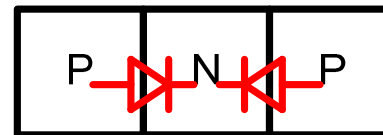
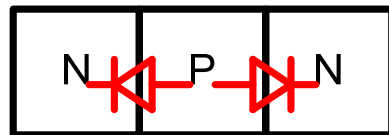


Electronique 1

Cours 8: Introduction aux
transistors bipolaires (suite)

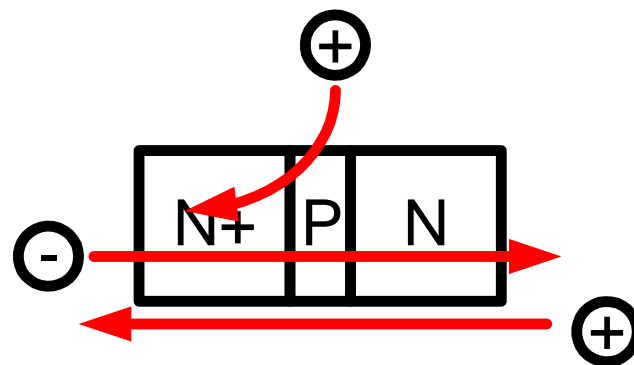
Rappel

- Structure a 3 blocs:
 - NPN: Transistor de type-N
 - PNP: Transistor de type-P
- Vu comme 2 diodes avec 4 modes:
 - BE-BC - Bloque-Bloque: Cut-off
 - BE-BC - Bloque-Conduit: Active Inverse
 - BE-BC - Conduit-Bloque: Active
 - BE-BC - Conduit-Conduit: Saturation



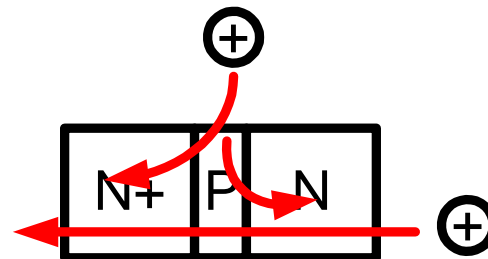
En region Active

- BE: Conduit, BC: Bloque
 - B→E: Trous injectes dans base vers emetteur
 - E→B: Electrons vont de l'emetteur vers la base MAIS!
 - Electrons diffusent dans base et collectes par le champ de zone charge espace



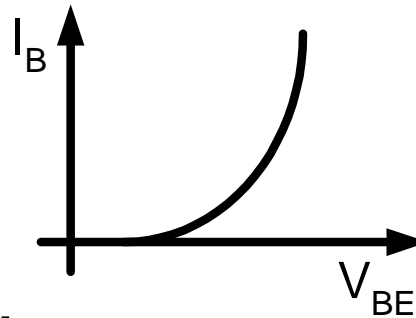
En Saturation

- BE: Conduit, BC: Conduit (partiellement)
 - B→E: Trous injectes dans base vers emetteur
 - E→B: Electrons vont de l'emetteur vers la base
 - B→C: Electrons diffusent dans base et collectes par le champ de zone charge espace
 - B→C: Trous injectes dans base vers collecteur
- Les courants s'opposent
 - "Gain" resultant est moins eleve..

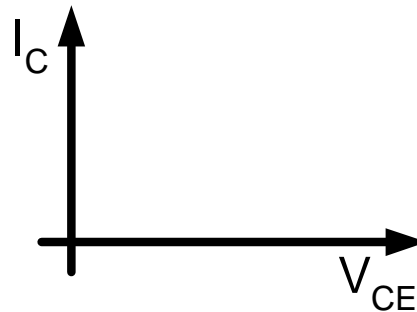


Relation VI du transistor

- On connait bien le diagramme VI de la jonction BE:
 - Ca a un comportement de diode parce que BE est une diode en conduction:

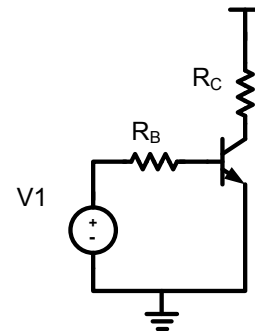
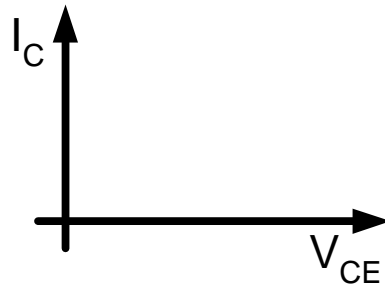


- On va aussi s'intéresser à une autre courbe



Relation VI du transistor

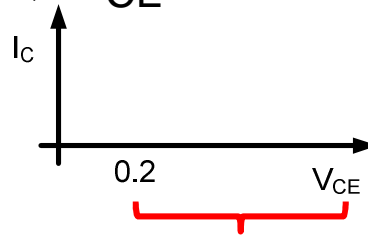
- Comment fonctionne cette courbe?
 - On considère que I_B est constant
 - Si, d'une certaine manière, on est capable de changer V_{CE} , comment changerait I_C ?



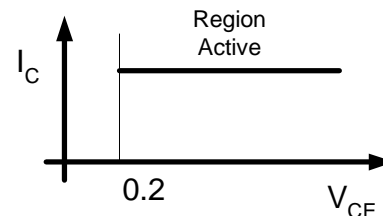
- On pourrait penser que R_C change...
 - Gros R_C fait que V_{CE} faible

Relation VI du transistor

- Quand V_C est eleve, la diode BC ne conduit pas:
 - On est en region active
 - Si V_C est eleve, V_{CE} sera eleve aussi ($V_{CE} > 0.2$)



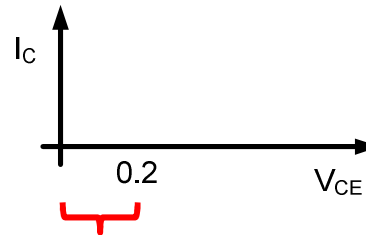
- I_C ne depend que de I_B
- I_C ne depend pas de V_{CE}



$$I_C = \beta I_B$$

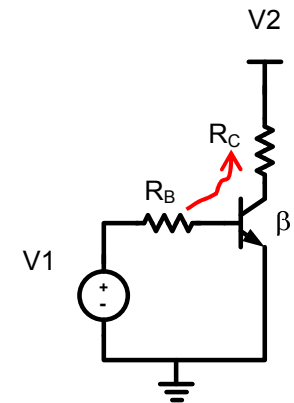
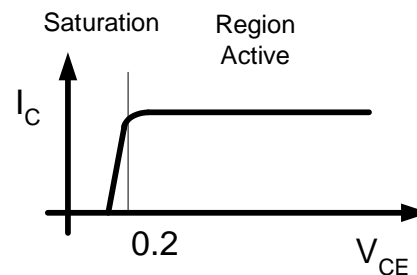
Relation VI du transistor

- Quand V_{CE} est faible, la diode BC conduit
 - On tombe en saturation
 - V_{CE} sature autour de 0.2v
 - Si R_C augmente beaucoup, V_{CE} diminue un peu



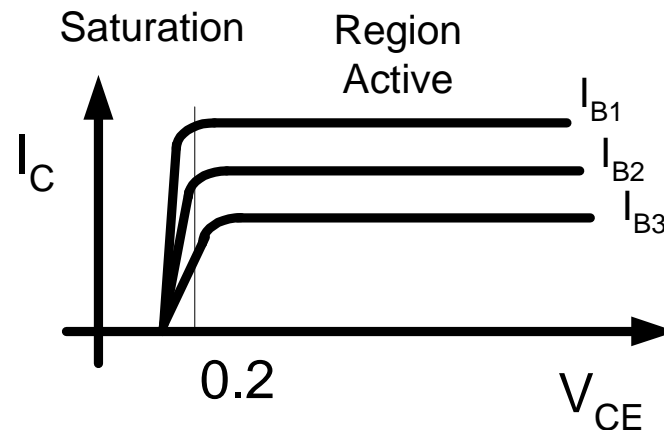
- $I_C = (V_{DC} - V_{CE}) / R_C \dots I_C$ baisse...

β_{EFF} diminue



Relation VI du transistor

- Pour des valeurs différentes de I_B , on a:



- En region active, le courant “sature”
 - Ne confondez pas ca avec la region saturation
 - “Saturation” vient du fait que V_{CE} sature a 0.2v

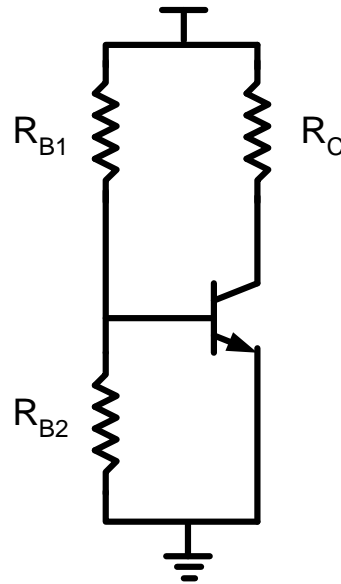
Exemple de conception #1

- Avec les connaissances qu'on a, on est capable de commencer a concevoir...
 - Nous avons les equations
 - Nous savons comment analyser
 - Il ne reste qu'a mettre le tout ensemble...
- La difficulte c'est toujours "par ou commencer?"

Comment commencer?

- Imaginez qu'on veuille créer un amplificateur
 - On veut donc un transistor en région active
 - Comment créer ça?
- Vous avez trouvé ceci sur Google:

Qu'est-ce que je fais avec ça?!



Comment commencer?

- On commence par regarder la fiche technique (“datasheet”) du transistor
- La specification nous indique:
 - Tension/Courant/puissance maximale
 - Le gain (h_{fe} ou β)
 - Ou se trouvent les pattes
 - etc.
- Donne parfois des exemples de montage (“application notes”)

Allez TOUJOURS chercher la fiche technique

Comment commencer?

Le NPN le plus populaire
c'est le 2N2222

Identification des pattes

Caracteristiques

NPN switching transistors

2N2222; 2N2222A

FEATURES

- High current (max. 800 mA)
- Low voltage (max. 40 V)

APPLICATIONS

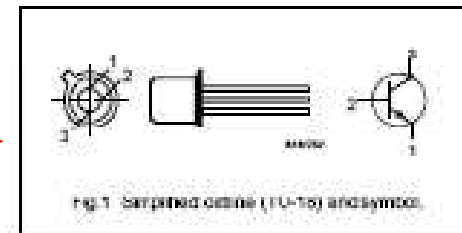
- Linear amplification and switching

DESCRIPTION

NPN switching transistor in a TO-18 metal package.
PNP complement: 2N2217A.

PINNING

PIN	DESCRIPTION
1	emitter
2	base
3	collector connected to case



QUICK REFERENCE DATA

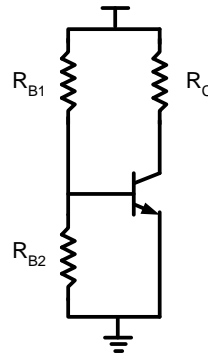
SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{CEC}	collector-base voltage	open emitter	—	60	V
	2N2222 2N2222A		—	75	V
V_{CEA}	collector-emitter voltage	open base	—	30	V
	2N2222 2N2222A		—	40	V
I_C	collector current (DC)		—	800	mA
P_{Diss}	total power dissipation	$T_{amb} = 25^\circ\text{C}$	—	500	mW
β_{DC}	DC current gain	$I_C = 10\text{ mA}$; $V_{CE} = 10\text{ V}$	75	—	
f_T	transition frequency	$I_C = 20\text{ mA}$; $V_{CE} = 20\text{ V}$; $f = 100\text{ MHz}$	250	—	MHz
	2N2222 2N2222A		300	—	MHz
t_{off}	turn-off time	$I_{CEsat} = 100\text{ mA}$; $I_{Bsat} = 10\text{ mA}$; $I_{Bcut} = 10\text{ mA}$	—	260	ns

Comment commencer?

- Il y a plusieurs contraintes a respecter:
 - Puissance maximale
 - Courant maximal
 - Differences de potentiel maximal
 - Vitesse de commutation maximale
 - Gain
 - Etc.
- Selon les caracteristiques et nos besoins, on peut decider si ca fait notre affaire...

Comment s'ajuster?

- Avec ces informations, on peut commencer a concevoir
- Il faut:
 - Determiner une tension d'alimentation
 - Determiner les valeurs de R_{B1} , R_{B2} et R_C
 - S'assurer qu'on est reellement en region active
- Retournons a la fiche technique...



Comment s'ajuster?

- Dans la specification, on voit
 - $I_{C\text{MAX}}$ est de 800mA
- Donc, I_C ne doit pas dépasser 800mA
- On sait que $I_C = \beta I_B$ et donc I_B ne doit pas dépasser 8mA

QUICK REFERENCE DATA

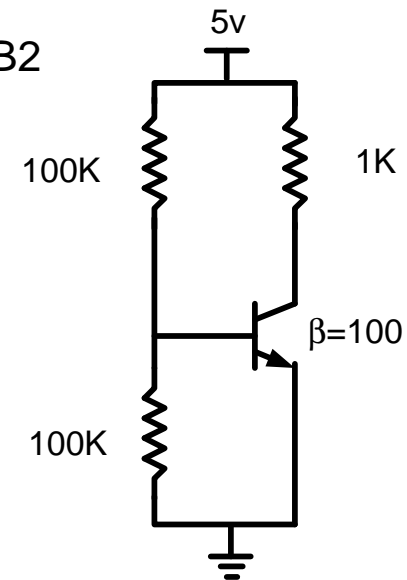
SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{CB0}	collector-base voltage	open emitter			
	2N2222		-	60	V
	2N2222A		-	75	V
V_{CE0}	collector-emitter voltage	open base			
	2N2222		-	30	V
	2N2222A		-	40	V
I_C	collector current (DC)		=	800	mA
P_{tot}	total power dissipation	$T_{amb} \leq 25^\circ\text{C}$	-	500	mW
β_{DC}	DC current gain	$I_C = 10\text{ mA}; V_{CE} = 10\text{ V}$	75	-	
f_T	transition frequency	$I_C = 20\text{ mA}; V_{CE} = 20\text{ V}; f = 100\text{ MHz}$			
	2N2222		250	-	MHz
	2N2222A		300	-	MHz
t_{off}	turn-off time	$I_{on} = 150\text{ mA}; I_{base} = 15\text{ mA}; I_{load} = -15\text{ mA}$	-	250	ns

Comment s'ajuster?

- La valeur de $I_{C\text{MAX}}$ nous donne aussi les contraintes sur V_{DC} et R_C
 - Si le transistor tombait en saturation, R_C devrait limiter I_C pour ne pas bruler le transistor
- Avec $V_{\text{DC}}=5\text{v}$: $I_C = \frac{V_C}{R_C} \Rightarrow R_C = \frac{V_C}{I_C}$
 - R_C ne devrait PAS être moins que $5/800\text{mA}=6.25\Omega$
- On apprendra que R_C détermine le gain
 - On veut une plus grosse valeur (gros gain): $1\text{K}\Omega$

Comment s'ajuster?

- On sait que $I_C = \beta I_B$
 - La resistance a la base devrait probablement etre β fois plus gros qu'au collecteur
- Si R_C est 1K, R_B pourrait etre 100 plus
 - On devrait commencer avec $R_B = 100K$
 - Meme valeur pour les R_{B1} et R_{B2}
- On obtiendrait version 1.0:



Allons verifier si c'est bon...

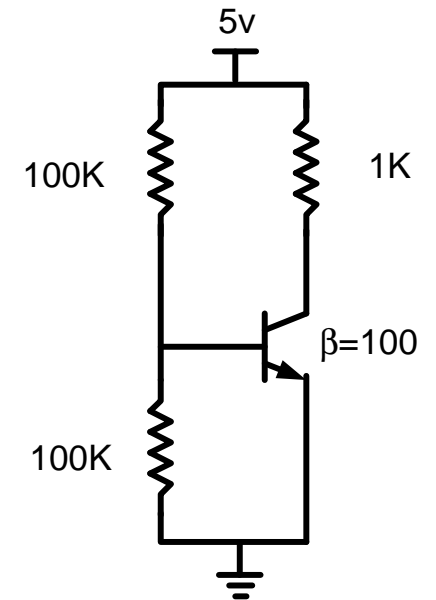
Comment s'ajuster?

- L'hypothese est qu'on est en region active:
 - $V_{BE}=0.7$ et donc, $V_B=0.7$
- On veut savoir si on est en region active
 - Il faut verifier V_C

$$V_C = VDC - I_C R_C$$

- On connait tout sauf I_C
 - Pour le trouver, on utilise

$$I_C = \beta I_B$$



Mais on ne connait pas I_B

Comment s'ajuster?

- Pour trouver I_B , on écrit l'équation de courant à la base:

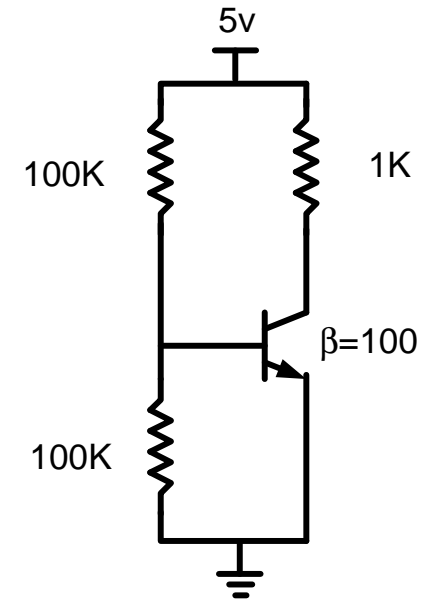
$$\frac{VDC - 0.7}{R_{B1}} = \frac{0.7}{R_{B2}} + I_B$$

- On isole I_B :

$$I_B = \frac{VDC}{R_{B1}} - \frac{0.7}{R_{B1}} - \frac{0.7}{R_{B2}} = 36\mu A$$

- Et on calcule V_C :

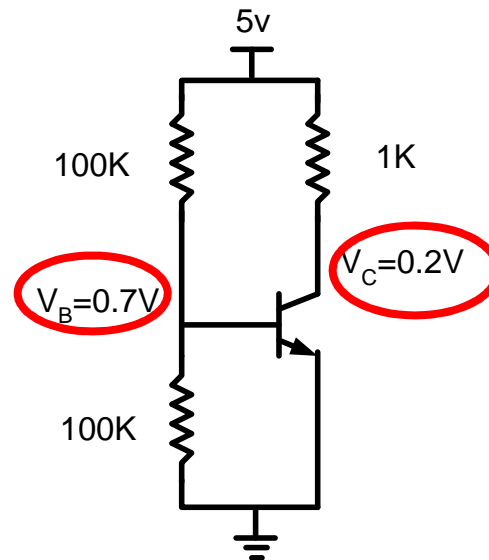
$$V_C = VDC - R_C \beta I_B = 1.4v$$



Ca correspond bien a la region active

Comment s'ajuster?

- Avec ces resultats theoriques, on va au laboratoire:
 - On prend des transistors et des resistances
 - On les connecte et on observe ceci...



Est-ce que tout est correct?

Comment s'ajuster?

- Important de savoir faire plusieurs choses:
 - Savoir qu'il y a un probleme
 - Savoir identifier le probleme
 - Savoir rectifier le probleme
- Le 0.2v devrait nous dire que la jonction BC conduit (saturation – pas bon!)
- Si toutes les autres valeurs sont bonnes, il se PEUT que le β ne soit pas 100

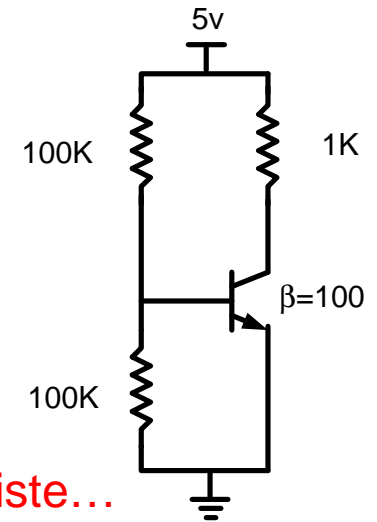
On sait que β depend des dopants et n'est pas precis

On raisonne un peu...

- Est-ce que le β est plus grand ou plus petit que 100? (et pourquoi?)
- De combien (min) est-il trop petit ou trop grand? (calculs necessaires)
- Comment faire pour le mettre en region active? Expliquez.

On raisonne un peu...

- Saturation cause par:
 - BC qui conduit
 - BC conduit quand V_C trop faible
 - V_C determine par $V_C = VDC - R_C \beta I_B$
- Il faut donc augmenter V_C en:
 - Augmentant VDC Pas pratique
 - Reduire R_C Reduit le gain
 - Reduire β Pas pratique
 - Reduire I_B Meilleure solution de notre liste...

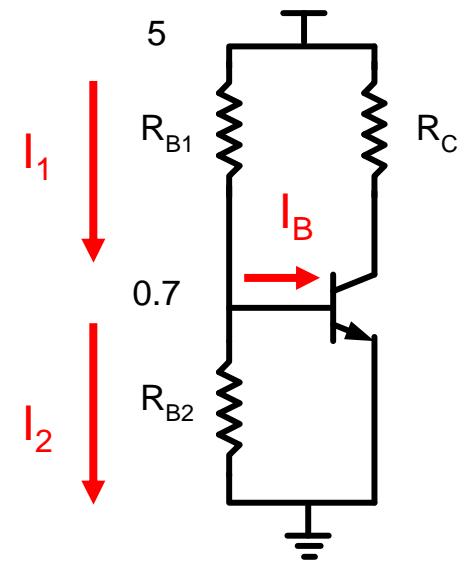


Comment s'ajuster?

- Maintenant, comment reduire I_B ?
- L'equation nous dit ceci:

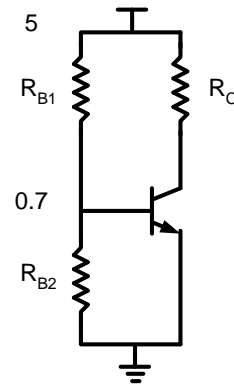
$$I_B = \frac{(V_{DC} - 0.7)}{R_{B1}} - \frac{0.7}{R_{B2}}$$

- Pour reduire I_B , on a 2 options:
 - 1) Augmenter R_{B1} (baisser I_1)
 - 2) Reduire R_{B2} (augmenter I_2)



On deduit que...

- Pour region active, on veut:
 - Petit I_B (Grande resistance R_{B1})
 - FAIRE ATTENTION au R_C (pas trop large)
- Pour saturation, on veut (le contraire):
 - Plus gros I_B (resistance R_B pour proteger)
 - Gros R_C pour grosse chute de tension
 - On fera attention pour la vitesse (constante de temps elevee)

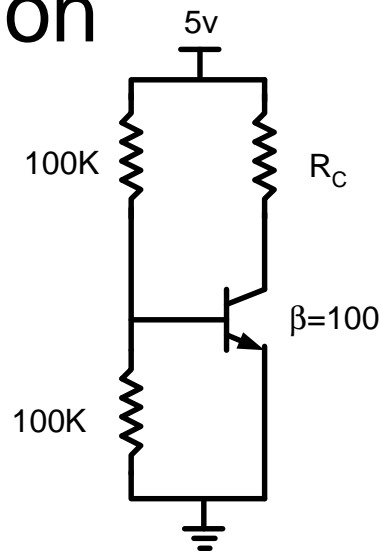


Exercice (seul)

- Vous allez voir (tantot) que le gain est proportionnel a R_C
 - MAIS, un gros R_C peut envoyer notre transistor en saturation (gain diminue).
- Trouvez le R_C maximal pour etre “sur le bord” de la saturation

$$I_C = \beta I_B$$

$$V_{CE} = 0.2$$



Exercice (seul)

- Il faut déterminer la condition pour être “sur le bord” de la saturation:
 - $V_{CE}=0.2\text{v}$ avec $\beta_{\text{eff}}=\beta$
- Pour que $V_{CE}=0.2$, il faut que $V_C=0.2$
- Sachant que:

$$V_C = VDC - R_C \beta I_B$$

$$I_B = \frac{VDC}{R_{B1}} - \frac{0.7}{R_{B1}} - \frac{0.7}{R_{B2}} = 36\mu\text{A}$$

Calculs précédents

- On peut trouver I_C et R_C

Exercice (seul)

- On met les chiffres dans l'équation:

$$V_C = VDC - R_C \beta I_B \quad \Rightarrow \quad 0.2 = 5 - R_C (3.6mA)$$

- Un peu d'arithmétique

$$4.8 = R_C (3.6mA)$$

- Et on isole R_C :

$$R_C = \frac{4.8}{3.6mA} = 1333$$

Est-ce que R_C doit être plus grand ou plus petit que cette valeur pour être en active?

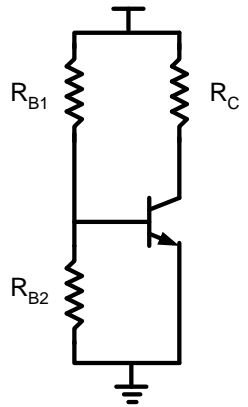
Exemple de Conception #2

- On aimerait concevoir un circuit qui allume une LED quand il fait noir:
 - L'intensité dépendra de la "quantité de noirceur"
 - Plus il fait noir, plus la LED allume intensément
- Vous avez en votre possession:
 - Des R de valeurs différentes
 - Un transistor NPN
 - Une photoresistance
 - Une LED

Avant de commencer, revoyons la photoresistance...

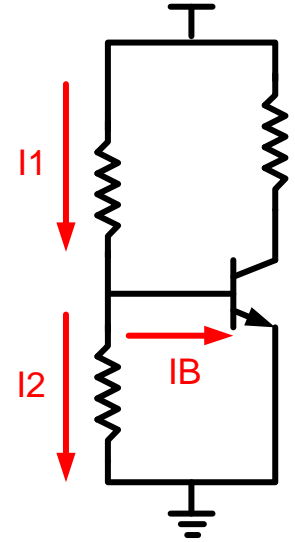
Exemple de Conception #2

- Une photoresistance c'est un element qui:
 - A une faible resistance quand il y a presence de lumiere
 - Une grosse resistance quand il y en a pas
- Dans notre cas particulier:
 - La resistance est de 1K avec la lumiere
 - La resistance est de 10K sans lumiere
- Inspirez-vous des schemas precedents pour pondre un circuit... (5 minutes?)



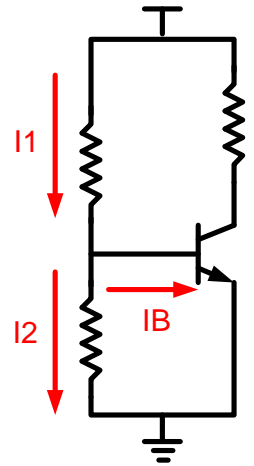
Exemple de Conception #2

- Commençons avec ce circuit
 - Le courant I_1 sera separe en 2 parties
 - I_2 passe par la resistance du bas
 - I_B entre dans la base
- Si I_B entre, un courant I_C circulera aussi
 - Ceci est vrai seulement quand $V_{BE} > 0.7$
(active ou saturation)



Exemple de Conception #2

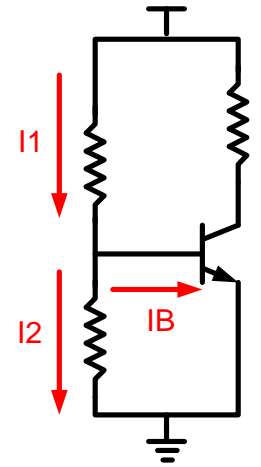
- Si $V_{BE} > 0.7$, il y a un courant I_C et I_E
 - Ces courants peuvent allumer une LED
- Si $V_{BE} < 0.7$, I_C et I_E seront nuls
 - La LED ne sera pas allumée
- Alors, quand il n'y a pas de lumière
 - On veut que $V_{BE} > 0.7$
- Quand il y a lumière
 - On veut que $V_{BE} < 0.7$



Le controle se fait par le circuit a la base...

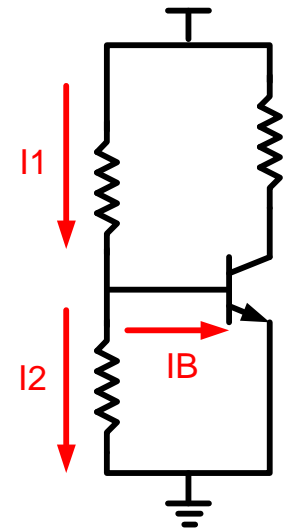
Exemple de Conception #2

- J'ai 2 options:
 - R1 peut être ma photodiode
 - R2 peut être ma photodiode
- Si R1 était ma photodiode
 - Avec lumière, R1 baisse et I1 augmente
 - V_{BE} augmente, donc LED s'allume
 - Sans lumière, R1 augmente et I1 baisse
 - V_{BE} baisse, donc LED s'éteint
- Je veux le contraire...



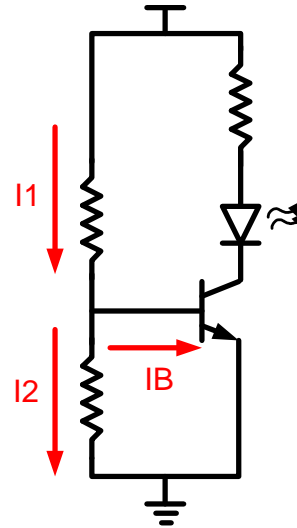
Exemple de Conception #2

- Si R2 etait la photodiode, on aurait ceci
 - Avec la lumiere, R2 baisse et V_{BE} baisse
 - Sans lumiere, R2 monte et V_{BE} monte
- Si V_{BE} est assez grand:
 - I_B circulera
 - I_C circulera
- On pourra mettre une LED a la branche du collecteur



Exemple de Conception #2

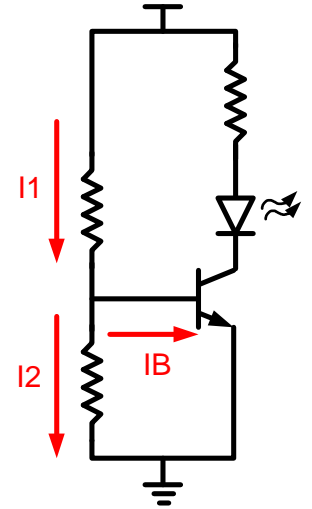
- Le circuit final sera:



- Avec les bonnes valeurs, ça fonctionnera
- Il est temps de passer aux maths...

Exemple de Conception #2

- Choisissons un $VDC = 9v$
 - On sait que $R2$ est $1K$ avec lumiere
 - On sait que $R2$ est $10K$ sans lumiere
- Sans lumiere, il faut $I2 * R2 > 0.7v$
- Sans lumiere, on a $R2 = 10K$
 - Il faut un courant minimal de $0.7/10K = 70\mu A$
 - Il faut donc que $I1$ soit plus que $70\mu A$



$$\frac{VDC - 0.7}{R1} > 70\mu A$$

$$\frac{VDC - 0.7}{70\mu A} > R1 = 133K$$

R1 doit etre plus
petit que 133K

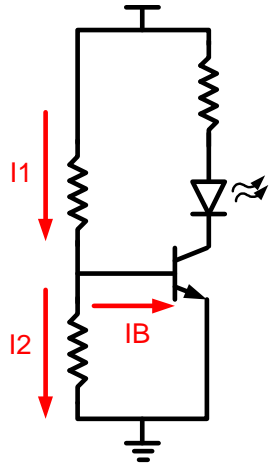
Exemple de Conception #2

- Avec lumiere, il faut $I_2 \cdot R_2 < 0.7\text{v}$
- Avec lumiere, on a $R_2 = 1\text{K}$
 - Il faut un courant maximal de $0.7/1\text{K} = 700\mu\text{A}$
 - Il faut donc que I_1 soit moins que $700\mu\text{A}$

$$\frac{VDC - 0.7}{R_1} < 700\mu\text{A} \quad \frac{VDC - 0.7}{700\mu\text{A}} < R_1 = 13.3\text{K}$$

- La condition pour R_1 est donc:

$$13.3\text{K} < R_1 < 133\text{K}$$



R1 doit être plus grand que 13.3K

Exemple de Conception #2

- C'est quoi la contrainte sur R_C ?
 - Pas grand chose
- Si ca conduit, il y a un courant et c'est correct
 - On ne voudrait pas bruler la diode, alors on met une resistance
- Et c'est fini...

Exemple de Conception #3

- On aimerait concevoir un regulateur de tension
 - On a besoin d'une tension facilement changeable
 - Qui peut fournir presque la meme tension peu importe le courant demande
- Solution connues:
 - Diodes n'ont pas toutes les V_D ou V_Z requises
 - Diviseurs de tension ont la precision mais changent de tension avec le courant demande...

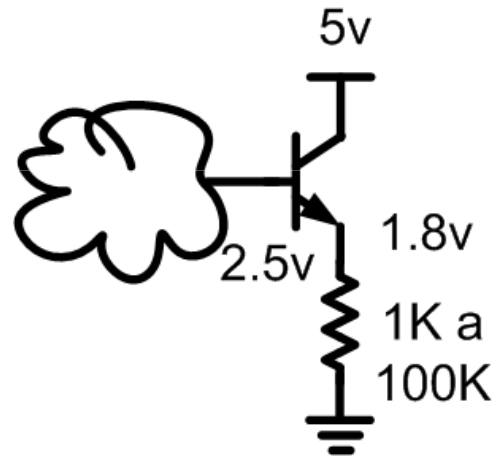
Comment faire?

Exemple de Conception #3

- Le transistor en region ACTIVE a une caractéristique interessante:
 - I_C est independant de V_{CE}
 - Du meme coup, I_E est independent de V_{CE}
- De plus, V_E est egal a $V_B - 0.7v$
 - Donc, si on mettait $V_B = 4v$, V_E devrait etre $3.3v$
 - Et il devrait etre capable de fournir “n’importe quel” courant I_E
 - Ceci est vrai tant qu’il reste en region active

Exemple de Conception #3

- Prenons un cas plus explicite
 - On veut une tension de 1.8v avec $R=1K$ a $100K$



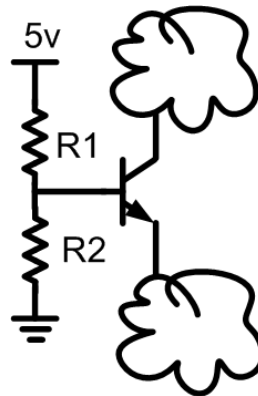
- Quoi mettre dans le nuage pour avoir 2.5v?

Exemple de Conception #3

- On sait qu'un diviseur de tension ressemble a ceci:



- Et on sait que ceci n'est pas un diviseur de tension:



A cause du courant
a la base

Exemple de Conception #3

- Si on décidait d'approximer le dernier circuit avec un diviseur de tension:
 - Ce serait faux et il y aura erreur
 - L'erreur dépend du courant
- Si le courant est
 - Nul: ce serait exactement un diviseur de tension
 - Faible: l'approximation serait presque bonne
 - Grand: l'approximation serait mauvaise

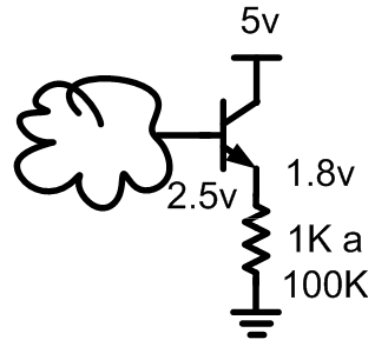
Note: Courant faible/grand par rapport au courant dans R1 et R2

Exemple de Conception #3

- Le courant I_B depend du courant I_E
 - Le courant I_E depend de la charge
- Si la charge etait de 1K, il y aurait le plus gros courant I_E
 - Le courant I_B sera $(\beta+1)$ fois plus petit
- Pour avoir une approximation de diviseur de tension:
 - β doit etre eleve
 - Le R_{B1} et R_{B2} doivent etre petits

Exemple de Conception #3

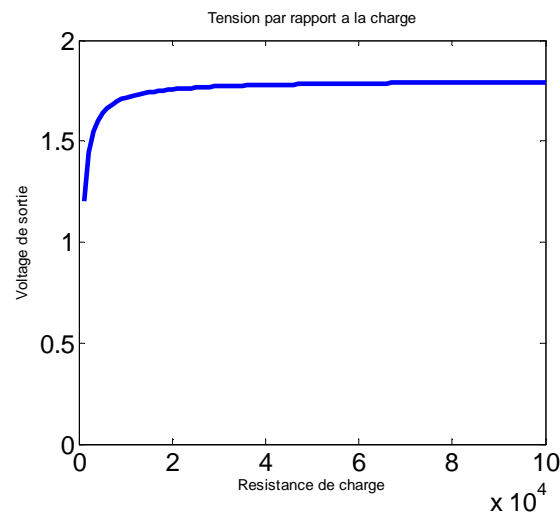
- Comme point de depart, on sait que V_B doit etre 2.5v



- On approxime qu'avec un diviseur de tension, on peut l'obtenir
 - V_E sera donc 1.8v
 - Ceci doit etre vrai avec une charge de 1K a 100K

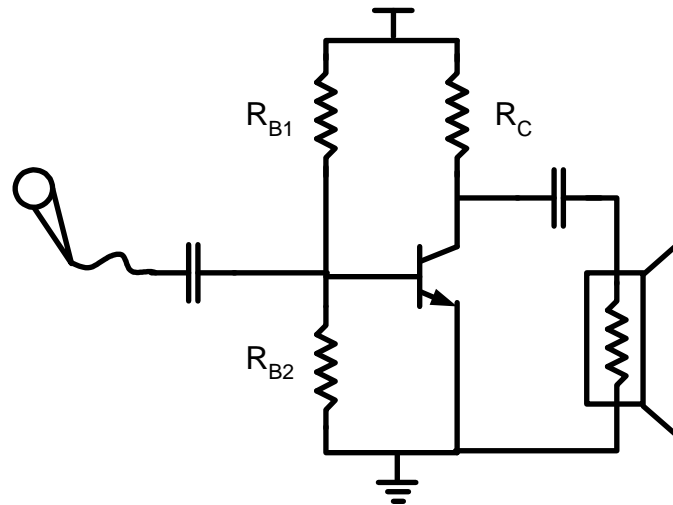
Exemple de Conception #3

- Devoir (suggere, mais facultatif)
 - Faites l'analyse de V_E pour $R_{B1}=R_{B2}$ de 1K, 10K et 100K
 - Pour chacun des cas, trouvez V_E pour une charge de 1K et une charge de 100K.
- Essayez de tracer ca avec MATLAB



Application typique: Active

- Amplificateur de la voix
- On veut region active: Haut I_C/I_B
 - Ca implique souvent un haut GAIN V_C/V_B
- Condensateur en entrée/sortie: couplage
 - Niveaux DC pas toujours les memes (ex: $V_B=0.7$)



Application typique: Active

- Le courant dans la diode BE est:

$$I_B \cong I_S e^{V_{BE}/kT} \quad (\text{On neglige le "-1"})$$

- Le courant I_C est β fois plus que I_B :

$$I_C = \beta I_S e^{V_{BE}/kT} = I_0 e^{V_{BE}/kT}$$

- Si on varie V_{BE} un peu ($+v_{be}$),
 - I_C changera un peu ($+i_c$)

$$I_C + i_c = I_0 e^{(V_{BE} + v_{be})/kT}$$

“Un peu” = approximation petit-signal

Application typique: Active

- On separe l'exponentielle:

$$I_C + i_c = \underbrace{I_0 e^{V_{BE}/kT}}_{I_C} e^{v_{be}/kT} \quad \Rightarrow \quad I_C + i_c = I_C e^{v_{be}/kT}$$

- Serie de Taylor de $e^{v_{be}/kT}$ (2 elements):

$$I_C + i_c = I_C \left(1 + \frac{v_{be}}{kT} \right)$$

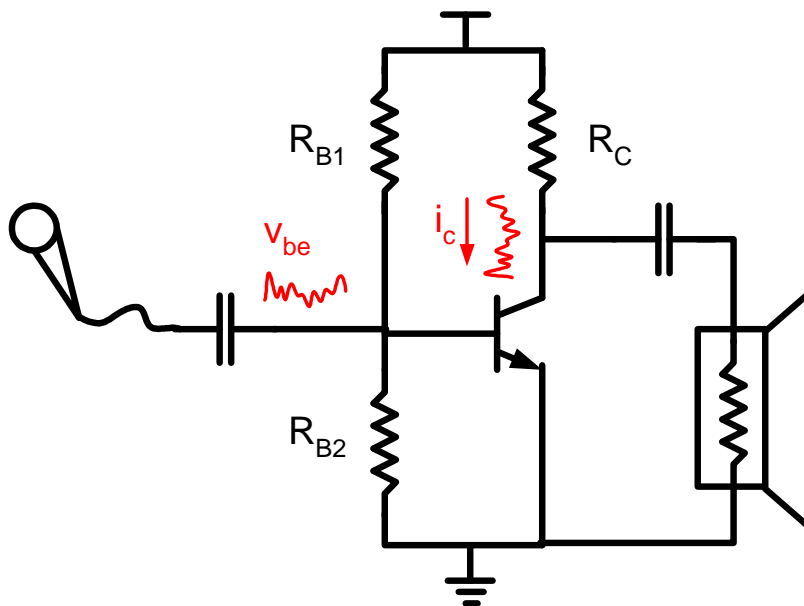
- On simplifie:

$$i_c = \left(\frac{I_C}{kT} \right) v_{be}$$

Variation de tension a la base donne une variation de courant proportionnelle ⁵⁰

Application typique: Active

- Changement v_{be} cause changement i_c
- Changement i_c change v_c a cause de R_C
 - Donc, changement v_{be} donne changement v_c



$$v_c = i_c R_C = \left(\frac{I_C}{kT} \right) v_{be} R_C$$

Pas encore 100% vrai

Application typique: Active

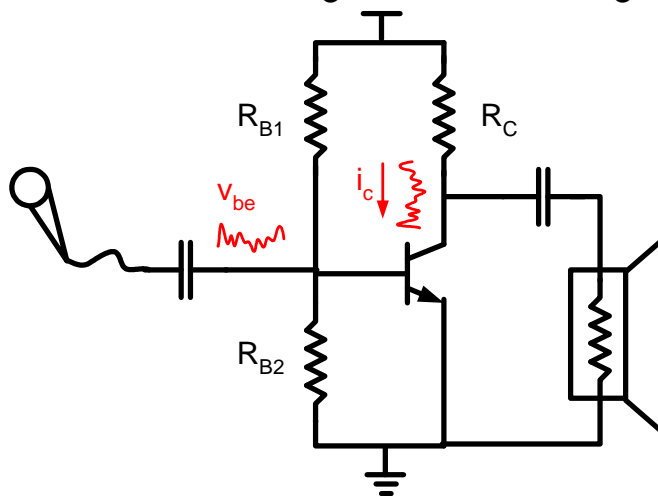
- Cas 1:

- Quand v_{be} AUGMENTE, i_c augmente
- Quand i_c augmente, v_c BAISSE

Gain negatif=
Changement en
direction opposee

- Cas 2:

- Quand v_{be} BAISSE, i_c baisse
- Quand i_c baisse, v_c AUGMENTE

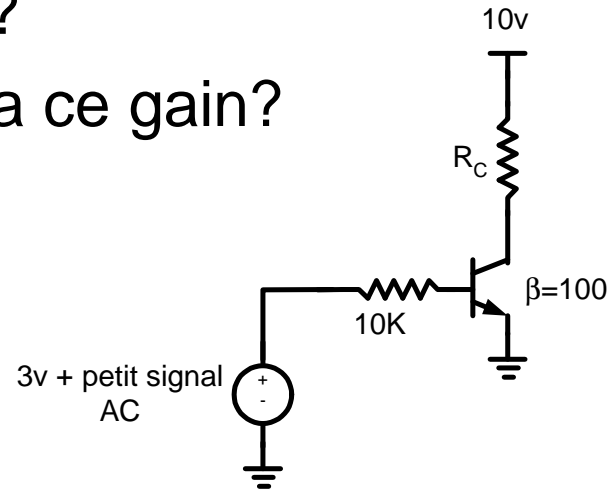


$$v_c = -i_c R_C = -\left(\frac{I_C}{kT}\right)v_{be} R_C$$

$$GAIN = \frac{v_c}{v_{be}} = -\left(\frac{I_C}{kT}\right)R_C$$

Exemple (seul)

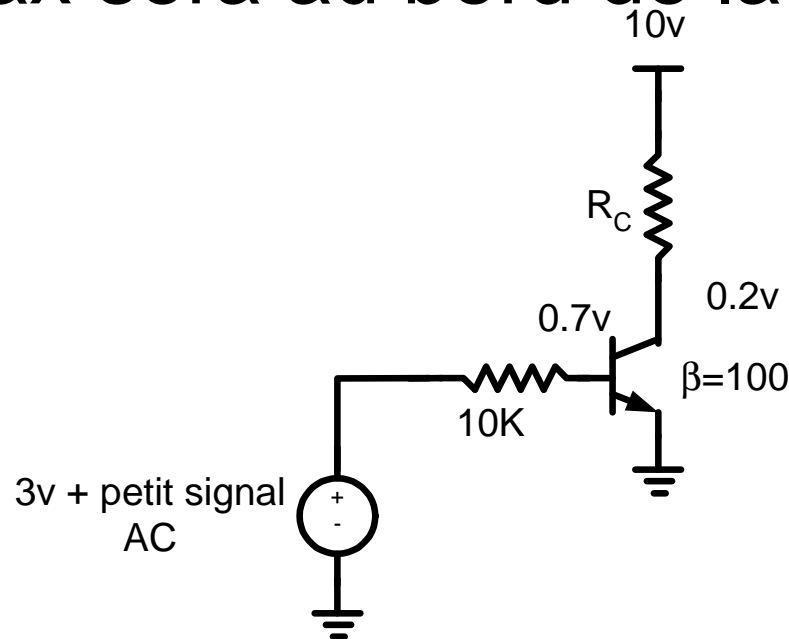
- Considérez ce circuit:
 - Quelle est la valeur de R_C qui me donnera le gain maximal?
 - Quel sera ce gain?



- Indices:
 - Gain max: “sur le bord de la saturation”
 - Gain = $-I_C/kT \cdot R_C$ (avec $kT=26mV$)

Exemple (seul)

- On sait que R_C est proportionnel au gain
- On va vouloir R_C tres grand
- Mais, R_C trop grand \rightarrow saturation
- R_C max sera au bord de la saturation



Exemple (seul)

- On trouve I_B et I_C :

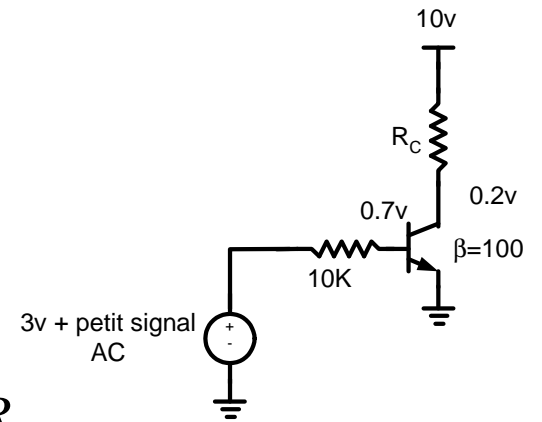
$$I_B = \frac{3 - 0.7}{10K} = 0.23mA \quad I_C = \beta I_B = 23mA$$

- Avec I_C , on trouve R_C :

$$V_C = VDC - I_C R_C \quad 0.2 = 10 - (23mA)R_C$$

- On isole R_C :

$$R_C = \frac{9.8}{23mA} = 426\Omega$$



Exemple (seul)

- Le gain est donne par

$$GAIN = \frac{v_c}{v_{be}} = -\left(\frac{I_C}{kT}\right)R_C$$

- A la temperature de la piece, $kT \sim 26mV$

$$GAIN = -\left(\frac{23mA}{26mV}\right)R_C = 377$$

Note: kT est parfois appelle V_T (thermique)

Commutation

- Un transistor peut amplifier des signaux
- Il peut aussi servir de commutateur
 - Soit ca conduit, soit ca ne conduit pas

- Quand ca ne conduit pas, on veut 0 courant



- Quand ca conduit, on veut:

- Courant eleve
- Chute de tension faible (idealement nulle)



Commutation

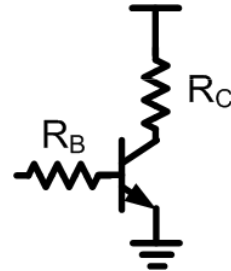
- Si le transistor était un commutateur, le courant pourrait circuler entre C et E



- La chute de tension devrait être petite
 - V_{CE} devrait être faible
- Ça semble indiquer qu'on devrait fonctionner en saturation quand ça conduit
 - Et en cut-off, sinon

Commutation

- Pour être en saturation, on a besoin que la jonction BC conduise:
 - Pour ça, V_C doit être faible



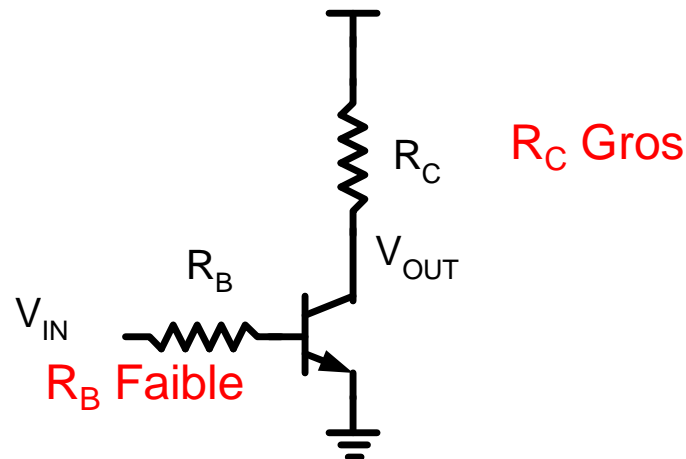
$$V_C = V_{DC} - R_C \beta I_B$$

- Comment rendre V_C faible?
 - Augmenter R_C
 - Baisser R_B (augmenter I_B)

Ces caractéristiques vont nous garantir d'être en saturation quand on conduit

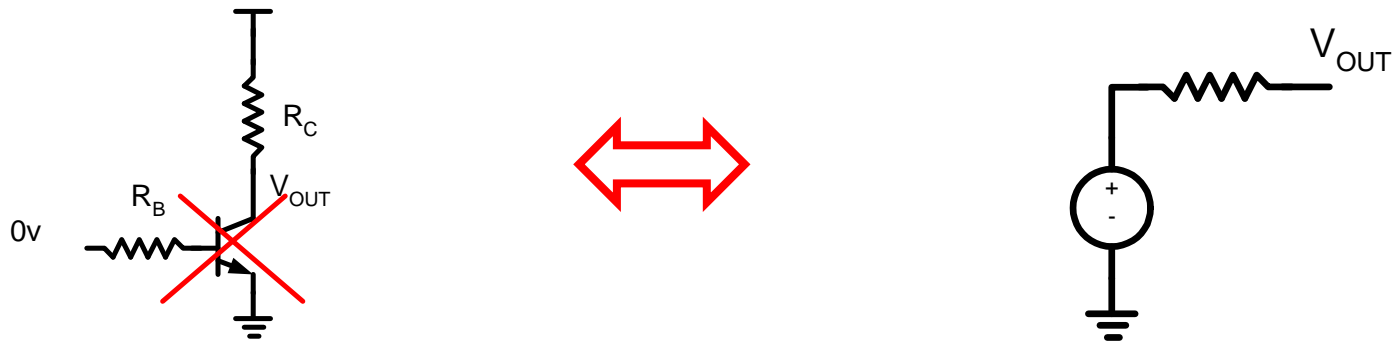
Application typique: Inverseur

- On utilise le transistor en commutation dans les portes logiques
 - Dans les systemes numeriques, il faut pouvoir faire des operations telles que ET, OU, NON, etc.
 - On est capable d'en fabriquer avec des transistors
- Considerez ce circuit



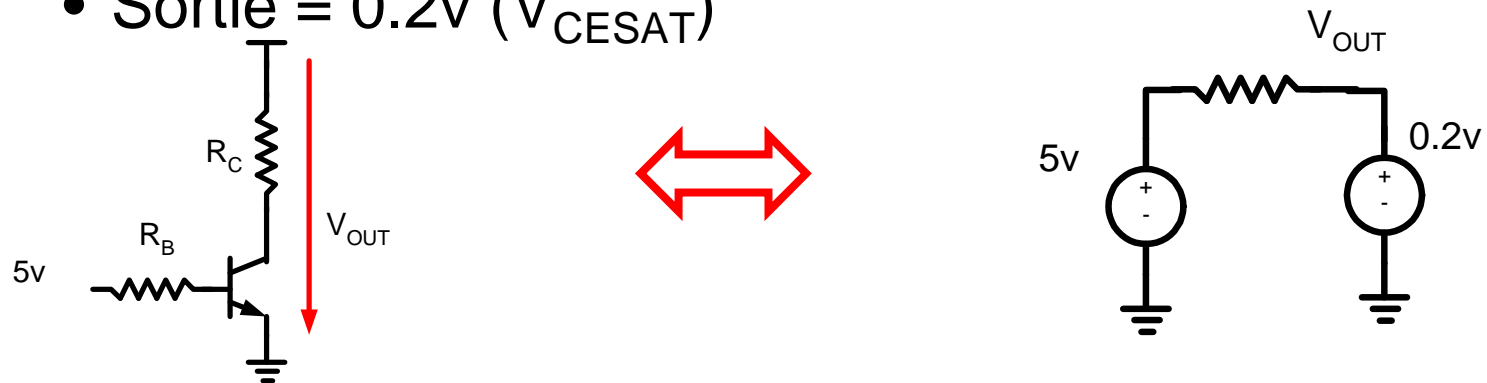
Application typique: Inverseur

- Si l'entrée est 0v, sortie = VDC (ex: 5v)



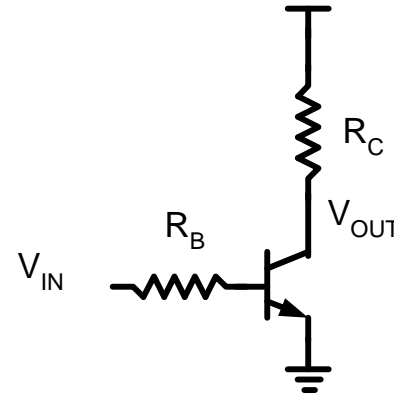
- Si l'entrée est 5v, je serais en saturation

- Sortie = 0.2v (V_{CESAT})



Application typique: Inverseur

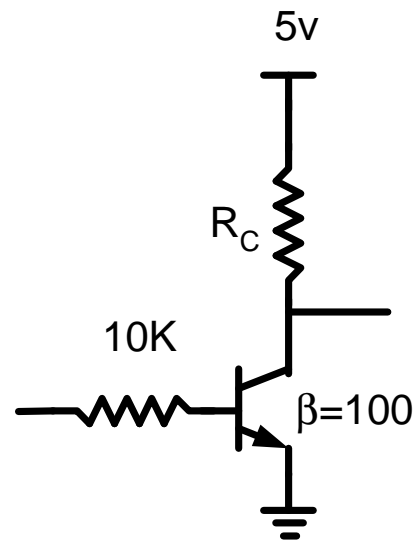
- Jouons a un jeu:
 - $V_{OUT} > 2.5v \rightarrow '1'$
 - $V_{OUT} < 2.5v \rightarrow '0'$



- Le circuit fonctionnerait comme ceci:
 - Entrée 0v ('0') \rightarrow sortie 5v ('1')
 - Entrée 5v ('1') \rightarrow sortie 0.2v ('0')
- C'est une "inversion" ou un "NON" logique
 - Une des fonctions de base de la logique

Exercice (seul)

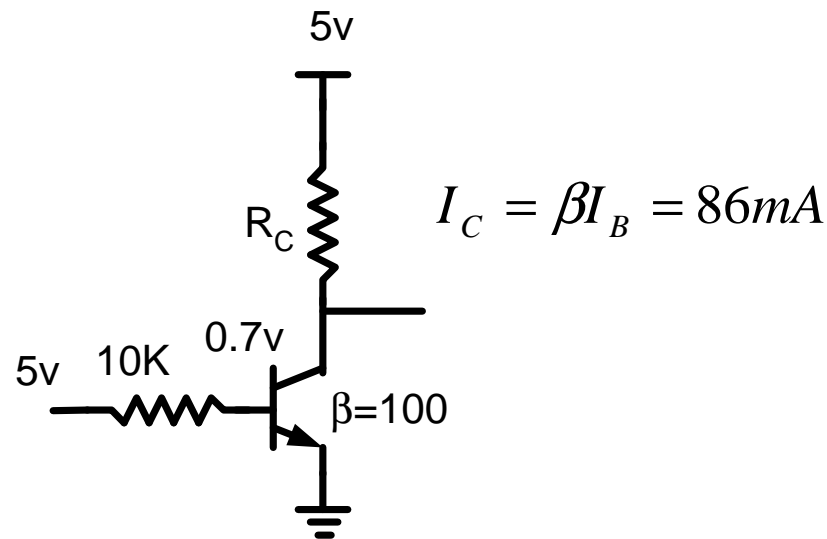
- Considérez l'inverseur suivant:
 - L'entrée sera soit 0v ou soit 5v
 - Trouvez R_C minimal pour fonctionner en saturation



Exercice (seul)

- Quand l'entrée est a 0v, il n'y a pas grand chose a faire...
 - Transistor en cut-off, la sortie sera a 5v
- Quand l'entrée est a 5v, on analyse:

$$I_B = \frac{5 - 0.7}{10K} = 0.43mA$$



Exercice (seul)

- On utilise l'équation de V_C :

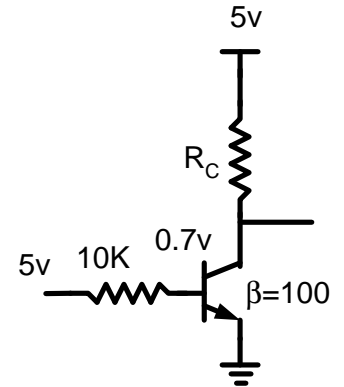
$$V_C = VDC - I_C R_C$$

- On entre les chiffres:

$$V_C = 0.2 = 5 - (86mA)R_C$$

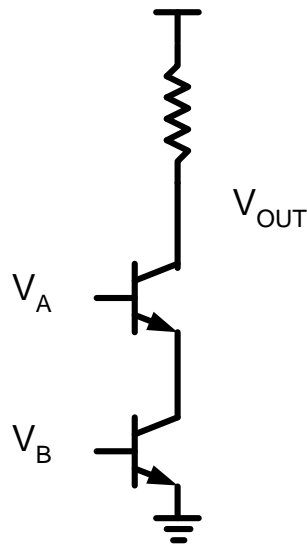
- On isole R_C :

$$R_C = \frac{4.8}{86mA} = 56\Omega$$

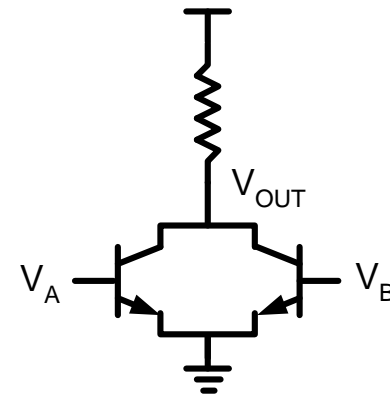


Portes logiques plus complexes

- On peut aussi faire d'autres portes logiques en utilisant les transistors
 - Voici les portes NON-ET et NON-OU:



NON-ET (NAND)



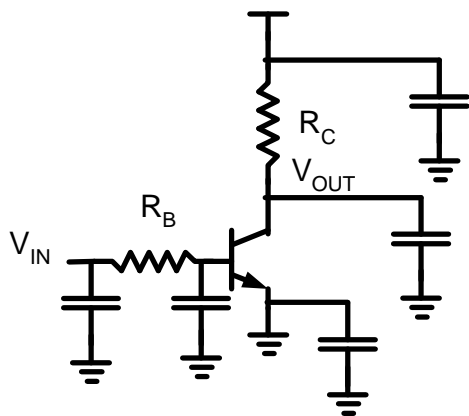
NON-OU (NOR)

Concept de temps

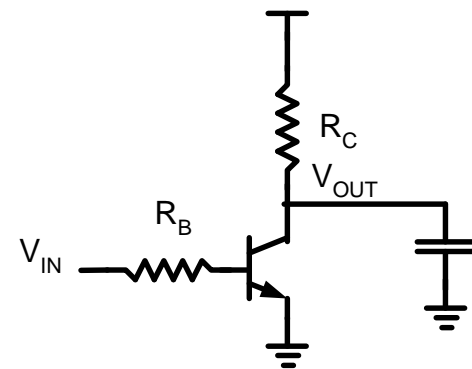
- Compliquons les choses un peu plus...
- On sait que rien n'est infiniment vite
 - Les transistors ne sont pas une exception
- Cependant, aucune de nos equations ne nous l'indique
 - Pourquoi?
- Parce que notre modele est incomplet...

Concept de temps

- N'importe quel bout de metal aura une capacite
 - Les plaquettes de prototypage en ont aussi
 - La capacite varie selon la taille du metal
 - C'est ce qu'on appelle une capacite PARASITE
- En realite, on aurait ce circuit

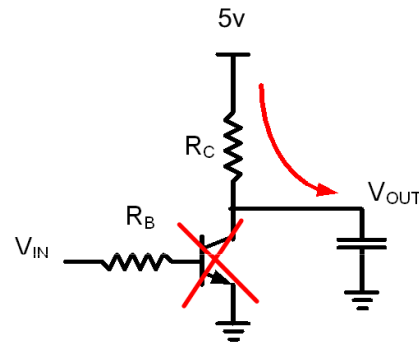


Trop de details
inutiles

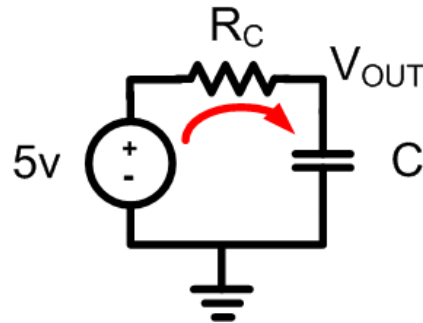


Concept de temps

- Quand l'entrée est 0v, le circuit devient:



- La source charge la capacite par la resistance R_C

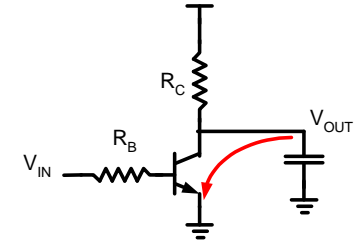


Concept de temps

- Quand l'entree est a 5v, le transistor est en saturation:

- Le transistor decharge la capacite

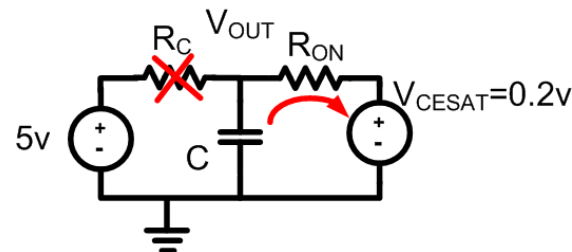
- 5v charge la capacite mais c'est lent puisque $R_C \gg$



- On pourrait calculer le courant mais c'est trop complique:

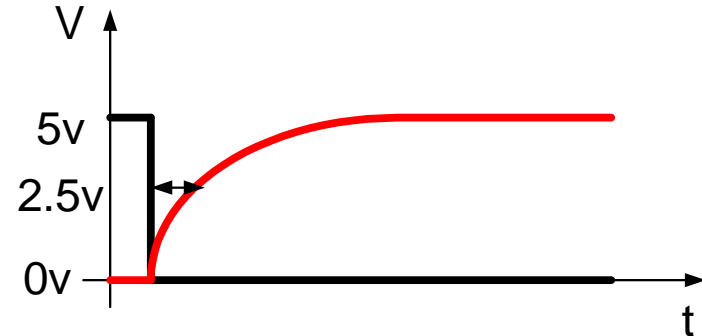
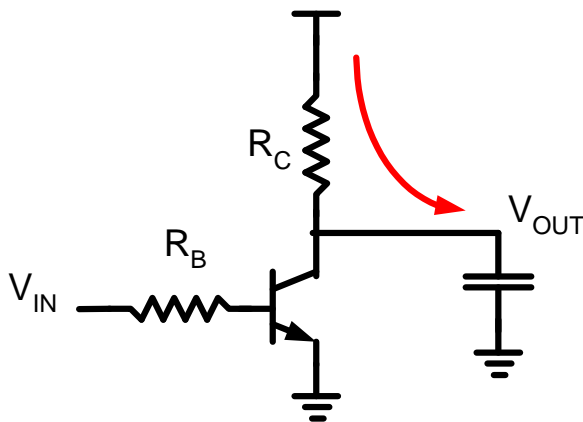
- On approxime le courant avec une resistance R_{ON}

- L'effet de R_C devient negligiable...



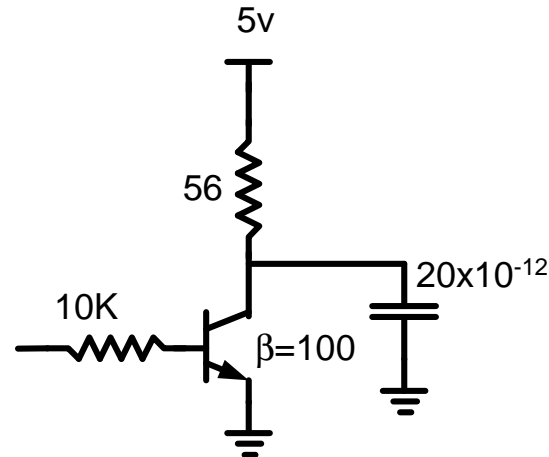
Concept de temps

- But: mesurer temps de transition
 - “J’applique ‘0’ a l’entrée.. Quand est-ce que j’aurai ‘1’ a la sortie?”
- Determine la vitesse maximale a laquelle mon systeme peut fonctionner



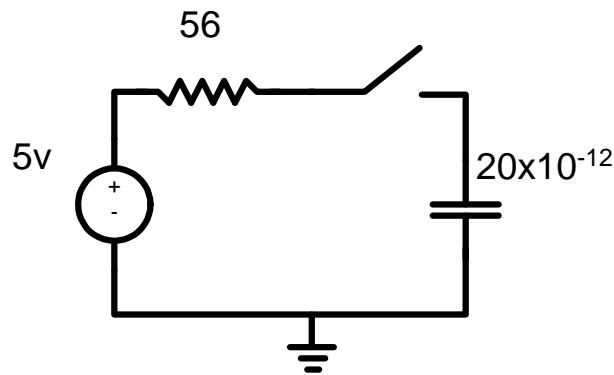
Exercice

- Trouvez le temps de transition de montée a la sortie:
 - SUPPOSEZ que la tension etait initialement 0v
 - Mesurez le temps entre 0v et 2.5v
 - La sortie est connectee a une capacite de 20pF
 - L'entree est une chute de 5v a 0v



Exercice

- On commence par redessiner le circuit



- Je trouve l'équation de $V_{OUT}(t)$

$$v_{out}(t) = VDC(1 - e^{-t/RC})$$

- On met les chiffres:

$$v_{out}(t) = 5(1 - e^{-t/56 \cdot 20 \times 10^{-12}})$$

Exercice

- On cherche le temps (t) requis pour aller jusqu'à 2.5v
 - Traduction: on veut isoler t dans ceci:

$$2.5 = 5 \left(1 - e^{-t / 56 \cdot 20 \times 10^{-12}} \right)$$

- On manipule un peu:

$$1 - \frac{2.5}{5} = e^{-t / 56 \cdot 20 \times 10^{-12}}$$

Il faut maintenant enlever l'exponentielle

Exercice

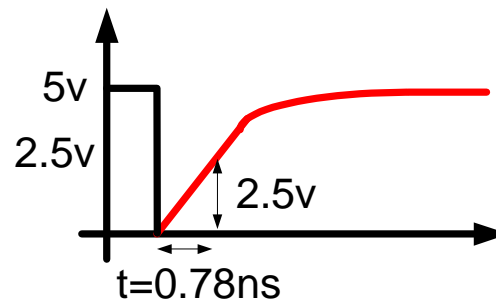
- On prend le log naturel des 2 bords:

$$\ln\left(\frac{1}{2}\right) = -\frac{t}{56 \cdot 20 \times 10^{-12}}$$

- On isole t:

$$t = -56 \cdot 20 \times 10^{-12} \ln\left(\frac{1}{2}\right) = 0.78 \text{ ns}$$

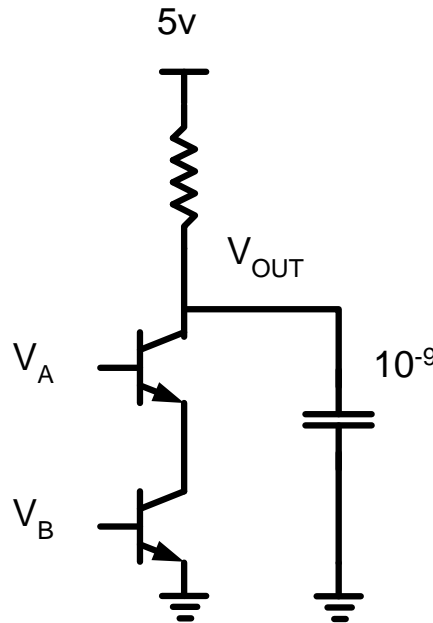
- On trouve que le DELAI est de 0.78ns



Exercice (seul)

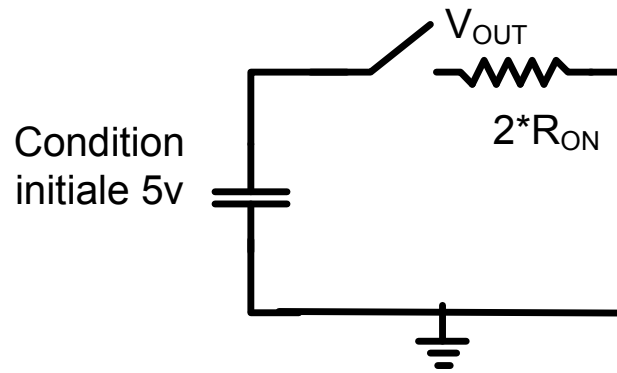
- Trouvez le temps de DESCENTE:
 - Considérez que **chaque** $R_{ON}=20\Omega$
 - Considérez que $R_C \gg R_{ON}$ et R_C est négligeable quand les transistors conduisent
 - Considérez que $V_{CESAT}=0v$

V_A et V_B changent de 0 à 5v en même temps



Exercice (seul)

- On modelise le circuit:



- On trouve $V_{OUT}(t)$

$$v_{out}(t) = V(0)e^{-t/RC}$$

- On entre les chiffres:

$$v_{out}(t) = 5e^{-t/40 \times 10^{-9}}$$

Exercice (seul)

- Quand est-ce que la tension chute a 2.5v?

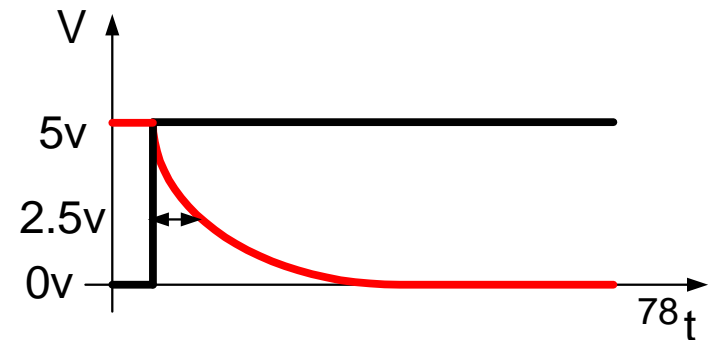
$$2.5 = 5e^{-t/40 \times 10^{-9}}$$

- On manipule pour isoler t:

$$\ln\left(\frac{2.5}{5}\right) = -\frac{t}{40 \times 10^{-9}}$$

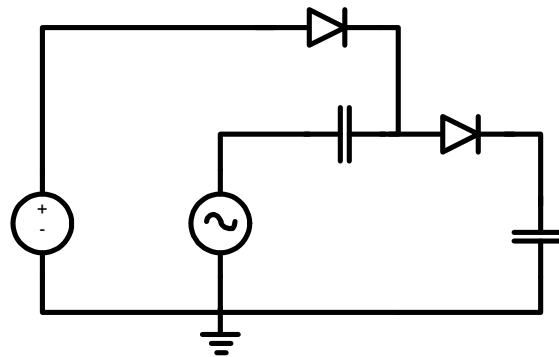
- On isole t:

$$t = -40 \times 10^{-9} \ln\left(\frac{2.5}{5}\right) = 27.7 \text{ ns}$$



Application: Pompe a charge

- Avec les diodes, on a parle des pompes a charge
 - Le but est de generer une tension plus elevee que l'alimentation

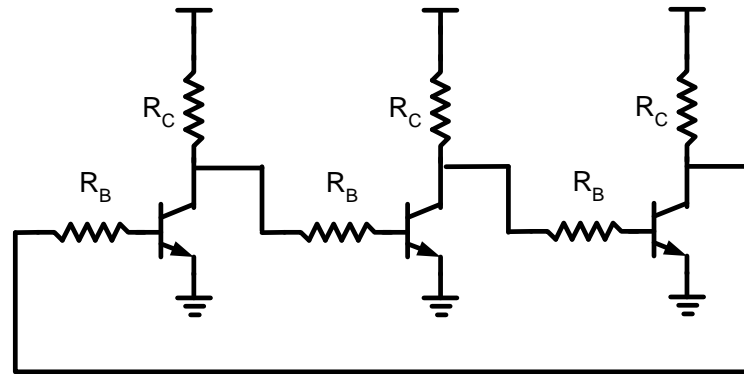


- Probleme: On a besoin d'un "oscillateur"

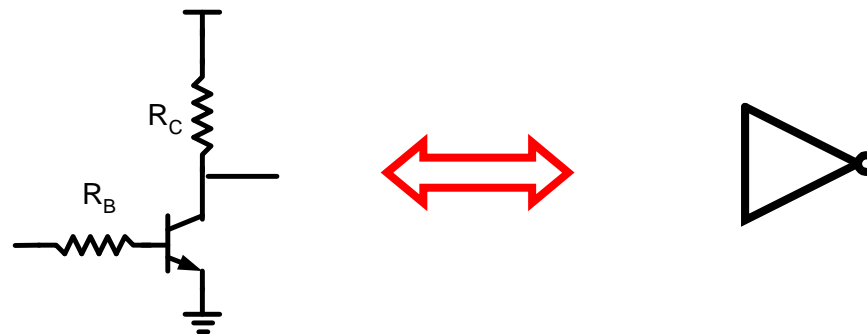
Oscillateur = source sinusoidale...

Application: Pompe a charge

- Avec les inverseurs, on peut faire un oscillateur:

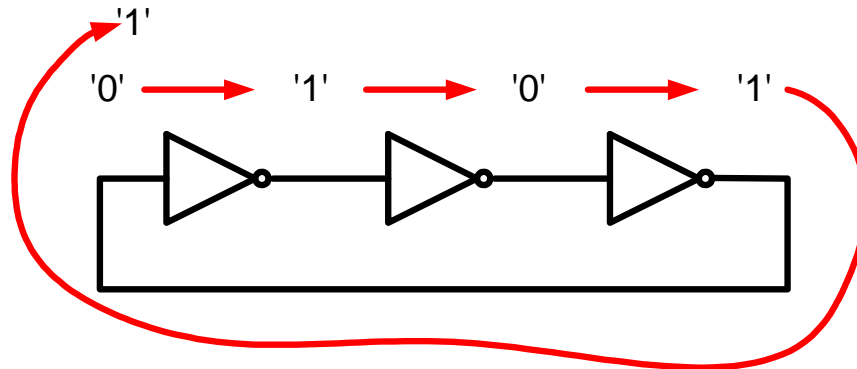


- On va faire abstraction des details:
 - On va cacher les choses qui nous font peur



Application: Pompe a charge

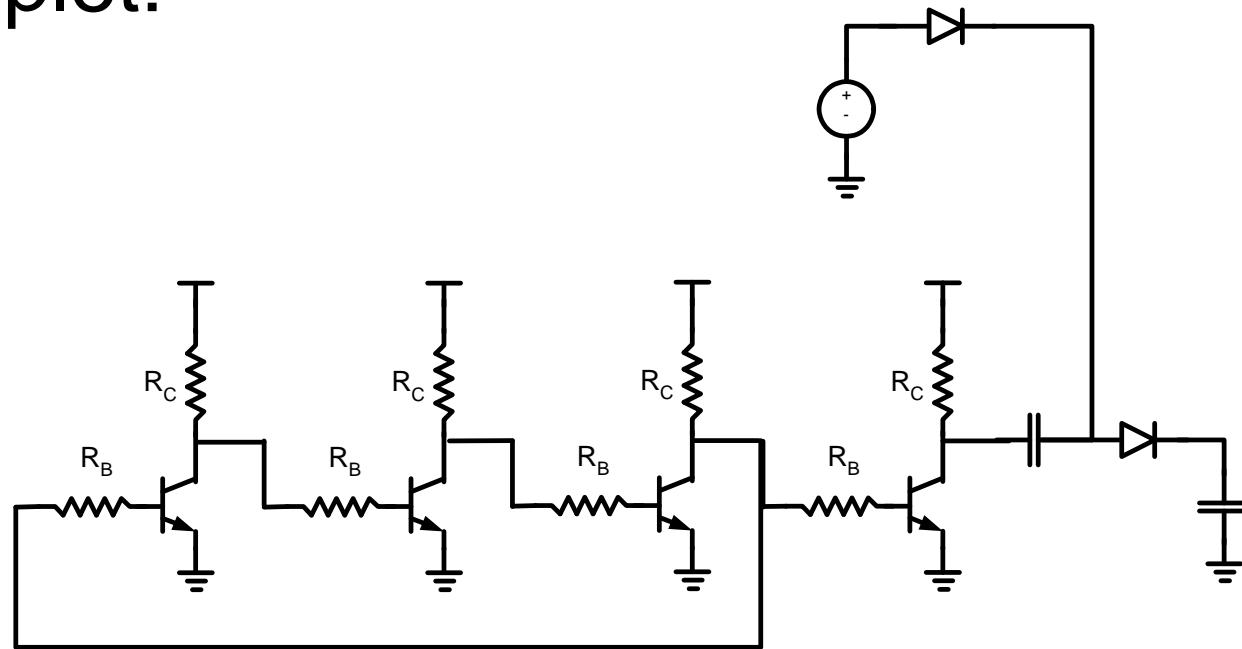
- On suit le fonctionnement “a haut niveau d’abstraction”:



- Vitesse depend de:
 - Delai dans chaque inverseur
 - Le nombre d’inverseurs (nombre impair!)

Application: Pompe a charge

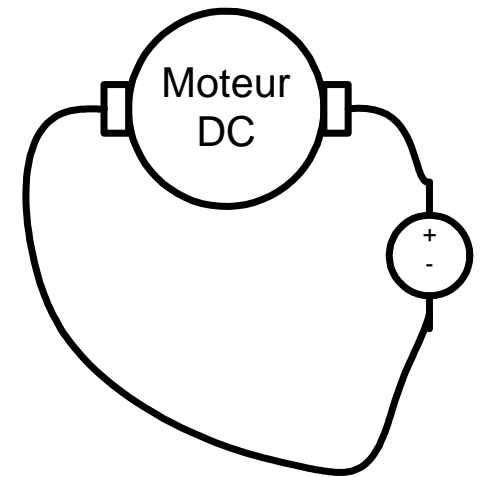
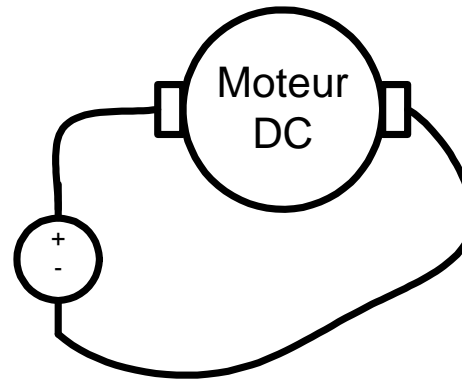
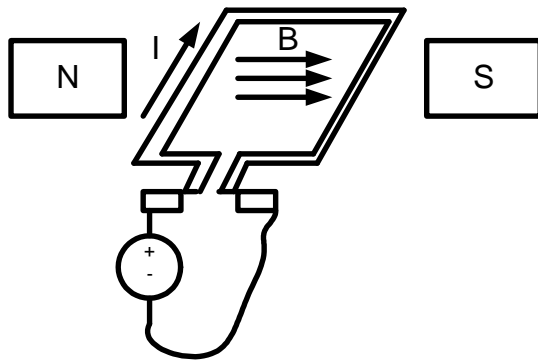
- Pour completer le lien, voici le diagramme complet:



Non, pas necessaire pour l'examen

Application: Pont en H

- Un moteur DC est un moteur qui est facile a controler:
 - Avec une tension positive, il tourne d'un bord
 - Avec une tension negative, il tourne de l'autre



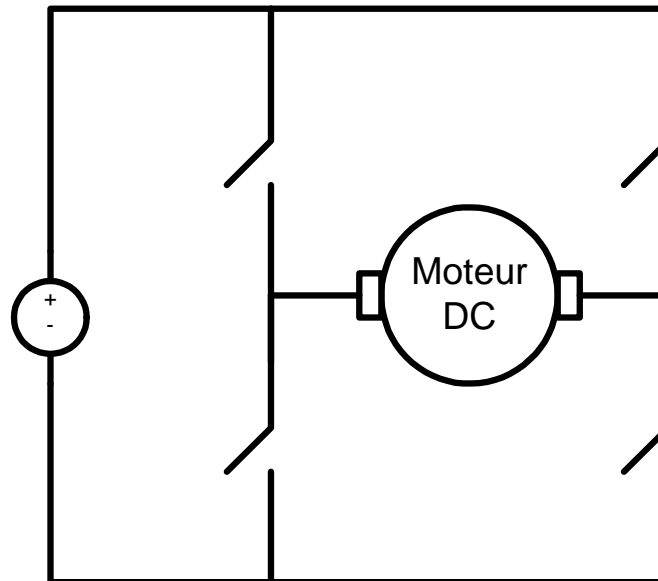
Allez voir le cours d'electromagnetisme

Application: Pont en H

- Probleme: imaginez un robot qui fonctionne avec ca
 - Pour qu'il avance, je dois connecter d'une facon
 - Pour qu'il recule, je dois refaire les connexions
- On aimerait controler la direction du moteur sans deconnecter
- L'approche classique: un pont en H

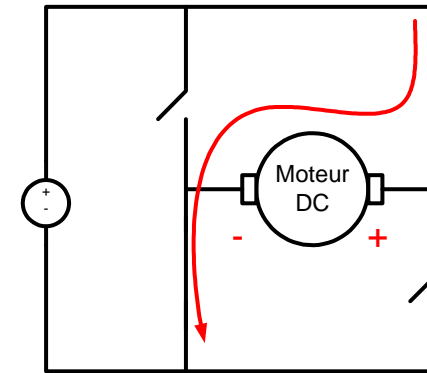
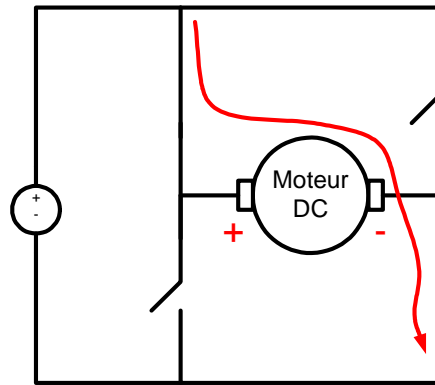
Application: Pont en H

- La structure generale ressemble a ca:
 - Source
 - Commutateurs
 - Moteur

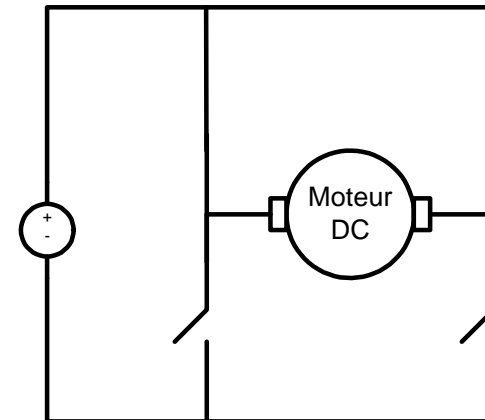
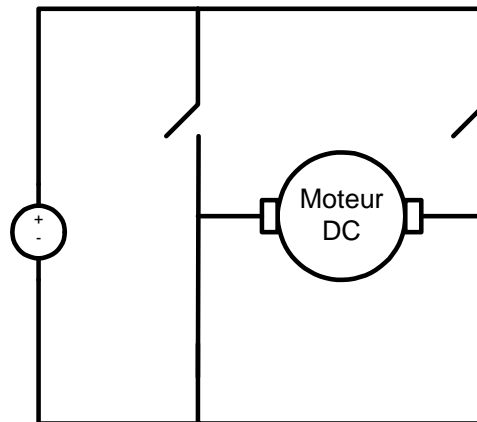


Application: Pont en H

- Pour tourner dans une direction ou l'autre:

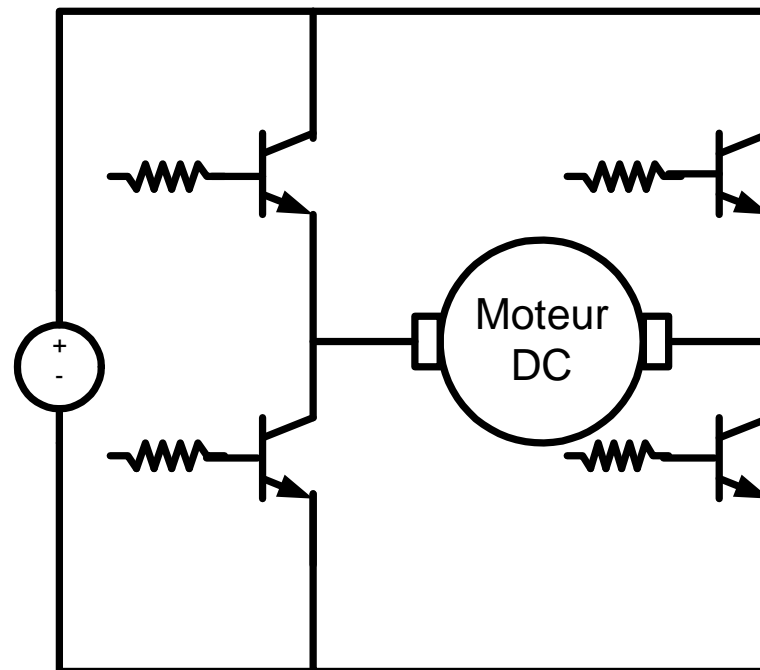


- Pour arreter:



Application: Pont en H

- Nous savons comment faire des commutateurs:



Il manque quelque chose!

Application: Pont en H

- Electromagnetisme:
 - Un courant dans un champ magnetique cree une force (le moteur qui tourne)
 - Un mouvement dans un champ peut generer un courant
- Quand on enleve le courant, le moteur continue a tourner un peu (inertie)
- Ceci va generer un courant qui peut etre mauvais pour les transistors

Application: Pont en H

- On aurait un design final qui ressemble a ca:

