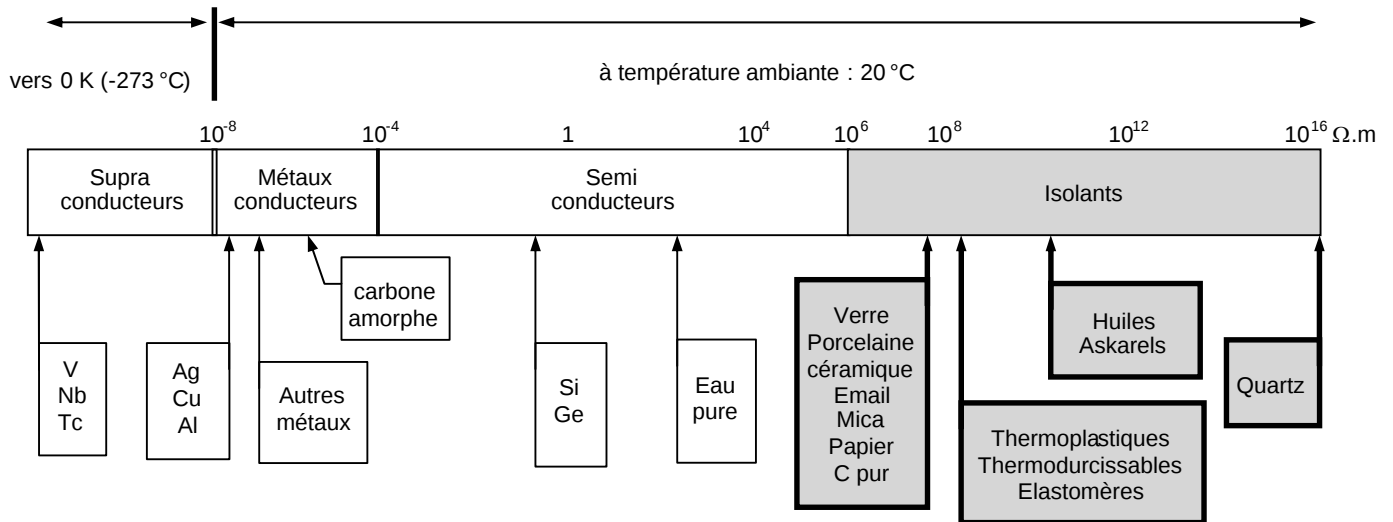


3. MATERIAUX ISOLANTS

3.1. Echelle des résistivités



3.2. Lexique

Diamant : cristal de carbone pur

Silice : nom commun de l'oxyde de silicium. Dissous dans l'eau, on obtient de l'acide silicique qui donne des sels métalliques ou non appelés **silicates**. Silice et silicates sont très répandus dans la nature (27 % de la croûte terrestre) sous forme de roches et d'argiles.

Quartz : cristal de Silice pure SiO_2

Silicone : matière plastique mais avec du silicium à la place du carbone

Mica : Silicate alumino-potassique

Micanite : Aggloméré de mica et de gomme-laque

Verre : solide amorphe obtenu par fusion à base de silicates et de silice additionnée de potasse, de soude, de chaux et d'éléments divers.

Email : enduit vitreux (à base de silice, de potasse et d'oxydes métalliques) appliqué à froid sur verre ou métal et fixé après fusion.

Céramique : nom commun donné au mélange d'argiles (silicate d'aluminium) plus ou moins pures avec d'autres substances (sable, craie, quartz...) façonnée puis durcie par cuisson au four. Les produits obtenus vont de la poterie grossière à la porcelaine.

Huile minérale : par opposition à huile végétale ; en fait, il vaudrait mieux dire huile organique. produit visqueux organique, extrait du pétrole ou synthétisée. Certaines ont des qualités isolantes.

Huile silicone : idem huile minérale avec du silicium à la place du carbone.

Askarels : liquides organiques chlorés (PCB, PCT), aux bonnes qualités isolantes.

Elastomères : haut polymère possédant de bonnes qualités élastiques.

Plastiques : colloïde à très grosses molécules malléables à chaud et durcissant à froid (**thermoplastique, thermodurcissables**).

3.3. Propriétés physiques

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

- **mauvaise tenue en température <200°C en général** (sauf pour l'amiante, le verre et le mica)
- **rigidité électrique élevée** : $\approx 10 \text{ kV/mm}$
- **très forte résistivité électrique** : $> 10^6 \Omega\text{m}$
- **constante diélectrique relative $\epsilon_R > 1$ (≈ 2 à 8)**
- **mauvaise conductivité thermique** : isolant thermique
- Solide, liquide ou gaz
- densité voisine de 1

3.4. Classification

Plusieurs méthodes peuvent être adoptées pour classer les isolants :

@ **classification en fonction de la tenue en température** (voir tableau page13) :

La norme **NFC 51-111** définit des classes d'isolant selon leur tenue en température, qui dépend de la matière isolante, mais aussi des matières d'agglomération et d'imprégnation.

@ **classification en fonction de l'état physique** (voir tableau page14 et 15) :

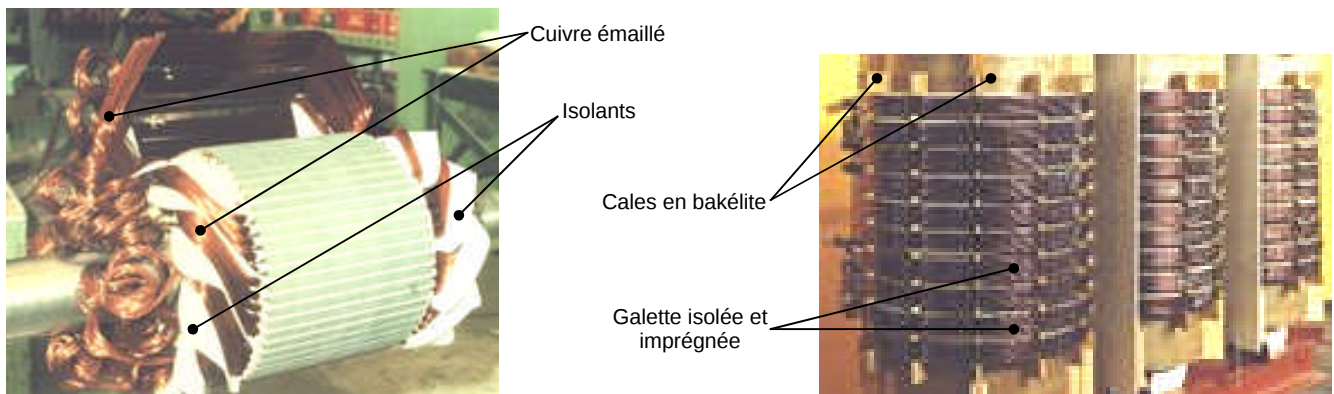
- **solide** : mica, bois, céramiques, plastiques ...
- **liquide** : huiles, pyralène, vernis...
- **gaz** : air sec, azote, SF6...

@ **classification en fonction de l'origine** (voir tableau page14 et 15) :

- **minérale** : mica, porcelaine, verre, amiante,...
- **organique** : bois, papier, coton, soie, caoutchouc (latex),...
- **synthétique** : plastiques (thermoplastiques ou thermodurcissables), silicones :
 - . silicones : molécules dont les atomes de carbone ont été remplacés par du silicium.
 - . thermoplastiques: plastiques ramollis à chaud (il peut alors être moulé, formé ou extrudé), et durci à froid. Le processus est réversible.
 - . thermodurcissables: plastiques durcis par un procédé thermique. Le processus est irréversible.

3.5. Bobinages de machines

- **basse tension** : fils conducteurs émaillés
- **haute tension** : barres conductrices isolées par du papier, mica, verre, bakélite, résine (enrobage, imprégnation)



--- Rotor bobiné de moteur asynchrone ---

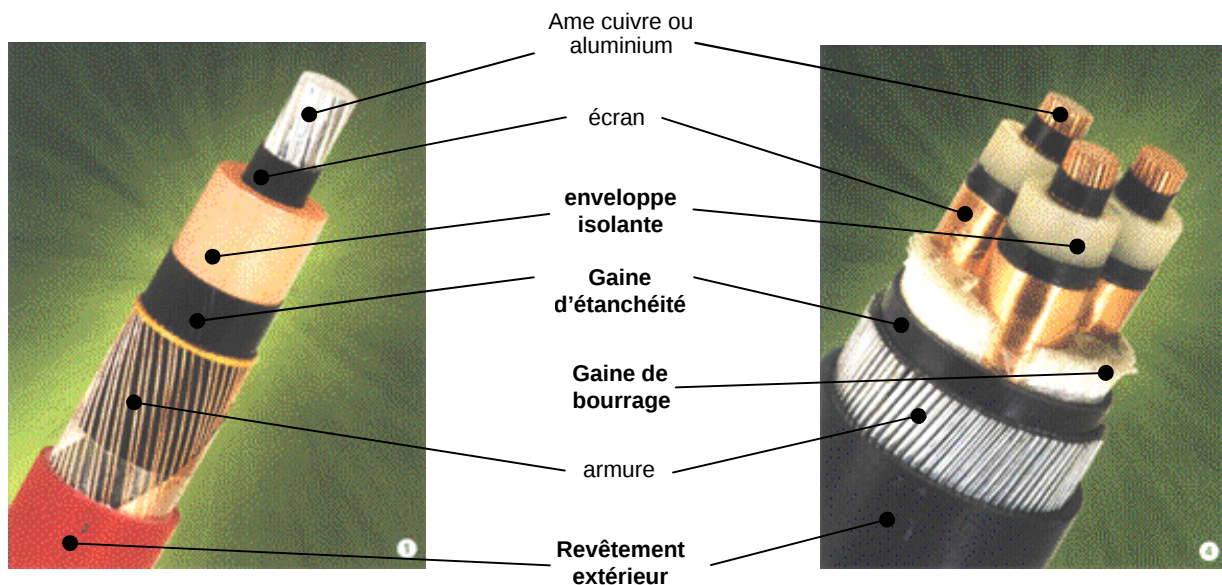
--- Transformateur triphasé ---

3.6. 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 est par une gaine d'étanchéité et par une « armure ».

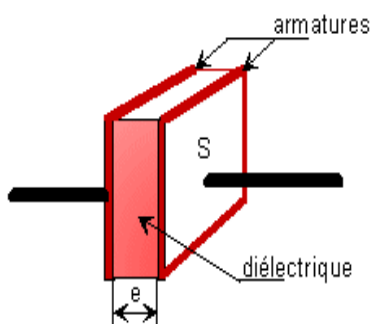
L'enveloppe isolante, mais aussi les gaines et revêtement extérieur sont constitués de matières synthétiques (thermoplastiques et élastomères) :

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



3.7. 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.



Valeur de la capacité d'un composant capacitif plan

$$C = 9 \cdot 10^{-12} \cdot \epsilon_r \frac{S}{e}$$

S = surface d'une armature (en m^2)

e = distance séparant les armatures (en m) -

ϵ_r = permittivité relative



--- Condensateurs plastiques ---

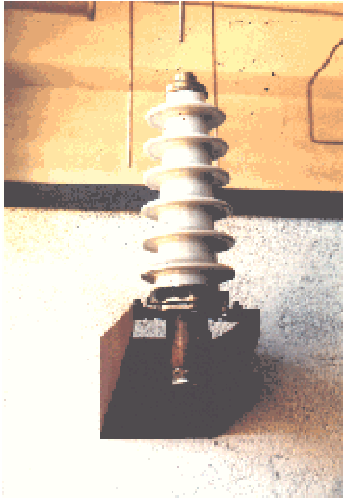


--- Condensateurs céramiques ---

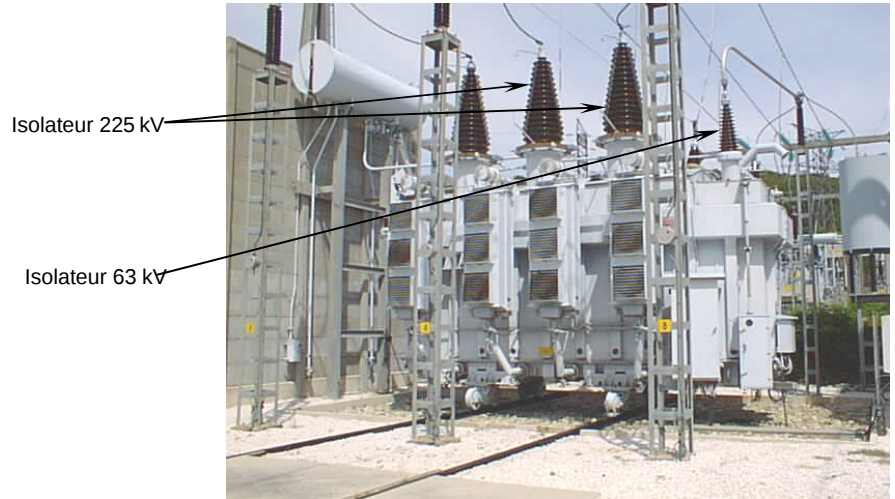
3.8. Isolateurs

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



---- isolateur de tramway ----

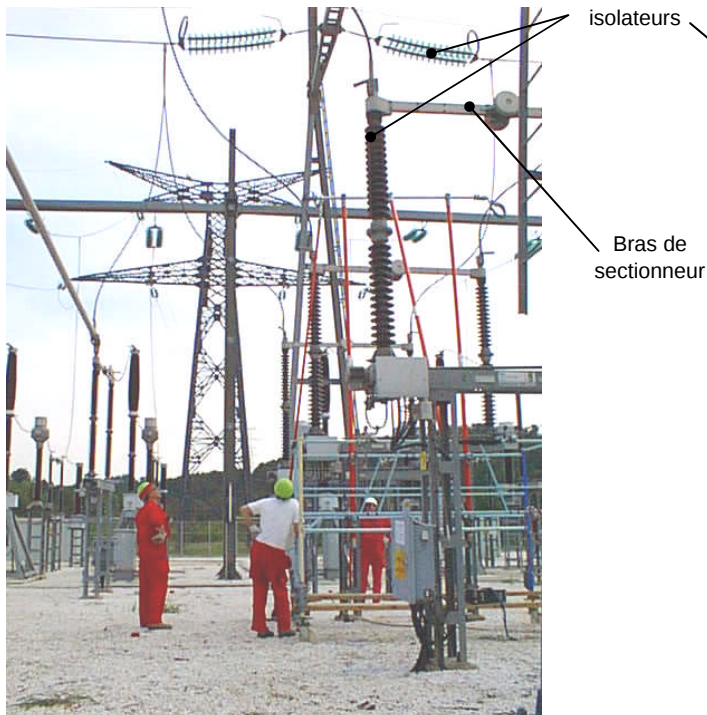


--- Transformateur 225/63 kV immergé dans l'huile ---

3.9. Appareillages haute tension

L'isolement interne est renforcé par un isolant supplémentaire :

- **solide** : résine, élastomère (électronique haute tension).
- **Liquide** : huile minérale, askarel (interdit depuis 1986) dans les transformateurs de puissance.
- **gaz** : SF6 dans les disjoncteurs haute tension.



---- Sectionneur 63 kV ----



---- disjoncteur 63 kV au SF6 ----

CLASSIFICATION EN FONCTION DE LA TEMPERATURE :

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 cellulosiques
	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 polyvinyliques Polyuréthane, époxyde		
	Résines moulées avec charge cellulosique Stratifiés coton, papier	Résines mélanines	
	Résines polyesters Film de cellulose ou de polyéthylène		
B 130°C max	Amiante, fibre de verre, émaux aux résines formol, 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	

CLASSIFICATION EN FONCTION DE L'ETAT 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 tissus de verre
		PORCELAINE Argile + quartz + émail	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

CLASSIFICATION EN FONCTION DE L'ETAT 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
	CAHOUTCHOU néoprène	1240	70	4	10^{10}	14	7	Très élastique, résiste aux huiles et aux solvants	Isolement des fils et des câbles