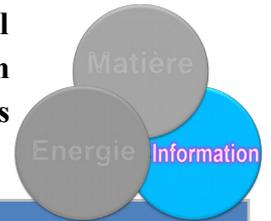


STI2D	Thème N°5 : Traitement du signal	
SIN - Terminale		

L'objectif de ce cours est de présenter quelques exemples de traitement du signal (du point de vue analogique, même si le signal représente une information numérique), à travers la découverte du filtrage et la mise en œuvre de transistors (amplification).



Pré-requis :
Maîtrise de l'outil mathématique (manipulations d'équations, résolutions d'équations)
Notions de bases sur l'électricité (tension, courant, lois)
Notions de bases sur les diodes et les fonctions logiques
Connaissance des unités fondamentales et des puissances de 10

Objectifs :
Être capable de caractériser un filtre et de faire les calculs d'un filtre passe-bas du premier ordre
Être capable de mettre en œuvre un montage simple à base de transistor bipolaire

Objectif caché (ou indirect) du cours:
Réviser les lois de l'électricité (nœuds, mailles, Ohm)

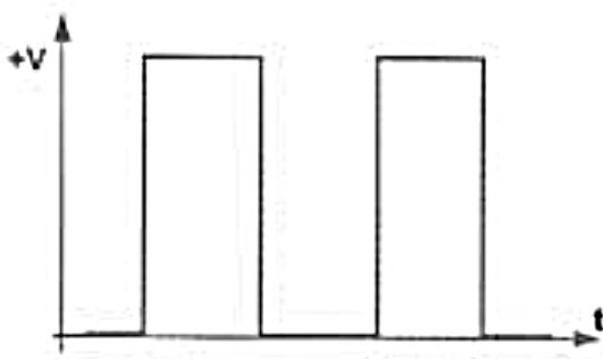
Plan du chapitre :
Partie I : le filtrage
I. Introduction et définitions
II. Exemple et calculs pour un filtre passe-bas (1er ordre)
III. Exemple d'un filtre passe-haut
IV. Exemple d'un filtre passe-bande
V. Exemple filtre coupe-bande (ou réjecteur de bande)
VI. Exercices
Partie II : amplification (transistor)
I. Historique
II. Symboles et constitution du transistor bipolaire
III. Fonctionnement en amplification
IV. Fonctionnement en commutation
V. Types de boîtiers
VI. Puissance
VII. Les autres types de transistor
VIII. Exercices

Partie I : le filtrage

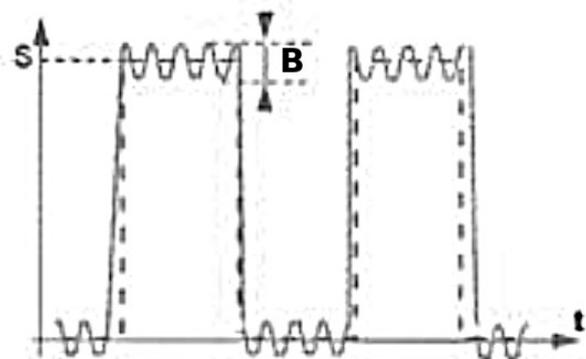
I. Introduction et définitions

Problématique : Quand l'on utilise un signal représentant des données, qu'il soit à l'origine analogique et numérique, son transport (par fils, par ondes, ...) se fait de manière analogique et souvent avec la technologie électrique (ou lumineuse). Il apparaît alors des parasites.

Exemple : signal numérique :



Signal sans bruit (parasite)



Signal réel avec bruit (parasite)

Si le bruit B devient trop important en amplitude on voit bien qu'il risque de modifier le sens du signal en créant des 0 ou des 1 non voulus. On le voit bien sur l'exemple précédant, la fréquence du bruit est très différente de celle du signal. Le filtrage va nous permettre d'éliminer la partie non voulue du signal.

Principe :

Le filtrage (analogique) est obtenu en envoyant le signal à travers un ou plusieurs circuits électroniques, qui modifient le signal afin de le rendre conforme à ce que l'on souhaite (en terme de forme, de fréquence, d'amplitude,)

Souvent le but du filtrage est d'éliminer (ou plutôt de diminuer) les parasites indésirables. Mais il peut aussi avoir pour rôle d'isoler la partie utile de notre signal (qui fait alors parti d'un signal plus complexe).



Fonction de transfert

Une fonction de transfert est une représentation mathématique de la relation entre l'entrée et la sortie d'un système linéaire. Ici $T = \frac{Vs(t)}{Ve(t)}$

Remarque : on travaille souvent avec les nombres complexes (voir cours de mathématique). La fonction de transfert T sera alors caractérisée par un module (gain) et un argument.

Le résultat sera alors noté : $T(f) = \frac{Vs}{Ve}$

Gain d'un filtre

Le gain désigne la capacité d'une fonction (ici la fonction « FILTRE ») à augmenter ou diminuer la valeur du signal d'entrée (Ve). Le gain est soit un chiffre sans dimension soit il est exprimé en dB (décibels) notamment quand on travaille sur le filtrage.

$$G_{dB} = 20 \times \text{Log } T = 20 \times \text{Log} \left(\frac{Vs(t)}{Ve(t)} \right) \quad \text{Log est la fonction mathématique Logarithme}$$

Rappel mathématique: si vous voulez faire le calcul inverse de $G_{dB} = 20 \times \text{Log } G$, c'est à dire retrouver G, il faut faire la fonction inverse de log. Ainsi $G = 10^{(G_{dB}/20)}$.

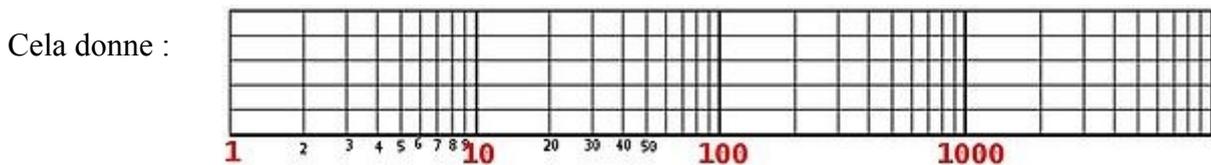
Passif ou actif ?

Un filtre **passif** fait appel à des éléments passifs (résistances, condensateurs ou bobines). En conséquence le signal de sortie ne peut jamais être supérieur au signal d'entrée.

Un filtre **actif** est composé d'éléments actifs (transistors, amplificateurs opérationnels...) qui permettent d'avoir des amplitudes du signal de sortie supérieures aux amplitudes du signal d'entrée.

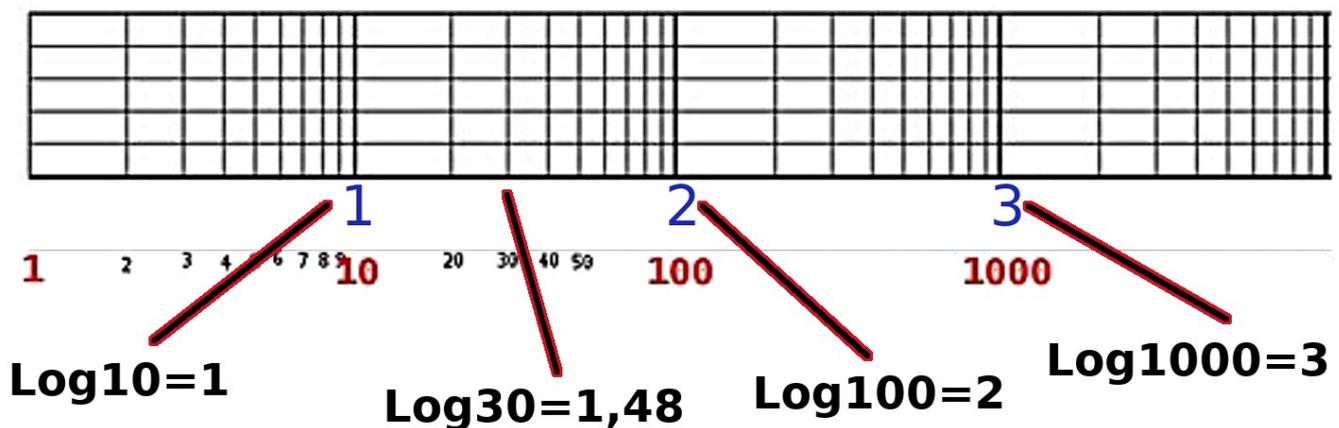
Échelle semi-logarithmique

Nous allons utiliser une échelle dite « semi-logarithmique ». Il s'agit d'un repère dans lequel l'un des axes, pour nous celui des abscisses (x), est gradué selon une échelle logarithmique (log) et celui des ordonnées (y) est gradué selon une échelle linéaire (la forme « classique »). Cette échelle permet d'avoir de grandes valeurs sur les axes.



On remarque que l'écart entre 1 et 10 est le même qu'entre 10 et 100 et qu'entre 100 et 1000 !

Explications :



Ainsi entre 2 valeurs de la partie logarithmique, les valeurs sont multipliées par 10.

Si on compare les 2 types d'échelle :

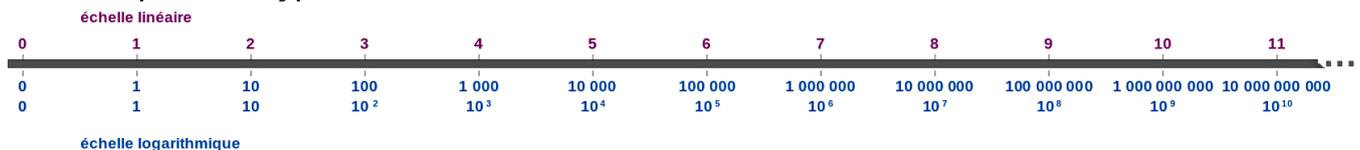


Diagramme de Bode :

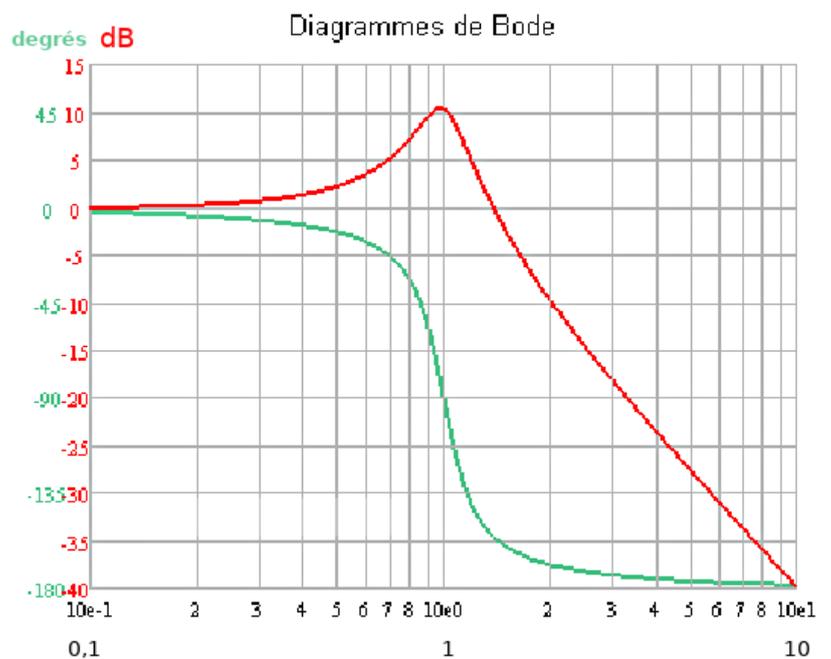
Le diagramme de Bode est un moyen de représenter le comportement fréquentiel d'un système. Il permet une résolution graphique simplifiée, en particulier pour l'étude des fonctions de transfert de systèmes analogiques et donc notamment du filtrage.

Le diagramme de Bode est constitué de deux graphiques :

- Le premier graphique est la représentation du gain exprimé en décibel(dB) en fonction de la pulsation (ω , rad/s), de la fréquence (F, Hz) ou du rapport F/F_c (F_c = Fréquence de coupure) voir du rapport ω/ω_c .

- Le second graphique est la représentation de la phase (argument) exprimé en radians ou en degrés toujours en fonction de la pulsation (ω , rad/s), de la fréquence (F, Hz) ou du rapport F/F_c (F_c = Fréquence de coupure)

Exemple ici à droite: en rouge le gain, en vert la phase



Ordre d'un filtre

L'ordre d'un filtre définit sa capacité à atténuer les fréquences. Plus l'ordre est élevé, plus la pente de l'intervalle de fréquence (on travaille soit en décade soit en octave) et de l'amplification est élevée.

Ainsi un filtre du :

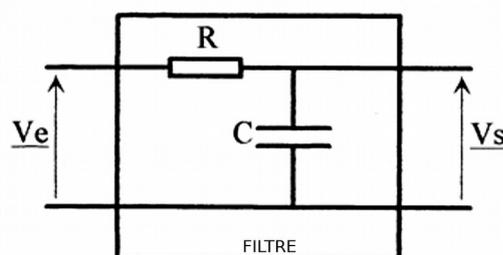
- 1° ordre atténue les fréquences de 20 dB/décade (ou 6 dB/octave)
- 2° ordre atténue les fréquences de 40 dB/décade

Remarques :

- 1 décade correspond à un écart de fréquence de 10 ($F_2 = 10 \times F_1$ par exemple)
- 1 octave correspond à un écart de fréquence de 2 ($F_2 = 2 \times F_1$ par exemple)

II. Exemple et calculs pour un filtre passe-bas (1er ordre)

Voici un premier filtre :



Rappels sur les impédances complexes : chaque composant (résistance, condensateur ou bobine) possède une impédance (extension de la notion de résistance au domaine de l'alternatif).

Remarque : Contrairement aux mathématiques qui utilisent la lettre i pour les complexes, nous utiliserons la lettre j (i étant réservé au courant électrique).

Pour une résistance : $\underline{Z}_R = R$ on a un réel pur

Pour une bobine : $\underline{Z}_L = jL\omega$

Pour un condensateur : $\underline{Z}_C = \frac{1}{jC\omega}$

Calculs :

Dans ce circuit il n'y a qu'un seul courant I, qui traverse la résistance et le condensateur.

Avec la loi d'Ohm on peut écrire : $\underline{V}_S = \underline{Z}_C * I$

Avec la loi des mailles on peut écrire : $\underline{V}_E = (\underline{Z}_R * I) + (\underline{Z}_C * I) = (R * I) + (\underline{Z}_C * I)$ Donc $I = \frac{\underline{V}_E}{R + \underline{Z}_C}$

La fonction de transfert du filtre est $\underline{T} = \frac{\underline{V}_S}{\underline{V}_E} = \frac{\underline{Z}_C * I}{\underline{V}_E} = \frac{\underline{Z}_C * \frac{\underline{V}_E}{R + \underline{Z}_C}}{\underline{V}_E} = \frac{\underline{Z}_C}{R + \underline{Z}_C} = \frac{1}{R + \frac{1}{jC\omega}}$

On met au même dénominateur (la fraction du dénominateur): $\underline{T} = \frac{1}{R + \frac{1}{jC\omega}} = \frac{1}{\frac{jRC\omega + 1}{jC\omega}}$

On simplifie par $jC\omega$

Et donc la fonction de transfert du filtre est $\underline{T} = \frac{\underline{V}_S}{\underline{V}_E} = \frac{1}{1 + jRC\omega}$

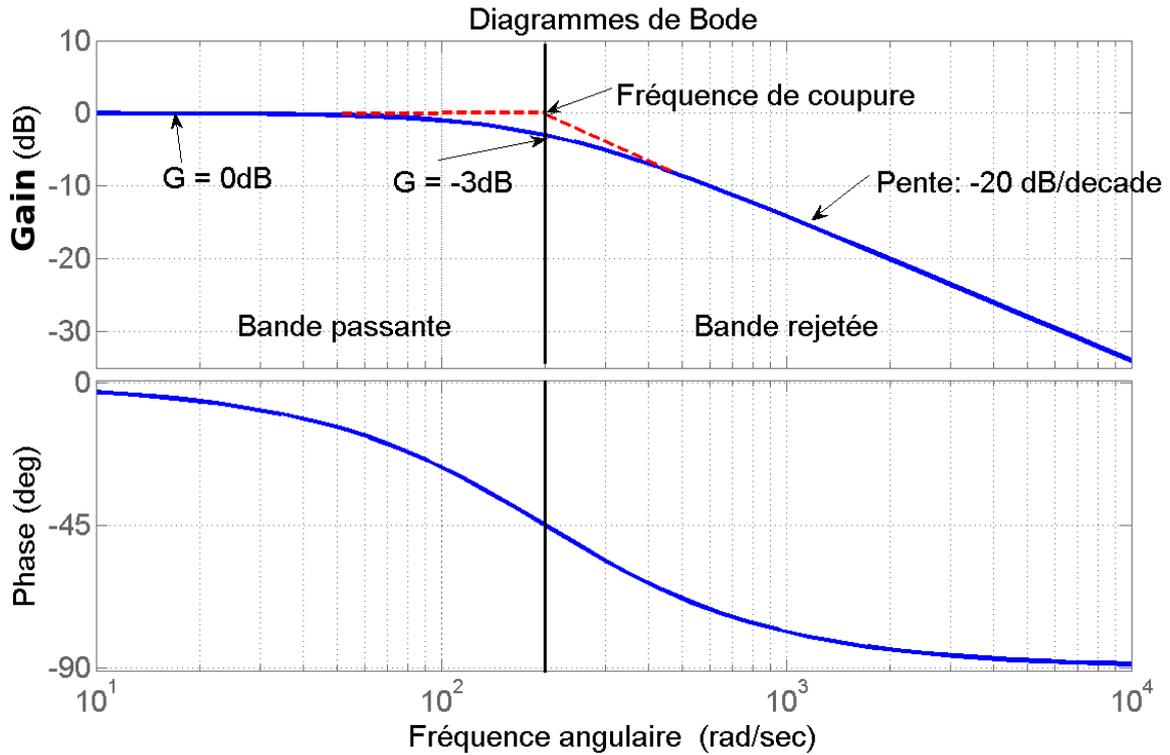
Or la formule générale de la fonction de transfert pour un filtre de 1^{er} ordre est : $\frac{\underline{V}_s}{\underline{V}_e} = \frac{A}{1 + j\frac{\omega}{\omega_c}}$

Donc par identification on trouve $A = 1$ et $\omega_c = \frac{1}{RC}$. A est le gain et ω_c est la pulsation de coupure

On peut alors en déduire la **fréquence de coupure** : $f_c = \frac{\omega_c}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\tau} = \frac{1}{2\pi RC}$

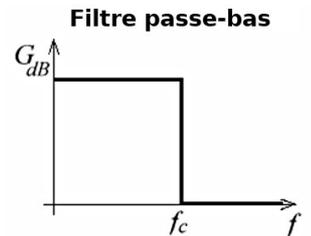
Cette fréquence de coupure représente la chute du gain de 3 dB.

Voici les diagrammes de Bode :



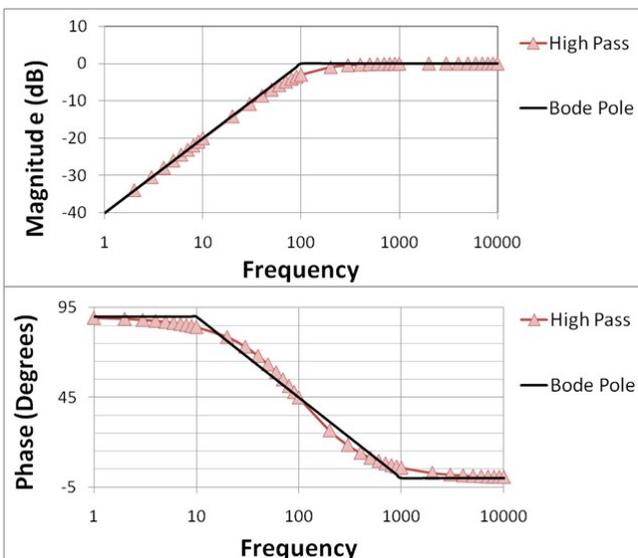
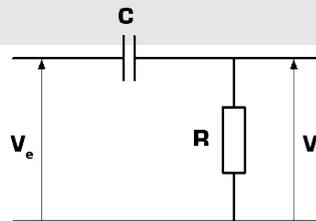
Nous avons donc ici un filtre passe-bas de 1^{er} ordre et de fréquence de coupure 200Hz

Un filtre passe-bas est donc un filtre qui laisse passer les basses fréquences et qui atténue les hautes fréquences, c'est-à-dire les fréquences supérieures à la fréquence de coupure.



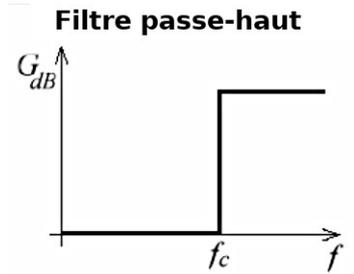
III. Exemple d'un filtre passe-haut

Voici un exemple de filtre passe-haut :



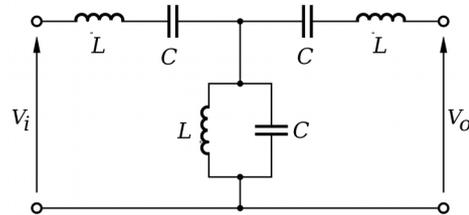
Voici les diagrammes de Bode

Un filtre passe-haut est donc un filtre qui laisse passer les hautes fréquences et qui atténue les basses fréquences, c'est-à-dire les fréquences inférieures à la fréquence de coupure.

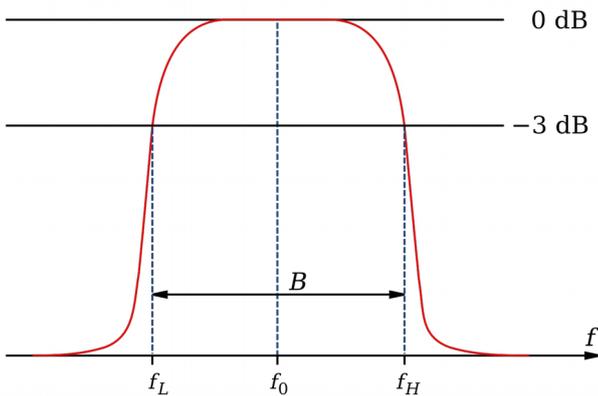


IV. Exemple d'un filtre passe-bande

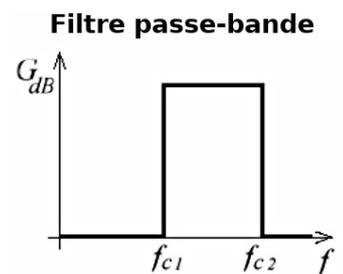
Exemple de montage pour un filtre passe-bande:



Le diagramme de Bode en gain donne :

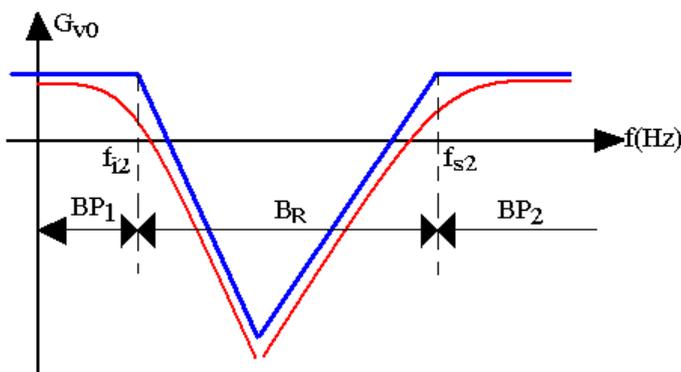
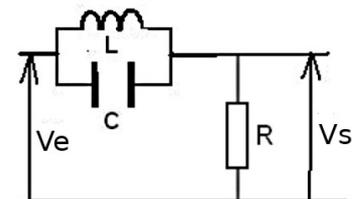


Un filtre passe-bande est un filtre ne laissant passer qu'une bande ou intervalle de fréquences compris entre une fréquence de coupure basse et une fréquence de coupure haute du filtre. Il possède 2 fréquences de coupures.



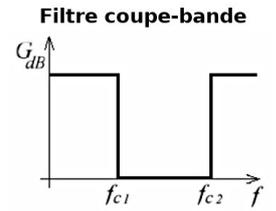
V. Exemple filtre coupe-bande (ou réjecteur de bande)

Exemple de montage pour un filtre coupe-bande :



ce filtre est composé d'un filtre passe-haut et d'un filtre passe-bas dont les fréquences de coupure sont souvent proches mais différentes, la fréquence de coupure du filtre passe-bas est systématiquement inférieure à la fréquence de coupure du filtre passe-haut.

Un filtre coupe-bande est donc un filtre empêchant le passage d'une partie des fréquences

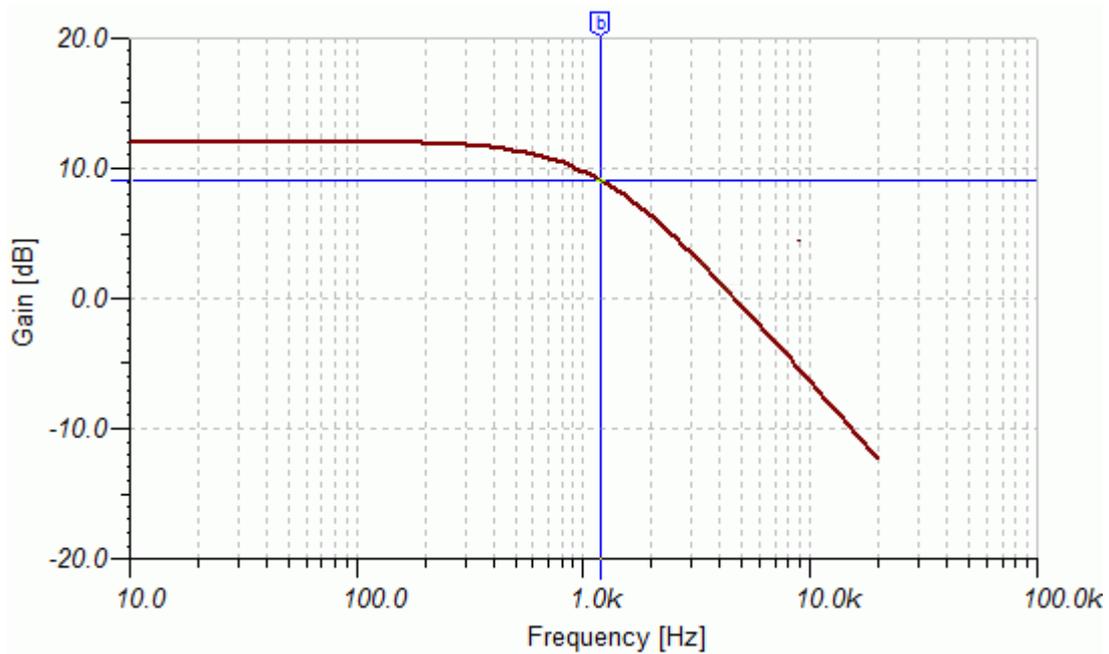


VI. Exercices

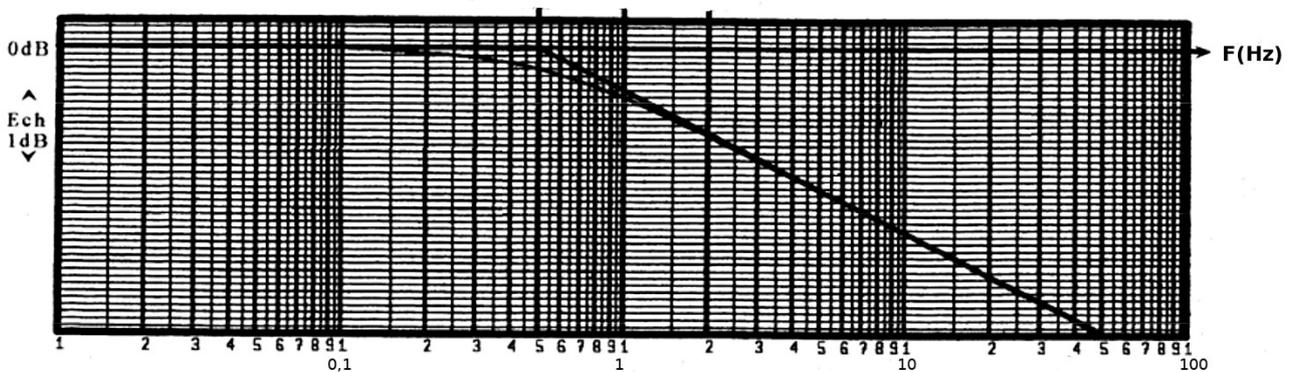
Exercice N°1

Donnez les caractéristiques des filtres représentés par les diagramme de Bode du gain (gain, fréquence de coupure, type, ordre).

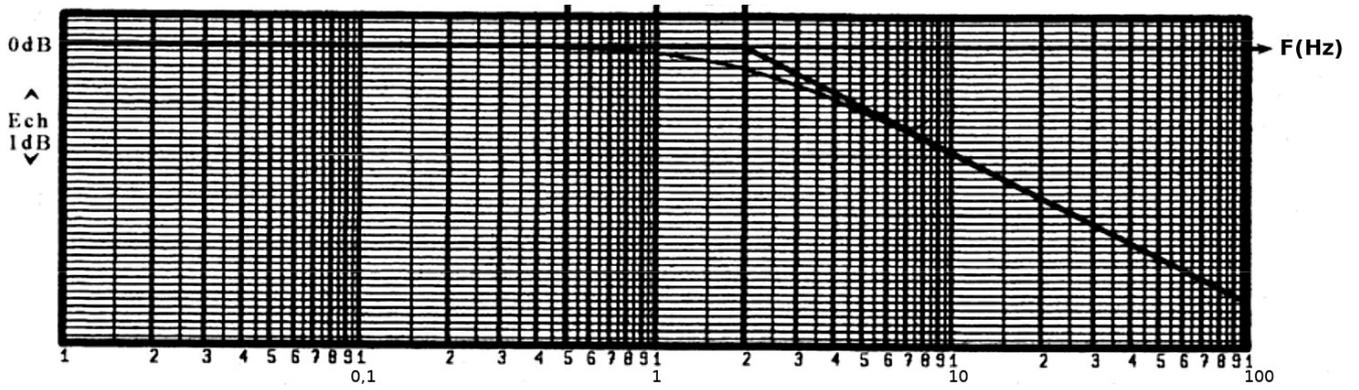
Filtre 1 :



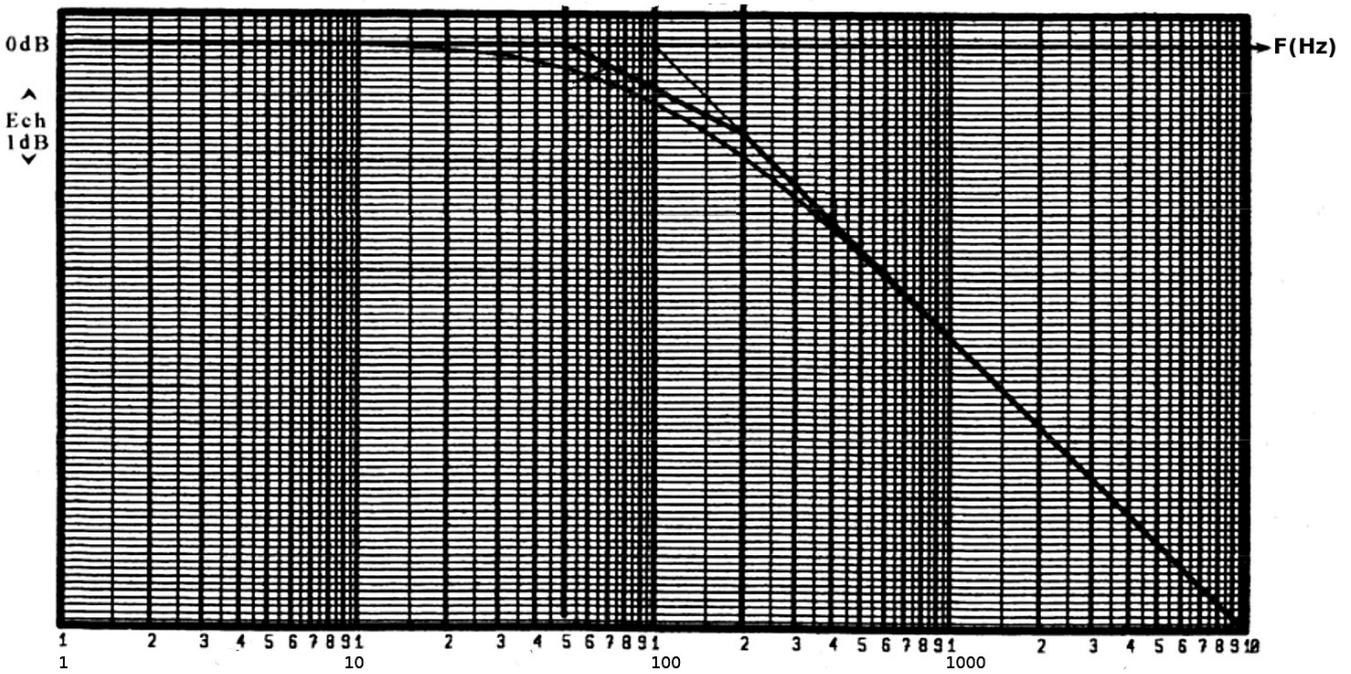
Filtre 2 :



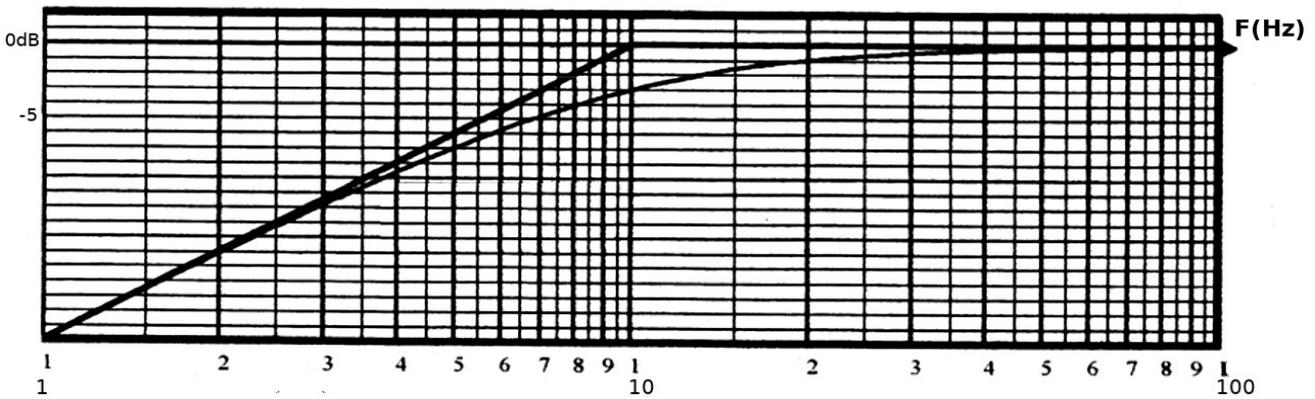
Filtre 3 :



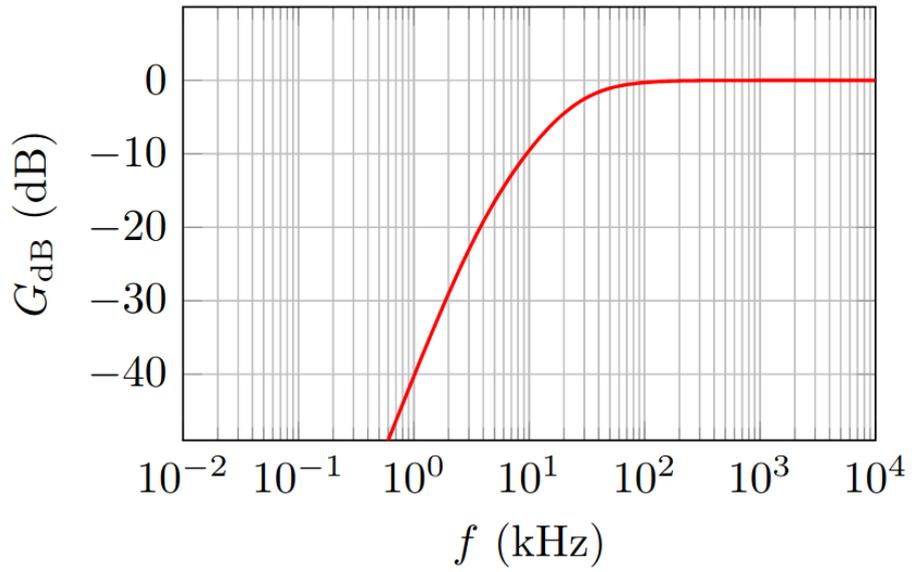
Filtre 4 :



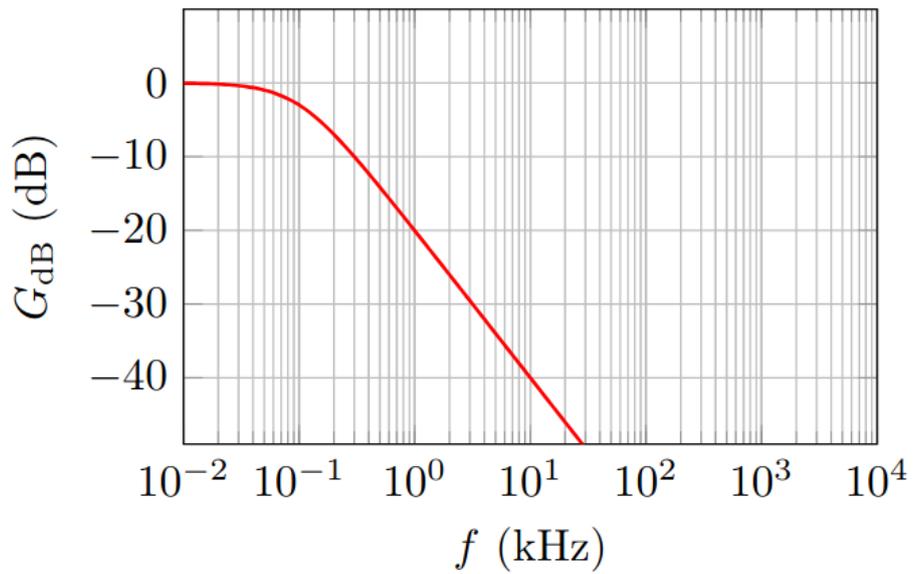
Filtre 5 :



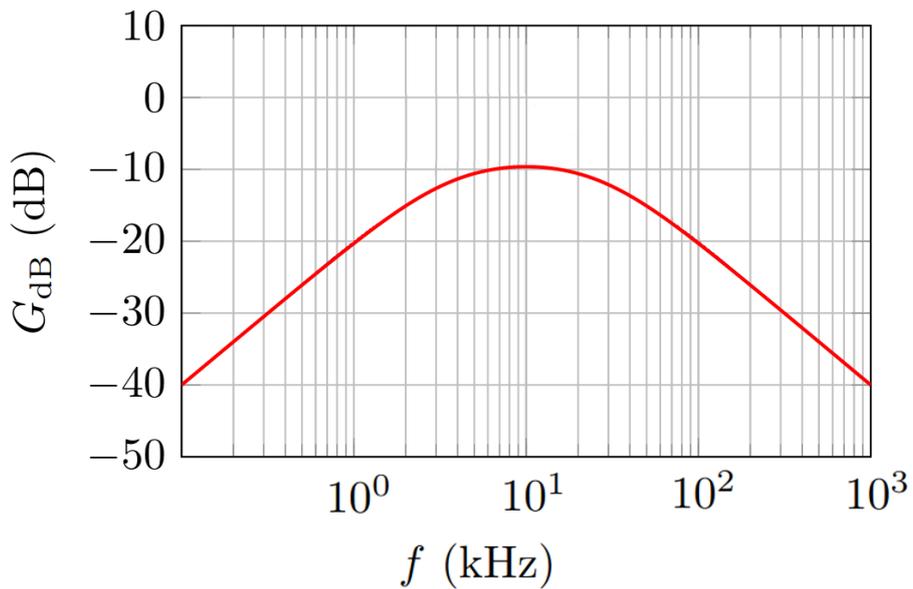
Filtre 6 :



Filtre 7 :

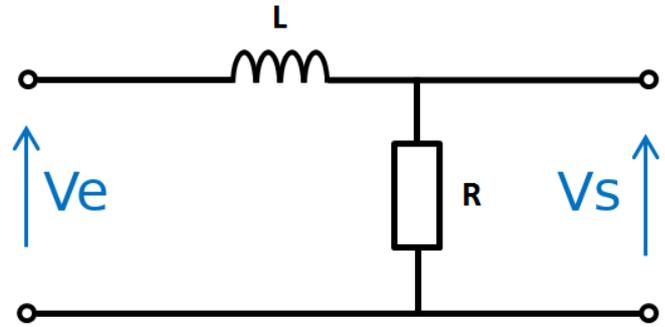


Filtre 8 :



Exercice N°2

Soit le filtre suivant :



1. Donnez la formule de l'impédance complexe d'une bobine L
2. Fléchez le courant I circulant dans le montage
3. Grace à la loi d'Ohm, donnez la formule de la tension V_S de notre montage
4. Écrivez l'équation de la maille du montage (toujours en nombre complexe). En déduire l'équation complexe de I.
5. Déduisez des 2 questions précédentes la formule de la fonction de transfert de ce filtre (nombre complexe).
6. En vous servant de la formule générale de la fonction de transfert pour un filtre du 1^{er} ordre, en déduire la formule de la pulsation de coupure puis de la fréquence de coupure et du gain.

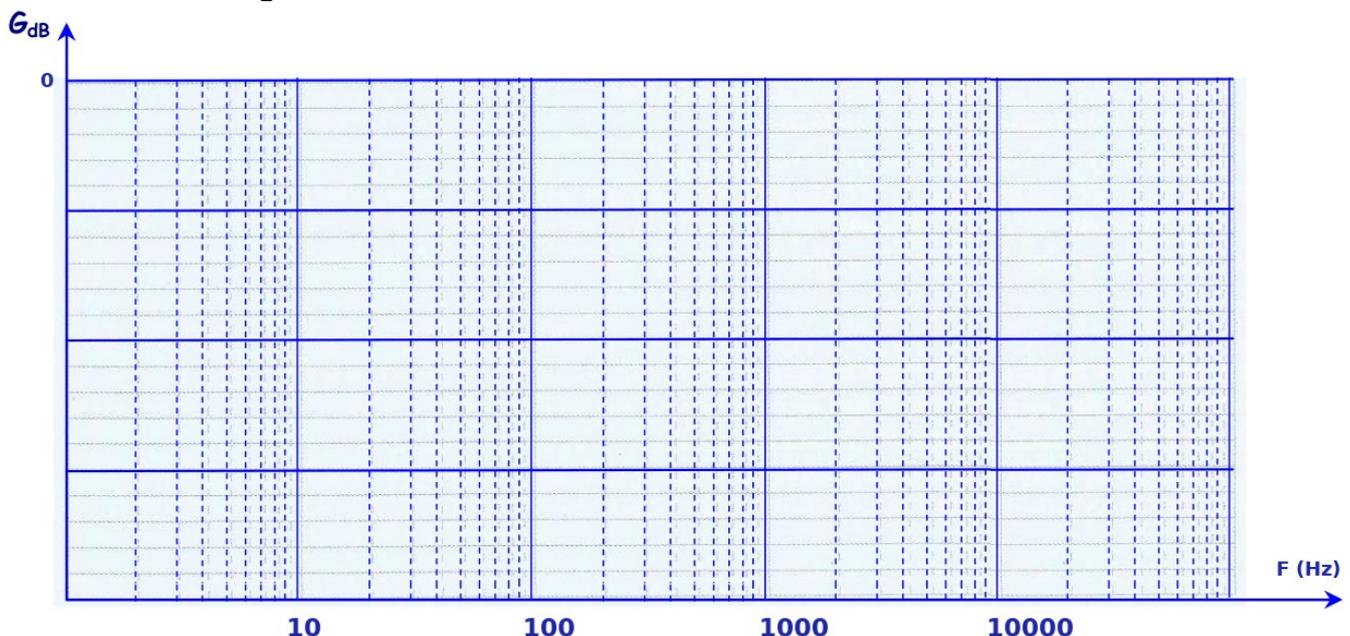
7. En déduire que le module du gain est :
$$\frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{L}{R} \omega\right)^2}}$$

8. On va tracer le diagramme de Bode du gain ($R=5\Omega$ et $L=0,5\text{mH}$)

1. Complétez le tableau suivant :

F (Hz)	1	2	10	100	400	1000	1500	1590	1700	2000	5000	8000	17000	50000	80000
G															
G en dB															

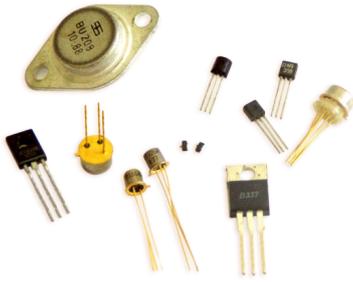
2. Tracez le diagramme de Bode :



9. Calculez la fréquence de coupure et retrouvez la sur le diagramme de Bode
10. A partir du diagramme de Bode, démontrez que notre filtre est du 1^{er} ordre

Partie II : amplification (transistor)

I. Historique



Le transistor est un composant électronique actif utilisé principalement comme amplificateur ou comme interrupteur commandé.

Il a été découvert en décembre 1947 par les américains John Bardeen, William Shockley et Walter Brattain, chercheurs de la compagnie Bell Téléphone. Ces chercheurs ont reçu pour cette invention le prix Nobel de physique en 1956.

Le transistor remplaça alors le tube électronique (appelé aussi tube à lampe): photo à droite



Les transistors ont permis la réalisation de portes logiques (NAND, NOR,) de microprocesseurs et leur miniaturisation a décuplé les utilisations.

Exemple de miniaturisation : nombre de transistors dans les microprocesseurs Intel

- 1971 : 4004 : 2 300 transistors
- 1978 : 8086 : 29 000 transistors
- 1982 : 80286 : 275 000 transistors
- 1989 : 80486 : 1,16 million de transistors
- 1993 : Pentium : 3,1 millions de transistors
- 1995 : Pentium Pro : 5,5 millions de transistors
- 1997 : Pentium II : 27 millions de transistors
- 2001 : Pentium 4 : 42 millions de transistors
- 2004 : Pentium Extreme Edition : 169 millions de transistors
- 2006 : Core 2 Duo : 291 millions de transistors
- 2008 : Core 2 Quad : 410 millions de transistors
- 2010 : Intel Core i7, 1 170 000 000 transistors (1 milliard 170 millions)
- 2012 : Intel Core i3/i5/i7 (Ivy Bridge) 1 400 000 000 transistors
- 2015 : 15-core Xeon Ivy Bridge-EX 4 310 000 000 transistors (4 milliards 310 millions)

II. Symboles et constitution du transistor bipolaire

Un transistor bipolaire est constitué de 2 jonctions PN (ou diodes) montées en sens inverse. Selon le sens de montage de ces diodes on obtient les 2 types de transistors bipolaires :

NPN	PNP

<p>Sous l'effet de la polarisation en direct de la jonction B-E, avec un courant de base I_b, on obtient un courant collecteur I_c dont la valeur sera notamment fonction des conditions de polarisation de la jonction B-E. Ce courant I_c peut être nettement plus important que le courant de base I_b, c'est l'effet transistor.</p>	
<p>On ne peut considérer le transistor comme l'association de deux diodes mais la représentation suivante peut parfois aider :</p>	

Remarque : la flèche indique toujours l'émetteur et le sens de circulation du courant.

Remarque 2 : c'est l'effet "transistor" qui permet au courant de traverser la diode en sens inverse.

III. Fonctionnement en amplification (culture générale)

Exemple avec un transistor bipolaire npn :

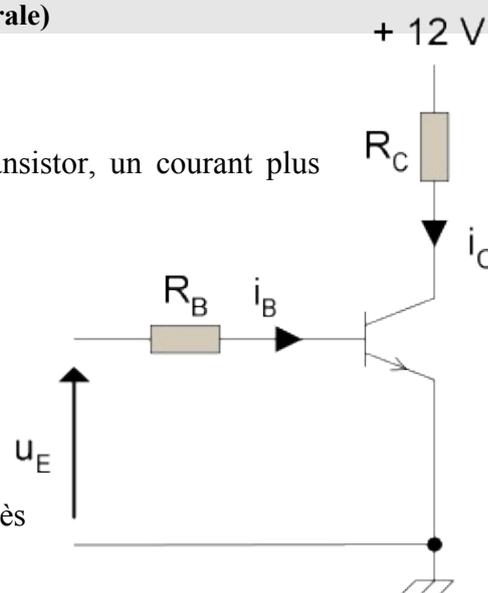
Quand on fait circuler un petit courant dans la base (I_B) du transistor, un courant plus important circule du collecteur vers l'émetteur (I_C).

Le courant de base est multiplié par un coefficient β

$$I_C = \beta \times I_B$$

Remarque :

le courant I_E (ici courant sortant de l'émetteur) = $I_C + I_B$. Dans notre chapitre nous partirons du principe que $I_E = I_C$ (car I_B est très inférieur à I_C donc on le négligera au niveau de I_E) :



$$I_E \approx I_C$$

Quelques remarques :

- Ce coefficient β est appelé gain en courant du transistor
- Il est souvent noté H_{fe} dans les documentations techniques
- Il est parfois aussi appelé coefficient d'amplification statique en courant.
- En général β se situe entre 30 et 300.
- Le montage est alimenté par 2 tensions : U_E et $12V (V_{CC})$
- Si le courant I_B est continu, le courant I_C est continu
- Si le courant I_B est alternatif, le courant I_C est alternatif (si I_B est un signal sonore comme de la musique, I_C est le même signal sonore mais plus fort)

Exemple de calculs dans un montage amplificateur :

On veut obtenir un courant I_C de 225mA.

Sachant que $U_E=5V$ et que $\beta=100$, calculez la résistance R_B nécessaire au montage.

On fait la maille d'entrée :

$$V_{BE} + (R_B \times I_B) - U_E = 0$$

Une remarque : V_{BE} est la tension aux bornes de la diode présente entre la base et l'émetteur. Quand cette diode conduit, c'est à dire quand le transistor conduit, cette tension vaut à peu près 0,7V. La vraie valeur se trouve dans la documentation technique du transistor).

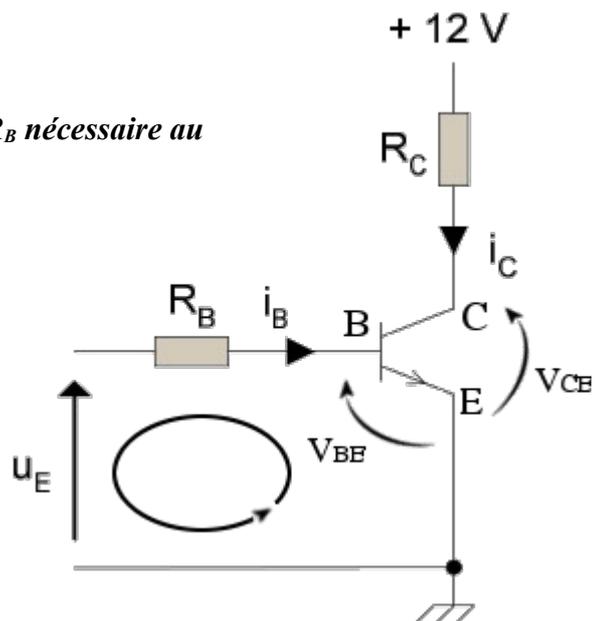
Calcul de I_B :

$$I_B = I_C / \beta = 225 \cdot 10^{-3} / 100 = 2,25 \cdot 10^{-3} = 2,25 \text{mA}$$

Dans la maille d'entrée, la seule inconnue est R_B donc

$$R_B = (U_E - V_{BE}) / I_B = (5 - 0,7) / 2,25 \cdot 10^{-3} = 1911 \Omega$$

Remarque : en amplification, V_{CE} n'est pas une valeur constante et n'est pas facile à connaître.



IV. Fonctionnement en commutation (ce sera toujours le cas pour nous!)

Le transistor en commutation est utilisé afin d'ouvrir ou de fermer un circuit (c'est une sorte d'interrupteur commandé). Ainsi il peut commander une LED, un relais, un moteur, etc... On considère généralement le circuit de sortie du transistor comme un interrupteur qui est commandé soit par une tension, soit par un courant suivant le type de transistor choisi.

Un transistor pourra avoir donc 2 états : soit il conduit bloqué.

soit il est bloqué.

Exemple : soit le montage ci-contre utilisé en commutation:

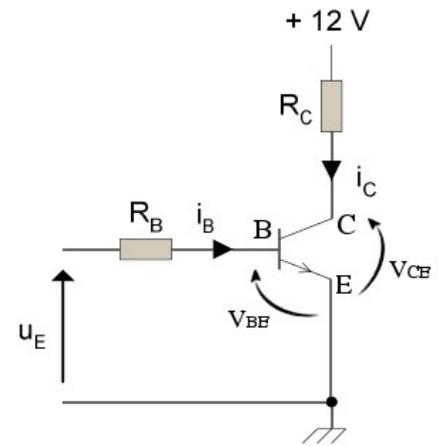
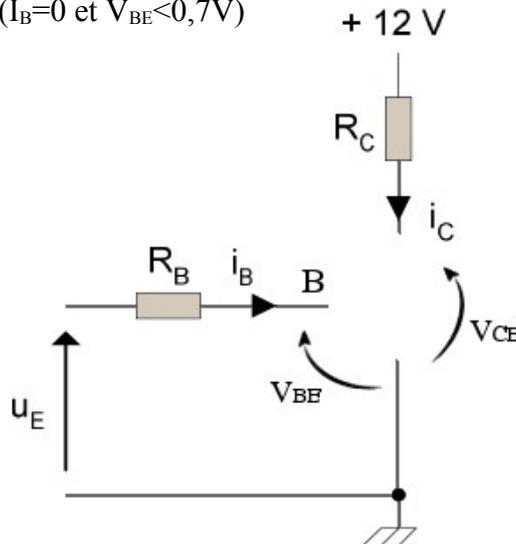
La tension U_E pourra prendre **2 valeurs** (0V ou 5V)

1^{er} cas : $U_E = 0V$ (0 logique)

Le transistor ne peut conduire ($I_B=0$ et $V_{BE}<0,7V$)

Alors on obtient :

$I_C=0A$
 $V_{CE}=12V$



2^{ème} cas : $U_E = 5V$ (1 logique)

Le transistor va conduire ($I_B \neq 0$ et $V_{BE} = 0,7V$)

En fait en commutation pour que l'on soit sûr que le transistor conduise on va le **saturer**. (par exemple, si dans notre calcul on trouve qu'il faut un courant $I_B=2mA$ pour que le transistor conduise (et fasse circuler le courant I_C voulu) alors on choisira les éléments du montage pour avoir un courant de 4mA, on utilisera donc un coefficient de **sursaturation** de 2).



Quand un transistor est saturé, $V_{CE} \approx 0V$ (en général $< 0,5V$. La vraie valeur se trouve dans la documentation technique du transistor).

Exemple de calculs



Principe : dans un montage électronique, on part toujours de la charge (c'est elle qui a besoin de courant et de tension). Ensuite, à partir des besoins en courant de la charge on calcule les éléments du montage.

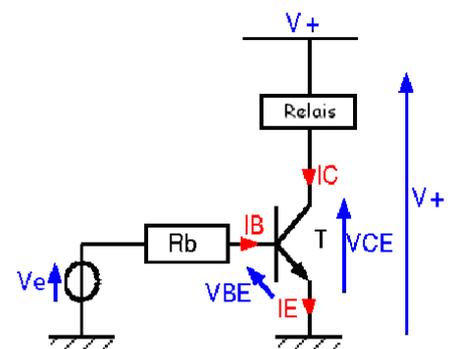
Exemple : soit le montage suivant :

Données : $V_e=0V$ ou $10V$

La charge ici est constituée par le relais : $I_{relais}=55mA$, $V_{relais} : 24V$

$V_{CEsat}=0,4V$, $V_{BE}=0,7V$, $\beta = 150$ avec sursaturation de 2

$V+=24V$



On cherche à calculer le ou les éléments du montage (ici Rb)

1. Lorsque que V_e sera à 0V, $I_B=0A$, le transistor sera bloqué, le relais (une bobine) ne sera pas actif.
2. Quand V_e sera à 10V il faut que le transistor conduise pour que le relais soit actif.

On part de la sortie : $I_C=I_{relais} = 55mA$

Calcul de I_B : comme $I_C = \beta \times I_B$ alors $I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{55 \cdot 10^{-3}}{150} = 3,67 \cdot 10^{-4} A$

On applique un coefficient de sursaturation de 2 : $I_{Bsat} = 2 \times 3,67 \cdot 10^{-4} = 7,33 \cdot 10^{-4} A$

Équation de la maille d'entrée: $V_{BE} + V_{Rb} - V_e = 0$ c'est-à-dire $V_{BE} + (Rb \times I_{Bsat}) - V_e = 0$

Donc $Rb = \frac{V_e - V_{BE}}{I_{Bsat}} = \frac{10 - 0,7}{7,33 \cdot 10^{-4}} = 12,69 k\Omega$



Remarque : on peut remarquer que même en commutation le transistor amplifie le courant.

Protection contre les surtensions destructives

Lorsque le transistor commande un élément inductif (bobine, moteurs, ...), il apparaît une surtension notamment à l'arrêt du transistor.

Cette tension peut faire plusieurs dizaines voire centaines de volts.

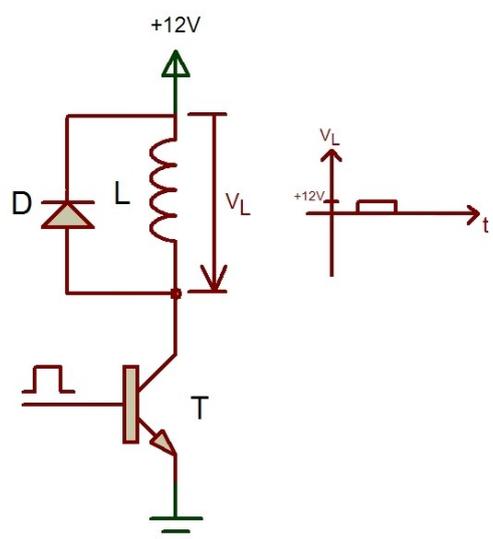
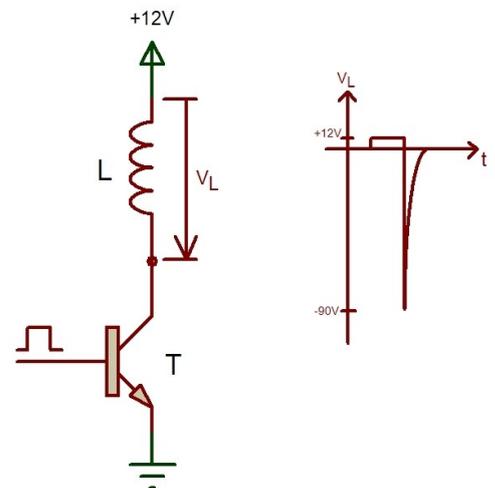
Si on ne fait rien, le transistor est détruit car le V_L se retrouve aux bornes du transistor (V_{CE}).

La solution: **la diode de roue libre**

Il s'agit d'une diode placée en inverse et en parallèle sur la source de surtension (bobine, moteur, ...).

Lorsque la surtension apparaît, la diode conduit. L'énergie se dissipe alors dans la résistance présente (fils de la bobine ou du moteur). En fait le courant créé par la bobine circule dans la boucle constituée par la diode et la bobine et il diminue jusqu'à disparaître (effet joules).

La seule tension présente alors est la tension de la diode (moins de 1 volts).



Que faire si le gain du transistor est trop faible ? Une solution : Montage Darlington

Ce montage est constitué par l'association de deux transistors T1 et T2 de même type (deux PNP ou deux NPN). L'ensemble est un dispositif à trois électrodes équivalent à un transistor unique dont on va déterminer les paramètres :

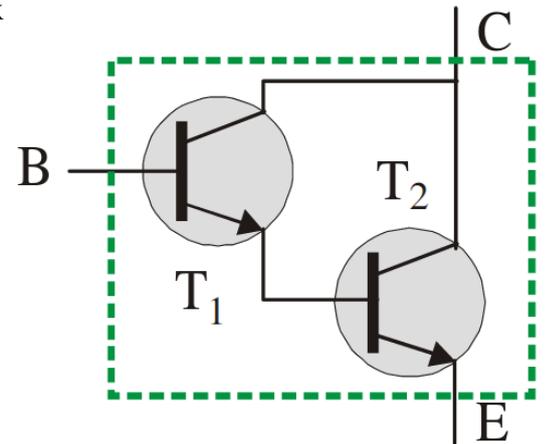
Pour le transistor T1 : $I_{C1} = \beta \cdot I_{B1}$

Pour le transistor T2 : $I_{C2} = \beta \cdot I_{B2}$

Or $I_{B2} = I_{C1}$ donc $I_{C2} = \beta \cdot I_{B2} = \beta \cdot I_{C1} = \beta \cdot \beta \cdot I_{B1}$

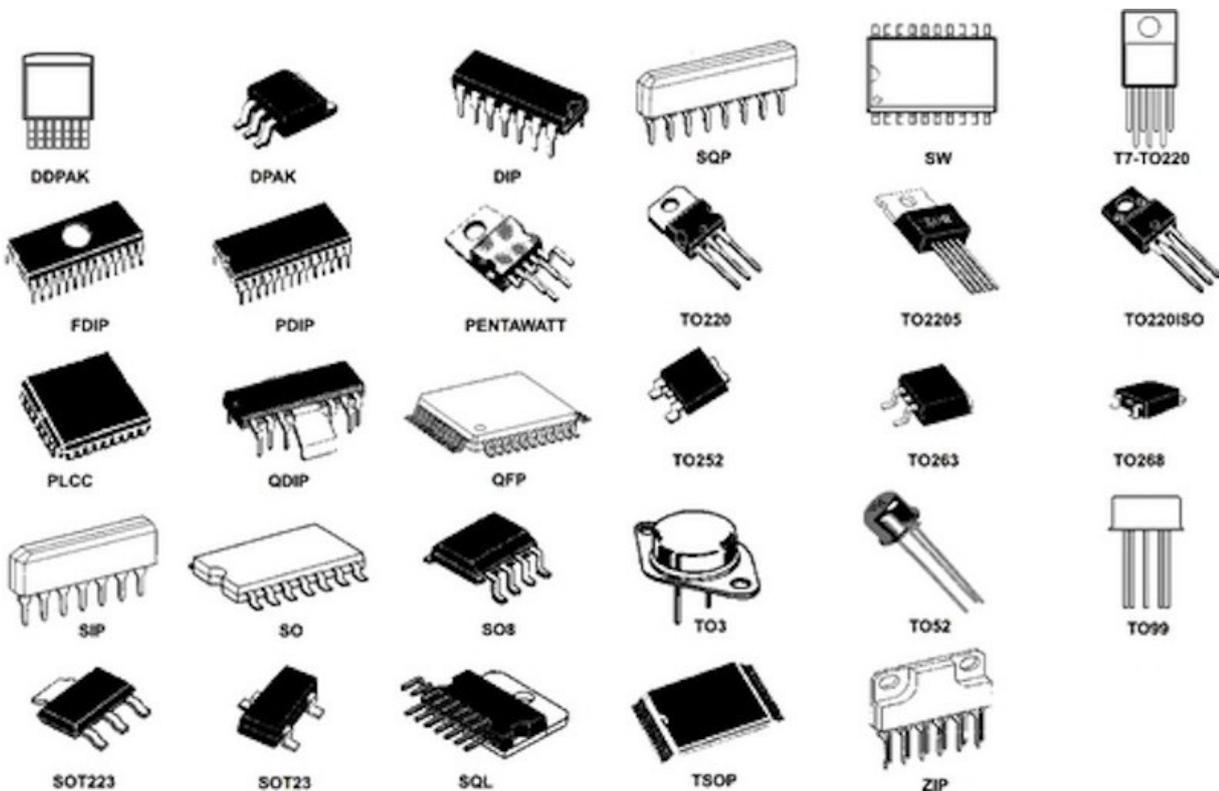
donc on obtient $I_{C2} = \beta^2 \cdot I_{B1}$

c'est à dire finalement un transistor de courant de base I_{B1} , de courant de sortie I_{C2} et de gain β^2 .



V. Types de boîtiers

Il existe de multiples formes (boîtiers) pour les transistors. Voici quelques exemples :



VI. Puissance

Les constructeurs donnent en général des valeurs à ne pas dépasser notamment au niveau de la puissance.

La puissance que dissipe le transistor : $P \approx V_{CE} \times I_C$

VII. Les autres types de transistor

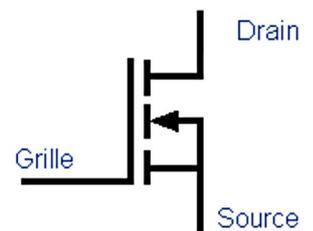
L'autre grande famille de transistors (d'invention plus récente) sont les transistor à effet de champ ou FET (Field Effect Transistors)

Dans cette technologie FET il existe les JFET (Junction Field Effect Transistors) et les MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistors).

Dans la famille MOSFET les plus connus sont les CMOS dont il existe de nombreuses utilisations aujourd'hui.

Exemple d'un transistor MOSFET à canal N:

Pour faire conduire le transistor, il faut juste lui imposer une tension V_{gs} . Quand le transistor va conduire il n'y aura aucun courant dans la grille. Ainsi la commande ne va pas consommer d'énergie !



VIII. Exercices

Exercices avec résultats

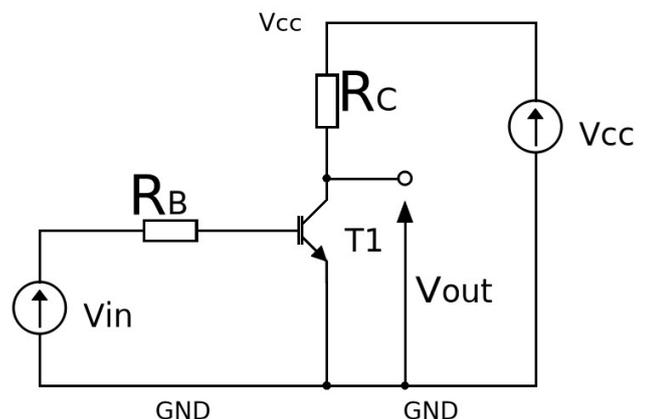
Ces exercices permettent de vérifier que le cours est maîtrisé (appris et compris).

Exercice N°0.1

Soit le montage d'un transistor en commutation ci-contre:

Données : générateur $V_{cc}=10V$, $\beta=200$, $V_{BE}=0,7V$, $V_{CEsat}=0,25V$, $R_C=500\Omega$, $R_B=14700\Omega$, $V_{in}=0$ ou $5V$. Le transistor sera saturé

1. Écrivez l'équation de la maille d'entrée (R_B , V_{in} , ...)
2. Écrivez l'équation de la maille de sortie (R_C , V_{cc} , ...)
3. Lorsque $V_{in}=0V$:



- *Donnez l'état du transistor (bloqué ou conducteur).*
 - *Déduisez-en la valeur de V_{CE} et de V_{out} .*
4. *Lorsque $V_{in}=5V$:*
 - *Donnez l'état du transistor (bloqué ou conducteur).*
 - *Déduisez-en la valeur de V_{CE} et de V_{out} .*
 5. *Lorsque le transistor conduit calculez, à l'aide de l'équation de la maille d'entrée, la valeur du courant I_B .*
 6. *Lorsque le transistor conduit calculez, à l'aide de l'équation de la maille de sortie, la valeur du courant I_C . (le transistor est saturé)*
 7. *À partir de la relation entre I_C et I_B , démontrez que le transistor est bien saturé.*

Résultats :

1°) $V_{in}-(R_B I_B)-V_{BE}=0$ 2°) $V_{CC}-(R_C I_C)-V_{CE}=0$ ou $V_{CC}-(R_C I_C)-V_{OUT}=0$ 3°) transistor bloqué, $V_{CE}=V_{out}=V_{CC}=10V$ 4°) transistor conduit, s'il est saturé $V_{CE}=V_{OUT}=0,25V$ 5°) $I_B=2,92.10^{-4}A$; 6°) $I_C=19,5mA$; 7°) avec la formule $I_C=\beta I_B$ on trouve un $I_B=9,75.10^{-5}A$. Or notre I_B est 3 fois plus grand donc le transistor est bien saturé (coefficient de sursaturation de 3).

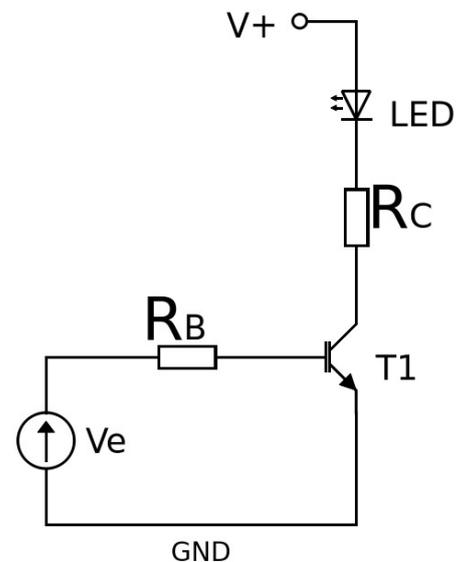
Exercice N°0.2

Soit le montage ci-contre:

Données : $V_+=12V$, $V_{DEL}=1,6V$, $I_{DEL,max}=30mA$, $\beta=250$, $V_{BE}=0,7V$, $V_{CEsat}=0,3V$, $V_e=0$ ou $5V$

Le transistor sera utilisé en commutation (coefficient de sursaturation=2)

1. *Lorsque $V_e=0V$, donnez l'état du transistor (bloqué ou conducteur). En déduire l'état de la diode électroluminescente.*
2. *Lorsque $V_e=5V$, donner l'état du transistor (bloqué ou conducteur). En déduire l'état de la diode électroluminescente.*
3. *Écrivez l'équation de la maille de sortie. En déduire la valeur de R_C (la LED est parcourue par son courant max).*
4. *Calculez I_B puis calculez I_{Bsat} .*
5. *Écrivez l'équation de la maille d'entrée. En déduire la valeur de R_B .*



Résultats :

1°) transistor bloqué, LED éteinte car $I_C=0$ 2°) transistor conducteur, LED allumée 3°) $V_+-V_{LED}-(R_C I_C)-V_{CEsat}=0$ comme $I_C=30mA$ alors $R_C=336,67\Omega$ 4°) $I_B=1,2.10^{-4}A$ et $I_{Bsat}=2,4.10^{-4}A$ 5°) $V_e-(R_B I_{Bsat})-V_{BE}=0$ et $R_B=17917\Omega$

Exercices sans résultats

Dans les exercices suivants (sauf précision complémentaire):

Transistor :

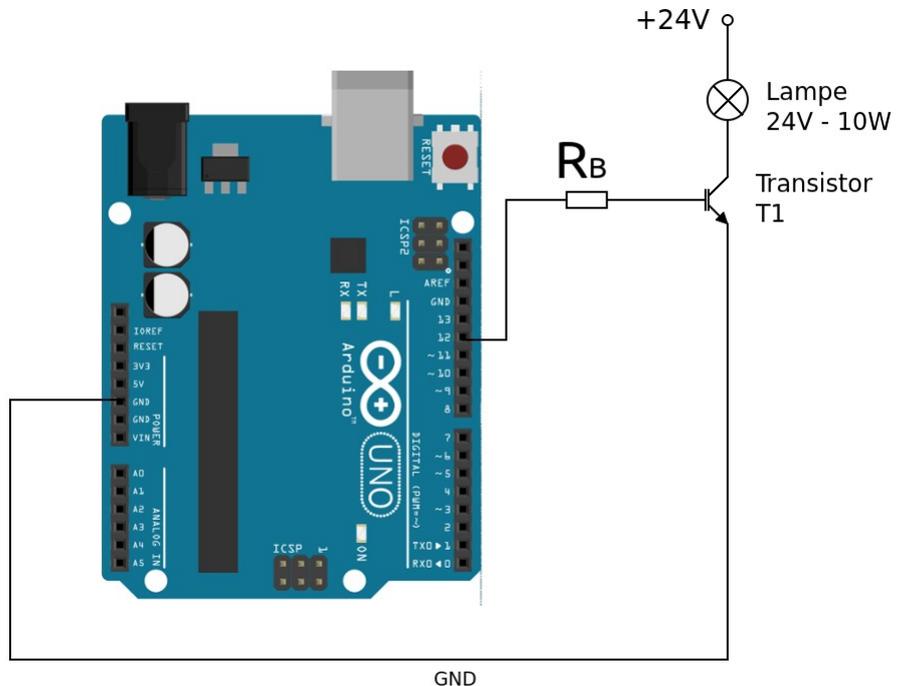
$\beta = 150$, $V_{BE} = 0,7 \text{ V}$ et $V_{CEsat} = 0,2 \text{ V}$. Coefficient de sursaturation = 2

Arduino UNO:

Microcontroller	ATmega328P
Operating Voltage (output)	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
PWM Digital I/O Pins	6
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	20 mA

Exercice N°1

Soit le montage suivant :

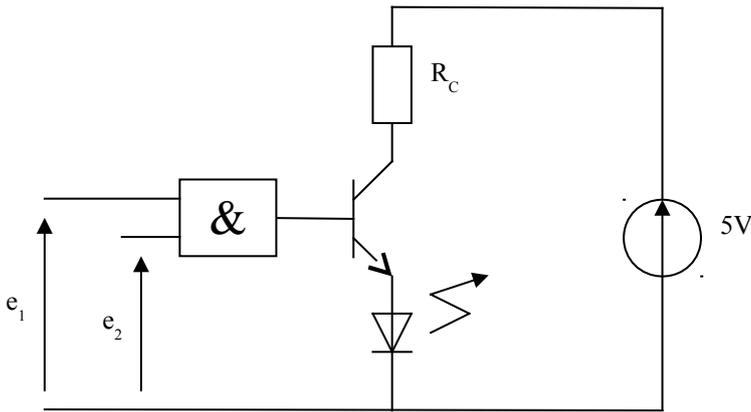


La sortie Arduino utilisée (N°12) fonctionne en tout ou rien (sortie logique)

1. *A l'aide de la puissance calculez le courant consommé par cette lampe*
2. *Relevez dans les spécifications techniques de la carte Arduino le courant max que peut fournir une sortie.*
3. *Donnez les deux raisons pour lesquelles on n'aurait pas pu brancher la lampe directement en sortie de la carte Arduino.*
4. *Expliquez pourquoi le transistor est bloqué quand la sortie Arduino est inactive.*
5. *Calculez I_B puis calculez I_{bsat} .*
6. *Écrivez l'équation de la maille d'entrée. En déduire la valeur de R_B .*

Exercice N°2

Soit le montage suivant (objectif : allumer une LED en sortie d'une porte logique):



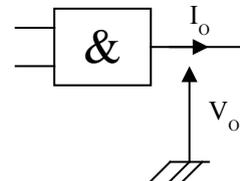
Données: LED: $V_S=1.5V$, $I_{fmax}=20mA$
 Porte ET (technologie TTL standard, $V_{CC}=5V$):

$$I_{OL\ max} = -16mA$$

$$I_{OH\ max} = 0.8\ mA$$

$$V_{OL\ max} = 0.4V$$

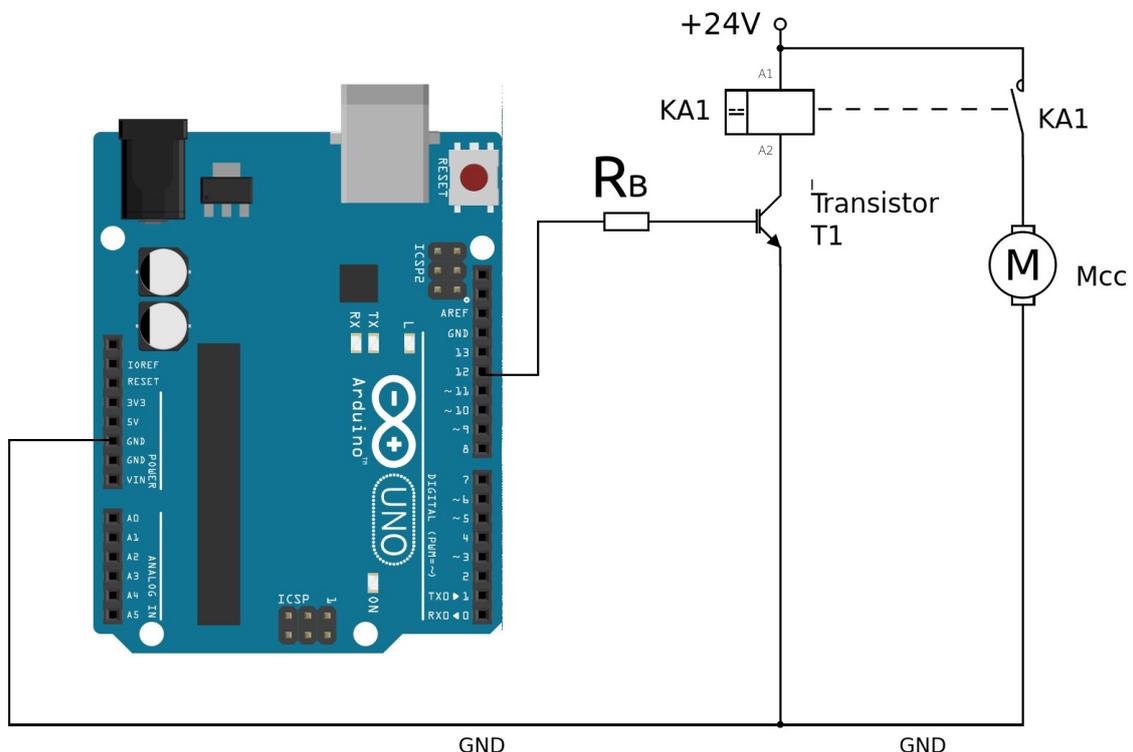
$$V_{OH\ min} = 2.4V$$



1. Pourquoi n'aurait-on pas pu mettre la LED directement à la sortie de la porte logique ?
2. Quand e_1 ou e_2 sont à 0, que vaut la sortie de la porte logique (niveau logique et tension). Quel est alors l'état du transistor ainsi que celui de la LED (prendre l'hypothèse que le transistor conduit et faire la maille d'entrée, calculez V_{BE} et analysez cette valeur de V_{BE} pour conclure sur l'hypothèse choisie) ?
3. Quand e_1 et e_2 sont au 1 logique, que vaut la sortie de la porte logique (niveau logique et tension). Quel est alors l'état du transistor (à justifier) ainsi que celui de la LED ?
4. A l'aide de la maille de sortie, calculez R_C sachant que $I_{LED}=20mA$ et $V_{CE}=1,4V$ (ici le transistor n'est pas saturé)
5. Calculez I_B . La porte peut-elle fournir ce courant. Si ce n'est pas le cas proposer une solution.

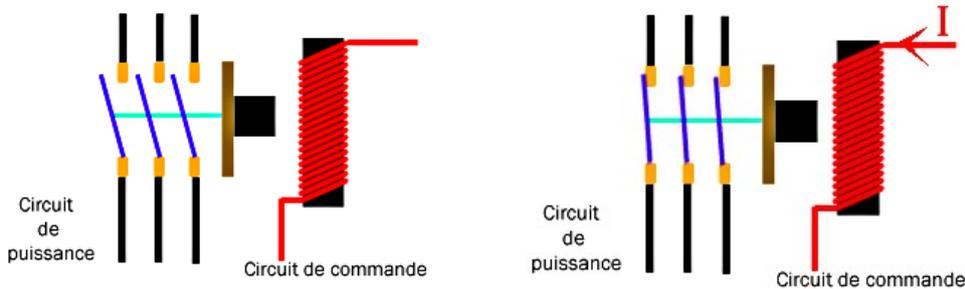
Exercice N°3

Soit le montage suivant (objectif : commander un moteur à courant continu avec une carte Arduino):



Le matériel :

- Un moteur à courant continu (à aimants permanents) : 24V / 120W
- Un contacteur (relais) KA1 :
 - bobine : 24Vcc, I=23mA
 - puissance : 230V / 6A
 - Fonctionnement : quand un courant circule dans la bobine (circuit de commande), celle-ci crée un champ magnétique qui fait se fermer les contacts (circuit de puissance). Quand le courant est coupé, un ressort rouvre les contacts.



La sortie Arduino utilisée (N°12) fonctionne en tout ou rien (sortie logique)

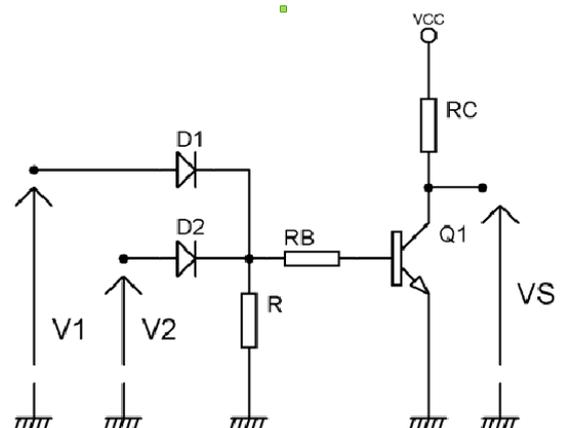
1. Calculez le courant consommé par le moteur.
2. Expliquez pourquoi on n'aurait pas pu brancher le moteur directement sur la sortie Arduino.
3. Justifiez (calculs et explications) pourquoi on a besoin du contacteur KA1 (et que seul le transistor ne suffit pas)
4. Calculez la valeur de R_B . (méthode : $I_C \rightarrow I_B \rightarrow I_{Bsat} \rightarrow R_B$)

Exercice N°4 : une fonction logique

Données : V1 et V2 sont soit à 0V (0 logique), soit à 5V (1 logique), $V_{CEsat}=0,1V$, $V_{CC}=5V$

1°) Complétez le tableau :

V1		V2		D1	D2	Q1	VS	
volts	logique	volts	logique	état	état	état	volts	logique
0		0						
0		5						
5		0						
5		5						



Etats possibles d'une diode :

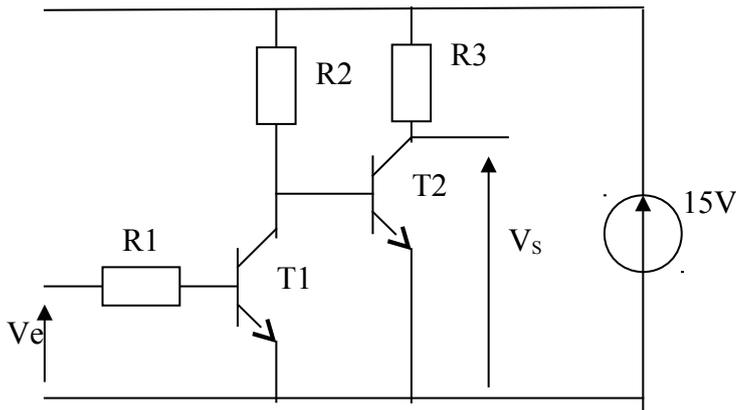
- passante (P) ou bloquée (B)

Etats possibles d'un transistor :

2°) Quel est la fonction du montage ?

Exercice N°5

Soit le montage suivant:



Données: $R1=15\text{ k}\Omega$, $R2=1.6\text{ k}\Omega$, $R3=150\Omega$
 Transistors: $\beta=100$, $V_{CE/sat}=0.2\text{V}$, $V_{BE}=0.6\text{V}$
 Les transistors sont utilisés ici en commutation.

Les valeurs des résistances sont calculées pour saturer les transistors

1. Expliquer pourquoi quand $V_e=0\text{V}$, le transistor T1 va être bloqué et le transistor T2 saturé. En déduire V_s .
2. Quand $V_e=4.6\text{V}$, donner l'état du transistor T1. Quelle est alors la valeur de V_{BE} de T2. En déduire l'état du transistor T2. Que vaut alors V_s ?

Exercice N°6

Nous allons commander un moteur à courant continu (Mcc) à l'aide d'un pont en H.

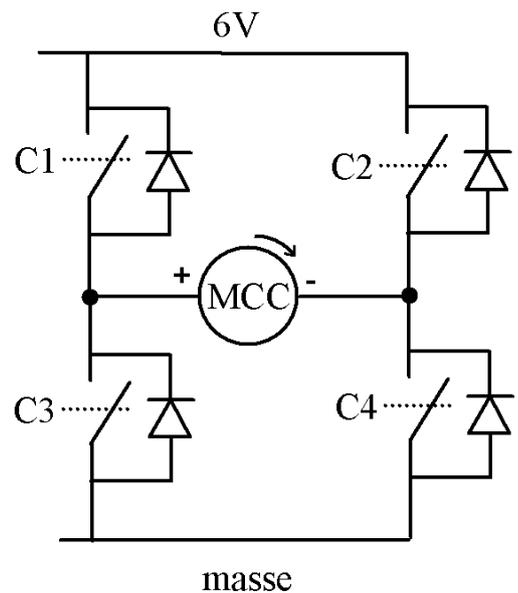
Soit le montage suivant :

Le moteur est commandé par 4 interrupteurs (C1, C2, C3 et C4)

Rappel sur le fonctionnement d'un Mcc :

- Lorsque le moteur est alimenté normalement, c'est à dire lorsque le 6V est sur le + et la masse (0V) sur le -, le moteur tourne dans le sens indiqué.
- Si on inverse, c'est à dire si la masse est sur le + et le 6V sur le -, le moteur tourne dans l'autre sens.

1. Quels interrupteurs doit-on fermer pour que le moteur tourne dans le sens indiqué ? Faites le schéma équivalent en remplaçant les interrupteurs par leur schéma équivalent (un fil quand il est fermé, rien, c'est à dire qu'on l'enlève, quand il est ouvert).
2. Quels interrupteurs doit-on fermer pour que le moteur tourne dans le sens inverse ? Faites le schéma équivalent en remplaçant les interrupteurs par leur schéma équivalent (un fil quand il est fermé, rien quand il est ouvert).
3. A quoi servent les 4 diodes présentes sur le schéma ?



Les contacts C1, C2, C3 et C4 peuvent être réalisés à l'aide de différentes technologies (relais, transistors, contacteurs, relais statiques, thyristors, ...). Dans la suite de l'exercice ils seront réalisés à l'aide de transistors bipolaires

Le schéma réel est le suivant :

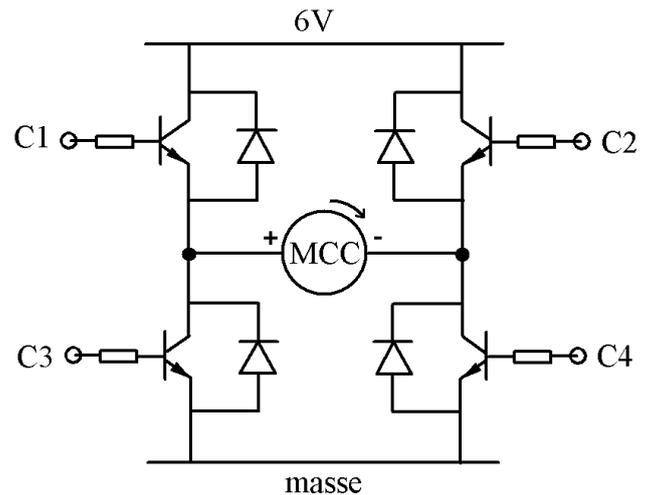
Données :

Mcc : 6V, 0.44A, 9280 tr/mn

Les transistors sont des 2N2222A. Il seront commandés par une carte Arduino.

Bien évidemment les transistors sont utilisés en commutation avec un coefficient de sursaturation de 2.

Remarque : dans les documents techniques (datasheet) les constructeurs n'indiquent pas le gain réel du transistor mais une plage de valeurs entre lesquelles se trouve le gain réel. Pour faire les calculs on prend le cas le plus défavorable, c'est à dire la valeur la plus faible du gain.



Datasheet :

réf.	fab.	V _{ces} (V max.)	I _c max. (mA)	P _{tot} (mW max.)	h _{FE} (min./max.)	Vcesat (V max.)	ft (MHz min.)
Transistors faibles signaux							
TO-18 - NPN							
2N2222A	Motorola	40	800	400	100 / 300	0,3	300
BC107B	Motorola	45	200	600	240 / 500	0,6	150
TO-18 - PNP							
BC179	STM	25	100	300	240 / 500	0,25	200 (typ)
BC478	STM	40	150	360	125 / 500	0,25	180 (typ)
BC479	STM	40	150	360	220 / -	0,25	180 (typ)
BC177	STM	50	100	300	125 / 260	0,25	200 (typ)
2N2907A	Motorola	60	600	400	100 / 300	0,4	200
BC477	STM	80	150	360	125 / 260	0,25	180 (typ)

4. Calculez le courant de base I_B des transistors lorsque le moteur est à pleine puissance.
5. Calculez la résistance présente sur la base des transistors du montage.

Le montage est commandé par une carte Arduino. Les sorties utilisées sont la 3 (marche avant) et la 5 (marche arrière)

6. Est-ce que la carte Arduino peut commander ce montage (justifiez votre réponse) ? Si ce n'est pas le cas proposez une solution (schéma, calculs, ...).

Le moteur à courant continu a maintenant comme caractéristiques : 6V, 1.8A, 11500 tr/mn

7. Démontrez que la carte Arduino ne peut pas commander ce montage.
8. Faites le schéma d'une solution :

