Matériau ferromagnétique

- Relations entre champ et induction : $\vec{B} = \mu_0(1+\chi)\vec{H} = \mu_0\mu_r\vec{H} = \mu\vec{H}$

- μ_0 : **perméabilité magnétique** du vide.
- χ est la **susceptibilité magnétique**
- μ est la **perméabilité absolue** ; μ_r la **perméabilité relative** du matériau

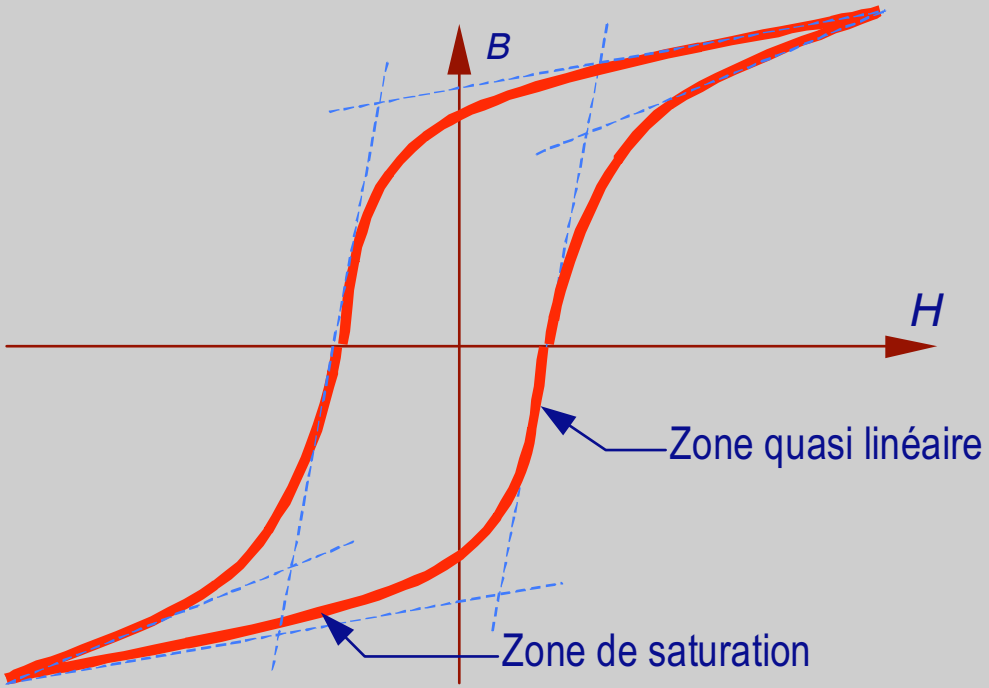
- **Comportements** et **grandeurs non linéaires**
- Pour rendre les études plus aisées :

linéariser la caractéristique *B = f(H)* du matériau

WWW.DZ-EN.COM | قسم الجزائر

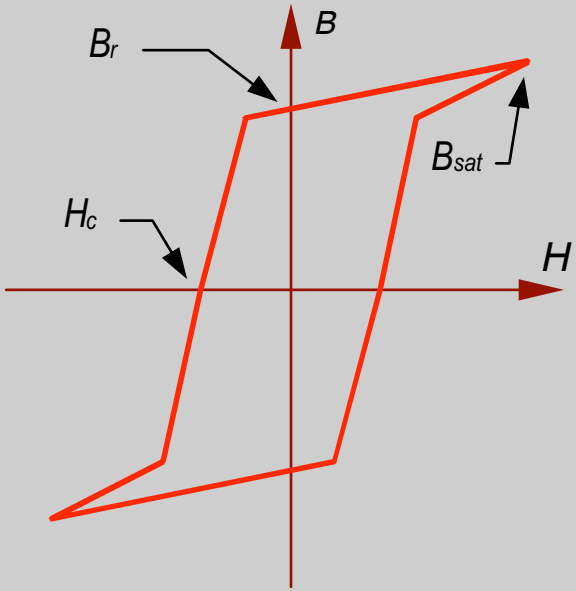
Courbe réelle des matériaux ferromagnétiques

- Une **zone saturée**
- Une **zone quasi-linéaire**



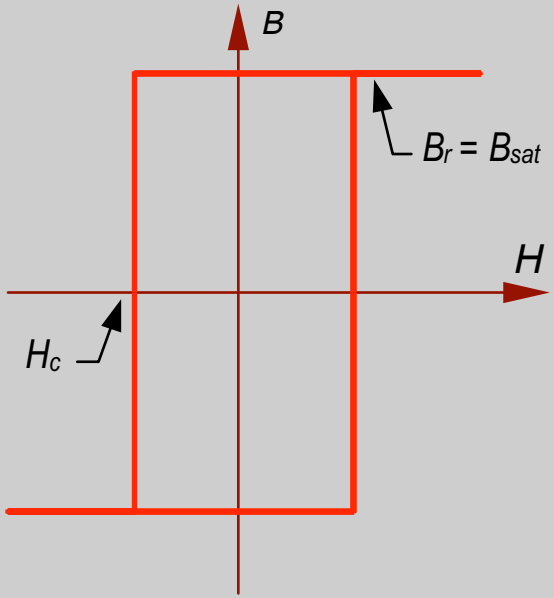
WWW.DZ-LN.COM | قلم الجزائر

Premier groupe de linéarisations



On conserve :

- l'induction rémanente B_r
- le champ coercitif H_c
- l'induction de saturation B_{sat}.

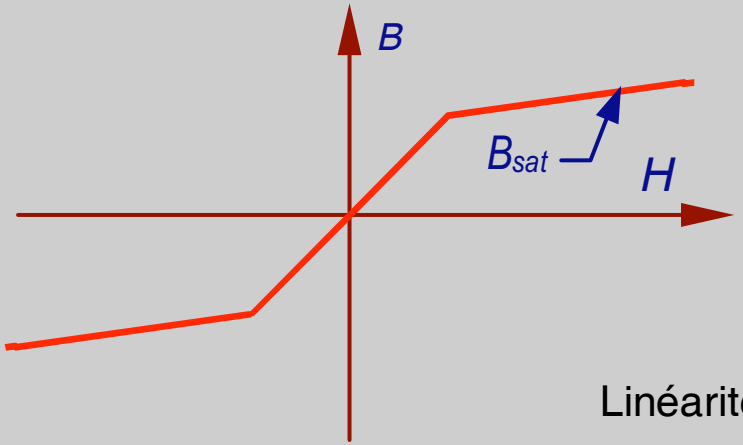


On conserve :

- l'induction rémanente B_r et l'induction de saturation B_{sat} (identification)
- le champ coercitif H_c

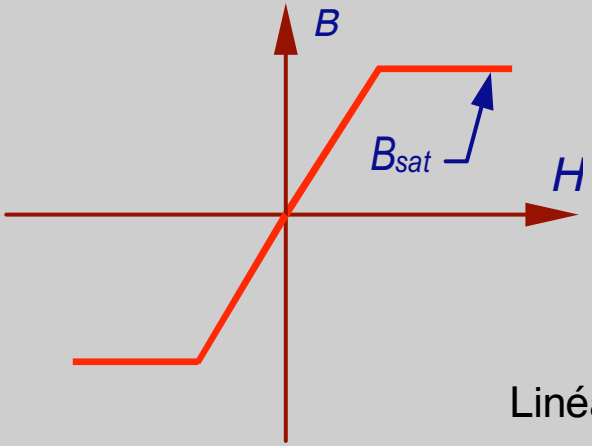
WWW.DZ-EN.COM | قسم الجزائر

Second groupe de linéarisations



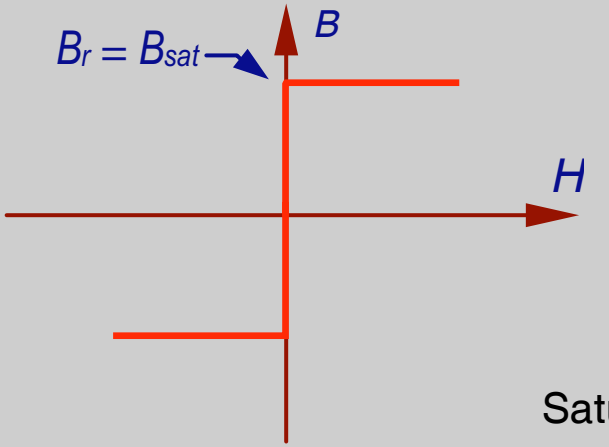
Linéarité

et saturation (1)

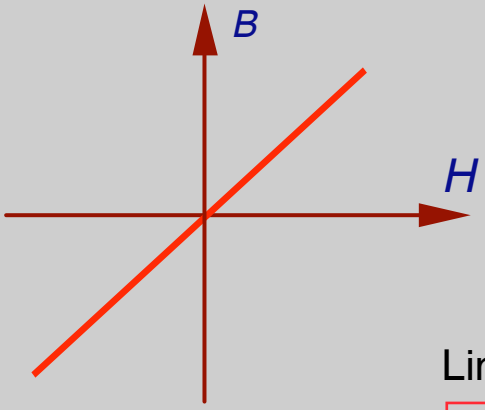


Linéarité

et saturation (2)



Saturation

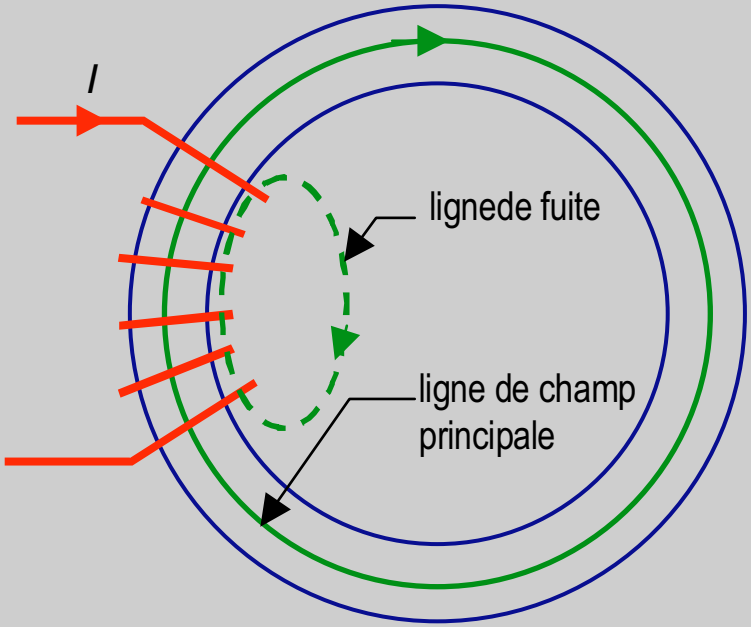


Linéarité totale

$$B = \mu_0 \mu_r H$$

WWW.DZ-EN.COM | قسم الجزائر

Circuits magnétiques parfaits : lignes de fuite



- **Champ d'excitation** créé par un bobinage parcouru par un courant *i* (théorème d'Ampère).
- Pour des raisons de réalisation : un **intervalle** existe **entre le bobinage** et le **circuit magnétique**.
- Le champ d'induction y existe mais **pas dans le fer du circuit magnétique** mais l'air de l'interstice.
- Les **fuites induisent des pertes** : ampères-tours qui ne créent pas d'induction dans l'entrefer de destination.

Dans un circuit magnétique parfait, on considère que les fuites sont nulles

WWW.DZ-PLN.COM | قلم الجزائر

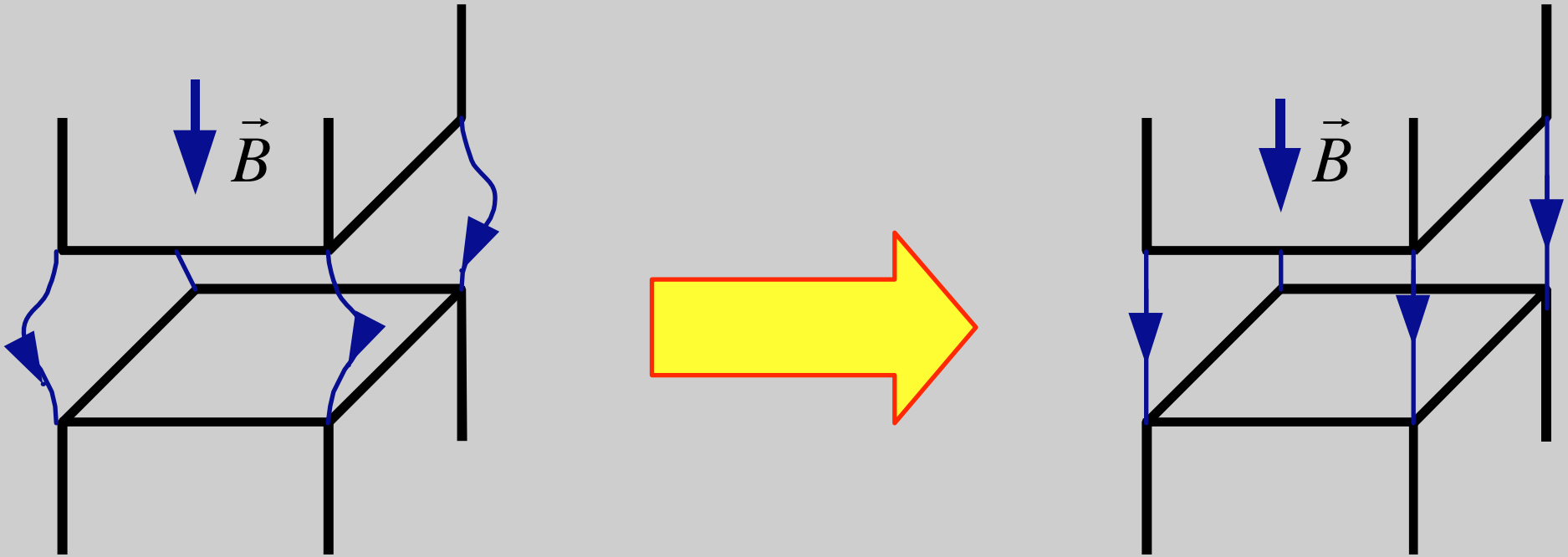
L'induction magnétique est :

- **uniforme**,
- **constante**,
- **orthogonale à chaque section droite** du circuit magnétique

$$\left.\begin{array}{l}\Phi = \oiint_{(S)} \vec{B}.\vec{n}\,dS \\ or\ \vec{B}.\vec{n} = B\end{array}\right\} \text{donc avec } B \text{ uniforme} : \Phi = B\iint dS = B.S$$

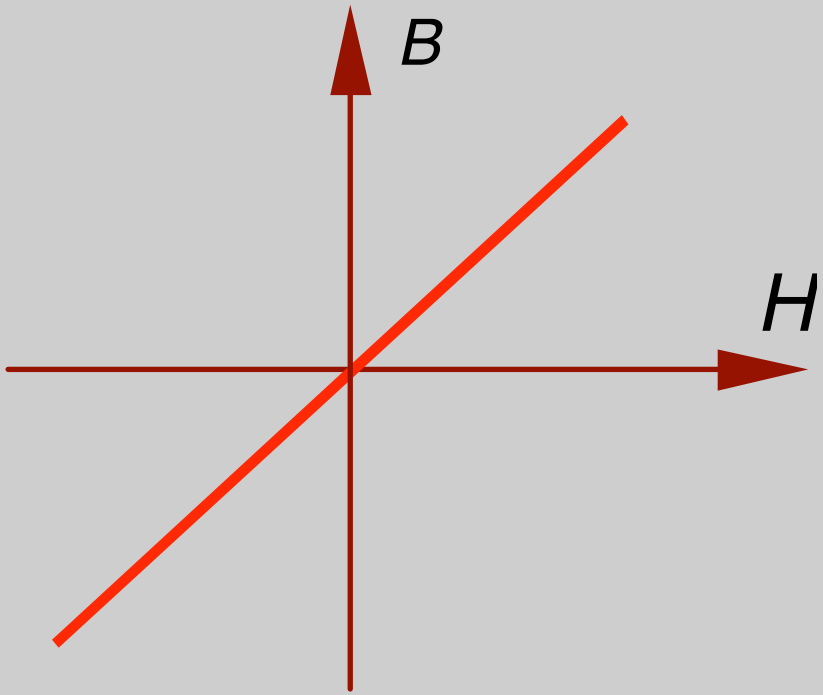
WWW.DZ-LN.COM | قلم الجزائر

Circuits magnétiques parfaits : dans l'entrefer…



- **Même section** de **l'entrefer** et du **circuit magnétique**.
- C'est une autre manière de considérer que les fuites sont nulles au niveau de l'entrefer.

WWW.DZ-EN.COM | قلم الجزائر

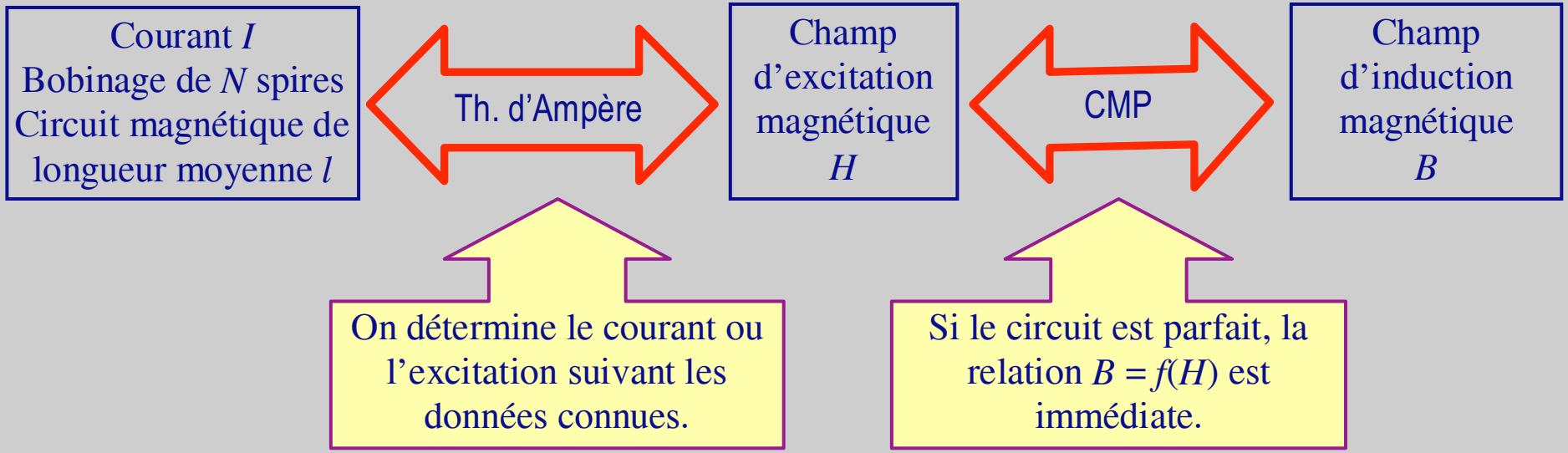


- Le matériau est totalement linéaire,
- La perméabilité relative est constante
- Induction et champ sont proportionnels

$$B = \mu_0 \mu_r H$$

WWW.DZ-LN.COM | قلم الجزائر

Circuits magnétiques parfaits : conclusion



WWW.DZ-LN.COM | قلم الجزائر

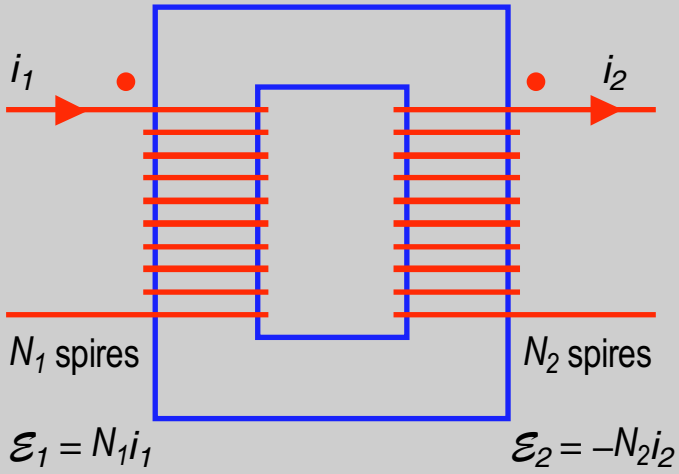
Force magnétomotrice (fmm)

- Bobinage de N_k spires parcourues par un courant i_k créé la force magnétomotrice $N_k.i_k$.
- Si plusieurs bobinages coexistent, les forces magnétomotrices se superposent :

$$\mathcal{E} = \sum_k \alpha_k N_k i_k$$

- Le coefficient α_k traduit le sens de la fmm.
- Il est obtenu en appliquant la règle des **points homologues** :

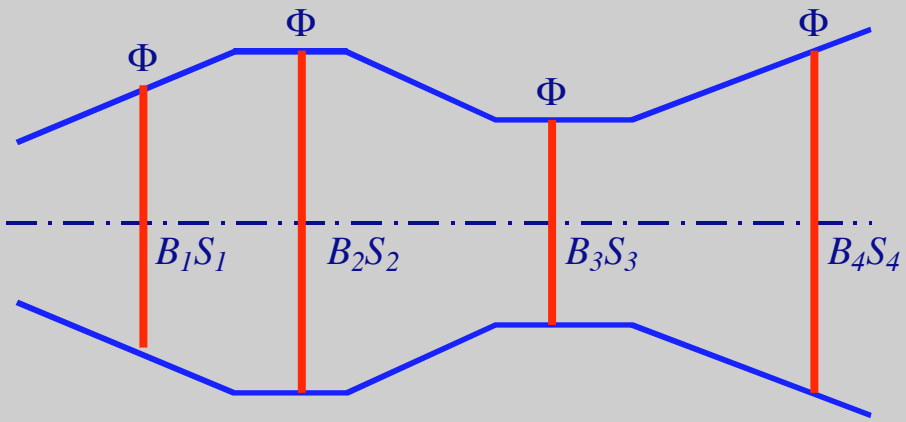
Des courants entrants par les points homologues de différents bobinages placés sur un circuit magnétique créent des forces magnétomotrices qui s'ajoutent.



WWW.DZ-EN.COM | قسم الجزائر

Ecriture du flux dans le circuit magnétique

- Le circuit magnétique est un tube de champ si les fuites sont nulles.
- Dans un tube de champ, le flux est conservatif.
- Il traverse les différentes portions du circuit magnétique dont les caractéristiques dépendent de la géométrie (longueur, section).



$$\Phi = B_1.S_1 = \ldots = B_i.S_i$$

WWW.DZ-EN.COM | قسم الجزائر

Application du théorème d'Ampère sur un contour identique à la ligne de champ moyenne

- Théorème d 'Ampère : $\mathcal{E} = \sum_k \alpha_k N_k i_k = \oint_{(C)} H.dl = \sum_i H_i l_i$

- Ecriture du champ d 'excitation : $H_i = \frac{B_i}{\mu_0 \mu_{ri}} = \frac{1}{\mu_0 \mu_{ri}} \frac{\Phi}{S_i}$

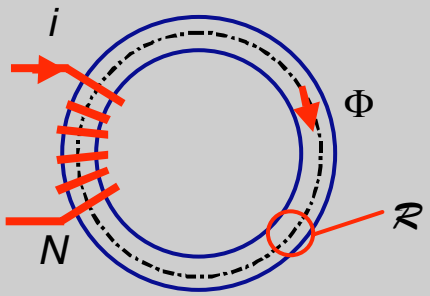
- En combinant : $\sum_k \alpha_k N_k i_k = \left(\sum_i \frac{1}{\mu_0 \mu_{ri}} \frac{l_i}{S_i} \right) \Phi$ on définit $\mathcal{R}_i = \frac{1}{\mu_0 \mu_{ri}} \frac{l_i}{S_i}$

  La réluctance magnétique

- **Relation d'Hopkinson** : $\sum_k (\pm) \mathcal{E}_k = \left(\sum_i \mathcal{R}_i \right) \Phi$ $\quad \mathcal{R}_i = \frac{1}{\mu_0 \mu_{ri}} \frac{l_i}{S_i}$

WWW.DZ-EN.COM | قسم الجزائر

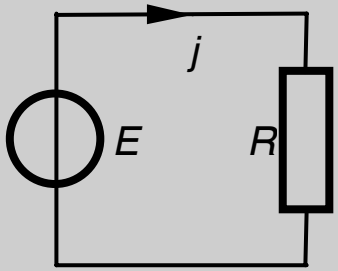
Analogie électrique



$\mathcal{E} \leftrightarrow E$

$\mathcal{R} \leftrightarrow R$

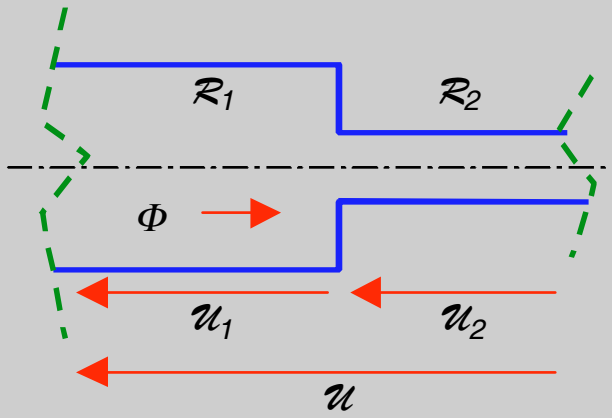
$\Phi \leftrightarrow j$



Grandeurs magnétiques	Grandeurs électriques
force magnétomotrice : $\mathcal{E} = NI$ en A/m ou A.tr/m	**force électromotrice** : E en Volts (V)
flux d'induction : Φ en Webers (Wb)	**Courant électrique** : i en Ampères (A)
Réluctance : $\mathcal{R} = \frac{1}{\mu_0 \mu_r} \frac{l}{S}$	**Résistance** : $R = \rho \frac{l}{S}$
ddp magnétique : $\mathcal{U} = \mathcal{R}\Phi$	**ddp électrique** : $U = R.I$
maille magnétique : $\sum_{maille} \mathcal{U}_m = 0$	**Maille électrique** : $\sum_{maille} U_m = 0$
nœud magnétique : $\sum_{noeud} \Phi_n = 0$	**nœud électrique** : $\sum_{noeud} I_n = 0$

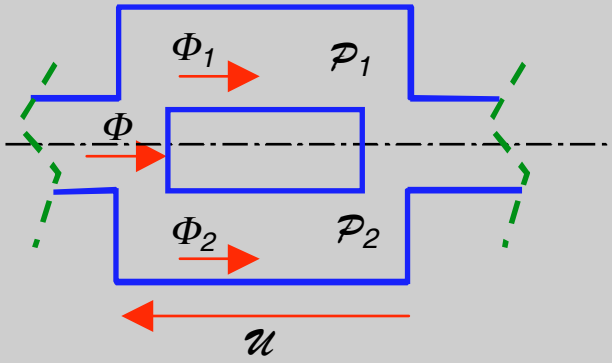
WWW.DZ-EN.COM | قلم الجزائر

Association série de réluctances



$$\mathcal{R} = \sum_i \mathcal{R}_i$$

Association parallèle de réluctances



$$\mathcal{P} = \sum_i \mathcal{P}_i$$

WWW.DZ-LN.COM | قلم الجزائر