on observe le phénomène à proximité des pointes seulement (voir figure 2).

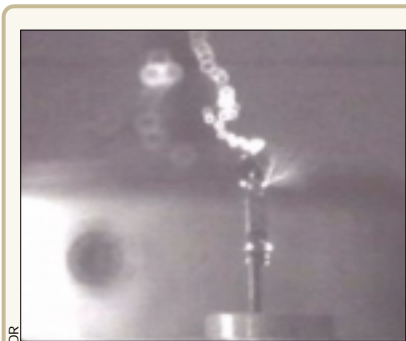
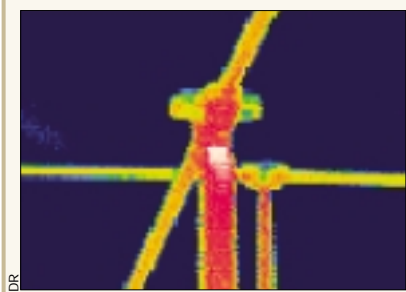


Figure 2
(image UV et visible ;
280 nm - 410 nm).

Les effets corona et l'infrarouge

Dans ce cas précis le thermogramme n'indique qu'une élévation de 3 °C sur le scellement de colonne et rien sur les tresses associées.

Il faut bien comprendre que les effets corona sont des phénomènes capacitifs et que la thermographie infrarouge permet de détecter d'autres résultantes dues aux effets joules.



Comparaison d'une image UV et IR
d'effets corona sur le même
équipement.

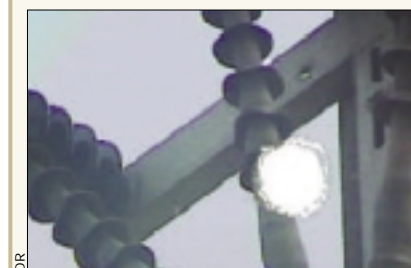
Quelques défauts rencontrés...

Les défauts suivants ont été détectés grâce à l'écoute ultrasonore des agitations moléculaires liées aux décharges partielles.

Étude n° 1



Figure 1 : thermogramme.



Autre image
UV solar-blind (254 nm) et visible.

Dans la figure 1, la détection ultrasonore a permis de détecter un défaut sur cette descente aérosouterraine. Ces éléments se situent à une hauteur de 20 mètres au-dessus du sol.

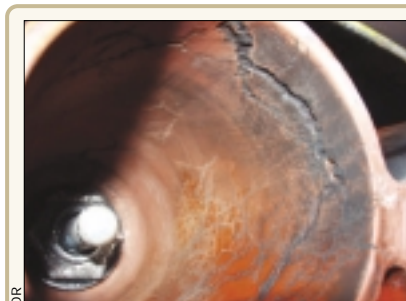
Le détecteur de défauts ultrasonores a immédiatement indiqué qu'un effet corona destructif se produisait sur l'élément de gauche.

En outre, dans le thermogramme de la figure 1, le gradient thermique entre ces supports ne permettait pas d'identifier un problème grave. Après démontage de l'équipement, il s'est avéré que l'intérieur de l'isolant avait été partiellement détruit par les effets corona.

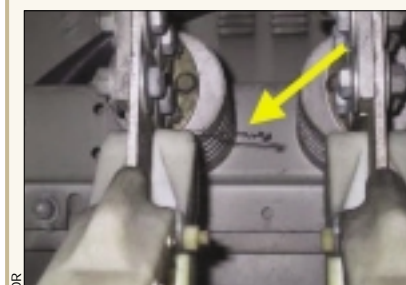
Étude n° 2

Les cellules fermées 20 kV sont les premières concernées pour leur suivi ultrasonore des décharges partielles. Dans le cas de cellules fermées, la détection de défauts électriques par imagerie infra-

rouge n'est pas possible (sauf avec la pose de hublots transparents aux IR).



Cellule MT Embrochage.



Cellule MT Support de manœuvre.

Étude n° 3



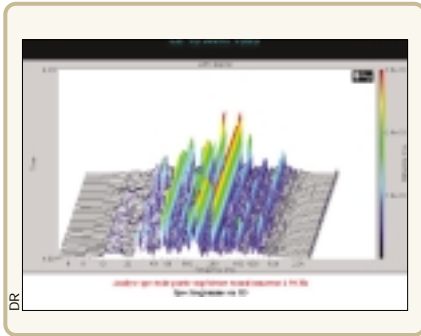
Vue n° 1.



Zoom de la vue n° 1.

Dans ce cas on constate que le croisement des terminales génère une discontinuité du gradient électrique. La poudre blanche observée est ni plus ni moins un dérivé nitré appelé communément acide nitrique (HNO_3). On peut imaginer les effets sur l'isolant à moyen terme...

Étude n° 4



Dans ce cas l'équipement était fermé mais l'écoute ultrasonore des défauts a permis d'éviter le pire.

On constate la formation de dérivés nitrés sur la partie supérieure de chaque ter-



minal et un taux important de corrosion des parties métalliques dû à la formation d'ozone (O_3) générée par les effets corona.

En conclusion

Un prestataire national en thermographie infrarouge a remarqué qu'environ 4 % des cellules fermées inspectées présentaient des décharges partielles.

Ces défauts peuvent se situer principalement en 3 endroits distincts :

- les têtes de câble ;
- les embrochages ;
- les jeux de barres.

La complémentarité du diagnostic infrarouge et ultrasonore est la meilleure solution pour l'inspection des appareillages électriques.

Les caméras infrarouges peuvent détecter les anomalies résistives. L'instrument de détection de défauts ultrasonores localise les anomalies capacitives.

Remerciements aux ingénieurs de dBVib Consulting pour leurs retours d'expériences du terrain et à tous les prestataires de services en thermographie utilisant déjà la détection ultrasonore de défauts électriques que j'ai pu rencontrer et former ces dix dernières années.



COMPTEZ
SUR DES EXPERTS

Acoustique
Vibrations
Détection de défauts ultrasons
Thermographie infrarouge
Analyse électrique
Alignement laser
Instruments de mesure
Analyse d'huile
Audit
Expertise
Étude
Ingénierie
Maintenance
Instrumentation
Recherche et développement
Formation



dB Vib CONSULTING
L'expertise dynamique



dB Vib INSONORISATION
Imaginer le silence



dB Vib TECHNOLOGIES
Les outils de la maintenance conditionnelle

Nous vous souhaitons tous nos vœux de réussite, une meilleure fiabilisation et une insonorisation performante de vos installations pour 2006...

Tel : 04 74 16 18 80 - Fax : 04 74 16 18 89 - WEB : www.dbvib.com