

**III. 1 Introduction :**

En fonction de ses propriétés électriques, la matière est soit conductrice, c'est-à-dire contenant des charges électriques libres et mobiles, soit isolante ou diélectrique. Un diélectrique est un milieu au sein duquel, il n'y a pas de charges électriques libres et mobiles.

Les polymères sont à la base des isolants utilisés pour des propos électriques et électroniques. Cependant, l'ajout de charges conductrices telles que le noir de carbone, les fibres de carbone, les particules métalliques ou même des polymères intrinsèquement conducteurs a conduit à l'apparition de polymères conducteurs ou conjugués. Selon la technique d'élaboration, on distingue les polymères conducteurs extrinsèques (PCE) et les polymères conducteurs intrinsèques (PCI).

Pour être conducteur PCI, un polymère doit comporter une alternance de liaisons simples et de liaisons doubles. Aussi, il doit être dopé. Le dopage consiste à enlever des électrons (par oxydation) ou à en ajouter (par réduction) au squelette carboné. Les trous et les électrons, ainsi créés, se déplacent le long de la chaîne polymère qui devient conductrice d'électricité.

Les principales classes de PCI sont les polyacétylènes, les polypyrroles, les polythiophènes, les polyanilines et les polyvinyles de para-phénylène.

Les PCE sont obtenus en ajoutant des charges conductrices dans la matrice polymère isolante. Ils sont souvent utilisés dans les encres pour circuits imprimés, les protections anti-corrosion, l'emballage ou encore les supports antistatiques.

Il existe un troisième type de polymères dit conducteur ionique. Ce sont des polymères organiques dans lesquels, les charges sont transportées par des ions. Leur conductivité provient de la mobilité des ions dispersés dans une matrice polymère, généralement amorphe. Ils sont utilisés comme électrolytes solides. On les retrouve principalement dans les batteries à base de lithium ou comme membranes séparatrices dans les piles à combustibles.

**III. 2 Définitions :****III. 2. 1 Conductivité :**

La conductivité électrique est liée au mouvement relativement indépendant des électrons. Elle représente la capacité d'un matériau à laisser les charges se déplacer librement. Les charges électriques susceptibles de donner ainsi naissance à un courant électrique sont des ions ou des électrons (à défaut des trous).

La propagation d'un courant électrique dans un milieu diélectrique dépend de sa conductivité électrique  $\sigma$  [ $\Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$  ou S/m] et de sa permittivité diélectrique  $\epsilon$  [F/m]. Le courant électrique qui s'établit est défini par :

$$I = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left( \frac{\Delta Q}{\Delta t} \right) = \frac{dQ}{dt}$$

$\Delta Q$  est la quantité de charges qui traversent une surface  $S$  pendant le temps  $\Delta t$ .

Considérons une surface  $dS$  et supposons que les charges  $dQ$ , traversant  $dS$ , ont une vitesse  $u$  dans la même direction (Fig 1a).

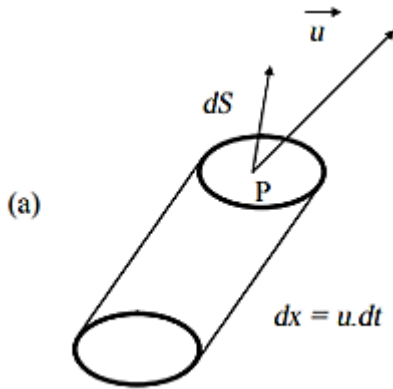


Figure 1a

Au point P, on peut établir facilement la relation :

$$dQ = \rho \cdot u \cdot dt \cdot dS$$

$\rho$  est la densité volumique des charges

$$dI = \frac{dQ}{dt} = \rho \cdot u \cdot dS = J \cdot dS$$

J est la densité de courant

La loi d'Ohm :

Soit un volume élémentaire du diélectrique  $dv = dS \cdot dl$  soumis à une différence de potentiel - dU (Fig. 1b).

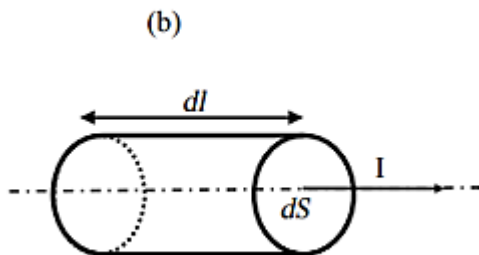


Figure 1b

L'intensité du courant correspondant est :

$$dI = J \cdot dS$$

J prends la forme suivante :

$$J = - \frac{dU}{dl} \sigma$$

$\sigma$  est la conductivité du diélectrique.

$$J = \sigma \cdot E$$

E est la composante du champ électrique dans l'axe du tube

III. 2. 1. 1 Relaxation des charges :

Si la permittivité d'un matériau reste constante lorsqu'on le charge à l'aide d'une haute tension, on peut observer que la densité de charge  $\rho$  diminue plus ou moins lentement en obéissant à la relation suivante :

$$\rho(t) = \rho_0 e^{-\frac{t}{T}} \quad \text{avec : } T = \frac{\epsilon}{\sigma}$$

$\rho_0$  (C/m<sup>3</sup>) est la densité de charge initiale au temps  $t = 0$  et T (s) est la constante de temps de relaxation des charges.

Exemple :  $T_{mica} = \epsilon / \sigma = 14 \text{ h}$  ( $\sigma = 10^{-15} \text{ S.m}$  et  $\epsilon_r = 6$ )

Lorsqu'une substance est placée dans un champ électrique variable de période  $T_s$ , elle est considérée :

→ comme conductrice si  $T/T_s \leq 1$

→ comme isolante si  $T/T_s \geq 1$

### III. 2. 1. 2 La conduction des polymères:

Pour les polymères, ce sont les ions résultants de la dissociation d'impuretés qui ont été introduites dans le matériau lors des opérations de fabrication et de mise en œuvre qui jouent un rôle dans la conduction.

L'expression de la conductivité  $\sigma$  est donnée par :

$$\sigma = \sum n_i q_i u_i$$

$n_i$  est le nombre de porteurs de charges  $q_i$  de mobilité  $u_i$ .

Dans la plupart des cas, la conductivité  $\sigma$  varie avec la température  $T$  de telle façon que :

$$\sigma = \sigma_0 e^{-\frac{\Delta W}{kT}}$$

$\Delta W$  est l'énergie d'activation et  $K$  est la constante de Boltzman.

Remarque : Aux champs élevés, la conduction des isolants perd son caractère ohmique.

### III. 2. 2 Permittivité :

Les structures polymères comportent fréquemment des groupements polaires ou polarisables. Au niveau microscopique, la permittivité d'un matériau ou constante diélectrique est liée à la polarisabilité électrique des molécules ou atomes constituant le matériau. C'est une propriété physique qui décrit la réponse d'un milieu donné à l'application d'un champ électrique. Cette réponse peut être facilement appréciée en utilisant le modèle du condensateur plan.

#### a) Diélectrique parfait :

Placé dans le vide, sous une tension continue  $U_0$ , un condensateur plan prend une charge  $Q_0$  (Fig. 1a) reliée à  $U_0$  par une loi linéaire :

$$Q_0 = C_0 U_0 \quad \text{Où } C_0 \text{ est la capacité du condensateur dans le vide}$$

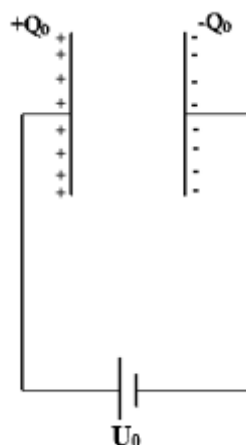


Figure 1a : Condensateur plan contenant du vide

Si l'on isole les armatures de la source et l'on introduit un diélectrique entre les deux armatures, il se polarise ; les charges positives s'accumulent près de l'armature chargée négativement et inversement sur l'autre armature (Fig. 1b). La nouvelle différence de potentiel  $U$  qui apparaît est encore proportionnelle à  $Q_0$ :

$$Q_0 = C U$$

avec  $C > C_0$  : capacité du condensateur rempli de diélectrique

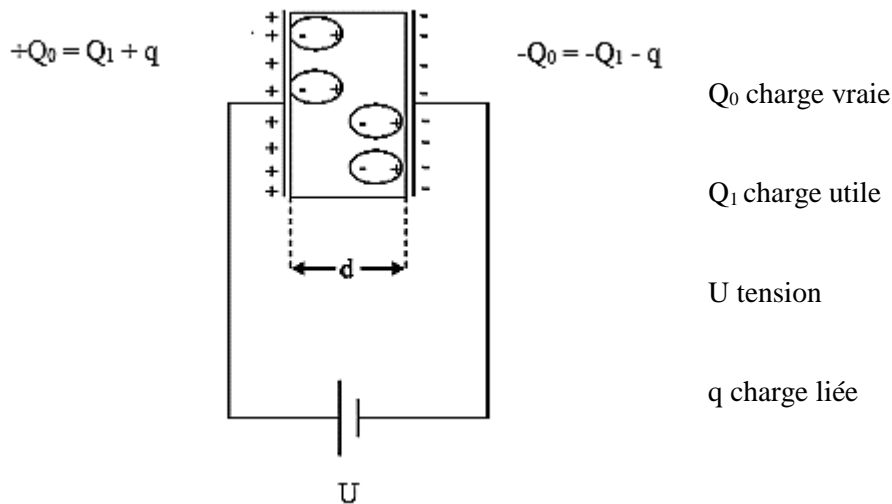


Figure 1b : Condensateur plan contenant un diélectrique

La permittivité relative  $\epsilon$  du matériau est définie par la relation :  $\epsilon = \frac{C}{C_0}$

avec :  $\epsilon \epsilon_0$  : permittivité absolue du diélectrique qui définit la possibilité d'être traversé par un courant électrique, sous l'action du champ électrique,

$\epsilon_0$  : permittivité du vide ( $= 8,854 \times 10^{-12}$  F/m).

L'augmentation de la capacité (à stocker des charges)  $C$  du condensateur par introduction d'un diélectrique s'explique par le mécanisme de polarisation du matériau. Sous l'influence du champ électrique appliqué, il se forme des dipôles perpendiculaires aux armatures. Ces dipôles neutralisent une partie des charges vraies existant sur les surfaces métalliques.

La tension aux bornes du condensateur est de la forme :  $U = \frac{Q_0}{\epsilon C_0} = \frac{Q_1}{C_0}$

Dans ce cas, la charge  $Q_1 = Q_0/\epsilon$ , fraction de la charge vraie  $Q_0$ , est la seule charge qui contribue à créer la différence de potentiel  $U$  entre les armatures.

$$q = Q_0 - Q_1 = Q_0 \left(1 - \frac{1}{\epsilon}\right)$$

La charge restante  $q$ , ou charge liée est neutralisée par la polarisation du diélectrique. Le vecteur de polarisation  $\mathbf{P}$  a pour intensité :

$$P = \frac{q}{S} = \frac{Q_0}{S} \left(1 - \frac{1}{\epsilon}\right)$$

Où  $S$  est la surface des armatures.

Le champ électrique  $\vec{E}$  et le vecteur de déplacement électrique  $\vec{D}$  ont, respectivement, pour intensité :

$$E = \frac{Q_0}{S \varepsilon \varepsilon_0} \quad \text{et} \quad D = \frac{Q_0}{S}$$

Dans le cas du condensateur plan, ces trois vecteurs sont perpendiculaires aux armatures et sont liés par les relations suivantes :

$$\vec{D} = \varepsilon \varepsilon_0 \vec{E}$$

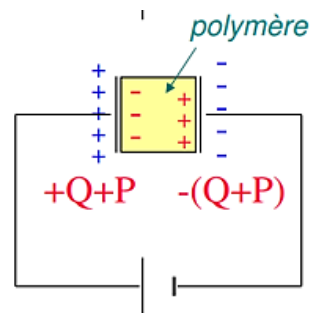
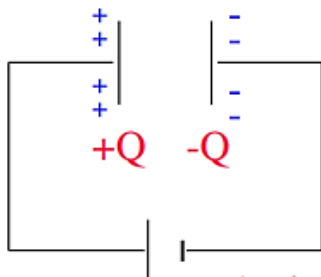
$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$$

$$\vec{P} = (\varepsilon - 1) \varepsilon_0 \vec{E} = \chi \varepsilon_0 \vec{E}$$

La grandeur  $\chi$  définit la susceptibilité électrique du diélectrique.

Remarque : Les structures polymères comportent fréquemment des groupements polaires ou polarisables ; la constante diélectrique ou permittivité de ces polymères peut donc être élevée (la permittivité relative peut être comprise entre 2 et 10).

En résumé, pour un polymère , on a :



La charge  $Q = \varepsilon_0 E = \varepsilon_0 U/d = C / C_0$ ,

La capacité  $C_0 = Q/U$ ,

La permittivité relative :  $\varepsilon_r = Q + P/Q$ ,

Le taux de polarisation :  $P = Q (\varepsilon_r - 1)$

Le déplacement électrique  $D = \varepsilon_0 E + P = \varepsilon_r \varepsilon_0 E$ ,

et La susceptibilité relative :  $\chi = (\varepsilon_r - 1)$

b) Relaxation diélectrique :

La polarisation est due à des mécanismes de déformation de la répartition des charges électriques sous l'influence d'un champ électrique. Cela se traduit par le fait que dans un champ électrique alternatif (sinusoïdal), la polarisation ne suit pas de façon instantanée, on parle de relaxation diélectrique. Cette relaxation induit une perte d'énergie. L'ensemble «condensateur + polymère diélectrique» est équivalent à une résistance mise en parallèle avec une capacité. La description la plus simple des diélectriques « vrais » est abordée en introduisant le concept de permittivité complexe, laquelle s'écrit :

$$\varepsilon^*(\omega, T) = \varepsilon'(\omega, T) - i\varepsilon''(\omega, T)$$

$\varepsilon'$  est la partie réelle et  $\varepsilon''$  la partie imaginaire de la permittivité complexe  $\varepsilon^*$ .  $\varepsilon'$  représente la constante diélectrique, laquelle est liée à l'énergie emmagasinée et  $\varepsilon''$  représente l'indice de perte diélectrique, il est lié à l'énergie dissipée.  $\omega$  et  $T$  sont, respectivement, la fréquence angulaire et la température.

Les deux parties sont fixées pour une fréquence et une température donnée. Les grandeurs électriques deviennent alors :

$$I^* = \frac{dQ^*}{dt} \quad \text{avec :} \quad Q^* = CU = C_0 \epsilon_r^* U^*$$

$$\Rightarrow I^* = C_0 \epsilon_r^* \frac{dU^*}{dt} \quad \text{avec :} \quad U^*(\omega) = U_0 e^{j\omega t}$$

$$\Rightarrow I^* = j\omega CU^* = j\omega \epsilon^* C_0 U^* = j\omega (\epsilon' - j\epsilon'') C_0 U^* = \omega \epsilon'' C_0 U + j\omega \epsilon' C_0 U$$

La partie réelle  $I_R^* = \omega \epsilon'' C_0 U$  définit l'intensité résistive et  $I_C^* = \omega \epsilon' C_0 U$  définit l'intensité capacitive.

Le rapport  $\epsilon''/\epsilon'$  est dit facteur de dissipation électrique. Celle-ci est définie par la tangente d'un angle  $\delta$  dit angle de perte, angle complémentaire du déphasage entre le courant d'origine capacitive  $I_C$  et le courant total (Fig. 2), tel que :

$$\tan \delta = \frac{|I_R^*|}{|I_C^*|} = \frac{\epsilon''}{\epsilon'}$$

L'angle de perte est une grandeur caractérisant les matériaux diélectriques pour hyperfréquences.

- Pour un bon diélectrique,  $\delta$  est faible et  $\tan(\delta) \approx \delta$ .

- Pour un mauvais diélectrique ayant une conductivité électrique  $\sigma$  non nulle, l'angle de perte à la pulsation  $\omega$  est donné par :

$$\tan \delta = \frac{\omega \epsilon'' + \sigma}{\omega \epsilon'}$$

Une relaxation se traduit par une augmentation de la partie imaginaire, traduisant des pertes plus importantes, et une réduction de la partie réelle, traduisant une réduction de la capacité du matériau à se polariser.

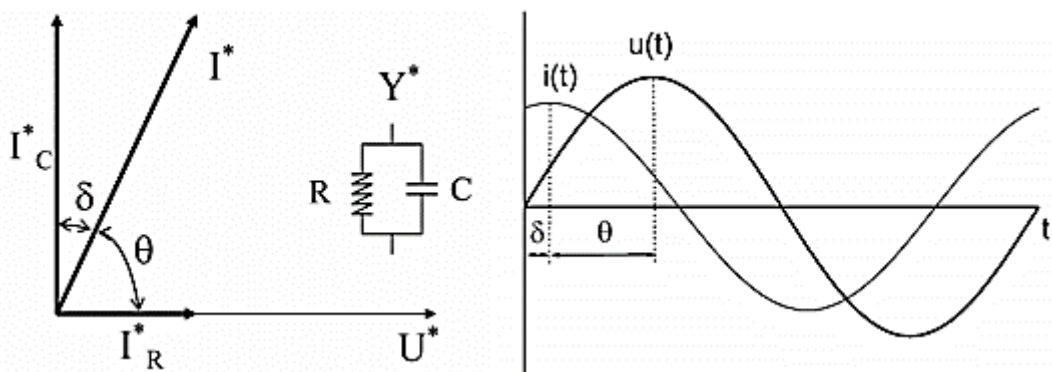


Figure 2 : Représentation de  $I_R$  et  $I_C$  dans le diagramme de Fresnel, Réponse temporelle de  $U$  et  $I$

La permittivité est une caractéristique importante d'un polymère lorsqu'on veut réaliser un condensateur à forte capacité de stockage d'énergie électrique. On recherche alors des polymères à grande permittivité permettant d'obtenir des capacités élevées sous un faible volume.

A l'inverse, lorsque l'on veut réduire la quantité de charges stockée par un matériau en charge d'une isolation électrique (comme dans les câbles électriques par exemple), les polymères à faible permittivité sont les plus intéressants.

#### Permittivité diélectrique de quelques polymères

<b>Polymère</b>	<b>Permittivité diélectrique</b>
Polyimides aromatiques non fluorés	3,2-3,6
Polyimide fluoré	2,6-2,8
Poly (phényl quinoxaline)	2,8
Poly (arylène éther oxazole)	2,6-2,8
Poly (éther d'arylène)	2,9
Polyquinoline	2,8
Silsesquioxane	2,8-3,0
Poly (norborène)	2,4
Polyéther de perfluorocyclobutane	2,4
Poly (éther d'arylène) fluoré	2,7
Polynaphtalène	2,2
Poly (tétrafluoroéthylène)	1,9
Polystyrène	2,6
Poly (fluorure de vinylidène-co hexafluoropropylène)	~12

#### III. 2. 3 Polarisation

Si on soumet une charge à l'action d'un champ électrique, la force qui apparaît sur cette charge est :

$$F = q E$$

La force  $F$  tend à déplacer la charge électrique dans la direction du champ. Si la charge est libre, elle se déplace dans la direction du champ.

Or, les électrons présents dans un milieu diélectrique ne peuvent pas, par définition, se déplacer sur des grandes distances. Ils peuvent par contre présenter des mouvements d'amplitude très petite à notre échelle.

Sous l'effet d'un champ électrique externe, le nuage de charges est déformé au point où celui-ci peut être réduit à un simple dipôle. Par conséquent, tous les dipôles créés à ce niveau-là seront alignés dans le sens du champ électrique. Une fois que l'application du champ électrique est enlevée, l'atome revient à son état originel. Le temps requis pour cette opération est appelé temps de relaxation. Cette polarisation vient de différents effets physiques à savoir : la polarisation électronique, la polarisation atomique, la polarisation d'orientation et la polarisation interfaciale. Ces quatre types de polarisation peuvent soit

coexister ou apparaître séparément. La polarisation totale est la somme des différents types de polarisation.

### III. 2. 3. 1 Polarisation électronique

Le champ électrique provoque un léger déplacement des nuages électroniques vis-à-vis du noyau des atomes. En l'absence de champ, le centre de gravité des charges négatives c'est-à-dire les électrons de l'orbital est confondu avec celui des charges positives au niveau du noyau (Fig. 3a). En présence du champ électrique, l'orbitale se déforme élastiquement et il se crée un dipôle induit caractérisé par le vecteur de polarisation  $\vec{P}$  (Fig 1b).

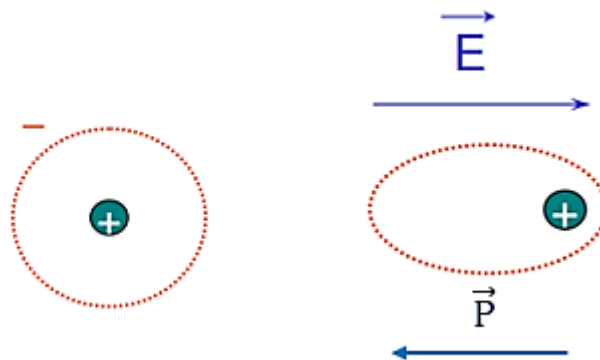


Figure 3 : a) Sans champ électrique

b) En présence d'un champ électrique

Ce type de polarisation s'établit en moyenne en  $10^{-15}$  s et il s'accompagne d'une émission d'énergie. La valeur de cette polarisabilité  $\alpha_c$  peut être estimée en utilisant le modèle électrostatique simple. L'atome est défini comme un noyau positif au centre d'une sphère négative chargée uniformément.

$$\alpha_c = 4\pi\epsilon_0 r^3 \quad , \quad r \text{ représente le rayon atomique}$$

La polarisation électronique est présente dans tous les diélectriques, elle est donnée par :  $P = N\alpha_c E_l$ , où  $E_l$  est le champ local.

### III. 2. 3. 2 Polarisation ionique ou atomique

Ce type de polarisation est produit lorsque le champ appliqué crée un déplacement mutuel des ions constituant le milieu diélectrique (Fig. 4). Elle dépend de la charge de l'ion et des forces de liaisons ioniques mutuelles. Les éléments mis en jeu étant plus lourds que pour la polarisation électronique, le temps d'établissement est assez long, entre  $10^{-13}$  et  $10^{-12}$  s.

L'expression qui donne la polarisation ionique est :  $P = N\alpha_i E_l$



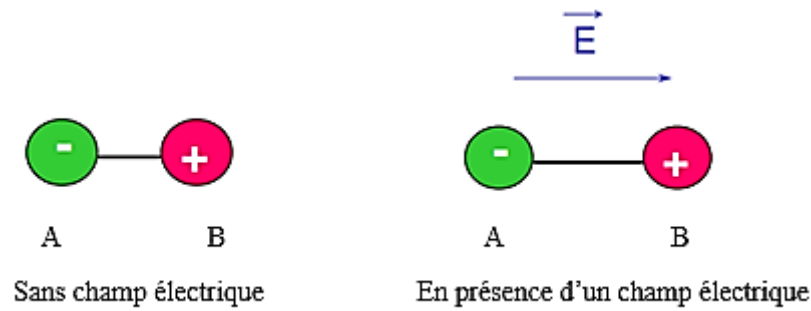


Figure 4 : Polarisation ionique : A plus électronégatif que B ; déplacement des électrons vers A

La polarisation ionique, aussi bien que la polarisation électronique, crée des dipôles induits ; elle ne provoque pas de pertes d'énergie, n'est pas influencée par la température et disparaît avec la suppression du champ appliqué.

### III. 2. 3. 3 Polarisation par orientation (de Debye)

La polarisation par orientation consiste en l'orientation de molécules polaires sous l'action du champ électrique. Les molécules polaires sont des molécules qui possèdent un moment dipolaire permanent. La structure de ces molécules est asymétrique ; le centre de gravité résultant de toutes les charges négatives d'une telle molécule ne coïncide pas avec celui de toutes ses charges positives, la molécule est un dipôle électrique. Cette polarisation met entre  $10^{-11}$  et  $10^{-9}$  s pour s'établir. Elle peut s'exprimer de façon simple pour une molécule par l'équation suivante :

$$\alpha_D = \frac{p^2}{3KT}$$

Avec K la constante de Boltzmann ( $1,3806 \cdot 10^{-23}$  J.  $^{\circ}\text{K}^{-1}$ ), T la température et P le moment dipolaire de la molécule.

La polarisation macroscopique résulte de la somme de ces contributions microscopiques pour un milieu diélectrique. Celui-ci possède des dipôles électriques dont le champ électrique tend à aligner dans la direction du champ (Fig. 5).

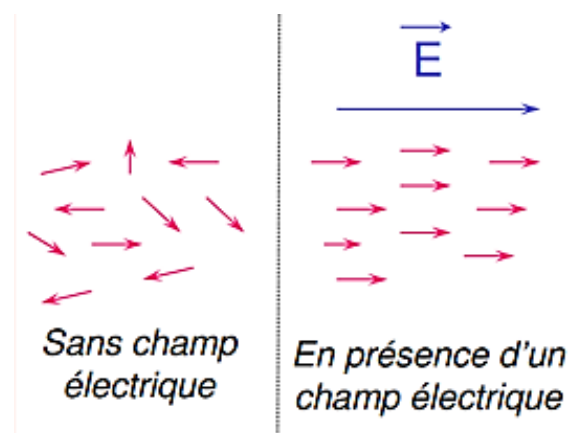


Figure 5 : Polarisation de Debye

La polarisation  $P$  a été calculée par Langevin et Debye :

$$P = N\alpha_D E_l$$

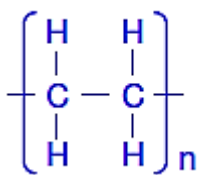
$N$  est le nombre de molécules par unité de volume et  $E_l$  représente le champ électrique local.

Le champ local  $E_l$  est donné par l'expression de Lorentz :

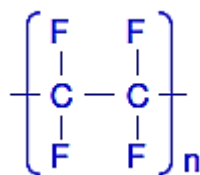
$$E_l = E + \frac{P}{3\epsilon_0}$$

Pour les polymères, la polarité d'une macromolécule est induite par la dissymétrie de la chaîne (moment dipolaire permanent). Cependant, cette polarité nécessite une température suffisante pour permettre la mobilité moléculaire.

Exemple :

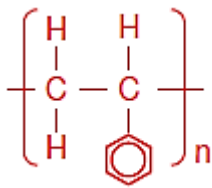


PE

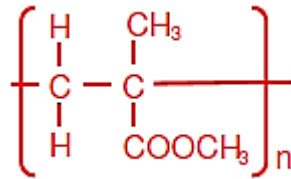


PTFE

Structure symétrique : polymère apolaire



PS



PMMA

Structure asymétrique : polymère polaire

### III. 2. 3. 4 Polarisation interfaciale

Ce type de polarisation, appelée également polarisation de Maxwell Wagners-Sillars, apparaît dans les matériaux hétérogènes avec un temps de relaxation plus long que celui nécessaire à la polarisation par orientation. Elle intervient lorsqu'il existe des interfaces entre deux solides de conductivité et de permittivité différentes. Elle provient de l'accumulation des charges aux interfaces entre les différentes phases constituant les matériaux. Le déplacement de ces charges entraîne la création d'une barrière qui tente à s'opposer à la pénétration du champ électrique dans le solide (Fig. 6) .

Il peut s'agir de deux matériaux solides, mais également d'un complexe constitué par un solide et un liquide (le papier imprégné par exemple). Un matériau seul peut également être concerné à condition que sa structure soit hétérogène : par exemple les polyéthylènes qui sont formés d'une phase amorphe non ordonnée et d'une phase cristalline, ces deux phases sont fortement imbriquées l'une dans l'autre.

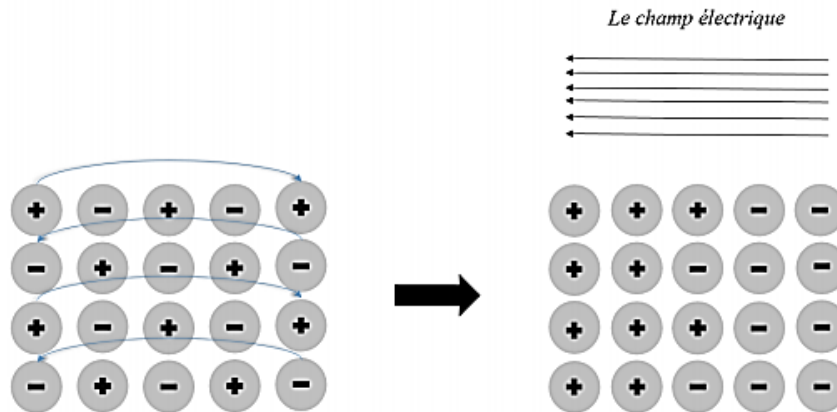


Figure 6 : Polarisation interfaciale

### III. 3 Analogie comportements mécanique et diélectrique

Afin d'utiliser des analogies avec des grandeurs mécaniques comme la contrainte, la tension ou la pression. L'arrière-plan de cette analogie doit être la mécanique des milieux continus. D'après Maxwell, le milieu diélectrique est un milieu matériel continu qui se trouve sous contrainte lors d'une électrification des conducteurs qui l'entourent. Les grandeurs qui peuvent caractériser cet état mécaniquement contraint du diélectrique sont des pressions et des contraintes mécaniques. L'existence de cet état mécaniquement contraint peut être comprise à partir de la notion de déplacement électrique.

Ainsi, le comportement d'un polymère soumis à un champ électrique alternatif possède beaucoup de points communs avec celui qu'il a sous une sollicitation mécanique sinusoïdale. En effet, sous l'action d'un champ alternatif, la réorientation des dipôles atomiques (ou de portions de molécules) s'accompagne d'une perte d'énergie électrique appelée perte diélectrique. Ces pertes ont une analogie avec l'énergie mécanique viscoélastique dissipée par frottement intérieur lors de chargements mécaniques cycliques. Ces pertes d'énergie sont dissipées sous forme de chaleur dans le matériau.

Quand un matériau polymère subit une déformation sinusoïdale de pulsation fixée  $\omega$ , son caractère viscoélastique induit un déphasage entre la déformation dynamique  $\gamma^*$  imposée :

$$\gamma^* = \gamma_0 e^{i\omega t}$$

et la contrainte dynamique en torsion  $\tau^*$  mesurée :

$$\tau^* = \tau_0 e^{i(\omega t + \delta)}$$

Ce déphasage est quantifié par l'angle de perte  $\delta$ . Le module mécanique complexe  $G^*$  est relié à ces deux grandeurs par la relation :

$$G^* = G' + iG'' = \frac{\tau^*}{\gamma^*}$$

Le facteur de pertes  $\tan \delta$  est définie comme étant le rapport entre  $G''$  et  $G'$ .

#### III. 3. 1 Rigidité diélectrique

Lorsqu'un matériau d'épaisseur  $e$  est soumis à une tension  $U$ , donc à une contrainte électrique, la quantité de courant le traversant obéit à la loi d'Ohm. Lorsque le matériau est isolant, ce courant est très faible, il est de l'ordre du pA et il est nommé courant de fuite. Mais si la tension est augmentée, on peut observer une valeur critique du champ appliqué  $E = U/e$ , une dégradation irréversible nommée « claquage » ou perforation diélectrique. L'isolation électrique n'est alors plus assurée. La rigidité

diélectrique est alors la valeur maximale du champ qui peut être appliquée à l'échantillon polymère sans occurrence du phénomène de claquage.

La mesure de la rigidité diélectrique pratique d'un polymère tient compte des défauts inhérents au matériau volumiques (inclusions gazeuses ou solides) ou aux systèmes de mesure (géométrie des électrodes). Elle peut être déclinée suivant trois modes, chacun visant à analyser le comportement du polymère dans des futures conditions d'usage : en tension alternative, en tension continue ou en onde de choc.

**III. 4 Types de polymères conducteurs :**

Les polymères conducteurs couvrent les familles des polymères conducteurs ioniques et des polymères conducteurs électroniques (Fig. 7). Les premiers sont utilisés comme électrolytes solides ou comme membranes séparatrices. Les polymères conducteurs électroniques sont répartis en deux catégories les polymères conducteurs extrinsèques et intrinsèques.

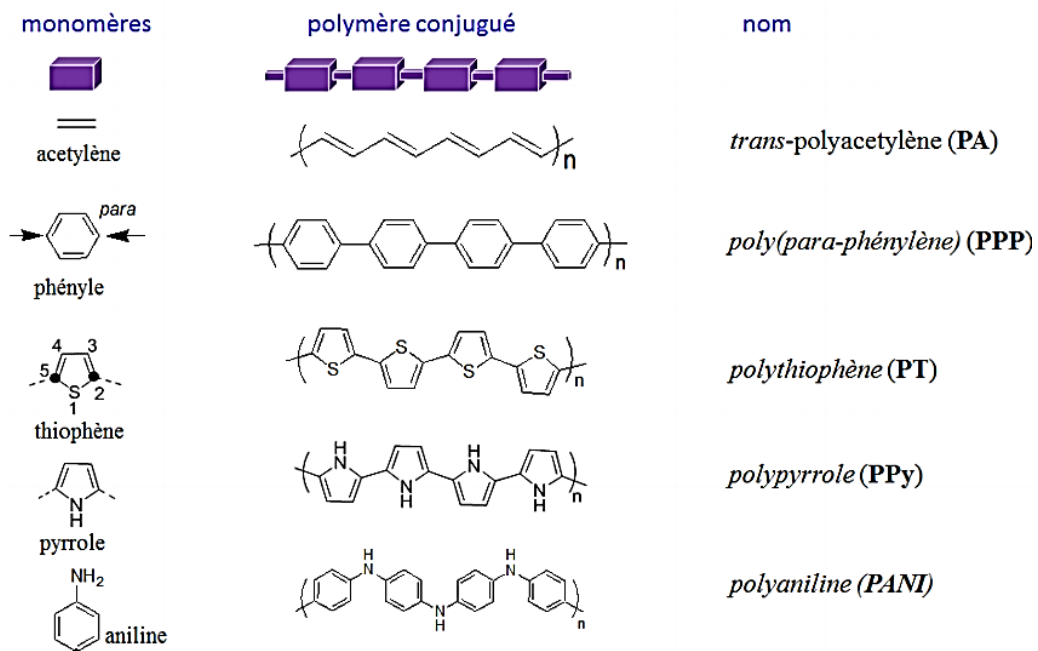


Figure 7-a : Polymères conjugués

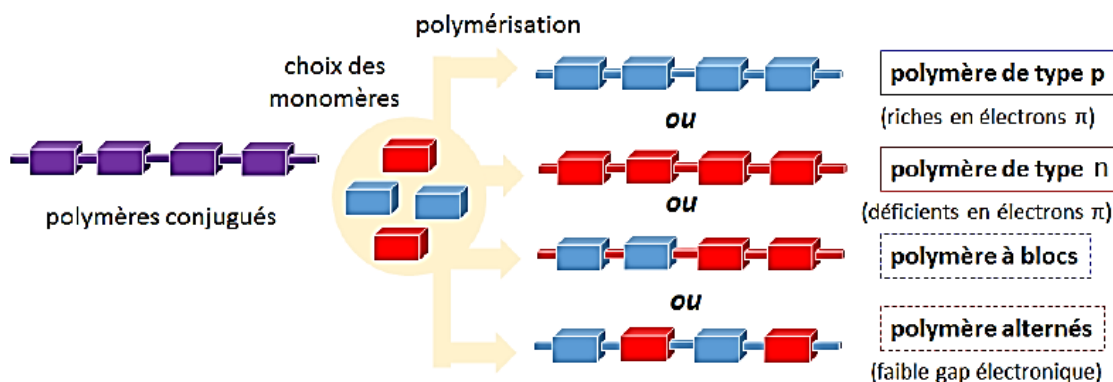


Figure 7-b : Types de polymères conducteurs

**References :**

- [1] P. Combette et I. Ernoult, Physique des polymères tome 2, Presses internationales polytechnique, 2006.
- [2] H. Fröhlich, Theory of dielectrics; dielectric constant and dielectric loss, second edition, Oxford Science Publications, 1958
- [3] D. C. Trivedi, Polyaniline, en : Handbook of organic conductive molecules and polymers. Vol 2, Conductive Polymers: Synthesis and electrical properties, H. S. Nalwa (Eds) John Willey and Sons Ltd. 1997.
- [4] Rapport du groupe sciences physiques de Rouen, L'analogie en physique, I.R.E.M. de ROUEN - Université de Haute Normandie