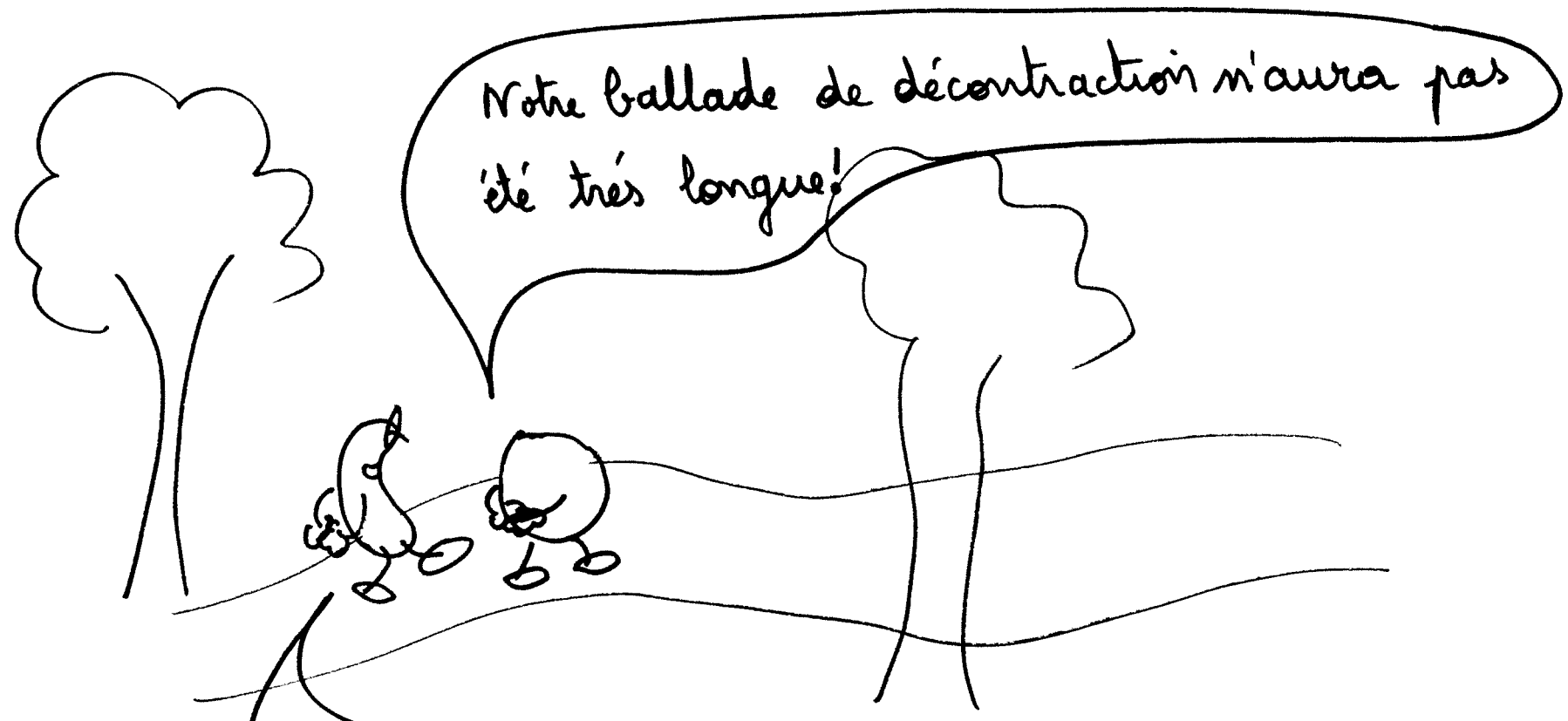
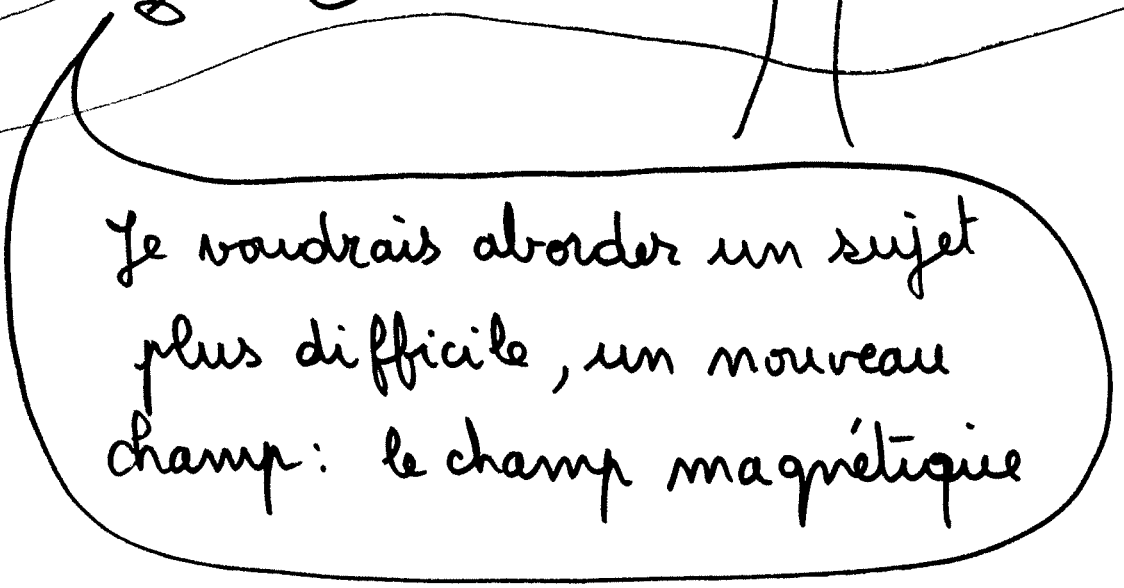


Le Champ magnétique



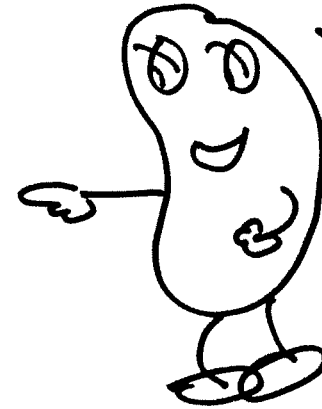
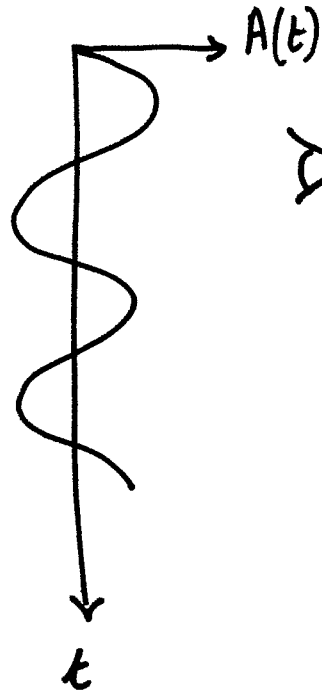
Notre ballade de décontraction n'aura pas été très longue!



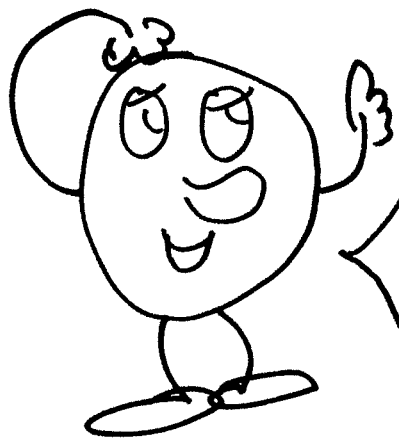
Je voudrais aborder un sujet plus difficile, un nouveau champ: le champ magnétique



Bon. Nous avons vu le potentiel vecteur dont la variation temporelle engendrait le champ électrique rayonné.



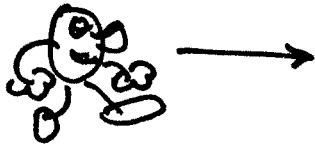
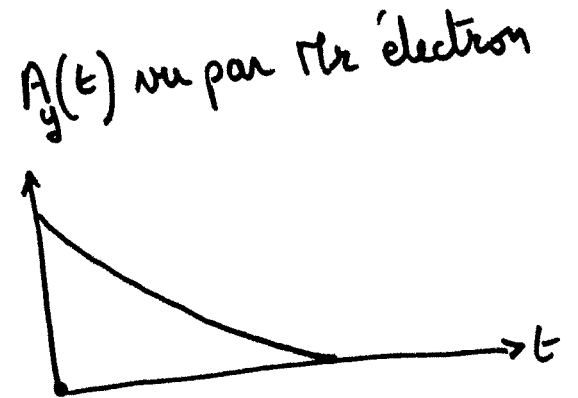
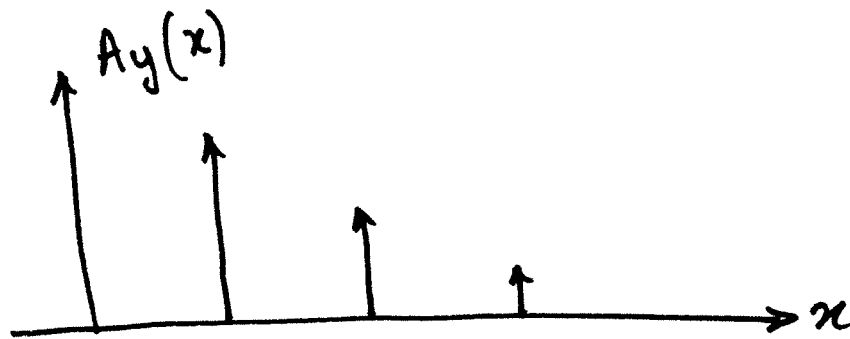
Oui! Un observateur fixe voit le potentiel vecteur qui varie dans le temps.

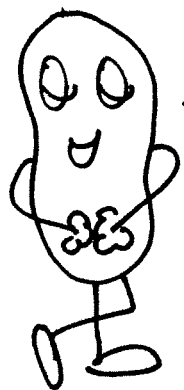


mais on peut imaginer un potentiel redteur fixe crée par un courant continu. Dans ce cas, le champ électrique est nul.



Pourtant, si je cours le long de ce potentiel constant dans le temps, mais décroissant dans l'espace; j'ai l'impression que le potentiel varie dans le temps.

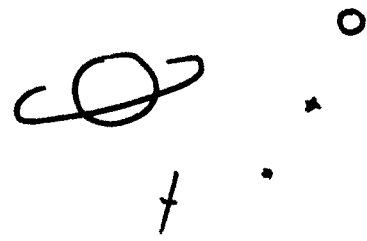
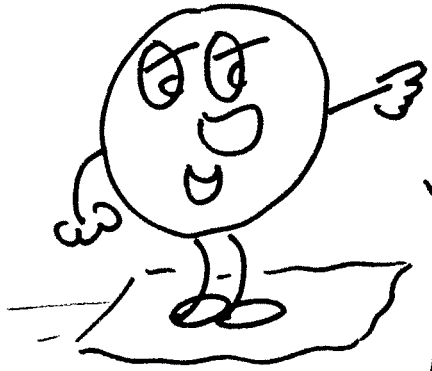




Oui! Il y a une certaine équivalence que nous allons essayer de montrer. Mais il y a une différence de fond entre un déplacement dans l'espace et dans le temps, car si on peut remonter l'espace, on ne peut pas remonter le temps!

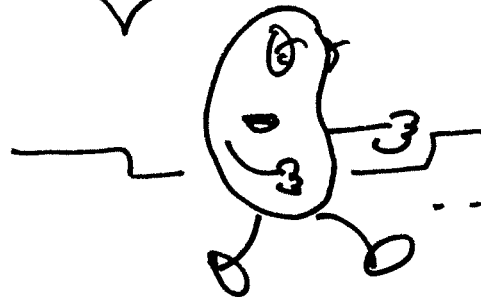


ainsi je peux regarder un point de l'espace et y voir un phénomène variable dans le temps.

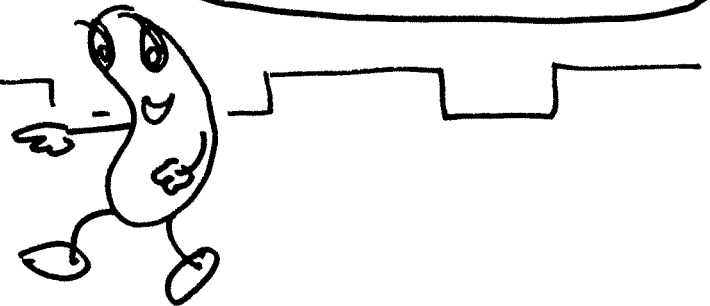


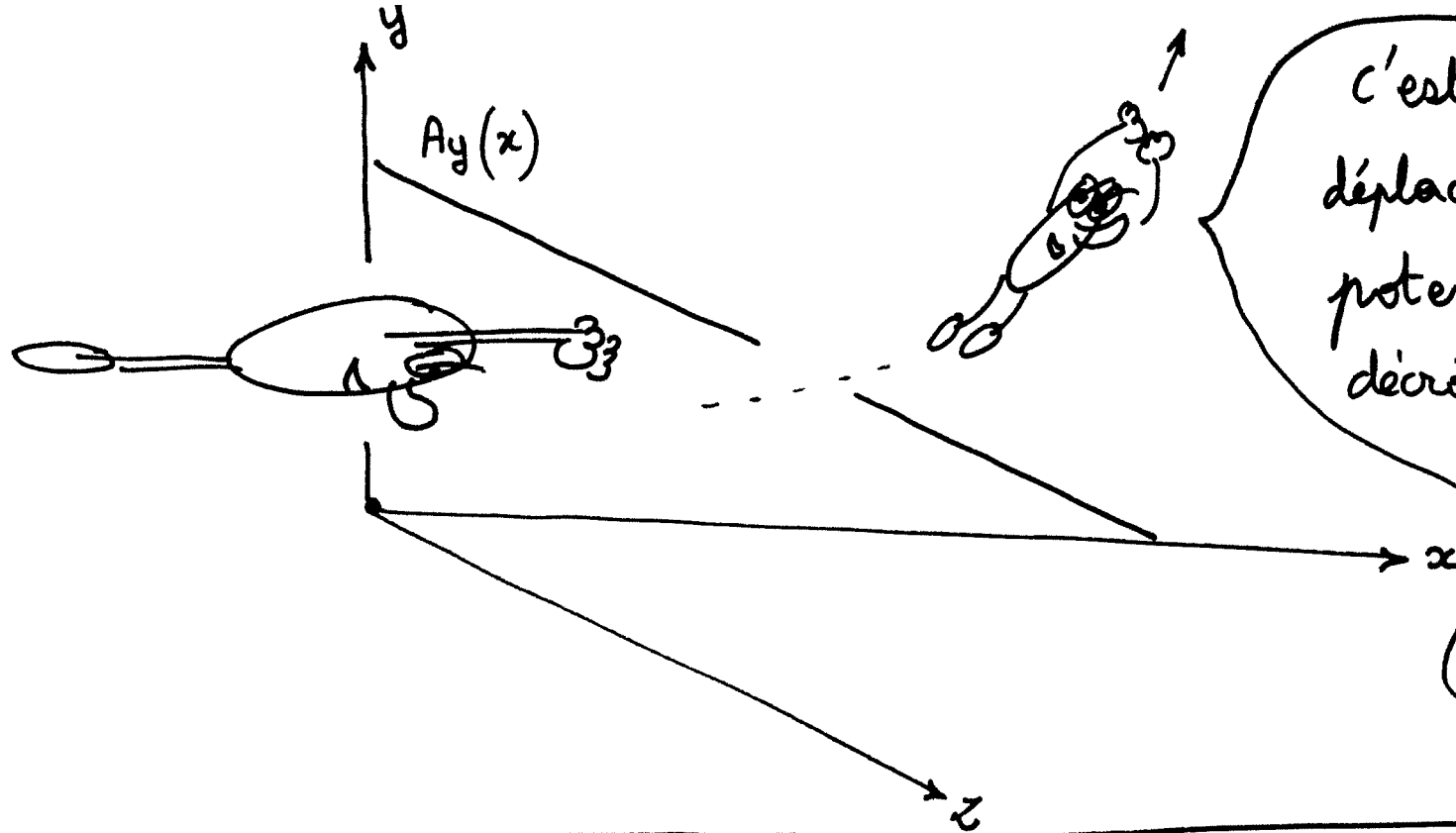
oui mais tu ne peux pas faire
revenir le temps en arrière. Dans l'univers
entier le temps semble n'aller qu'en
progressant.

Alors que je peux parcourir une forme variable dans l'espace
dans un sens ...



ou dans l'autre





c'est bizarre, si je me déplace le long d'un potentiel vecteur qui décroît suivant x , je sens une force dans la direction y

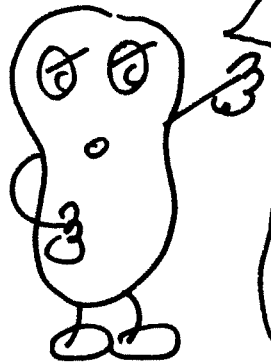
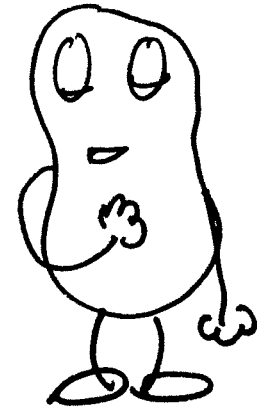


YES ! Et si tu te diriges dans la direction $(-x)$ tu sentiras une force dans la direction $(-y)$.

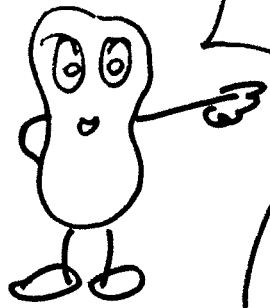


mais c'est pareil si je restais fixe et que je fasse avancer le potentiel vecteur vers moi ?

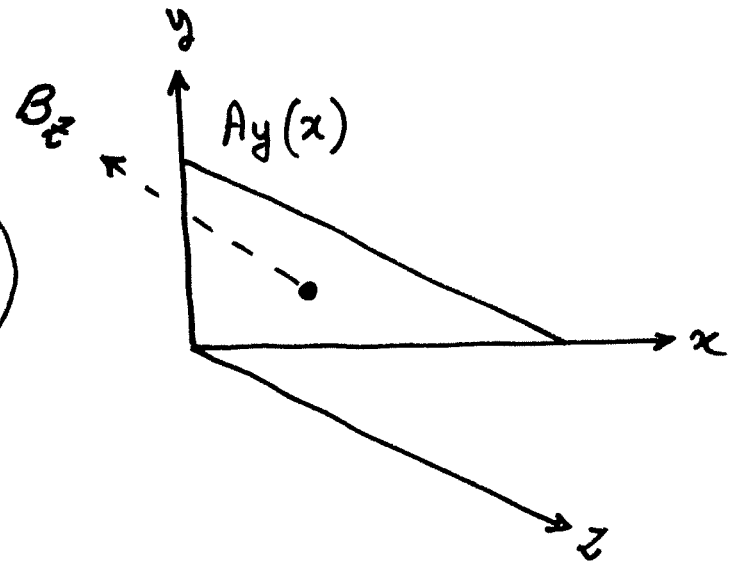
Et bien sous certaines conditions, dans le cadre de la relativité restreinte, c'est effectivement pareil.



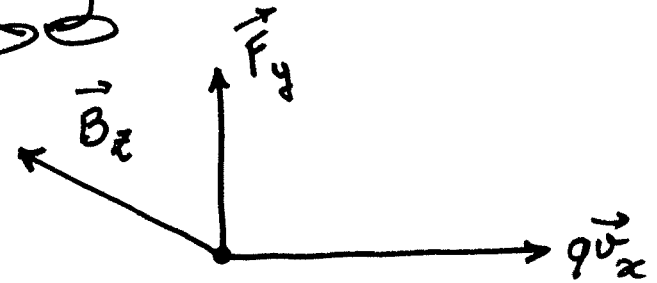
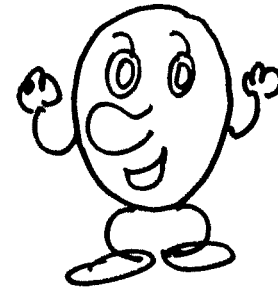
Nous avons vu que la variation temporelle de \vec{A} potentiel vecteur, crée un champ électrique \vec{E} et une force $\vec{F} = q\vec{E}$ sur une charge q .



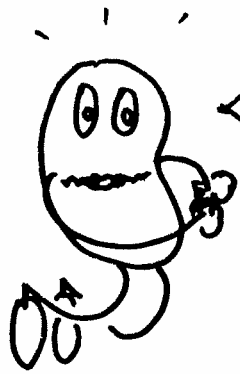
Et bien la variation spatiale de \vec{A} crée un champ que l'on appelle champ magnétique \vec{B} .



Je comprends, et ce champ \vec{B} crée une force $\vec{F} = q\vec{v} \wedge \vec{B}$.



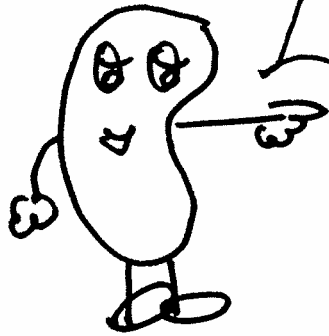
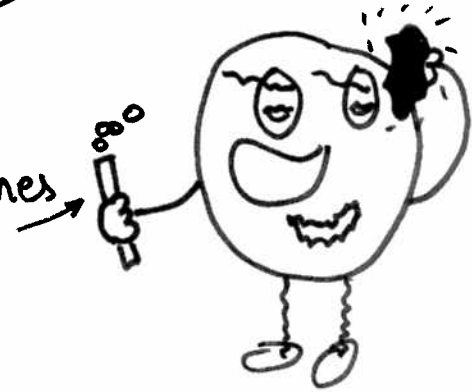
oui, nous allons détailler cela car c'est plus compliqué qu'il n'y paraît!



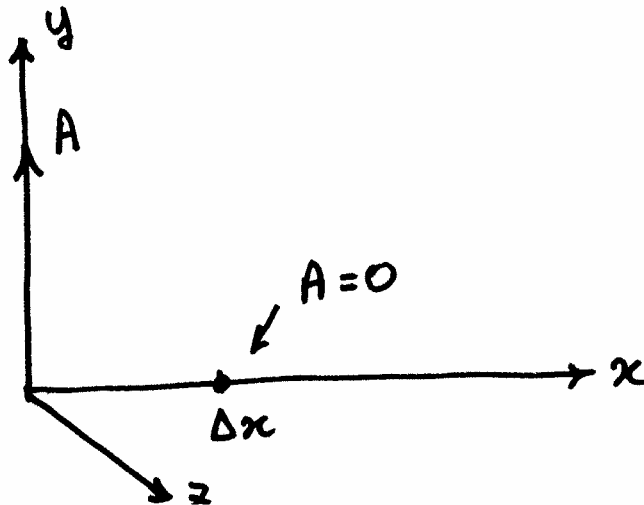
nous allons devoir faire un petit peu de mathématiques pour expliquer cela!

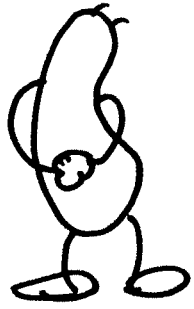
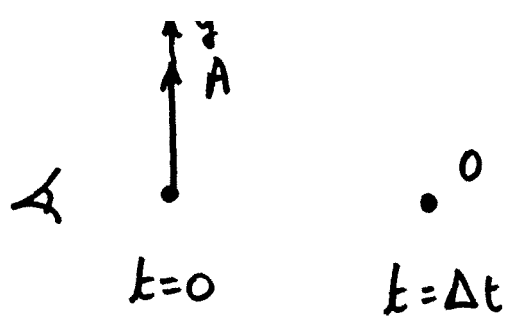
ouf! Je suis prêt,
vas-y!

Vitamines



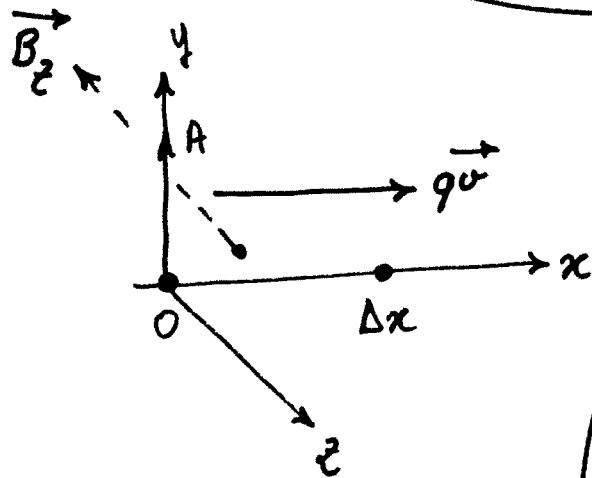
Je considère l'évolution spatiale suivante du potentiel vecteur





Si le potentiel se déplace vers moi, au même point de l'espace, en ce point une charge q sent une force

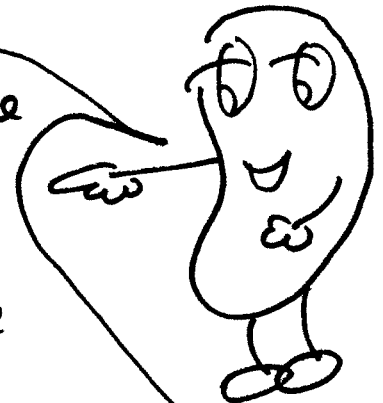
$$q\vec{E}_y = \vec{F}_y = -q \frac{(0-A)}{\Delta t} \vec{u}_y = q \frac{A}{\Delta t} \vec{u}_y = -q \frac{\partial A}{\partial t}$$



Si la charge se déplace dans l'espace, elle voit un champ magnétique

$$\vec{B}_z = -\frac{(0-A)}{\Delta x} \vec{u}_z \frac{\partial A_y}{\partial x}$$

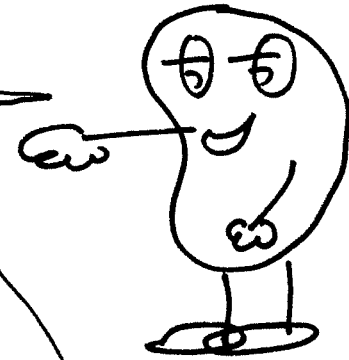
$$\text{et } \vec{F}_y = q\vec{v} \wedge \vec{B} = q \frac{\Delta x}{\Delta t} \frac{A}{\Delta x} \vec{u}_y = q\vec{E}_y$$





Je ressens bien la même force, il n'y a pas de différences ?

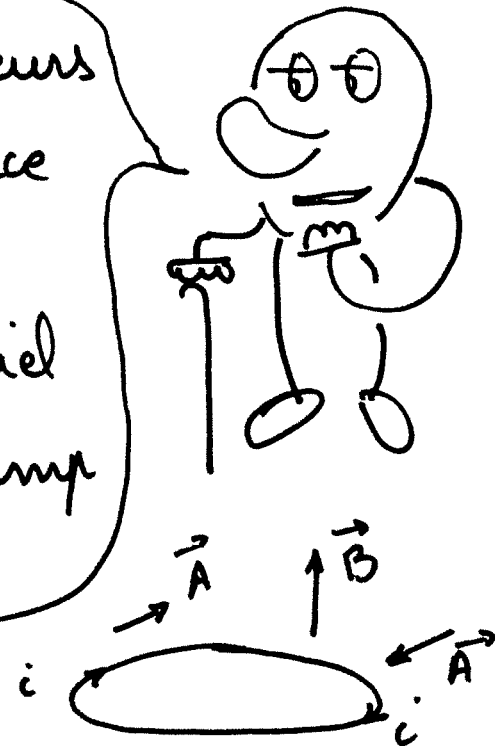
Si si ! La variation de \vec{A} dans le temps peut être mesurée en un point singulier de l'espace-temps. Il suffit de se munir d'un axe le long duquel \vec{A} varie pour en déduire le champ et la force électrique.

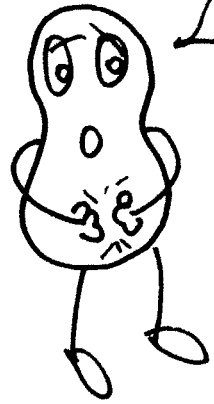




Le champ électrique a quelque part la dimension d'une droite, c'est un vecteur. Alors que pour ressentir la variation spatiale de \vec{A} il faut parcourir (balayer) une surface. Le champ magnétique a une dimension 2. C'est un objet plus compliqué qu'un vecteur

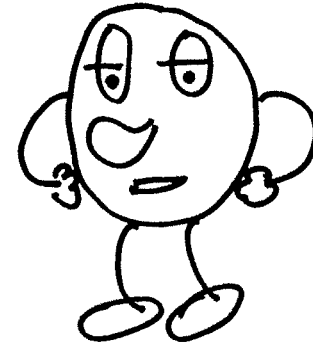
Hum! oui, je pense comprendre. D'ailleurs une façon de faire varier \vec{A} dans l'espace est de faire rayonner une boucle. D'une extrémité à l'autre de la boucle, le potentiel \vec{A} change de sens et engendre ainsi un champ magnétique.





Bravo! Tu as tout compris!

Mais en final, si on ressent la même force, c'est que \vec{E} et \vec{B} sont des champs similaires?



Bien plus que cela, ils ne sont que deux composantes d'un même objet souvent noté F et appelé "tenseur du champ électromagnétique".

- Conclusion des 3 parties

Les densités de charge rayonnent un potentiel scalaire Ψ .

Les densités de courant rayonnent un potentiel vecteur \vec{A} .

Des potentiels, on déduit les champs électrique et magnétique.

Les dérivées temporelles des flux de ces champs engendrent des générateurs de tension ou de courant qui créent à leur tour des charges ou des courants dans les circuits.

Le flux est le produit scalaire d'une surface par le champ. Là aussi il ne suffit pas que le champ soit intense pour créer de forts courants ou de fortes tensions. Encore faut-il que l'angle entre la normale à la surface et le champ soit proche de zéro.

Pour aller plus loin

F s'écrit

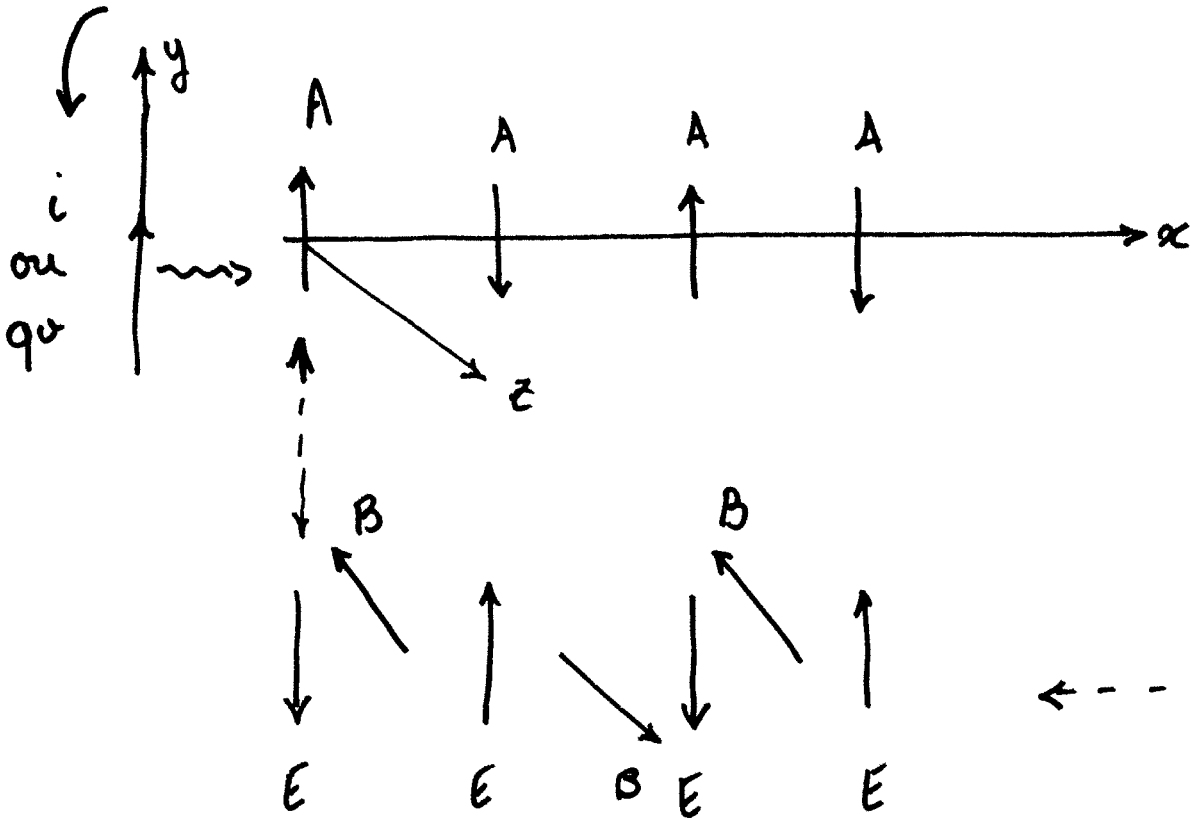
$$\begin{bmatrix} 0 & -\frac{E_x}{c} & -\frac{E_y}{c} & -\frac{E_z}{c} \\ \frac{E_x}{c} & 0 & -B_z & B_y \\ \frac{E_y}{c} & B_z & 0 & -B_x \\ \frac{E_z}{c} & -B_y & B_x & 0 \end{bmatrix}$$

Lorsque l'on calcule $\frac{\partial}{\partial x} A_y \vec{u}_y = \frac{\partial A_y}{\partial x} \vec{u}_y + A_y \frac{\partial \vec{u}_y}{\partial x}$, le terme $\frac{\partial \vec{u}_y}{\partial x}$ n'est pas nul dans un espace courbe. C'est pourquoi il n'y a égalité des forces dans l'expérience décrite page 10 que sous des hypothèses de relativité restreinte.

Une Remarque pour réfléchir : dans ces discussions nous avons exprimé \vec{A} dans ce qu'on appelle la "jauge de Coulomb". La transformation de Lorentz appliquée à cette jauge donne celle de Lorentz!

L'onde électromagnétique

excitation sinusoïdale



← - - - → Représentation Symbolique
(Rigoureusement incorrecte)

