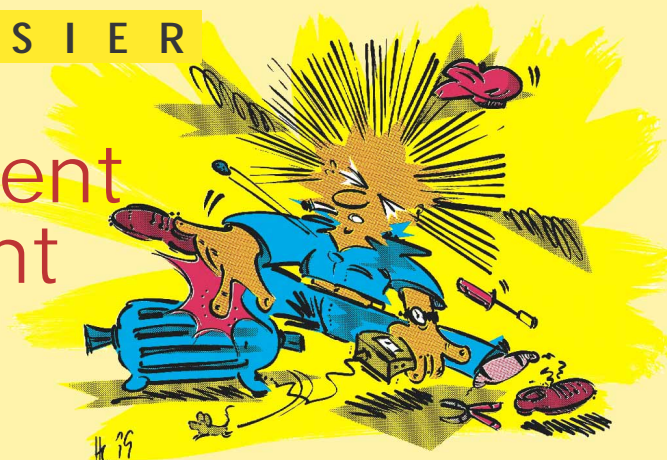


# Pourquoi et comment mesurer l'isolement électrique



*Petite tranche de vie quotidienne : "Profitant d'une bonne affaire, j'ai acheté récemment un lave-vaisselle d'occasion. Mon enthousiasme s'est vite envolé : le différentiel de mon installation déclenche à chaque fois que je démarre un lavage". Une petite vérification de l'isolement ne s'imposerait-elle pas ?*

Pour assurer le bon fonctionnement et une parfaite sécurité des appareils et installations électriques, tous les conducteurs sont isolés : gaine pour les câbles, vernis pour les bobinages. Quand la qualité de ces isolements s'amointrit, des courants de fuite peuvent circuler d'un conducteur à l'autre et, selon l'importance des défauts d'isolement (le pire défaut étant le court-circuit), provoquer des dégâts plus ou moins graves.

Un matériel présentant un défaut d'isolement peut tomber en panne, brûler ou provoquer un défaut sur l'installation elle-même et par conséquent, déclencher des dispositifs de protection, c'est-à-dire la coupure de toute l'installation... D'ailleurs, certaines installations particulièrement sensibles (salles d'opération dans les hôpitaux, industries chimiques...) sont réalisées selon un régime de neutre de type IT (cf. IEC 60364 et NF C 15-100), régime qui tolère un premier défaut d'isolement phase-terre et ne coupe l'installation qu'au deuxième défaut.

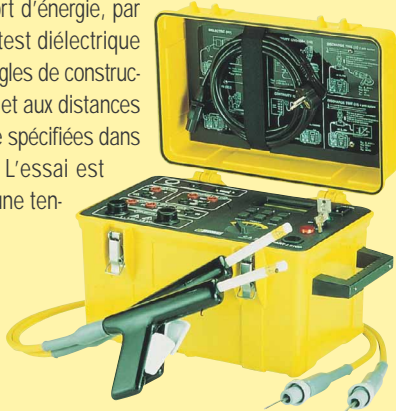
Pour prévenir et pouvoir se prémunir des risques liés à un isolement insuffisant ou à une dégradation du niveau de l'isolement, des mesures doivent être effectuées. Elles concernent aussi bien les matériels électriques que les installations sur lesquelles ils sont connectés. Ces mesures sont réalisées lors de la mise en route, sur des éléments neufs ou rénovés, puis périodiquement afin de juger de leur évolution dans le temps.

## Mesure de résistance d'isolement et essai diélectrique

Trop souvent confondues, ces deux notions, qui caractérisent la qualité d'un isolant, méritent d'être à nouveau explicitées.

■ **L'épreuve de tenue diélectrique**, plus communément appelée "essai de claquage", exprime la capacité d'un isolant à supporter une surtension de moyenne durée sans que se produise un amorçage (étincelle). Dans la réalité, cette surtension peut être due à la foudre ou à l'induction engendrée par un défaut sur une ligne de transport d'énergie, par exemple. L'objectif principal du test diélectrique est donc de s'assurer que les règles de construction relatives aux lignes de fuite et aux distances d'isolement dans l'air, telles que spécifiées dans les normes, sont respectées. L'essai est souvent réalisé en appliquant une ten-

Le C.A 6121 est un contrôleur Machine assurant les quatre fonctions de base liées à la directive européenne EN 60204, dont l'épreuve de tenue diélectrique 1000 V, 1250 V et 1500 V sous 500 VA



sion alternative, mais il peut également être réalisé avec une tension continue. L'appareil nécessaire à ces mesures est un **diélectromètre**. Le résultat obtenu est une valeur de tension, exprimée le plus souvent en kilovolt (kV). L'essai diélectrique présente un caractère plus ou moins destructif en cas de défaut, selon la puissance de l'appareil de test utilisé. De ce fait, il est réservé aux matériels neufs ou rénovés : seuls ceux ayant subi l'épreuve avec succès seront mis en service.

## ■ La mesure de la résistance d'isolement,

quant à elle, est non-destructive dans des conditions normales de test. Réalisée en appliquant une tension continue d'amplitude inférieure à celle de l'essai diélectrique, elle vise à fournir un résultat en k $\Omega$ , M $\Omega$  ou G $\Omega$ . Cette résistance exprime la qualité de l'isolation entre deux éléments conducteurs et fournit une bonne information sur les risques de circulation de courants de fuite. Son caractère non-destructif la rend particulièrement intéressante pour le suivi du vieillissement des isolants durant la période d'exploitation d'un matériel ou d'une installation électrique. Elle peut ainsi servir de base à une maintenance préventive. Cette mesure est effectuée au moyen d'un Contrôleur d'isolement, également appelé **mégohmmètre**.



## Comment mesurer les niveaux d'isolement ?

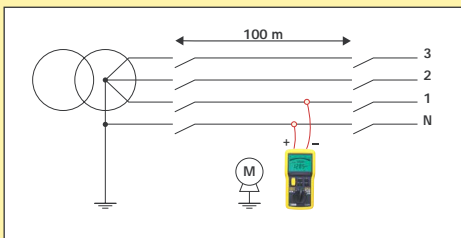
Concrètement, on vérifie dans un premier temps que l'installation ou le matériel soit hors-tension, puis on applique une tension d'essai continue et on recueille la valeur de la résistance d'isolement. Lors de la mesure d'un isolement par rapport à la terre, il est conseillé de placer le pôle positif de la tension d'essai sur la terre, pour éviter des problèmes de polarisation de la terre lorsque l'on procède à des essais multiples.

Toutes les normes concernant des installations ou matériels électriques spécifient les conditions de mesure et les seuils minimums à respecter pour les mesures d'isolement.

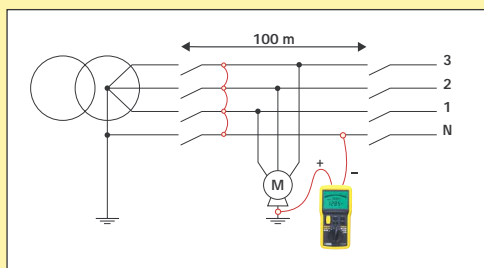
## ■ Mesures d'isolement sur des installations électriques

La fameuse NF C 15-100, qui traite des installations électriques Basse Tension, précise que la résistance d'isolement doit être mesurée, installation hors tension, sur des tronçons d'une longueur de 100 m\* :

■ Avant la mise en service, récepteurs débranchés, entre chaque conducteur actif (conducteurs de phase et du neutre) pour vérifier qu'aucun d'entre eux n'a subi de dommage mécanique lors de l'installation.



■ Avant la mise en service, conducteurs actifs reliés entre eux, récepteurs



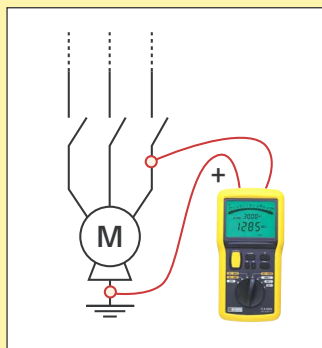
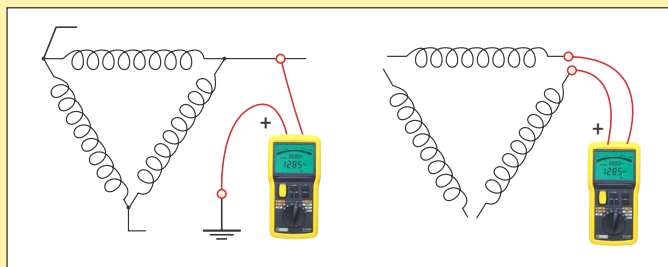
branchés, pour vérifier l'isolement de tous les conducteurs par rapport à la terre. Si l'installation comporte des dispositifs électroniques sensibles, il convient de vérifier pendant les

mesures que les conducteurs de phase et de neutre sont bien reliés. Ces mesures sont également effectuées périodiquement dans le cas d'installations tertiaires ou industrielles.

\*Il est possible d'effectuer des mesures sur des tronçons de moindre longueur. Dans ce cas, la valeur de l'isolement sera inversement proportionnelle à la distance. Par exemple, pour un tronçon de 50 mètres,  $R_{\text{isolement } 50 \text{ m}} = 2 \times R_{\text{isolement } 100 \text{ m}}$

### ■ Mesure de l'isolement d'une machine tournante

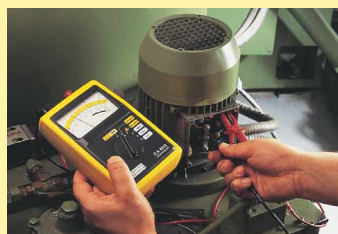
On peut vérifier la qualité de l'isolement des enroulements par rapport à la terre ou des enroulements entre eux.



On pourra aussi vérifier l'isolement du moteur branché sur l'installation, par rapport à la terre.

Les tensions d'essais de 500 V et 1000 V sont bien sûr les plus courantes lors de tests de machines tournantes Basse Tension (<1000 V). Sur des machines tournantes fonctionnant au-delà de 1000 V (moyenne tension), les tensions d'essai d'isolement sont couramment de 2500 V ou 5000 V<sub>DC</sub>.

Contrôle d'isolement d'enroulements de moteurs électriques



### ■ Mesure d'isolement de câbles téléphoniques

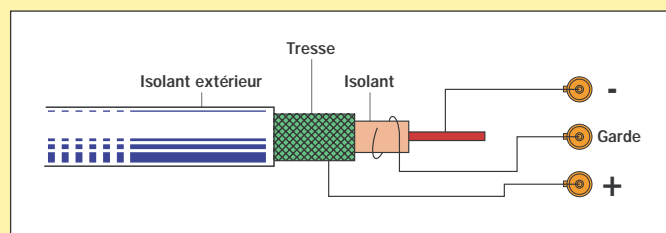


Effectuées sur des câbles neufs sous 250 V ou 500 V ou sur des lignes téléphoniques en service sous 50 V ou 100 V pour la relève de dérangements, les mesures d'isolement peuvent s'effectuer entre lignes appariées et l'écran relié à la terre, ou entre l'écran métallique et la terre.

*Spécial "mesures télécom", le C.A 6531 dispose de calibres de mesure sous 50 V ou 100 V pour vérifier l'isolement entre un faisceau de paires libres et l'écran relié à la terre. Astucieux, il affiche directement en km la longueur d'une ligne téléphonique, grâce à la programmation de la capacité linéique (nF/km)*

### ■ Mesure de forts isolements : intérêt d'un circuit de garde

Dans le cas d'isolements élevés (supérieurs à 1 GΩ), les mesures peuvent être parfois faussées par la circulation de courants de fuite qui cheminent à la surface des isolants, au travers de l'humidité et des poussières superficielles. Le technicien souhaite souvent ne qualifier que la qualité intrinsèque des isolants. Pour faire une mesure exacte, il lui faut donc éliminer ce courant de fuite superficiel qui diminue la résistance affichée sur le mesureur pour ne garder que le courant transversal circulant à l'intérieur de l'isolant. Cette opération s'effectue simplement en connectant la borne de garde du mesureur d'isolement à un point situé entre les points de test " + " et " - ". Cette borne de garde vient shunter le circuit de mesure, et réinjecte donc le courant de surface sur un des points de test, sans passer par la mesure. La garde sera connectée sur une surface susceptible d'être le siège de circulation de courants de surface, non caractéristiques des isolants : surface isolante d'un câble, d'un transformateur... Il est nécessaire d'avoir une bonne connaissance de la circulation possible du courant de test au travers de l'élément testé pour choisir le meilleur emplacement pour la connexion de la borne de garde.



*En plus des bornes positives et négatives de test, l'utilisation d'une borne de garde permet d'affiner les mesures des forts isolements*

### Valeurs minimales des résistances d'isolement

Les valeurs des résistances d'isolement sont définies selon la tension nominale du circuit testé.

### ■ Installations électriques

Les valeurs minimales présentées dans le tableau ci-dessous correspondent aux prescriptions de la norme NF C 15-100.

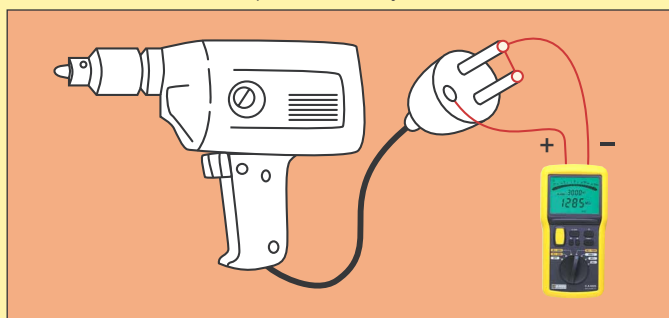
Tension nominale du circuit	Tension d'essai	Résistance d'isolement minimale *
En dessous de 50V	250 V <sub>DC</sub>	0,25 MΩ
De 50 à 500V	500 V <sub>DC</sub>	0,5 MΩ
Au-dessus de 500V	1000 V <sub>DC</sub>	1,0 MΩ

\* Aide mémoire : les seuils d'isolement correspondent à 1000 Ω par Volt de tension d'essai

Si la valeur mesurée par rapport à la terre est inférieure à la résistance minimale imposée, on déconnectera alors les récepteurs de l'installation puis on vérifiera séparément les isolements de chaque conducteur par rapport à la terre. Pour des applications spécifiques, les seuils peuvent changer. Ainsi, pour des câbles chauffants noyés dans les parois des bâtiments, les valeurs minimales selon la NF C 15-100 sont de 250 k $\Omega$  pour une tension nominale de 230 V et 400 k $\Omega$  pour une tension nominale de 400 V.

## ■ Appareils et moteurs électriques

Le nombre de normes relatives à des appareils électriques est proportionnel à leur diversité. La tension d'essai de 500 V<sub>DC</sub> est la plus classique et peut être appliquée aux tests de machines (norme EN 60204), aux appareils électrodomestiques (EN 60335), aux tableaux électriques (EN 60439) et aux luminaires (EN 60598). Les seuils minimums peuvent varier d'une norme à une autre, mais là aussi 1000  $\Omega$ /V constitue souvent une valeur de référence en dessous de laquelle il ne faut jamais descendre.



## ■ Installations téléphoniques

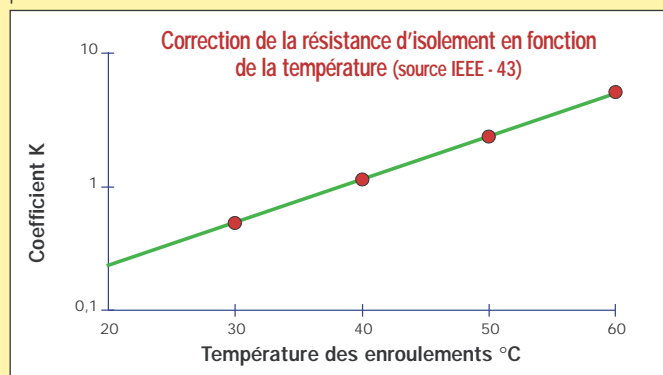
Sur des lignes téléphoniques, l'isolement de câbles non remplis, neufs, de longueur inférieure à 2 km doit être au moins de 1000 M $\Omega$  (et de 2000 M $\Omega$ /km si la longueur dépasse 2 km). Pour des câbles remplis, les valeurs sont respectivement de 750 M $\Omega$  et 1500 M $\Omega$ /km.

Sur des lignes en service, l'isolement toléré est inférieur à celui des câbles neufs, mais il ne doit en aucun cas descendre en dessous de la moitié des valeurs données pour les câbles neufs.

## Influence des conditions climatiques

Deux paramètres d'environnement interviennent considérablement dans la mesure des isolements :

■ **La température** fait varier la valeur de la résistance d'isolement selon une loi quasi exponentielle. Dans le cadre d'un programme de maintenance d'un parc de moteurs, il est donc important d'effectuer les mesures périodiques dans des conditions similaires de température. Sinon, il convient de corriger les résultats trouvés pour les ramener à une température fixe de référence. A titre d'exemple, la norme IEEE 43 sur les machines tournantes donne comme approximation une division par 2 de l'isolement pour chaque augmentation de température de 10°C (et inversement). La courbe ci-dessous peut ainsi servir de base de correction.



■ **Le taux d'humidité** influence l'isolement en fonction du niveau de contamination des surfaces isolantes. Il faut toujours veiller à ne pas effectuer de mesure si la température est inférieure à celle du point de rosée.

Une surveillance de ces deux paramètres température et humidité lors des mesures d'isolement permet d'obtenir des résultats fiables et comparables, et donc une maintenance prédictive de bonne qualité, qui assure une durée d'exploitation maximale des matériels électriques.



*Dans la pochette d'accessoires, fournie avec l'ISOL 5003, l'utilisateur dispose d'un thermomètre numérique avec une sonde d'air ambiante pour optimiser le relevé de conditions de mesures.*

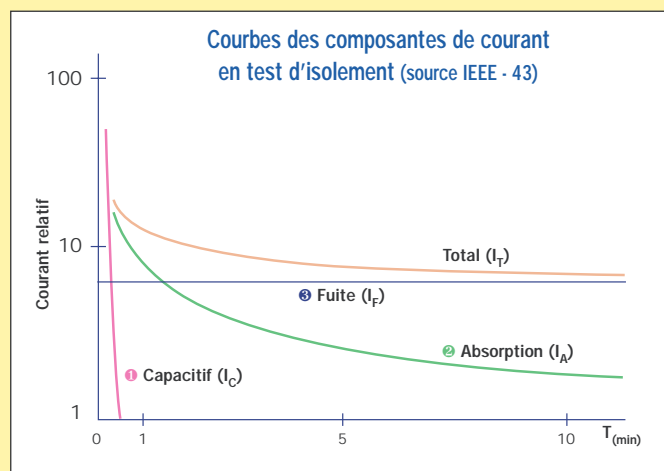
## Interprétation des mesures d'isolement

L'interprétation reste un élément fondamental de toute mesure. Nous avons vu précédemment que le relevé ponctuel de valeurs d'isolement pouvait donner des résultats aléatoires si, pour des conditions d'humidité supposées fixes, l'influence de la température n'était pas corrigée.

Les deux méthodes décrites ci-dessous ont pour objet de faciliter l'interprétation des mesures et de détecter les détériorations d'un isolant par une observation dans le temps.

## ■ Méthode basée sur l'influence du temps d'application de la tension d'essai

Cette méthode présente l'avantage d'être peu influencée par la température (grâce à son principe dit "comparatif") ce qui la rend applicable facilement sans correction nécessaire des résultats. Elle est particulièrement bien adaptée à la maintenance prédictive des machines tournantes et à la surveillance du vieillissement de leurs isolants. Pour cela, rappelons quels sont les différents courants qui circulent lors d'une mesure de la résistance d'un isolant (voir graphique).



**Courbe 1** : elle correspond au courant de charge de l'élément capacitif du circuit testé. Ce courant transitoire diminue rapidement au bout de quelques secondes, voire quelques dizaines de secondes, et devient négligeable par rapport au courant de fuite I<sub>F</sub> à mesurer.

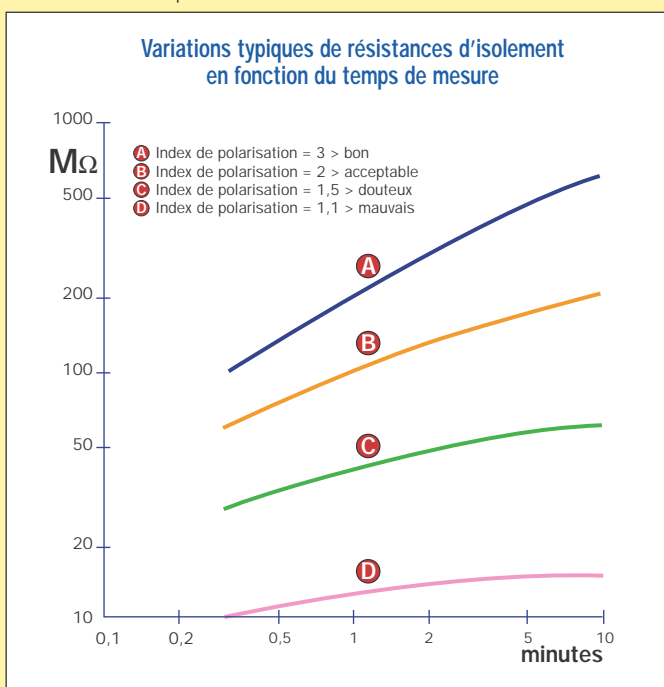
**Courbe 2** : le courant d'absorption du diélectrique décroît quant à lui beaucoup plus lentement. Il apporte notamment l'énergie nécessaire aux molécules des isolants pour se réorienter selon le champ électrique appliqué.

**Courbe 3** : cette dernière représente le courant de fuite caractéristique de la résistance d'isolement.

Deux cas se présentent si on applique la tension d'essai pendant une longue durée :

**a. L'isolement est excellent (isolant en bon état, propre et sec).** Dans ce cas, le courant de fuite est très faible et la mesure est fortement influencée par les courants de charge capacitive et d'absorption diélectrique. La mesure de la résistance d'isolement sera donc croissante pendant le temps d'application de la tension d'essai car ces courants parasites sont décroissants. De la nature des isolants dépend le temps au bout duquel la mesure d'un bon isolement sera stable. Avec les anciens types d'isolant, une valeur stable est atteinte en 10 ou 15 minutes en général. Avec certains types d'isolants récents (epoxy-mica ou polyester-mica par exemple), la mesure peut se stabiliser au bout de 2 à 3 minutes environ.

**b. L'isolement est mauvais (isolant dégradé, sale et humide).** Ici, le courant de fuite est très fort (et constant) et surclasse les courants de charge capacitive et d'absorption diélectrique. La mesure de la résistance d'isolement atteindra dans ce cas très rapidement un niveau constant et stable.



De l'examen des courbes de variation des isolements en fonction de la durée d'application de la tension d'essai, il est possible de compléter la mesure "absolue" de l'isolement par des ratios traduisant le bon ou mauvais état des isolants.

On calcule par exemple le quotient de la valeur de la résistance d'isolement relevée après 10 minutes d'application de la tension d'essai, sur la valeur relevée après une minute d'application. On obtient un quotient appelé "Index de Polarisation (PI)". Toutefois, cet index ne se suffit pas à lui seul. Il complète seulement les valeurs d'isolement absolues prévues par les normes ou définies par les constructeurs de machines tournantes.

**PI =  $R_{\text{isolement à 10 minutes}} / R_{\text{isolement à 1 minute}}$**

Si PI < 1 l'isolement est dangereux  
 Si PI < 2 l'isolement est douteux  
 Si PI < 4 l'isolement est bon  
 Si PI > 4 l'isolement est excellent

Comme décrit précédemment, les isolants les plus récents ont un courant d'absorption diélectrique qui décroît plus rapidement qu'avec les anciens isolants. Par conséquent, la mesure devient stable au bout de 2 à 3 minutes parfois. Le "Ratio d'Absorption Diélectrique (DAR)", coefficient des valeurs

à 1 minute et 30 secondes, peut ainsi suffire pour qualifier le bon état de certains isolants récents.

**DAR =  $R_{\text{isolement à 1 minute}} / R_{\text{isolement à 30 secondes}}$**

Si DAR < 1,25 l'isolement est insuffisant  
 Si DAR < 1,6 l'isolement est bon  
 Si DAR > 1,6 l'isolement est excellent

L'évolution dans le temps des coefficients PI ou DAR peut ainsi largement faciliter la maintenance prédictive d'un parc de machines par exemple.

■ **Méthode basée sur l'influence de la variation de la tension d'essai (mesure par échelon)**

La présence de contaminants (poussières, salissures...) ou d'humidité à la surface des isolants est généralement bien révélée par les mesures basées sur le temps d'application de la tension d'essais (DAR, PI...). Néanmoins, le vieillissement des isolants ou certains dommages mécaniques peuvent parfois passer au travers de ce genre d'essai pratiqué avec une tension faible par rapport à la tension diélectrique de l'isolant testé. Une augmentation significative de la tension d'essai appliquée peut par contre provoquer la rupture de ces points faibles, ce qui se traduira par une diminution sensible de la valeur d'isolement mesurée.

Pour que cette méthode soit efficace, on décide généralement d'appliquer un échelon de tension suffisant, d'un rapport de 5 sur 1, en une ou plusieurs étapes de durée équivalente (1 minute par exemple), tout en restant bien en dessous de la tension d'essai diélectrique classique (2 Un + 1000 V). Les résultats de cette méthode sont totalement indépendants de la nature des isolants et de la température, car on ne se base pas sur la valeur intrinsèque des isolements mesurés mais sur la diminution effective de la valeur lue au bout d'un temps identique, à deux tensions d'essai différentes. Une réduction de la résistance d'isolement, entre le premier et le second palier, de 25% ou plus est un signe de dégradation de l'isolant.

**Critères de choix d'un contrôleur d'isolement**

Voici quelques pistes de réflexion pour vous aider à choisir un contrôleur d'isolement adapté à vos besoins.

- **L'application.**  
 Pour quel type de matériel : installations électriques, appareillage, téléphonie, ... ?  
 Tension nominale de fonctionnement, prescriptions constructeur, normes dédiées ?  
 Sous quelle tension d'essai : 50, 100, 250, 500, 1000, 2500, 5000 V<sub>DC</sub> ?  
 Quelle gamme de mesure : kΩ, MΩ, GΩ ?
- **Le confort d'utilisation.**  
 Quel mode de lecture : affichage à aiguille avec échelle logarithmique, LCD numérique, bargraph analogique ?  
 Quelle commodité d'emploi : seuils d'alarme programmables, rétroéclairage, sonde de commande déportée ?
- **Le mode d'utilisation.**  
 Générateur à magnéto, piles, batterie rechargeable ?  
 Quelles autres mesures à effectuer : continuité, courant, tension ... ?  
 Appareil monofonction, ou multifonction dédié au contrôle d'installations ou de machines ?

Service-lecteur n°7

**P Ô L E T E S T & M E S U R E**  
 Tél. : 01 44 85 44 85 - Fax : 01 46 27 73 89  
 E-mail : info@chauvin-arnoux.com