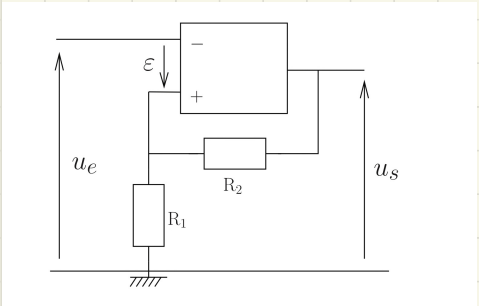
LP 42 : Hystérésis et bistabilité

1. Etude du comparateur à hystérésis

On considère un AO en régime saturé.



$$\begin{cases} u_s = +V_{sat} & \text{si } \varepsilon > 0 \\ u_s = -V_{sat} & \text{si } \varepsilon < 0 \end{cases}$$

Il y a, en fonction de la tension d'entrée u_e deux valeurs possibles de la tension de sortie.

Montrons que le système est sujet à un phénomène d'hystérésis.

Ici $\varepsilon = V_+ - V_-$. Avec $V_- = u_e$

et à l'aide d'un pont diviseur de tension

$V_+ = \dfrac{R_1}{R_1+R_2} u_s$. Donc $\varepsilon = \dfrac{R_1}{R_1+R_2} u_s - u_e$

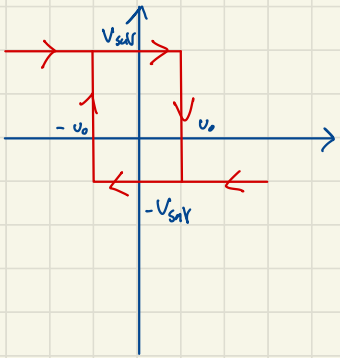
On pose $u_0 = \dfrac{R_1}{R_1+R_2} V_{sat}$

alors $\varepsilon = \pm u_0 - u_e$

On s'intéresse à la caractéristique du système. En partant de $u_e > u_0$ alors $\varepsilon = \pm u_0 - u_e < 0$ nécessairement donc $u_s = -V_{sat}$, $\varepsilon = -u_0 - u_e$

On diminue u_e jusqu'à $\varepsilon > 0$ donc $u_e = -u_0$, alors $u_s = -V_{sat}$, $\varepsilon = u_0 - u_e > 0$

On peut faire croître u_e jusqu'à u_0 et alors $\varepsilon < 0$:

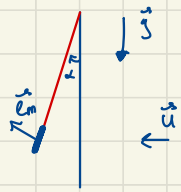


La caractéristique est un cycle à hystérésis.

La valeur u_s de la sortie dépend de l'histoire de l'entrée u_e. Ceci est dû à une bistabilité : pour $|u_e| < u_0$, $\varepsilon = \pm u_0 - u_e$ peut être positif ou négatif en fonction de l'état de u_s : il y a deux états stables de u_s : u

2. Pendule à hystérésis

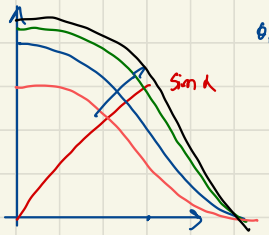
Pendule constitué d'un disque dans un écoulement d'air de vitesse u uniforme



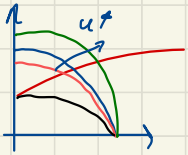
$$\vec{F} = \frac{1}{2} \rho_{air} C_N S_d u^2 \vec{e_n}$$

$$\Gamma_t = \frac{1}{2} \rho_{air} C_T^{(1)} S_d \cos^2\alpha \, u^2 \, \Pi(\pi/4, \pi/2)$$ ← portes

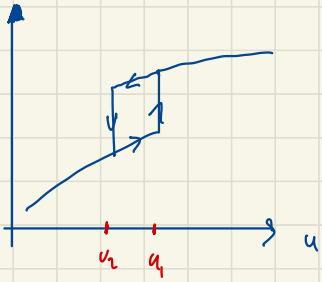
$$\Gamma_p = \frac{1}{2} \rho_{air} C_p(\alpha) S_d \cos\alpha \sin\alpha \, u^2 \, \Pi(0, \pi/4)$$

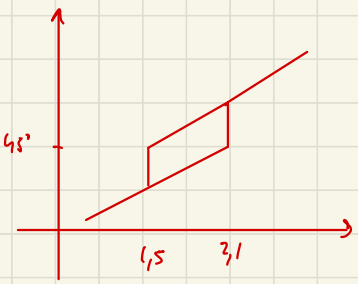


$\theta_{eq} > 45°$, jusqu'à $\theta_{eq} = 90°$: perte de stabilité



$\theta_{eq} < 45°$ u^2





Code python pour illustrer.

On montre qualitativement que les deux positions d'équilibre sont stables.

3. Bistabilité optique

Origine : existence de deux états stables : rendu possible par une non linéarité du système

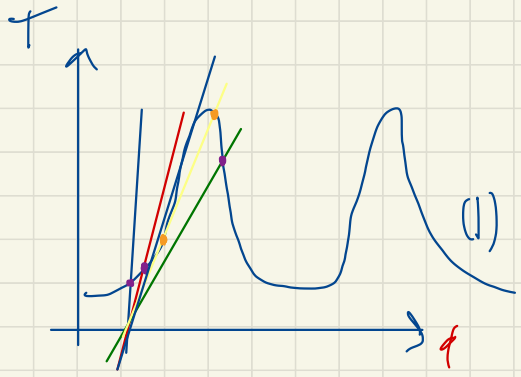
On place un élément non linéaire dans une cavité Fabry-Perot :

$$T = \frac{I_s}{I_e} = \frac{1}{1 + \frac{4R}{(1-R)^2}\sin^2\frac{\phi}{2}} \quad (1) \quad , \phi = \frac{2\pi n \ell}{\lambda}$$

$$n = n_0 + n_2 I_{int} \quad , \phi = \phi_0 + n_2 K I_s$$

$$= \phi_0 + n_2 K \cdot \frac{I_s}{I_e} \cdot I_e$$

donc $$\frac{I_s}{I_e} = (\phi - \phi_0)\frac{1}{n_2 K I_e} = T$$



(2) tracé pour différentes valeurs de I_e.

Deux expressions de $T(\phi)$, le système fonctionne au croisement : deux positions d'équilibre (stabilité difficile à justifier).
L'état du système dépend de son histoire : on trace qualitativement le cycle.
App° : effet transistor optique, portes logiques etc...

Source : bistabilité optique S. Laval.

transmission Fabry-Perrot :

$$S_t = \sum_{m=0}^{+\infty} S_0 \left(R e^{i\phi}\right)^m = S_0 \cdot \frac{1}{1 - R e^{i\phi}} \quad , \quad S_0 = (1-R) S_i$$

$$I_t = S_t S_t^* = \frac{S_0^2}{(1 - R e^{i\phi})(1 - R e^{-i\phi})} = |S_i|^2 \frac{(1-R)^2}{1 + R^2 - 2R\cos\phi}$$

$$= I_i \cdot \frac{(1-R)^2}{1 + R^2 - 2R\cos\phi}$$

$$T = \frac{I_t}{I_i} = \frac{(1-R)^2}{1 + R^2 - 2R\cos\phi} = \frac{1}{1 + \frac{4R}{(1-R)^2} \sin^2\left(\frac{\phi}{2}\right)}$$

bistabilité dans un ferro peut aussi être abordée mais plus complexe:

Pour expliquer l'hystérésis dans les ferro : spin-orbite:

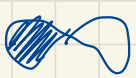
à bonne temp: $F = U - TS = U$, on minimise les termes d'int°

* int° dipole-dipôle : ↑ ↓ stabilisant mais trop faible

* int° spin-spin (d'échange) : Pauli + électrostatique

$$|\Psi(1,2)\rangle = -|\Psi(2,1)\rangle = |\Psi_{orb}(1,2)\rangle \otimes |\Psi_{spin}(1,2)\rangle$$

antisym souhaitée :

 : les $\bar{c}$ sont éloignés

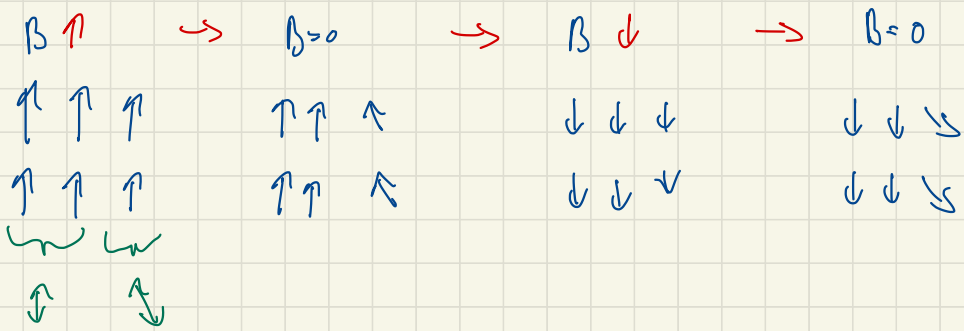
donc $|\Psi_{spin}(1,2)\rangle$ symétrique : dans le même sens.

* int° spin-orbite

Les irrégularités cristallines créent une int° en $\sin^2\phi$

où ϕ est l'angle avec la dir° de facile aimantation.

On peut alors expliquer l'hystérésis par bistabilité :



$\vec{M}$:

* c'est l'int° spin

donc

orbite qui est à l'origine de la bistabilité et donc de l'hystérésis.

L'énergie libre $F = U - TS$ permet d'expliquer à haute température la transition para-ferro mais pas le ferro.

Questions

- **T'as choisis trois exemples d'hystérésis, pourquoi ceux là en particulier ?** Dans d'autres exemples (perte d'élasticité, ferro) le coté bistable est bcp moins intuitif. Pour le ferro c'est assez faisable mais trop dur.
- **T'as pas défini la stabilité ?** C'est un oubli, il le défini sur l'exemple 1 en mode équilibre stable par petite perturbation.
- **Quand t'as un troisième point d'intersection qu'est-ce qui se passe ?** En fait à 45 degrès y'a pas vraiment d'équilibre
- **Par contre en optique y'a trois point de fonctionnement** En fait les deux premiers vont se rejoindre.
- **Ouais mais si on initialise dans le point intermédiaire, est-ce que c'est possible et ça ferait quoi ?** Pas facile à voir comme ça
- **Pédagogiquement t'as introduit bcp de choses sur la couche de trainée etc, est-ce que tu penses qu'en L3 c'est bien compris ?** Bof mais suffisant pour comprendre l'étude.
- **Quand t'as tracé tes courbes, t'as fait en sorte qu'un coeff soit plus grand que l'autre, est-ce que c'est systématique ?** Non c'est propre au corps
- **À quoi sont liés ces coeff ?** Seulement à l'aspect géométrique

- **Tu présentes le comparateur à hystérésis, si jamais on a pas de ε qu'est ce qui se passe** On a juste du bruit donc convergence immédiate aléatoire et pas de condition sur une valeur minimale de ce bruit.
- **T'as proposé de prendre un signal informatif sinus, qu'est ce qui se passe si c'est plus petit que 1** En fait ça marche pas psq trop petit donc on atteindra jamais la commande de déclenchement de la commutation.
- **Est-ce que t'as des exemples concrets de la modulation de fréquence : pq on l'utilise ?** Pour éliminer un bruit lors du transport, ou encore pour augmenter la fréquence de notre système pour de la transmission
- **Le dispo que tu présentes est-ce qu'il est utilisé dans la vraie vie ?** Non c'est des trucs mieux
- **Tu présentes le Fabry-Pérot, c'est quel type d'interféromètre ?** Division d'amplitude, plus grande finesse que le Michelson car c'est un interféromètre à n ondes et pas à 2 ondes
- **Effet Kerr optique, niveau l3 ?** Non c'est juste pour donner le nom
- **Comment tu expliques ça ?** EM dans les milieux non linéaires, la non linéarité est dans la susceptibilité électrique non ? Il a dit l'inverse
- **A quel point c'est un bon système le truc optique pour faire des bit ?** Bah c'est trop gros mais c'est pas mal car on peut optimiser le temps de commutation
- **En terme de lecture/ écriture c'est facile ?** Oui simple capteur d'intensité ou alors on peut brancher des trieurs d'impulsions donc c'est très simple
- **Y'a un écart d'intensité énorme, t'as un odg ?** Non
-
- **Comment tu pourrais adapter la leçon à des TPs ?** On peut regarder les domaines de Weiss ave un modèle d'Ysing. C'est très visuel et abordable.
- **Comment tu les observes ?** On utilise l'effet Faraday avec des polariseurs croisés.
- **Et dans le cadre de la leçon ?** Le comparateur à hystérésis. Tout ce que j'ai présenté est faisable en salle de TP. Ici j'avais pas le temps de le faire.
- **Tu as une idée de l'odg de transmitance et réflexion des miroirs ? Et qu'est-ce qu'on pourrait utiliser pour ta cavité ?** On veut R très grand, proche de 1.
- **Sur ton comparateur, est-ce que c'est pas mieux un RLC pour répondre à la consigne ?** Ce compliquerait juste les choses, l'étude et le fonctionnement.
- **Tu peux détailler un peu plus l'explication sur les couches limites ?** C'est assez phénoménologique. Ca fait la transition antre l'écoulement parfaitement laminaire et les CL où la viscosité n'est plus négligeable. En fait, quand on trace $C_x = f(R_e)$, on montre que dans la zone où le coeff est constant, il y a une chute à très haut Reynold où la constante dimiune d'un coup. Cette chute est liée au décrochement de la couche limite. En l'expliquant, je me rend compte que le rôle de l'angle est pas cohérent avec mes cas limite dans le raisonnement [4]
- **Tes deux derniers exemples sont très théoriques. Est-ce que tu as un exemple plus visuel ou abordable avec les mains ?** Je vois que le ferro qui est pas mieux. **On peut voir ça avec la surfusion des liquides lors des transitions de phase. On regarde l'énergie libre.**