

# M 242 Système Electroniques Embarqués

## 1. Culture générale

Embarqué : Source d'énergie interne

Pas embarqué : Source d'énergie externe

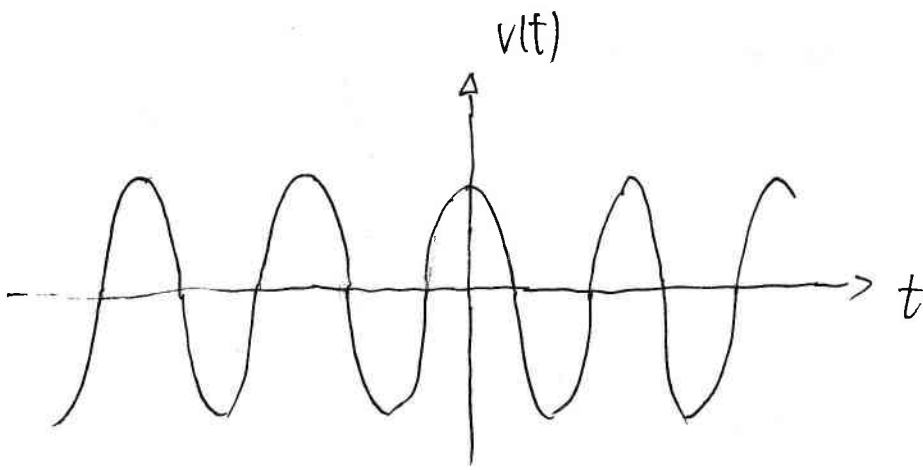
exemple de l'ordinateur portable .

↳ débranché = embarqué

↳ branché = pas embarqué.

\* La prise électrique :  $V_{\text{eff}} = 230 \text{ V}$

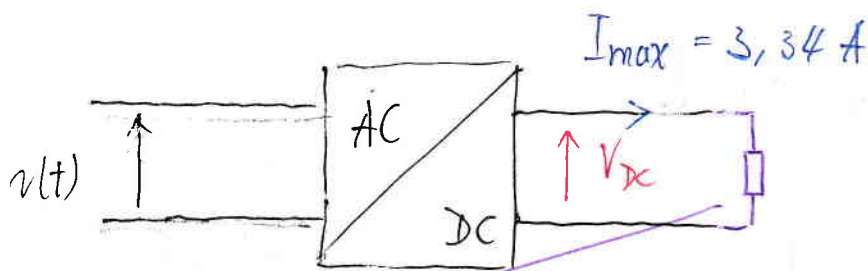
En réalité  $v(t) = 230\sqrt{2} \cos(\omega t) \Rightarrow V_{\text{max}} = 325 \text{ V}$



$$\omega = 2\pi f$$

$$\hookrightarrow f = 50 \text{ Hz}$$

$$\hookrightarrow T = \frac{1}{f} = 20 \text{ ms}$$



par exemple

$$V_{dc} = 19,5 \text{ V}$$

→ Résistance qui modélise l'ordinateur

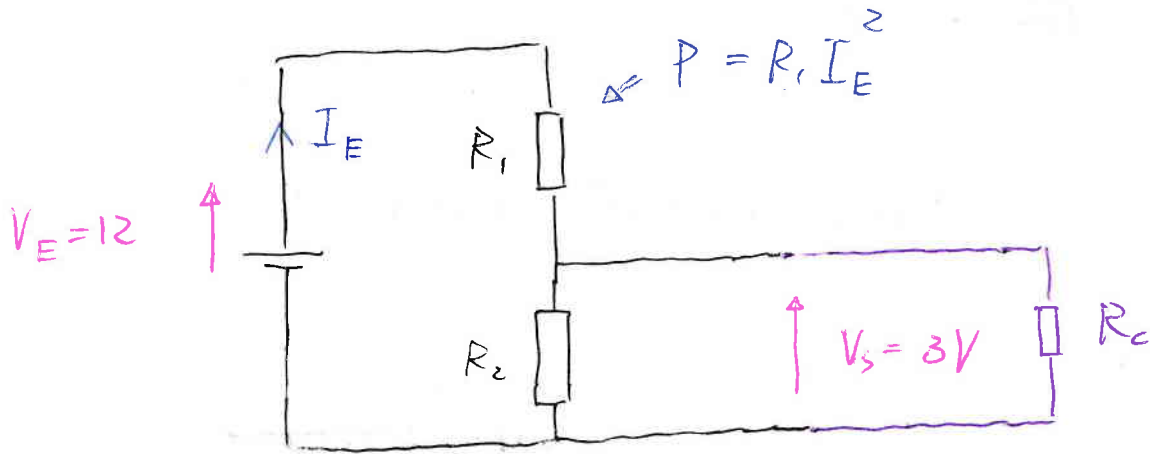
$$R = ? 5,8 \Omega$$

Question : Comment passer du 12 V<sub>dc</sub> (batterie)

à du 3 V<sub>dc</sub> (μP) ?

## 2. 2e diviseur de tension

idée :



$$V_s = V_E \times \frac{R_2 \parallel R_c}{R_1 + R_2 \parallel R_c}$$

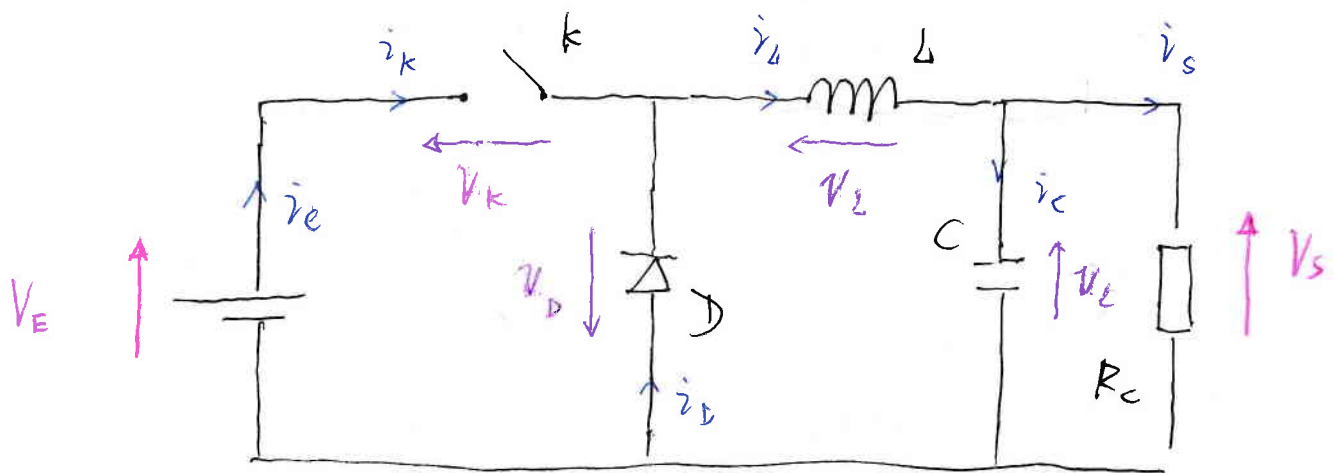
Problème 1 : le niveau de tension  $V_s$  dépend de la valeur de la charge  $R_c$

Problème 2 : le rendement : il y a de la puissance  $P$  qui est dissipée dans  $R_1$  et dans  $R_2$  ; ce qui correspond à des pertes.

⇒ On ne fait jamais un diviseur de tension.

### 3. Convertisseur buck.

Autre noms : hacheur abaisseur, hacheur série



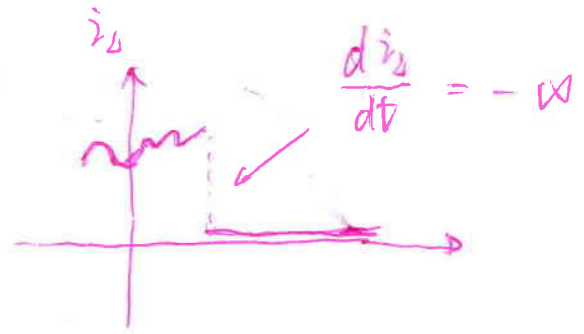
Relations tensions. courants de ces composants :

$$* V_s = R i_s$$

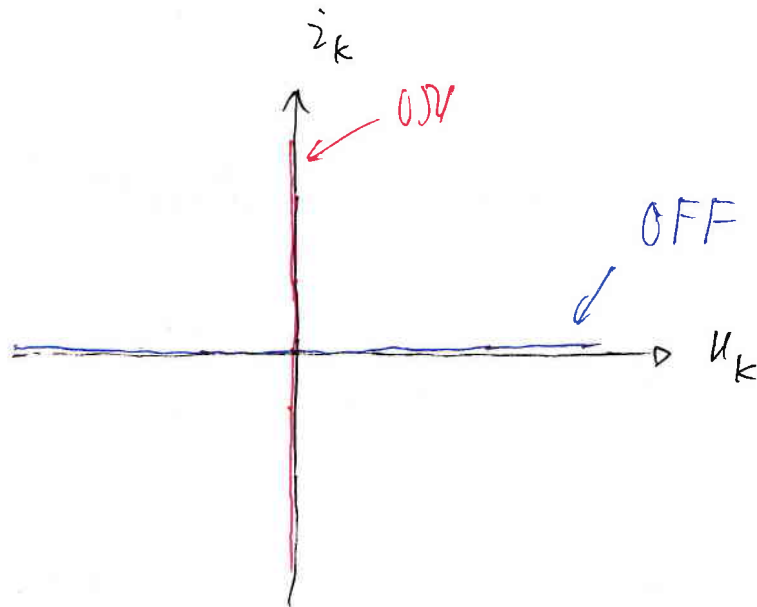
$$* V_E = V_E \quad \forall i_E$$

$$* i_C = C \times \frac{dv_C}{dt}$$

$$* u_d = L \times \frac{di_d}{dt}$$

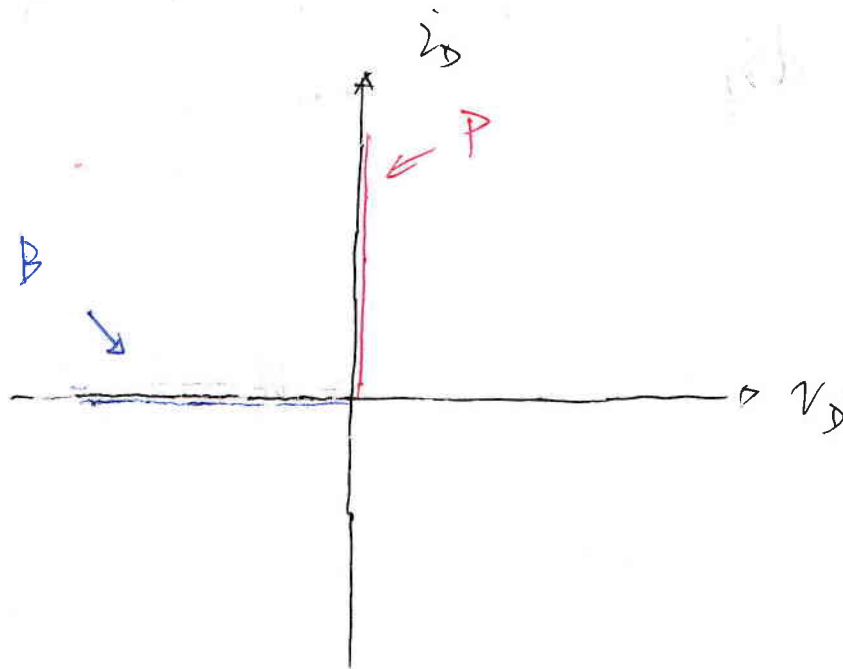


\* interrupteur :  $\left\{ \begin{array}{l} \text{fermé (ON)} \Rightarrow u_k = 0, i_k = ? \\ \text{ouvert (OFF)} \Rightarrow i_k = 0, u_k = ? \end{array} \right.$



\* Diode : Si  $i_D > 0 \Rightarrow v_D = 0$  (passante)

Si  $v_D < 0 \Rightarrow i_D = 0$  (bloquée)



hypothèse : le montage fonctionne correctement.

$$\Rightarrow V_s = 3V ; \quad v_s = V_s + \Delta V_s$$

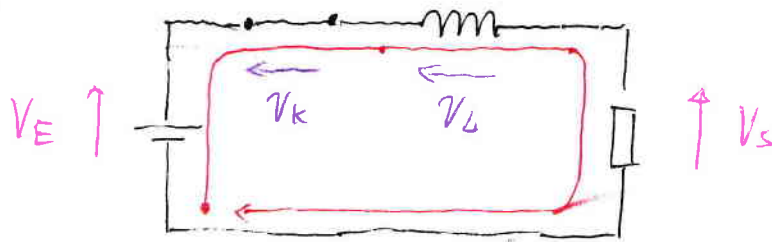
mais je suppose  $\Delta V_s \ll V_s$  ; par exemple

on peut avoir  $\frac{\Delta V_s}{V_s} = 5\% \Rightarrow \Delta V_s = 0,15V$

méthode de fonctionnement :

①  $\forall t \in [0; \alpha T_d]$ ,  $k$  ON  $0 < \alpha < 1$ ,  $T_d$  période de découpage

grande maille :

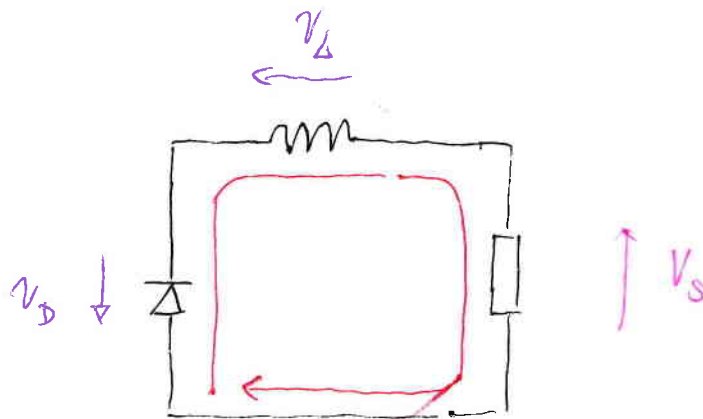


$$+ V_E - V_k - V_L - V_S = 0$$

$$\Rightarrow V_L = V_E - V_S$$

②  $\forall t \in [\alpha T_d; T_d]$ ,  $k$  OFF

maille moyenne :



$$- V_D - V_L - V_S = 0$$

$$V_L = -V_D - V_S \quad (V_D = -V_L - V_S)$$

↳ mise en conduction de la diode  $\Rightarrow V_D = 0$

$$V_L = -V_S$$

③ Calculons  $\langle v_L \rangle$  car  $\langle v_L \rangle = 0$  en Régime Etabli

En régime établi  $\langle x \rangle_{Td} = \text{cte}$

donc  $\langle i_L \rangle = \text{cte} \Rightarrow \langle v_L \rangle = \langle L \frac{di_L}{dt} \rangle$

$$= 2 \frac{d}{dt} \langle \dot{r}_\Delta \rangle$$

$$= 0$$

#1 - 0, 2nd, Td

#? k OFF?, k OFF?

(8)?



$$\langle V_L \rangle = \frac{1}{T_d} \int_0^{T_d} V(t) dt$$

$$= \frac{1}{T_d} \int_0^{\alpha T_d} (V_E - V_s) dt + \frac{1}{T_d} \int_{\alpha T_d}^{T_d} (-V_s) dt$$

$$= \frac{V_E - V_s}{T_d} [t]_0^{\alpha T_d} + \frac{-V_s}{T_d} [t]_{\alpha T_d}^{T_d}$$

$$= \frac{V_E - V_s}{T_d} (\alpha T_d) + \frac{-V_s}{T_d} (T_d - \alpha T_d)$$

$$= \alpha V_E - \alpha V_s - V_s + \alpha V_s$$

$$= \alpha V_E - V_s = 0$$

$\Rightarrow$

$$V_s = \alpha V_E$$

A.N:  $V_E = 12\text{ V}$  et  $V_S = 3\text{ V} \Rightarrow \alpha = 0,25$

$\Rightarrow 25\%$  du temps k ON

$\Rightarrow 75\%$  du temps k OFF

$\alpha$  : Rapport cyclique (duty cycle)

$$\alpha = \frac{T_{\text{ON}}}{T_d}$$

Remarque ① : Le niveau de tension  $V_S$  ne dépend pas de  $R_c$

Maintenant, calculons le rendement :

$$\eta = \frac{\langle P_S \rangle}{\langle P_E \rangle}$$

$\eta$  :  $\hat{\text{eta}}$

$$\langle P_E \rangle = \frac{1}{T_d} \int_0^{T_d} P_E(t) dt = \frac{1}{T_d} \int_0^{T_d} V_E i_E dt$$

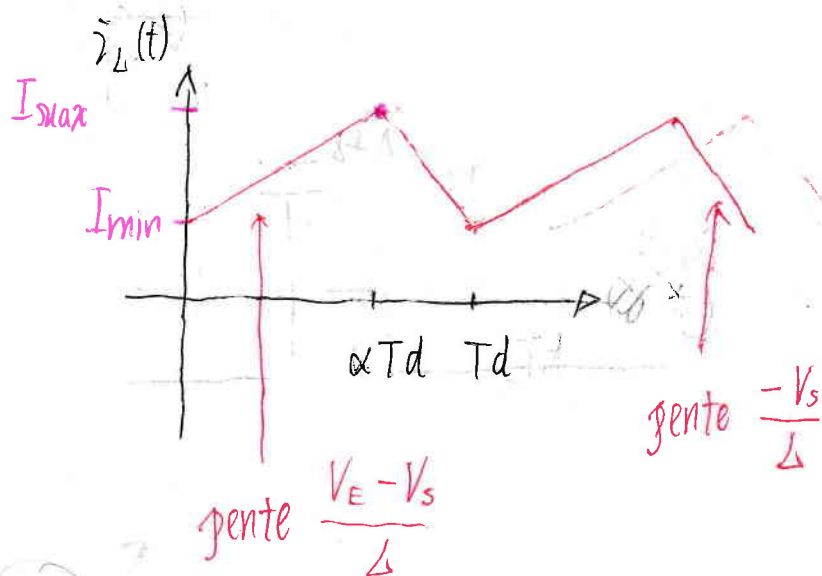
$$= \frac{1}{T_d} \int_0^{\alpha T_d} \frac{V_s}{\alpha} i_L dt + \frac{1}{T_d} \int_{\alpha T_d}^{T_d} \frac{V_s}{\alpha} \times 0 dt$$

$$= \frac{V_s}{\alpha T_d} \int_0^{\alpha T_d} i_L(t) dt$$

Il faut calculer l'expression de  $i_L(t)$ ,  $\forall t \in [0, \alpha T_d]$

$$V_L(t) = V_E - V_s = L \frac{di_L(t)}{dt} \Rightarrow \frac{di_L}{dt} = \frac{V_E - V_s}{L} = \text{cte} > 0$$

$\Rightarrow i_L(t)$  est une droite

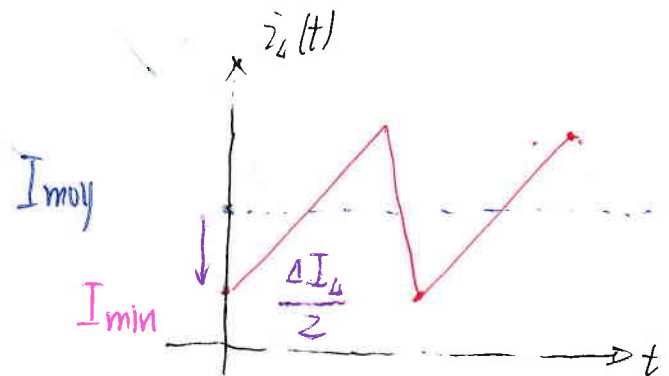


$$\Rightarrow i_L(t) = \frac{V_E - V_S}{L} \times t + I_{min}$$

$$\text{à } t \approx \alpha T_d \Rightarrow \frac{V_E - V_S}{L} \times \alpha T_d + I_{min} = I_{max}$$

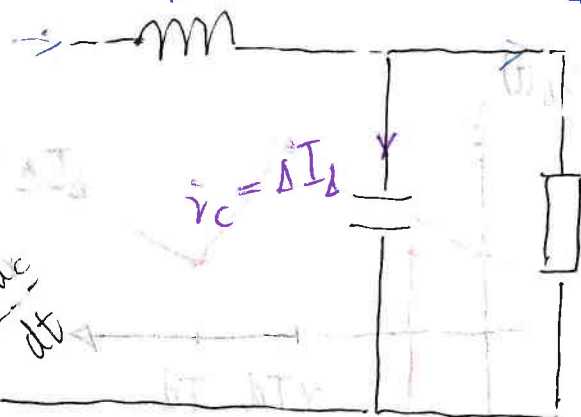
$$\Rightarrow \Delta I_L = I_{max} - I_{min} = \frac{V_E - V_S}{L} \alpha T_d$$

$$\text{Or } I_{min} = I_{moy} - \frac{\Delta I_L}{2}$$



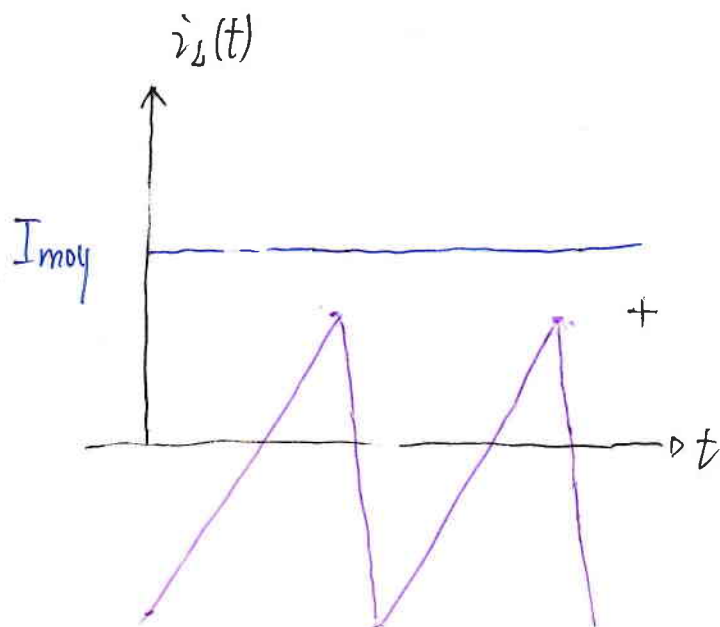
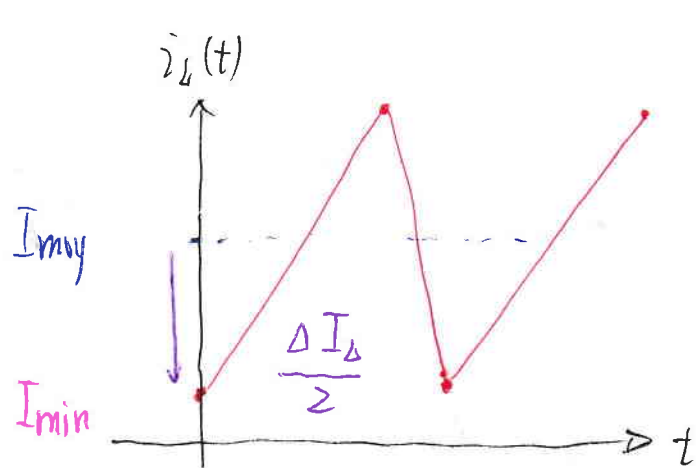
$$i_L(t) = I_{moy} + \Delta I_L$$

$$I_s = \frac{V_s}{R} = \text{cte}$$



$I_s = I_{L \text{ moy}}$   
 $I_C = \Delta i_L$

Car on a un filtre passe-bas



$$\Rightarrow I_{moy} = I_s = \frac{V_s}{R}$$

$$\forall t \in [0, \alpha T_d] : i_d(t) = \frac{V_E - V_s}{L} \times t + I_{moy} - \frac{\Delta I_d}{2}$$

$$= \frac{V_E - V_s}{L} \times t + \frac{V_s}{R_c} - \frac{V_E - V_s}{2L} \times \alpha T_d$$

$$= \frac{V_E - V_s}{2L} (2 \times t - \alpha T_d) + \frac{V_s}{R_c}$$

$$V_E = \frac{V_s}{\alpha}$$

↑

$$= \frac{V_s - \alpha V_s}{2\alpha L} (2xt - \alpha Id) + \frac{V_s}{R_c}$$

$$\dot{i}_L(t) = \frac{(1-\alpha)}{\alpha} \times \frac{V_s}{2L} \times (2t - \alpha Id) + \frac{V_s}{R_c}$$

15/01/2021

$$\frac{dI_L}{dt} = \frac{1}{L} \left( V_s - \alpha V_s - \alpha Id \right) + \frac{V_s}{R_c}$$

$$I_L = \frac{V_s}{R_c}$$

$$\Rightarrow \langle P_E \rangle = \frac{V_s}{\alpha T_d} \int_0^{\alpha T_d} i_L(t) dt$$

17?  
18?  
22?  
23?

$$= \frac{V_s}{\alpha T_d} \int_0^{\alpha T_d} \left( \frac{(1-\alpha)}{\alpha} \cdot \frac{V_s}{Z_L} \times (2t - \alpha T_d) + \frac{V_s}{R_c} \right) dt$$

$$= \frac{V_s}{\alpha T_d} \left[ \frac{(1-\alpha)}{\alpha} \cdot \frac{V_s}{Z_L} \times (t^2 - \alpha T_d \times t) + \frac{V_s}{R_c} \times t \right]_0^{\alpha T_d}$$

$$= \frac{V_s}{\alpha T_d} \times \left( \frac{V_s}{R_c} \times \alpha T_d \right)$$

$$= V_s \times I_s$$

$$= \langle P_s \rangle$$

$$\eta = \frac{\langle P_s \rangle}{\langle P_E \rangle} = 1$$

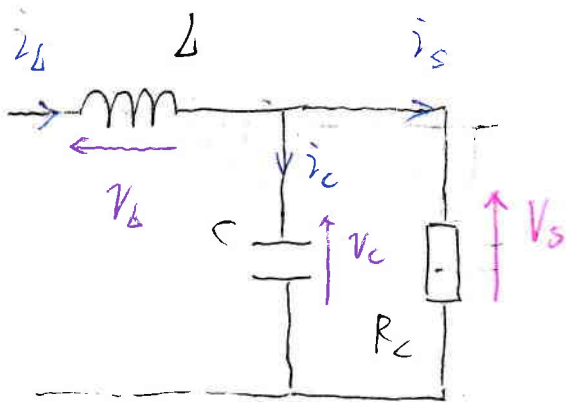
Remarque  $\geq$  : le rendement est unitaire.

Maintenant, comment choisir  $f_d = \frac{1}{T_d}$ ,  $\Delta$ , et  $C$  ?

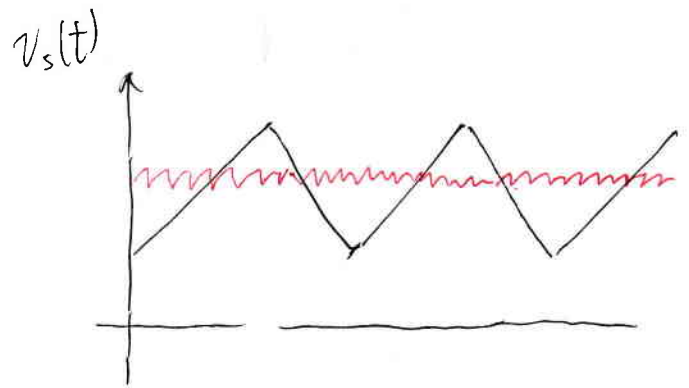
$\Rightarrow$  Il faut regarder les ondulations d'une part et la technologie d'autre part.

En effet, on veut  $V_s = V_s + \Delta V_s$  ( $\Delta V_s$  : ondulation)

Après



$$i_c = C \frac{dv_c}{dt}$$





Après calcul, on trouve :

$$\frac{V_E - \alpha V_E}{\Delta T f} \approx \alpha$$

$$\Delta V_s = \frac{\alpha (1 - \alpha) V_E}{8 \Delta C f d^2}$$

$$\Delta \tilde{I}_\Delta = \frac{\alpha (1 - \alpha) V_E}{\Delta f d}$$

Si on ne veut pas d'ondulation :  $\Delta = +\infty$  ;  $C = +\infty$  ;  $f d = +\infty$

Augmenter  $\Delta$  et  $C$  coûte en €, masse, volume, en matériaux.

On va plutôt miser sur l'augmentation de  $f d$ .

En 2021, on a  $1 \text{ kHz} < f d < 1 \text{ MHz}$ , c'est

valeur dépendant de la technologie.

Par exemple : on fixe  $f d = 10 \text{ kHz}$ , et on veut :

$$\frac{\Delta V_s}{V_s} = 5 \%$$

$$\frac{\Delta \tilde{I}_\Delta}{I_\Delta} = 10 \%$$

avec  $P_s = 30 \text{ W}$

$$\Rightarrow L = 224 \mu H$$

$$C = 83 \mu F$$

$$P_s = V_s I_s = V_s I_L$$

$$I_L = \frac{30}{3} = 10 A$$

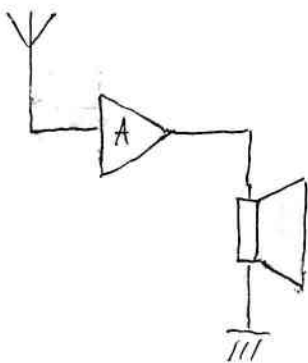
#### 4. Les interrupteurs : des transistors

invention : 23 décembre 1947 (laboratoire Bell)

prix Nobel en 1956.

les transistors sont des tripôles

Objectif : amplificateur miniature



stockage de données

0110...10

Electronique

Numérique



interrupteur

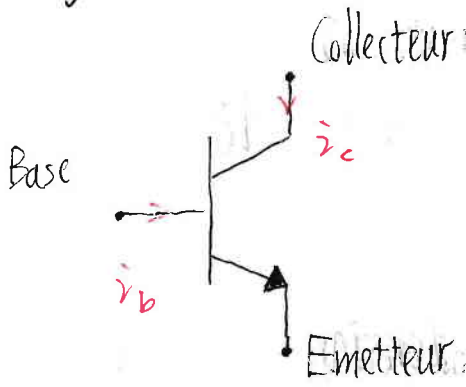
Electronique de

Puissance

Electronique

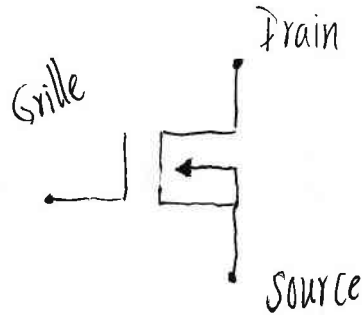
Analogique

bipolaire

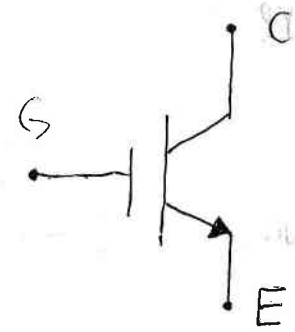


$$i_c = \beta i_b$$

Transistor à effet de  
champ



IGBT



Matériau de base = Si

le Si est un semi-conducteur : on peut modifier  
la conductivité du matériau. Si pur  $\rightarrow$  isolant

Si + Dopage (As, Ga, In, ...)  $\rightarrow$  conducteur

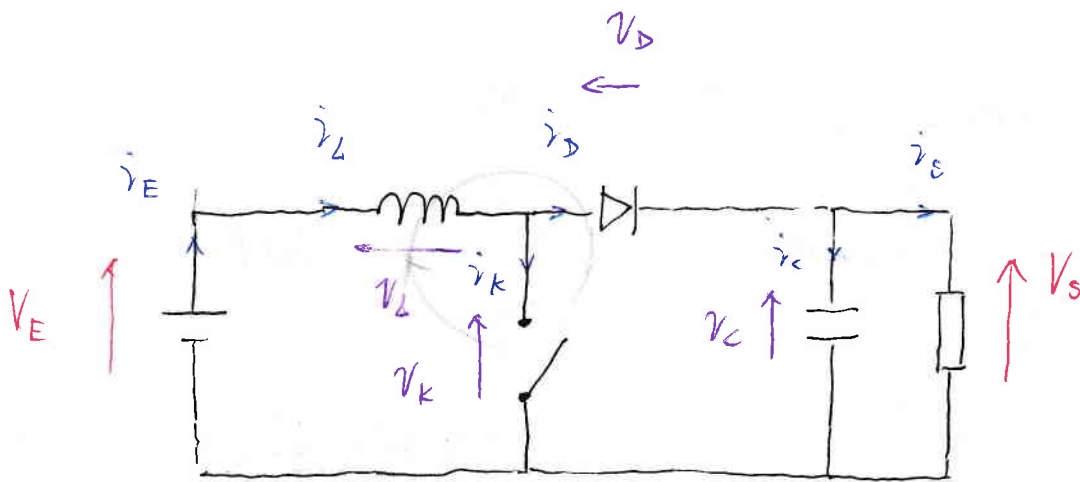
$\Rightarrow$  On comprend l'application "interrupteur"

## 5. Convertisseur boost

Autre noms : Hacheur élévateur, hacheur parallèle

Question : Est-il possible d'augmenter la tension :  $V_s \geq V_e$  ?

Par exemple : Calculatrice "collège"  $\left\{ \begin{array}{l} V_E = 3V \\ V_s = 9V \end{array} \right.$



Calculer  $V_s$  en fonction de  $V_E$  (hypothèse :  $v_s = V_s + 4V_s$ ) :

$$\textcircled{1} \quad \forall t \in [0; \alpha T_d] \quad k \text{ ON}$$

$$V_E = v_L + v_k \quad \text{avec } v_k = 0 \Rightarrow v_D = -v_s < 0 \quad D \text{ OFF}$$

$$V_E = v_L$$

$$\textcircled{2} \quad \forall t \in [\alpha T_d; T_d] \quad k \text{ OFF}$$

$$V_E = v_L + V_s + v_D \quad \text{mais } D \text{ ON} \Rightarrow v_D = 0$$

$$V_E = v_L + V_s$$

$$\textcircled{3} \quad \langle v_L \rangle = 0$$

$$\langle v_L \rangle = \frac{1}{T_d} \int_0^{T_d} v_L(t) dt$$

$$= \frac{1}{T_d} \int_0^{\alpha T_d} V_E dt + \frac{1}{T_d} \int_{\alpha T_d}^{T_d} (V_E - V_s) dt$$

$$= \frac{1}{T_d} \left( V_E \times \alpha T_d + (V_E - V_S)(T_d - \alpha T_d) \right)$$

$$= \alpha V_E + V_E - \alpha V_E - V_S + \alpha V_S$$

$$= V_E + V_S(-1 + \alpha)$$

$$= 0$$

$$\Rightarrow V_S = \frac{V_E}{1 - \alpha}$$

(comme  $0 < \alpha < 1$ )

$$V_S > V_E$$

Maintenant, quelles sont les valeurs de  $f_d$ ,  $C$ ,  $L$  ?

Après calcul

$$\Delta V_S = \frac{\alpha V_E}{(1 - \alpha) R_c \cdot C \cdot f_d}$$

$$\Delta i_L = - \frac{\alpha V_E}{L f_d}$$

$$V_s = 9V$$

$$V_E = 3V$$

$$P_s = 5W$$

$$L \Rightarrow P_s = P_E$$

$$= < V_E \times I_E >$$

$$= V_E \times < i_E >$$

$$= V_E \times I_{\Delta \text{ moyenne}}$$

$$\frac{5W}{V_E = 3V} \Rightarrow I_{\Delta} = 1,67A$$

$$\Rightarrow \Delta i_{\Delta} = 0,167A$$

$$\frac{5W}{P_s} = \frac{V_s^2}{R_c} \Rightarrow R_c = 16,2 \Omega$$

$$5\% V_s = 0,45V$$

On fixe  $f_d = 20 kHz$ ,  $\frac{\Delta V_s}{V_s} = 5\%$   $\frac{\Delta i_{\Delta}}{I_{\Delta}} = 10\%$

$$\alpha = 2/3$$

$$\Delta = 0,6 mH$$

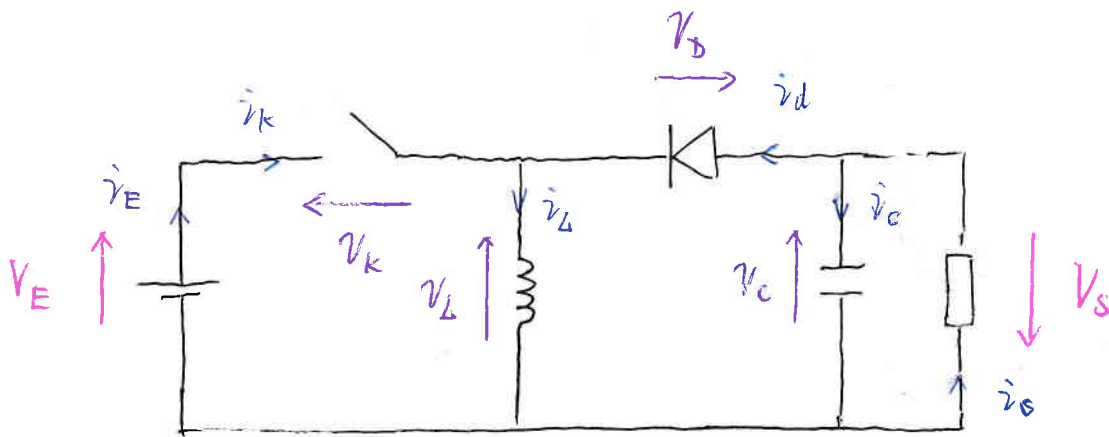
$$C = 41 \mu F$$





## 6. Convertisseur buck-boost

⇒ hacheur à stockage inductif



Quelle est la relation tension  $V_s$  par rapport à la tension  $V_E$  ?

9 #

$$\Rightarrow V_s = \frac{\alpha}{1-\alpha} V_E$$

← Démonstration à faire pour le TP 1

$$\text{Si } \alpha = 0,25 \Rightarrow V_s = \frac{1}{3} V_E \quad (\text{abaisseur})$$

$$\text{Si } \alpha = 0,75 \Rightarrow V_s = 3 V_E \quad (\text{élevateur})$$

A-t-on un rendement unitaire ?

$$\langle P_E \rangle = \langle V_E i_E \rangle$$

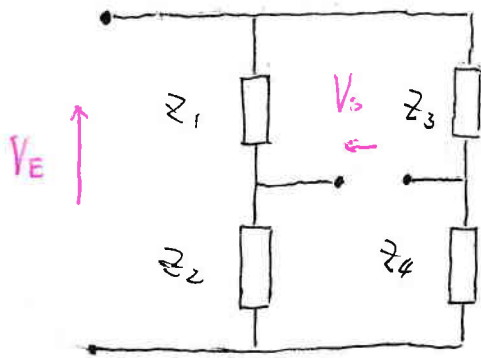
$$= \langle P_s \rangle$$

$\Rightarrow$

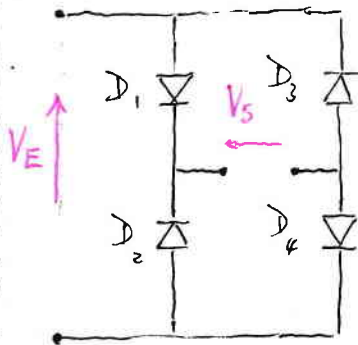
$$\eta = \frac{\langle P_s \rangle}{\langle P_E \rangle} = 1$$

## 7. Pont en H

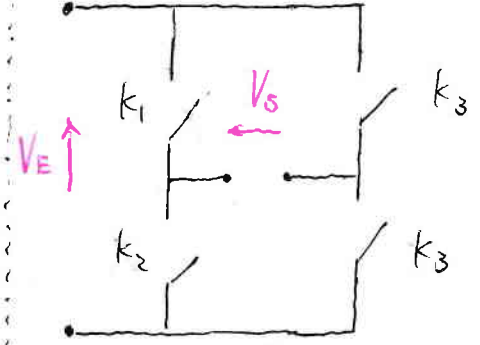
Pont : 4 composants électroniques placés de manière symétrique  
avec une "entrée" et une "sortie"



Pont de Wheatstone



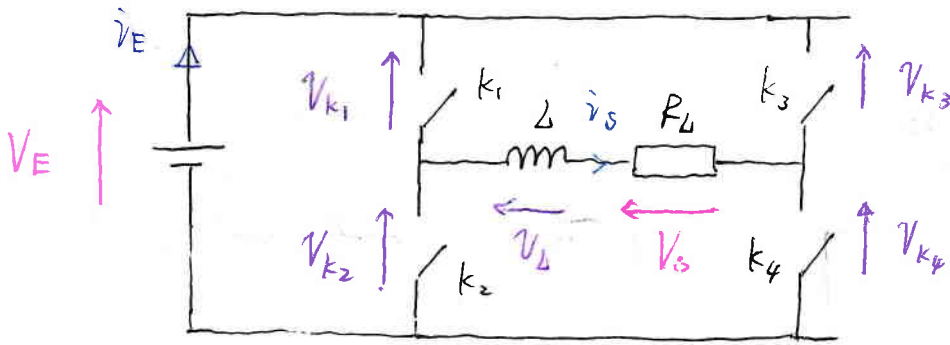
Pont de diode



Pont en H

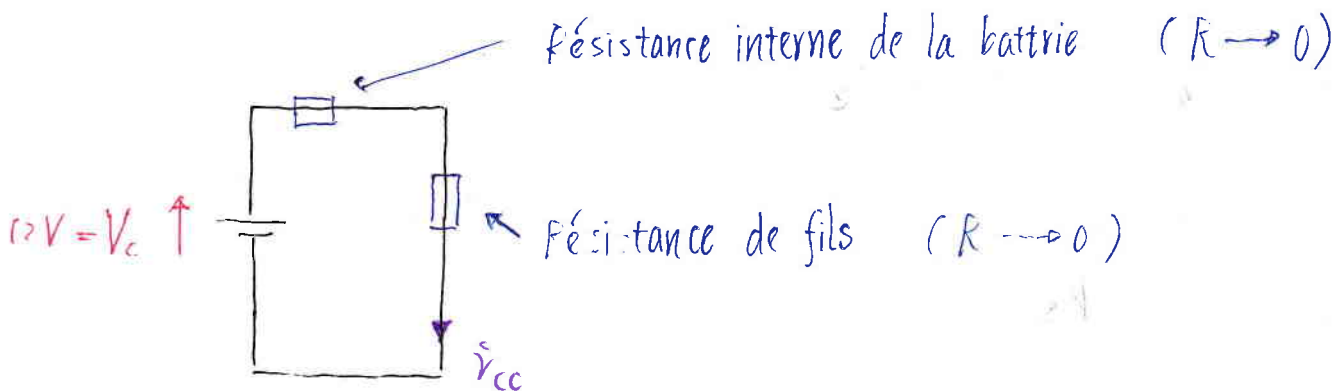
Si  $Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3 \Rightarrow V_s = 0$  à la base des AC/DC

Question : Peut-on avoir une tension de sortie  $V_s > 0$  ou  $V_s < 0$  en fonction de  $\alpha$  ?



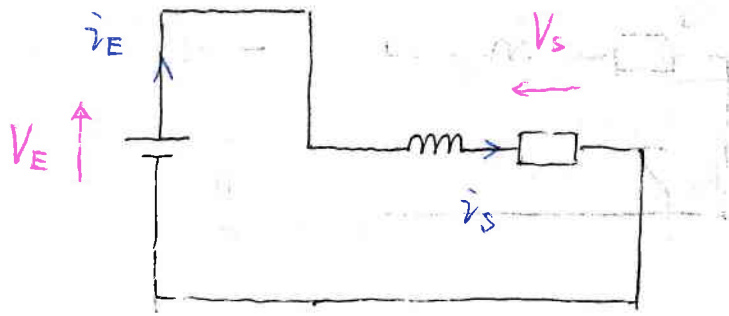
4 interrupteur :

⚠ si  $k_1$  et  $k_2$  OUV  $\Rightarrow$  on court-circuite la batterie

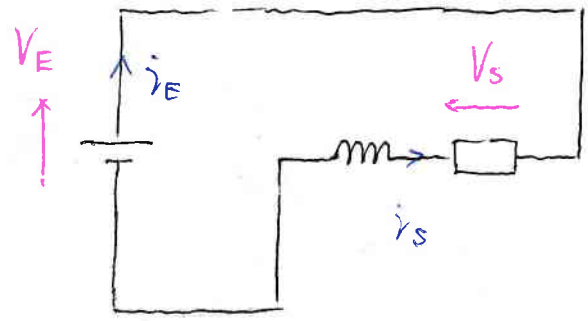


$$i_{cc} = \frac{V_E}{R_i + R_f} = +\infty$$

①:  $k_1$  et  $k_4$  ON,  $k_2$  et  $k_3$  OFF    ②:  $k_2$  et  $k_3$  ON,  $k_1$  et  $k_4$  OFF



$$i_E = i_S$$



$$i_E = -i_S$$

Question : Déterminer  $V_S$  en  $f^n$  de  $V_E$ ,  $\alpha$ .

①  $k_1$  et  $k_4$  ON,  $k_3$  et  $k_2$  OFF

$$V_E = V_L + V_S$$

②  $k_1$  et  $k_4$  OFF,  $k_2$  et  $k_3$  ON

$$V_E = -V_L - V_S$$

③  $\langle V_L \rangle = 0$

$$\begin{aligned}
\langle V_d \rangle &= \frac{1}{T_d} \int_0^{\alpha T_d} (V_E - V_S) dt + \frac{1}{T_d} \int_{\alpha T_d}^{T_d} (-V_E - V_S) dt \\
&= \frac{1}{T_d} (V_E - V_S)(\alpha T_d) + \frac{1}{T_d} (-V_E - V_S)(T_d - \alpha T_d) \\
&= \alpha V_E - \alpha V_S - V_E + \alpha V_E - V_S + \alpha V_S \\
&= (2\alpha - 1) V_E - V_S = 0
\end{aligned}$$

$$\Rightarrow \boxed{V_S = (2\alpha - 1) V_E} \quad \begin{array}{ll} \text{si } \alpha > 0.5 & V_S > 0 \\ \text{si } \alpha < 0.5 & V_S < 0 \end{array}$$

Remarque : Si  $T_d = \frac{1}{f_d} \gg \tau \rightarrow V_S \neq \text{cte.}$

Par exemple si  $k_i$  et  $k_f$  O.V.

$$V_E = V_L + V_S$$

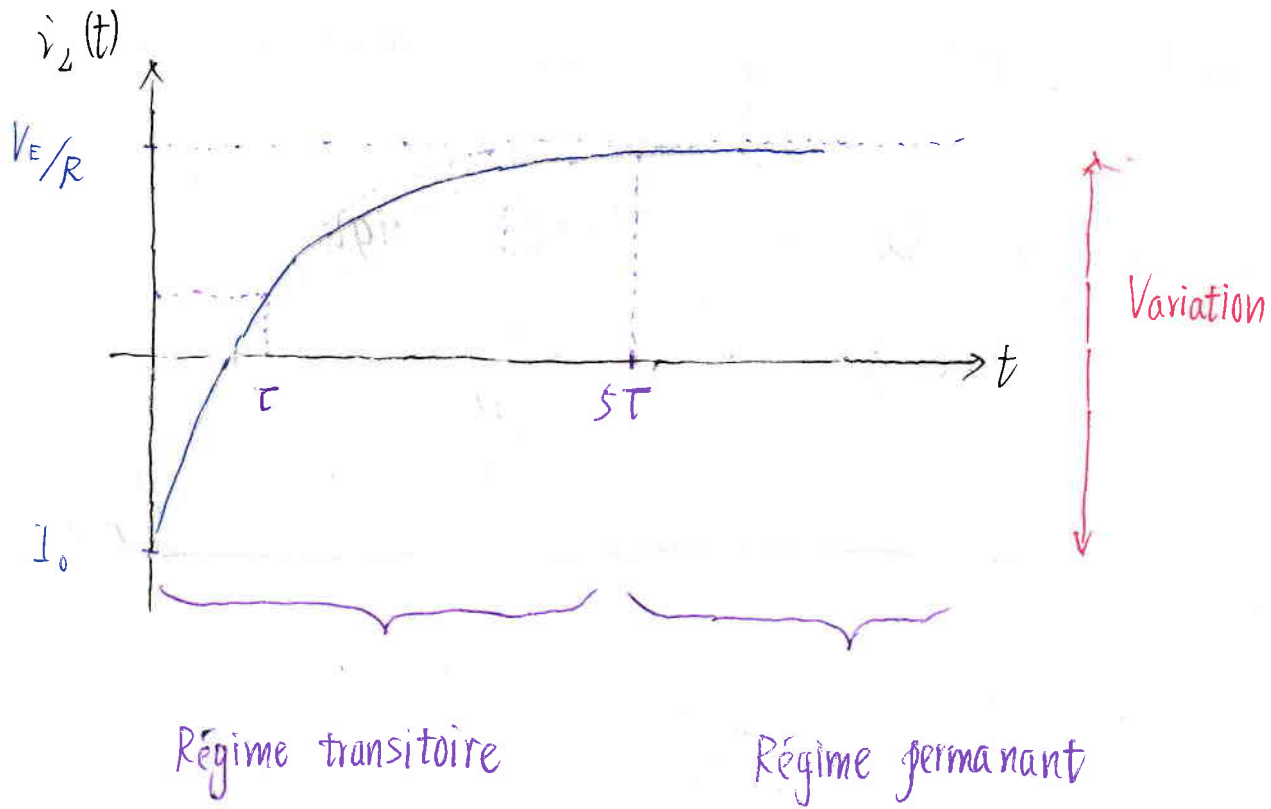
$$= L \frac{di_L}{dt} + R_C i_L$$

$$\Rightarrow \frac{di_L}{dt} + \frac{R i_L}{L} = \frac{V_E}{L} \rightarrow \text{eq}^\circ \text{ diff } 1^{\text{er}} \text{ ordre, linéaire, à } \\ \text{coef constant, à } 2^{\text{nd}} \text{ membre constant}$$

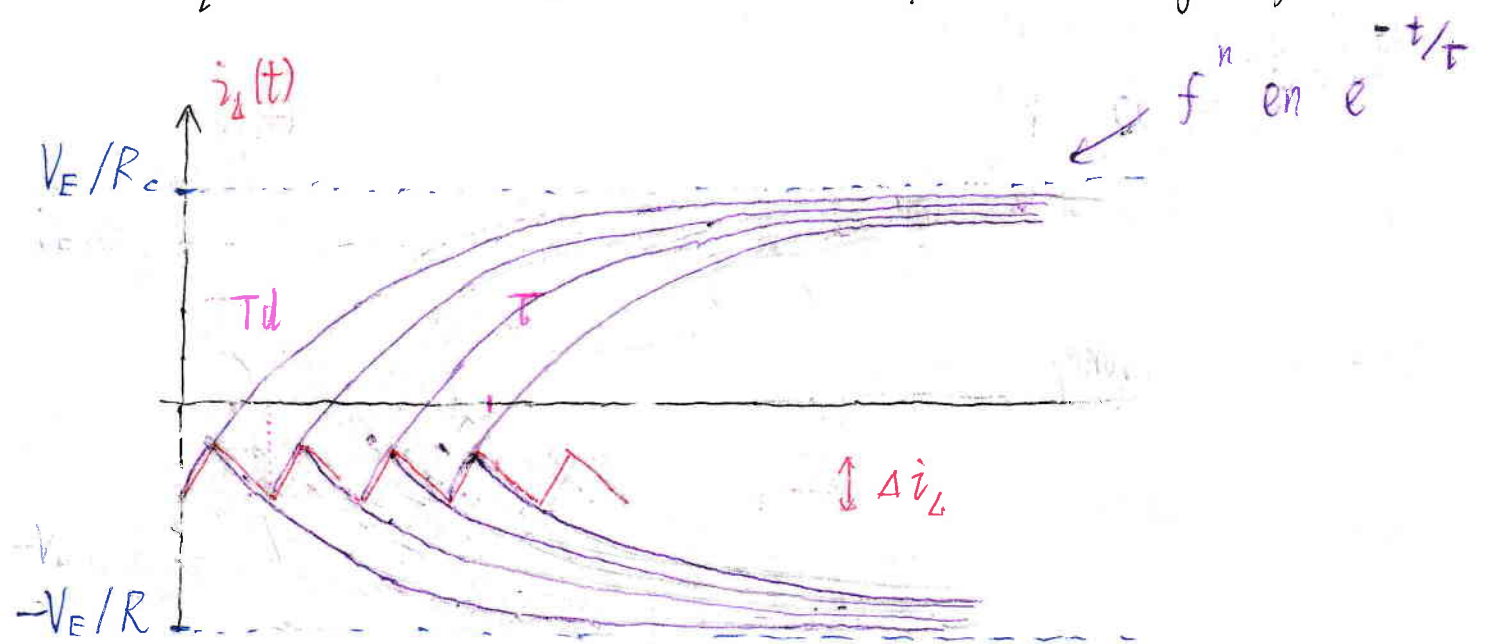
$$\Delta \text{a solution est de type } i_L(t) = A e^{-t/\tau} + B$$

$$B = \frac{V_E}{R} \quad i_L(t=0) = A + B \quad A = I_0 - B$$

$$\forall t \in \mathbb{R}^{+*} \quad i_L(t) = \left( I_0 - \frac{V_E}{R} \right) e^{-t/\tau} + \frac{V_E}{R} \quad \tau = \frac{L}{R}$$



Lorsque  $T_d \ll \tau$ , on n'atteint jamais le régime permanent

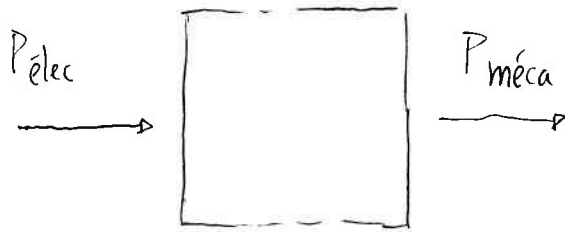


# Préparation du TP 2 : Calculer  $\Delta i_L$  et  $\Delta V_s$

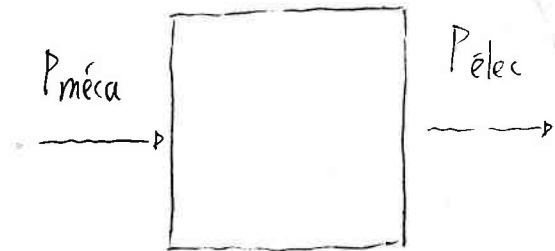


## 8. Exemple de motorisation: la machine à courant continu

machine électrique: Convertisseur électromécanique



fonctionnement moteur



fonctionnement générateur

Il existe 3 types de machine électriques:

- Machine à Courant Continu
- Machine Synchrone
- Machine Asynchrone

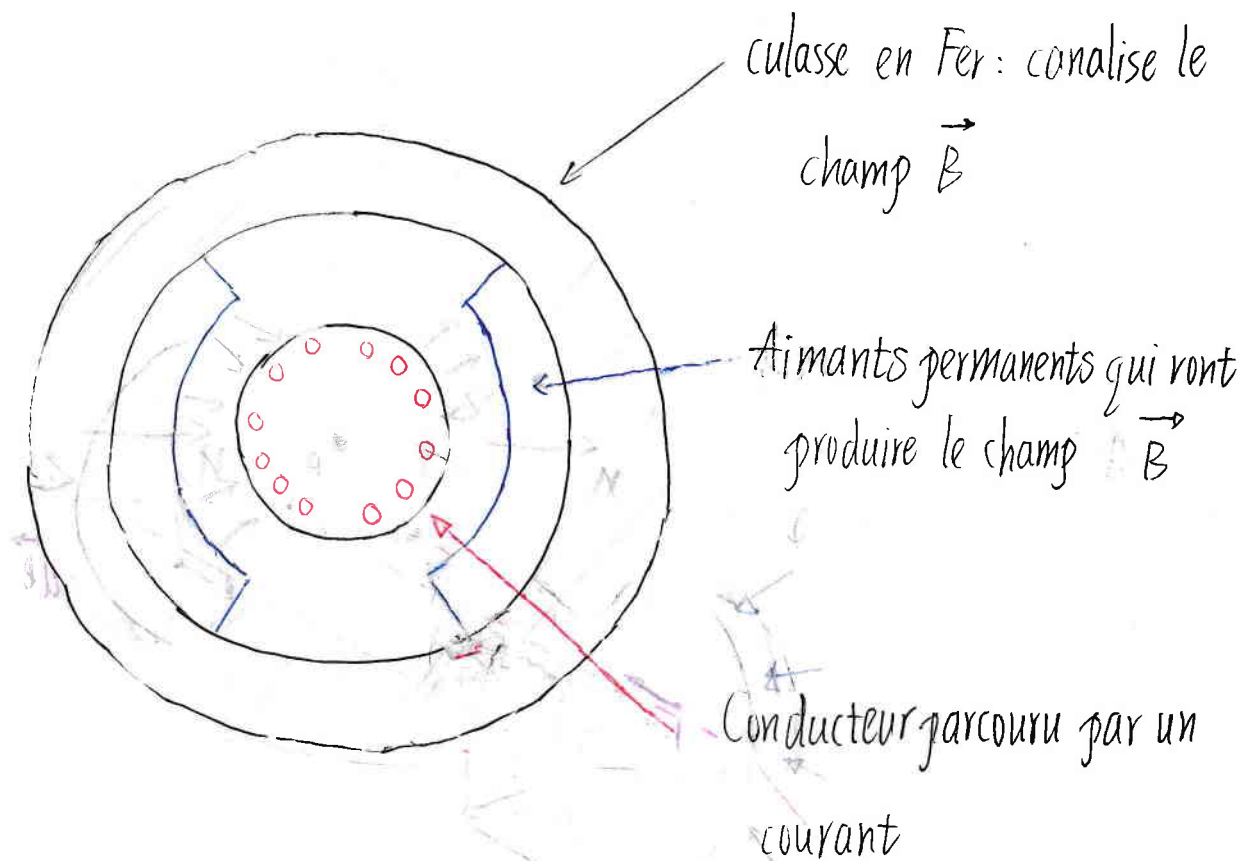
$$d\vec{l} \wedge \vec{B} = B dl \vec{u}_\theta$$

$$\Rightarrow \vec{F} = \int_A^B IB dl \vec{u}_\theta = \boxed{BI \Delta \vec{u}_\theta = \vec{F}}$$

29/01/2021



## 8.1 Constitution d'une DACC :



## 8.2 Principe de Fonctionnement

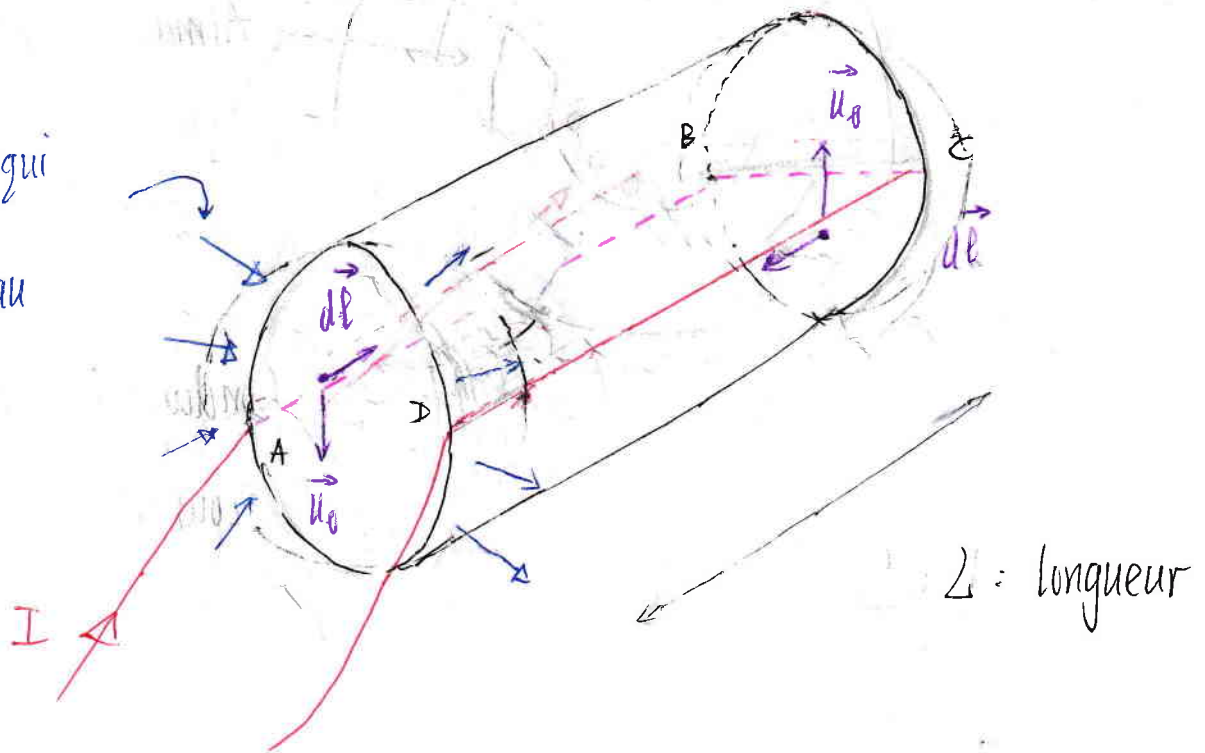
Utilisation de la force électromagnétique

$$\vec{F}_{EM} = q (\vec{E} + \vec{v} \wedge \vec{B})$$

↳ la force de Laplace :  $d\vec{F} = I d\vec{l} \wedge \vec{B}$

$$I = \frac{dq}{dt} \quad \vec{v} = \frac{d\vec{\ell}}{dt}$$

$\vec{B}$  qui  
est radial au  
rotor



Calculons la Force de A à B :  $\vec{F} = \int_A^B d\vec{F}$

$$= \int_A^B I d\vec{\ell} \wedge \vec{B}$$

Or  $d\vec{\ell} \perp \vec{B} \Rightarrow \|d\vec{\ell} \wedge \vec{B}\| = B d\ell$

Calcul de la force de B à C.

$$L \rightarrow I d\vec{l} \parallel \vec{B} \Rightarrow I d\vec{l} \wedge \vec{B} = \vec{0}$$

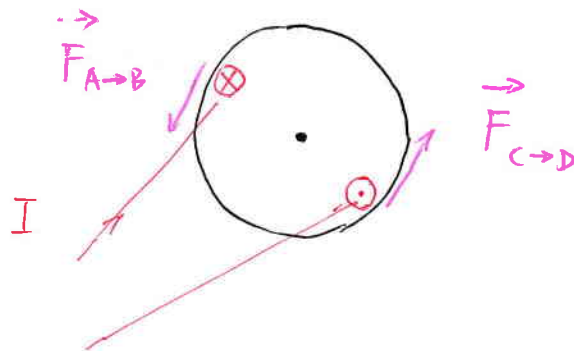
$$\vec{F}_{B \rightarrow C} = \vec{0}$$

calcul de la force de C à D

$$\vec{F}_{C \rightarrow D} = \int_C^D I d\vec{l} \wedge \vec{B} = I \int_C^D B dl \vec{u}_\theta$$

$$\vec{F}_{C \rightarrow D} = BIL \vec{u}_\theta$$

Bilan des Forces



PFD :  $\frac{d}{dt}(\vec{p}) = \sum \vec{F}_{\text{ext}} \quad \vec{p} = m \vec{v} \quad (\text{translation})$

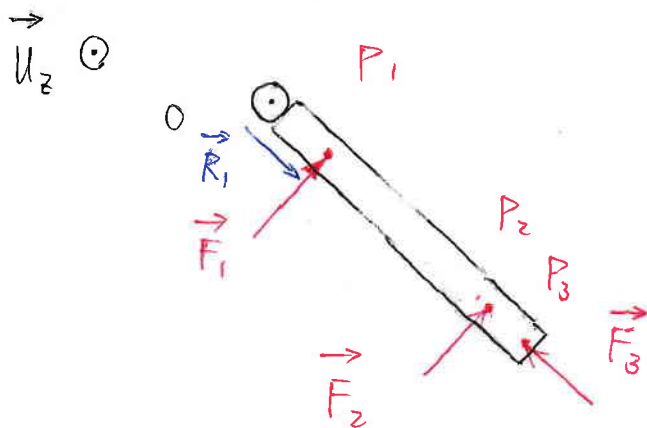
$\frac{d}{dt}(\vec{L}_0) = \sum \vec{M}_0 \quad (\text{Rotation})$

$\hookrightarrow$  moment cinétique  $\vec{L}_0 = \vec{OM} \wedge \vec{p} = m \vec{OM} \wedge \vec{v}$

Un moment de Force :

$\vec{M}_0(\vec{F}) = \vec{OP} \wedge \vec{F}$

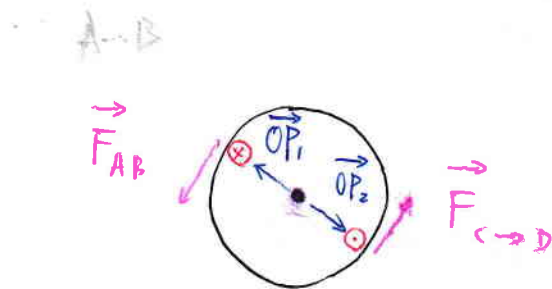
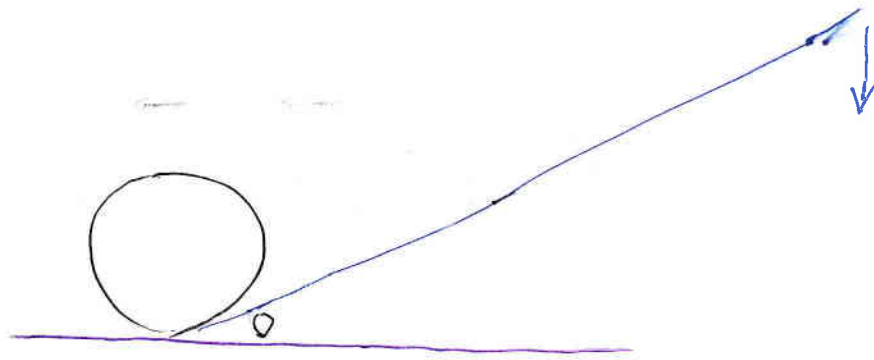
exemple de la porte :



$\vec{M}(F_1) = \vec{R}_1 \wedge \vec{F}_1 = R_1 F_1 \vec{u}_z$

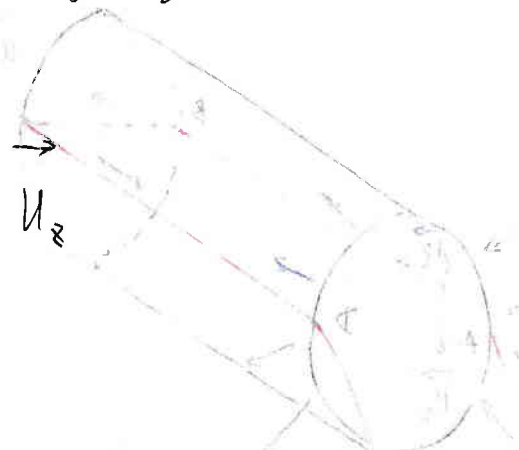
$\vec{M}(F_2) = \vec{R}_2 \wedge \vec{F}_2 = R_2 F_2 \vec{u}_z$

$\vec{M}(F_3) = \vec{R}_3 \wedge \vec{F}_3 = 0$



On utilisera plutôt le terme couple que moment

$$\Rightarrow \vec{C} = 2 \times R \times BIL \times \vec{u}_z$$



On va avoir 2 problèmes :



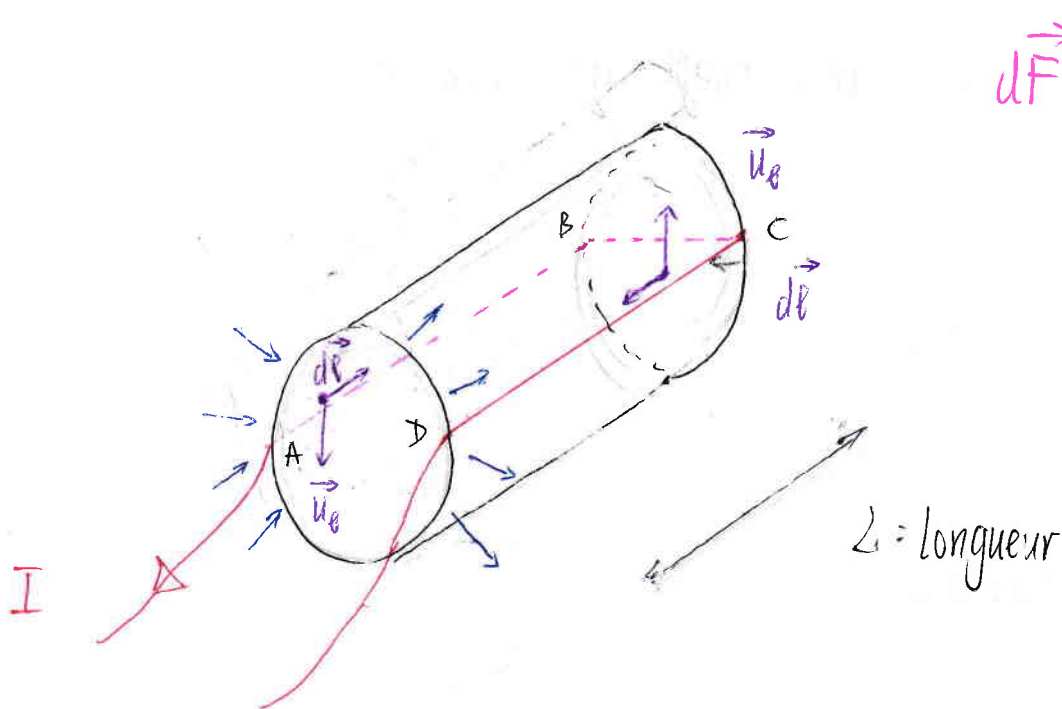
$$\Rightarrow \vec{C} = \vec{M}(\vec{F}_{A \rightarrow B}) + \vec{M}(\vec{F}_{C \rightarrow D})$$

$$= \vec{OP}_1 \wedge \vec{F}_{A \rightarrow B} + \vec{OP}_2 \wedge \vec{F}_{C \rightarrow D}$$

$$= R \cdot BIL \times \vec{u}_z + R \cdot BIL \cdot \vec{u}_z$$

$$= 2 \times R \times BIL \times \vec{u}_z$$

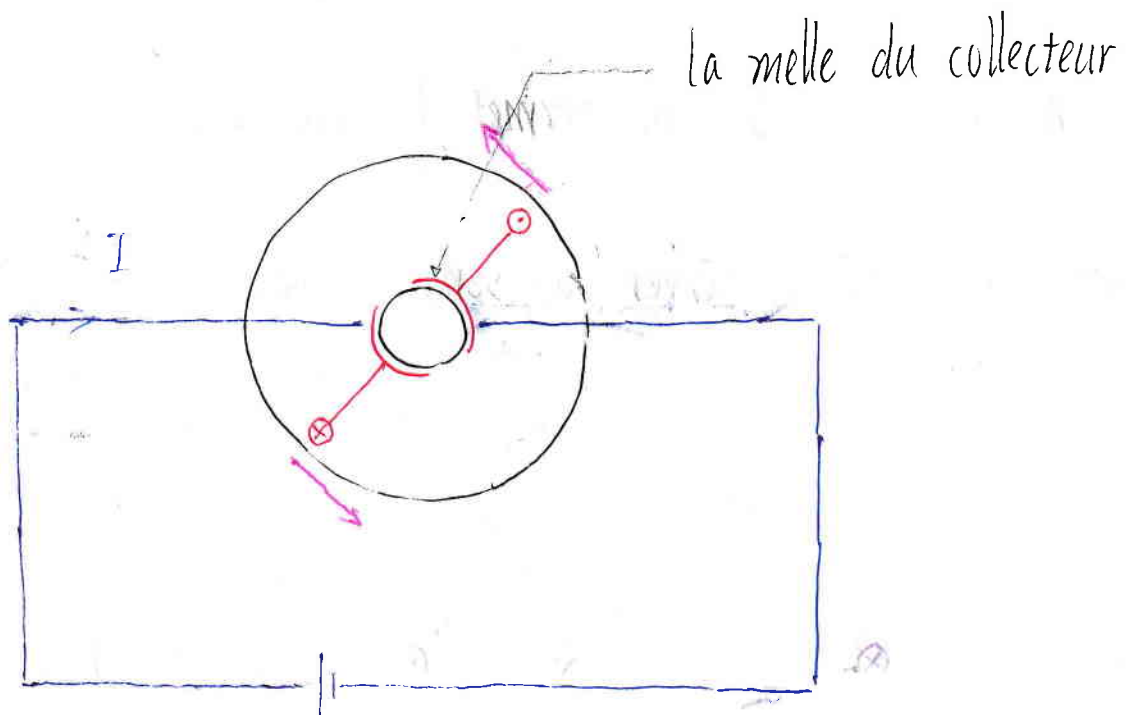
On va avoir 2 problèmes :

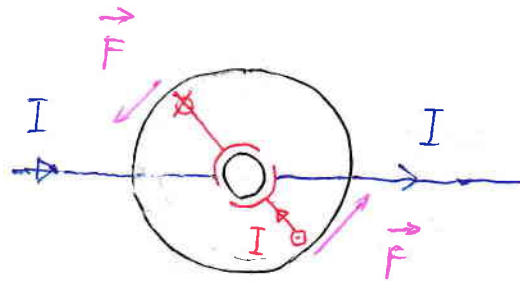
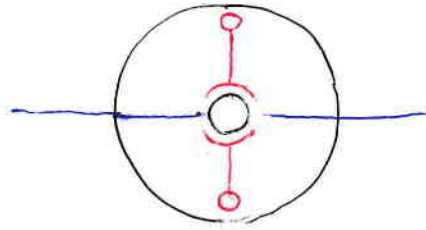


On va avoir 2 problèmes :

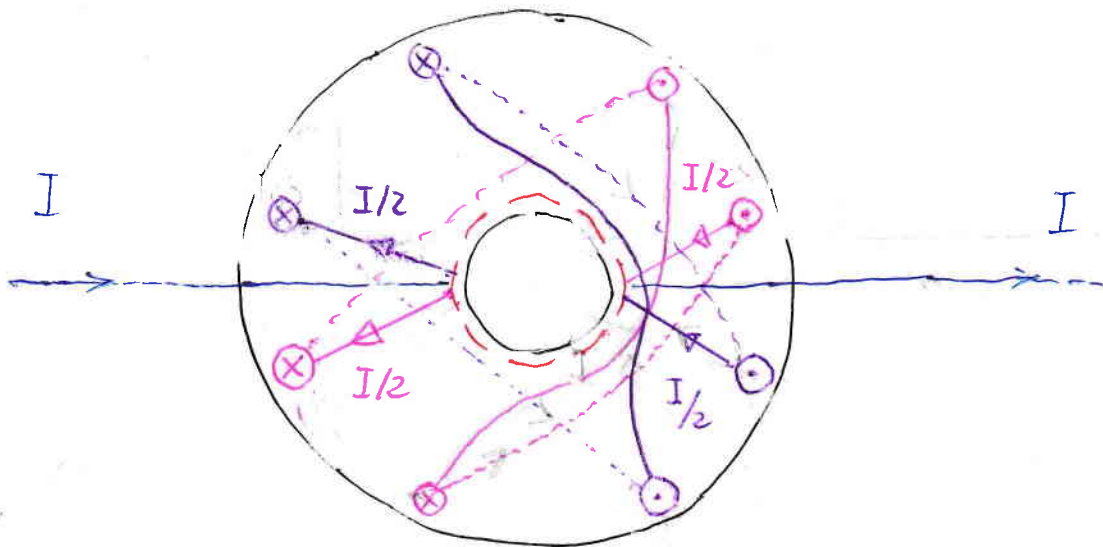
- torsadage des fils
- changement de sens du couple (tout les demi-tours)

⇒ Solution : c'est collecteur !





Le système balais - collecteur permet de changer le sens du courant et ainsi conserver le sens du couple

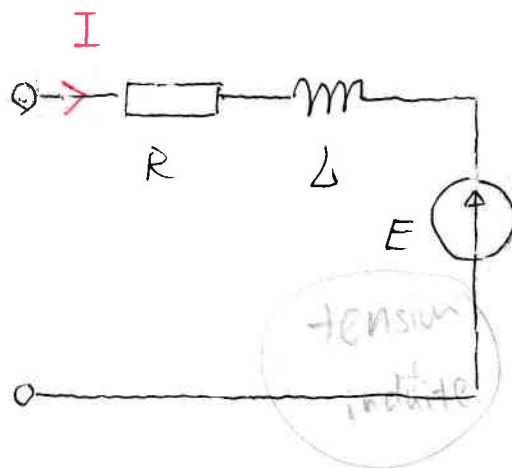
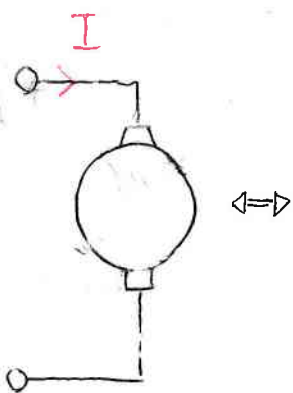


$\Rightarrow$  La MCC est alimentée par  $I$ , mais chaque conducteur du bobinage rotonique est parcouru par  $I/2$

$$\Rightarrow C = n_c \times R \times \frac{B I \Delta}{2} \Rightarrow \boxed{C = k I}$$

$k$  : constante de conversion électromécanique

### Modélisation électrique de la MCC



$R$  dissipe l'énergie  
 $L$  stocke l'énergie  
 $E$  convertie l'énergie

Le terme  $E \times I$  correspond à la conversion de

puissance électrique  $\rightarrow$  mécanique

$$\Rightarrow E \times I = C \cdot \Omega \quad (P_{\text{elec}} = P_{\text{méca}})$$

$$\Leftrightarrow E \times I = k I \cdot \Omega$$

$\Leftrightarrow$

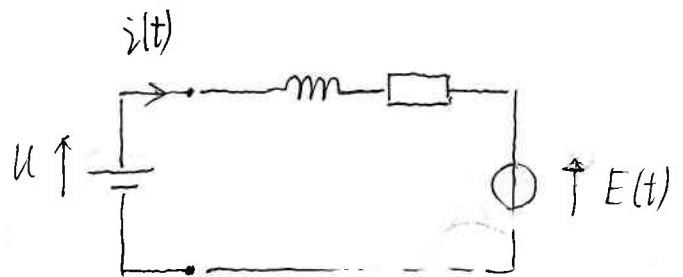
$$E = k \Omega$$

2.4

Les 4 équations de la MCC

$$C = k \cdot I$$

$$E = k \cdot \Omega$$

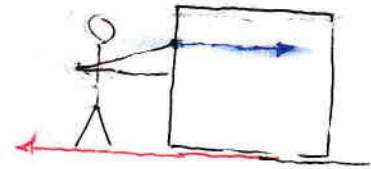
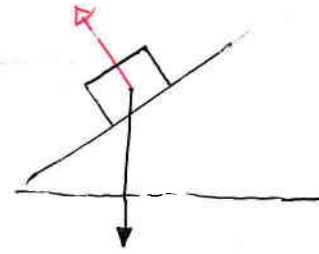
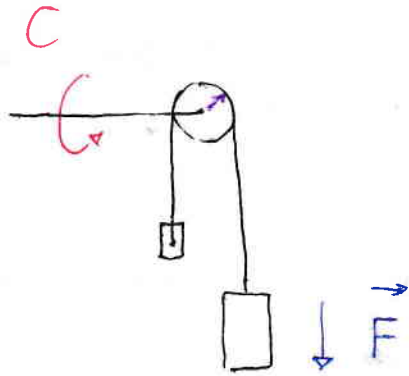


$$u(t) = L \frac{di(t)}{dt} + R i(t) + e(t)$$

$$J \frac{d\Omega}{dt} = C - C_R$$

$$\sum \vec{F} = m \vec{a}$$

moment d'inertie



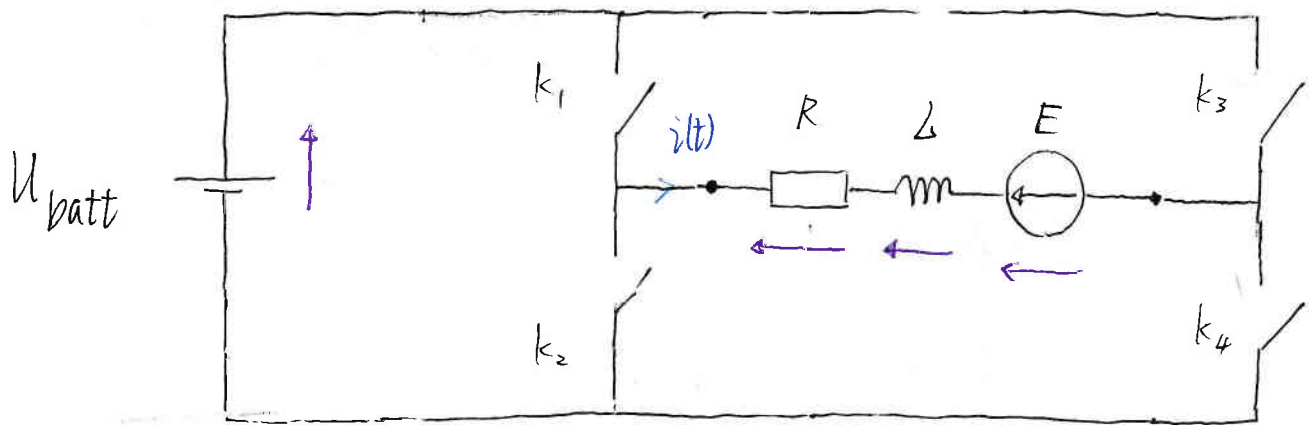
$J$  = moment d'inertie

$\rightarrow \text{kg} \cdot \text{m}^2$

$$J \frac{d\omega}{dt} = C$$

Le contrôle de la vitesse de rotation

On va placer la MUC dans un pont en H.



Pour contrôler la vitesse, on veut exprimer  $\Omega$

- $\forall t \in [0, \alpha T_d]$ ,  $k_1, k_4$  ON et  $k_2, k_3$  OFF

$$U_{batt} = Ri + L \frac{di}{dt} + e$$

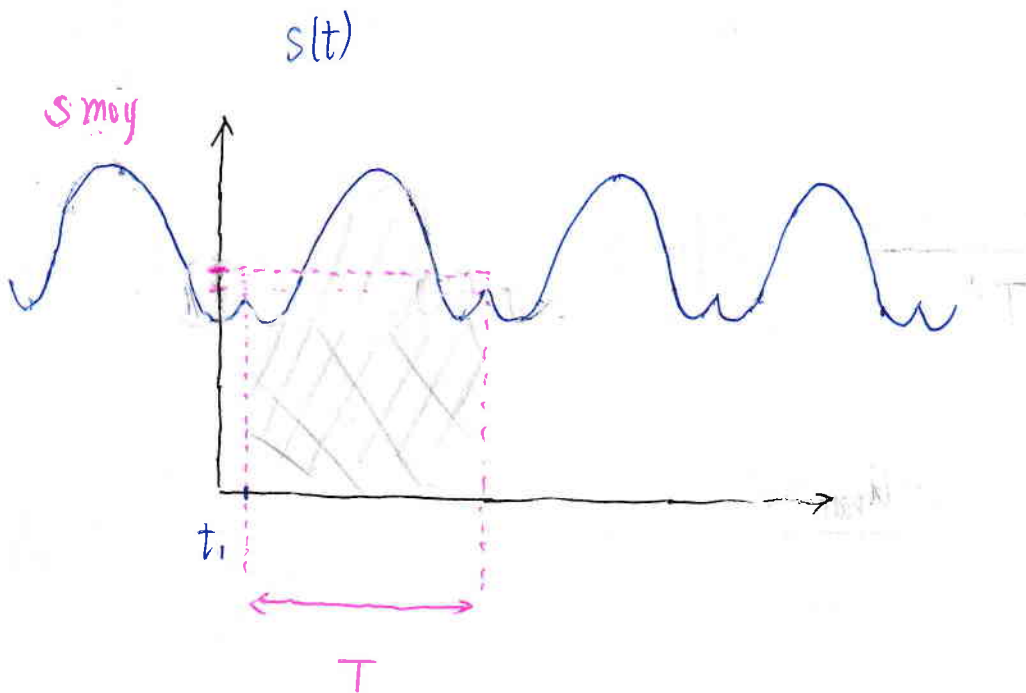
- $\forall t \in [\alpha T_d, T_d]$ :  $k_1, k_4$  OFF, et  $k_2$  et  $k_3$  ON

$$-U_{batt} = Ri + L \frac{di}{dt} + e$$

- $\langle V_L \rangle = \langle L \frac{di}{dt} \rangle = 0$

$$\Rightarrow \langle V_L \rangle = \frac{1}{T_d} \int_0^{T_d} V_L(t) dt$$

$$= \frac{1}{T_d} \int_0^{\alpha T_d} (U_{batt} - Ri - e) dt + \frac{1}{T_d} \int_{\alpha T_d}^{T_d} (-U_{batt} - Ri - e) dt$$

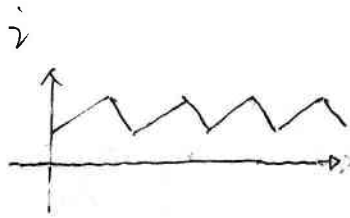


$$\int_{t_i}^{t_i+T} s(t) dt = T \times s_{moy}$$

⚠  $U_{batt} = cte$



$i \neq \text{cte}$



$i \sim \rightarrow C \sim \rightarrow R \sim \rightarrow e \sim$

$e \simeq \text{cte}$

car sur une période de découpage, la vitesse peu

$f_d = 10 \text{ kHz} \rightarrow T_d = 100 \mu\text{s}$ . Sur une durée

$T_d$ , la vitesse ne varie pas.  $e \rightarrow E$

$$\langle V_A \rangle = \frac{(U_{\text{batt}} - E)}{T_d} \times \alpha T_d - R \times \frac{1}{T_d} \int_0^{\alpha T_d} i(t) dt$$

$$\frac{(-U_{\text{batt}} - E)}{T_d} (1 - \alpha) T_d - R \frac{1}{T_d} \int_{\alpha T_d}^{T_d} i(t) dt$$

$$= \alpha U_{\text{batt}} - \alpha E - U_{\text{batt}} + \alpha U_{\text{batt}} - E + \alpha E - R \underbrace{\frac{1}{T_d} \int_0^{T_d} i(t) dt}_{I_{\text{moy}}}$$

$$\Leftrightarrow E = (2\alpha - 1) U_{\text{batt}} - R I_{\text{moy}} \quad \text{or } E = k \alpha$$

$$\Omega = \frac{(2\alpha - 1) U_{\text{batt}} - R I_{\text{moy}}}{k}$$

⇒ Le contrôle de la vitesse se fait par le réglage du rapport cyclique.

$$\text{si } \alpha > 0,5 \rightarrow \Omega > 0$$

$$\text{si } \alpha < 0,5 \rightarrow \Omega < 0$$

TP 1 : Buck

Buck - Boost :  $V_s$  en fonction de  $V_E$



TP 2 : Buck

Pont en H.

TP 3 : Pont en H + MCC

---

Examen : Démontrer  $\eta = 1$

Boost

Buck - Boost

05/02/2021