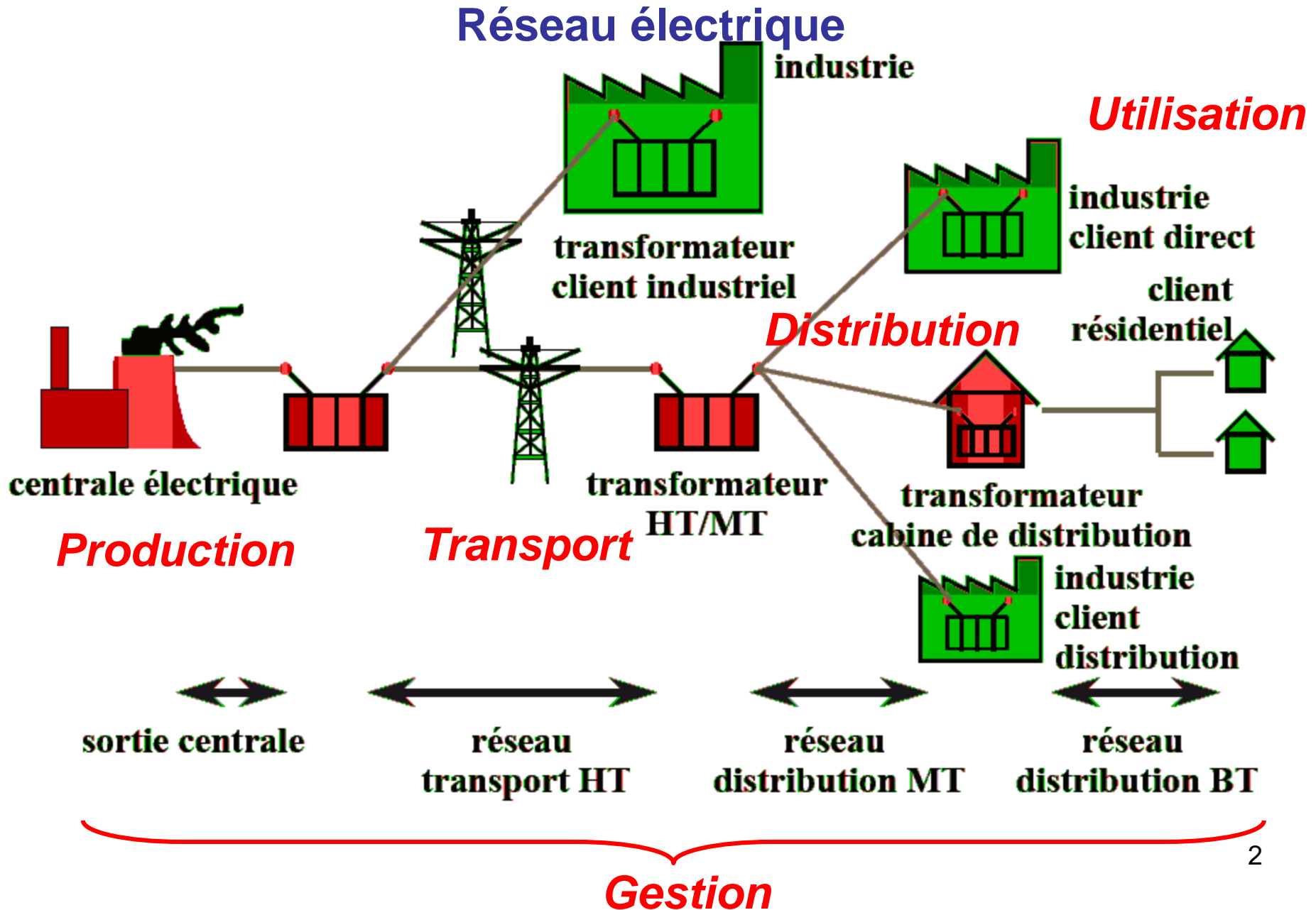
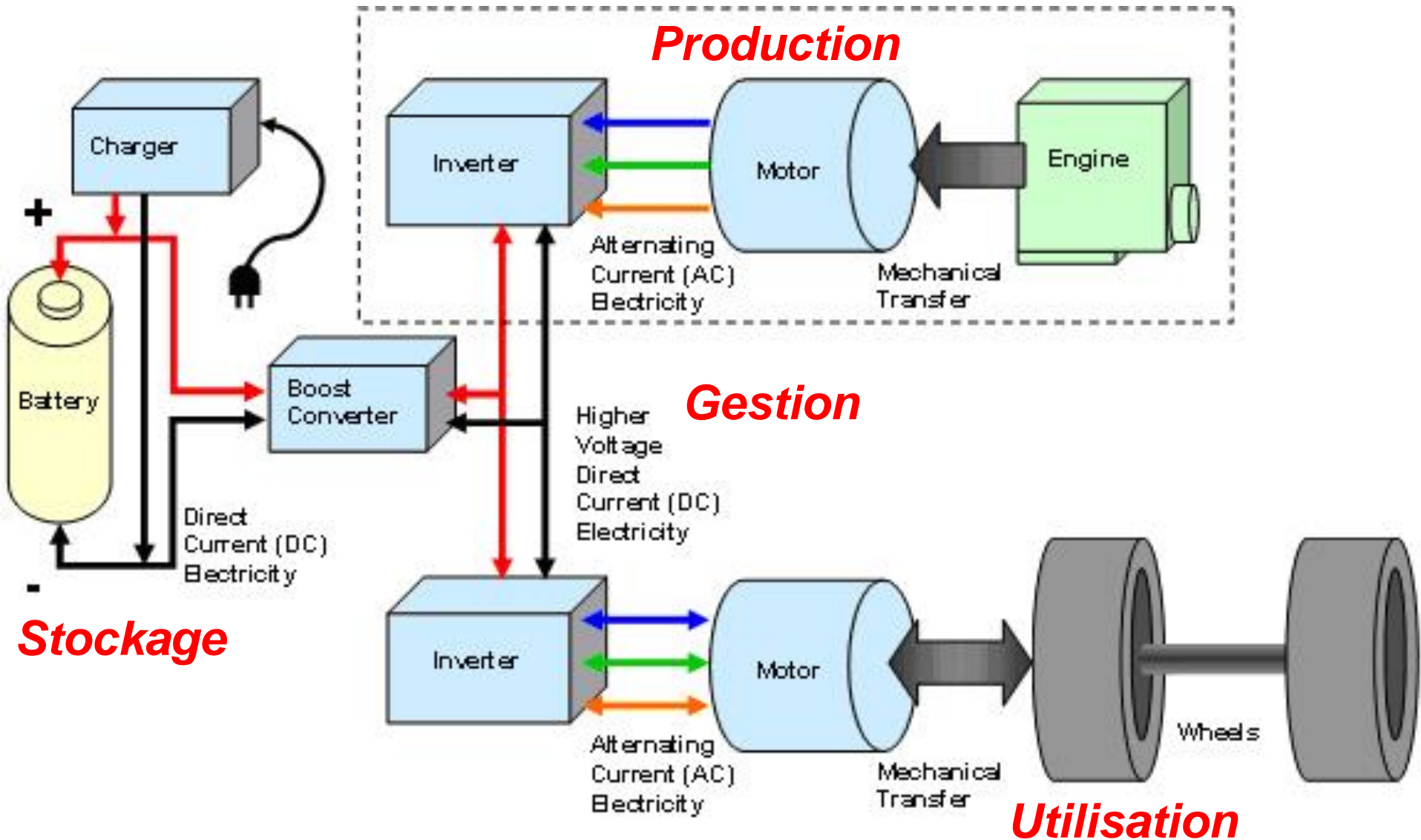


Introduction

Domaines d'intervention de l'électrotechnique :



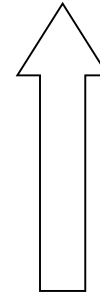
Voiture hybride



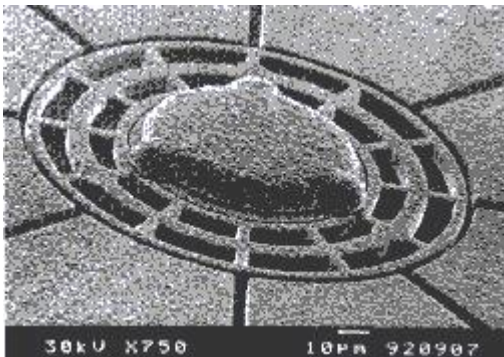
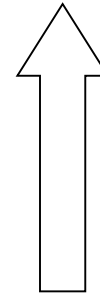
Puissances utilisées en électrotechnique



centrales de production électrique :
milliers de MVA

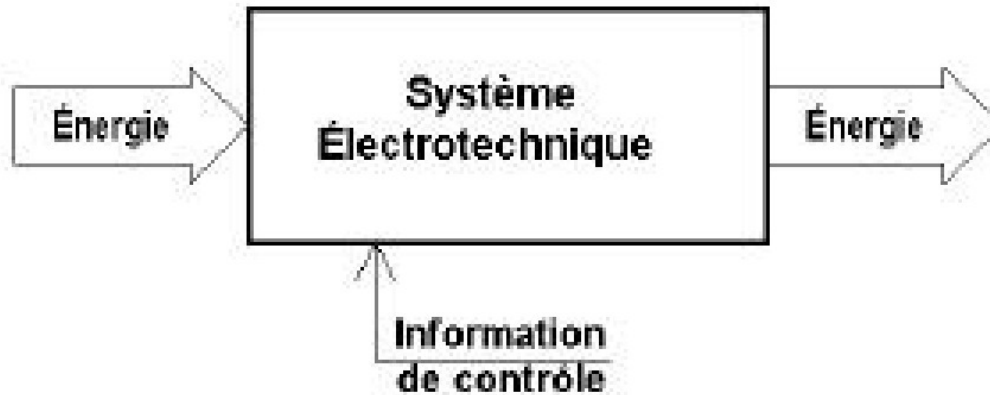


montre à quartz : μW

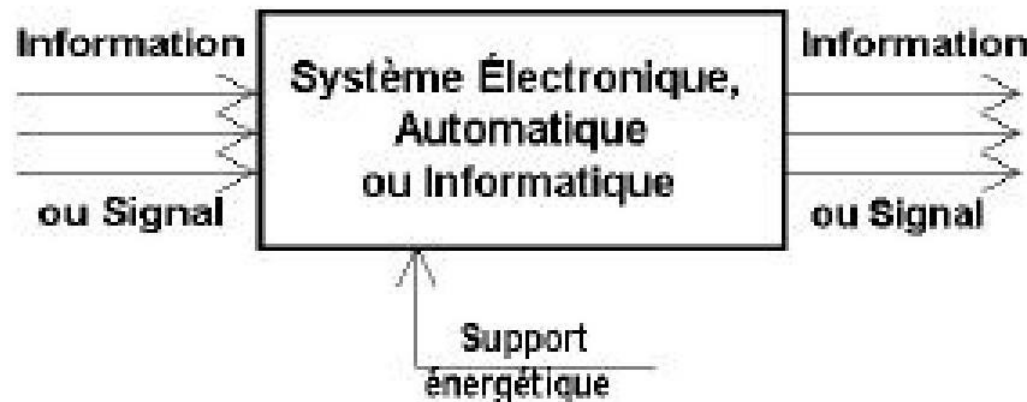


micromoteurs électrostatiques
(microchirurgie) : ***nW***

Complémentarité de l'Electrotechnique par rapport à l'Electronique, l'Automatique et l'Informatique



L'électrotechnique s'intéresse essentiellement au traitement et à la conversion de l'énergie électrique



L'électronique, l'automatique et l'informatique s'intéressent au traitement du signal ou de l'information.

Electrotechnique science pluridisciplinaire

Electronique
du signal
(composante,
commandes)

Electronique
de Puissance
(convertisseurs
statiques)

Automatique et
Informatique
(commande
d'ensembles)

Electrotechnique
traditionnelle
(machines tournantes,
transformateurs)

Physique
du Solide
(étude interne des
composants)

Physique en général
(compréhension des
processus, choix
des capteurs)

Thermique
(évacuation
des pertes)

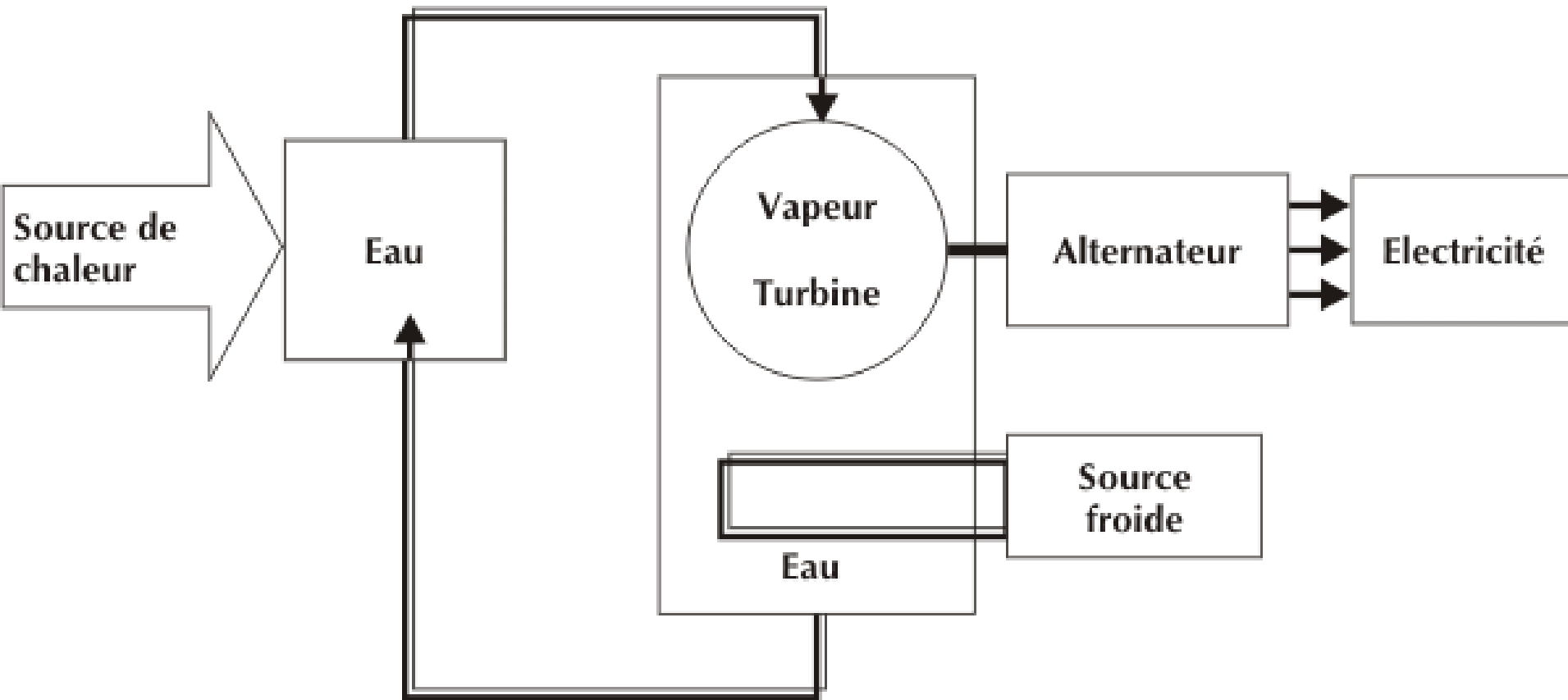
Electrochimie
(piles et
accumulateurs)

Mécanique
(charges
entraînées),

Production et transport de l'énergie électrique

Chaînes de production de l'électricité

La source de chaleur chauffe l'eau afin d'obtenir de la vapeur sous pression. La vapeur, en se détendant dans une turbine, entraîne un alternateur qui génère de l'électricité

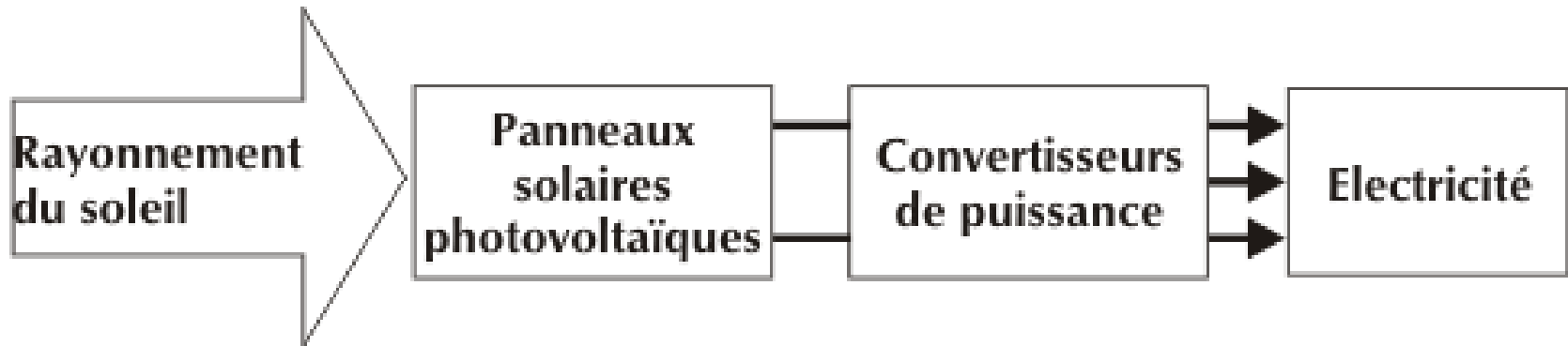


Cycle classique de production de l'électricité

Chaînes de production de l'électricité



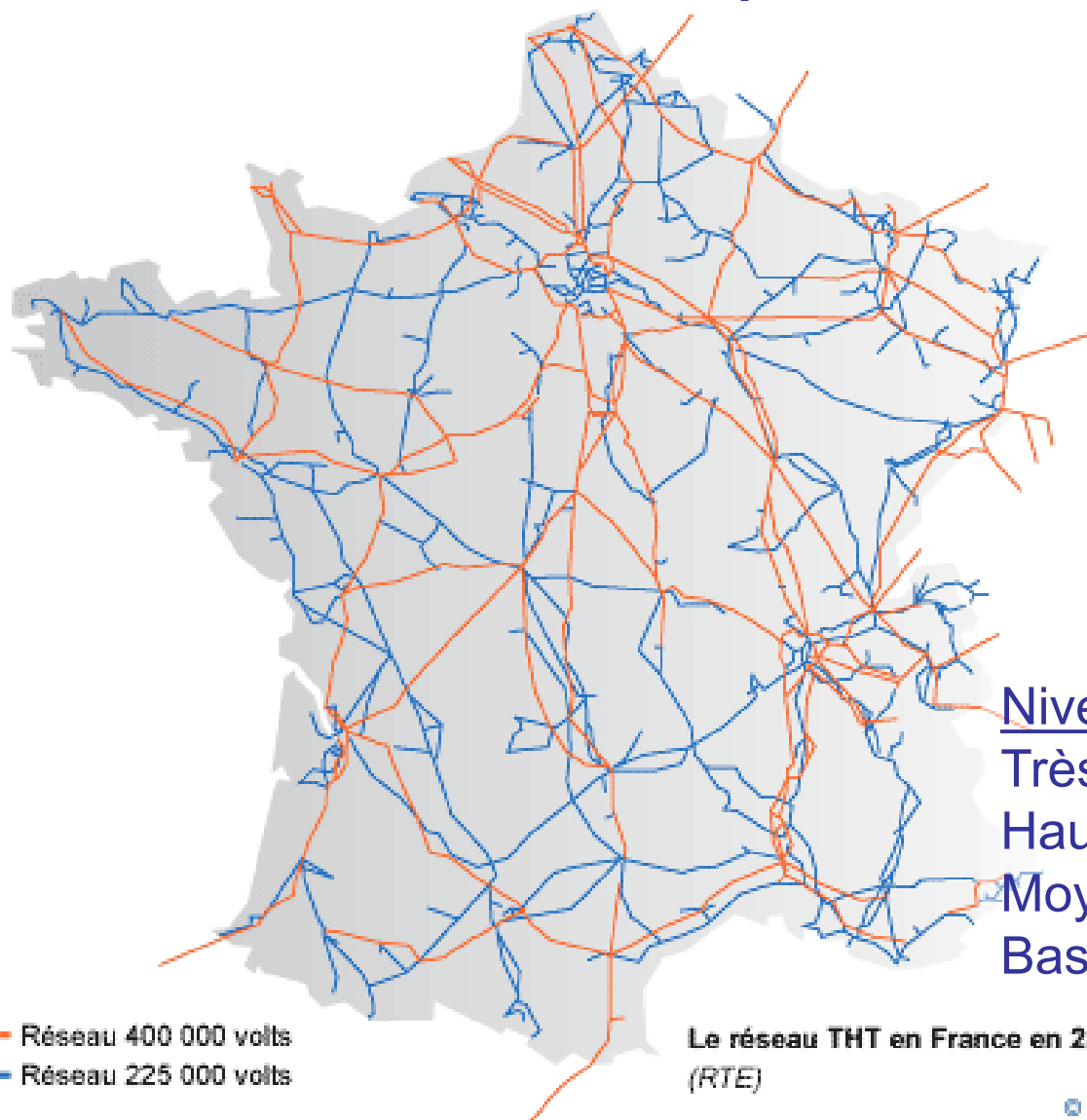
Chaîne éolienne ou hydraulique de production d'électricité



Chaîne solaire photovoltaïque de production de l'électricité

Transport de l'électricité en France

- 100 000 km de lignes à haute et très haute tensions (63 à 400 kV)
- 1,3 million de km à basse et moyenne tensions (240V à 20kV)



Le réseau THT en France en 2011
(RTE)



Niveaux de tensions des lignes :
Très Haute Tension 400 kV, 225 kV
Haute Tension 90 kV, 63 kV
Moyenne Tension 20 kV
Basse Tension 400, 230 V

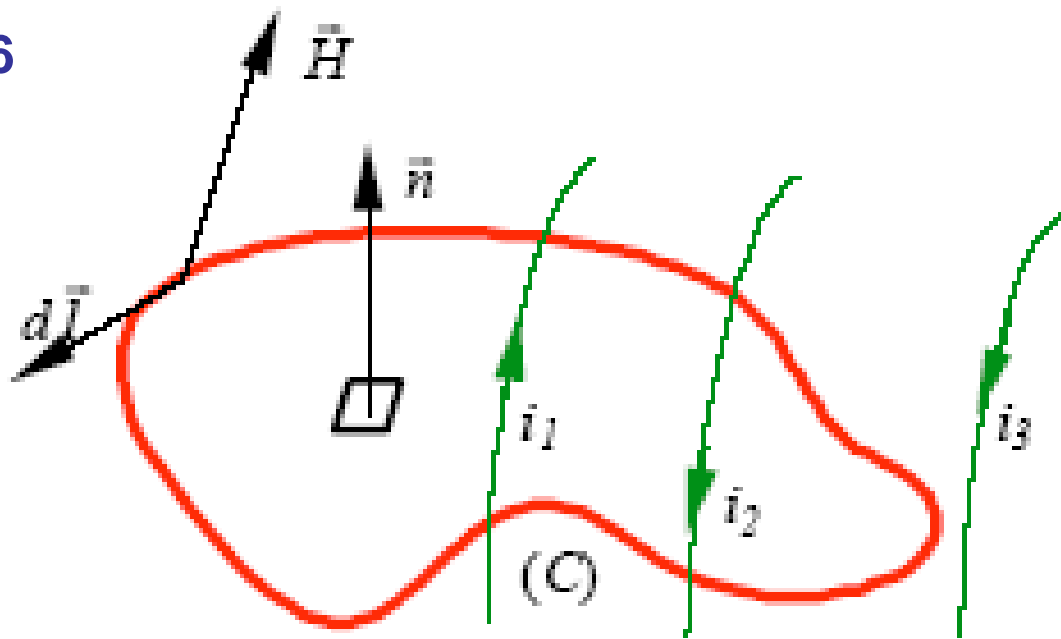
Lois fondamentales de l'électromagnétisme



André-Marie
Ampère
1775 - 1836

Théorème d'Ampère

(lien du champ d'excitation au courant électrique)



$$\begin{aligned}\alpha_1 &= +1, \\ \alpha_2 &= -1, \\ \alpha_3 &= 0\end{aligned}$$

Repérage des courants

$\sum_j \alpha_j i_j$ est appelée force magnétomotrice

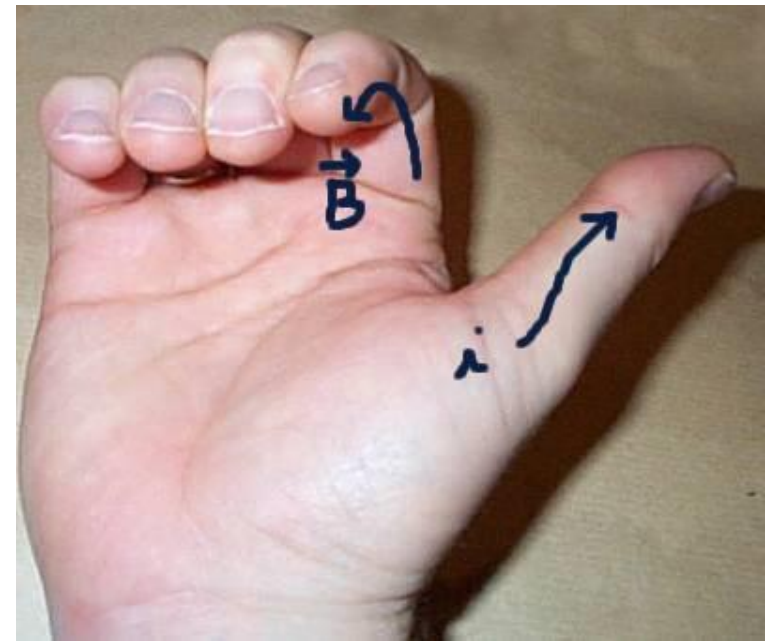
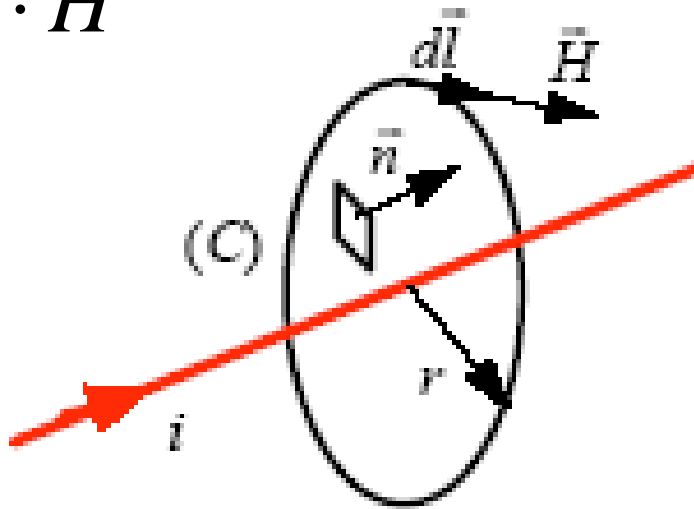
$$\oint_{(C)} \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum_j \alpha_j i_j \quad \begin{cases} \alpha_j = +1 \text{ si le courant } i_j \text{ est dans le sens de la normale } \vec{n}. \\ \alpha_j = -1 \text{ si le courant } i_j \text{ est dans le sens contraire de la normale } \vec{n}. \\ \alpha_j = 0 \text{ si la surface } s' \text{ est pas traversée par le courant } i_j. \end{cases}$$

La circulation du vecteur champ d'excitation magnétique le long d'un contour fermé (C) orienté par sa normale (règle du tire-bouchon) est la somme algébrique des courants traversant la surface s'appuyant sur le contour (C).

Application :

Champ créé par un conducteur de longueur infinie

$$\vec{B} = \mu_0 \cdot \vec{H}$$

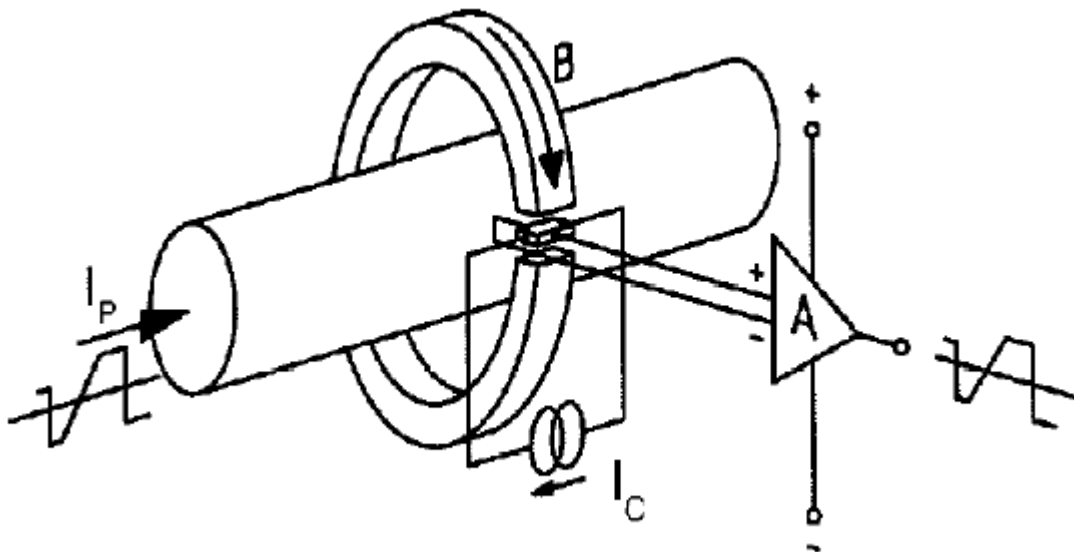


Effet magnétique d'un conducteur

$$\oint_{(C)} \vec{H} \cdot d\vec{l} = \oint_{(C)} H dl = H \oint_{(C)} dl = 2\pi r H$$

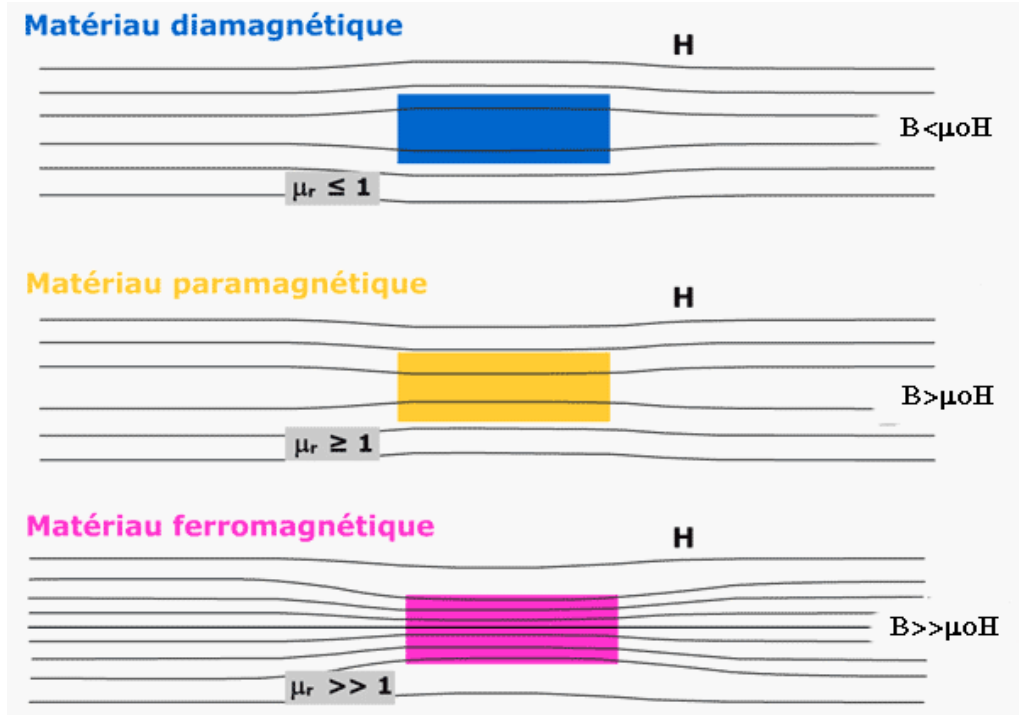
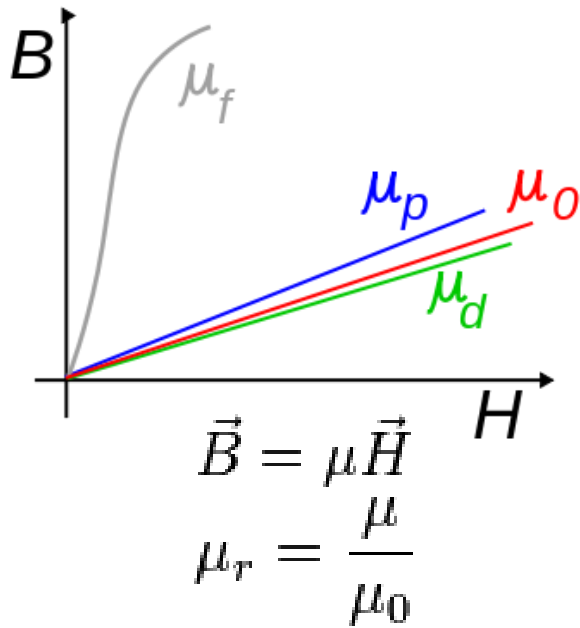
théorème d'Ampère $\longrightarrow \vec{H} = \frac{i}{2\pi r} \vec{u}$

l'unité de H : ampère par mètre



Mesure de courant par effet Hall

Matériaux et champs magnétiques



Matériaux :

- ferromagnétique (μ_f) : cobalt ($\mu_r=250$), fer ($\mu_r=5000$), mu-métal ($\mu_r=20000$), nickel ($\mu_r=600$)...
- paramagnétique (μ_p) : air ($\mu_r=1,00000037$), aluminium ($\mu_r=1,000022$), magnésium ($\mu_r=1,000012$), platine ($\mu_r=1,000265$)...
- vide (μ_0)
- diamagnétique (μ_d) : argent ($\mu_r=0,99998$), cuivre ($\mu_r=0.999994$), eau ($\mu_r=0,999992$), or, plomb, zinc, supraconducteur ($\mu_r=0$)...

Analogie circuits électriques – circuits magnétiques

Circuits électriques	Circuits magnétiques
Intensité du courant électrique I	Flux du champ magnétique dans le circuit φ
Résistance R	Réductance \mathcal{R}
Conductivité σ	Perméabilité μ
Force électromotrice E	Force magnétomotrice \mathcal{F} ou $\sum nI$
Loi d'Ohm $E = R \cdot I$	Loi d'Hopkinson $\mathcal{F} = \mathcal{R} \cdot \varphi$

Densité de courant $J = I/S$

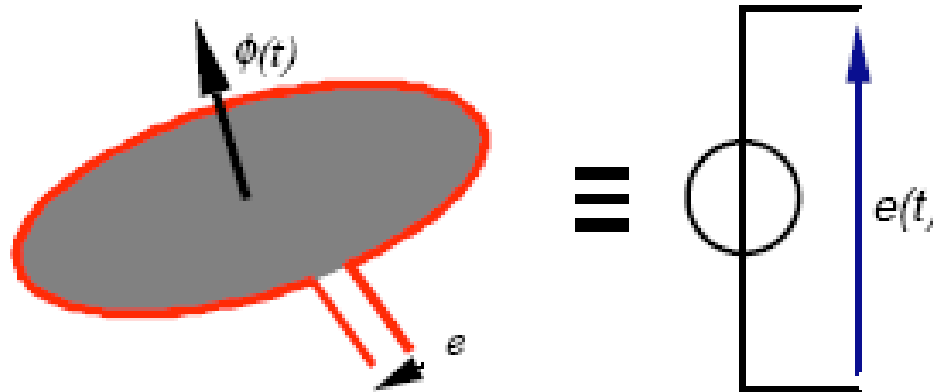
Induction $B = \varphi/S$



**Heinrich Friedrich
Emil Lenz**
1804 - 1865

Loi de Lenz - Faraday

(lien du flux magnétique à la tension)



Michael Faraday
1791 - 1867

Une spire ouverte baignée par le flux $\phi(t)$ voit apparaître à ses bornes une force électromotrice (fem) s'exprimant en convention générateur par :

$$e(t) = - \frac{d\phi(t)}{dt}$$

Le signe négatif qui apparaît dans l'expression s'explique avec la loi de Lenz.

Remarque essentielle :

Une fem induite ne peut apparaître que si le flux est variable dans le temps.

Exemple :

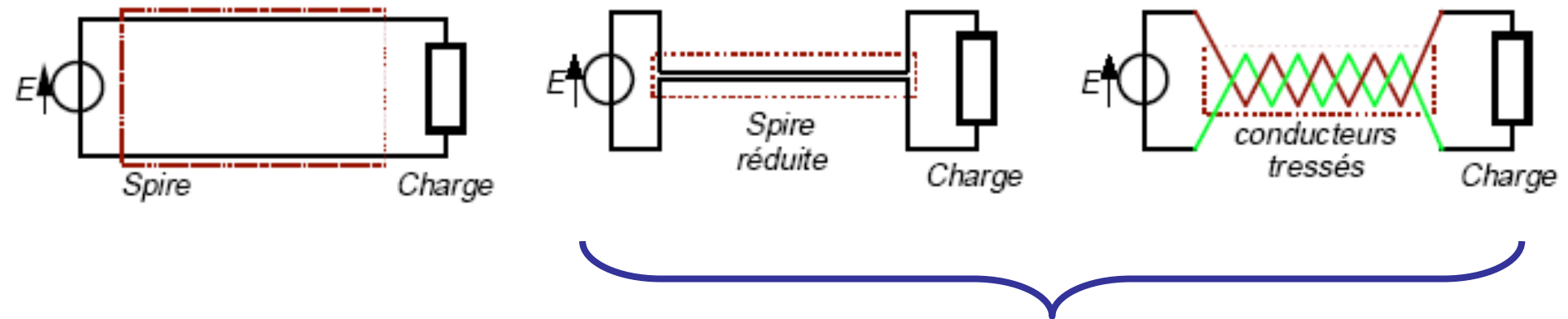
Une spire plane de surface S baigne dans un flux constant et uniforme ϕ . Si l'induction B et la normale à la surface sont inclinées d'un angle variable $\alpha(t)$, la fem est :

$$e(t) = - \frac{d(B \cdot S \cdot \cos(\alpha(t)))}{dt} = \omega \cdot B \cdot S \cdot \sin(\alpha(t))$$



Conséquences technologiques

Une boucle quelconque dans un circuit électrique constitue une spire qui devient le siège d'une fem induite : les circuits sont perturbés



Réduction des fem induites

Loi de Lenz

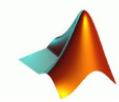
Le courant induit, par ses effets, s'oppose à la cause qui lui a donné naissance.

Autre formulation

Le courant induit circule de manière à produire un champ magnétique induit dont l'effet est de contrer la variation de flux du champ extérieur qui produit ce courant.

Observations :

- La loi de Lenz permet de trouver le sens du courant induit.
- Pour un circuit ouvert, la loi de Lenz permet aussi de trouver le sens de la fém « e » (le potentiel le plus fort sera sur la borne où sortira le courant induit : convention générateur).



Courants de Foucault



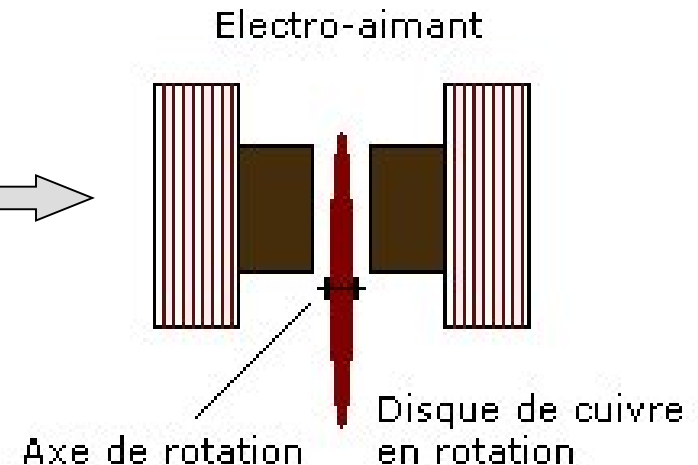
Jean Bernard Léon
Foucault 1819 - 1868

Toute variation de flux magnétique traversant une masse métallique produit des courants de Foucault.



Applications :

- Le four ou plaque à induction : pièce métallique dans un champ magnétique variant à fréquence élevée.
- Le freinage des camions : disque de cuivre en rotation dans un champ magnétique constant.



Désavantages :

- Echauffement dans les transformateurs.
- Pertes d'énergie dans les installations électriques.



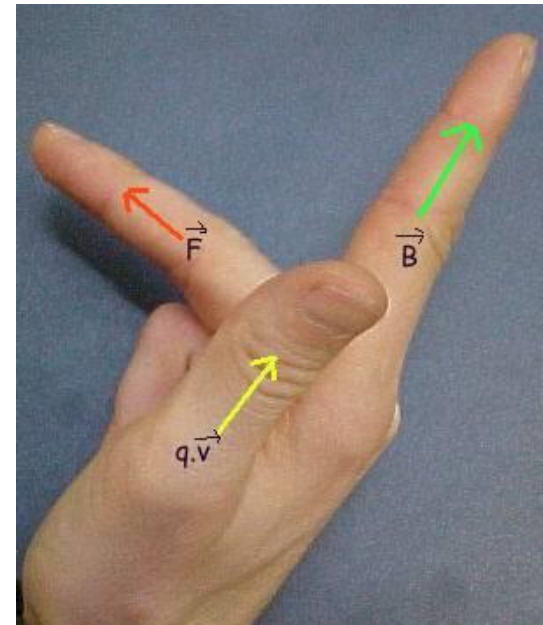
Loi de Lorenz

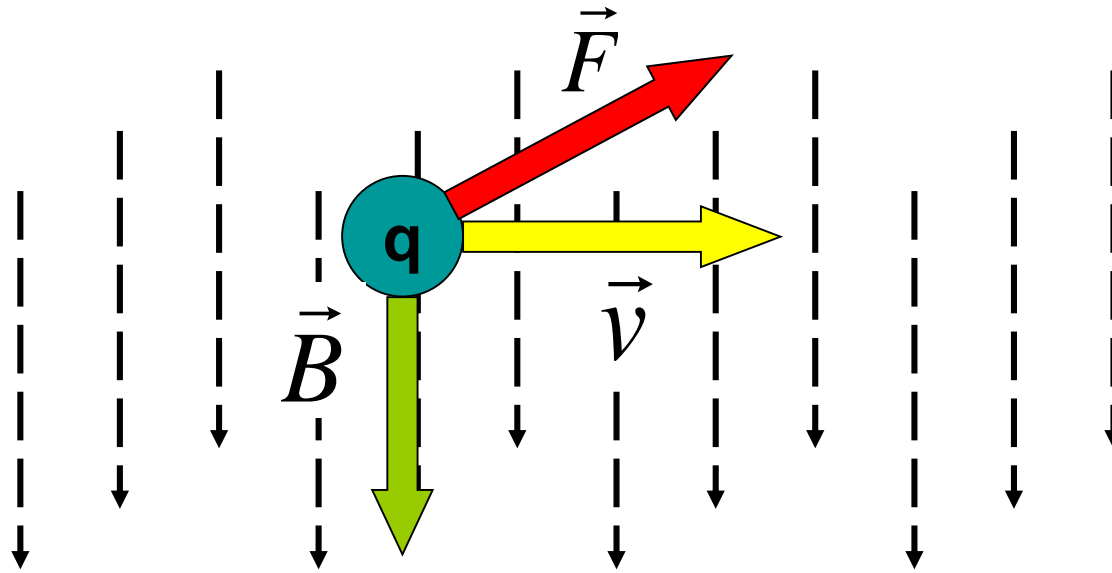
(lien induction–mouvement)

Ludwig Lorenz
1829 - 1891

La force \vec{F} s'exerçant sur une charge électrique q se déplaçant à la vitesse \vec{v} dans un champ d'induction magnétique \vec{B} s'exprime par :

$$\vec{F} = q(\vec{v} \wedge \vec{B})$$



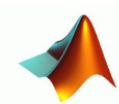


Charge électrique positive

Remarque :

La force de Lorentz ne se manifeste que si les charges sont en mouvement

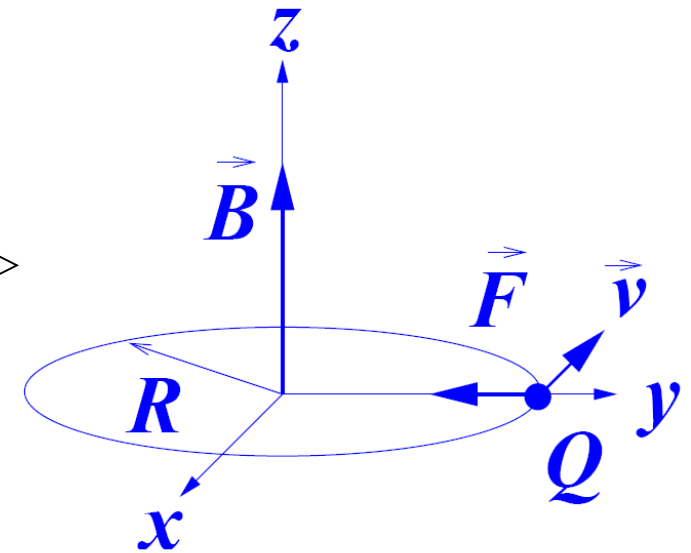
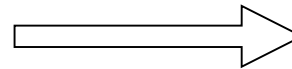
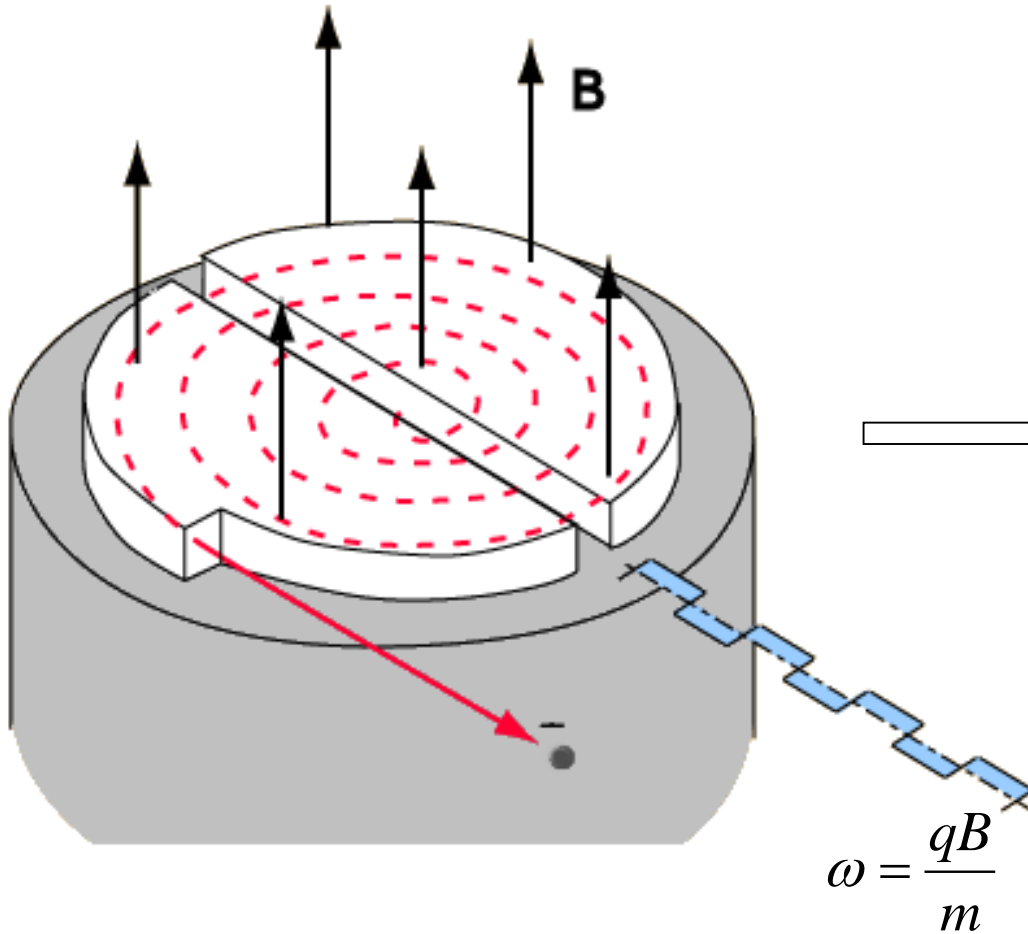
La vitesse reste constante, car la force magnétique ne travaille pas (perpendiculaire sur la vitesse).



Application : le cyclotron



Cyclotron du laboratoire Berkeley



Accélération d'une particule négative



Loi de Laplace

(lien induction–courant)

Un élément de circuit $d\vec{l}$ placé dans un champ d'induction magnétique \vec{B} , parcouru par un courant i , est soumis à une force :

$$d\vec{F} = i d\vec{l} \wedge \vec{B}$$

Cette relation est obtenue en exprimant la charge dq dans l'élément de conducteur.



Bibliographie:

Marcel JUFER : Circuits magnétiques

Références : Techniques de l'ingénieur

Dossier : D1050

Bases documentaires : Convertisseurs et machines électriques