

Chapitre 4

Matériaux diélectriques

1. Définition

Les isolants ou diélectriques sont des matériaux ayant une résistivité très élevée : 10^8 à 10^{16} $\Omega.m$ car ils contiennent très peu d'électrons libres. Un isolant est caractérisé par ses propriétés électriques, mécaniques, chimiques et thermiques. Un bon isolant ne devrait pas laisser passer de courant lorsqu'il est soumis à une tension continue. Autrement dit, sa résistance en courant continu doit être infiniment grande. Cependant, en pratique, un courant de fuite très faible circule dans tous les matériaux isolants utilisés en HT continue. Le courant passant à travers un isolant en HT continue est également constant et est appelé courant résiduel. En HT alternative, n'importe quel matériau isolant laisserait passer un courant capacitif.

Les isolants sont utilisés pour :

- ✓ assurer une séparation électrique entre des conducteurs portés à des potentiels différents afin de diriger l'écoulement du courant dans les conducteurs désirés → protection des personnes et des équipements ;
- ✓ supporter les éléments d'un réseau électrique et les isoler les uns par rapport aux autres et par rapport à la terre ;
- ✓ remplir les fonctions de diélectrique d'un condensateur.

2. Caractéristiques des isolants

Les isolants électriques possèdent tous à peu près les caractéristiques suivantes :

- ✓ Mauvaise tenue en température $< 200^\circ\text{C}$ en général (sauf pour l'amiante, le verre et le mica)
- ✓ Rigidité électrique élevée : ≈ 10 kV/mm
- ✓ Très forte résistivité électrique : $> 10^6$ Ωm
- ✓ Constante diélectrique relative $\epsilon_r > 1$ (≈ 2 à 8)
- ✓ Mauvaise conductivité thermique : isolant thermique
- ✓ Solide, liquide ou gaz
- ✓ Densité voisine de 1.

2.1. Permittivité relative

La permittivité absolue d'un isolant est : $\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$

où $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m est la permittivité absolue du vide.

La permittivité relative est donc $\varepsilon_r = \varepsilon / \varepsilon_0$.

Pour l'air, les gaz et le vide : $\varepsilon_r = 1$.

Pour tous les autres isolants : $\varepsilon_r > 1$.

2.2. Rigidité diélectrique

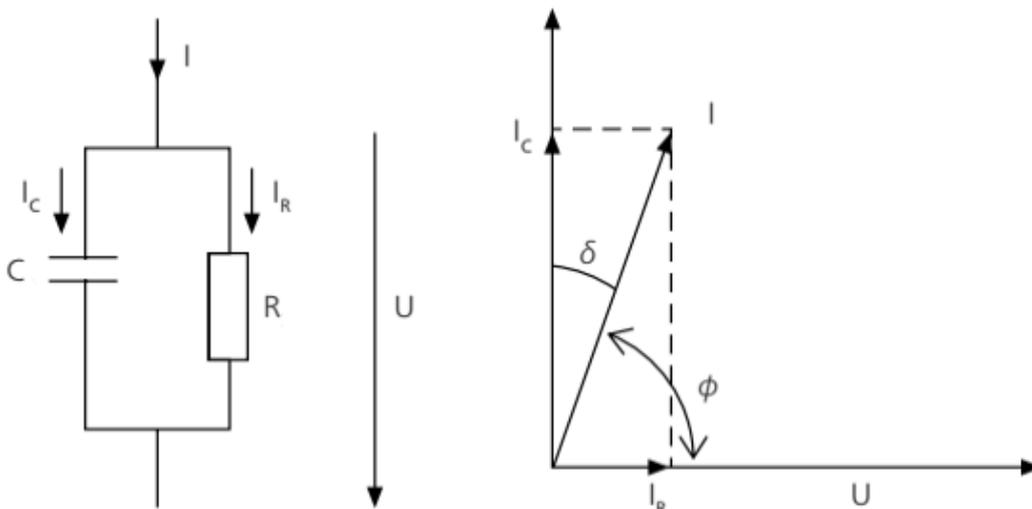
Si on augmente la tension à laquelle est soumis un isolant au-delà d'une certaine valeur appelée tension de claquage, il apparaît un arc électrique dans l'isolant : courant intense traversant l'isolant en suivant un chemin formé par l'arc lui-même. Dans ce cas, l'isolant est percé : il y a rupture diélectrique ou claquage et destruction de l'isolant, irréversible pour les isolants solides (carbonisation), réversible pour les isolants gazeux et liquides (recombinaison des ions avec des électrons).

2.3. Facteur de dissipation diélectrique

Les pertes diélectriques sont une grandeur à considérer essentiellement lorsque le champ électrique varie. Pour un condensateur, elles sont données par l'angle de pertes δ . La tension et le courant ne sont pas parfaitement en quadrature mais déphasés d'un angle $\pi/2 - \delta$.

Circuit équivalent d'une isolation en courant alternatif

Un isolant placé entre deux conducteurs peut être modélisé de manière simplifiée par le circuit équivalent suivant :



C représente la capacité entre les deux conducteurs et la résistance R est la résistance d'isolement de l'isolant, elle est toujours $\geq 10^{12}$.

Calcul de l'angle de pertes diélectriques

L'angle de pertes δ est défini comme étant l'angle complémentaire du déphasage entre la tension U entre les conducteurs et le courant de fuite I traversant l'isolant.

On a :

$$\tan\varphi = \frac{CU\omega}{\frac{U}{R}} = RC\omega \quad \Rightarrow \quad \tan\delta = \frac{1}{\tan\varphi} = \frac{1}{RC\omega}$$

La valeur $\tan\delta$ est appelée facteur de dissipation diélectrique.

L'angle de pertes caractérise la qualité d'un isolant :

- Bon isolant → résistance d'isolement R élevée ou δ faible ;
- Mauvais isolant → R faible ou δ élevé.

En pratique, le facteur de dissipation $\tan\delta$ varie entre 10^{-2} et 10^{-4} .

2.4. Influence de la température sur les isolants

Une élévation de température contribue à diminuer la durée de vie d'un isolant :

- ✓ Diminution de la résistance d'isolement (les isolants ont généralement un coefficient de température négatif) ;
- ✓ Diminution de la rigidité diélectrique ;
- ✓ Oxydation ;
- ✓ Ramollissement pouvant atteindre la fusion.

Loi expérimentale de vieillissement des isolants

Une augmentation de 10°C de la température d'un isolant conduit à doubler sa vitesse de vieillissement. L'élévation de température est provoquée par les pertes diélectriques et l'échauffement des conducteurs. La chaleur est difficilement évacuée par les isolants car ceux-ci ont une conductivité thermique très faible.

3. Classification

Plusieurs méthodes peuvent être adoptées pour classer les isolants.

3.1. Classification en fonction de la tenue en température (Tableau 1)

Les isolants sont classés suivant la température maximale en dessous de laquelle ils ont une durée de vie d'une dizaine d'années. Les normes définissent des classes d'isolant selon leur tenue en température, qui dépend de la matière isolante, mais aussi des matières d'agglomération et d'imprégnation.

3.2. Classification en fonction de l'état physique (Tableau 2)

- ✓ Solide : mica, bois, céramiques, plastiques ...
- ✓ Liquide : huiles, pyralène, vernis...
- ✓ Gaz : air sec, azote, SF₆...

3.3. Classification en fonction de l'origine (Tableau 2)

- ✓ Minérale : mica, porcelaine, verre, amiante, ...
- ✓ Organique : bois, papier, coton, soie, caoutchouc (latex), ...
- ✓ Synthétique : plastiques (thermoplastiques ou thermodurcissables), silicones

Les silicones sont des molécules dont les atomes de carbone ont été remplacés par du silicium.

Les thermoplastiques sont des plastiques ramollis à chaud (il peut alors être moulé, formé ou extrudé), et durcis à froid. Le processus est réversible.

Les thermodurcissables sont des plastiques durcis par un procédé thermique. Le processus est irréversible.

4. Types d'isolants utilisés dans l'industrie électrique

4.1. Isolants solides

1) Isolants naturels

a) Minéraux

- **Verres** : sable siliceux + chaux + soude. Utilisés pour les isolateurs. Résistent à la chaleur et aux agents chimiques.

Propriétés : $T_{max} = 400$ à 500 °C ; $G \approx 7$ kV/mm ; $\tan\delta = 0,02$ à $0,04$; $\epsilon_r = 7$.

- **Céramiques** : argile + quartz + fondants + oxydes métalliques. Utilisées dans les isolateurs de lignes aériennes et d'antennes, les supports d'inductances HF et UHF, les condensateurs HF, les composants piézo-électriques.

Propriétés : $T_{max} = 200$ à 500 °C ; $G \approx 10$ à 20 kV/mm ; $\tan\delta = 5 \cdot 10^{-4}$ à $1,2 \cdot 10^{-2}$; $\epsilon_r = 10$ à 3000 .

- **Mica et produits micacés** : silicates hydrates de métaux alcalins. Utilisés pour l'isolation à haute température des radiateurs de composants de puissance (feuilles de mica).

Propriétés : $T_{max} = 500$ à 1000 °C ; $G \approx 210$ à 240 kV/mm ; $\tan\delta = 3 \cdot 10^{-4}$ à $26 \cdot 10^{-4}$; $\epsilon_r = 6$ à 7 .

b) Organiques

- **Papiers** : cellulose extraite du bois ou de l'alfa. Imprégnés de diélectrique liquide pour éviter l'absorption d'eau, ils sont utilisés dans les transformateurs secs et les condensateurs.

Propriétés : $T_{max} = 105\text{ °C}$; $G \approx 50\text{ à }80\text{ kV/mm}$ (papier sec) ; 100 kV/mm (papier imprégné d'huile) ; $\tan\delta = 2.10^{-3}\text{ à }4.10^{-3}$; $\epsilon_r = 4\text{ à }6$.

- **Textiles** : coton, soie naturelle, fibres artificielles. Rubans, toiles pour l'isolation, de conducteurs de faible diamètre, bobines.

Propriétés : $T_{max} = 90\text{ à }120\text{ °C}$; $G \approx 5\text{ à }10\text{ kV/mm}$; $\epsilon_r = 3$.

- **Caoutchouc** : résine naturelle, latex de l'hévéa. Isolation de conducteurs et de câbles.

Propriétés : $T_{max} = 60\text{ °C}$; $G \approx 20\text{ à }30\text{ kV/mm}$; $\epsilon_r = 3$.

2) Isolants synthétiques : matières plastiques

Une matière plastique est le résultat d'un mélange qui comprend :

- ✓ une résine de base ou polymère, obtenue à partir de réactions chimiques complexes de polymérisation effectuées sur des matières de base;
- ✓ dérivés du pétrole ou du charbon ;
- ✓ calcaires, sable, fluorures, sels marins ;
- ✓ bois.

Les procédés de fabrication des matières plastiques sont principalement basés sur des traitements à haute température, sous des pressions élevées.

a) Caractéristiques des matières plastiques

- ✓ Très bonne rigidité diélectrique : toujours $\geq 10\text{ kV/mm}$;
- ✓ Résistivité élevée : $10^8 \leq \rho \leq 10^{17}\ \Omega.m$;
- ✓ Faibles pertes diélectriques ;
- ✓ Propriétés mécaniques inférieures à celles des métaux mais pouvant être améliorées par les procédés de fabrication (charges).

b) Matières plastiques utilisées en électrotechnique

Bakélite, Epoxydes, PVC, Polyéthylène, Téflon.

4.2. Isolants liquides

Les isolants liquides présentent l'avantage de se régénérer après un claquage ; ils servent aussi au refroidissement par convection ou par évaporation (les isolants liquides ont généralement une bonne conductivité thermique). Ils sont utilisés seuls ou bien ils imbibent un isolant solide dont ils remplissent les vides.

1) Huiles minérales

Dérivées du pétrole, utilisées dans les transformateurs, les disjoncteurs, les condensateurs et les câbles.

Propriétés :

- ✓ Rigidité diélectrique : $G \approx 9 \text{ à } 10 \text{ kV/mm}$
- ✓ Facteur de dissipation : $\tan\delta = 4.10^{-4}$
- ✓ Permittivité relative : $\epsilon_r = 4 \text{ à } 6$.

2) Huiles synthétiques

Huiles chlorées : ininflammables (pas de risque d'incendies), utilisées pour les transformateurs, les disjoncteurs, les condensateurs.

Huiles silicones : résistent à des températures élevées, prix élevés.

Huiles végétales (ricin) : plastifiant dans la fabrication des vernis et des résines.

3) Vernis

Ce sont des associations résine + solvant + siccatif. Utilisés pour l'imprégnation des bobinages.

5. Domaines d'application

5.1. Bobinages de machines

- ✓ Basse tension : fils conducteurs émaillés
- ✓ Haute tension : barres conductrices isolées par du papier, mica, verre, bakélite, résine (enrobage, imprégnation).

5.2. Câbles électriques

Un câble est constitué d'une âme conductrice métallique (Cu ou Al) recouvert d'un isolant, d'un écran et d'un revêtement extérieur, complété si besoin par une gaine d'étanchéité et par une « armure ».

L'enveloppe isolante, mais aussi les gaines et revêtement extérieur sont constitués de matières synthétiques (thermoplastiques et élastomères) :

- ✓ PVC : Polychlorure de vinyle
- ✓ PE : Polyéthylène
- ✓ PR : Polyéthylène réticulé
- ✓ EPR : Ethylène-propylène
- ✓ Caoutchouc silicone

5.3. Condensateurs

Schématiquement, un condensateur est formé d'un diélectrique ($\epsilon_r > 1$) serré entre deux électrodes. Les diélectriques isolants utilisés sont suivant les technologies en céramique, papier, verre, mica ou plastique.

5.4. Isolateurs

Ils sont en verre ou en porcelaine et sont utilisés pour isoler :

- ✓ les bornes de sortie des appareillages haute tension (sectionneur, disjoncteur, transformateur, matériel roulant...);
- ✓ les câbles haute tension des pylônes de transport d'énergie électrique.

5.5. Appareillage haute tension

L'isolement interne est renforcé par un isolant supplémentaire :

- ✓ solide : résine, élastomère (électronique, haute tension).
- ✓ liquide : huile minérale dans les transformateurs de puissance.
- ✓ gaz : SF₆ dans les disjoncteurs haute tension.

Tableau 1 : classification en fonction de la température

Classe	Matières Isolantes	Matières d'agglomération	Matières d'imprégnation
Y 90°C max	coton, soie, papier et dérivés, fibre d'acétate, bois, polyéthylène, polystyrène, PVC, Caoutchouc	Pas de matières d'agglomération ou d'imprégnation. Classe peu utilisée.	
A 105°C max	Isolants de classe Y imprégnés par un diélectrique liquide.		Vernis à base de résines naturelles Huiles isolantes Solutions cellulósiques
	Toile vernie Papier verni	Vernis à base de résines	
	Stratifié bois	Résines phénoliques	
	Emaux aux résines polyamides Résines polyesters Film d'acétate		
E 120°C max	Emaux aux résines polyvinyles Polyuréthane, époxyde		
	Résines moulées avec charge cellulósique Stratifiés coton, papier	Résines mélanines	
	Résines polyesters Film de cellulose ou de polyéthylène		
B 130°C max	Amiante, fibre de verre, émaux aux résines formal, polyvinyle		Asphaltes Résine synthétique avec huile Résines polyesters Résines époxydes
	Tissu de verre imprégnée Amiante imprégnée	Vernis à base de résines synthétiques et d'huile	
	Mica aggloméré	Résines synthétiques époxydes	
	Stratifié ou tissu de fibre de verre Stratifié d'amiante	Résines mélanines	
F 155°C max	Fibre de verre Amiante		polyesters, polyuréthanes
	Tissu de verre imprégnée Amiante imprégnée Mica aggloméré	Résines alkyles, époxydes, Silicone - alkyles	
	Stratifié ou tissu de fibre de verre Stratifié d'amiante		
H 180°C max	Fibre de verre		Résine silicone sélectionnée
	Tissu de fibres de verre et d'amiante imprégnés Elastomère de silicone Fibre de polyamide	Résines et élastomères de silicone	
	Mica aggloméré Stratifié de tissu de verre	Résine silicone sélectionnée	
C > 180°C	Polytetrafluoréthylène (250°C)		Résine silicone stable jusqu'à 225°C
	Mica aggloméré Tissu de verre ou d'amiante traité		
		Mica, porcelaine, céramiques, verre, quartz	

Tableau 2 : classification en fonction de l'état physique

DESIGNATION		Masse volumique	Température max	Résistance à la rupture	Résistivité	Rigidité diélectrique	Constante diélectrique ϵ_R	PROPRIETES	EMPLOIS	
UNITES		kg/m ³	°C	N/mm ²	Ωm	kV/mm				
ISOLANTS SOLIDES	Origine minérale	MICA Feuilles minces à l'état naturel	3000	200		10^{13}	100 à 200	6 à 7	Très grande Rigidité diélectrique	Agglomérés à des résines d'où : micanites, rubans micacés, micafolium
		VERRE Sable de silice + chaux + soude	2500	>180		10^{10} à 10^{17}	25 à 45	6	Grande résistance mécanique mais très fragile	Isolateurs de lignes aériennes Fibre et tissu de verre
		PORCELAINE Argile + quartz + email	2500	>180	100	10^{12}	16	5	Résiste aux chocs thermiques et à la chaleur	Isolateurs H.T. Support de résistances électriques. Pièces moulées
		AMIANTE Silicate de chaux + magnésie	1800 à 2200	>180		10^9	3	2	bonne résistance à la chaleur et au feu mais craint l'humidité	Support de résistances. Isolant de conducteurs. En plaques, rubans, cordons
	Origine organique	BOIS Imprégné de bakélite	600 à 900	105	140	10^4	5	9	Très léger. Peu coûteux	Poteaux, tableaux, moulures, cales isolantes, panneaux
		PAPIER Cellulose agglomérée et imprégnée	800 à 1300	60	70 à 120	10^{10} à 10^{16}	60 à 80	6	Très sensible à l'humidité. souple	Rubans imprégnés pour câbles haute tension. Cartons, rubans, produits stratifiés
		CAHOUTCHOUC Résine naturelle Latex de l'hévéa	960	60	32	10^{14}	20 à 30	3	Elastique. Attaqué par les huiles. Vulcanisées par addition de soufre	Produits en bande ou moulés. Isolation des conducteurs et câbles
		COTON Fibres imprégnées		90 à 120	50 à 100	10^9	5 à 10	3 à 4	Très souple, économique et bonne résistance à la traction	Fils, rubans, toile. Isolation en bobinage avec imprégnation
ISOLANTS LIQUIDES	HUILE MINERALE Distillation du pétrole brut	850 à 950	145		10^{13}	9 à 10	2	Rigidité diélectrique chute avec la présence d'humidité	Isolation des transformateurs	
	ASKARELS diélectriques chlorés (pyralène)	1300 à 1500			10^{10}	20	5	Ininflammable.	Interdit depuis 1990	
ISOLANTS GAZEUX	AIR SEC				10^{14}	3	1	Rigidité très élevée à la pression de 10 bars : 225 kV/mm	Isolation des lignes aériennes. Interrupteurs, disjoncteur pneumatique	
	SF6 Hexafluorure de soufre					7,5	1	Rigidité diélectrique égale à 2,5 fois celle de l'air	Disjoncteurs haute tension	

Tableau 2 : classification en fonction de l'état physique (suite)

DESIGNATION		Masse volumique	Température max	Résistance à la rupture	Résistivité	Rigidité diélectrique	Constante diélectrique ϵ_R	PROPRIETES	EMPLOIS
UNITES		kg/m ³	°C	N/mm ²	Ωm	kV/mm			
THERMODURCISSABLES	BAKELITE Résine phénolique + farine de bois	1400	150 à 170	3 à 5	10^{10} à 10^{12}	10 à 20	5 à 9	Résiste à la chaleur, couleur sombre	Poudre à mouler, résine, vernis. Très utilisé en produits en plaques et appareillage
	FORMICA Résine aminoplaste + charge cellulosique	1400	100 à 120	4 à 8	10^{10}	10 à 15	7 à 10	Transparent, se colore facilement	Poudre à mouler, résine, vernis. Produits stratifiés, pièces d'appareillage
	ARALDITE Résine époxy	1200	110 à 120	6,5	10^{14} à 10^{15}	70	4,5	Très bonne rigidité électrique	Résine à couler, vernis, colle, pièces isolantes moulées
	POLYESTER Résine alkyles	1200	120	4,5	10^{13}	13 à 22	2,5 à 4	Très utilisé en stratifié avec fibre de verre	Résine, poudre, pièces moulées. Produits stratifiés
	SILICONE carbone remplacé par du silicium	1800	180	40 à 80	10^{14} à 10^{16}	300	2,5	excellentes propriétés électrique et mécanique, mais coûteux	Huiles, graisses, caoutchouc Poudre à mouler, résine, vernis.
THERMOPLASTIQUES	PVC Polychlorure de vinyle	1400	60	4	10^{12}	35	5	Le plus utilisé, peut se coller facilement, très souple	Isolation et gaines pour conducteurs et câbles, feuilles plaques, tubes
	POLYSTYRENE	1000	80	5	10^{15}	25	2,5	Transparent, léger, n'absorbe pas l'humidité	Moulage de pièces isolantes
	PLEXIGLAS	1200	80	7	10^{16}	15	4	Transparence parfaite	Plaques, résine à mouler, supports et boîtiers transparents
	NYLON-RILSAN Polyamides	1100	100 à 150	6	10^{11}	14	5	Très résistant à l'usure, s'obtient en fils très fins	Fils et tissus de guipage de fils Pièces isolantes d'appareillage
	TEFLON Fluoréthène	2200	250	3	10^{17}	18	2	Bonnes propriétés électrique et mécanique, à haute température, mais coûteux	Rubans, stratifiés Utilisations spéciales
	CAHOUTCHOUC Néoprène	1240	70	4	10^{10}	14	7	Très élastique, résiste aux huiles et aux solvants	Isolement des fils et des câbles

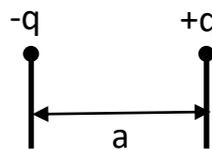
6. Polarisation diélectrique

6.1. Moment électrique d'un dipôle

Un dipôle est formé de deux charges égales et de signes opposés. La valeur du moment électrique d'un dipôle est $p_0 = q \cdot a$

où q est la charge positive (ou la valeur absolue de la charge négative) et a la longueur du dipôle. Il va de soi que pour les molécules où $a = 0$, le moment dipolaire est nul.

Remarque : jusqu'à présent, les scientifiques ne se sont pas mis d'accord quant au sens à donner au dipôle électrique, de la charge positive vers la charge négative ou vice versa.



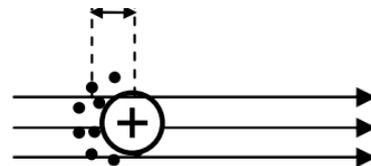
6.2. Description de la polarisation

La propriété la plus importante d'un diélectrique est la polarisation sous l'action d'un champ électrique externe.

A l'échelle atomique : en l'absence d'un champ électrique, le moment électrique est nul car la somme algébrique des charges dans toutes les molécules dans un volume donné est nulle, du fait que les centres de gravité des charges positives et négatives coïncident. Lors de l'application d'un champ électrique, les centres de gravité ne coïncident plus et les particules (atomes et molécules) sont alignées suivant la direction de E et acquièrent un moment p_0 .



Pas de champ extérieur
 $p_0 = q \cdot a = 0$



Présence d'un champ extérieur
 $p_0 = q \cdot a$

A l'échelle macroscopique : le diélectrique aura un moment diélectrique P .

La polarisation est souvent proportionnelle au champ électrique qui l'a créée (ce cas est dit linéaire):

$$P = \chi \epsilon_0 E$$

χ : susceptibilité diélectrique

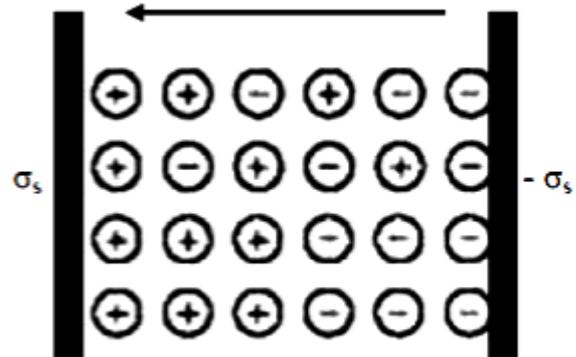
Considérons simplement un condensateur plan de surface S et d'épaisseur a . Posons que la charge de polarisation apparaissant à chaque surface du condensateur est σ_s [C/m²]. Comme la charge totale à l'intérieur est compensée et donc nulle, le moment diélectrique total est : $\sigma_s S \cdot a$

En divisant par le volume $V = Sa$, nous obtenons la polarisation P : $P = \sigma_s$

Conclusion : la polarisation P est égale à la densité de charge apparaissant à la surface.



Pas de polarisation
car pas de champ électrique



Polarisation
en présence du champ électrique

6.3. Diélectriques polaires et non polaires

Tous les diélectriques peuvent être divisés en deux catégories : diélectriques polaires et diélectriques non polaires

La somme totale des charges dans une molécule est nulle, mais l'arrangement (la structure) de ces charges peut être différent d'une matière à une autre.

Les centres de gravité peuvent coïncider ou ne pas coïncider :

- Dans le 1^{er} cas : la molécule est non polaire.
- Dans le 2^{eme} cas : la molécule (et donc la matière en question) est dite polaire. Même en l'absence de champ électrique externe, la molécule possède un moment dipolaire.

Il est clair que les molécules arrangées de façon symétrique (qui possèdent un centre de symétrie) sont non polaires du moment que les centres de gravité des charges positives et négatives coïncident avec le centre de symétrie. Par contre, les molécules asymétriques sont polaires.

Les molécules monoatomiques (He, Ne, Ar, Kr, Xe) et les molécules formées de deux atomes identiques (H₂, N₂, Cl₂, etc...) sont non polaires. Par contre, les molécules à composition ionique telles que l'iode de potassium KI ont un moment dipolaire élevé.

Différence entre la polarisation et la conduction

- Durant la polarisation, les charges sont mises en mouvement mais ne peuvent jamais quitter la molécule. Par contre, la conduction est le déplacement des charges sur de grandes distances, qui se libèrent et quittent les particules.
- La conduction dans les diélectriques est pratiquement assurée par les impuretés se trouvant dans l'isolant et non pas due à sa structure de base. La polarisation peut donc être représentée comme un grand nombre de charges se déplaçant sur de très petites distances, sans jamais quitter les molécules. Tandis que la conduction dans les diélectriques comme le déplacement d'une petite quantité de charges mais sur de larges distances.
- La polarisation peut être considérée comme un mouvement élastique. Quand l'effet du champ électrique externe disparaît, les charges reviennent à leur position initiale, ce qui ne se passe jamais pour la conduction.
- Tandis que la conduction se produit tant que la tension continue est appliquée, la polarisation ne se produit que lors de l'application ou de la suppression de la tension. La polarisation, et donc le courant capacitif, ne subsistent que lorsqu'il s'agit d'une tension alternative.

6.4. Types de polarisation

1) polarisation électronique

Elle est due au déplacement du nuage d'électrons par rapport au noyau positif, sous l'action d'un champ E . Dans ce cas, la polarisation se produit rapidement durant un bref moment (de l'ordre de 10^{-15} s). Elle se produit dans les atomes et les ions.

Le processus de la polarisation électronique peut être compris en considérant l'atome le plus simple, à savoir l'atome d'hydrogène (1 électron en orbite d'un noyau contenant un proton). Après polarisation, on a un déplacement d'orbite d'une distance a . Durant la polarisation, l'atome acquiert un dipôle $p = e a$.

2) Polarisation ionique

Elle est due au déplacement mutuel des ions formant ainsi une molécule asymétrique. Le temps requis pour ce déplacement, afin d'assurer la polarisation est de l'ordre de 10^{-12} à 10^{-13} s.

Les polarisations électronique et ionique ont beaucoup en commun. Dans les deux cas, il s'agit de déplacement de charges (et non pas rotation) dans la direction du champ électrique.

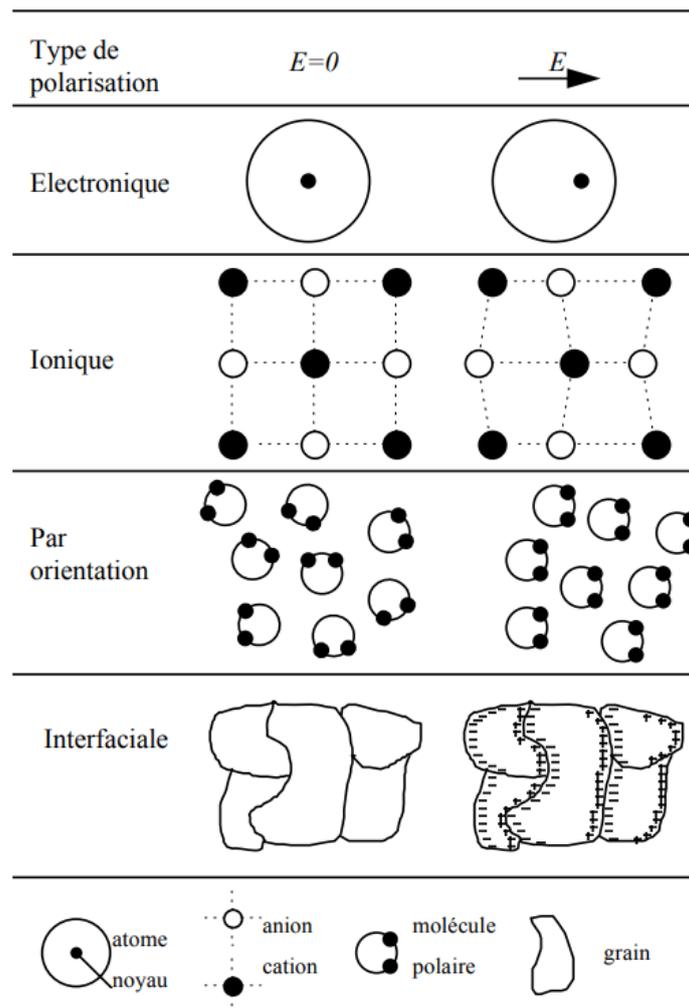
3) Polarisation macroscopique

Elle est due à des déplacements de charges dans l'ensemble du matériau.

4) Polarisation dipolaire (d'orientation)

Elle est spécifique aux diélectriques polaires, les dipôles s'orientent suivant la direction du champ électrique appliqué. En l'absence de champ, les dipôles sont orientés de façon désordonnée, de telle façon que la polarisation globale est pratiquement nulle. Pour cette raison, la polarisation d'orientation est influencée et liée avec l'agitation thermique des molécules, la température exerce un effet appréciable sur ce type de polarisation.

La polarisation d'orientation peut exister seulement dans les gaz, les liquides et les matières amorphes visqueuses. Dans les matières solides, les dipôles sont "figés" et ne peuvent être orientés. Un dipôle placé dans un champ électrique est soumis à un couple qui tend à l'aligner suivant la ligne de ce champ.



Les déplacements des charges sont très fortement exagérés

Remarque :

Tous les types de polarisation provoquent des pertes diélectriques sous forme de chaleur suite aux frottements. En tension alternative les pertes sont beaucoup plus grandes qu'en tension continue. Par conséquent, la tension thermique de claquage est généralement plus faible pour les champs alternatifs, et elle diminue avec l'augmentation de la fréquence de la tension appliquée.

6.5. Diélectriques linéaires et diélectriques non linéaires

Les diélectriques linéaires sont caractérisés par une relation linéaire entre la polarisation et le déplacement avec le champ électrique.

$$P = \chi \varepsilon_0 E$$

$$D = \varepsilon_r \varepsilon_0 E$$

Pour certains matériaux "non linéaires" ces relations ne sont plus linéaires, la permittivité dépend alors du champ E. Ce type de diélectrique est utilisé dans certaines applications spécifiques.