

## **SEANCE TECHNIQUE N°3**

- **Electromagnétisme**
- **Les bobines**

# 1/Principe d'électromagnétisme

## 1.1/Matériau magnétique

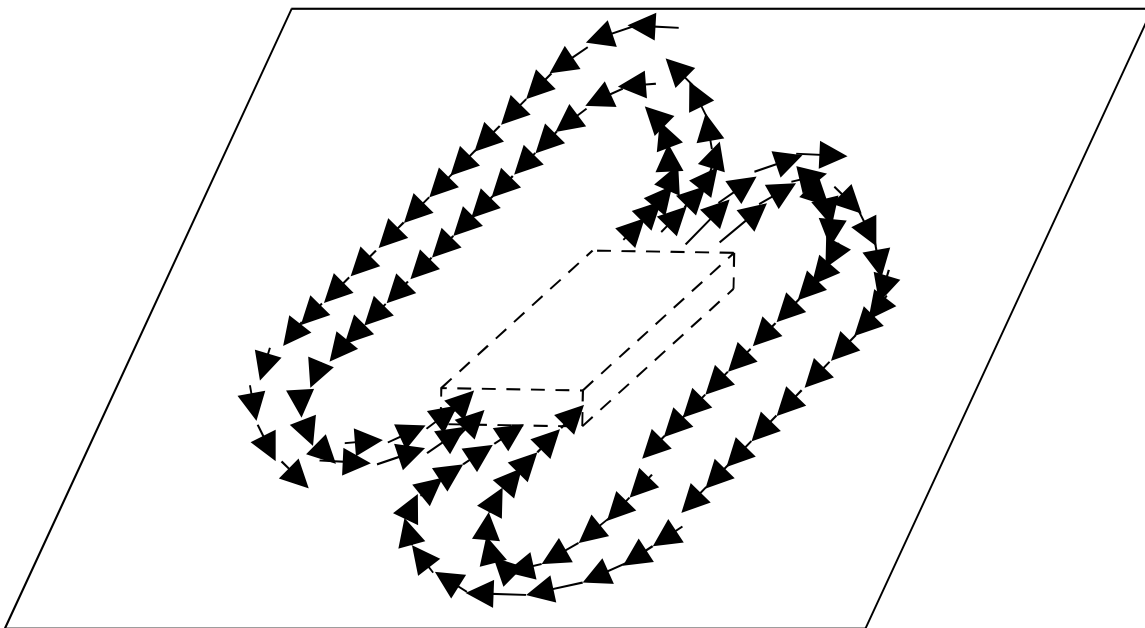
### 1.1.1-Divers type d'aimants

On trouve dans la nature des blocs d'oxyde de fer portant le nom de magnétite qui ont la propriété d'attirer la limaille de fer en certains points. C'est un aimant naturel. On dit qu'il a des propriétés magnétiques.

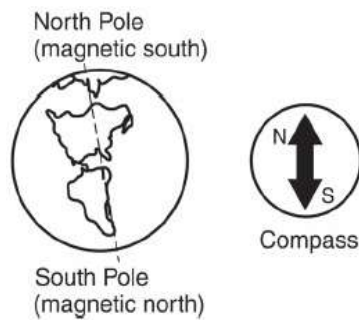
Si l'on frotte un morceau d'acier trempé sur un aimant naturel, il acquiert à son tour la propriété d'attirer la limaille de fer. On a créé un aimant artificiel.

On trouve diverses formes d'aimant artificiel : l'aimant droit, l'aimant en U (ou fer à cheval), l'aiguille aimantée (boussole), l'aimant torique (haut parleur).

Si l'on place un aimant dans la limaille de fer et qu'on le retire, on constate que la limaille se groupera en houppes aux extrémités que l'on appelle les pôles ou régions polaires.



Si l'on place une aiguille aimantée dans le champ terrestre, on constate que c'est toujours la même extrémité qui s'oriente vers le nord (magnétique). On peut recommencer l'expérience en plaçant un aimant droit sur le bouchon à la surface d'un liquide.



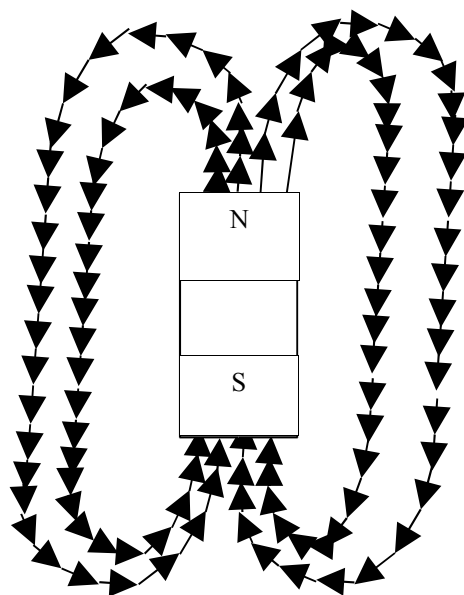
Les deux pôles n'ont donc pas la même propriété. Le pôle s'orientant vers le Nord magnétique s'appelle le pôle Nord de l'aimant ; l'autre pôle étant le pôle sud.

**Si l'on approche deux pôles de même signe, ils se repoussent ; tandis que deux pôles de signes contraire d'attirent.**

### 1.1.2-Champ magnétique

Nous dirons qu'il existe un champ magnétique dans toute zone de l'espace où une masse magnétique est soumise à une force magnétique.

On peut mettre en évidence l'aspect du champ magnétique en réalisant le spectre de l'aimant : on place un aimant sous une plaque non magnétique que l'on recouvre de limaille de fer. La limaille se groupe suivant certaines lignes qui indiquent les lignes de force du champ. Les lignes de forces, représentées schématiquement par une suite de flèches, donnent autant de points où le champ magnétique existe. Ce champ magnétique est orienté suivant le sens de cette flèche.



On convient de dire que les lignes de force sortent par le pôle Nord et rentrent par le pôle Sud.

### 1.1.3-Notions de perméabilité

Un morceau de fer placé à proximité d'un aimant se comporte lui-même comme un aimant. Il devient capable d'attirer un clou. On peut réaliser son spectre de limaille. Si l'on retire l'aimant, le clou se détache. L'aimantation est temporaire. On dit que le fer doux s'aimante par influence.

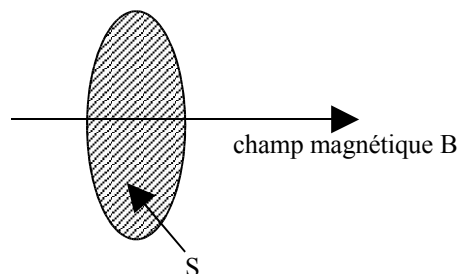
Historiquement, il existe 2 champs magnétiques : le champ H et le champ B. Les électriciens utilisent volontiers le champs B, exprimé en Tesla (T), et les radio-électroniciens utilisent plutôt le champ H (en A/m)

$$B = \mu_0 \mu_r H$$

$\mu_0$  est la perméabilité du vide ( $4\pi 10^{-7}$ ),  $\mu_r$  est la perméabilité du matériau. Au même titre que la résistivité et la constante diélectrique, la perméabilité magnétique est une caractéristique du matériau.

On a coutume, également, de parler du flux magnétique. Il représente l'intensité (ou force) du champ magnétique à travers une surface donnée.

On appelle flux magnétique (en weber Wb) du champ magnétique à travers une surface plane, l'intensité du champ magnétique passant par la section S :



$$\Phi = B \times S$$

$\Phi$  : flux du champ magnétique en Weber (Wb)

$B$  : intensité du champ magnétique en Tesla (T)

$S$  : Section de la surface d'étude

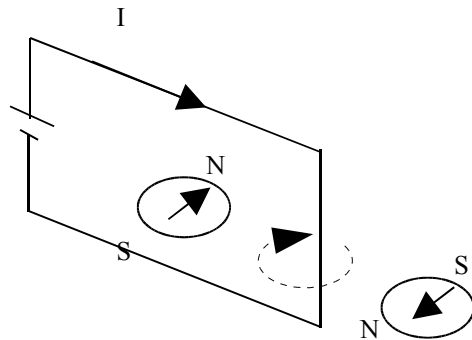
## 1.2/Principe d'électromagnétisme

Le champ magnétique, étudié jusqu'à présent, est celui présent naturellement, créé par des matériaux spécifiques. L'objet de ce paragraphe, est d'observer les effets que peuvent

engendrer le courant électrique : la naissance d'un champ magnétique créé par un courant électrique.

### 1.2.1-Propriétés magnétiques du courant électrique


Un courant électrique qui circule dans un conducteur crée un champ magnétique au voisinage de ce conducteur.

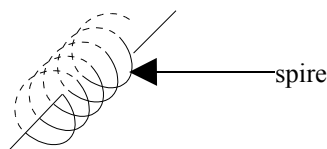


### 1.2.2/Notion d'inductance

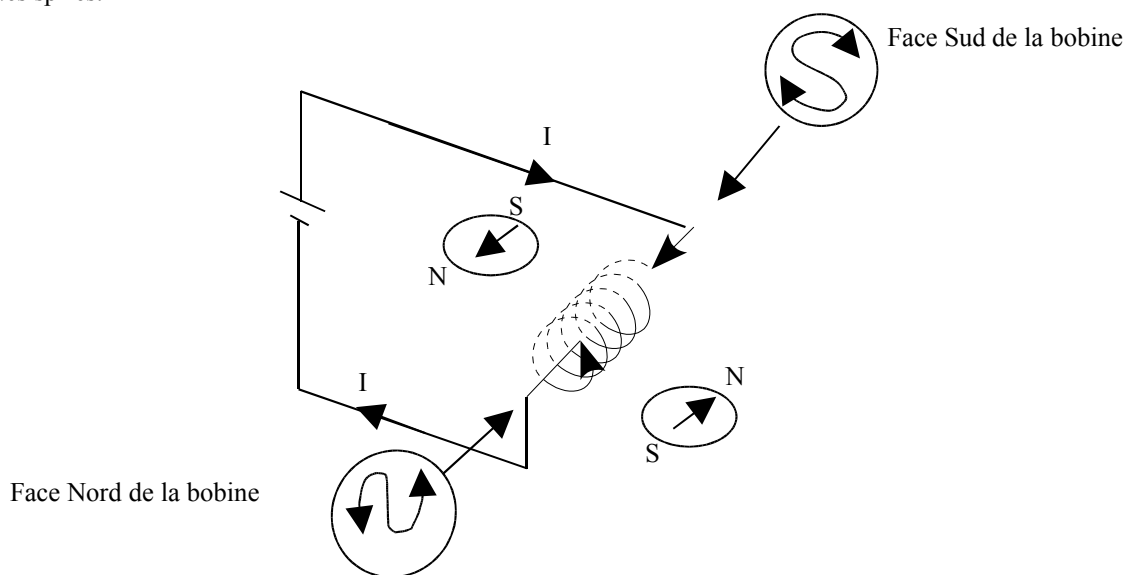
#### 1.2.2.1/Définition

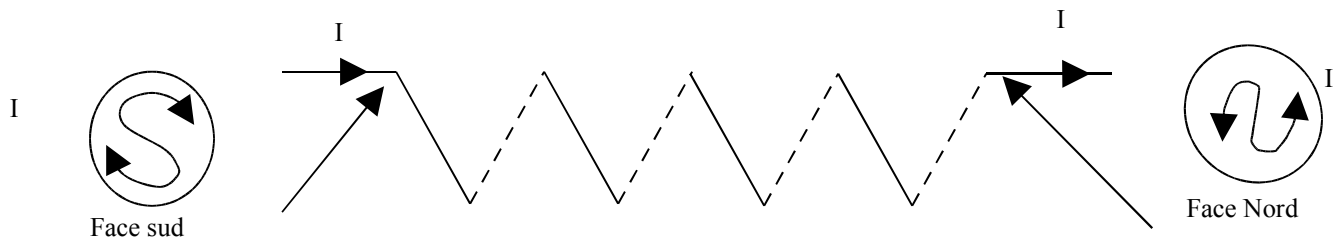
Pour augmenter la valeur du champ magnétique, on peut imaginer d'enrouler le conducteurs. On obtient un bobine.

Symbole électrique : 



La polarité des faces d'une bobine dépend du sens du courant qui parcourt la bobine, et du sens de l'enroulement des spires.





Tout comme le condensateur, la force du champ magnétique dépendra des dimensions géométriques de la bobine, mais également du matériau constituant le conducteur. La capacité qu'a une bobine à créer un champ magnétique plus ou moins fort s'appelle l'inductance, s'exprime en H (henrys)

$$L = NF^2 D^2$$

$L$  : inductance de la bobine en henry (H)

$F$  : facteur de forme (sans unité)

$D$  : diamètre de la bobine (m)

Le flux magnétique créé par une bobine, à l'intérieur de sa propre section, parcourue par un courant  $I$  est :

$$\Phi = L \times I$$

$\Phi$  : flux du champ magnétique en Weber (Wb)

$I$  : intensité du courant en ampère (A)

$L$  : inductance de la bobine en henry (H)

La bobine fonctionne grâce à ses propriétés électromagnétiques. Par définition, le Henry (H) est l'inductance propre d'une bobine  $L$  parcourue par un courant de 1 ampère et traversée par un flux total de 1 Weber.

Si la valeur des condensateurs est assez facile à déterminer grâce à ses dimensions, il n'existe aucune formule fiable pour le calcul de l'inductance des bobines : chacune à ses limites. Il existe aussi des abaques et des tableaux permettant de déterminer la valeur de l'inductance d'une bobine.

L'inductance de la bobine peut être augmentée en introduisant un « noyau » à l'intérieur des spires. Le noyau peut être constitué de différents matériaux (feuille de tôle d'aluminium, ferrite) ayant chacun leur coefficient de perméabilité relative. (notée  $\mu_r$  et calculé par rapport à la perméabilité du vide (ou de l'air)  $\mu_0$ ). Les ferrites sont des oxydes de fer mélangés à d'autres métaux tel que le nickel, le zinc ou le manganèse. Le  $\mu_r$  des ferrites varie de 20 à 3000, selon le matériau et la forme, et sont utilisable sur une plage de fréquence donnée par le fabricant.

### 1.2.2/ Bobine sans noyau de fer (ou dans l'air)

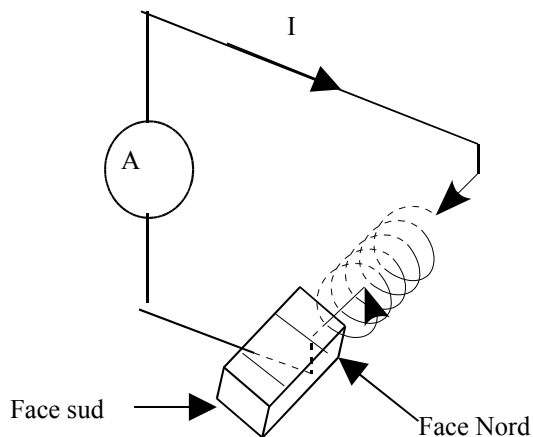
A l'intérieur d'une bobine de grande longueur par rapport à son rayon, les lignes de champ sont parallèles, sauf au voisinage des faces. Dans cette région, le champ magnétique est donc uniforme, dirigé de la face sud vers la face nord. Sa valeur vaut :  $B = \mu_0 \frac{N}{l} I$

## 1.3/Induction et auto-induction

### 1.3.1-Phénomène d'induction

Nous avons vu que le phénomène d'aimantation était « reproductible », et que des aimants artificiels pouvaient être créés de cette manière. Une bobine, parcourue par un courant électrique, peut donc, elle aussi, aimanter tout matériau pouvant acquérir des propriétés magnétiques.

Qu'en est-il si l'on approche un aimant d'une bobine ?



La bobine, à priori complètement inerte, sera le siège d'un courant dit induit.

Si un circuit électrique est fermé et qu'il est soumis à un champ magnétique, il apparaît nécessairement un courant induit.

*Remarque : Par rapport à la spire du 1.2.1, le bobinage est inversé, le courant circule dans le même sens, le champ magnétique est inversé.*

### 1.3.2-Loi de Lenz

La loi de Lenz permet de donner le sens du courant induit.

Le champ magnétique créé par un courant induit tend à s'opposer à la variation du champ magnétique qui lui a donné naissance.

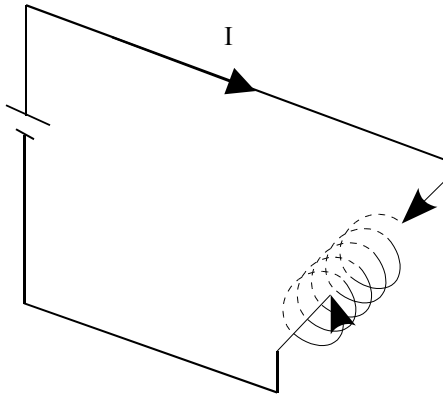
Donc si on approche un pôle Nord de la bobine, le courant induit dans la bobine crée une face Nord pour s'opposer à ce champ magnétique.

Si l'on éloigne le pôle Nord de la bobine, le courant induit crée une face sud pour s'opposer à cet éloignement.

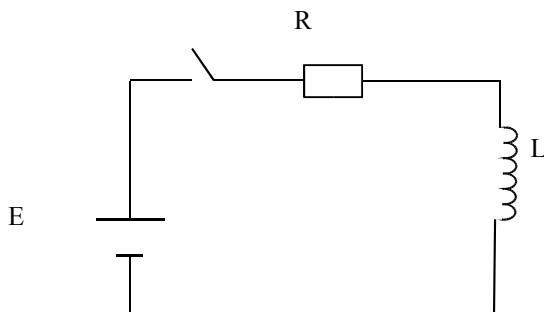
### 1.3.3-Auto-induction

La loi de Lenz définit les règles du courant induit dans une bobine soumise à une variation de champ magnétique.

Cette loi s'applique également à une bobine **elle-même** ! Le courant initial provoque un champ magnétique, donnant naissance à un courant induit. Ce courant induit, dans la bobine elle-même, tend à s'opposer au courant initial.



Un courant électrique crée un champ magnétique (1.2.1). Si, de plus, le courant est variable, le champ ainsi créé est lui-même variable et est responsable de l'apparition d'un courant dit induit dans le deuxième conducteur : c'est l'effet inductif (1.3.1). Dans le même temps, le courant induit est parfaitement à même de générer un champ magnétique. Ce nouveau champ magnétique rétroagit sur le courant qui l'a créé, en ralentissant sa vitesse de variation. C'est l'effet auto-inductif.



*A un instant  $t$  donné, on ferme l'interrupteur. C'est à cet instant précis, qu'on l'observe une variation de courant. Cette variation de courant donne naissance à un courant induit dans le circuit lui-même.*

*Quand une bobine est soumise à une variation de courant, il se développe, en son sein, un courant tel qu'il s'oppose à la variation qui lui a donné naissance. Ce courant n'existe que pendant la variation. Ce phénomène s'appelle l'autoinduction.*



*Le courant I varie de 0 à sa valeur maximale. Il crée donc un champ magnétique variable en tous points de la bobine. Par conséquent une force électromotrice induite apparaît dans la bobine à cause du champ magnétique variable créé par I.*

*La tension induite dans ce cas là est appelé force électromotrice d'auto-induction, car la bobine est la fois d'inducteur et l'induit.*

## 2/ Les bobines

### 2.1/ Coefficient de self-induction ou inductance

L'inductance, ou coefficient d'auto-induction (en henrys H), est la caractéristique spécifique d'une bobine dépendant de ses dimensions géométriques, de son nombre de spire et de l'éventuelle présence d'un noyau de fer. L'inductance d'une bobine, de longueur L et de surface S, se calcule :

$$L = \mu_0 \frac{N^2 S}{L}$$

*L : inductance d'une bobine en Henry (H)*

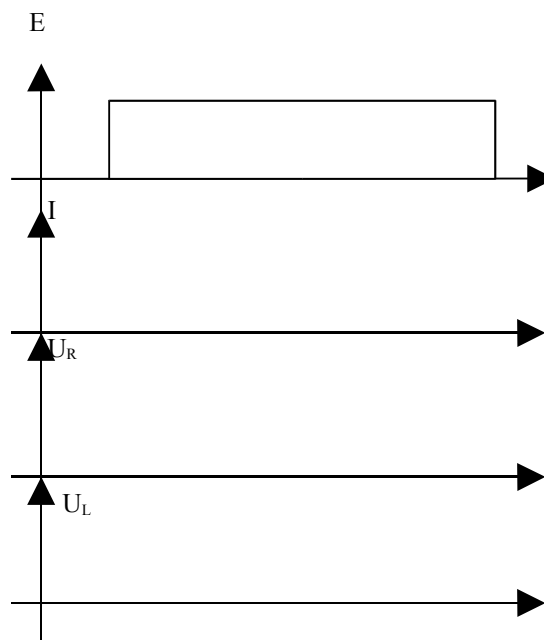
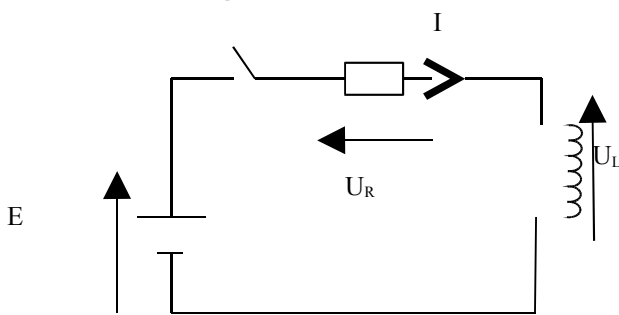
*$\mu_0$  : perméabilité de l'air*

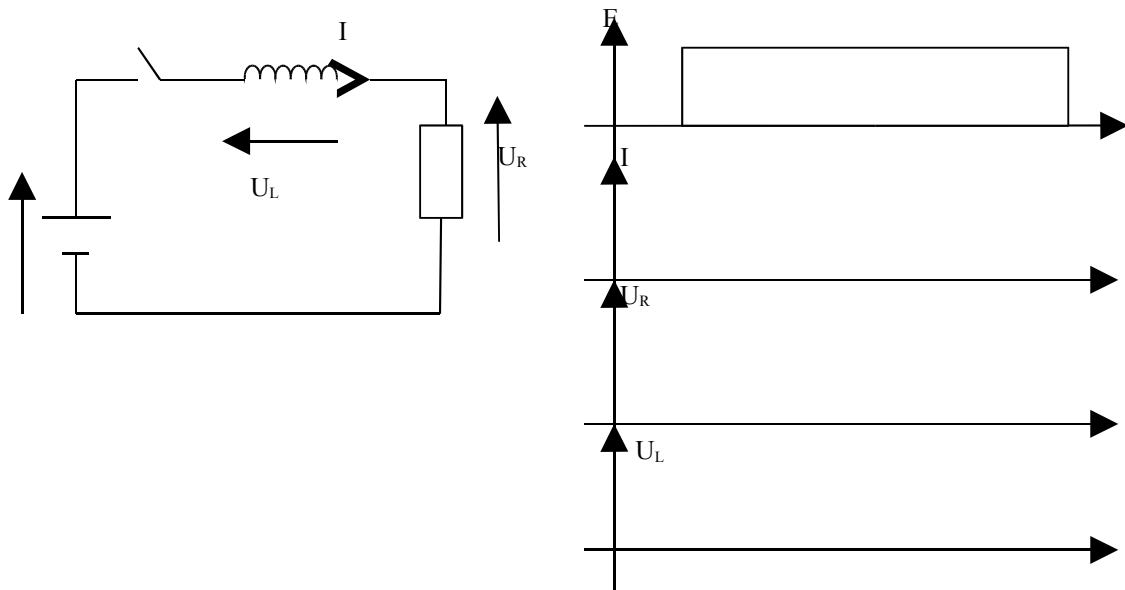
*N : nombre de spire de la bobine*

*S : section de la bobine (m<sup>2</sup>)*

*L : longueur de la bobine (m)*

### 2.2/ Régime variable





## 2.3/Compléments

### 2.3.1-Remarques

Si le courant n'est pas variable, la bobine se comporte comme une résistance.

Pour une bobine parfaite, cette résistance est nulle. Pour les bobines réelles, elle est très faible, mais non rigoureusement nulle.

### 2.3.2-Energie emmagasinée

$$E = \frac{1}{2} LI^2$$

*E* : Energie emmagasinée en Joule (J)

*L* : inductance de la bobine en henry (H)

*I* : intensité du courant en ampère (A)

### 2.3.3-Constante de temps

La bobine a finalement un fonctionnement très analogue à celui du condensateur. Elle ne se charge pas en tension, mais en courant.

De la même manière, on peut donc définir une constante de temps.

$$\tau = \frac{L}{R}$$

*τ* : constante de temps en secondes (s)

*L* : inductance de la bobine en henry (H)

*R* : résistance du circuit en ohms (Ω)

### 2.3.4-Groupement d'inductance

Le calcul d'une inductance équivalente est identique à celui des résistances.

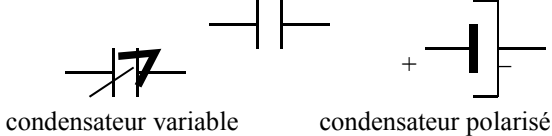
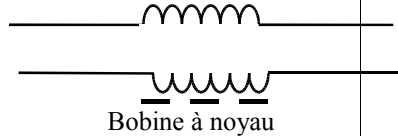
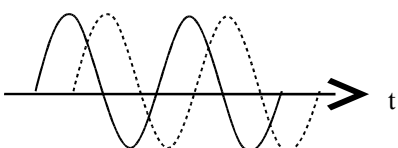
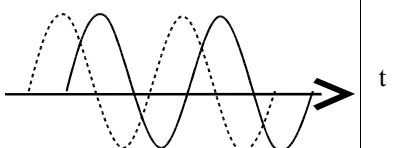
En série :  $L_{\text{éq}} = L_1 + L_2 + L_3$

En parallèle :  $\frac{1}{L_{\text{éq}}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}$

Attention, ce calcul n'est valable que sous l'hypothèse qu'il n'y a pas de couplage entre les bobines.

## CE QUI EST IMPORTANT

**Tableau comparatif des caractéristiques des condensateurs et des bobines**

	Condensateur	Bobine
<b>Fonctions</b>	<b>Laisse passer les tensions alternatives</b> Effet électrostatique	<b>Atténue les tensions alternatives</b> Effet électromagnétique
<b>Schéma</b>	 condensateur variable      condensateur polarisé	 Bobine à noyau
<b>Unités</b>	<b>farad</b> (F) $\mu$ F, nF, pF	<b>henry</b> (H) mH, $\mu$ H, nH
<b>Dimensions</b>	$C = d \cdot S / E$ C = valeur du condensateur = <b>capacité</b> d=constante diélectrique S=surfaces en vis à vis E=épaisseur du diélectrique	$L = F \cdot N^2 \cdot D^2$ L = valeur de la bobine = <b>inductance</b> F=facteur de forme N=nombre de spires D=diamètre de la bobine
<b>Calcul des valeurs avec les formules simplifiées</b>	<i>Formule simplifiée avec diélectrique = air ou vide</i> $C(pF) = 8,8542 \cdot S (cm^2) / E (1/10 mm)$ avec L en mH, N = nb de spires, D = diamètre de la bobine (en cm), Si le diélectrique n'est pas de l'air, il faut multiplier le résultat par le coefficient du diélectrique (voir la note ci-dessous)	<i>Formule de Nagaoka simplifiée</i> $L = \frac{100 \cdot D \cdot N^2 \cdot D^2}{4D + 11 L}$ L = longueur de la bobine (en cm)
<b>Définition physique</b>	$C(F) = Q(C)/U(V)$ ou $Q = C \cdot U$ Q=quantité emmagasinée en Coulomb U=tension aux bornes de C	$L(H) = N \cdot \Phi(Wb) / I(A)$ N= nombre de spires ; I=intensité parcourue $\Phi$ =flux généré par la bobine (en Weber) ;
<b>Impédance</b>	<b>Capacitance</b> : $ZC = 1/\omega C$ $Z(\Omega) = \frac{1}{2\pi F(Hz) \cdot C(F)}$ $Z(\Omega) = \frac{159}{F(MHz) \cdot C(nF)}$	<b>Réactance</b> : $ZL = \omega L$ $Z(\Omega) = 2\pi F(Hz) \cdot L(H)$ $Z(\Omega) = 6,28 \cdot F(MHz) \cdot L(\mu H)$
<b>Groupements</b>		
<b>Parallèle</b>	$Ct = C1 + C2$  Inverse des résistances	Montage rarement utilisé  Comme pour les résistances
<b>Série</b>	$Ct = \frac{C1 \cdot C2}{C1 + C2}$	$Lt = L1 + L2 \pm M$ M est la mutuelle induction entre L1 et L2
<b>Déphasage/I</b>	<b>U en retard</b> de 90°	<b>U en avance</b> de 90°
I = _____		
U = _____		

Intérêts de ces composants :

- Provoquer des retards sur les tensions ou les courants (commutations TX/RX)
- Filtrage : un condensateur et une bobine ont un comportement particulier en régime alternatif