

**iutenligne**

Le catalogue de ressources  
de l'enseignement technologique  
universitaire.



# Théorème d'Ampère

Hugues Ott

Maître de Conférences à l'IUT Robert Schuman  
Université de Strasbourg Département Chimie

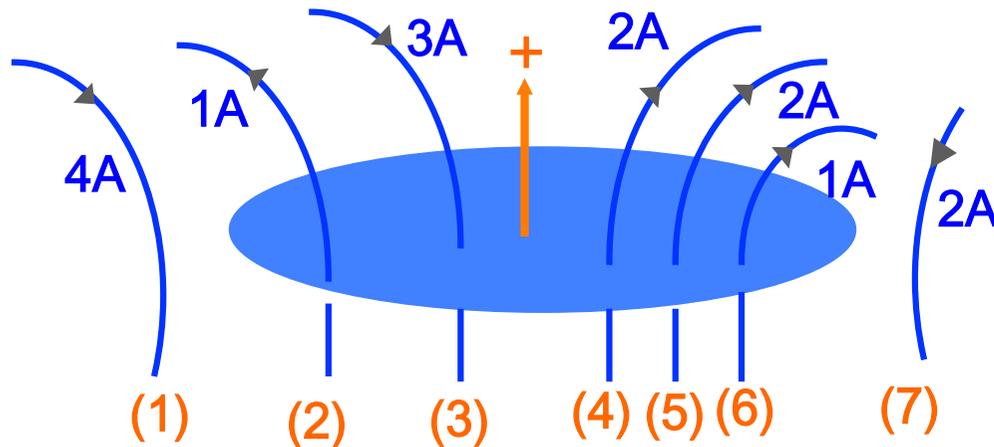
# Théorème d'Ampère

La circulation du vecteur induction magnétique le long d'une courbe fermée (de forme arbitraire)

**est égale**

à la somme algébrique des intensités parcourant les conducteurs embrassés par le contour.

$$\oint_{(L)} \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \cdot \sum_{a \text{ lg}} I$$



$$I_{(2)} + I_{(3)} + I_{(4)} + I_{(5)} + I_{(6)}$$

↓	↓	↓	↓	↓
+1	-3	+2	+2	+1

3A

Le th. Ampère permet de déterminer le champ créé par éléments de courant

Le théorème d'Ampère est l'analogie du théorème de Gauss en électrostatique

# Vecteur moment magnétique

Le vecteur **moment magnétique** d'un circuit (C) est défini par

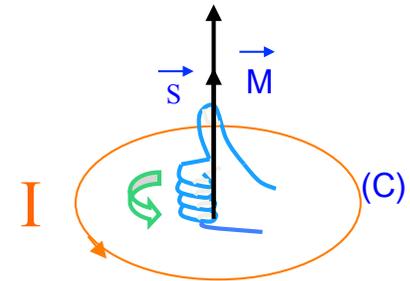
$$\vec{M} = I \cdot \vec{S}$$

**direction** normal au plan de la spire

**sens**

- donné par le sens du pouce de la main droite fermée dans le sens de I
- lié au sens du **courant** parcourant le circuit

**norme**  $M = I \cdot S$  S'exprime en  $A \cdot m^2$



Analogie électrostatique : le moment dipolaire

# Vecteur Aimantation

Le **vecteur aimantation** est défini comme le moment magnétique par unité de volume

$$M = I.S$$
$$\vec{A} = \frac{d\vec{M}}{dV}$$

$A.m^{-1}$

$A.m^2$

$m^3$

Il est équivalent à un courant par unité de longueur.

Il a la même dimension que le champ magnétique.

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} I \vec{dl} \wedge \frac{\vec{r}}{r^3}$$

$A$

$m^{-1}$

$A.m^{-1}$

Analogie électrostatique: le vecteur polarisation

# Vecteur excitation – Vecteur champ

Les phénomènes magnétiques dans **les milieux matériels** sont caractérisés par deux vecteurs :

- le vecteur excitation magnétique  $\vec{H}$
- le vecteur champ (ou induction) magnétique  $\vec{B}$

$$\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{A})$$

- Le vecteur  $\vec{H}$  est introduit pour des raisons de commodité
- Les vecteurs  $\vec{B}$  et  $\vec{H}$  sont des concepts abstraits qui facilitent le raisonnement

# Phénomènes d'aimantation

Un milieu magnétique placé dans un champ magnétique acquiert une aimantation  
Le vecteur aimantation est proportionnel au vecteur excitation magnétique

$$\vec{A} = \chi \cdot \vec{H}$$

$\chi$  susceptibilité magnétique  
constante caractéristique du milieu  
(sauf pour les milieux ferromagnétiques)

excitation magnétique

exprime la réponse d'un milieu à un champ magnétique extérieur

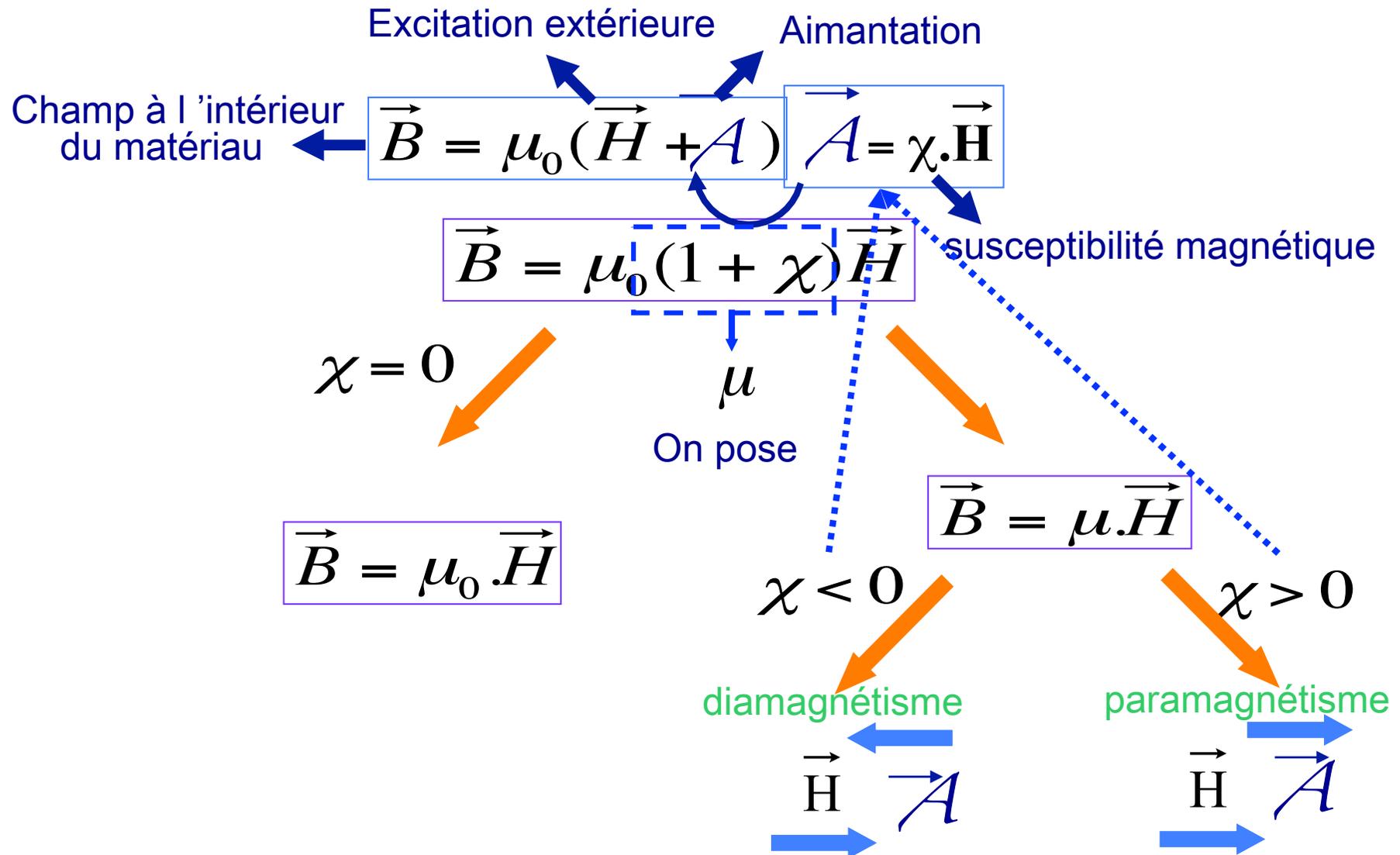
Deux effets dans l'aimantation de la matière par un champ magnétique extérieur

- Effet de distorsion du mouvement des électrons (force de Lorentz)
- Effet d'orientation des moments magnétiques permanents

paramagnétisme

diamagnétisme

# En résumé...



# Diamagnétisme

## Effet distorsion

Action un champ magnétique extérieur



les électrons subissent une force qui perturbe leur mouvement



l'effet est équivalent à un courant induit

$$\vec{M} = I \cdot \vec{S}$$

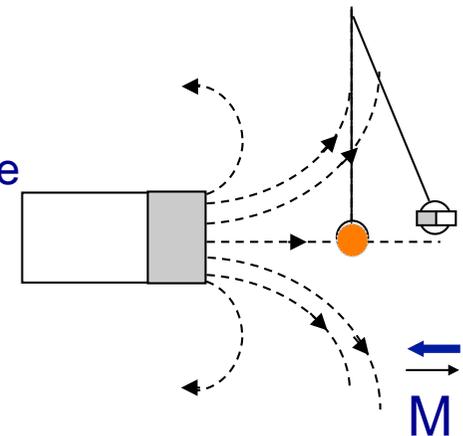
$$\vec{A} = \chi \cdot \vec{H} \quad \chi < 0$$

Le moment magnétique associé à ce courant

est orienté dans le sens opposé à celui du champ appliqué

La substance a acquis une aimantation opposée au champ magnétique

La substance est repoussée, déplacée vers les régions de plus faible intensité du champ magnétique



Cet effet est indépendant de l'orientation de l'atome et similaire pour tous les atomes

Ce comportement commun à toutes les substances est souvent masqué par les effets paramagnétiques

La température n'influe pas sur le diamagnétisme

# Paramagnétisme

## Effet d'orientation

Lorsque les niveaux électroniques des atomes ne sont pas complètement saturés

Les moments magnétiques des électrons ne se compensent pas

et l'atome peut posséder un moment magnétique permanent

La présence d'un champ magnétique extérieur

produit un couple

qui tend à aligner les moments magnétiques le long du champ

ce qui produit une aimantation additionnelle de même sens que le champ magnétique

Cette aimantation additionnelle est appelée paramagnétisme

Cet effet est bien plus fort que le diamagnétisme

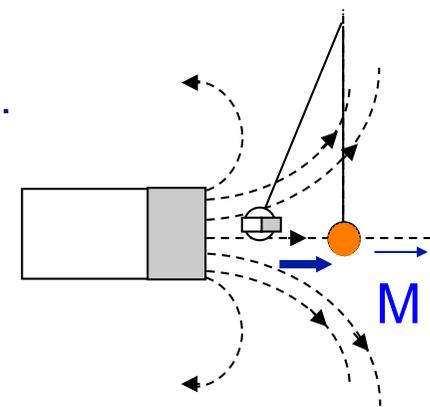
Les substances paramagnétiques possèdent un électron célibataire.

Le paramagnétisme dépend de la température

$$\text{loi de Curie - Weiss : } \chi = \frac{C}{T - \theta} \quad (C \text{ constante de Curie})$$

Cette orientation est contrariée par l'agitation thermique

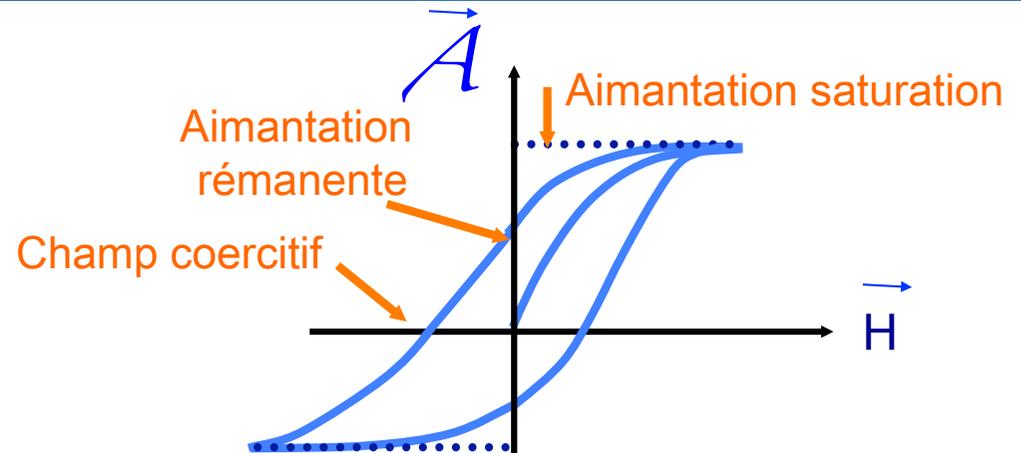
$$\vec{A} = \chi \cdot \vec{H} \quad \chi > 0$$



# Ferromagnétisme

$$\vec{A} = \chi \cdot \vec{H}$$

$\chi$  est une fonction de  $H$



Les substances ferromagnétiques

- peuvent acquérir une aimantation **importante** dans un champ **faible**
- conservent cette aimantation quand le champ **disparaît** (aimants permanents).

L'aimantation dépend des valeurs antérieures **phénomènes d'Hystérésis**

Les moments s'orientent **parallèlement** entre eux sous l'effet de leurs interactions mutuelles à l'intérieur de domaines dits **domaines de Weiss**

Lorsque la température **augmente**, l'agitation thermique **augmente**

Il s'établit un certain **désordre** tendant à **diminuer** l'aimantation.

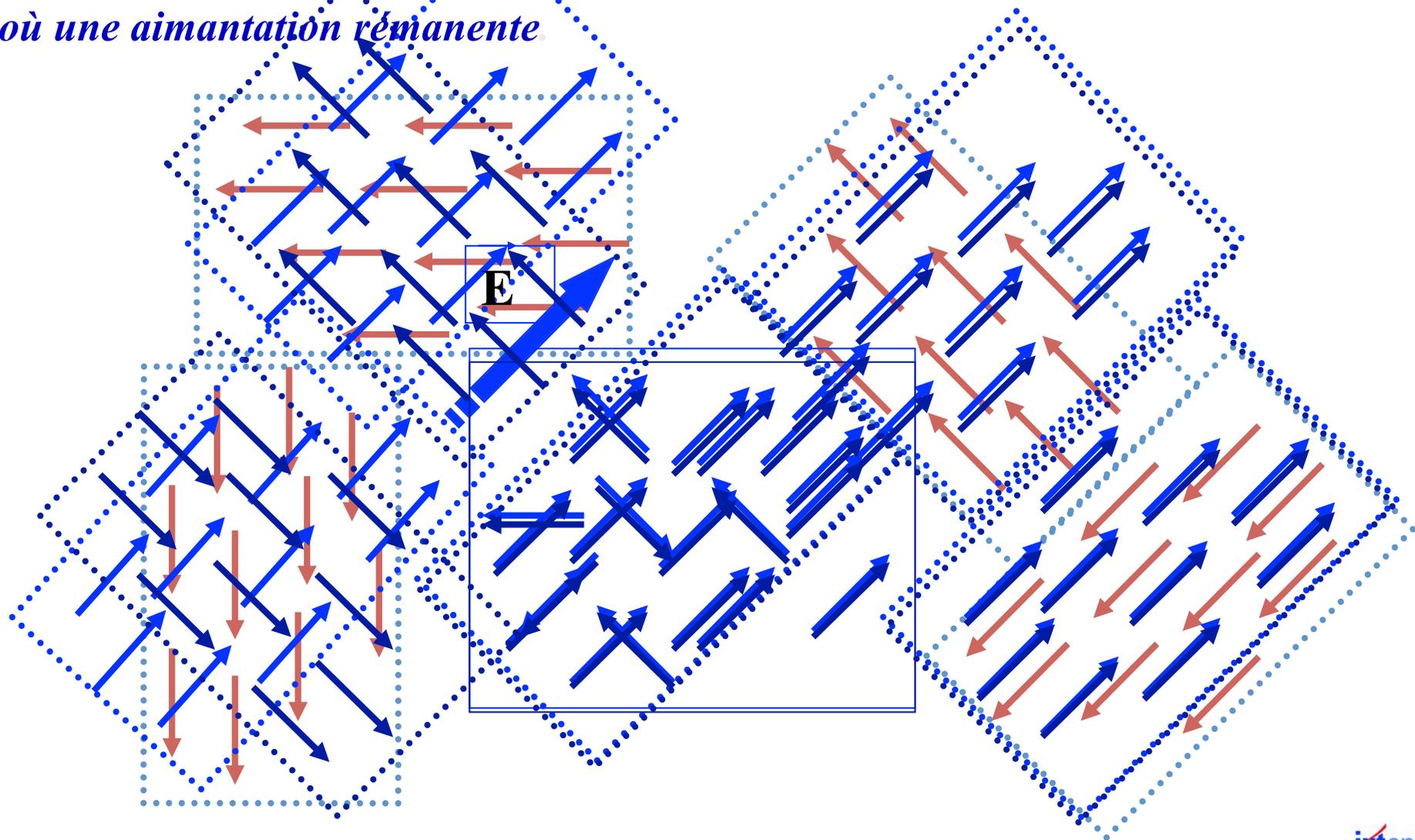
Lorsque la température atteint la valeur  $T_C$  température de **Curie**

l'aimantation disparaît en l'absence de champ.

Le matériau devient **paramagnétique**.

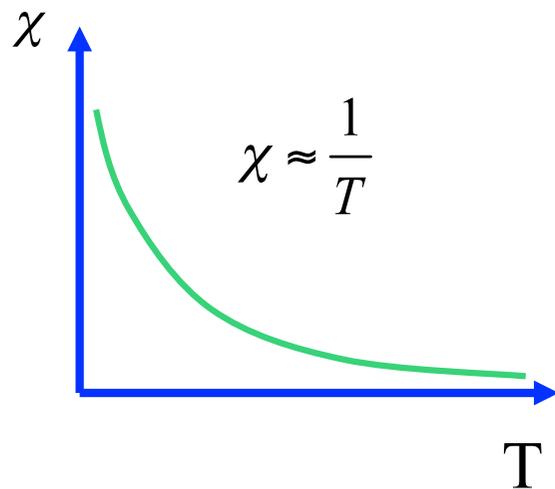
# Description microscopique d'un aimant

*Si on annule le champ extérieur, les moments magnétiques restent alignés dans quelques domaines de Weiss conservant la direction du champ d'où une aimantation rémanente.*

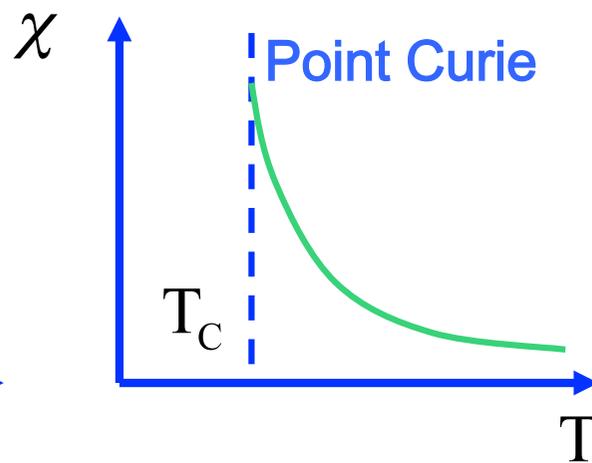


# Variation de la température

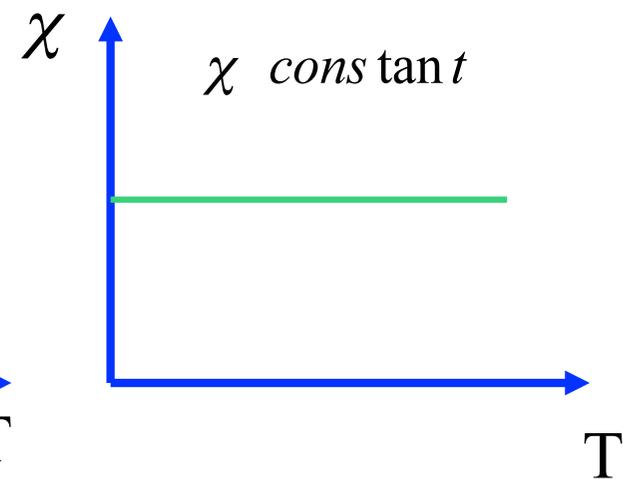
$$\chi \approx \frac{1}{T - T_C}$$



Paramagnétisme



Ferromagnétisme



Diamagnétisme

# Analogies électromagnétiques

Champ électrique	$\vec{E}$	$\longleftrightarrow$	$\vec{B}$	Champ magnétique	
Moment dipolaire	$\vec{p}$	$\longleftrightarrow$	$\vec{M}$	Moment magnétique	
Polarisation	$\vec{P}$	$\longleftrightarrow$	$\vec{A}$	Aimantation	
Dipôle dans	$\vec{E}$			Dipôle dans	$\vec{B}$

$$\boxed{\vec{M}^t = \vec{p} \wedge \vec{E}} \longleftrightarrow \boxed{\vec{M}^t = \vec{M} \wedge \vec{B}}$$

Un dipôle dans un champ est soumis à un couple de moment

Un aimant dans un champ est soumis à un couple de moment

L'aimant tourne jusqu'à ce qu'il soit **parallèle** au champ

Une spire parcourue par un courant se placera de façon à ce que sa normale soit parallèle au champ