

**NOTES**

**D'INFORMATIONS**

**TECHNIQUES**

---

**LES TESTS DIELECTRIQUES**

**LES ESSAIS**

**DE**

**RIGIDITE ET D'ISOLEMENT**

---

**Sefelec**

Parc d'Activités du Mandinet - 19, rue des Campanules  
77185 -LOGNES - MARNE LA VALLEE

Téléphone : 16 (1) 60.17.54.62  
Télécopie : 16 (1) 60.17.35.01

<b>SOMMAIRE</b>	<b>PAGE</b>
<b>1- Objet des essais diélectriques .....</b>	<b>2</b>
<b>2- Terminologie .....</b>	<b>2</b>
<b>3- Influence des conditions climatiques .....</b>	<b>3</b>
<b>4- Mesure de résistance d'isolement .....</b>	<b>4</b>
4.1 Précautions à observer .....	4
4.2 Mesures sur condensateurs .....	5
4.3 Mesures sur les câbles .....	6
4.4 Choix de la tension de mesure .....	7
<b>5- Essais de rigidité diélectrique .....</b>	<b>8</b>
5.1 Choix de la tension d'essai .....	8
5.1.1 Essais de rigidité en tension alternative .....	8
5.1.2 Essais de rigidité en tension continue .....	9
5.2. Sélection du mode de disjonction .....	9

## 1 Objet des essais diélectriques

Les essais de rigidité diélectrique ont pour but de :

- Déceler les défauts de fabrication d'un matériel électrique,
- Vérifier la qualité des isolants d'un matériel électrique,
- Vérifier qu'une installation électrique a été correctement réalisée,
- Contrôler la résistance d'isolement d'un matériel ou d'une installation pour en suivre l'évolution et le vieillissement.

Ils sont basés sur des mesures de résistance d'isolement et des essais de rigidité diélectrique.

## 2 Terminologie

- **LIGNE DE FUITE** : plus petite distance, mesurée sur la surface de l'isolant entre 2 parties conductrices, nécessaire pour éviter les ruptures par contournement.
- **COURANT DE FUITE** : courant établi parcourant un milieu isolant soumis à une tension déterminée. Ce courant permet de quantifier la résistance d'isolement d'un matériau isolant.
- **CLAQUAGE** : rupture instantanée des propriétés diélectriques du milieu isolant. Tout claquage entraîne une détérioration plus ou moins importante du matériau. Les essais de claquage peuvent donc être destructifs ou non.
- **RESISTANCE D'ISOLEMENT** : caractéristique d'un matériau isolant qui soumis à une tension donnée, présente une résistance telle que la valeur du courant de fuite qui le traverse reste admissible.
- **RIGIDITE DIELECTRIQUE** : rapport entre la tension à laquelle se produit une rupture diélectrique du milieu isolant et la distance entre les deux points d'application de la tension (exprimée généralement en kV/cm). Selon la nature du milieu isolant (solide, liquide ou gazeux) une rupture diélectrique peut être : une perforation, un contournement ou un amorçage d'arc.
- **TENSION DE RUPTURE (OU DE CLAQUAGE)** : Tension à laquelle le milieu diélectrique perd ses propriétés isolantes et permet le passage d'un courant entre les deux points d'application de la tension d'essais.

### 3 Influence des conditions climatiques

Les conditions de température, de pression et d'humidité ont une influence sur les résultats des tests diélectriques.

- **LA TEMPERATURE** : la température ayant une influence sur la densité des gaz, celle-ci va modifier le comportement des isolants gazeux et liquides. Les huiles souvent utilisées comme isolant ne sont jamais pures, la quantité de gaz dissous augmente avec la température et va diminuer les propriétés isolantes de l'huile. La grande diversité des matériaux utilisés comme isolants solides ne permet pas de dégager une loi générale sur leurs comportements en température (les caractéristiques d'isolement ayant tendance à se dégrader lorsque la température augmente).
- **LA PRESSION** : la tenue en tension dans les gaz change en fonction de la pression suivant la loi de PASCHEN. Cette loi présente un minimum de la tension de claquage pour une valeur particulière du produit de la pression par la distance, sinon, plus la pression augmente, plus la tension de tenue est élevée. Les liquides utilisés comme isolants diélectriques sont influencés par la pression, la rigidité augmentant de façon régulière avec la pression. Les isolants solides sont en théorie peu influencés par la pression dans la mesure où celle-ci ne modifie pas sensiblement leurs épaisseurs et leurs compositions internes.
- **L'HYGROMETRIE** : La tenue en tension des gaz change en fonction de l'hygrométrie. Pour l'air par exemple et pour des valeurs d'Humidité Relative < 80%, on constate que la rigidité augmente un peu avec l'accroissement de l'humidité (les molécules d'eau plus denses que le gaz freinent le phénomène d'avalanche). La présence d'eau dans un isolant liquide tel que l'huile, dégrade la tenue diélectrique par électrolyse de l'eau, (formation de gaz produisant des décharges partielles conduisant au claquage). Sous l'effet combiné de l'humidité (> 95%) et de la température (> 100°C) la plupart des polymères se dégradent. L'eau peut occasionner des gonflements dans les isolants et créer des fissures qui favoriseront le cheminement des arcs électriques.

## 4 Mesure de résistance d'isolement

La mesure de résistance d'isolement est destinée à vérifier que les différents composants et sous-ensembles constituant un équipement électrique ont une résistance d'isolement telle que les courants de fuite n'atteignent pas de valeurs inadmissibles.

Le principe est d'appliquer une tension continue stable et spécifiée (choisie parmi les valeurs normalisées) entre les points définis, au bout d'un temps généralement imposé, et de mesurer le courant traversant le matériau testé. En appliquant la loi d'Ohm (Résistance = Tension / Courant) on exprime le résultat en donnant la valeur de la résistance d'isolement. Cette valeur est alors comparée à la valeur de seuil minimal spécifié par la norme utilisée pour l'essai.

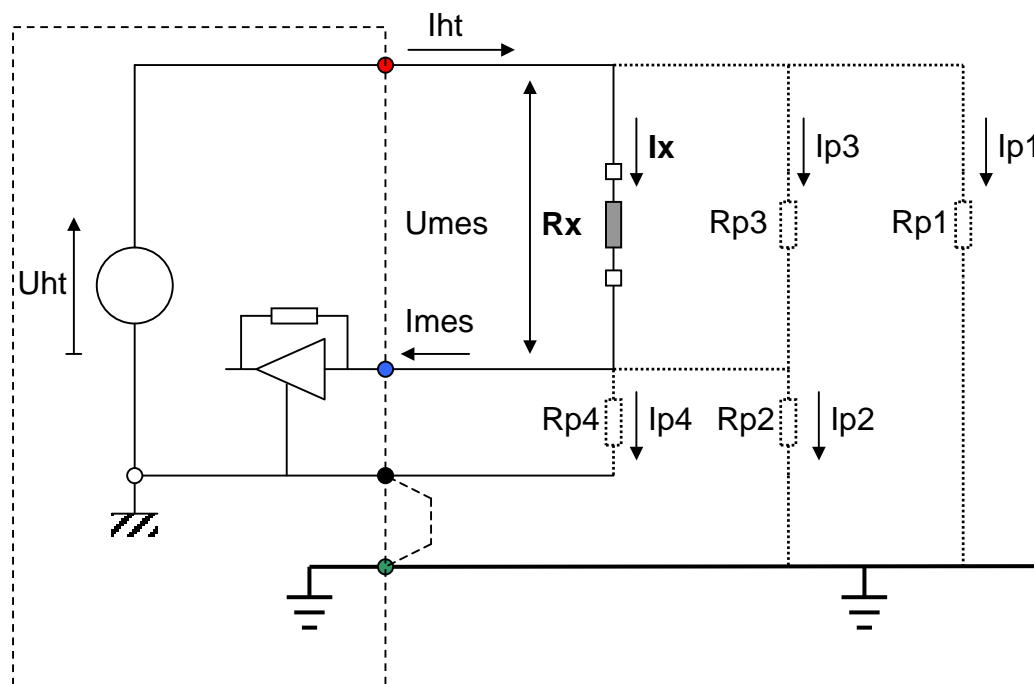
### 4.1 Précautions à observer

Il est important de raccorder l'élément à mesurer en tenant compte des fuites parasites qui pourraient être engendrées par la mise en oeuvre de la mesure.

Les accessoires fournis possèdent un blindage qui est relié à un potentiel de garde ce qui assure une bonne immunité de la mesure quant aux courants de fuite parasites et aux résidus alternatifs.

Dans le cas d'utilisation de prolongateurs des accessoires de base prendre les précautions nécessaires pour ne pas introduire d'erreur de mesure (cordons courts, cordons ne touchant pas de partie métallique ou même de partie isolante,...).

Lors de mesures de résistances ayant des valeurs élevées ( $> 100 \text{ G}\Omega$ ), le voisinage d'un opérateur approchant la main de l'échantillon testé peut fausser ou rendre instable la mesure. Il est important de se méfier des blouses en Nylon ou des objets en matière isolante susceptibles d'engendrer par électricité statique des champs importants pouvant perturber la mesure de fortes valeurs de résistances. ( $100 \text{ G}\Omega$  sous 100 volts = 1 nA de courant mesuré).



## 4.2 Mesures sur condensateurs

Il est bon de rappeler que beaucoup d'appareils électriques actuels possèdent des filtres d'entrée secteur comprenant des condensateurs pour la compatibilité électromagnétique. Lors de mesure sur des condensateurs il est recommandé d'utiliser le mode de mesure CAPACITE afin de stabiliser les valeurs mesurées.

A) En effet sur condensateurs les variations de l'alimentation de mesure, même infimes ainsi que les parasites sont intégralement transmis à l'entrée du système de mesure de courant qui possède un gain très important et donc va amplifier de manière notable ces variations. Le mode CAPACITE met en oeuvre des circuits qui vont limiter l'instabilité des valeurs mesurées.

B) Ne jamais effectuer de mesures de résistance d'isolement sur des circuits capacitifs en diminuant la tension de mesure entre chaque test, mais toujours en l'augmentant, les phénomènes d'hystérésis et de polarisation présentés par le diélectrique fausseraient les résultats. Dans ce cas l'appareil a tendance à indiquer une valeur maximale et met un temps très long à redescendre à sa valeur réelle de mesure.

C) La valeur de la résistance d'isolement d'un condensateur étant une fonction évoluant suivant une loi exponentielle en fonction du temps, il est important pour donner une signification à la valeur mesurée, d'indiquer également la durée de l'essai. Les appareils de la série MG permettent de satisfaire à cette exigence grâce au temporisateur incorporé, capable de chronométrer des temps allant de 1 seconde à 16 minutes.

D) Ne jamais débrancher un échantillon capacitif sans être passé en mode DECHARGE et avoir attendu le temps nécessaire pour que sa capacité se soit déchargée dans la résistance de 2.2 k $\Omega$  incorporée à l'appareil (prévoir environ 1 seconde par 100 uF).

### 4.3 Mesures sur les câbles

La mesure sur des câbles s'apparente à la mesure sur des échantillons capacitifs, veuillez donc vous reporter au paragraphe 9.4.2 pour les conseils de base.

Les configurations de mesure de câbles sont très diverses. Les mesures doivent être réalisées soit entre conducteurs pour les câbles multiconducteurs, soit entre âme et blindage pour les câbles blindés, soit entre le câble et son environnement pour les câbles mono-conducteur.

A) Dans ce dernier cas, la méthode généralement utilisée, est de plonger le touret de câble dans un réservoir d'eau (appelé PISCINE), de laisser l'eau pénétrer jusqu'au cœur du touret, puis d'effectuer la mesure de résistance d'isolement entre le conducteur et l'eau. Pour des raisons de construction et de sécurité, le réservoir se trouve raccordé à la terre. L'appareil de mesure de résistance d'isolement doit donc être capable de mesurer un échantillon dont un de ses points est la terre. Les appareils de la série MG permettent de réaliser ce type de mesure très facilement puisque le point haut du générateur de tension est par construction raccordé à la terre. Il suffit donc de brancher l'entrée de mesure de l'appareil (avec l'accessoire haute tension) sur le conducteur à mesurer et de déclencher la mesure.

B) Une autre spécificité des mesures de résistance d'isolement sur des câbles est que les caractéristiques des constructeurs donnent des valeurs de résistance pour une longueur de câble normalisée de 1 km (kilomètre).

En plate-forme lors des contrôles des tourets de câbles, ceux-ci ne font jamais exactement la longueur normalisée, ce qui oblige les opérateurs à effectuer un calcul fonction de la longueur du câble et du nombre de conducteurs en parallèle pour les câbles multi-conducteurs. D'autre part les comparateurs incorporés aux appareils de mesure ne peuvent plus être utilisés, puisqu'ils comparent par rapport à la valeur globale d'isolement et non pas par rapport à la valeur normalisée.

Les appareils de la série MG permettent grâce à l'option 23 d'afficher des mesures de résistance d'isolement ramenées à une longueur de 1 km et à 1 conducteur, ce qui autorise également l'utilisation des comparateurs incorporés. L'opérateur a la possibilité de saisir dans un menu de l'appareil la longueur du câble en essai ainsi que le nombre de conducteurs le constituant.

Le résultat est alors exprimé en  $M\Omega$  par km.

Par exemple : l'appareil mesure une valeur de  $10 M\Omega$  pour un câble mono-conducteur de 10 km de long. Sa valeur ramenée à 1 km sera donc de :  **$(R_{totale}/ km) \times Longueur = 100 M\Omega \cdot km$**

Pour le même câble avec 10 conducteurs, la valeur pour 1 conducteur sera de  $1000 M\Omega$  par km.

C) La valeur de la résistance d'isolement d'un câble étant une fonction évoluant suivant une loi exponentielle en fonction du temps, il est important pour donner une signification à la valeur mesurée, d'indiquer également la durée de l'essai. Les appareils de la série MG permettent de satisfaire à cette exigence grâce au temporisateur incorporé, capable de chronométrer des temps allant de 1 seconde à 16 minutes.

#### **4.4 Choix de la tension de mesure**

Les mesures de résistance d'isolement devant permettre de vérifier que des matériaux ou des équipements répondent aux exigences des normes, il est important de se référer à ces normes pour choisir la tension de mesure. Les valeurs de tension normalisées sont généralement : 50, 100, 250 et 500 volts continus. En cas d'absence de recommandation, choisir une tension de 100 volts pour effectuer les mesures.

Dans le cas de mesures sur des échantillons capacitifs et lors de l'étude de l'influence de la tension sur les valeurs de résistance d'isolement, il est important de toujours partir de la tension la plus basse et de poursuivre les mesures en augmentant la tension. Une procédure dans l'ordre inverse pourrait donner des résultats incohérents.

## 5 Essais de rigidité diélectrique

L'essai de rigidité diélectrique est destiné à éprouver les éléments isolants des composants et des différents sous-ensembles constituant un équipement électrique et à vérifier que les lignes de fuite, soit entre points, soit entre points et la masse, sont convenablement prévues suivant la technologie employée.

Le principe d'un essai de rigidité diélectrique est d'appliquer une tension (continue ou alternative) entre les points définis et après stabilisation de la tension de vérifier qu'il n'y a pas un courant de fuite supérieur à la valeur nominale admissible dû à des phénomènes de claquage ou de décharges disruptives (dans l'air ou dans les matériaux isolants).

La sanction de défaut est déterminée par l'analyse de la forme, de l'amplitude et du temps de maintien du courant fourni par le générateur à l'élément en test et par comparaison avec une consigne déterminée.

### 5.1 Choix de la tension d'essai

Les essais de rigidité diélectrique devant permettre de vérifier que des matériaux ou des équipements répondent aux exigences des normes, il est important de se référer à ces normes pour choisir la tension de mesure.

En l'absence d'indication concernant la valeur de tension d'essai, une règle habituelle est d'appliquer la formule suivante :

$$U_{\text{essai}} = 2 \times U_{\text{nominale}} + 1000 \text{ volts}$$

La plupart des normes spécifient la nature, alternative (50-60 Hz) ou continue de la tension d'essai. Une règle générale est de tester l'échantillon avec une tension d'essai de la même nature que celle qui lui sera appliquée durant son utilisation finale. Il existe cependant un certain nombre de difficultés techniques qui obligent à déroger à cette règle générale.

#### 5.1.1 Essais de rigidité en tension alternative

Avantages :

- L'échantillon est éprouvé avec les 2 polarités de tension.

Désavantages :

- La plupart des échantillons testés présentant une certaine valeur de capacité, la source HT doit fournir le courant de fuite et le courant réactif, ce qui entraîne un surdimensionnement du générateur d'où une augmentation de son prix, de son poids et une diminution de la sécurité de l'opérateur qui se trouve exposé à des courants plus élevés.

Le courant réactif peut être évalué avec la formule suivante :

$$\text{Impédance} = \text{Tension} / \text{Courant (loi d'Ohm : } Z = U/I)$$

Pour des capacités :  $Z = 1 / C\omega$  avec  $\omega = 2 \times \pi \times f$  Courant réactif :  $I_r = U \times C \times 2 \times \pi \times f$

Soit par exemple :  $U = 3000 \text{ volts}$ ,  $C = 1 \text{ nF}$  ( $\approx 10$  mètres de câble blindé)

$$I_r = 3000 \times 1 \times 10^{-9} \times 2 \times 3,14 \times 50 = 0,942 \text{ mA}$$

- Nécessite d'ajuster le seuil de courant de fuite permanent (IMAX) en fonction de la capacité de chaque échantillon.
- Dans le cas d'un produit utilisé en final sous une tension continue, l'essai en tension alternative peut avoir des conséquences gênantes sur sa durée de vie en raison notamment de l'échauffement et de l'effet CORONA. L'orientation des molécules sous l'action d'un champ électrique se fait avec frottement donc avec échauffement qui se produira en tension alternative à chaque période soit toutes les 20 ms ou 16 ms. D'où un essai plus sévère que ce qui est prévu en tension continue.

### 5.1.2 Essais de rigidité en tension continue

Avantages :

- La puissance de la source HT peut être inférieure à celle nécessaire en alternatif (poids moindre et sécurité pour l'utilisateur). Le courant ne circule dans l'échantillon que durant la phase de charge.

Désavantages :

- Le courant de charge peut faire déclencher la détection de claquage.
- L'échantillon ayant été chargé il faut le décharger au travers de la résistance de décharge incorporée dans les appareils (1,5 M $\Omega$ ). Attention attendre suffisamment pour que la capacité de l'échantillon se soit déchargée avant de le déconnecter de l'appareil soit d'environ 8 secondes par  $\mu$ F.
- L'échantillon n'est essayé que dans une seule polarité.
- La tension d'essai doit être supérieure à celle prévue en alternatif. Une règle simple est d'utiliser le facteur de correction 1,4 (racine carrée de 2 = rapport entre la valeur efficace d'un signal alternatif et sa valeur crête) entre la tension continue et la tension alternative :  
**U continue = 1,4 x U alternative.**

### 5.2 Sélection du mode de disjonction

Le mode de contrôle du courant de fuite le plus simple et le plus répandu est le mode de contrôle par seuil de courant ou mode IMAX qui permet de fixer une limite maximale de courant circulant dans l'échantillon sous test au-delà de laquelle l'appareil détecte une disjonction et arrête l'essai en coupant la génération de la tension et en mémorisant la valeur de celle-ci sur l'écran. Comme décrit dans le paragraphe sur les essais de rigidité diélectrique en tension alternative (5.1) la source de tension doit fournir à la fois le courant de fuite de l'échantillon et le courant réactif dû à sa capacité. Ceci impose donc de régler le seuil de disjonction en fonction du courant réactif de chaque échantillon, ce qui nécessite la procédure suivante :

- Réalisation d'un test sur un échantillon correct,
- Relevé du courant global circulant,
- Ajustement du seuil à une valeur supérieure au courant global.

Les appareils de la série MG proposent le mode de détection décrit ci-dessus, associé au mode de détection  $\Delta I$  qui permet de s'affranchir du courant réactif circulant dans les échantillons capacitifs.

Le mode  $\Delta I$  ou détection d'arc, ne prend en compte pour détecter une disjonction que des variations rapides de courant ( $t > 10 \mu$ s et amplitude  $> 1$ mA), ce qui ne nécessite pas d'ajustement de seuil en fonction de la capacité de l'échantillon. Cependant ce mode peut ne pas détecter de défaut de rigidité diélectrique dans le cas d'un échantillon en court-circuit dès le début de l'application de la haute tension. C'est pourquoi les appareils de la série MG permettent de combiner les modes IMAX et  $\Delta I$  pour permettre de réaliser des essais de rigidité diélectriques fiables et sans réglage, la valeur de IMAX étant réglée sur une valeur proche du courant de court-circuit de l'appareil sous sa tension d'essai.

Les appareils de la série MG permettent d'inhiber les systèmes de disjonction (mode SANS) afin de pouvoir localiser visuellement ou de manière auditive l'endroit où se situe le défaut de rigidité diélectrique. Attention, ce mode ne coupant pas la haute tension, il y a risque de détérioration et de brûlage de l'échantillon testé, d'autre part la puissance de la source haute tension étant limitée, une utilisation prolongée du mode SANS disjonction peut déclencher la sécurité thermique incorporée à l'appareil, dans ce cas (affichage du message **ERREUR TENSION**) attendre 3 à 5 minutes avant de reprendre les essais.

