

Radio-Club de la Haute Île



F5KFF / F6KGL

Port de Plaisance

F-93330 Neuilly sur Marne

Bienvenue sur le cours de F6KGL

La séance de ce soir porte sur

Technique

Chapitre 6

Les transistors

Ce document a servi pour le cours enregistré le **24/03/2023**.

Ce document (*PDF*), le fichier audio (*MP3*) et les liens des vidéos (*YouTube*)
sont disponibles sur la page <https://f6kgl-f5kff.fr/lespodcasts/>

Les documents de notre site Internet sont mis à disposition selon les termes de la
Licence <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

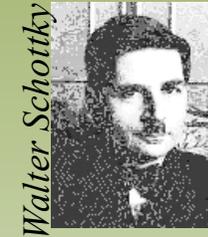


6-1) transistors

Après la diode, nous étudions le **transistor bipolaire** ou **transistor jonction**

Un peu d'histoire pour commencer :

- suite aux travaux sur la physique des semi-conducteurs de Walter Schottky (1927), la diode jonction P-N est mise au point dans les **laboratoires Bell** par Russel Ohl en 1939
- puis le transistor est mis au point en 1947 par John Bardeen, William Shockley et Walter Brattain toujours dans les **laboratoires Bell**. Ils reçoivent en 1956 le prix Nobel de physique.
- en 1954/55, **Regency** (USA) et **Sony** (Japon) commercialisent leurs premiers récepteurs AM (PO) entièrement transistorisés (TR55 de Sony et TR-1 de Regency)
- en 1955, les **laboratoires Bell** construisent le TRADIC (TRAnsistor DIgital Computer), premier ordinateur transistorisé
- en 1956, **IBM** commercialise le RAMAC 305, premier ordinateur avec disques durs (5 Mo, transistorisé et mémoire à tore)



Walter Schottky



Russel Ohl



Les pères du transistor



TR-1



TR55



premier transistor bipolaire.

le semi-conducteur est un minuscule ruban de germanium coupé au niveau de la pointe et reposant sur une base métallique.

(c'est pourquoi on a conservé le mot « base » et les deux lignes inclinées du schéma du transistor sont les deux côtés de la pointe)

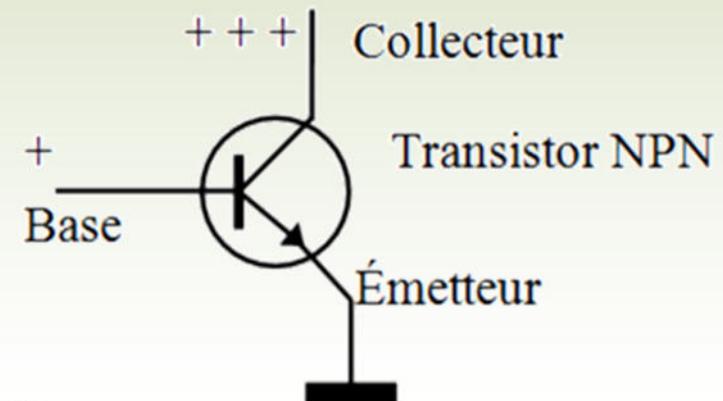
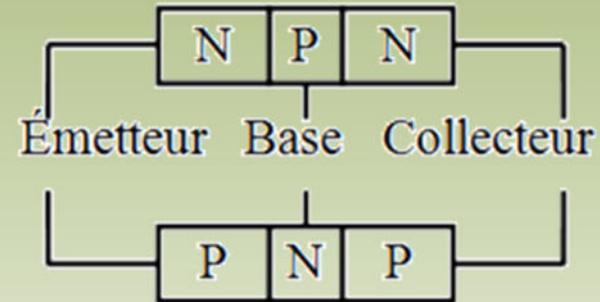


DD 24" 100 k0



6-1) transistors

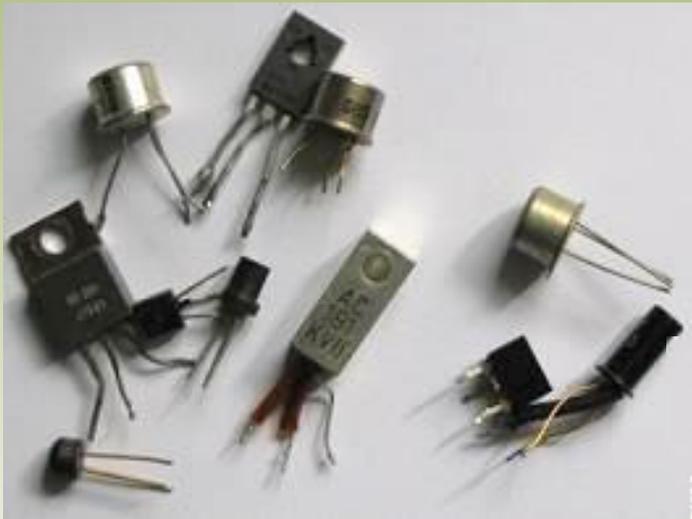
- Un **transistor** (bipolaire ou jonction) est composé
 - d'un **émetteur**
 - repéré par la flèche
 - d'une **base**
 - trait vertical
 - d'un **collecteur**
 - sans repère (masse des boîtiers métalliques)
- Deux types : **NPN** ou **PNP**
 - différencié par la flèche
 - PNP : PéNêtre
 - émetteur relié au +
 - NPN : Ne PéNêtre pas
 - émetteur relié au -
 - les NPN sont les plus courants.
 - la flèche indique le sens du courant dans le transistor.





6-1) transistors

- **Présentation** du composant



TO-3



SOT-23

To-92

TO-18

TO-39



NPN MEDIUM POWER SILICON SWITCHING TRANSISTOR

Qualified per MIL-PRF-19500/99

Devices	2N697 2N696S	2N697 2N697S	Qualified Level
			JAN

MAXIMUM RATINGS			
Rating	Symbol	Value	Units
Collector Base Voltage	V_{CB0}	40	Vdc
Emitter Base Voltage	V_{EB0}	5.0	Vdc
Total Power Dissipation	P_T	0.8	W
		2.0	W
Operating & Storage Junction Temperature Range	T_j, T_{stg}	-65 to +200	°C

THERMAL CHARACTERISTICS			
Characteristic	Symbol	Max.	Unit
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta jc}$	0.675	°C/W

 1) Thermal Resistance is 0.200°C/W for $T_c = 25^\circ\text{C}$.
 2) Dissipate steadily 11.3 mW/°C for $T_c > 25^\circ\text{C}$.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (at $T_c = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)				
Characteristic	Symbol	Min.	Max.	Unit
OFF CHARACTERISTICS				
Collector-Emitter Breakdown Voltage	V_{CE0}	40		Vdc
Collector Base Leakage Current	I_{CB0}		20	μA
Emitter Base Leakage Current	I_{EB0}		20	μA
ON CHARACTERISTICS¹⁾				
Forward Current Transfer Ratio	β_{DC}	20	40	
	β_{AC}	12.5	20.0	
Collector-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(sat)}$	0.3	1.5	Vdc
Base-Emitter Saturation Voltage	$V_{BE(sat)}$	1.3		Vdc

La « datasheet » du 2N697.

<http://f6kgl.free.fr/2n697.pdf>

- **Différents boîtiers** selon la puissance dissipée :
 - métallique (qui peuvent être montés sur des radiateurs)
 - plastique
- **Détrompeur** (ergot (*émetteur*), marquage, sens (*référence côté plat*))

6-2) gain des transistors

- Le **courant collecteur est fonction du courant de base** :

- gain en courant = β
- $I_c = I_b \cdot \beta$

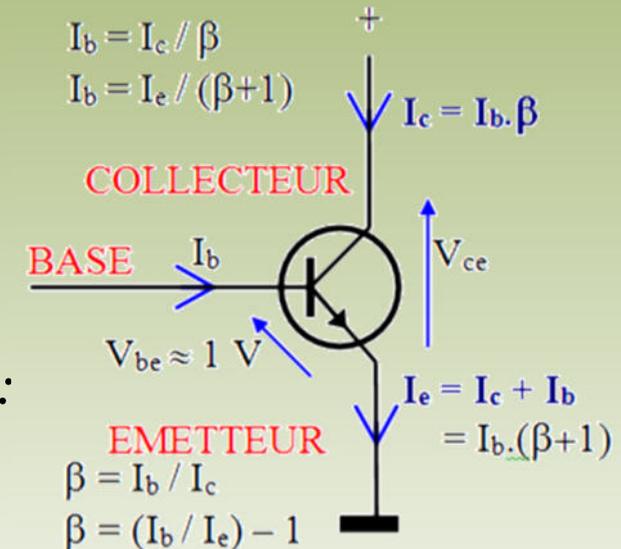
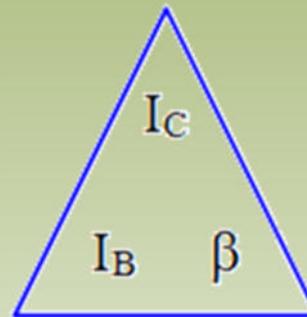
- D'autre part :

- $I_e = I_c + I_b$

- le gain est un coefficient (n'est pas donné en dB) d'où son autre nom :



h_{FE} avec h = fonction de transfert ; F = Forward current amplification ; E = common Emitter



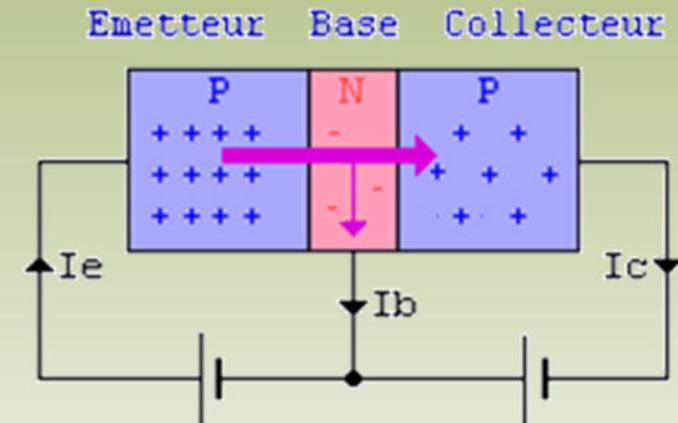
- Le gain est toujours donné par le constructeur pour du **courant continu** et pour une **température de 20°C**.

- le gain augmente avec la température, d'où les problèmes liés à **l'emballement thermique**.
- le gain diminue lorsque la **fréquence** à amplifier augmente.
 - la **fréquence de coupure** est la fréquence pour laquelle le gain n'est plus que de 70% du gain initial en courant continu (à 20°C), ce qui correspond à une perte en puissance de 3 dB (arrondi)



6-2) transistors

- La jonction base-émetteur est assimilable à une diode passante.
 - l'émetteur est fortement dopé et la base, très mince, est faiblement dopée. Si bien que la recombinaison électron-trou au niveau de cette jonction fonctionne mal.
 - quelques charges se recombinent mais la majorité des charges (99%) se dirigent vers la jonction base-collecteur.
- La jonction collecteur-base :
 - est polarisée en inverse
 - ne constitue pas une barrière de potentiel comme dans une simple diode :
 - le collecteur et la base sont peu dopés.
 - la jonction base-collecteur est donc peu active et les charges, attirées par la tension du collecteur, y sont propulsées : c'est l'effet transistor.
 - le courant collecteur est proportionnel au courant de base ($I_c = I_b \cdot \beta$)
- La recombinaison trou-électron génère du bruit (qui s'ajoute au signal amplifié)
 - les transistors au Germanium génèrent moins de bruit que ceux au Silicium.
 - pour réduire le bruit, les FET seront préférés (pas de recombinaison).



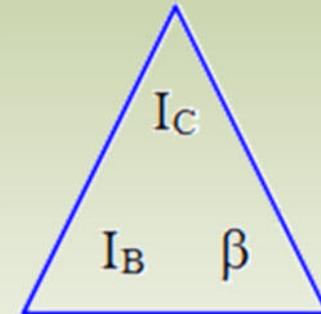
Voir aussi page **CNFRA** dans Radio-REF d'octobre 2010



6-2) gain des transistors

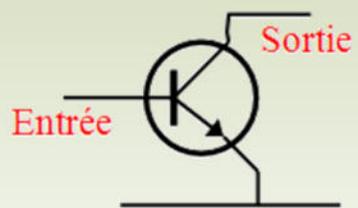
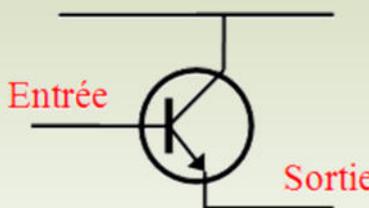
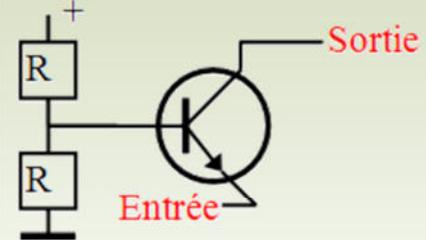
- **Exemple** : sur la base d'un transistor dont le gain (β) est de 80 est appliqué un courant de $500 \mu\text{A}$. Quelle intensité est constatée sur le collecteur du transistor (en mA)?

- **Réponse** : $I_c = I_b \cdot \beta = 500 \mu\text{A} \times 80$
 $= 40\,000 \mu\text{A} = \mathbf{40 \text{ mA}}$



6-3) montages des transistors

- Trois montages fondamentaux existent et ont des caractéristiques spécifiques qu'il faut connaître :
 - montages (*sur la broche « commune », il n'y a ni entrée ni sortie*) :
 - Émetteur commun (le plus courant)
 - Collecteur commun
 - Base commune (peu utilisé)

Montage	Émetteur commun	Collecteur commun	Base commune
Schémas			
<u>Caractéristiques :</u>			
<u>Gain</u> en intensité en tension	$I_c = I_b \cdot \beta$, Gain = β Moyen	$I_e = I_b \cdot (\beta + 1)$, Gain = $\beta + 1$ Pas de gain (<1)	$I_c \approx I_e$, Gain = $\beta / (\beta + 1) < 1$ Élevé
<u>Z Entrée / Sortie</u>	Moyenne / Élevée	Élevée / Basse	Basse / Très élevée
<u>Déphasage</u>	180° (signal inversé)	Pas de déphasage	Pas de déphasage

ordre de grandeur : Z basse < 30 Ω < Z moyenne < 300 Ω < Z élevée < 3000 Ω < Z très élevée

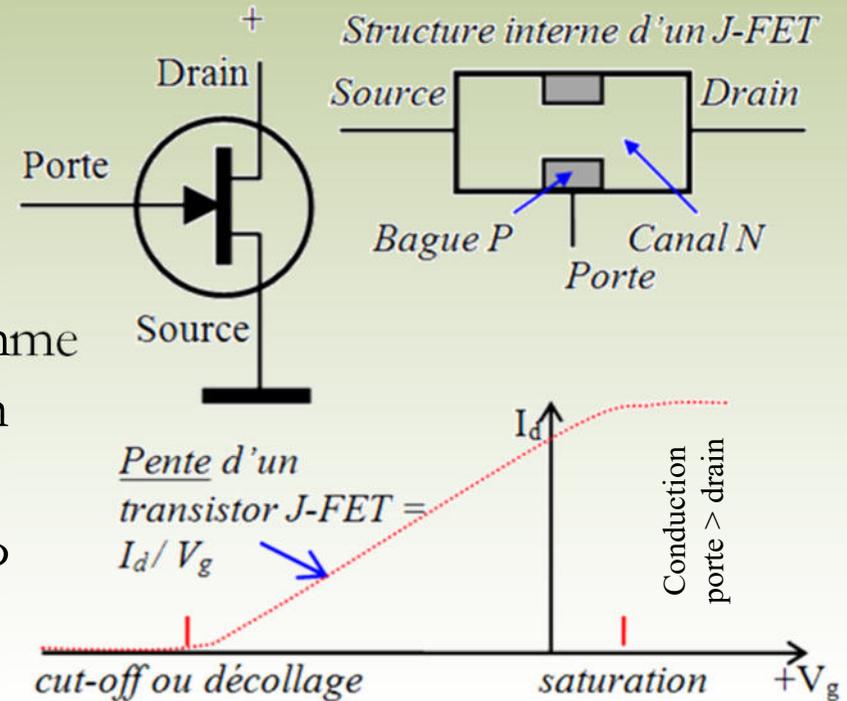
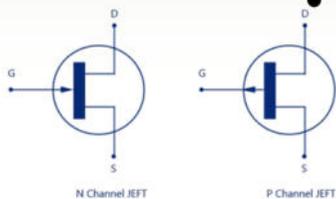
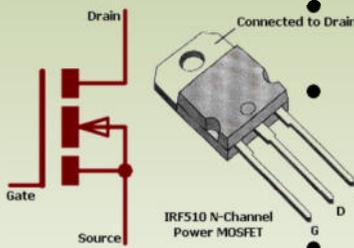
Niveaux entrée BC - sortie CC entrée EC entrée CC - sortie EC (180°) sortie BC



6-4) transistors FET

- Les transistors FET (Field Effect Transistor en anglais ou TEC, transistor à effet de champ) s'apparentent plus aux tubes thermoïoniques qu'aux transistors jonction.

- l'entrée s'appelle la source,
- la sortie s'appelle le drain,
- la commande se nomme la porte (gate en anglais)
- on ne parle pas de gain comme pour les transistors jonction mais de pente ($= I_d/V_g$)
- deux types : canal N ou canal P
- ce transistor est nommé aussi « FET à jonction » ou JFET pour le distinguer du MOS-FET.

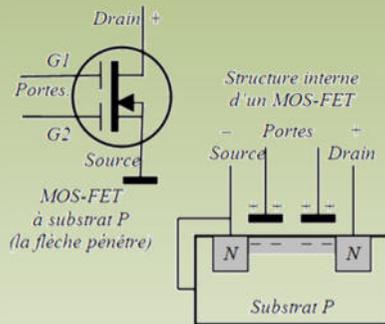




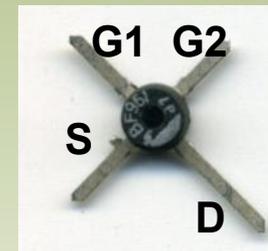
6-4) transistors FET

D'autres transistors existent mais ne sont pas au programme :

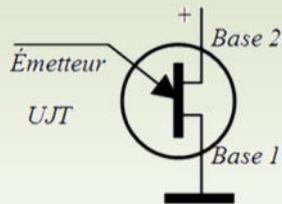
- les **MOS-FET** (ou **FET à porte isolée**) possèdent souvent deux portes : G1 est la porte de commande où le signal d'entrée est appliqué, la tension de G2 définit la pente du montage.



A la différence des FET à jonction, la tension de commande des portes est positive par rapport à la source.



- le **transistor unijonction (UJT)**, appelé aussi diode à deux bases, est composé d'un émetteur sur lequel est appliqué le signal d'entrée et de deux bases.

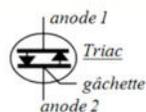
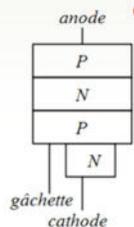
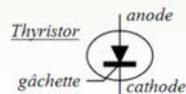


- peu utilisé dans les applications radioamateurs, il est remplacé de nos jours par un thyristor.



- quelques questions recensées sur le nom des électrodes (**émetteur et 2 bases**)

- le **thyristor** est composé d'une anode, d'une cathode et d'une gâchette et est utilisé en courant continu (interrupteur).



- un **triac** est composé de deux thyristors montés tête-bêche.

6-5) diodes thermoïoniques

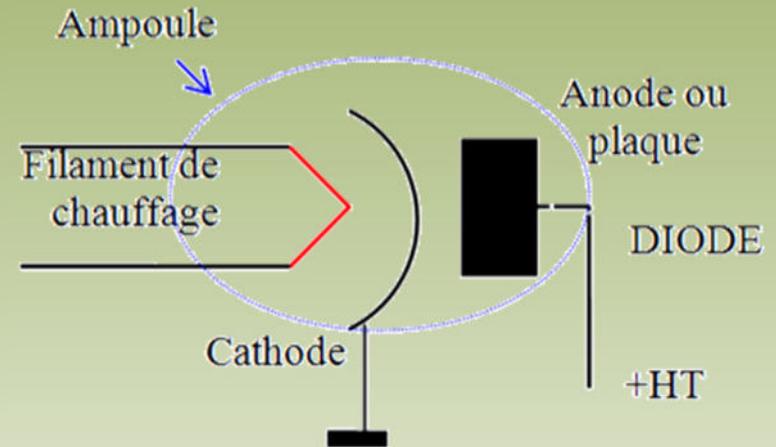
- **Les diodes thermoïoniques**



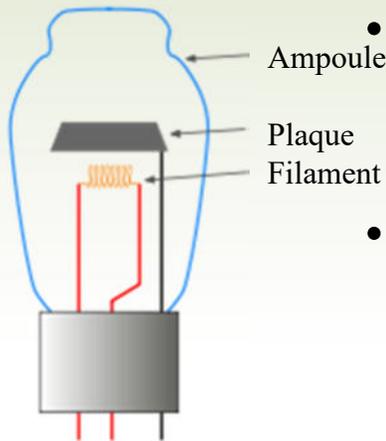
John Fleming
 1849 - 1945

Brevet du « kenotron »,
 tube redresseur à deux
 électrodes (1904)

(appelées aussi **valves**) ont été les premiers tubes thermoïoniques mis au point au début du 20^{ème} siècle.



- Dans une ampoule en verre ou en céramique, dans laquelle on a fait le vide, se trouve deux électrodes :

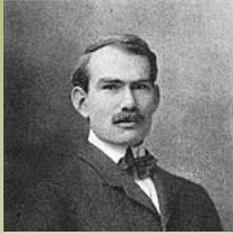


Diode à chauffage direct

- la **cathode** constituée d'un fil chauffé par un **filament**
 - la température élevée de la cathode génère une émission d'électrons.
- les électrons sont récupérés sur l'**anode**, ou **plaque**, lorsque sa tension est positive par rapport à la cathode.
 - le courant plaque sera d'autant plus fort que la tension plaque sera élevée

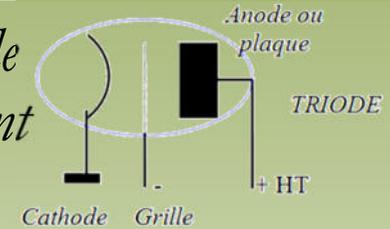


6-6) autres tubes thermoïoniques

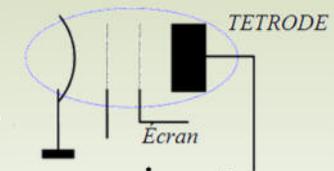

 Lee de Forest
 1873 - 1961

 Invention de •
 l'Audion (triode)
 (1907)

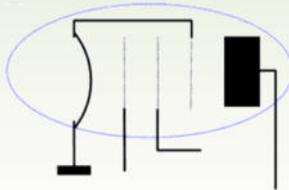
- **Triode** : l'intensité plaque varie en insérant entre anode et cathode une grille de commande, alimentée négativement par rapport à la cathode. Plus la tension grille (V_g) est négative, plus le courant plaque (I_p) est faible car les électrons refusent de passer à travers la grille et sont repoussés par celle-ci.



- **Tétrode** : en augmentant la fréquence du courant amplifié par le tube, des effets capacitifs entre grille et plaque nuisent au bon fonctionnement du circuit (auto-oscillation). Pour éviter ce phénomène, une électrode est insérée entre grille et plaque : l'écran.



PENTODE



- **Pentode** : une troisième grille est ajoutée, la suppresseuse, qui est reliée à la cathode. Sans cette grille, le choc des électrons sur la plaque les fait rebondir et retournent sur l'écran.

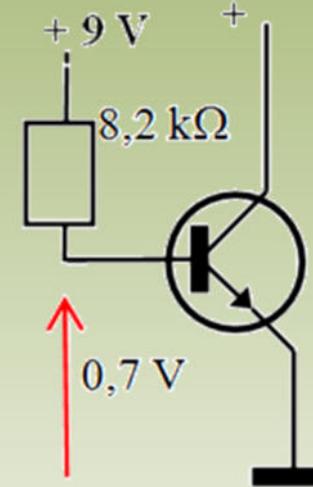
- il existe d'autres tubes avec des fonctions spécifiques et/ou des électrodes supplémentaires.
- certaines ampoules accueillent plusieurs tubes ayant des fonctions différentes (pentode-triode, double diode, ...)



Chapitre 6



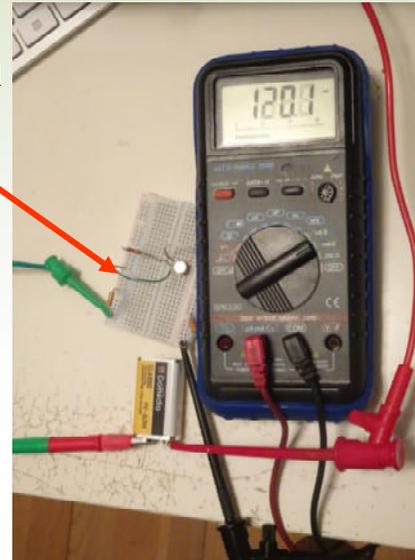
- A l'aide d'un multimètre, mesurer le gain d'un transistor
 - mesurer le courant de base
 - vérifier par le calcul
 - mesurer le courant I du circuit,
 - en déduire I_c
 - en déduire le gain du transistor
 - vérifier à l'aide du transistor-mètre



Mesure du courant Base-Emetteur (collecteur non connecté)



Mesure du courant total ($I_b + I_c$) (collecteur connecté)



Radio-Club de la Haute Île



F5KFF / F6KGL

Port de Plaisance

F-93330 Neuilly sur Marne

Le cours de F6KGL

était présenté par F6GPX

Bon week-end à tous et à la semaine prochaine !

**Retrouvez-nous tous les vendredis soir au Radio-Club
de la Haute Île à Neuilly sur Marne (93) F5KFF-F6KGL,
sur 144,575 MHz (FM) ou sur Internet.**

Tous les renseignements sur ce cours et d'autres documents sont disponibles sur notre site Internet, onglet "*Les cours*" puis "*Certificat Radioamateur*"

f6kgl.f5kff@free.fr

<https://www.f6kgl-f5kff.fr>