

# Électronique

Transistors bipolaires

# Méthodologie de conception

- Un des aspects manquants dans l'enseignement classique c'est la conception
- L'enseignement de la conception est difficile:
  - Pas d'approche systématique pour l'enseigner
  - Trop de solutions possibles et donc, difficile à évaluer
  - La conception est comme un art... ça vient de notre vécu, de nos connaissances et de l'inspiration
- C'est la raison pour laquelle ce n'est pas évident...

# Méthodologie de conception

- Il y a certaines approches que nous pouvons utiliser pour nous guider
- Apprendre de l'oeuvre des maîtres
  - Exposez-vous à un grand nombre de circuits
  - En adoptant leur façon de raisonner, on pourrait converger vers une bonne solution
  - Il est bien important de comprendre le raisonnement pour pouvoir adapter la solution à d'autres problèmes

Adopter et adapter...

# Méthodologie de conception

- Avoir une base solide:
  - Quand on analyse des circuits existants, il faut avoir une base solide pour bien les comprendre
  - Il faut être capable de développer l'intuition sur le fonctionnement des composantes
  - L'intuition vient avec l'expérience et parfois avec les équations mathématiques
  - Vous devriez être en mesure de dire des choses comme "quand j'augmente ça, ceci devrait baisser"

# Méthodologie de conception

- Pour aborder une conception, je propose y aller de la manière suivante:
  - Comprendre la situation
  - Tempête d'idées
  - Diviser pour conquérir/Intégration
  - Vérification et validation

# Méthodologie de conception

- De façon plus concrète, on pourrait dire:
  - 1) Identifier les entrées et les sorties
  - 2) Décomposer le problème en petits morceaux jusqu'à ce que je comprenne quelque chose
  - 3) Énumérer les choses que je connais qui POURRAIENT peut-être faire le travail
  - 4) Analyser ces morceaux de solution
  - 5) Penser à la façon d'interconnecter les morceaux.
  - 6) Analyser la solution finale

# Méthodologie de conception

- Parfois il est pertinent de faire abstraction des détails
  - Dessiner avec des commutateurs ou avec des portes logiques à la place de transistors
  - Commencer avec un modèle simple (modele ON/OFF avec chute de 0.7 pour une diode,  $I_C = I_E$  pour BJT, etc.
- Une fois l'esquisse de base faite, on reviendra compléter les details...

Ce sont des choses qui ne veulent rien dire jusqu'à ce qu'on commence à concevoir...

# Mise en situation #1

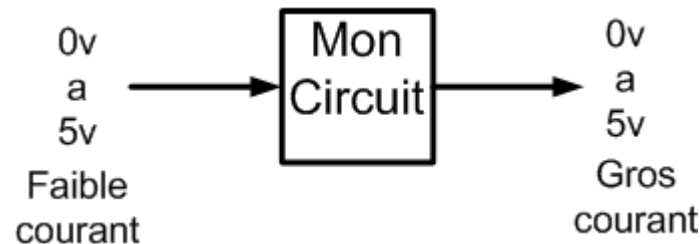
- J'essaie de contrôler une diode au laser avec un microcontrôleur:
  - La sortie du microcontrôleur peut me donner 0v et 5v
  - 5v envoie un rayon et 0v n'en envoie pas
- Courant maximum du microcontrôleur de 5mA: pas assez pour notre laser.
  - Si notre laser tirait trop de courant, la sortie du microcontrôleur sera beaucoup moins que 5v
  - Le laser n'enverrait pas de rayon

Concevez un circuit pour contrôler votre laser avec un microcontrôleur  
Hypothèse et indice:  $I_C/I_E$  d'un transistor pourrait fournir plus que 5mA



# Conception

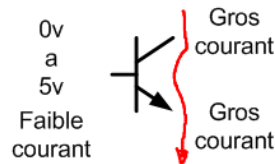
- Identifier les entrées et les sorties:



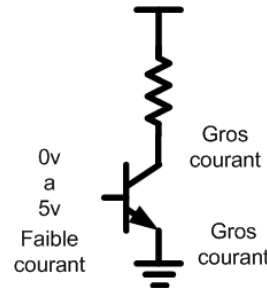
- Le problème est petit: je n'ai pas besoin de décomposer en petit morceaux
- Qu'est-ce qui peut régler mon problème?
  - Je dois mettre un petit courant pour qu'il m'en donne un gros?

# Conception

- Solution: un transistor!
  - Petit courant  $I_B$  qui me donne un gros courant  $I_C/I_E$
- La façon la plus simple d'implanter est:

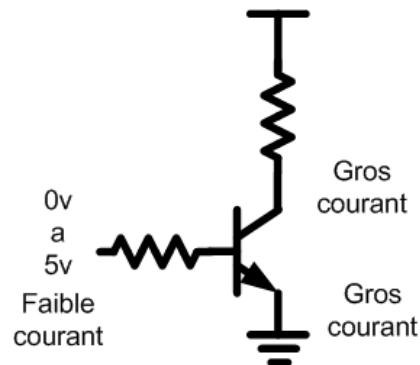


- J'ai un gros courant, mais je n'ai pas de 0v/5v
- Je pourrais mettre une résistance



# Conception

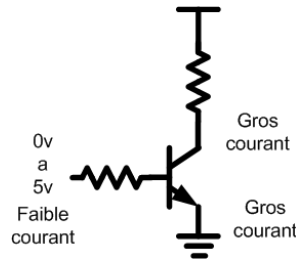
- Est-ce que je veux un transistor en active ou saturation?
  - Est-ce que je veux un gros  $V_{CE}$  ou un petit  $V_{CE}$ ?
- Est-ce qu'il manque quelque chose?
  - Mon  $V_{BE}$  pourrait être assez gros. Il faut protéger ma diode de la jonction BE
  - Parce que je veux être en saturation,  $I_C$  dépend de  $R_C$



Analysons maintenant le circuit

# Conception

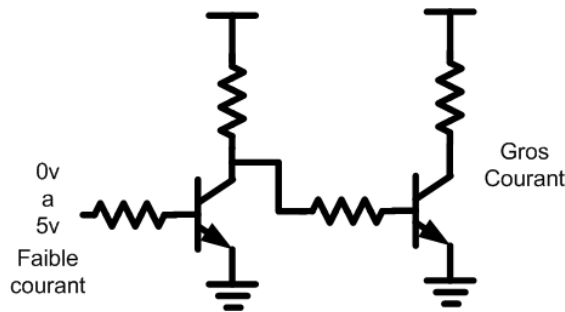
- Quand mon microcontrôleur donne 0v, je ne veux pas que ça illumine
- Quand mon microcontrôleur donne 5v, je veux que ça illumine



- Cependant, mon circuit donne le contraire...
  - Je dois donc INVERSER le signal...

# Conception

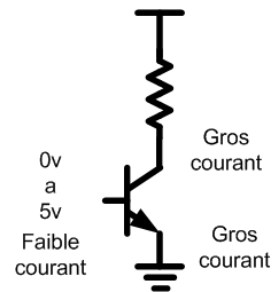
- Le courant dans le premier  $R_C$  n'a plus besoin d'être très grand:
  - C'est plutôt le 2<sup>e</sup>  $R_C$  qui devrait avoir un gros courant



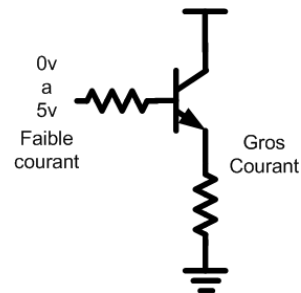
Une autre option...

# Conception

- À la place de faire cette connexion...



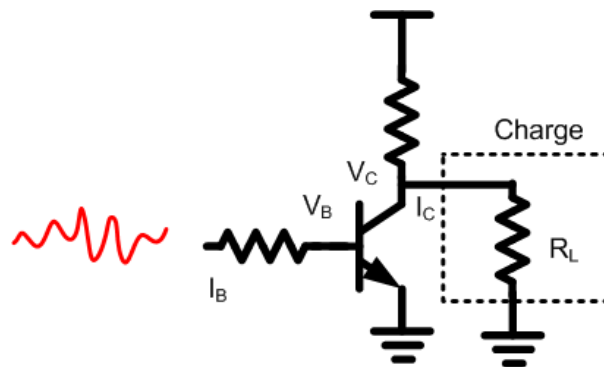
- Qu'arrive-t-il si je faisais cette connexion?
  - On se sauverait du travail et des composantes



Explorons cette connexion rapidement...

# Sortie: collecteur ou émetteur?

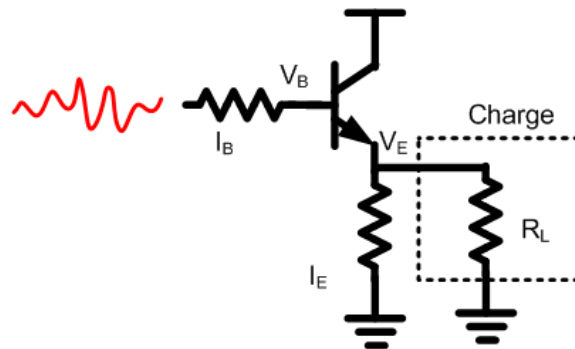
- Sortie au collecteur:
  - $I_C$  est bien déterminé :  $I_C = \beta I_B$
  - La relation d'amplitude  $V_C$  et  $V_B$  est mal contrôlée: dépend de  $R_C$  et de  $R_L$
  - Amplitude de  $V_C$  pourrait donc être plus grand ou plus petit selon  $R_C$  et  $R_L$
  - Bon pour gain mais pas pour  $R_L$  faible (gros courant nécessaire)



# Sortie: collecteur ou émetteur?

- Sortie à l'émetteur

- $I_B$  est faible chute de tension faible:  $V_B$  sera comme l'entrée
- $V_E$  est égal à  $V_B - 0.7$  ( $V_{BE} = 0.7$ )
- L'amplitude de  $V_E$  est très semblable à l'amplitude à l'entrée mais décalée de 0.7v (gain proche de 1)
- Pas bon pour gain, mais bon imposer  $V_{OUT}$  voulu sur  $R_L$  de faible valeur





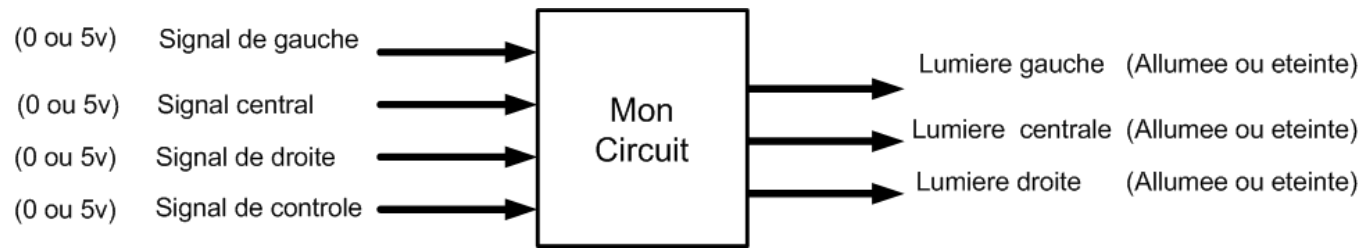
# Mise en situation #2

- On veut un système qui allume les lumières de façon séquentielle:
  - On allume une lumière à gauche, puis celle au centre et finalement celle à droite
  - Ceci est vrai seulement si un autre signal est 5v... Si ce signal était 0v, rien ne se produirait
- On reçoit 4 signaux de 0v ou 5v
  - Gauche, centre, droite et le contrôle
  - Une entrée de 5v veut dire “ON” sinon c’est “OFF”

Concevez le circuit qui répond à ces besoins

# Début de conception

- On identifie les entrées et les sorties



- La situation semble compliquée
  - Il faut allumer les lumières selon les signaux
  - Il faut en plus dépendre d'un signal
- Je propose qu'on divise en 2 parties...
  - Un pour allumer et l'autre pour contrôler

On sait comment allumer une lumière et on sait comment agir comme un commutateur

# Mise en situation #3

- Certaines télécommandes envoient des signaux infrarouges modulés à 38KHz
- Le récepteur les recoit, les amplifie et utilise un système pour interpréter ces commandes
- On aimerait faire un amplificateur de signal infrarouge

Photodiode

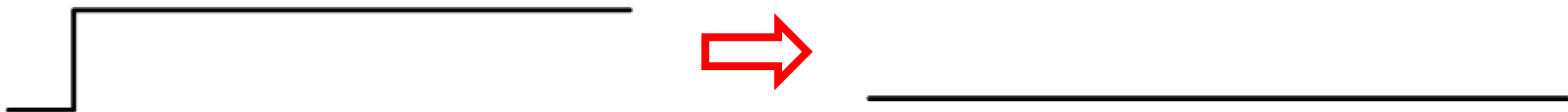


Système

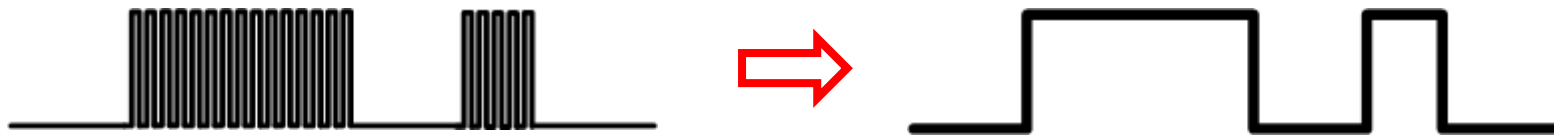


# Mise en situation #3

- Contraintes:
  - Le soleil et la lumière ambiente ont aussi une composante infrarouge: on ne veut pas détecter ça
  - Ça doit avoir une fréquence assez élevée pour être détectée: sinon, la sortie donne 0

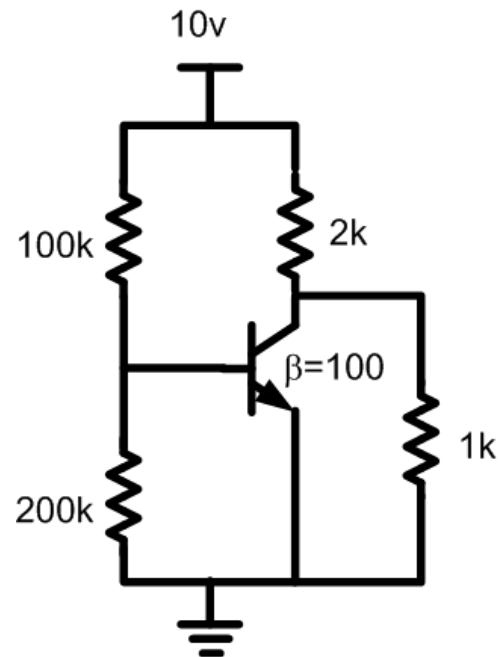


- Concevez un circuit pour recevoir, amplifier et donner une sortie de ce style:



# Exercice (seul)

- Trouvez les courants et les tensions du transistor dans ce circuit



## Exercice (seul)

- On fait l'hypothèse de la région active
- On a besoin de connaître  $V_C$  pour vérifier l'hypothèse
  - Pour ça, il faut connaître  $I_C$
  - Pour ça, il faut connaître  $I_B$
- Donc, on écrit l'équation autour de la base pour  $I_B$ :

$$\frac{10 - 0.7}{100K} = I_B + \frac{0.7}{200K}$$

# Exercice (seul)

- On isole  $I_B$ :

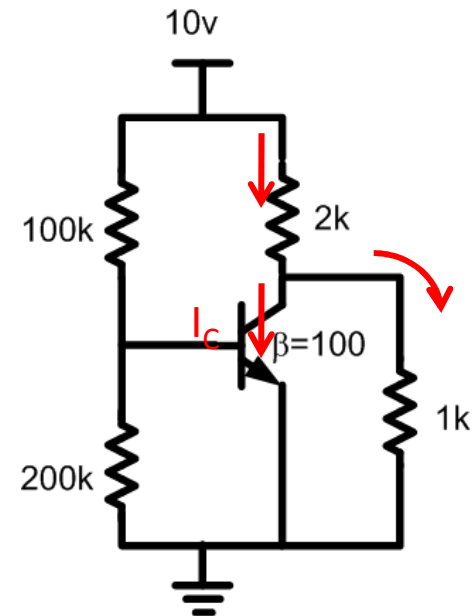
$$I_B = \frac{17.9}{200K} = 89.5\mu A$$

- On trouve  $I_C$ :

$$I_C = 8.95mA$$

- Important:

- $I_C$  n'est pas le courant qui passe par  $R_C$



# Exercice (seul)

- $V_C$  n'est pas déterminé par  $I_C$  mais plutôt par  $I$

$$V_C = 10 - 2K \cdot I$$

- La relation entre  $I$  et  $I_C$ :

$$I = I_C + \frac{V_C}{1K}$$

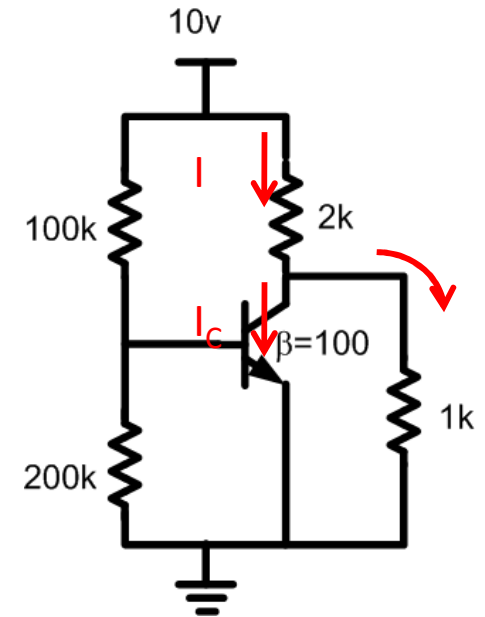
- On substitue dans l'équation:

$$V_C = 10 - 17.9 - 2V_C$$

- Pour finalement donner  $V_C$ :

$$V_C = -2.63$$

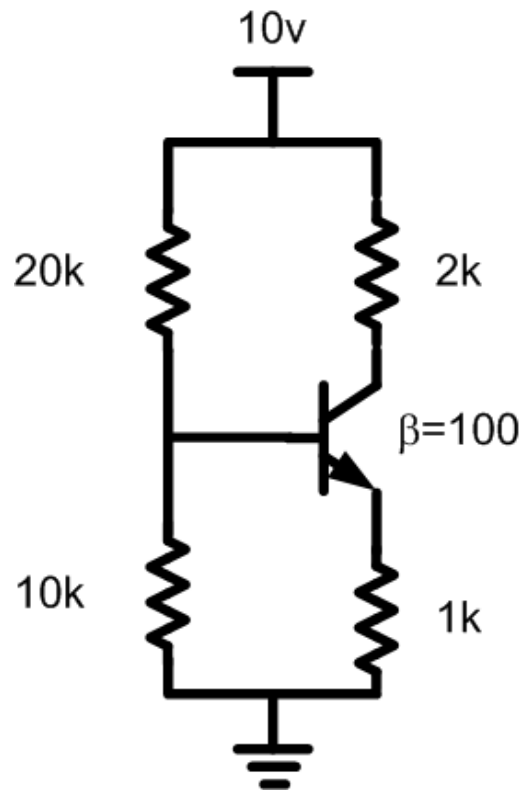
(Saturation... refaire avec  $V_{CESAT}=0.2$ )





# Exercice (seul)

- Trouvez les courants et les tensions du transistor dans ce circuit



# Exercice (seul)

- On écrit l'équation à la base:

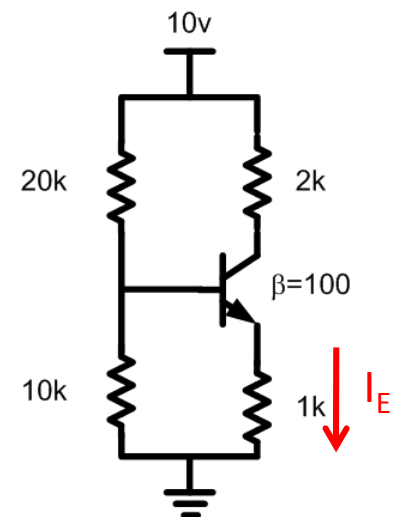
$$\frac{10 - V_B}{20K} = I_B + \frac{V_B}{10K}$$

- Une équation à 2 variables. On en isole une...

$$\frac{10 - 3V_B}{20K} = I_B$$

- On va chercher une autre équation:

$$I_E = (\beta + 1)I_B = \frac{V_E}{1K} = \frac{V_B - 0.7}{1K}$$



# Exercice (seul)

- On manipule un peu

$$I_E = (\beta + 1)I_B = \frac{V_E}{1K} = \frac{V_B - 0.7}{1K} \quad \Rightarrow \quad I_B = \frac{V_B - 0.7}{(\beta + 1)1K}$$

- On met les 2 équations de  $I_B$  égaux...

$$\frac{10 - 3V_B}{20K} = \frac{V_B - 0.7}{(\beta + 1)1K}$$

- Une équation à 1 variable... on isole  $V_B$ :

$$V_B \cong 3.17$$

# Exercice (seul)

- Avec  $V_B$ , on peut trouver  $I_B$ :

$$\frac{10 - 3V_B}{20K} = I_B \quad \Rightarrow \quad I_B = 24.5\mu A$$

- On peut trouver  $I_C$ :

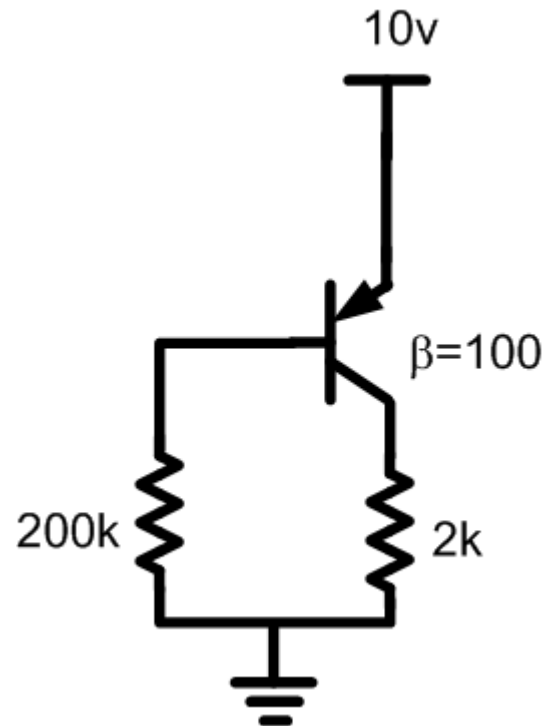
$$I_C = 2.45mA$$

- Finalement, on peut trouver  $V_C$ :

$$V_C = 10 - 2K \cdot I_C = 5.1V$$

# Exercice (seul)

- Trouvez les courants et les tensions du transistor dans ce circuit



# Exercice (seul)

- En région active,  $V_B$  est plus petit que  $V_E$  de 0.7
- On trouve  $I_B$  qui SORT de la base:

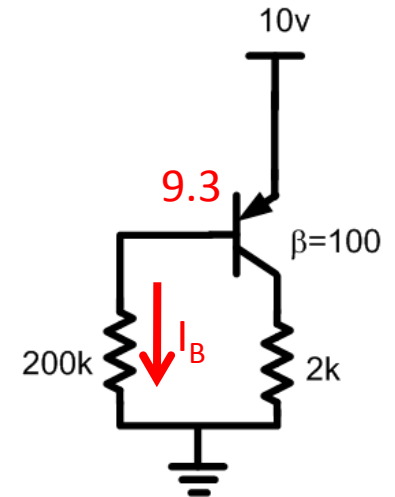
$$I_B = \frac{9.3}{200K} = 46.5\mu A$$

- On trouve  $I_C$

$$I_C = 4.65mA$$

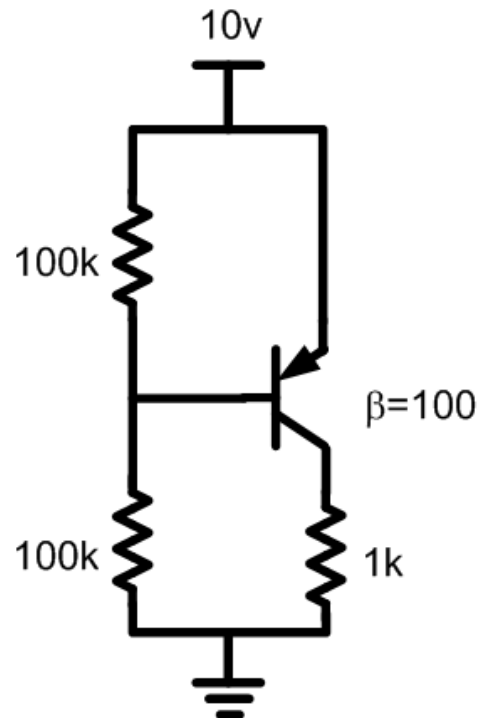
- On trouve  $V_C$

$$V_C = 4.65mA \cdot 2K = 9.3v$$



# Exercice (seul)

- Trouvez les courants et les tensions du transistor dans ce circuit



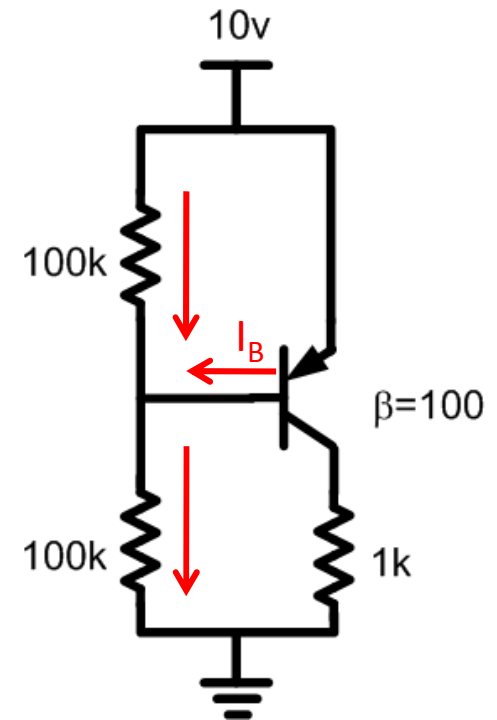
# Exercice (seul)

- On écrit l'équation du courant à la base:

$$\frac{10 - 9.3}{100K} + I_B = \frac{9.3}{100K}$$

- Le courant doit sortir de la base
- On isole  $I_B$ :

$$I_B = 86\mu A$$





# Exercice (seul)

- Le reste devient une simple formalité:

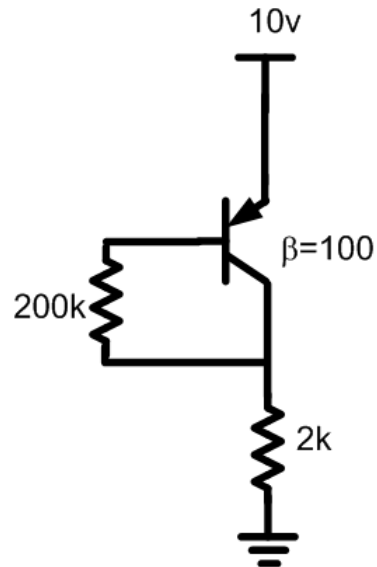
$$I_C = 8.6mA$$

- On calcule  $V_C$ :

$$V_C = 8.6v$$

# Exercice (seul)

- Trouvez les courants et les tensions du transistor dans ce circuit



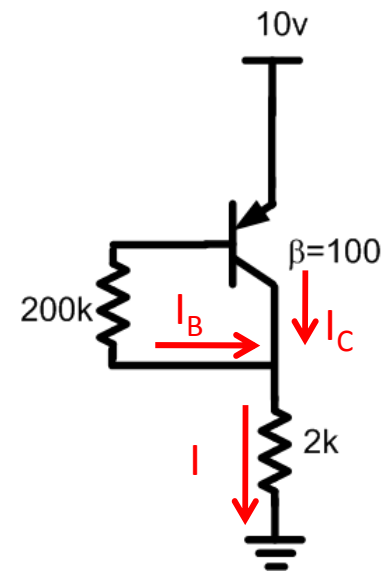
# Exercice (seul)

- On trouve  $I_B$ :

$$I_B = \frac{9.3 - V_C}{200K}$$

- $V_C$  n'est pas déterminé par  $I_C$ 
  - C'est plutôt déterminé par  $I_B + I_C$

$$V_C = (I_B + I_C)2K$$



## Exercice (seul)

- On sait que  $I_C$ , c'est  $\beta I_B$

$$V_C = \left( \frac{9.3 - V_C}{200K} + 100 \frac{9.3 - V_C}{200K} \right) 2K$$

- On isole  $V_C$ :

$$V_C = 4.67V$$