

Radio-Club de la Haute Île



F5KFF / F6KGL

Port de Plaisance

F-93330 Neuilly sur Marne

Le cours de F6KGL

présenté par F6GPX

Technique Chapitre 6

Les transistors et leurs montages

Ce document a servi pour le cours enregistré le **27/04/2018**.

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

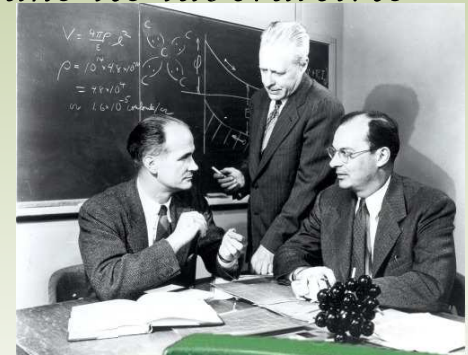


6-1) transistors

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 Schottky (1930), 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 entièrement transistorisés (ci-contre le TR55 de Sony, AM-PO)*
- *en 1956, IBM commercialise le RAMAC 305, premier ordinateur transistorisé (avec disques durs 5 Mo et mémoire à tore)*





6-1) transistors

- **Présentation** du composant



Microsemi
LAWRENCE TECHNICAL DATA

NPN MEDIUM POWER SILICON SWITCHING TRANSISTOR
Qualified per MIL-PRF-19500/99

Devices	Qualified Level
2N696	2N697
2N696S	2N697S
	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 (at $I_C = I_E = 250\text{mA}$)	P_T	0.8	W
(at $T_C = 25^\circ\text{C}$)		0.5	W
Operating & Storage Junction Temperature Range	T, T_{stg}	-60 to +200	$^\circ\text{C}$

THERMAL CHARACTERISTICS			
Characteristic	Symbol	Max.	Units
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta jc}$	0.875	$^\circ\text{C}/\text{W}$

1) Dissipate Heat in a 25°C Ambient
2) Dissipate Heat in a 25°C Ambient

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (at $T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min.	Max.	Units
OFF CHARACTERISTICS				
Collector-Emitter Breakdown Voltage	V_{CE0}	40	Vdc	
$I_B = 10\text{mA}, I_E = 10\text{mA}$				
Collector Base Leakage Current	I_{CB0}	10	0.1	μA
$V_{CB} = 10\text{Vdc}$				
Emitter Base Leakage Current	I_{EB0}	10	0.1	μA
$V_{EB} = 10\text{Vdc}$				
ON CHARACTERISTICS				
Forward Current Transfer Ratio	h_{FE}	20	40	
$I_C = 150\text{mA}, V_{CE} = 10\text{Vdc}$	2N697, 2N697S	40	120	
$I_C = 50\text{mA}, V_{CE} = 10\text{Vdc}$	2N696, 2N696S	12.5	30.0	
Collector-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(sat)}$	0.3	1.5	Vdc
$I_C = 150\text{mA}, I_B = 15\text{mA}$				
Base-Emitter Saturation Voltage	$V_{BE(sat)}$	1.3	Vdc	
$I_C = 150\text{mA}, I_E = 15\text{mA}$				

© 2000 Microsemi
1-800-441-1158 / (978) 798-1466 / Fax: (978) 699-6901 Page 3 of 2

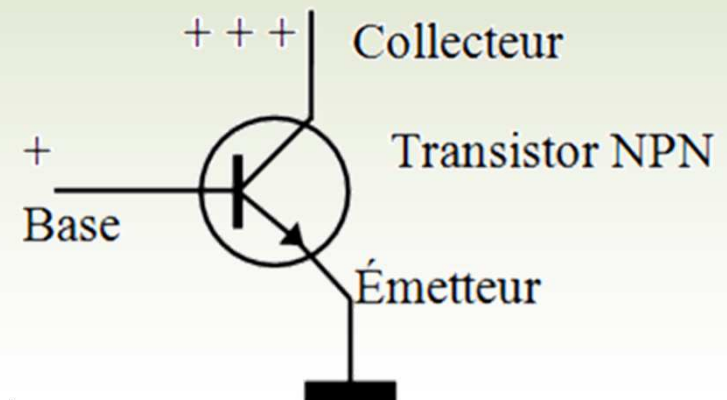
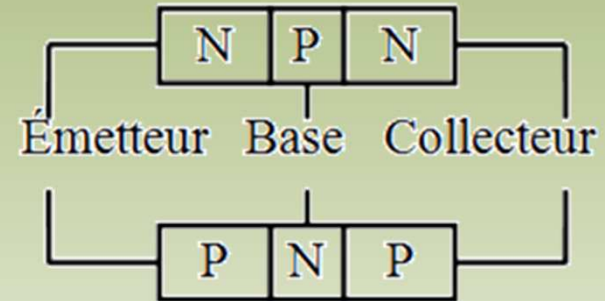
La « datasheet » du 2N697.
Cliquez sur l'image pour
télécharger le PDF

- **Différents boîtiers** selon la puissance dissipée :
 - métallique (qui peuvent être montés sur des radiateurs)
 - plastique



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.





6-2) 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 :

- $I_e = I_c + I_b$

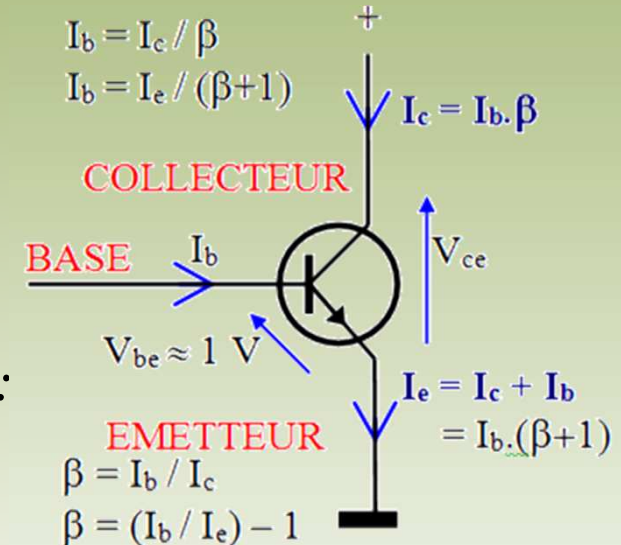
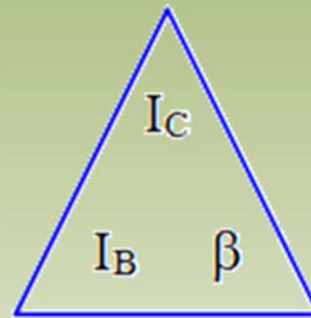
- le gain est un coefficient (n'est pas donné en dB) d'où son autre nom :



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**.

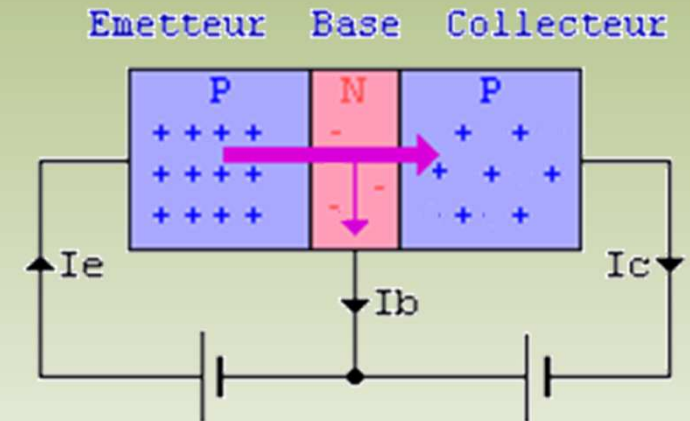
- le gain augmente avec la température, d'où les problèmes liés à **l'emballement thermique**.
- le gain diminue lorsque la **fréquence** à amplifier augmente.
 - la **fréquence de coupure** est la fréquence pour laquelle le gain n'est plus que de 70% du gain initial en courant continu (à 20°C), ce qui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

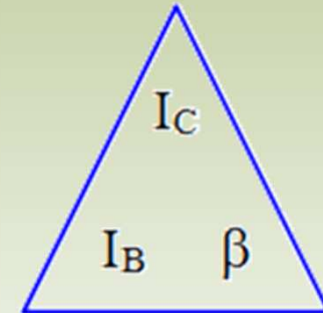


Voir aussi page **CNFRA** dans Radio-REF d'octobre 2010



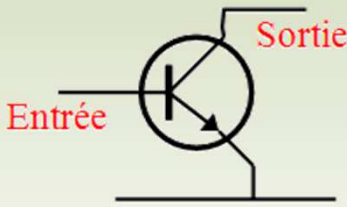
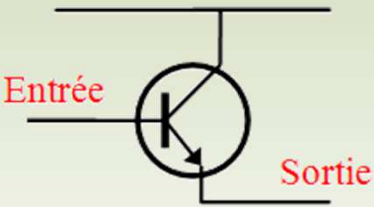
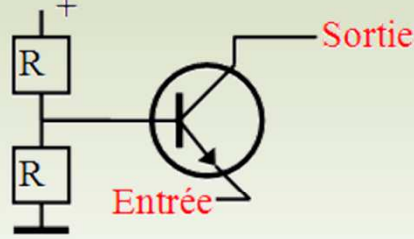
6-2) gain des transistors

- **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

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

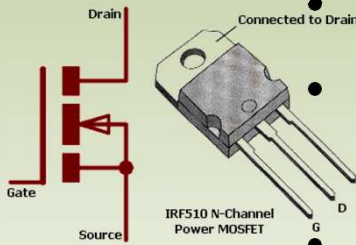




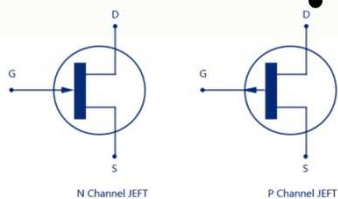
6-4) transistors FET

- 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.

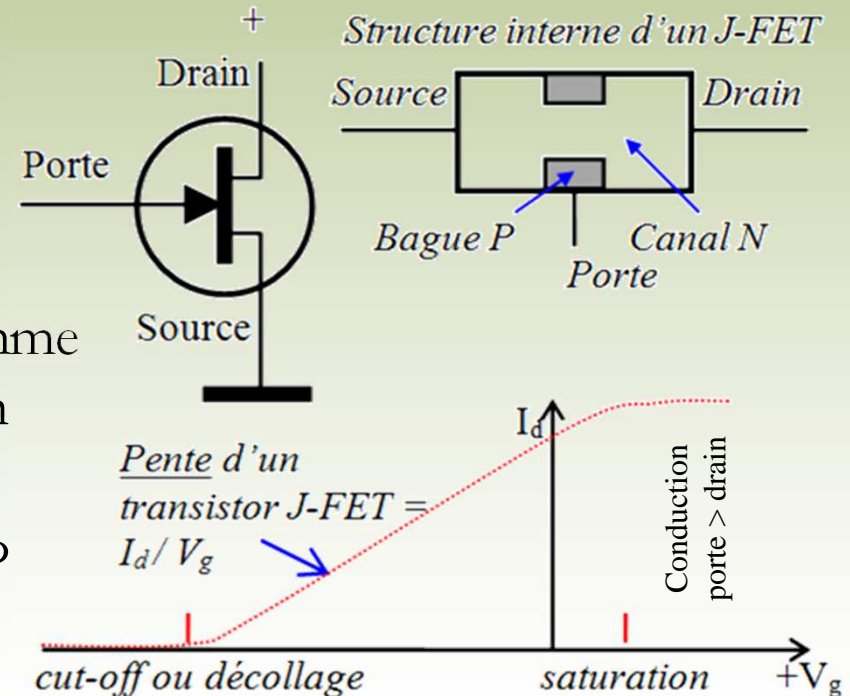


IRF510 N-Channel Power MOSFET



N Channel JFET

P Channel JFET

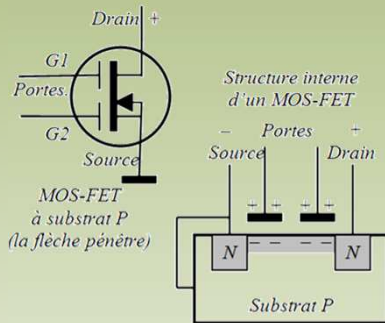




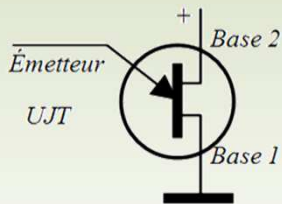
6-4) transistors FET

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.

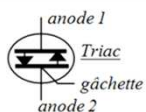
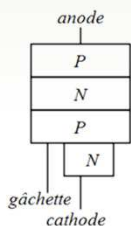
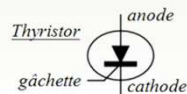


- peu utilisé dans les applications radioamateurs, il est remplacé de nos jours par un thyristor.



- 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

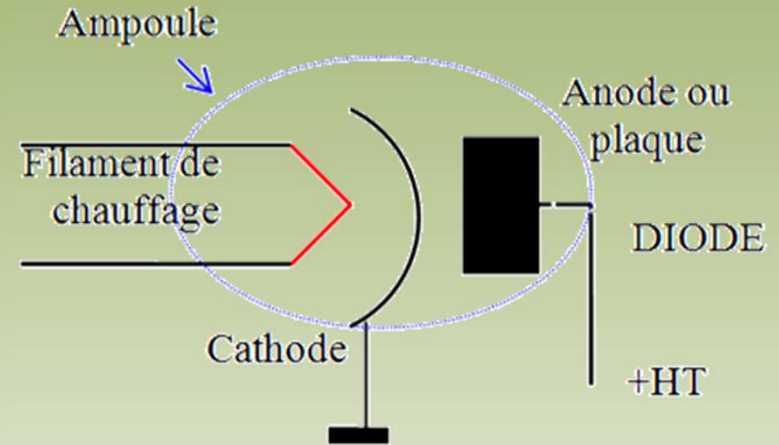
- Les diodes thermoïoniques



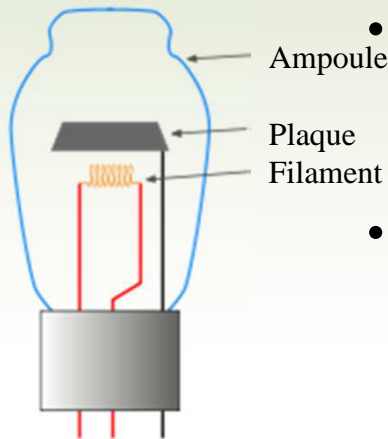
John Fleming
1849 - 1945

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 :

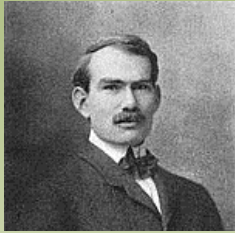


Diode à chauffage direct

- 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



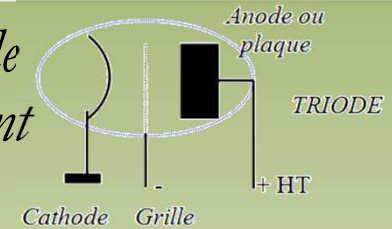
6-6) autres tubes thermoioniques



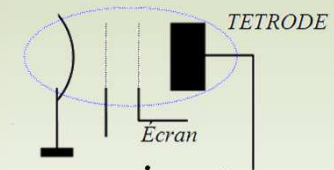
Lee de Forest
1873 - 1961

Invention de
l'Audion (triode)
(1907)

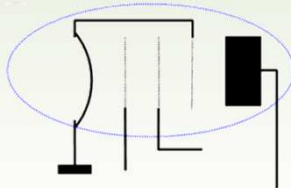
- **Triode** : l'intensité plaque varie en insérant entre anode et cathode une grille de commande, alimentée négativement par rapport à la cathode. Plus la tension grille (V_g) est négative, plus le courant plaque (I_p) est faible car les électrons refusent de passer à travers la grille et sont repoussés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



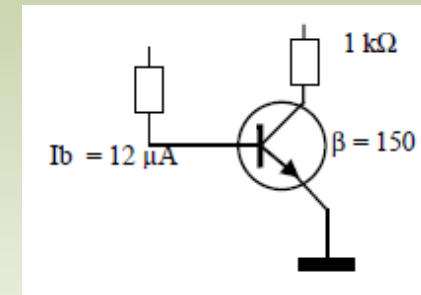
Les questions posées à l'examen

- Nommer les trois électrodes d'un transistor bipolaire :
 - émetteur, base, collecteur - *bonne réponse*
 - patte a, patte b, patte c
 - entrée, commun, sortie
 - cathode, anode, gâchette

- Quel est le courant I_c ?

- 1,8 A
- 6,66 mA
- 1,8 mA - *bonne réponse*
- 12 mA

$$I_c = I_b \times \beta = 150 \times 12 \mu A = 1,8 \times 10^{-3} = 1,8 \text{ mA}$$

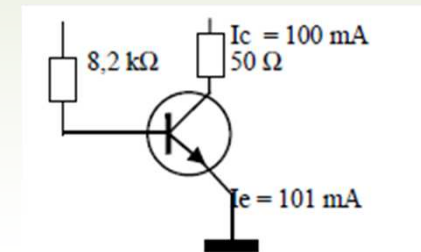


- Quel est le gain du transistor ?

- 50
- 82
- 100 - *bonne réponse*
- 164

$$I_b = I_c - I_e = 1 \text{ mA} ; \beta = I_c / I_b = 100 \text{ mA} / 1 \text{ mA} = 100$$

Les valeurs des résistances de base et de collecteur ne servent à rien





Les questions posées à l'examen

- **Quelle est l'impédance d'entrée d'un transistor monté en base commune ?**

- basse - *bonne réponse*
- moyenne
- élevée
- Infinie

Impédance d'entrée = basse ; impédance de sortie = très élevée

- **Comment nomme-t-on les 3 électrodes d'un transistor à effet de champ FET ?**

- une base, un émetteur et un collecteur
- une anode, une cathode et une gâchette
- un émetteur et deux bases
- un drain, une porte et une source – *bonne réponse*

Autres réponses : 1) transistor bipolaire ; 2) thyristor ; 3) transistor unijonction (UJT)

- **Nommer les électrodes d'un transistor unijonction?**

- une base, un émetteur et un collecteur
- une anode, une cathode et une gâchette
- un émetteur et deux bases – *bonne réponse*
- un drain, une porte et une source

Le transistor unijonction (UJT) n'est pas au programme de l'examen et est peu utilisé dans nos montages. Il est remplacé de nos jours par des thyristors ou des triacs...

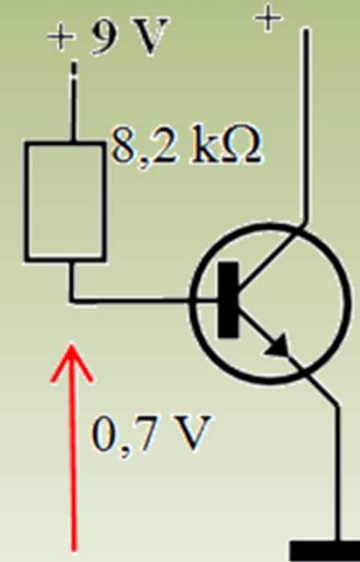
- **Aucune question sur les tubes !**



Chapitre 6

Le montage de la soirée

- 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



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 "*Formation F6GPX*"

f6kgl.f5kff@free.fr

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