

# EM 6 Mouvement des particules chargées dans les champs électromagnétiques

## Objectifs :

- Comprendre et modéliser l'action d'un champ électrique et d'un champ magnétique sur une particule chargée. [Electrodynamique]
- Introduire force de Lorentz

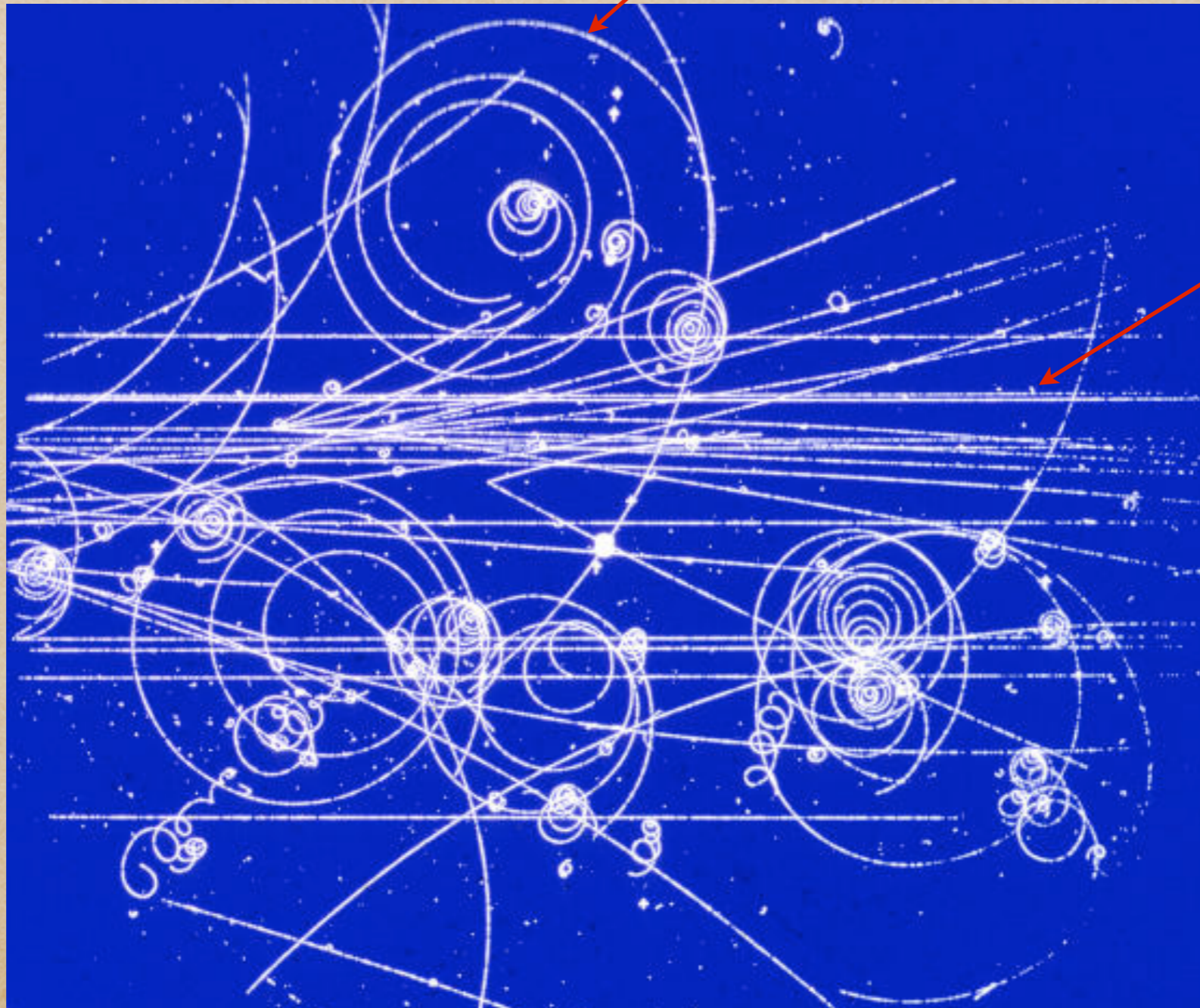


# Trajectoire dans une chambre à bulle :

Particule chargée  
négativement

$\vec{B} \odot$

$\vec{B} \odot$



Particule  
non  
chargée

$\vec{B} \odot$

$\vec{B} \odot$



# Le champ magnétique stationnaire

$\vec{B}(M)$

O2R

C'est un champ vectoriel produit par une distribution de courants.

Il se mesure en Tesla :  $T$

Rq : dans le système cgs on le mesurait en Gauss  $1 \text{ gauss} = 10^{-4} \text{ Tesla}$

ODG : Champ magnétique terrestre (< 1 gauss) :  $20 \mu T < B < 65 \mu T$

Aimants «naturels» :  $0.01 T < B < 0.1 T$

électro-Aimant [IRM - RMN] :  $1 T < B < 20 T$

Utilisent des supra-conducteurs  
dans l'Hélium liquide

Non permanents :  
nécessitent un courant très fort



# Le champ électrique stationnaire

$$\vec{E}(M)$$

O2R

C'est un champ vectoriel produit par une distribution de charges. Il se mesure en

Volt par mètre :  $Vm^{-1}$

Le champ dérive du potentiel :  $V(M)$  en Volt

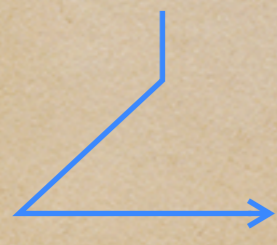
(Champ scalaire)

$$\vec{E}(M) = -\vec{\nabla}(V)$$

$$E_x = -\frac{dV}{dx}$$

Energie potentielle :

$$E_p(M) = qV(M)$$

 Force :

$$F_x = -\frac{dE_p}{dx} = -q\frac{dV}{dx} = qE_x$$



ODG des interactions électrostatique et gravitationnelle :

ODG du champ électrostatique terrestre :



---Intermezzo sur le produit vectoriel---



# I La force de Lorentz

## 1 - Expression dans un référentiel galiléen

Soit  $R_g$  un réf. gal. , une particule de charge  $q$  subit de la part d'un champ EM. une force donnée par :

$$\vec{F}_{Lorentz} = q \left[ \vec{E}(\vec{x}, t) + \vec{v} \Big|_{R_g} \wedge \vec{B}(\vec{x}, t) \right]$$

Changement de référentiel :

Tf° Galilée :



Les effets relativistes sont caractérisés par la fct.  $\gamma(v_e)$

Tf° Lorentz :

Approximation newtonienne :

Dans ce cadre :

Tf° Lorentz  $\Leftrightarrow$  Tf° Galilée

$$\vec{F}_R \simeq \vec{F}_{R'}$$



## 2 - Puissance de la force de Lorentz

Puissance :

La force magnétique ne travaille pas :  
elle intervient sur la dynamique en incurvant les trajectoires

Energie potentielle et mécanique :



### 3 - Application :

$\alpha$  - champ électrique uniforme :  $\vec{E} = E_0 \vec{e}_z$

On considère une particule de masse  $m$ , de charge  $-e$  (électron), plongée dans un champ électrique uniforme et lancée initialement avec une vitesse  $v_0$ , sous un angle  $\alpha$  dans un référentiel galiléen :

BDF :

PFD :



# Canon à électron & limite relativiste

$$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$m_{e^-} = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$m_p \simeq 1836 m_{e^-}$$



$\beta$  - champ magnétique uniforme :

$$\vec{B} = B_0 \vec{e}_z$$

NRJ :

Cas d'un mouvement circulaire :



$\beta$  - champ magnétique uniforme :  $\vec{B} = B_0 \vec{e}_z$

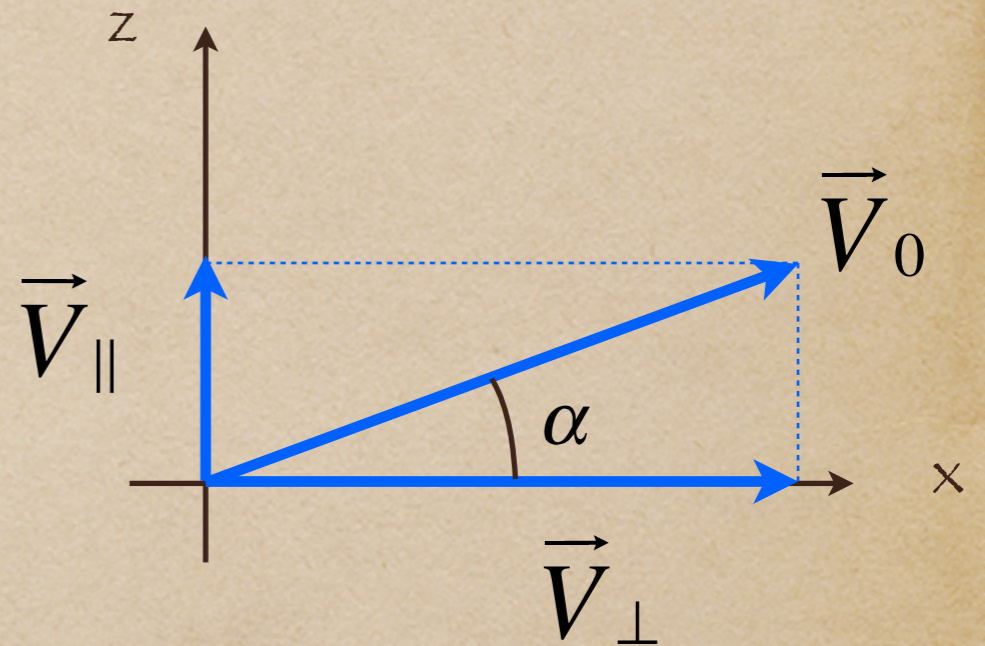
On considère une particule de masse  $m$ , de charge  $q$ , plongée dans un champ magnétique uniforme et lancée initialement avec une vitesse  $v_0$  dans un référentiel galiléen :

BDF :

Conditions initiales :

$E_m =$

PFD :

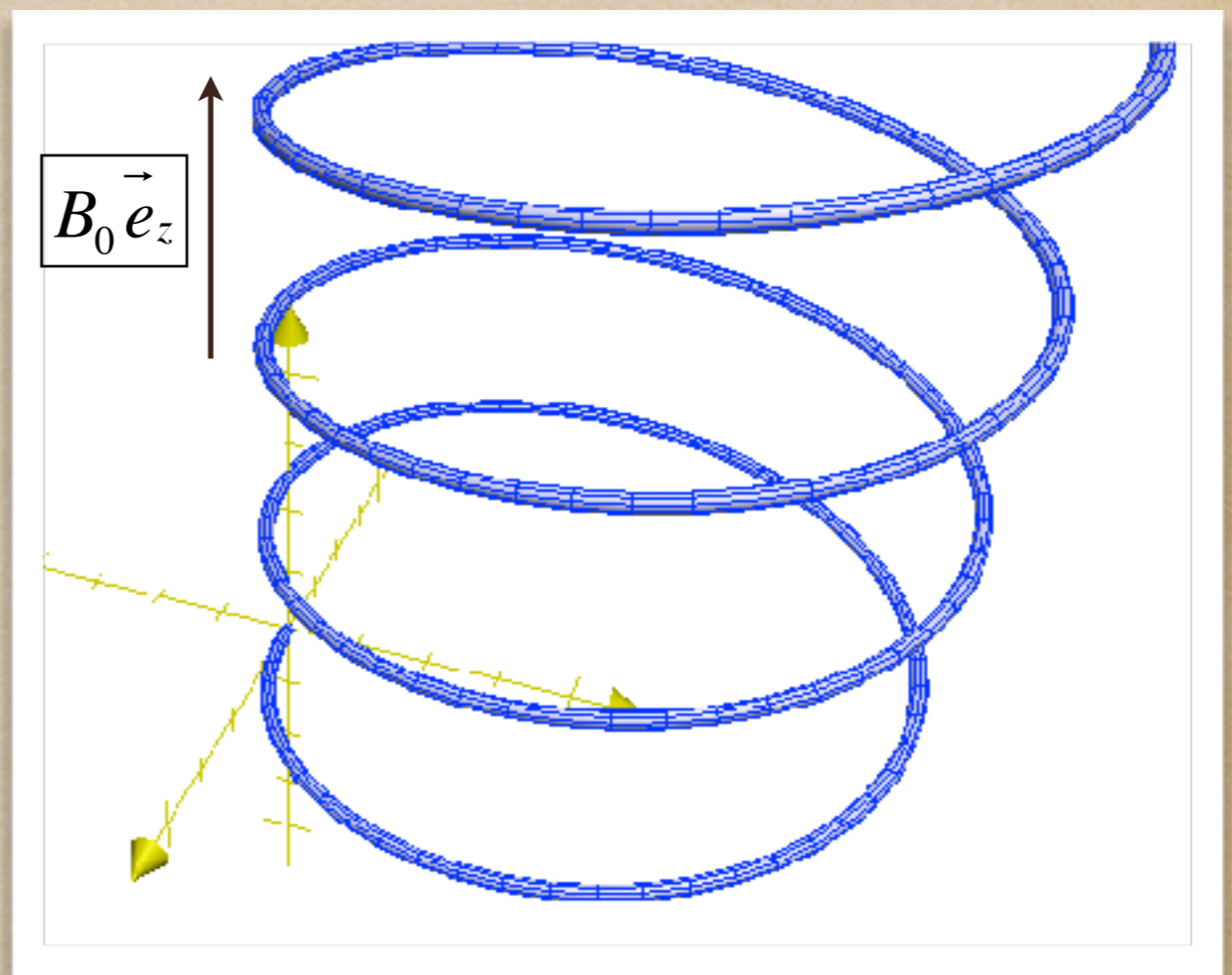
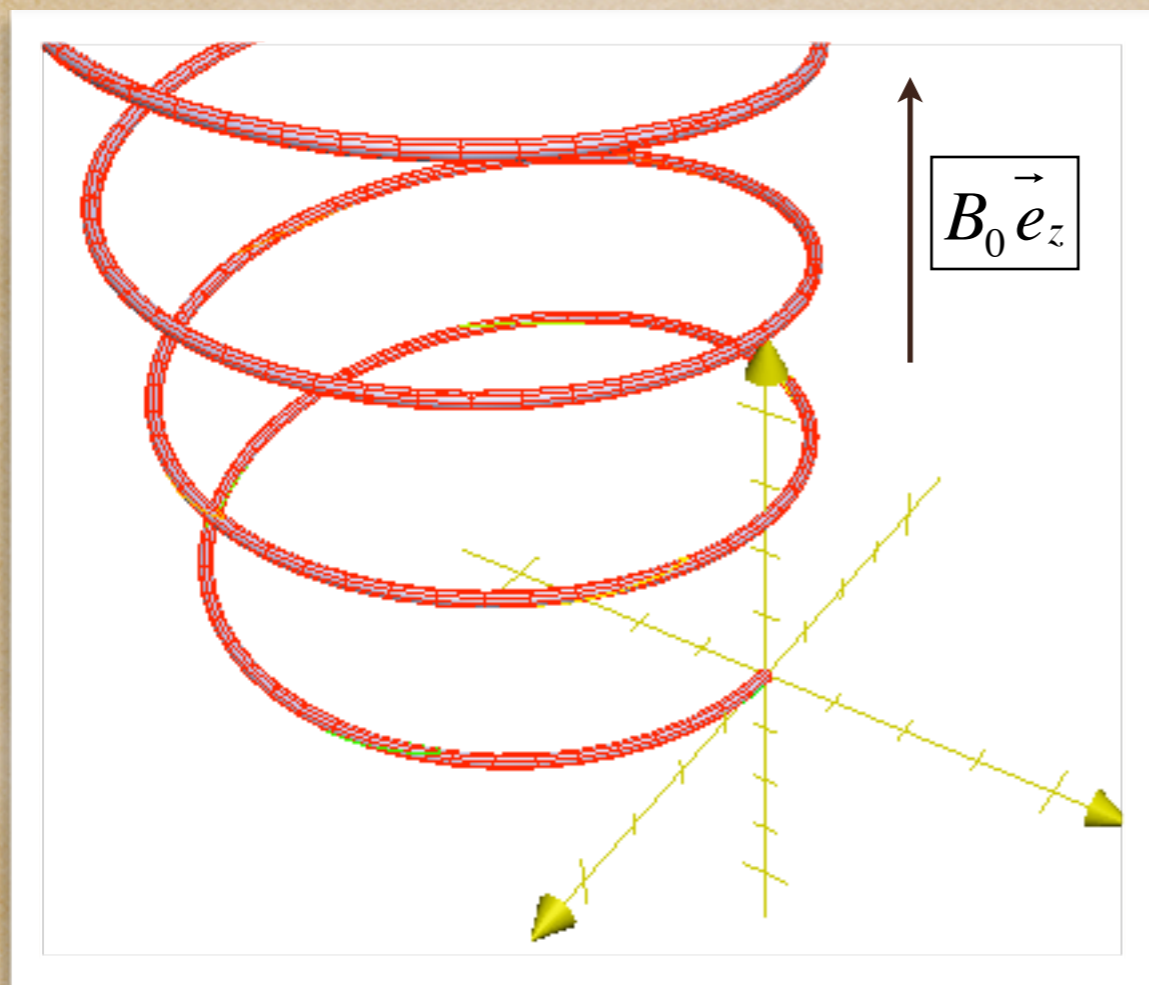




# La trajectoire est une hélice :

Charge positive  $\epsilon = 1$

Charge négative  $\epsilon = -1$



hélice gauche

hélice droite



Caractéristiques de l'hélice :