



TRANSISTORS

Cours de radio par correspondance

INTRODUCTION

L'étude que vous êtes en train de commencer est un traité de caractère pratique sur la réalisation des TRANSISTORS et leur emploi dans les circuits électroniques.

Au cours des dix dernières années, le transistor a largement dépassé sa phase expérimentale et il est maintenant devenu un produit très perfectionné aux multiples applications dans le domaine très vaste de la technique moderne.

Vous pourrez apprendre dans ces leçons, les principes fondamentaux de cette nouvelle technique qui fait apparaître de nouveaux principes, différents en partie de ceux que vous avez déjà étudiés, comme vous pourrez bientôt le constater.

Au cours de cette première leçon, je vous donnerai des indications

de caractère général sur le fonctionnement du transistor; je vous parlerai de ses qualités et de ses défauts par rapport aux tubes électroniques et je vous donnerai les références de ses différentes inventions ou découvertes.

Vous pourrez facilement comprendre les aspects de cette nouvelle technique grâce aux connaissances que vous avez déjà acquises.

Le transistor est né d'études qui se sont développées durant les dernières années sur la physique des corps à l'état solide.

Pour la première fois, on a pu démontrer que l'on pouvait avoir une amplification avec passage de courant, non seulement dans le vide mais aussi dans un solide.

On peut dire avec certitude que l'invention du transistor a marqué la première innovation radicale dans le domaine de la radio après l'invention de la triode par Lee De Forest en 1906.

Je souligne encore que son fonctionnement est basé sur des principes complètement révolutionnaires, différents de ceux que l'on connaît et qui sont appliqués dans les tubes électroniques.

Dès 1906, c'est-à-dire aux débuts de la radio, on emploie des "détecteurs" à cristal, comme la galène, qui représentent les ancêtres des transistors

modernes et des diodes à cristal, puisqu'ils ont en commun avec ceux-ci, le principe de la conduction électrique asymétrique, typique des SEMI-CONDUCTEURS.

Conduction électrique asymétrique signifie que le courant peut passer librement dans un sens, mais pas dans l'autre.

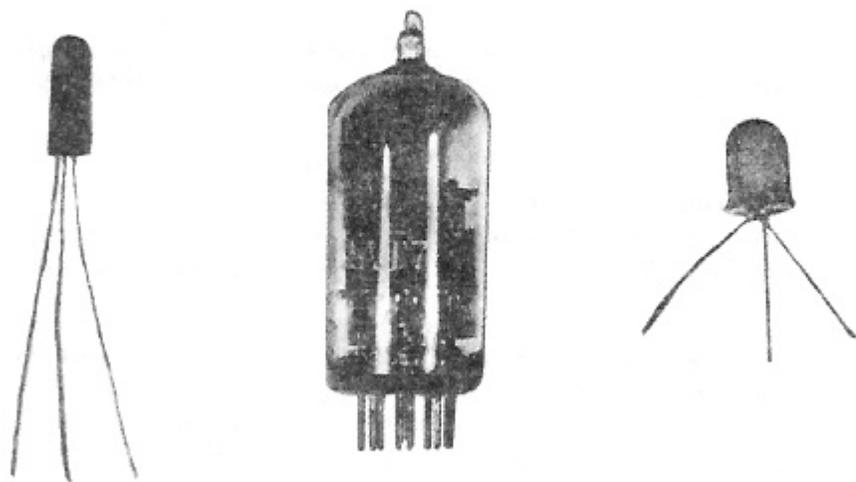
L'invention du détecteur à cristal de germanium qui a ouvert directement la voie à l'invention du transistor, a été faite par Seymour Benzer en 1942.

L'invention du transistor, faite en 1948 par J. Bardeen et W.H. Brattain a été le fruit de la collaboration entre plusieurs savants et techniciens: c'est une des caractéristiques du progrès scientifique moderne.

Nombreux ont été en effet les chercheurs qui ont consacré leurs efforts à l'étude et au développement des transistors, et, aujourd'hui encore des laboratoires scientifiques entiers, avec une grande dépense de moyens, continuent les études et les expérimentations pour le perfectionnement des semi-conducteurs.

A la Fig. 1- vous pourrez observer plusieurs types de transistors modernes, comparés avec un des tubes électroniques miniatures classiques du type normal.

Vous vous rendrez mieux compte sur la Fig. 2- des petites dimensions des transistors.



- Fig. 1 -

Les transistors exploitent les propriétés spéciales des deux éléments chimiques appelés GERMANIUM et SILICIUM.

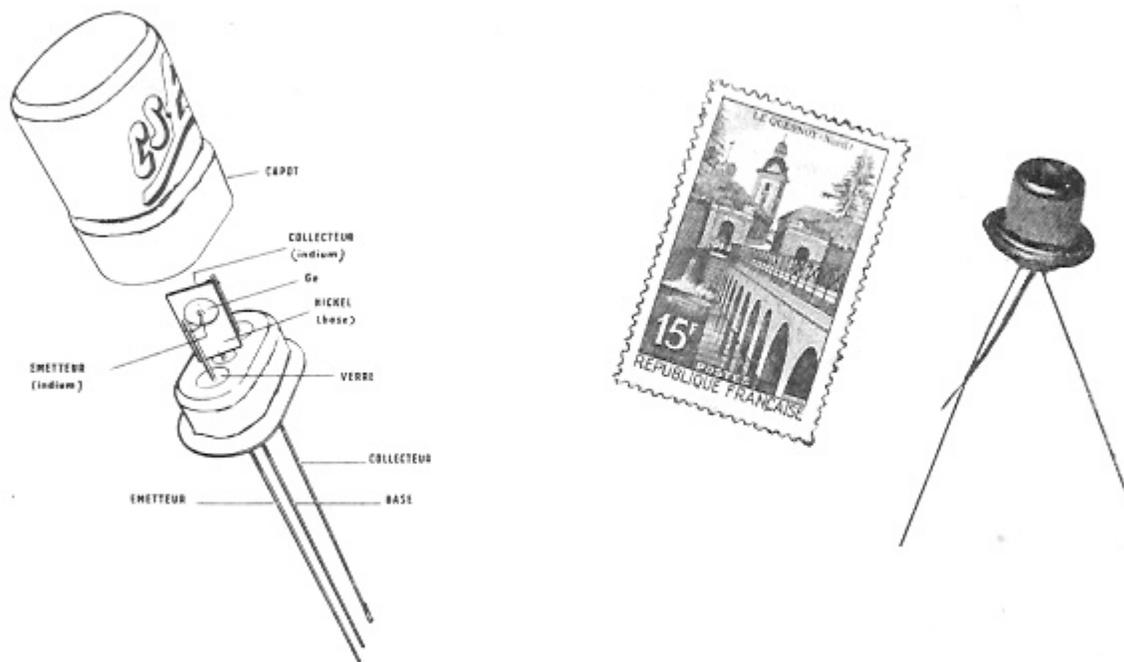
L'un et l'autre appartiennent à la classe des "SEMI- CONDUCTEURS", intermédiaires entre les éléments CONDUCTEURS et les ISOLANTS.

Les éléments conducteurs sont par exemple, le fer, l'argent, le cuivre, l'aluminium, etc...

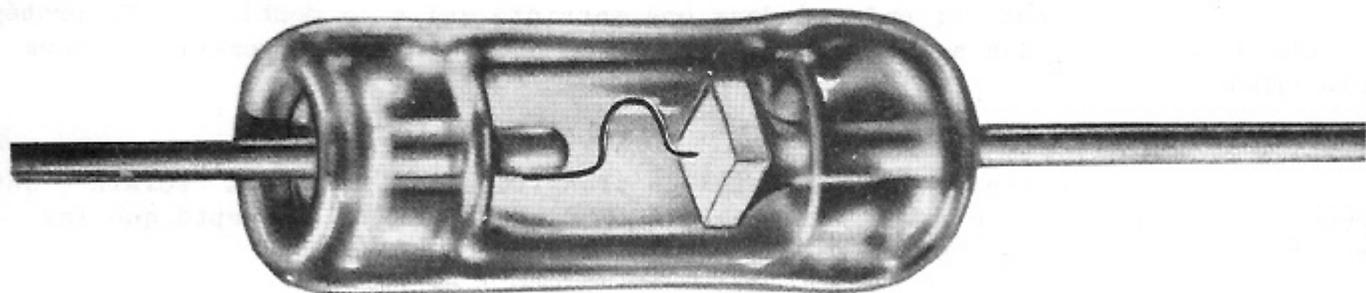
Les éléments isolants sont: le soufre, le phosphore, l'hydrogène, l'azote, etc...

Les éléments semi-conducteurs constituent soit les diodes à cristal soit les transistors, en forme de plaques parallélépipédiques minces.

A la Fig. 3- vous pouvez voir de quoi se compose une diode à cristal de germanium de type classique; la plaque de germanium a comme dimensions 2,5 mm par 2,5 mm, et une épaisseur de 0,5 mm; elle est soudée par un procédé spécial à une des électrodes. L'autre électrode porte un fil mince (le diamètre est de l'ordre de 1/10 ème de mm.), généralement en bronze phosphoreux, appuyé comme un ressort à faible pression sur la plaque du germanium.



- Fig. 2 -



DIODE AU GERMANIUM : Agrandie environ 10 fois.
La plaque de Germanium constitue la CATHODE,
et la pointe de contact en bronze phosphoreux
constitue l'ANODE.

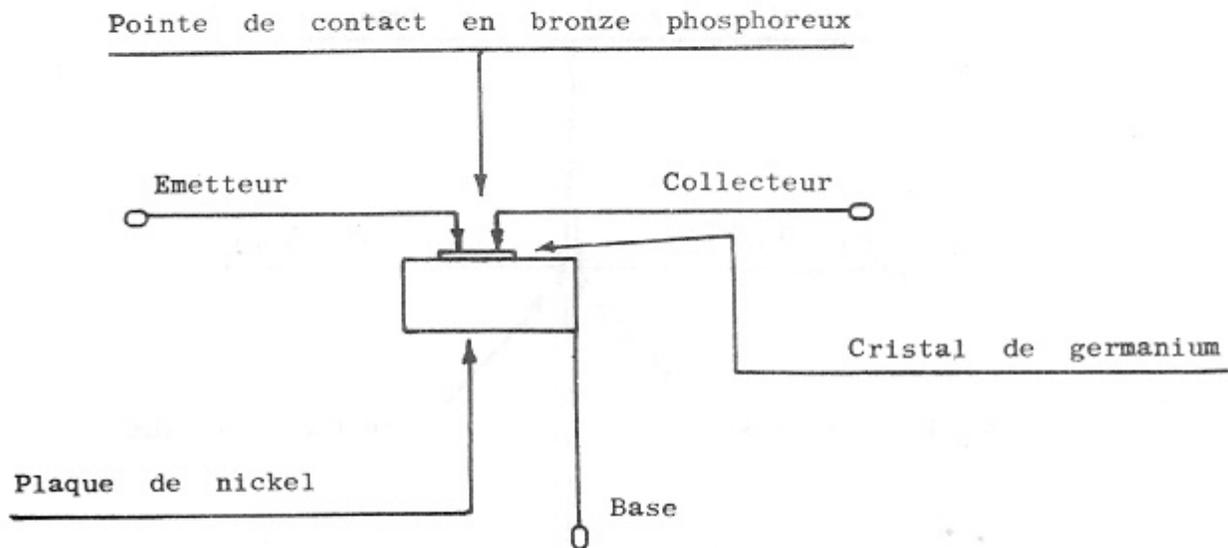
Le tout est enfermé dans une enceinte qui a le double but de protéger la plaque et le fil, des agents extérieurs et de soutenir mécaniquement les deux électrodes.

A la Fig. 4- on a dessiné un transistor du type dit A POINTE , qui, comme vous pourrez le voir, est semblable à la diode à cristal, excepté que les pointes de contact avec le cristal de germanium sont doubles.

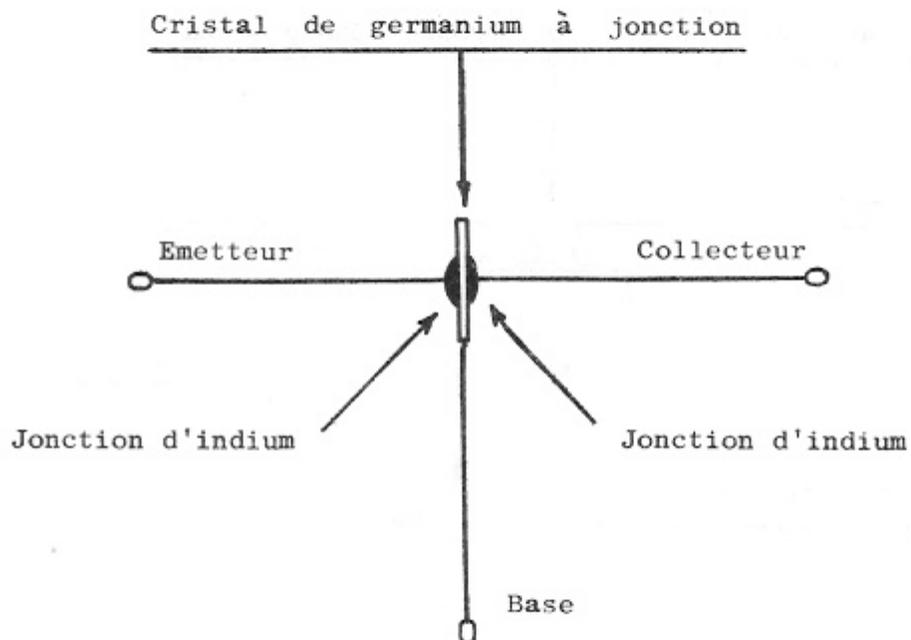
Ces pointes sont disposées très près l'une de l'autre et prennent le nom D'EMETTEUR et COLLECTEUR ; la troisième électrode raccordée à la plaque s'appelle BASE.

A la Fig. 5- on a dessiné un autre type de transistor, dit A JONCTION dans lequel il n'y a pas de contact à pointe, mais des électrodes soudées à la plaque de germanium. Ici aussi les électrodes sont nommées: émetteur, collecteur et base, comme dans le transistor à pointe.

Les transistors qui sont employés normalement sont en général, du type à jonction. Les transistors à pointes sont utilisés pour des applications spéciales; cependant ils ont été précisément les premiers à être inventés: nous en étudierons le fonctionnement dans les prochaines leçons.



TRANSISTOR A POINTE



TRANSISTOR A JONCTION

La Fig. 6- représente un transistor à jonction dit de puissance. Il est appelé ainsi par analogie avec les tubes électroniques de puissance, parce qu'il est normalement utilisé dans les appareils radio, comme amplificateur final.

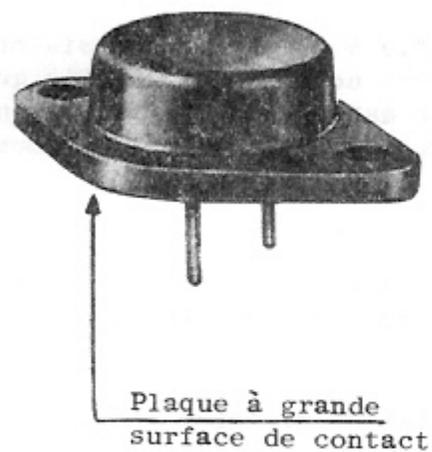
Sa constitution est tout à fait semblable à celle des transistors que nous avons vus précédemment. Cependant, vous pourrez noter que la partie qui contient la jonction a une forme particulière: son but est de pouvoir facilement dissiper la chaleur de la jonction, dans le châssis de métal sur lequel est monté le transistor.

Vous verrez plus tard qu'un des problèmes pour l'emploi des transistors est la dissipation de chaleur qui s'établit lors du fonctionnement.

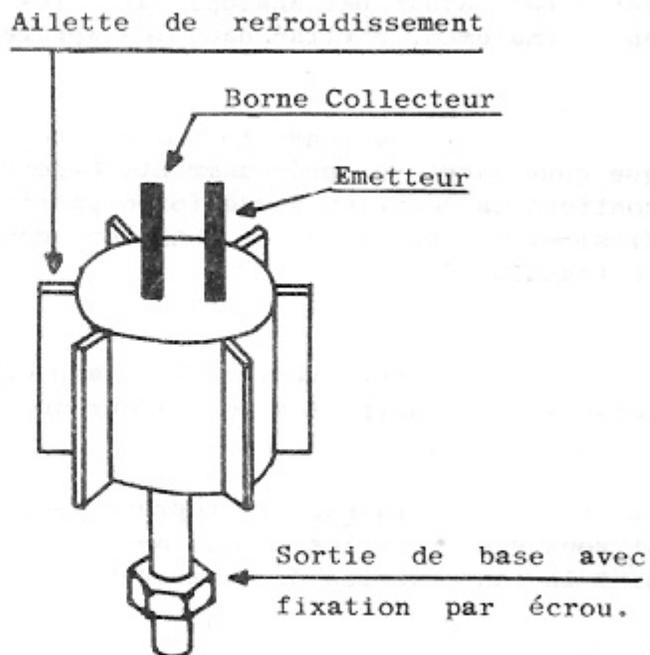
La Fig. 7- représente une diode à cristal de silicium. Le silicium, si vous vous rappelez ce que nous avons déjà dit, est un des éléments employés dans la construction des transistors.

La diode à cristal trouve des applications utiles dans la détection des courants à fréquences très élevées: elle est employée comme détecteur dans les appareils radar dont la "moyenne fréquence" s'établit autour de 30 ou 60 MHz.

Même s'il n'est pas évident que les transistors remplaceront



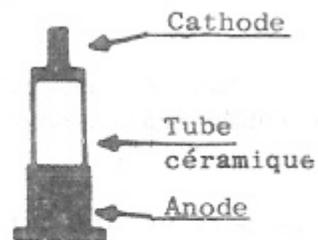
TRANSISTOR DE SORTIE B.F.
 PUISSANCE MAXIMUM 3 WATTS



TRANSISTOR 25 WATTS



Echelle 2 Volts



DIODE AU SILICIUM 1N21B

Mélangeur jusqu'à 3000 MHz

Sortie HF 6,5 db maximum

Impédance H.F. 200-600 Ω Résistance de charge c.c. 100 \pm 10 Ω Résistance de charge du modulateur 400 Ω

complètement les tubes électroniques, ils se sont répandus très vite pour de nombreuses applications qui, jusqu'à présent, étaient du ressort absolu des tubes électroniques.

Les raisons principales pour lesquelles le transistor tend à être préféré aux tubes traditionnels peuvent se résumer dans les points suivants:

- 1- petites dimensions,
- 2- rendement élevé,
- 3- longue durée de vie,
- 4- faible consommation,
- 5- pas de préchauffage.

Le volume d'un transistor est de l'ordre d'un millième de celui d'un tube électronique miniature, et son poids est le centième de celui de ce tube.

Les petites dimensions représentent un avantage de plus en ce qui concerne les forces d'inertie; le poids de chaque élément du transistor étant très faible, les efforts auxquels ces éléments sont soumis dans le cas de chocs, sont très diminués.

Les avantages des petites dimensions sont évidents dans toutes les

applications de l'électronique moderne, qui tend à la MINIATURISATION c'est-à-dire à la réduction des dimensions dans les réalisations techniques.

La résistance mécanique des transistors les rend précieux dans les différentes applications de caractère militaire, par exemple, les engins balistiques de développement récent.

Un rendement élevé signifie que la puissance électrique d'alimentation se transforme en grande partie en PUISSANCE UTILE, c'est-à-dire par exemple, celle qui est convertie en son dans le haut-parleur relié à un amplificateur.

Le rendement élevé est très important dans les applications pour lesquelles la dissipation de la chaleur devient un problème d'intérêt fondamental.

Un exemple typique se trouve dans les calculateurs électroniques, pour lesquels on emploie des milliers de tubes électroniques qui sont remplacés avantageusement, par les transistors.

La durée de vie des transistors est un autre élément de grand intérêt.

Leur vie est au moins trois fois plus longue que celle des meilleurs tubes électroniques et certains expérimentateurs assurent que la durée de vie du transistor est presque de 70.000 heures.

Un transistor ne comporte pas de filament: il n'y a donc pas de chauffage, d'où une économie de consommation mais surtout, il fonctionne dès la mise sous tension sans préchauffage.

Dans la situation actuelle de la technique, il y a cependant plusieurs désavantages qui en interdisent l'emploi dans certaines applications, où le tube électronique est toujours roi.

La première limite de fonctionnement est la température de fonctionnement du semi-conducteur, qui doit être comprise entre certaines limites au delà desquelles le transistor est irrémédiablement détruit.

Cela peut sembler de peu d'importance, alors que ce phénomène représente un grave obstacle pour la production des transistors de puissance.

Bien que les transistors de quelques "10 W" soient actuellement produits en série, il est encore prématuré de penser au remplacement systématique des tubes de puissance, capables de dissiper des puissances bien plus grandes sans difficulté aucune.

Cela limite l'emploi des appareils dans lesquels des puissances relativement faibles sont mises en jeu, comme par exemple, les radio-récepteurs, les appareils de mesure, les calculateurs électroniques, les appareils de surdité, les petits amplificateurs, les circuits d'engins téléguidés, etc...

On peut ajouter à l'aspect négatif que nous venons d'observer dans l'emploi des transistors, le fait que les caractéristiques du fonctionnement sont sensiblement influencées par la température à laquelle fonctionne le semi-conducteur.

Pour pallier à cet inconvénient, des circuits spéciaux doivent être utilisés qui permettent l'établissement de courants électroniques avec une certaine stabilité de fonctionnement.

Ainsi par exemple, l'amplification d'un étage amplificateur avec transistor, en l'absence de cette constance de courant peut varier de 15 à 25 fois suivant la température ambiante entre deux limites minimum et maximum.

En outre, les transistors ne fonctionnent pas encore de façon satisfaisante aux fréquences très élevées; ce n'est que récemment qu'on a étudié des types spéciaux qui fonctionnent avec un rendement encore bon à des fréquences de l'ordre de 100 KHz.

C'est un des problèmes qui occupent les techniciens des laboratoires de recherches des grands ensembles industriels comme la BELL, la GENERAL ELECTRIC aux U.S.A, la COMPAGNIE GENERALE DE T.S.F. et la THOMSON en FRANCE, PHILIPS en HOLLANDE.

En effet, certaines des nouvelles techniques de l'électronique, comme la télévision (en blanc et noir et en couleurs), la modulation de fréquence la technique radar, etc... emploient largement les courants à fréquences très élevées, jusqu'à 3.000 MHz et même plus.

Précisément, dans ces applications, la nécessité qu'il y a à remplacer les tubes électroniques se fait particulièrement sentir, tant à cause de leurs dimensions, du rendement insuffisant, que de leur durée de vie relativement brève.

Je désire encore avant de conclure, vous rappeler que cet élément dont nous avons commencé à parler, le TRANSISTOR, admirable produit de l'intelligence humaine, application directe des lois de la structure interne de la matière, est toujours sujet à des études continues qui conduiront bientôt à son perfectionnement.

Les difficultés rencontrées jusqu'à maintenant dans l'élimination de certains défauts inhérents à la nature des semi-conducteurs, ne sont pas suffisants pour arrêter le progrès continu de l'électronique dans ce domaine.

La preuve en est que, bien que peu d'années sont passées depuis sa découverte, le transistor a déjà représenté un développement immense, à tel point qu'il devient un véritable concurrent du tube électronique qui a été perfectionné durant 50 ans.

Je veux à présent vous donner en guise de résumé, la possibilité de rassembler les idées exprimées dans cette première leçon d'introduction.

1- Le transistor est un amplificateur électronique basé sur le principe de la circulation du courant électrique dans les semi-conducteurs.

2- Les semi-conducteurs sont des éléments chimiques qui ont des caractéristiques électriques intermédiaires entre les conducteurs et les isolants.

3- Les matériaux qui sont habituellement employés dans les transistors sont le germanium et le silicium.

4- Les diodes au germanium (ou au silicium) sont semblables au détecteur à cristal de galène employé dès le début de la radio .

5- Le transistor peut être du type à "pointe" ou du type "à jonction"; dans les deux cas, on emploie une plaque de germanium (ou de silicium) et deux électrodes. Les deux électrodes sont appelées collecteur et émetteur tandis qu'à la plaque de germanium (ou de silicium) on relie une troisième électrode qui est appelée base.

6- Le détecteur à cristal de germanium a été inventé en 1942, le transistor a été inventé en 1948.

7- Les avantages du transistor comparés au tube électronique sont:

a- Ses petites dimensions

b- Son rendement élevé

c- Sa longue durée de vie

d- Sa faible consommation (en particulier pas de filament).

8- Les inconvénients les plus marquants, mais qui cependant tendent à diminuer avec le progrès, sont:

- a- La température de fonctionnement limitée,
- b- Les variations des caractéristiques avec la température,
- c- Le rendement insuffisant à fréquence élevée.

=====

EXERCICE DE REVISION SUR LA 1ère LECON TRANSISTORS

- 1- Décrivez comment est construit un transistor à jonction.
- 2- Décrivez comment est construit un transistor à pointes .
- 3- Pourquoi les transistors tendent-ils à se substituer aux tubes électroniques dans les applications modernes de l'électronique ?
- 4- Quels sont les désavantages des transistors et dans quelles applications leur emploi est-il limité ?

=====