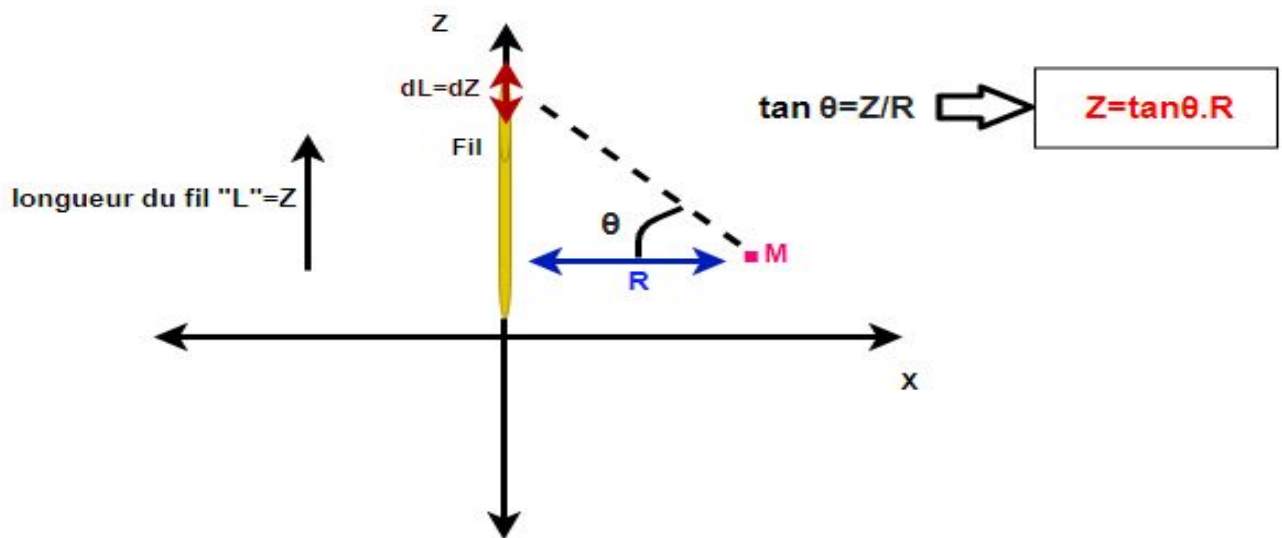


ETUDE DU JEU DE CAPTEURS POUR LE GUIDAGE PAR INDUCTION

Le but est de pouvoir caractériser la position exacte du robot par rapport au fil .

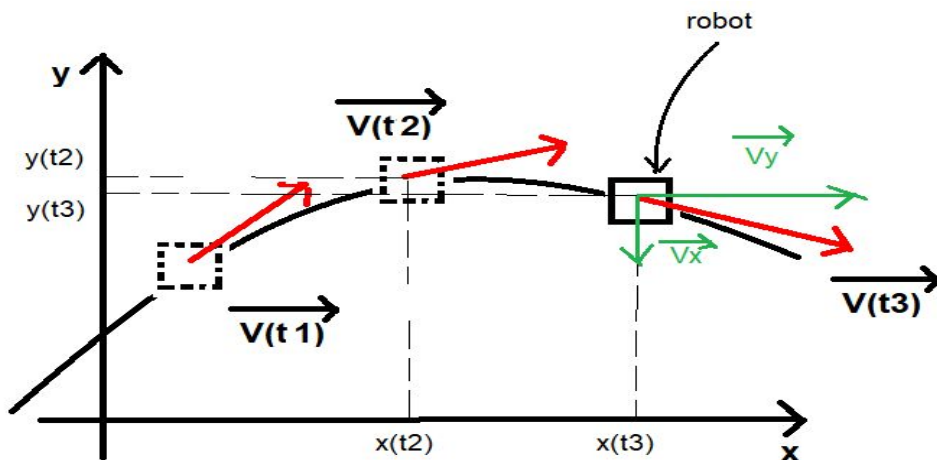
- 1) On suppose le fil rectiligne et infini. Comment le modéliser mathématiquement ?



- 2) robot sera modélisé mathématiquement, il faut caractériser sa position, et sa direction: quels sont les 2 outils mathématiques permettant de modéliser proprement ces deux notions.

-Il faut mettre en place un système de coordonnées pour voir exactement sa position en

-pour déterminer sa direction : dériver de sa trajectoire selon nos 2 axes de coordonnées :



la vitesse instantané à $t=t3$:

$$\vec{V}(t3) = \vec{V}(t3)_x + \vec{V}(t3)_y$$

à partir de la variation de la vitesse selon les deux axes on trouve la direction
car la direction du mouvement parallèle au vecteur de la vitesse instantané

-On a choisi d'étudier la dynamique du robot en 2 dimensions car, la hauteur du robot "h" est toujours la même (invariable par rapport au fil), donc pas de variation selon Z.

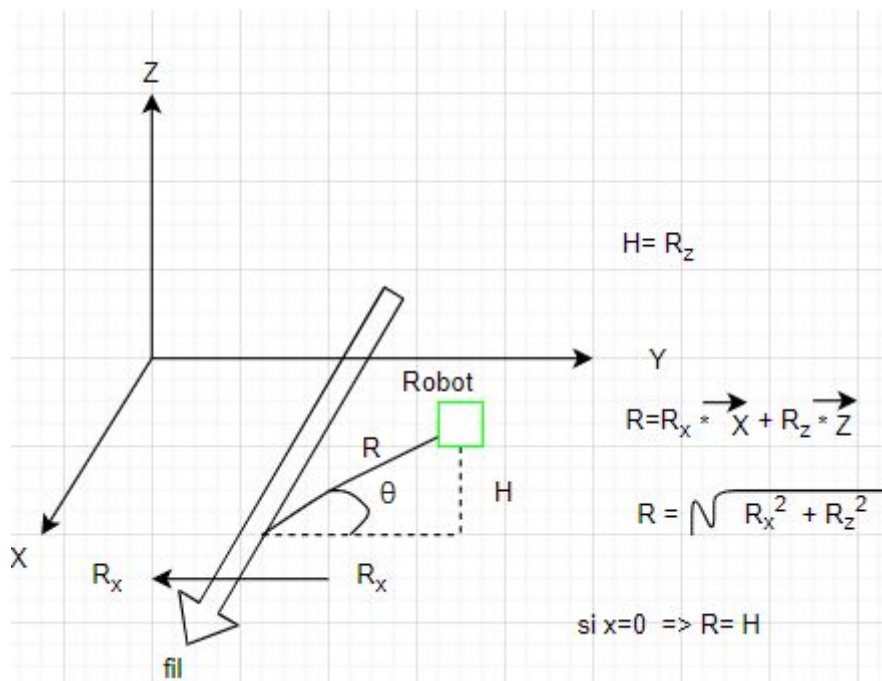
·3) Définir mathématiquement les phrases « le robot est sur le fil » et « le robot est parallèle au fil »

R: distance entre le fil et le robot

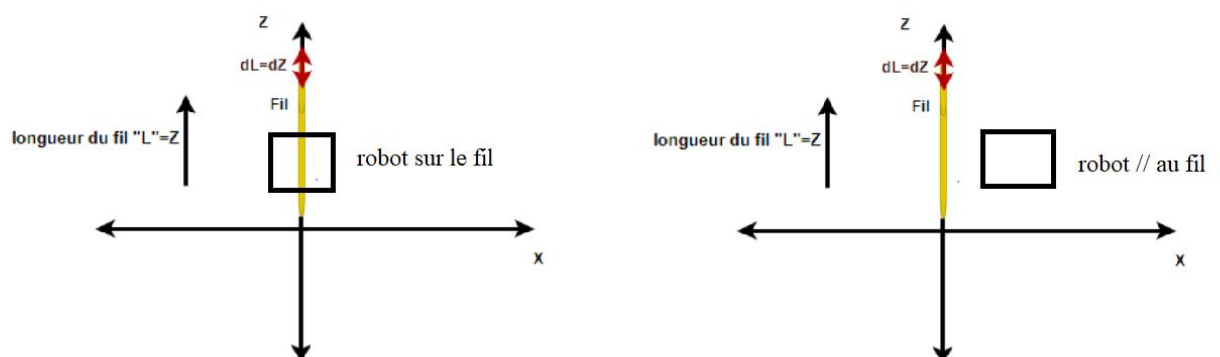
theta: l'angle formé par la projection verticale du robot sur le sol ,et le plan du sol.

Robot sur le fil: $R=0$ et $\theta \neq 0$.

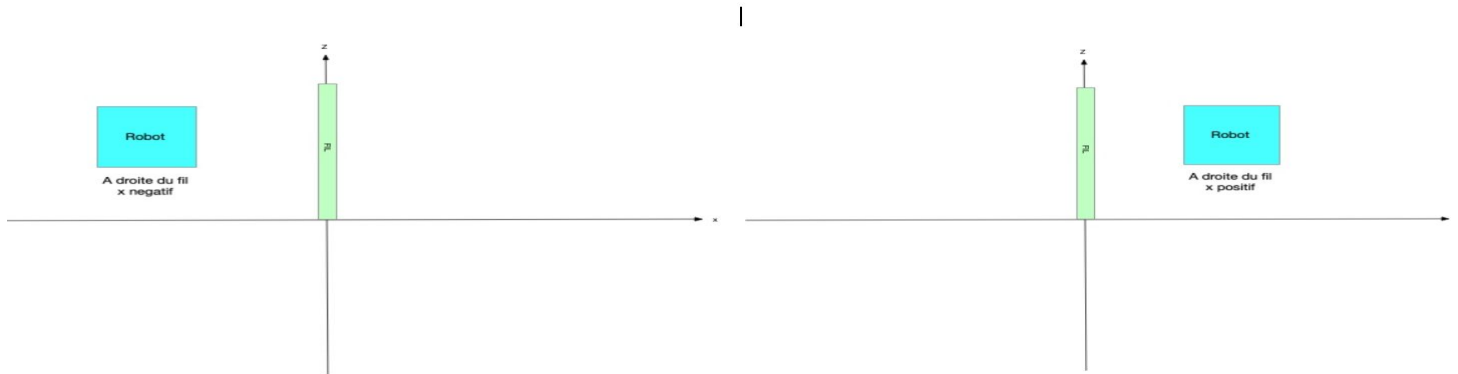
Robot à côté du fil: $R \neq 0$ et $\theta = 0$.



· 4) Par des exemples dessinés caractériser la différence entre ces deux phrases.



5) Définir un repère permettant mathématiquement de caractériser si le robot est à droite ou à gauche du fil, et si le robot se dirige vers la zone à droite du fil ou vers la zone à gauche du fil.



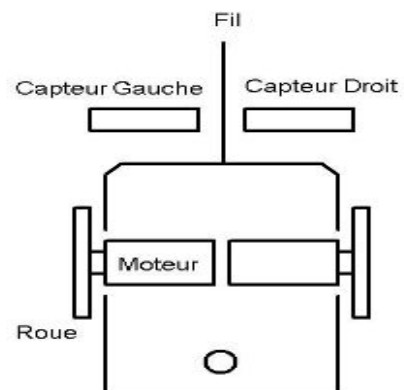
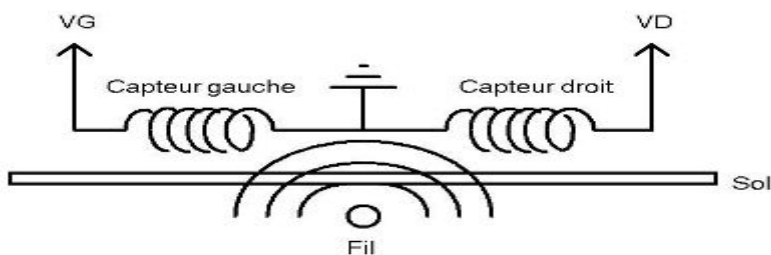
-On utilise un repère cartésien orthogonal et orthonormé, en plaçant le fil sur l'axe Z on pourra connaître la position du robot par rapport au fil si la coordonnée suivant l'axe X est négative ($x < 0$) le robot est à gauche si la coordonnée est positive le robot est à droite, ($x > 0$) et si on résonne en coordonnées polaire ($x = r \cos \theta, y = r \sin \theta$) si $\theta \in [-\pi/2, \pi/2]$ le robot va vers la droite et si

$\theta \in [\pi/2, -\pi/2]$ il va vers la gauche avec theta l'angle que forme un point du fil avec le robot

6)- Quelles variables devront être asservies avec quelles valeurs de consignes pour obéir à la phrase suivante : « le robot mobile autonome suit parfaitement le fil » ?

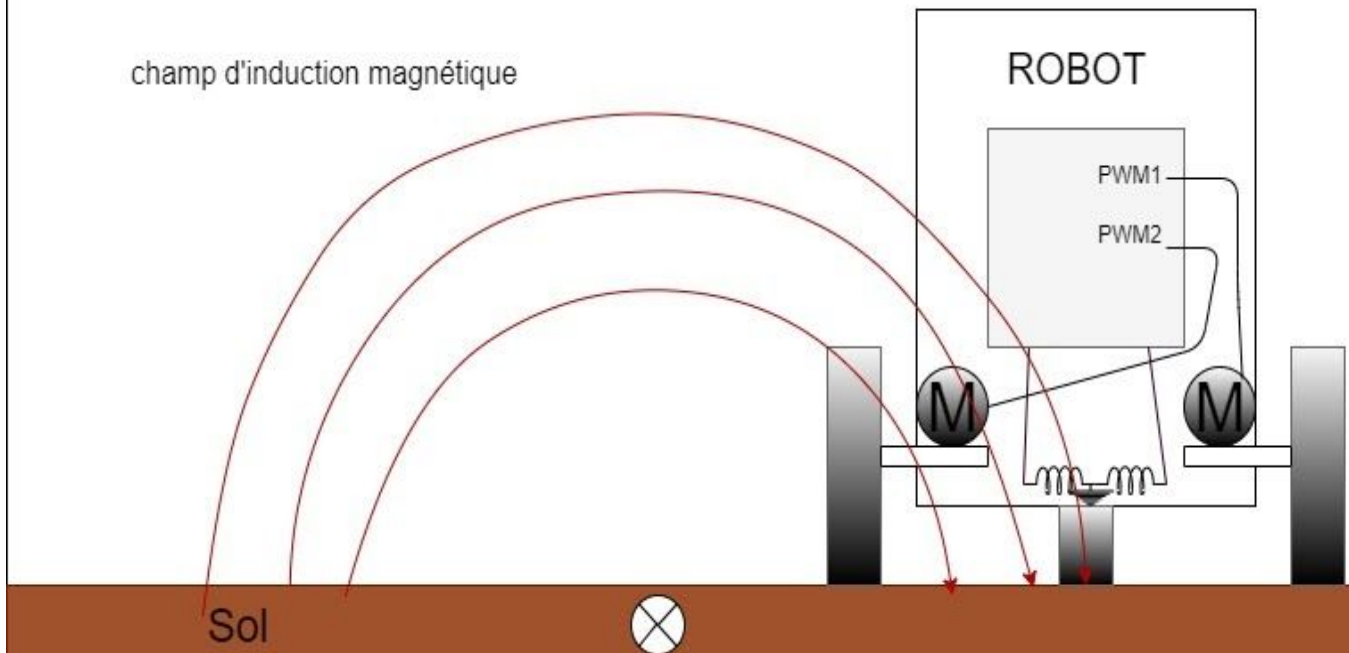
Les variables : Les vitesses des moteurs de roues , la distance entre chaque roue et le fil soit identique, le champ magnétique, le courant injecté dans le fil

Les valeurs de consignes : Le principe de guidage consiste à ralentir le moteur gauche lorsque le robot se décale vers la droite du fil et inversement, à ralentir le moteur droit lorsque le robot se décale vers la gauche. Lorsque le robot est centré par rapport au fil guide (écart = 0) le rapport cyclique est réglé à 90% pour les deux moteurs. Cette particularité permet un meilleur asservissement de position et évite le "pompage" du robot.



7) FAIRE UN SCHÉMA SUR UNE FEUILLE ENTIÈRE POUR LES QUESTIONS PRÉCÉDENTES: faire une vue de dessus et une vue suivant l'axe du fil.

Schéma



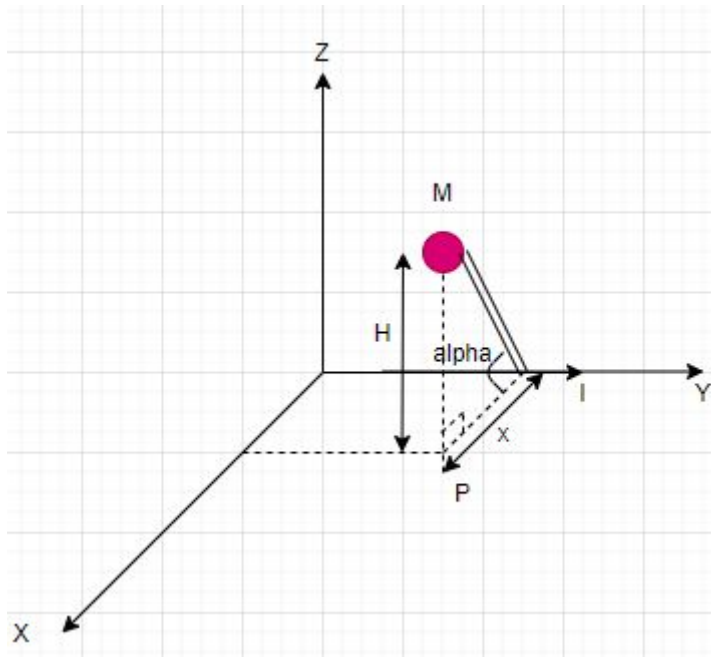
fil

Remarque: la direction du champ magnétique dépend de la direction du courant électrique selon la règle de la main droite, les deux bobine du robot sert à capter la variation du flux magnétique ce qui génère un courant induit dans les bobine, donc si le robot s'est éloigné, le courant induit sera faible, dans ce cas le robot doit tourner pour ce rapprocher du fil

vu que j'ai deux bobines donc j'ai deux courants induits qui seront comparer par le comparateur pour savoir de quel coté le robot de aller pour joindre le fil

8) Calculer (ou trouver sur le net) le champ magnétique créé par un fil rectiligne infini, parcouru par un courant I en un point M de l'espace défini : - x distance entre P (projeté vertical de M sur le sol) et le fil.

- Son altitude h .

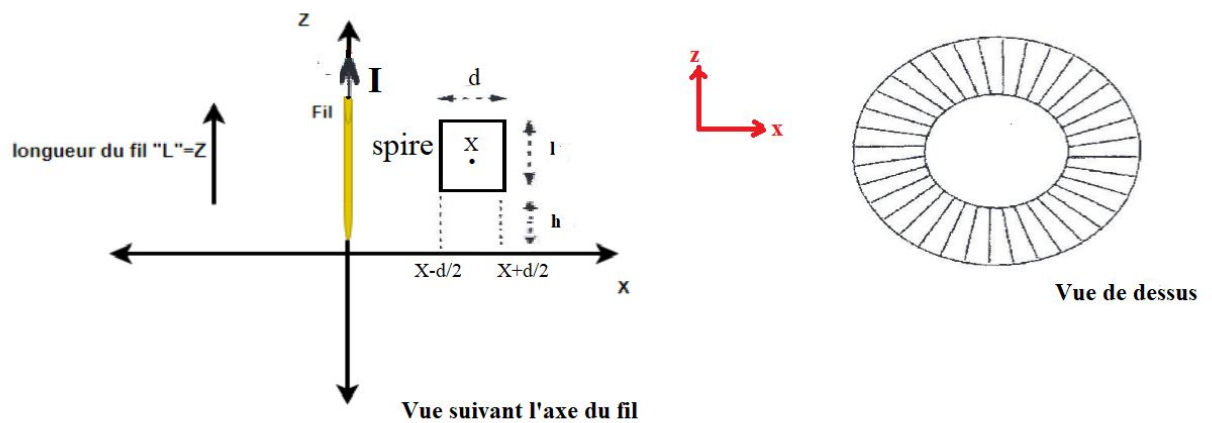


avec le théorème de biot et Savart:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 \cdot I}{4 \cdot \pi \cdot \sqrt{h^2 + x^2}} \vec{u}_{\alpha}$$

9) Considérons une spire rectangulaire disposée horizontalement (de longueur l // au fil, largeur d). Le centre de cette spire est situé à la distance x (bobine de $x-d/2$ à $x+d/2$) et à l'altitude h.

·9-1 Dessiner le fil et la spire en précisant le repère sur la page précédente pour les deux vues.



·9-2 Exprimer le flux du champ magnétique enlacé par cette spire (Formule théorique).

$$\Phi = \iint_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

-avec B L'induction magnétique au centre du spire

-S surface du spire $S=l \cdot d$

Le flux total :

$$\Phi_N = N\Phi$$

avec N: nombre de spires dans la bobine

9-3 Décomposer le champ en composante horizontale et verticale, en posant un angle .

Loi de Biot et Savart :

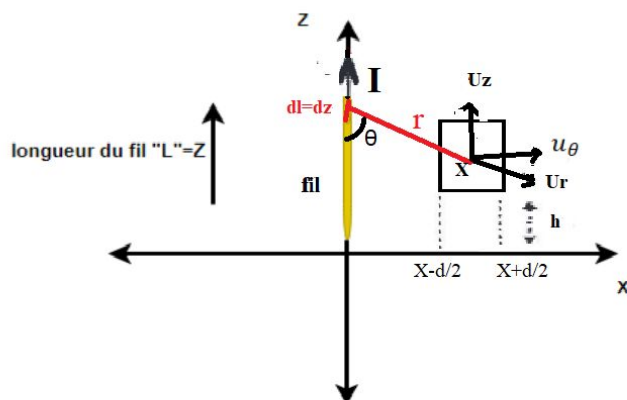
$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \oint_C \frac{d\vec{l} \wedge \vec{r}}{r^3} \quad \longrightarrow \quad d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\vec{l} \wedge \vec{r}}{r^3}$$

avec:

$$\vec{u}_r = \frac{\vec{r}}{\|\vec{r}\|}$$

donc on obtient :

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\vec{l} \wedge \vec{r}}{r^3} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\vec{l} \wedge \vec{u}_r}{r^2}$$



Le champ magnétique est selon θ : car on a $d\vec{l}$ qui est selon z ce qui donne :

$$d\vec{l} \wedge \vec{u}_r = \vec{u}_\theta$$

donc l'expression du champ magnétique au point X (centre de spire)::

$$\vec{B}(X) = B(X) \vec{u}_\theta$$

ce champ peut être décomposé en composante horizontale selon \vec{u}_r et en composante verticale selon \vec{u}_z comme suit :

$$\vec{B}(X) = B_r(X) \vec{u}_r + B_z(X) \vec{u}_z$$

· 9-4 Exprimer θ en fonction de x et de h pour un point de la spire.

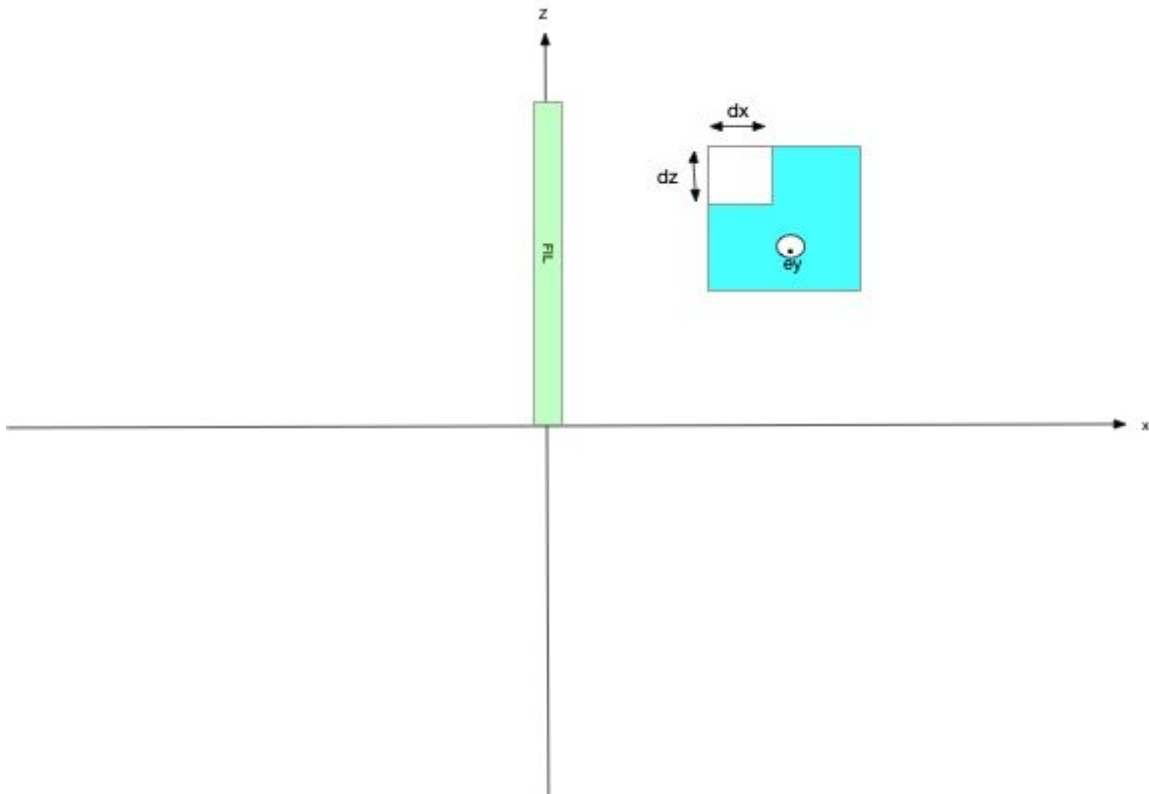
$$\theta = \arctan(h/x)$$

· 9-5 Définissez le vecteur surface pour la spire, dessiner une surface élémentaire, exprimée en fonction des variables d'intégrations du flux.

le vecteur surface est :

$$ds = dx dz \cdot \mathbf{e}_y$$

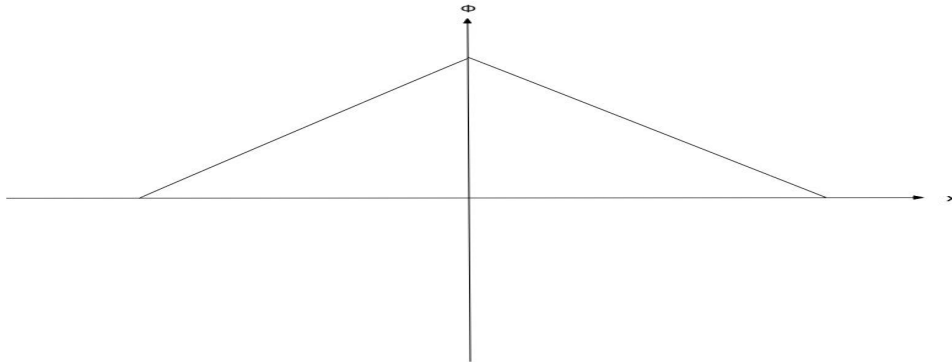
le dessin de la surface :



9-6 Définir le vecteur surface élémentaire du plan de la bobine. Quel est la composante du champ qui donne un flux non nul, quelle est celle qui ne donne pas de flux? Prédire l'allure de la courbe du flux lorsqu'on fait varier le paramètre x au vu de l'orientation du champ magnétique .

- La composante du champ qui donne un flux non nul est B_y
- Les composantes du champ qui donnent un flux nul sont B_x et B_z

L'allure de la courbe du flux lorsqu'on fait varier le x est :



Le flux augmente en s'approchant du fil ce qui explique la courbe ci dessus

·9 bis) Calculer le flux engendré par le fil dans notre bobine carrée. Détaillez les deux paramètres d'intégration. Si on dit que un des paramètres d'intégration est v et l'autre w, quelles sont les bornes de variation de v et w?

Spire carrée donc w=v

$$\int_{x-d/2}^{x+d/2} \int_{x-d/2}^{x+d/2} B dW dV$$

avec v: largeur de spire varie entre x-d/2 et x+d/2

w: longueur de spire varie entre x-d/2 et x+d/2

10) Pour calculer la primitive, on pensera à utiliser la Formule utile suivante :

Handwritten derivation of the magnetic flux formula for a circular loop of radius a and length l , carrying a current I . The magnetic field B is calculated using the Biot-Savart law, and the flux Φ_{spira} is found by integrating B over the area of the loop.

$$\begin{aligned}\Phi_{\text{spira}} &= \iint \vec{B} \cdot d\vec{S} = \iint B \cdot da \cdot dz \\ &= \frac{\mu_0 I}{2 \cdot \pi} \iint \frac{1}{\sqrt{h^2 + a^2}} \cdot da \cdot dz \\ &= \frac{\mu_0 I \cdot l}{2 \cdot \pi} \left[\ln \left(a + \sqrt{h^2 + a^2} \right) \right]_{a-d/2}^{a+d/2}\end{aligned}$$

11) Donnez la formule de la FEM mesurable aux bornes de la bobine. On précisera à quelles conditions une FEM peut apparaître dans un circuit délimitant une surface. Donnez les différentes causes ici possibles de variation du flux qui provoquent l'apparition d'une FEM.

La FEM
$$e = \oint_c \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = - \frac{d\phi}{dt} \quad \boxed{e(t) = - B \cdot l \cdot v}$$

$$\Phi = N \times B \times S$$

conditions :

Le phénomène de l'induction électromagnétique apparaît dans un circuit électrique si le flux magnétique à travers ce circuit vari ! Si le circuit est ouvert le phénomène se manifeste par une **f.é.m.** apparaissant aux bornes du circuit. Si le circuit est fermé, il se manifeste par un courant induit circulant dans le circuit.

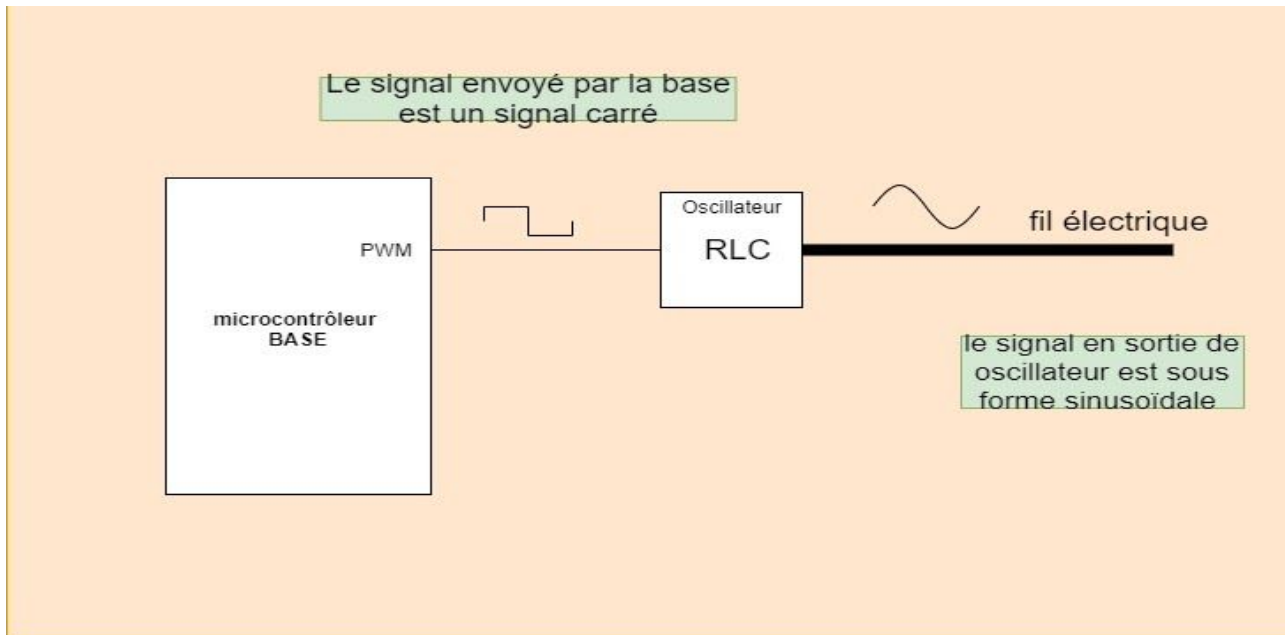
causes

La **variation du flux** est **causée** :

Lorsque la tension augmente par exemple, le courant qui circule dans la bobine augmente aussi et crée donc une variation de flux magnétique.

12) Sachant que lorsque le robot suit le fil, sa dérive latérale est lente, faut-il mieux injecter dans le fil un courant continu ou alternatif pour récupérer un signal exploitable?

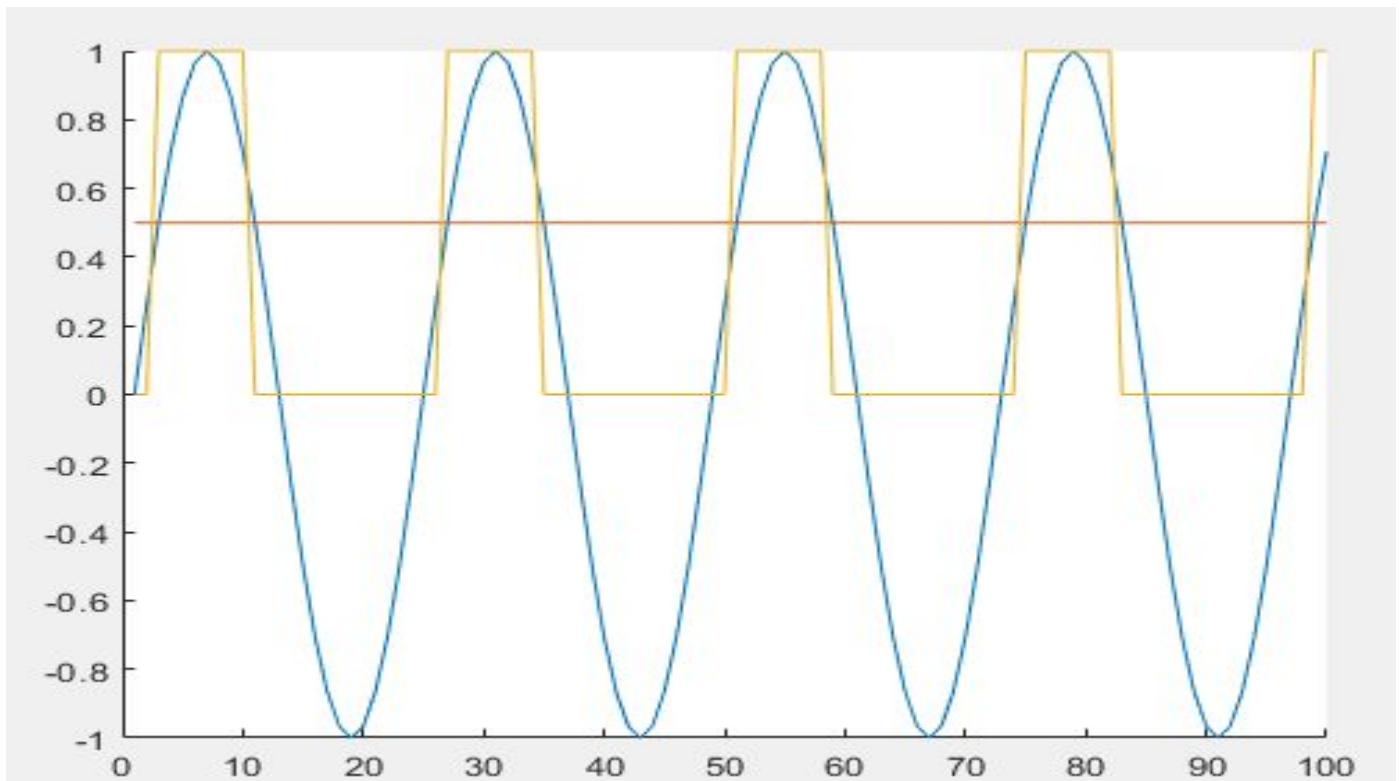
Il faut envoyer un signal alternatif pour qu'il soit bien exploité



13)- Représenter les chronogrammes du signal obtenu par rapport au signal injecté dans les différents cas suivants (en reprenant le repère défini dans les premiers schémas): Bobine à droite du fil, bobine à gauche du fil, bobine au dessus du fil.

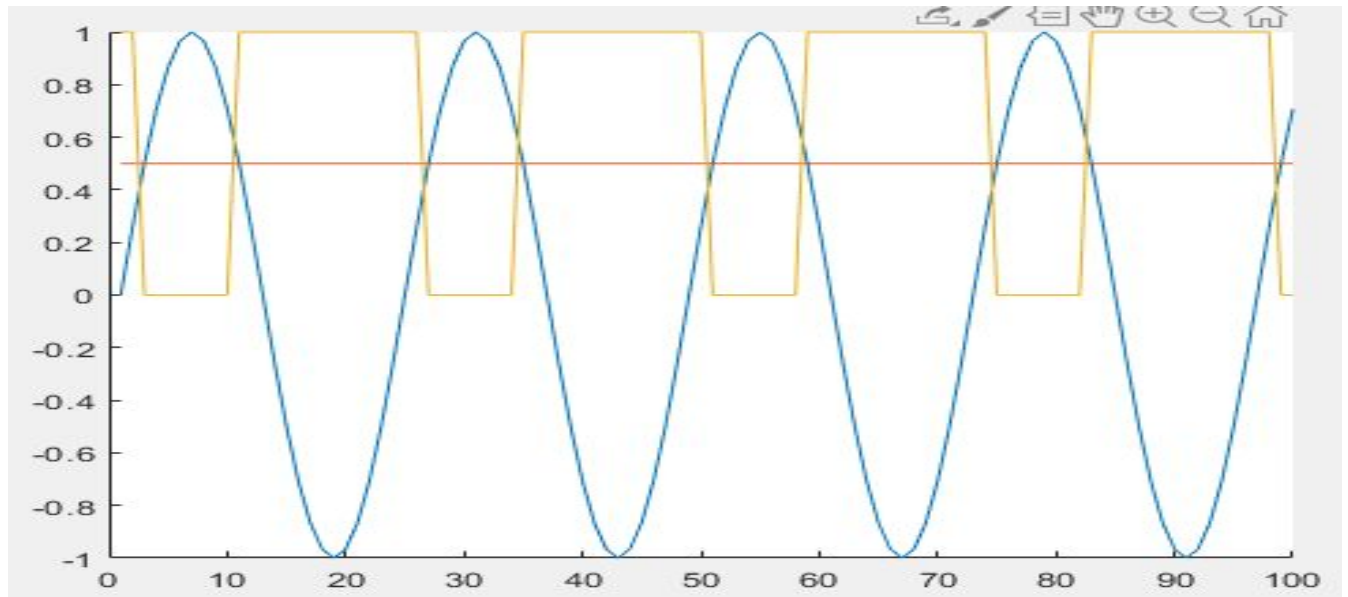
le signal bleu est une entrée, le signal rouge est une consigne (trigger), le signal marron est une sortie:

- Bobine à droite du fil:
- la sortie vaut 1 si l'entrée est supérieur à la consigne sinon 0.



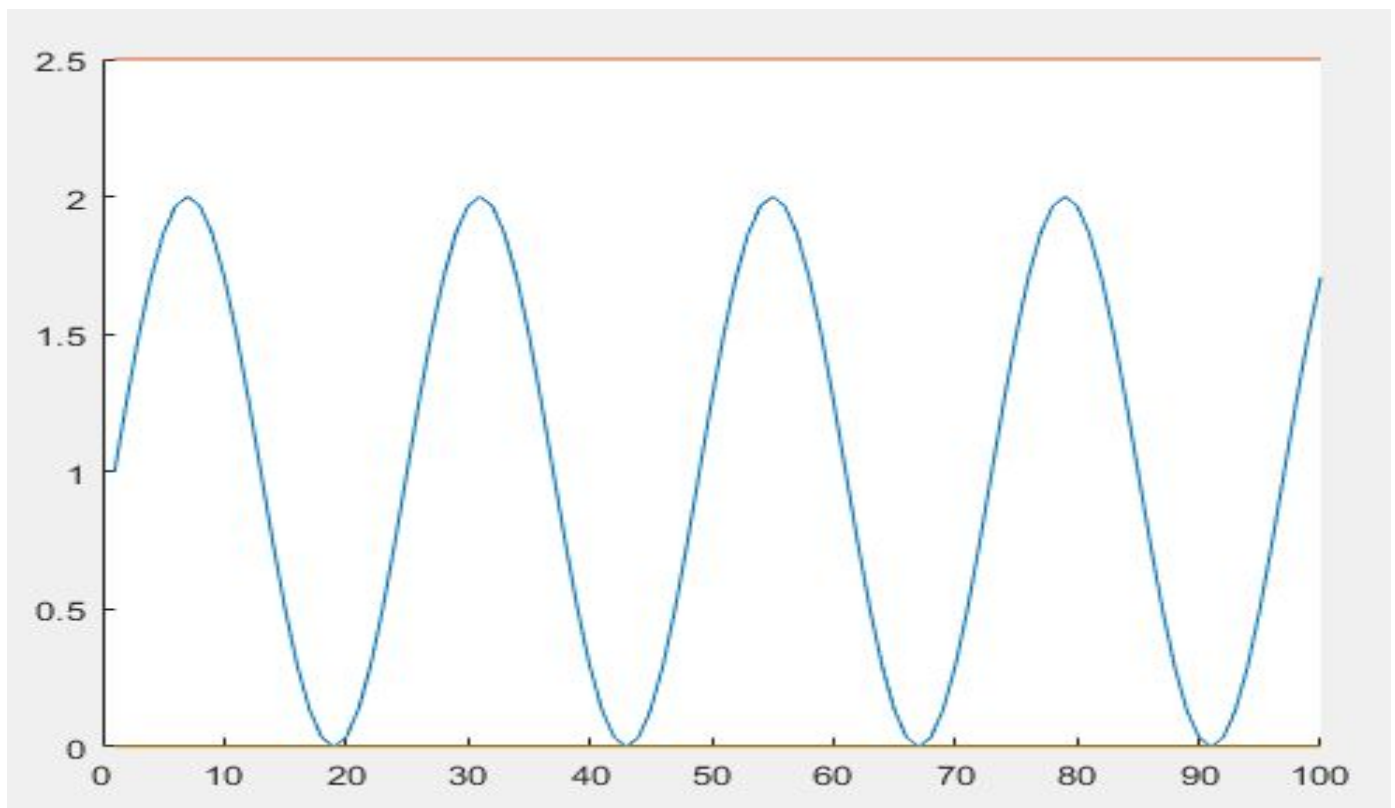
- Bobine à gauche du fil:

la sortie vaut 1 si l'entrée est inférieure à la consigne sinon 0.



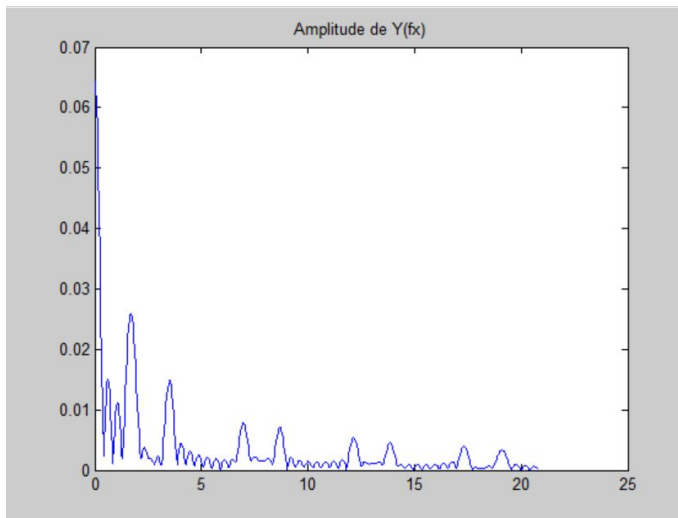
-bobine au dessus du fill:

L'entrée n'est jamais supérieur à la consigne, donc la sortie vaut toujours 0, on va la garder à 0 pour que le robot ne dérive pas à gauche ou à droite.

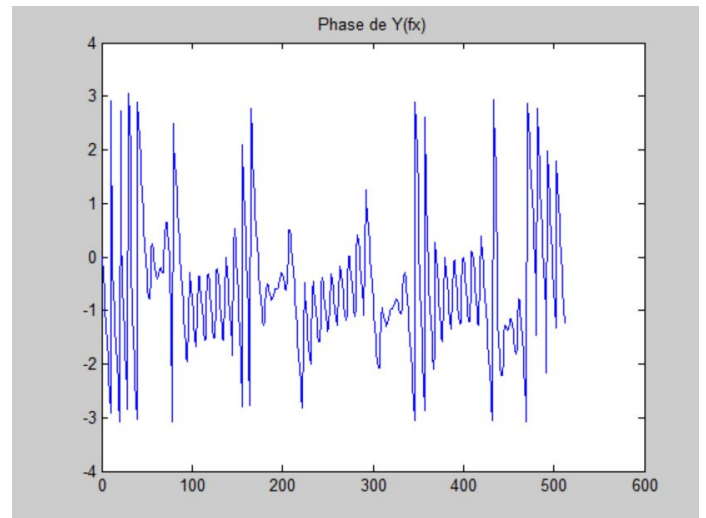


14) Représenter complètement le gain et la phase du signal obtenu par rapport au signal émis en normalisant ainsi à 1 ampère, l'amplitude du signal émis, en fonction de la position x du centre de la bobine (penser à bien préciser quel côté du fil caractérise $x < 0$).

côté du fil caractérise $x < 0$: Bobine à gauche du fil:



Spectre d'amplitude



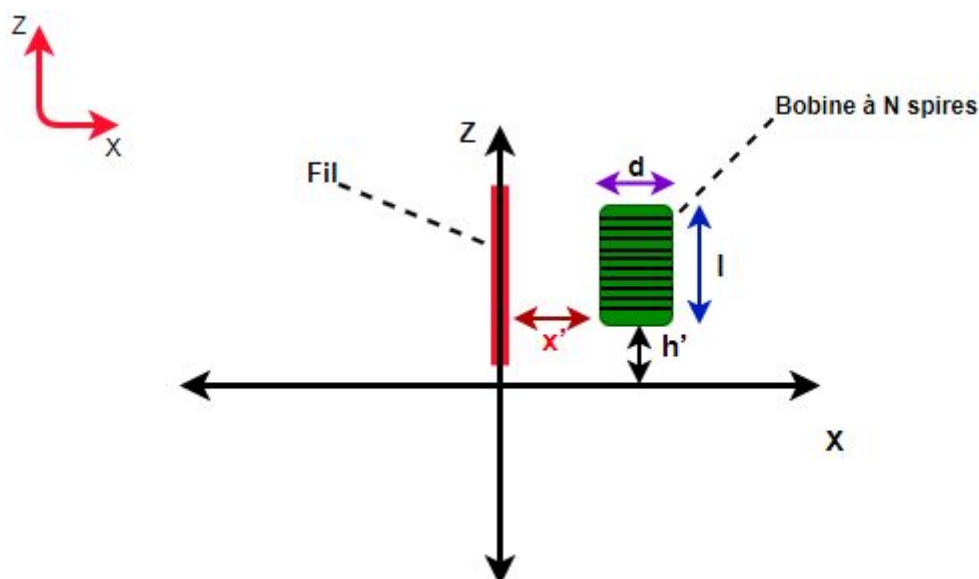
Spectre de phase

15) Sachant que le signal injecté dans le fil est inaccessible depuis le robot, peut-on savoir juste avec ce capteur de quel côté du fil, le robot se trouve ?

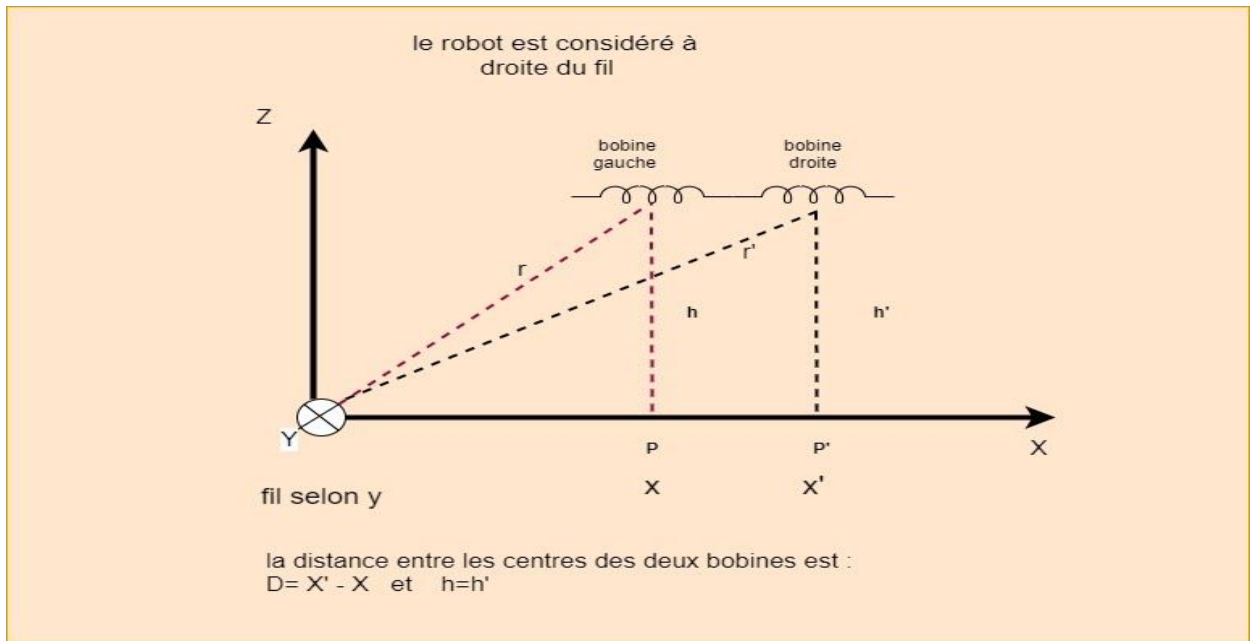
Le capteur ne pourra pas détecter de quel côté du fil le robot se trouve vu que le signal injecté dans le fil est inaccessible et ne pourra pas donc être comparé au signal récupéré

16) Sans faire de calculs, on veut établir la FEM induite dans une bobine rectangulaire, disposée verticalement, (de longueur l suivant l'axe du fil, de largeur d suivant la verticale) de N spires dont le centre est situé à la distance horizontale x' et à l'altitude h' définies précédemment.

- Faire un nouveau schéma représentant cette nouvelle bobine par rapport au fil.



17) Pour éviter tout calcul, on cherchera s'il n'existe pas un moyen simple d'exploiter le résultat précédent en regardant comment on pourrait faire bouger la première bobine pour que son signal soit le même que celui de la seconde bobine quand elle se déplace horizontalement au dessus du fil. On cherchera alors à voir si on ne peut pas à partir de x et h établir une correspondance avec x' et h' .



$x = \sqrt{r^2 - h^2}$ et donc $X' = D + \sqrt{r^2 - h^2}$ pour D est la distance en les centres des deux bobines

donc si : L est la longueur des deux bobines $\Rightarrow D = L$

$$\Rightarrow X' = L + \sqrt{r^2 - h^2}$$

19)· Est-il possible d'imaginer un système multi-bobines permettant de savoir de quel côté du fil, le centre de la bobine horizontale se situe ?

Oui, on peut imaginer un système multi-bobines qui permet de savoir quel côté du fil, le centre de la bobine horizontale se situe et cela en ajoutant deux bobines:

la première à gauche lorsque le robot est parallèle au fil du côté droite, le courant dans la bobine gauche sera plus important que celui de la bobine droite,

la deuxième à droite lorsque le robot est parallèle au fil du côté gauche le courant dans la bobine droite sera plus important que celui du côté gauche.

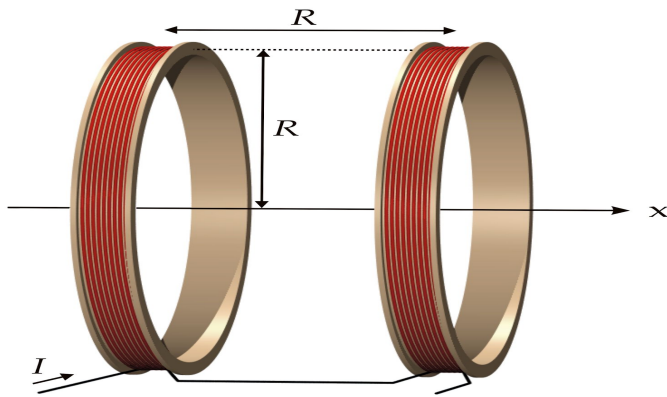
Et afin de connaître de mieux la position exacte de la bobine horizontale on peut ajouter une bobine au milieux des deux bobines gauche et droite.

Donc on obtient un système de 3 bobines.

20)· En considérant le centre de la bobine rectangulaire horizontale toujours à la même position, obtient-on toujours le même signal en faisant tourner horizontalement cette bobine sur elle-même ? Quel type de bobine faut-il choisir pour pouvoir récupérer une information indépendante de l'orientation du robot

-On obtient pas toujours le même signal en faisant tourner horizontalement cette bobine sur elle même, car le champ magnétique varie ce qui explique la variation du signal.

Il faut choisir la bobine de type Helmholtz pour pouvoir récupérer une information indépendante de l'orientation du robot



Les bobines de Helmholtz, du nom de sont un dispositif constitué de deux bobines circulaires de même rayon, parallèles, et placées l'une en face de l'autre à une distance égale à leur rayon. En faisant circuler du courant électrique dans ces bobines, un champ magnétique est créé dans leur voisinage, qui a la particularité d'être relativement uniforme au centre du dispositif dans un volume plus petit que les bobines elles-mêmes.

21) Qu'est ce que cela changerait sur la technique de calcul utilisée? Peut-on toujours établir une formule comme dans le premier cas ? Les paramètres d'intégrations évoluent comment ?

changement:

Un **champ magnétique** est créé dans leur voisinage, qui a la particularité d'être relativement uniforme au centre du dispositif dans un volume plus petit que les bobines elles-mêmes.

La FEM

$$e = \oint_C \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = -\frac{d\phi}{dt}$$

*Oui on peut toujours établir une formule.

Pour les paramètres d'intégration : ils seront défini par rapport à la longueur et la largeur de notre bobine

22) Au vu des courbes tracées peut-on établir la position du centre de la bobine par rapport au fil ? Pour une tension donnée combien de positions sont possibles ?

pour une tension donnée il est possible de trouver deux positions symétriques par rapport au fil

et pour savoir exactement de quel côté du fil, là il faut comparer la tension dans les deux bobines

23): Combien de bobines et quelles opérations mathématiques sont nécessaires pour reconstituer toutes les variables définies à la question 6 permettant un asservissement correct?

il faut 3 bobine pour bien assurer un asservissement correct.

si la distance entre les deux roue et le fil est identique => la vitesse des deux moteurs est identique.

$$Dd = Dg \Rightarrow Vd = Vg$$

si la distance entre les deux roue et le fil n'est pas identique => la vitesse des deux moteurs est différentes

$$Dd \neq Dg \Rightarrow Vd \neq Vg$$

- $Dd > Dg \Rightarrow Vg > Vd$
- $Dd < Dg \Rightarrow Vd > Vg$