



Technologie des composants électroniques

- Composants passifs
- Composants actifs
- Techniques d'assemblage

Joël Redoutey

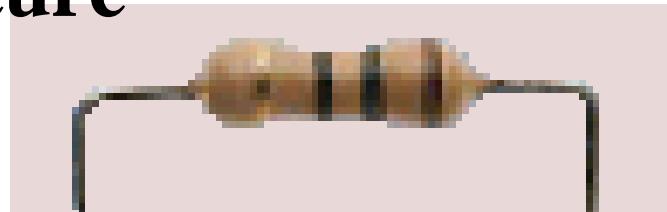


Résistances



Caractéristiques principales:

- Valeur ohmique (en $\text{m}\Omega$, Ω , $\text{k}\Omega$, $\text{M}\Omega$)
- Tolérance (précision en %)
- Valeurs normalisées (séries E..)
- Dissipation de puissance
- Coefficient de température
- Technologies



Résistances



Tolérance et séries normalisées

Toutes les valeurs de résistance ne sont pas disponibles.

En fonction de la tolérance (précision en %), pour chaque décade on choisit une valeur parmi une série de N valeurs données par :

$R = 10^{\frac{n}{N}}$ $n \in [1, N]$ Chaque valeur est telle que sa tolérance recouvre légèrement celle des valeurs adjacentes.

Les séries les plus courantes sont E12 ($\pm 10\%$, $N=12$) et E24 ($\pm 5\%$, $N=24$)

Série E12	10	12	15	18	22	27	33	39	47	56
	68	82								

Série E24	10	11	12	13	15	16	18	20	22	24	27	30	33	36	39	43	47	51	56	62
	68	75	82	91																

Résistances

Symbole



Européen



Américain

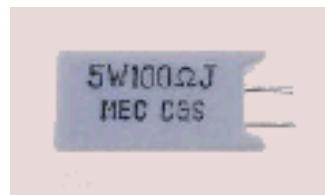
Marquage

En clair

$$10R \leftrightarrow 10 \Omega$$

$$3K3 \leftrightarrow 3,3 k\Omega$$

$$1M \leftrightarrow 1 M\Omega$$



CMS

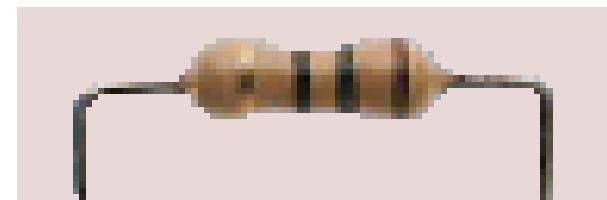
$$100 \leftrightarrow 10 \Omega$$

$$101 \leftrightarrow 100 \Omega$$

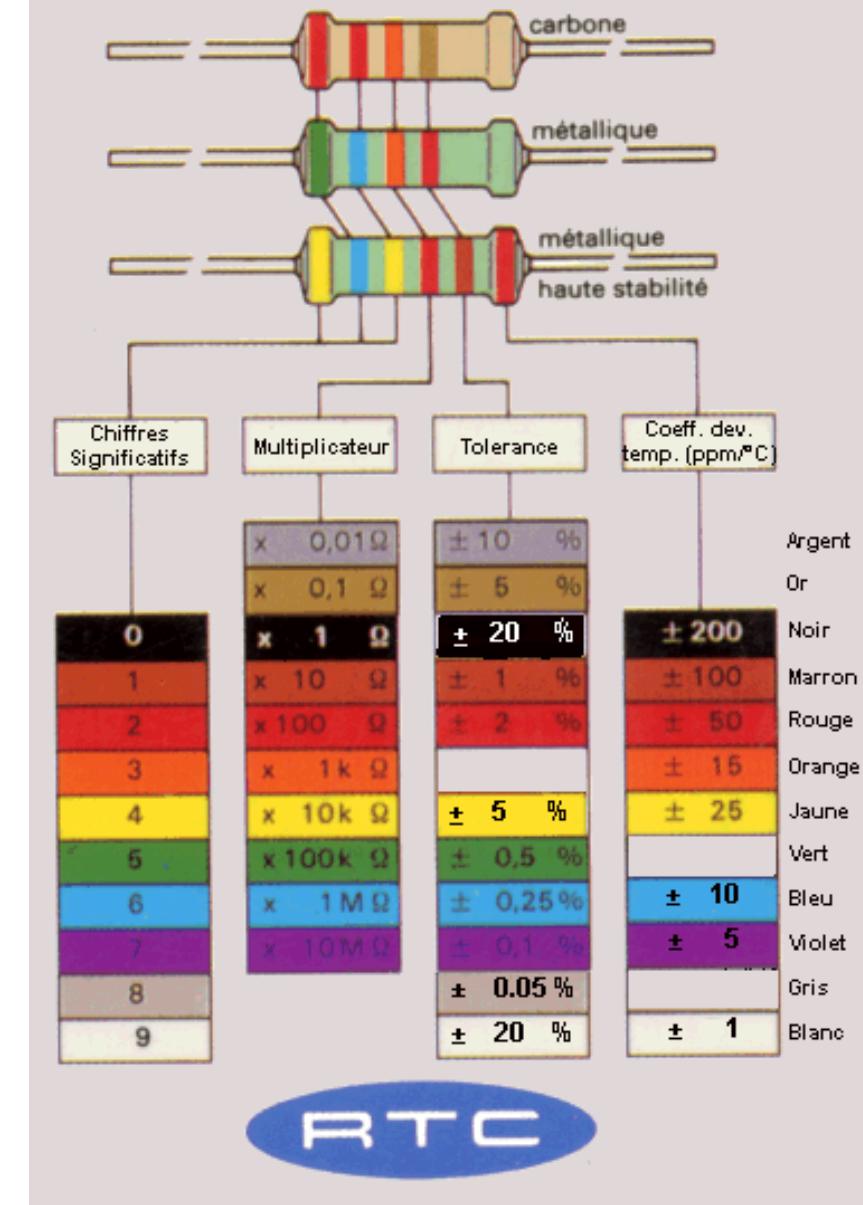
$$474 \leftrightarrow 470 k\Omega$$



Code de couleurs



RESISTANCES



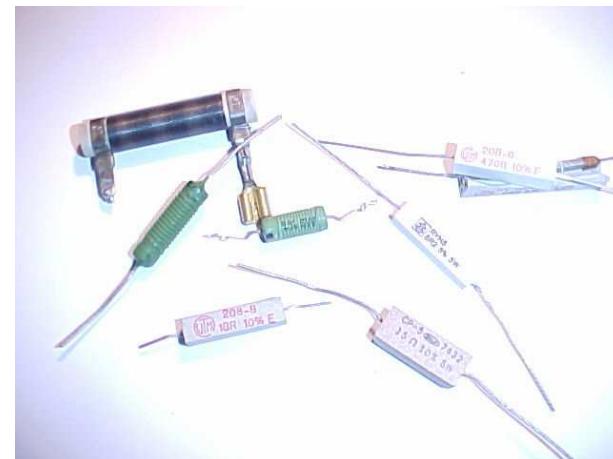
Résistances

Puissance maximale admissible

Les résistances à couche de carbone couramment utilisées en électronique ont une dissipation de 0,25W.



Pour des dissipations supérieures on utilise souvent des résistances bobinées.



Résistances à couche de carbone

Elles se reconnaissent par leur forme plus épaisse sur les bords et par leur laque beige/brun clair.

Principe de fabrication:

Le carbone est déposé en une fine couche autour d'un cylindre isolant. La valeur est ajustée par des stries visibles en grattant la surface laquée.

Avantages:

Relativement robustes mécaniquement, économiques et disponible en série 10%, 5% et 2%.

Résistances à couche métallique

Elles se reconnaissent par leur forme plus épaisse sur les bords.
Nous pouvons les rencontrer avec des laques de toutes sortes de couleurs: Vert clair, bleu pâle, vert foncé, jaune, etc.

Principe de fabrication:

Une fine couche de métal est déposé à la surface d'un support isolant.
Les stries visibles, en grattant la laque, permettent l'ajustement de la valeur ohmique.

Avantages:

Elles produisent beaucoup moins de bruit que les résistances au carbone. Bonne stabilité en température et dans le temps.
Ce sont les plus répandues aujourd'hui.

Résistances bobinées

Reconnaissables par leur taille, l'inscription, ou le fil enroulé souvent visible.

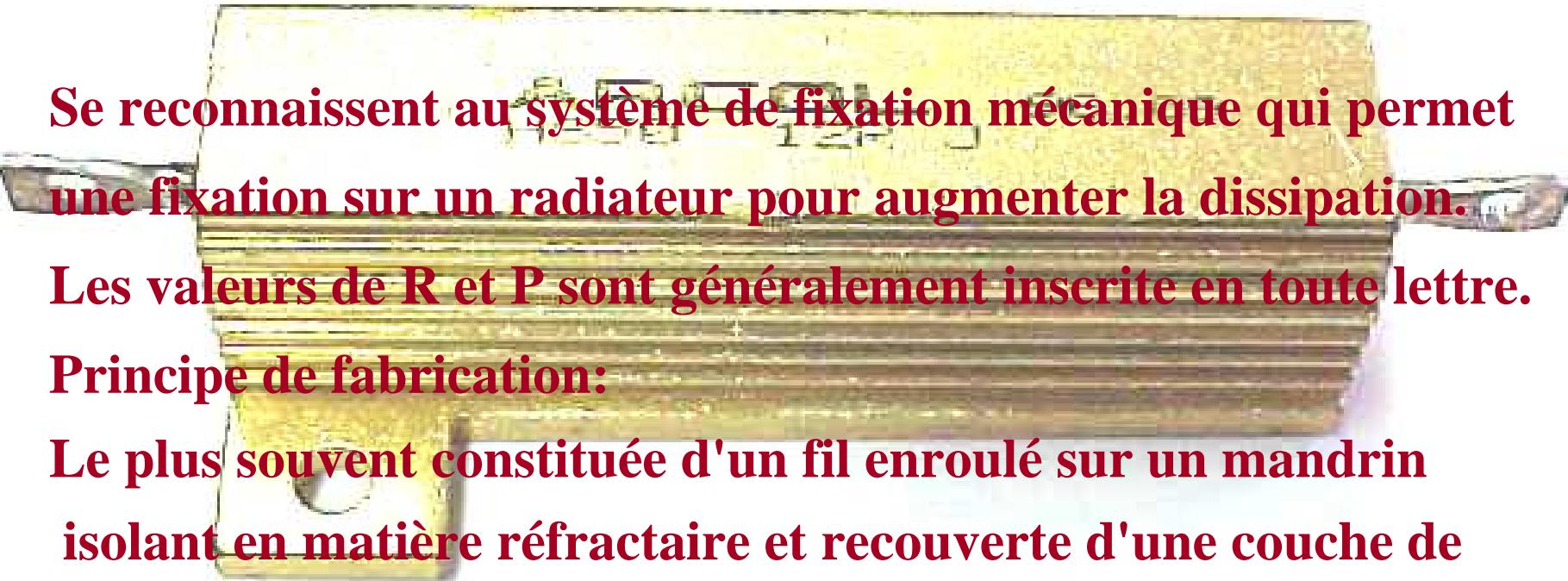
Principe de fabrication:

Le plus souvent constituée d'un fil enroulé sur un mandrin isolant en matière réfractaire et recouverte d'une couche de protection (vernis, émail, ciment ou verre).

Leur inductance propre en interdit l'usage en hautes fréquences.

Utilisables jusqu'à 10 watts environ.

Résistances bobinées de forte puissance



Se reconnaissent au système de fixation mécanique qui permet une fixation sur un radiateur pour augmenter la dissipation.

Les valeurs de R et P sont généralement inscrite en toute lettre.

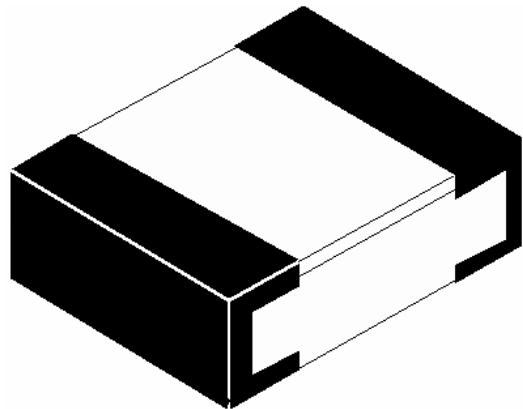
Principe de fabrication:

Le plus souvent constituée d'un fil enroulé sur un mandrin isolant en matière réfractaire et recouverte d'une couche de protection (vernis, émail, ciment ou verre).

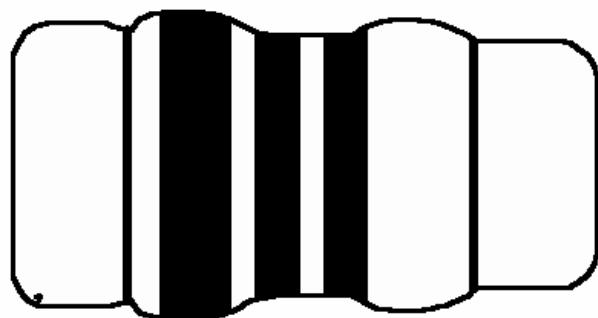
Boîtier adapté au refroidissement par conduction.

Utilisables de 5 à 50 watts environ.

Résistances CMS



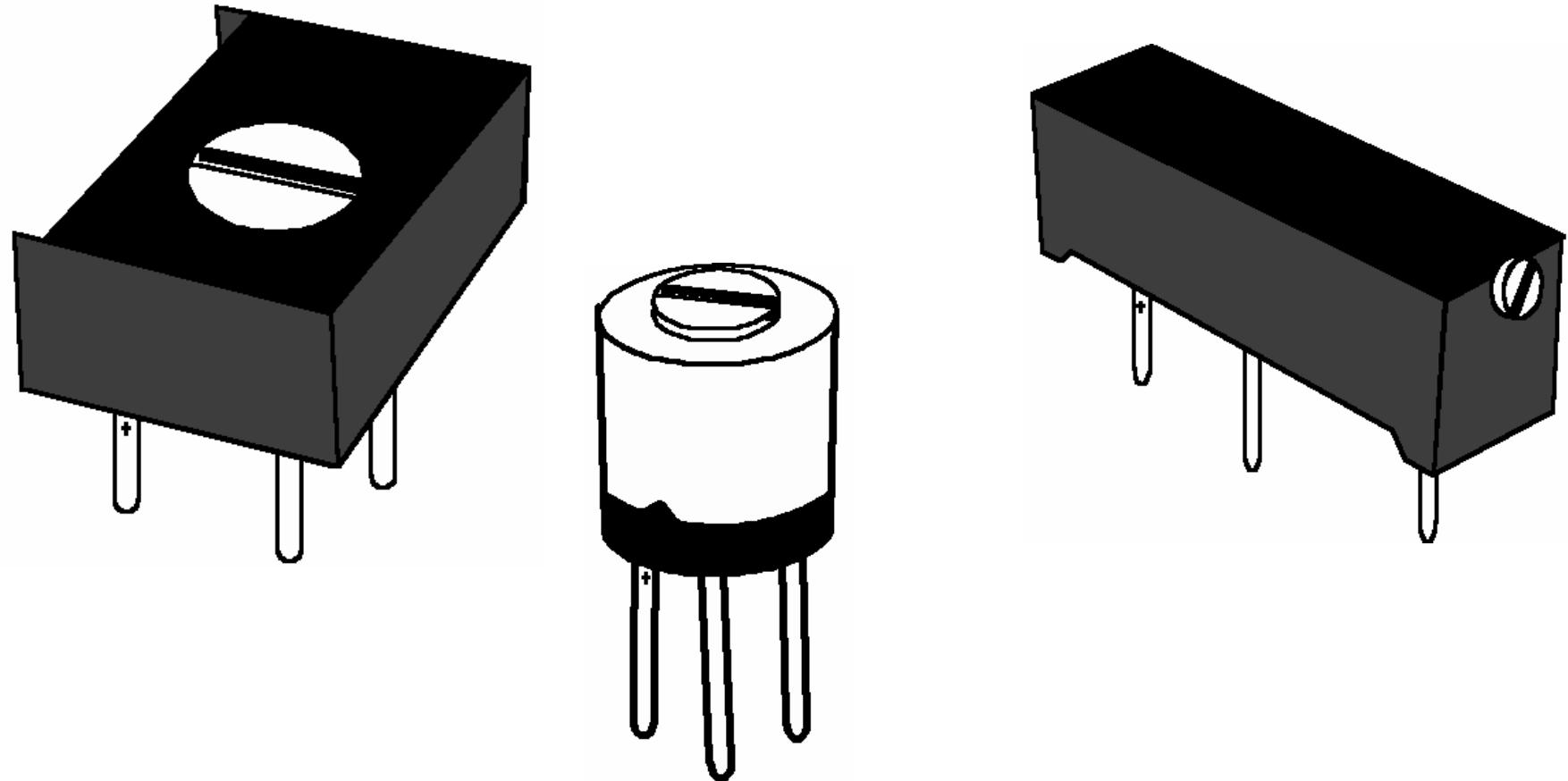
Format 1206:
3,2 x 1,6 x 1,3 mm



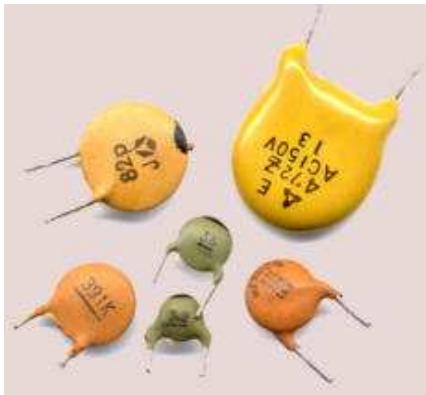
Melf



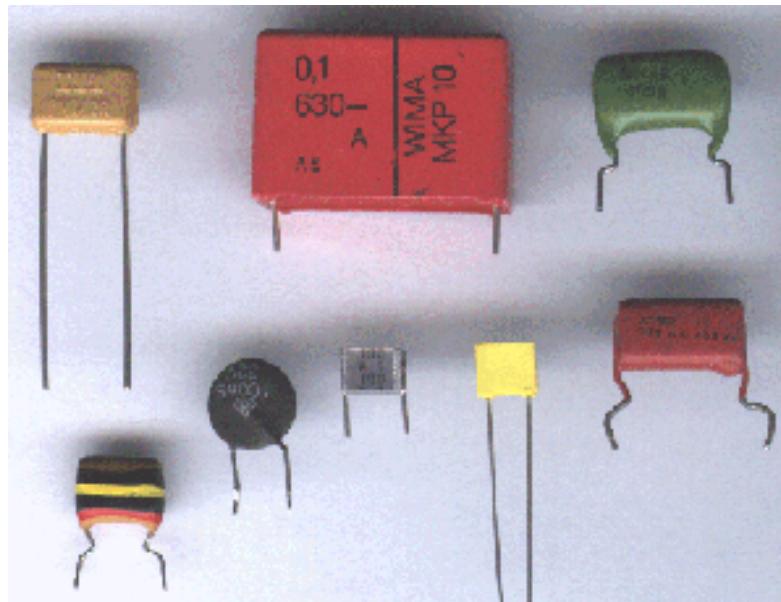
Potentiomètres



Condensateurs



- Fonction
- Principales caractéristiques
- Technologies
- symboles



Fonction d'un condensateur

- Réservoir d'énergie
- Filtrage
- Liaison
- Découplage
- Accord

Les caractéristiques essentielles d'un condensateur dépendent de sa technologie.

Le choix d'un type de condensateur se fait en fonction de son utilisation

Caractéristiques d 'un condensateur

- Capacité (en pF, nF ou μ F)
- Tension de service (en V)
- Tolérance (en %)
- Coefficient de température (en ppm/ $^{\circ}$ C)
- Polarité éventuelle (condensateurs polarisés)
- Type de diélectrique -pertes - ESR

Condensateurs électrolytiques

- Ce sont des condensateurs polarisés.
- Capacités de 1 à 100 000 μF
- Large tolérance $\pm 20\%$
- Tension de service de 10V à 500V
- Sorties axiales ou radiales
- Utilisation: Filtrage, liaison

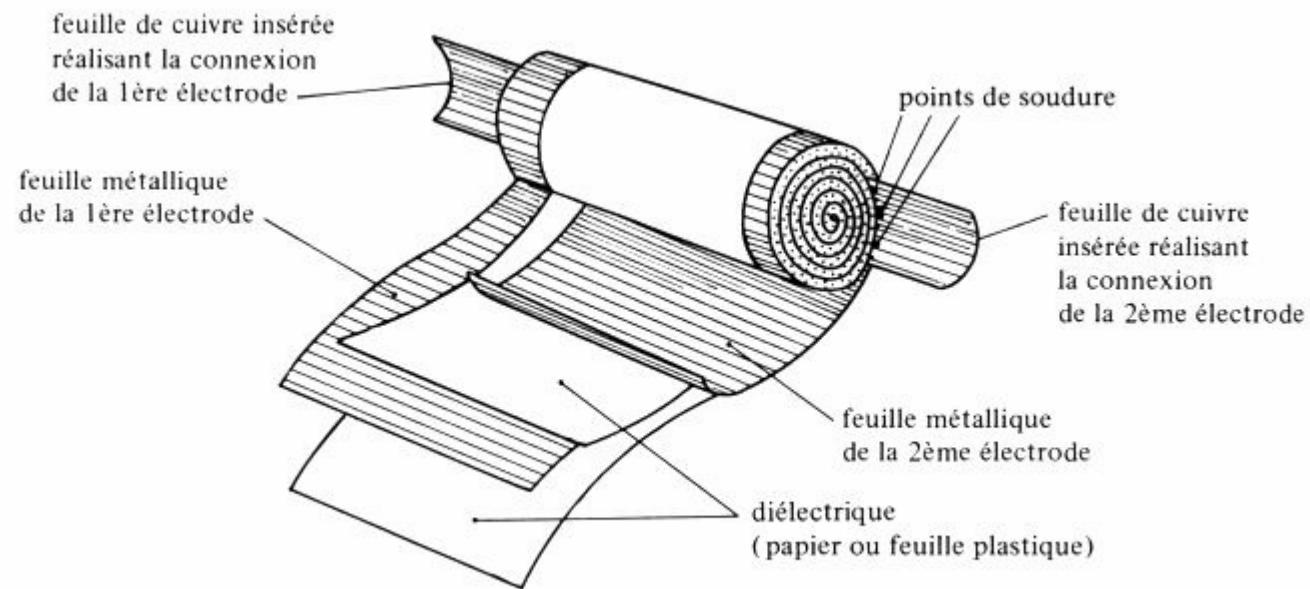
Condensateurs au tantale

- Polarisés
- Capacités de 0,1 à 100 μF
- Tension de service 6,3 à 50V
- Forte capacité par unité de volume



Condensateurs film plastique

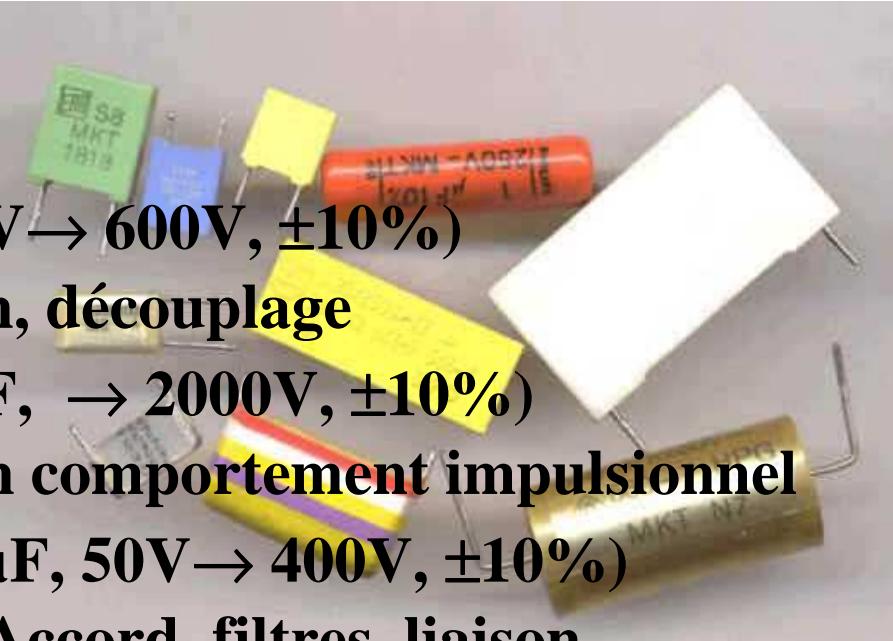
- Non polarisés
- Capacités de 1nF à $10\ \mu\text{F}$ environ
- Réalisés par bobinage d'un film plastique entre deux films métalliques



Condensateurs film plastique

Diélectrique:

- **Polyester** ($1nF \rightarrow 10\mu F$, $50V \rightarrow 600V$, $\pm 10\%$)
Les plus courants. Liaison, découplage
- **Polypropylène** ($1nF \rightarrow 1\mu F$, $\rightarrow 2000V$, $\pm 10\%$)
Stables et précis. Très bon comportement impulsional
- **Polycarbonate** ($1nF \rightarrow 10\mu F$, $50V \rightarrow 400V$, $\pm 10\%$)
Stables, précis et fiables. Accord, filtres, liaison
- **Polystyrène** ($1nF \rightarrow 100nF$, $50V \rightarrow 250V$, $\pm 5\%$)
Très stables en température. Accord, liaison



Condensateurs céramique

- Non polarisés
- Capacité de 0,5 pF à 0,5µF
- Tension de service de 50V à 200V
- Disque céramique métallisé ou multicouche
- Caractéristiques très dépendantes du type de diélectrique

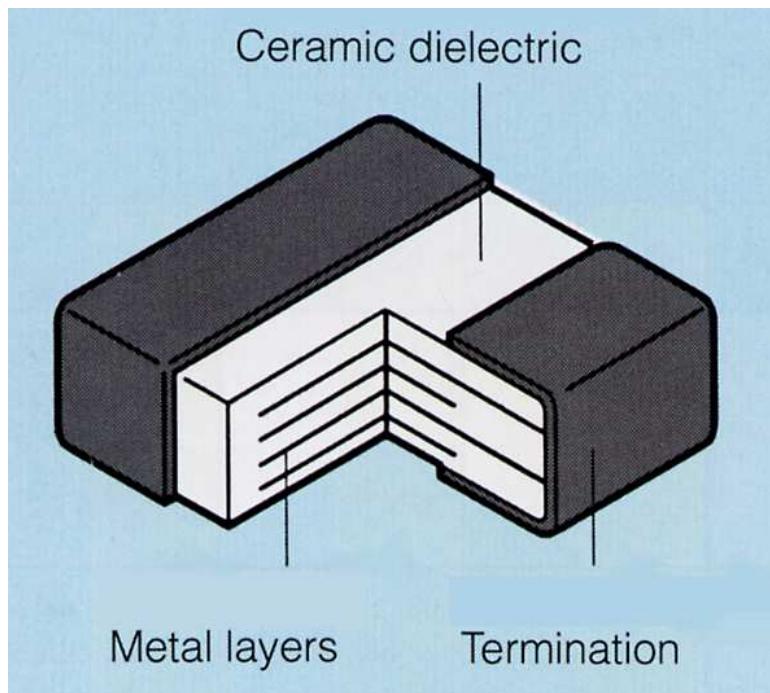


Condensateurs céramique

Types de diélectrique

- **COG** Très stable, précis, coefficient de température défini (NPO → 0) Capacité: 0,5 pF à 10 nF. Accord, liaison, filtre...
- **X7R** Stable, varie avec la température ($\pm 15\%$ entre -55°C et +125°C) Capacité: 100pF à 1μF. Liaison, découplage...
- **Z5U** Instable dans le temps et en température. Capacité de 1nF à 4,7μF. Découplage, filtrage...

Condensateurs céramique multicouche



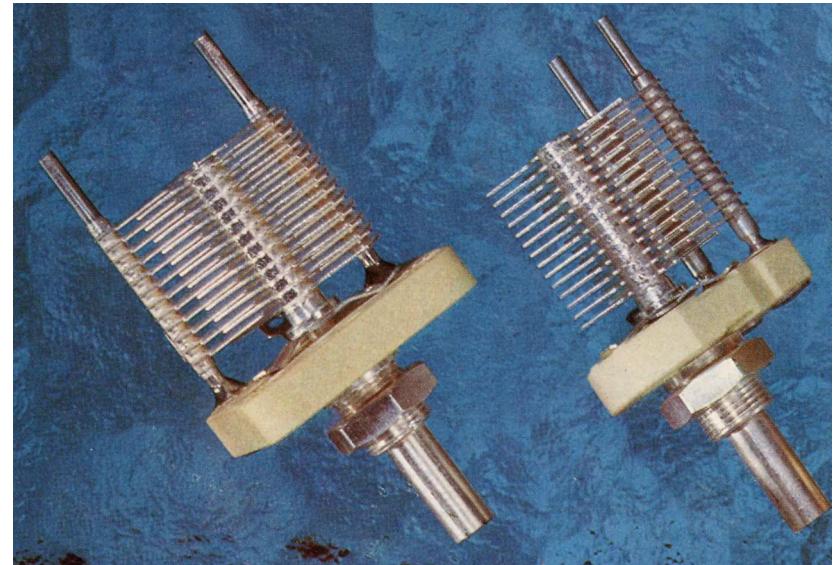
Condensateurs céramique CMS



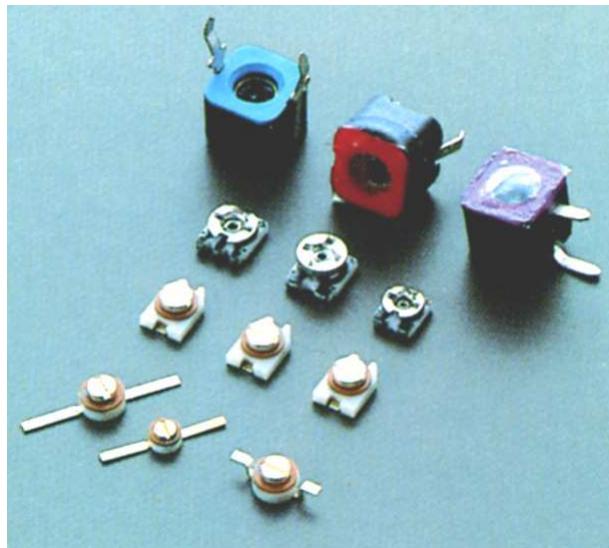
Condensateurs ajustables



Plastique

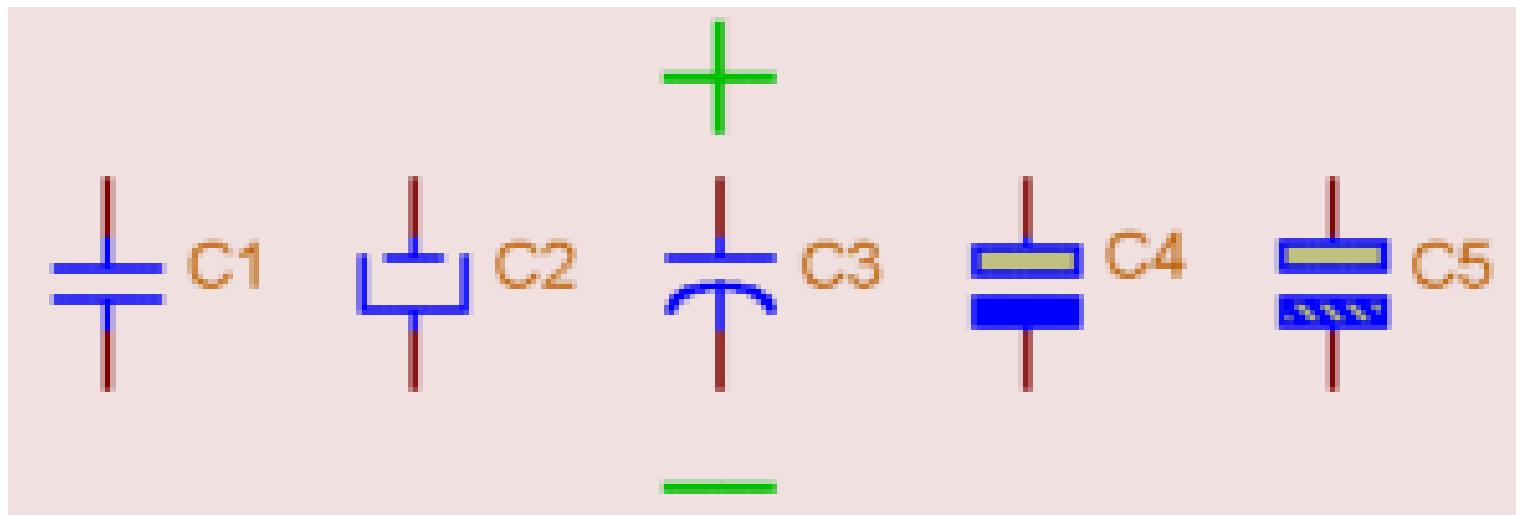


à air



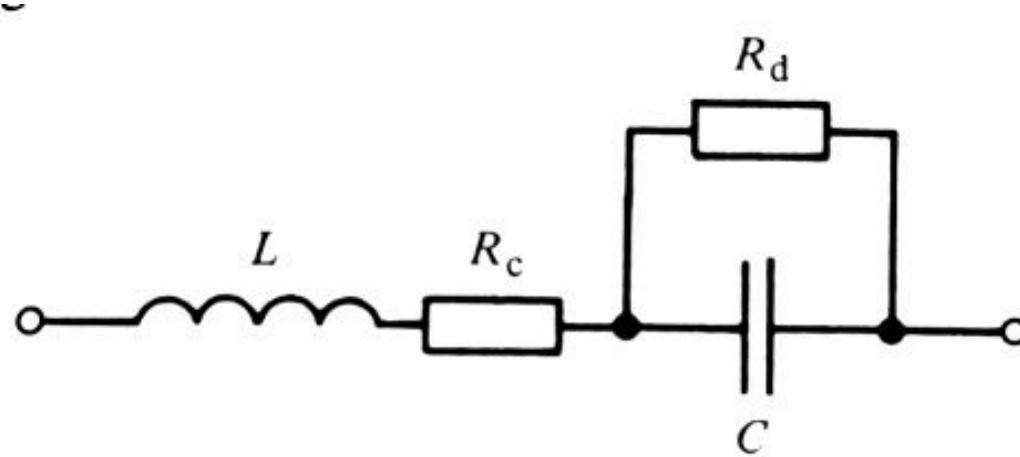
Céramique

Représentation des condensateurs



C2 et C3 sont des représentations américaines
(à éviter)

Schéma équivalent



- C Capacité supposée idéale**
- L Inductance série équivalente (ESL)**
- R_c Résistance série équivalente (ESR)**
- R_d Résistance représentant les pertes diélectriques**

Pertes diélectriques

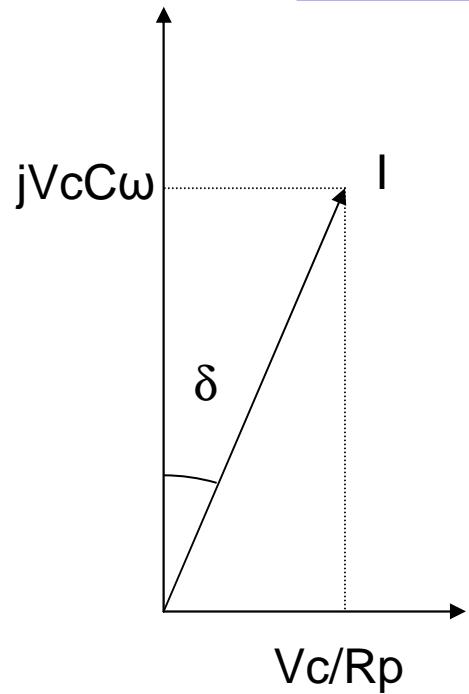
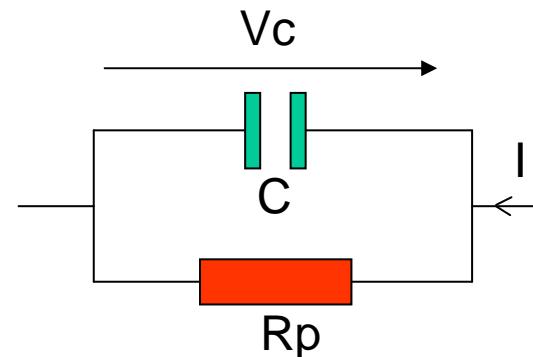
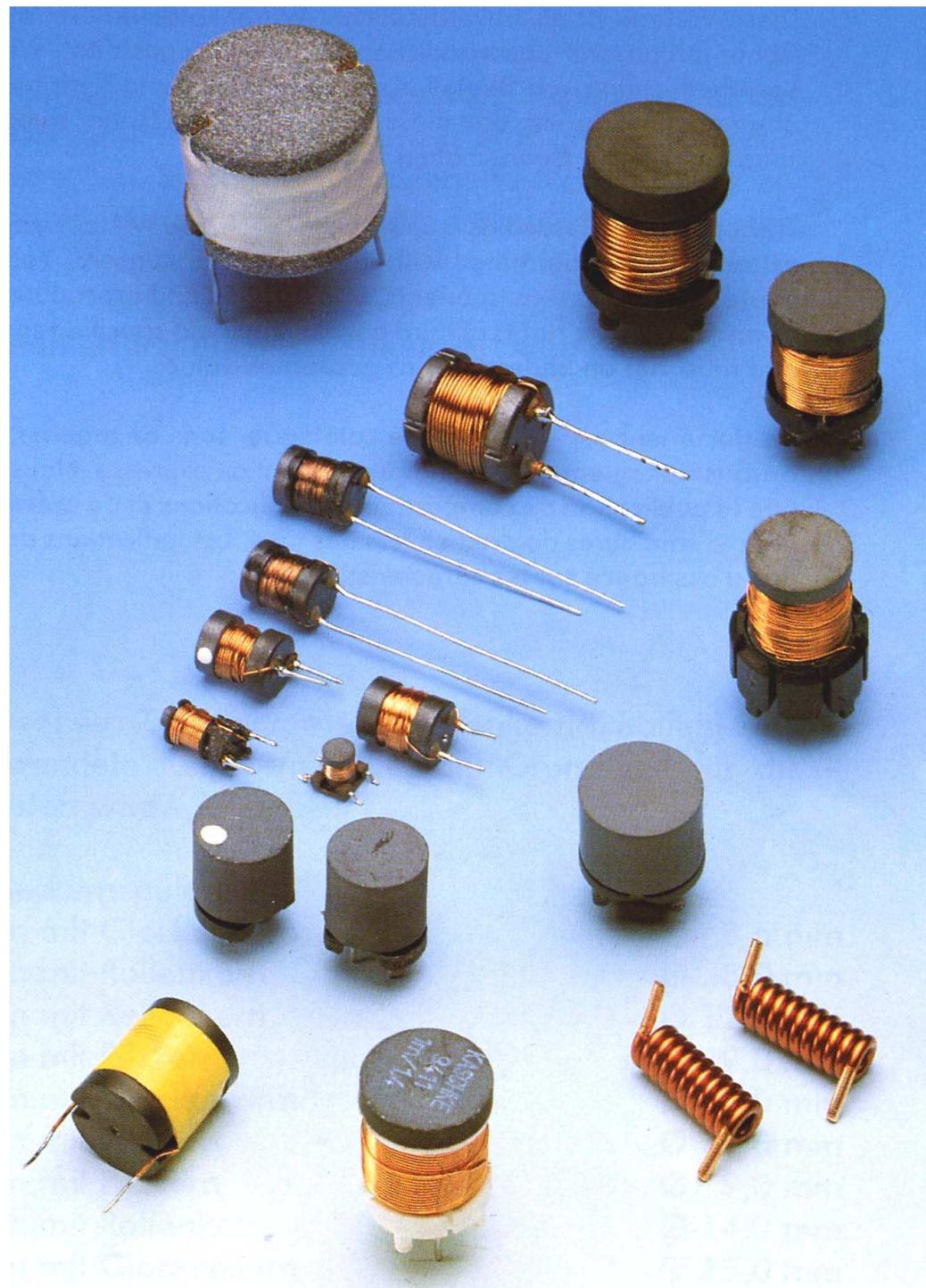


Diagramme des courants

Dans un condensateur réel le courant et la tension ne sont pas parfaitement en quadrature. L'angle δ est appelé *angle de perte*. On caractérise les pertes diélectriques par $\text{Tg } \delta = 1/R_p C \omega$. R_p représente la résistance de pertes



Modèle de condensateur



Inductances

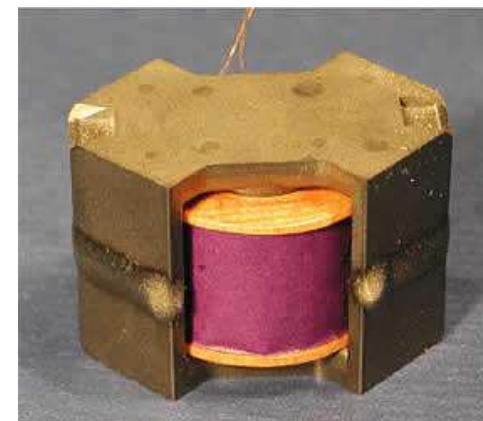


circuits magnétiques

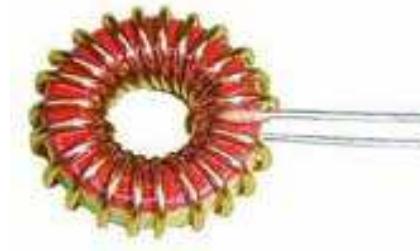
- L'utilisation d'un noyau magnétique permet de réduire le nombre de spires pour une inductance donnée, donc les pertes par effet Joule.



Bâtonnet



Pot ferrite



Tore

Pertes dans les circuits magnétiques

- Il existe deux types de pertes dans les noyaux magnétiques:
- Les pertes par *hystérésis* proportionnelles à la fréquence
- Les pertes par *courants de Foucault* proportionnelles au carré de la fréquence

Caractéristiques d'une inductance

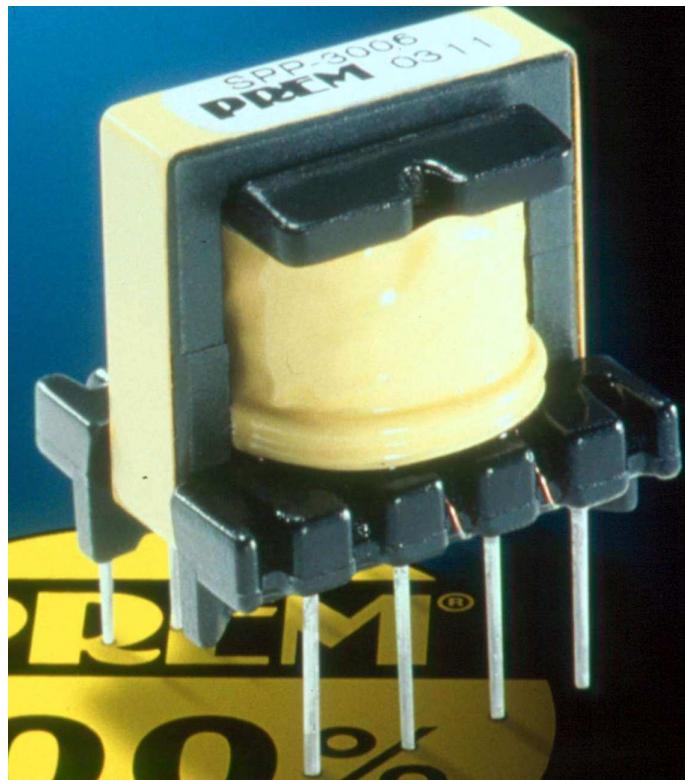
Valeur de l 'inductance (μH , nH , mH , H)

Résistance ohmique

Courant admissible (saturation magnétique)

En HF, coefficient de surtension ($Q = L\omega/R$)

Transformateurs



Composants actifs

Composants semi-conducteurs

Essentiellement Silicium

Deux grandes catégories:

- Composants discrets (diodes, transistors, FET,...)**
- Circuits intégrés (réalisent une fonction bien définie)**
(Amplificateur opérationnel, fonction logiques combinatoires ou séquentielles, microcontrôleur,...)

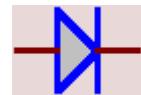
Semi-conducteurs discrets

- Diodes de signal
- Redresseurs (diodes de puissance)
- Transistors de signaux
bipolaires, JFET
- Transistors de puissance
Bipolaires, MOSFET
- Transistors RF

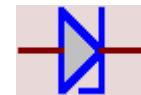
Diode

- Dipôle semi-conducteur (silicium) conducteur dans un sens et bloquant dans l'autre.
- Utilisation: signal, redressement, régulation (zener) écrêtage, etc.
- Principales caractéristiques:
 - Intensité admissible (I_f)
 - Tension inverse maximale (V_r)
 - Rapidité (temps de recouvrement inverse)

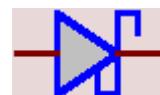
Représentation des diodes



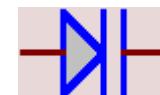
Diode



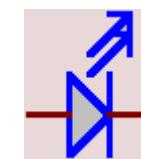
Diode Zener



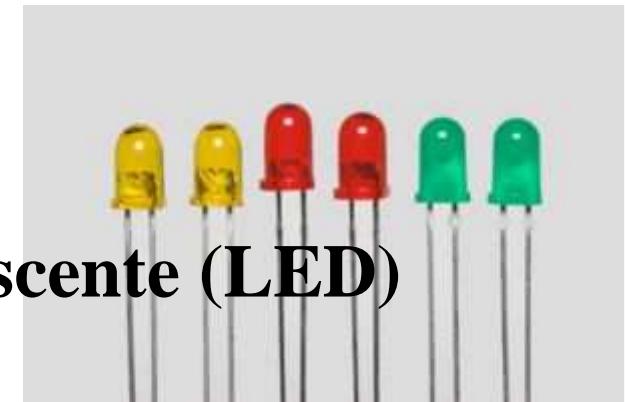
Diode Schottky



Diode Varicap



Diode électro luminescente (LED)



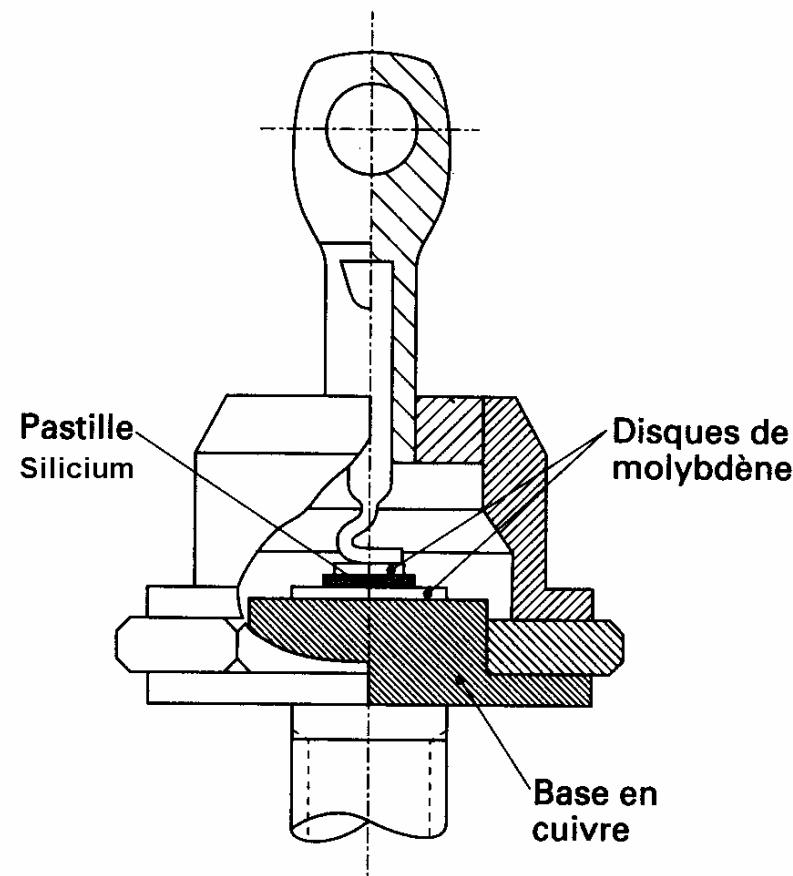
Diodes de signal

- Faible intensité (jusqu'à 100 mA)
- faible tension inverse (jusqu'à 100V)
- souvent très rapides ($t_{rr} < 10\text{ns}$)
- boîtier verre (ou CMS)
- L'anneau repère la cathode
- Marquage le plus souvent en clair

Diodes de redressement

- Forte intensité (1 à plusieurs centaines d 'Ampères)
- Tension inverse élevée (jusqu'à 1500V)
- Normales ou rapides
- Boîtiers plastique à fils: 1 à 5 A
- Boîtiers sur radiateur: 5 à 100A
- Utilisation: redressement, diode de roue libre

Redresseur de puissance



Transistor bipolaire

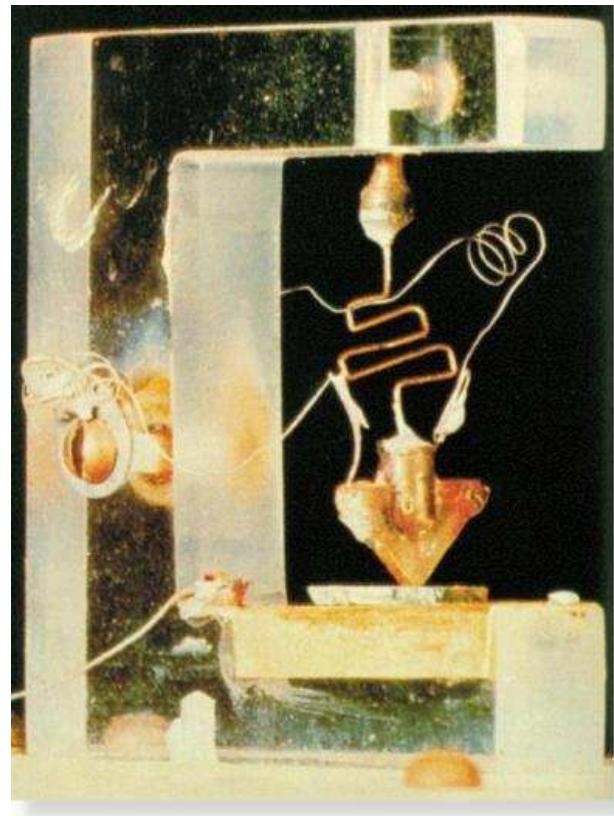
Composant semi-conducteur utilisé :

- soit pour amplifier un signal
- soit comme interrupteur

NPN et PNP

Signal ou Puissance

Le premier transistor: 1947



L'effet transistor a été découvert en 1947 par les américains John Bardeen, William Shockley et Walter Brattain.

Transistors à effet de champ

Composant semi-conducteur utilisé :

- soit pour amplifier un signal
- soit comme interrupteur

Deux familles: JFET et MOSFET

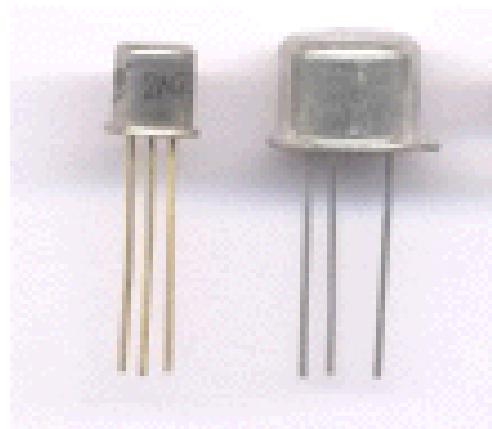
Deux types: Canal N et Canal P

MOSFET de Puissance

Représentation des transistors

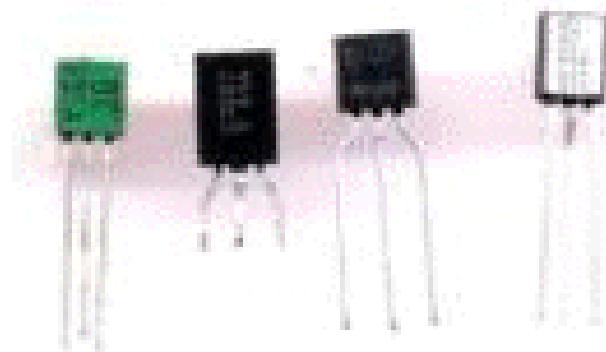
Transistors de signaux

Boîtiers métalliques

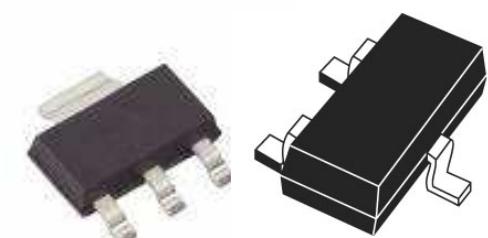


TO18 TO39

Boîtiers plastique



TO92

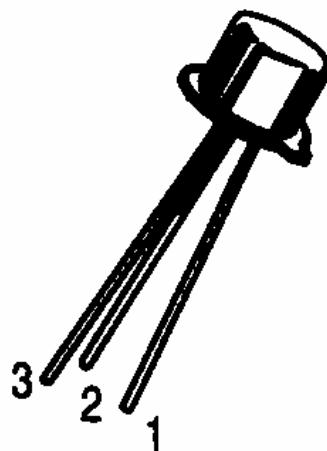


SOT23-3 (WX)

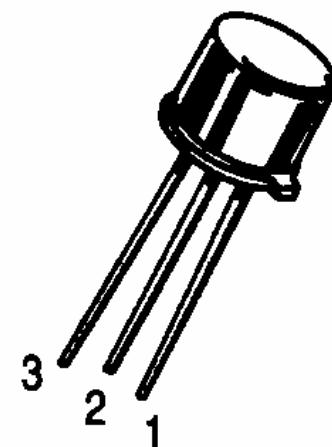
CMS

Transistors de signaux

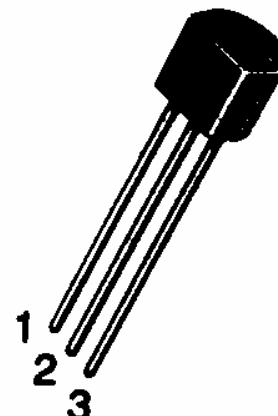
Brochage



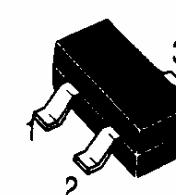
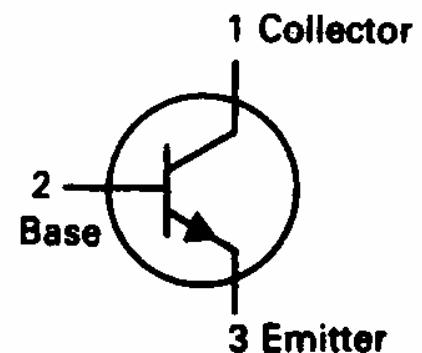
TO18



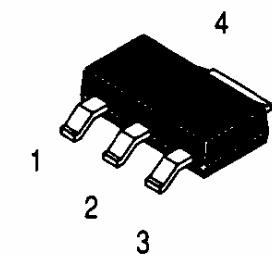
TO39



TO92



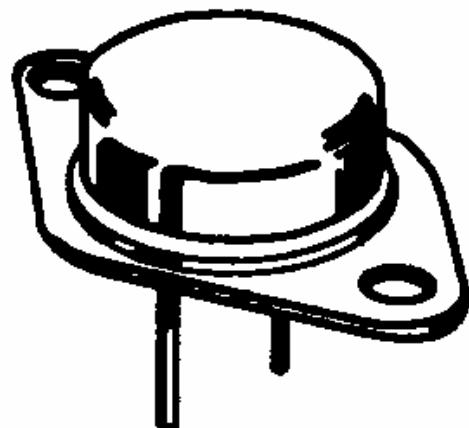
SOT23



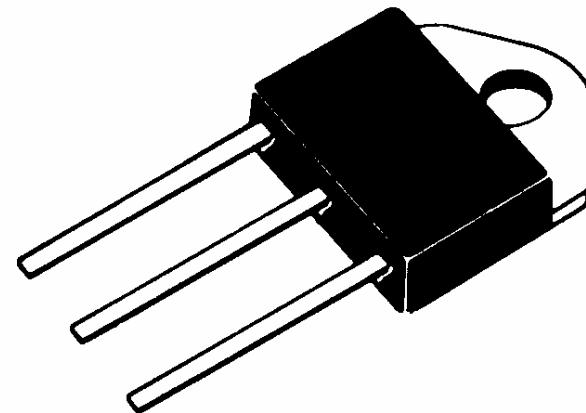
SOT223

L'ergot marque l'émetteur

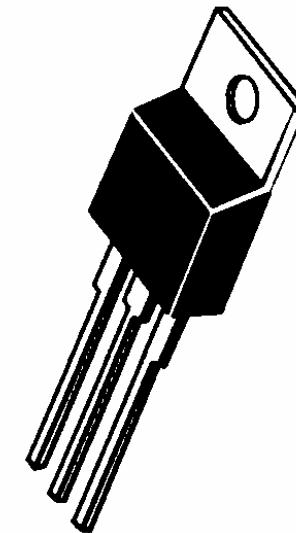
Transistors de Puissance



TO3



TOP3



TO220AB

Circuits intégrés

Deux grands types: Analogiques ou numériques

Il existe des circuits mixtes (analogiques et numériques)

Plusieurs familles technologiques dans chaque type:

- Analogique: bipolaire, Bifet, ...
- Numérique: TTL, CMOS, NMOS,...

Plusieurs types de boîtier pour chaque circuit

Circuits intégrés linéaires

- Amplificateurs opérationnels
- Comparateurs
- Régulateurs

Amplificateur opérationnel

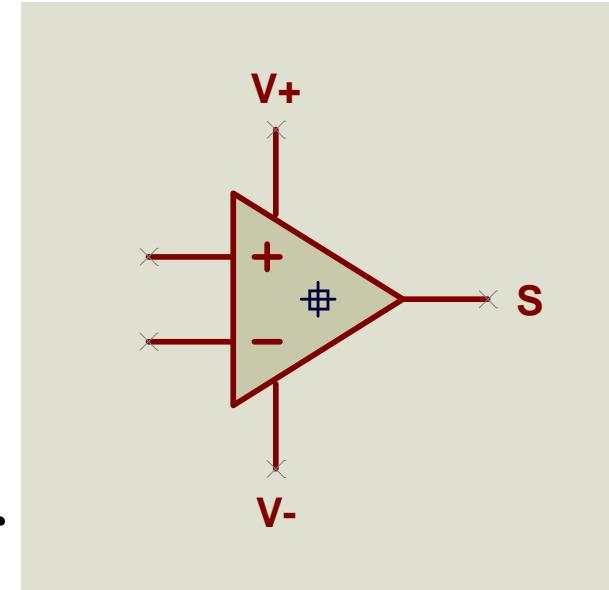
Composant à 5 broches

Alimentation simple ou symétrique

Un, deux ou quatre amplis par boîtier

**Grand nombre de circuits aux performances différentes:
usage courant, rapides, de précision, rail to rail, faible bruit,
faible consommation, de puissance, etc.**

Le choix d'un circuit se fait en fonction de l'application.



Circuits d'alimentation (Power supply)

Régulateurs de tension:

Fixe, variable, faible chute, positif, négatif

Références de tension ou de courant

Circuits de commande pour alimentation à découpage

Convertisseurs Continu-Continu

Superviseurs

Circuits logiques

Logique positive:

$+V \rightarrow 1$
 $0V \rightarrow 0$

Plusieurs familles (TTL, CMOS, ...)

Les circuits d 'une même famille s'interfacent directement

Très grand choix de fonctions:

NAND, NOR, Bascules, Compteurs, Multiplexeurs, ...

Circuits logiques TTL

Famille de circuits logiques à transistors bipolaires

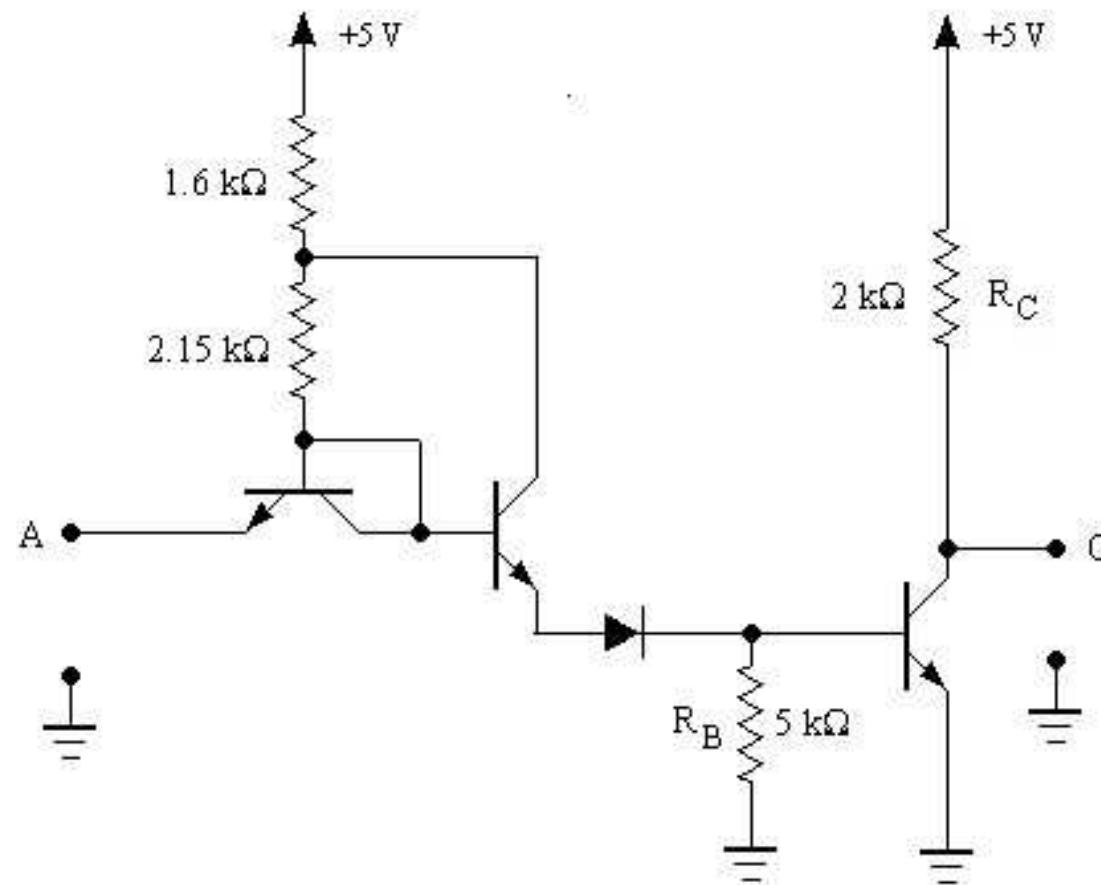
Très grand choix de fonctions

Alimentation 5V

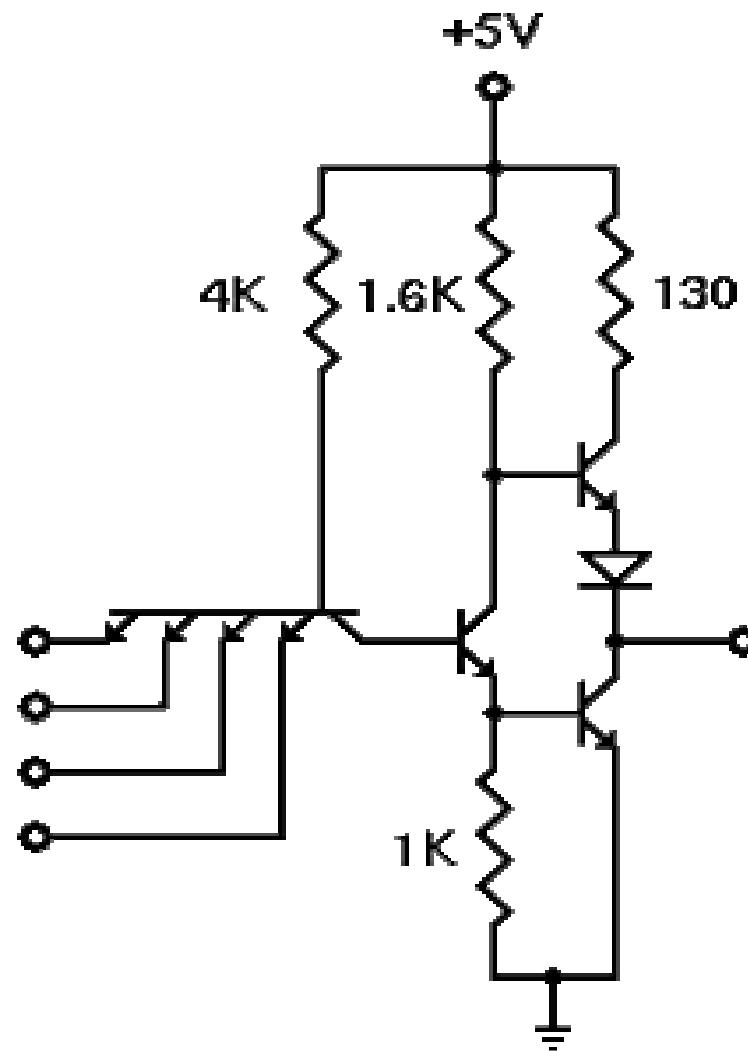
Rapide, consommation élevée

Plusieurs variantes: S, LS, ALS, F, ...

Inverseur TTL

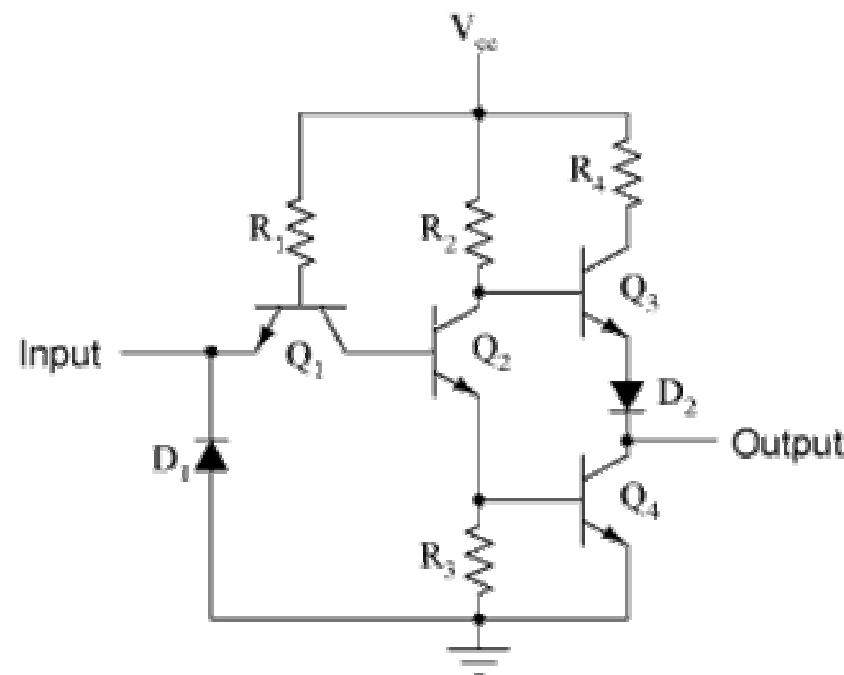


NAND TTL



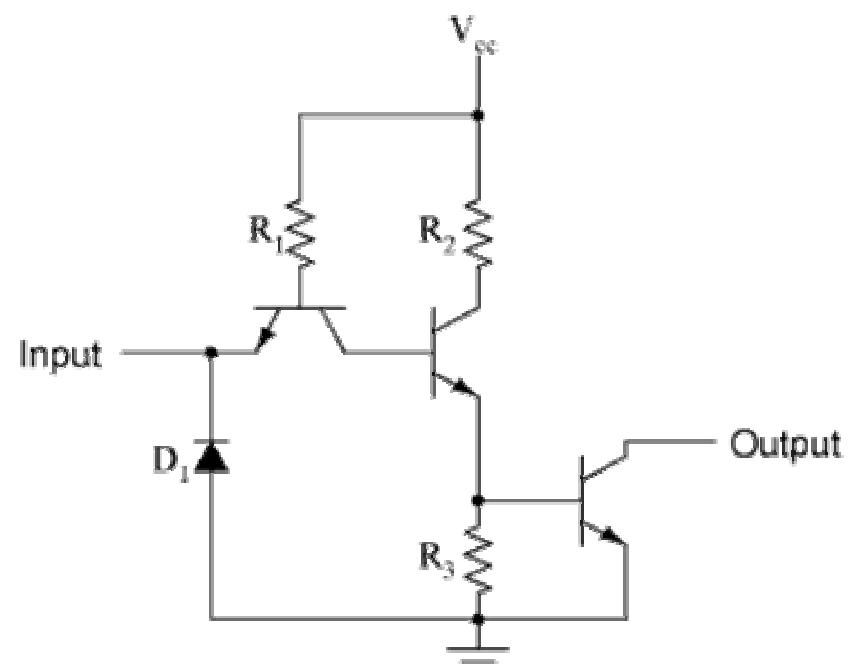
Totem pôle vs open collector

Practical inverter (NOT) circuit



Sortie totem pole

Inverter circuit with open-collector output



Sortie collecteur ouvert

Circuits logiques CMOS

**Famille de circuits logiques à MOSFET complémentaires
(combinaison canal N et canal P)**

Très grand choix de fonctions

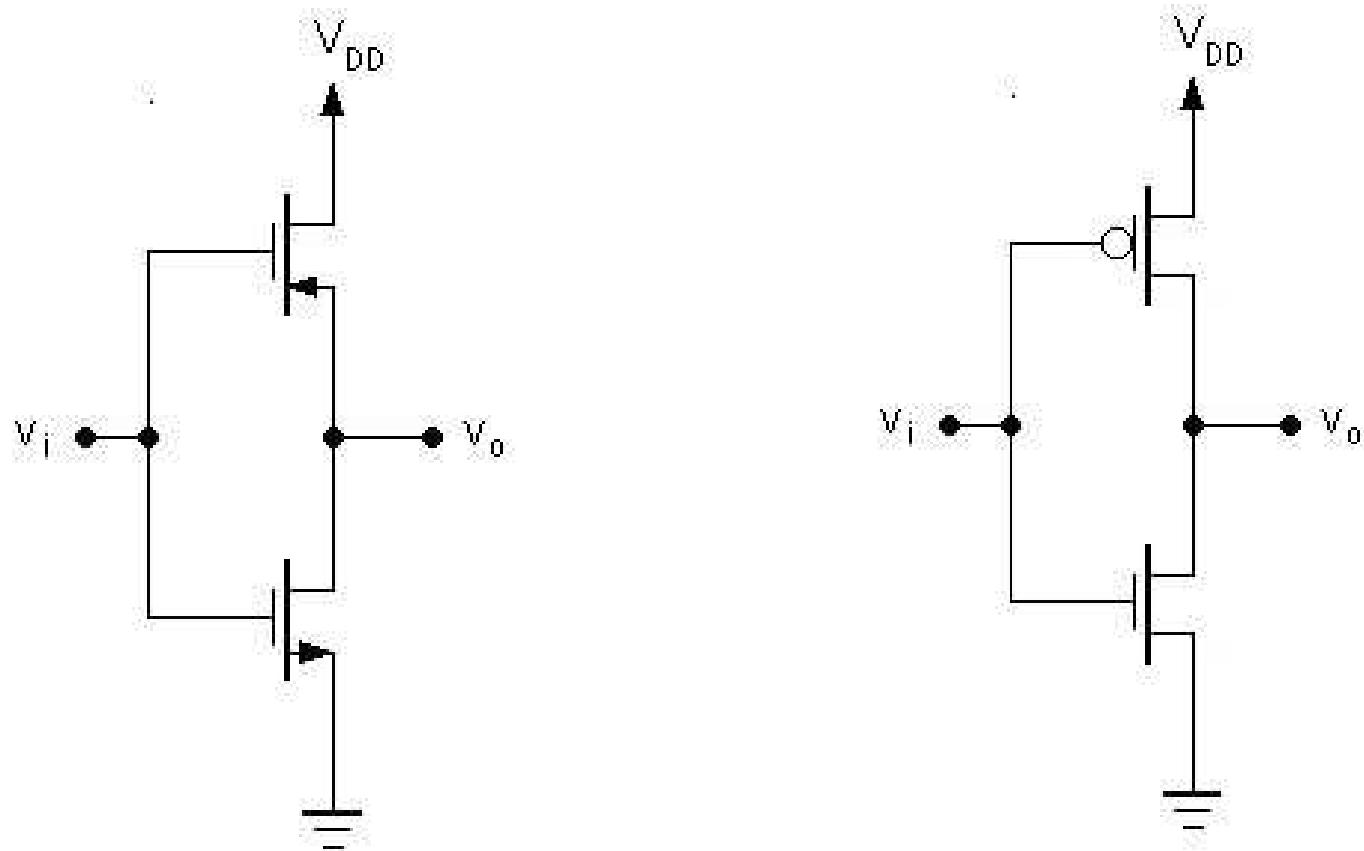
Alimentation 5V (jusqu 'à 15V pour la série 4000)

Faible consommation

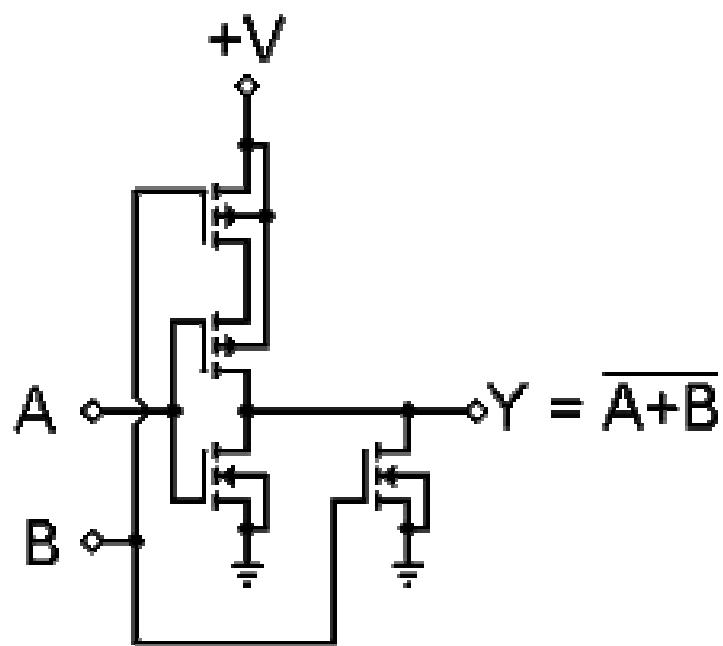
Plusieurs variantes: 4000, HC, HCT

Plus ou moins compatible avec la famille TTL.

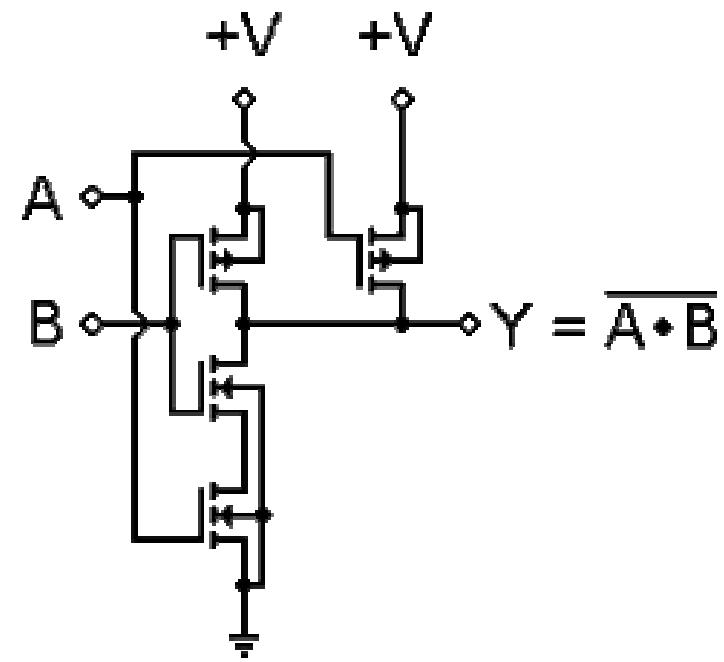
Inverseur CMOS



Portes CMOS



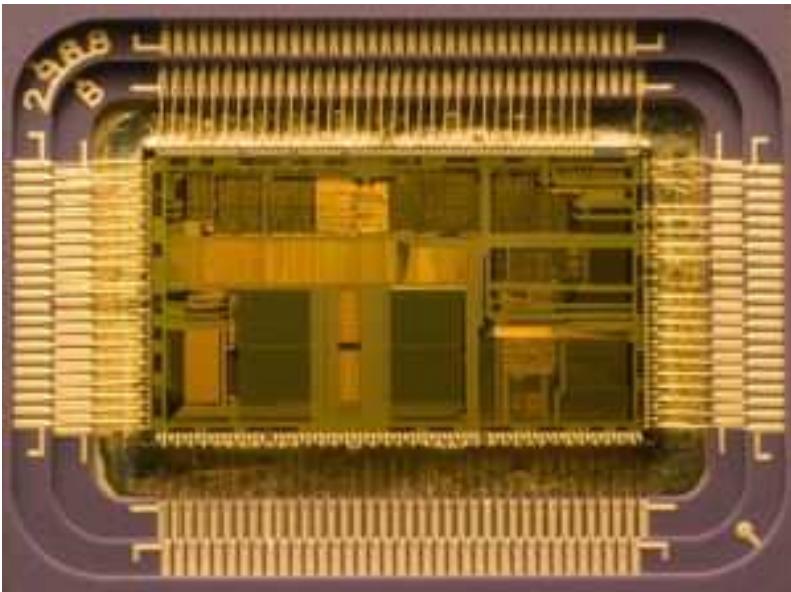
NOR



NAND

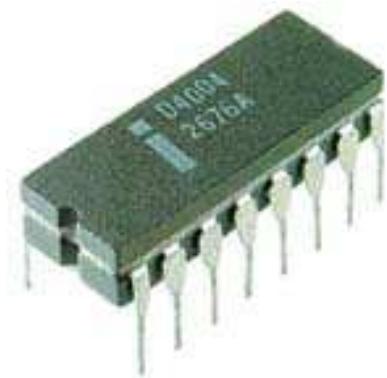
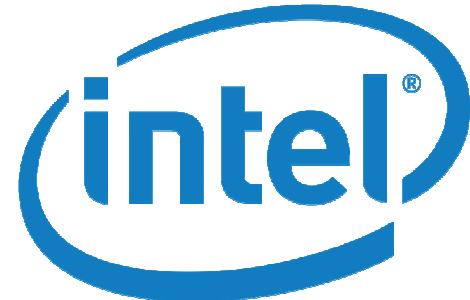
Circuits programmables

**Microprocesseurs
Microcontrôleurs
PAL, FPGA
DSP**



Intel 80486DX2

Microprocesseurs



1971: 2300 transistors



1979: 17 000 transistors



1997: 27 millions de transistors



2001: 42 millions de transistors ⁶⁰

Techniques d'assemblage

Circuit imprimé:

simple face, double face , multicouches

Trous métallisés, vias

Standard FR4, 1,6 ou 0,8 mm, 35µm de cuivre

Composants à fils ou CMS

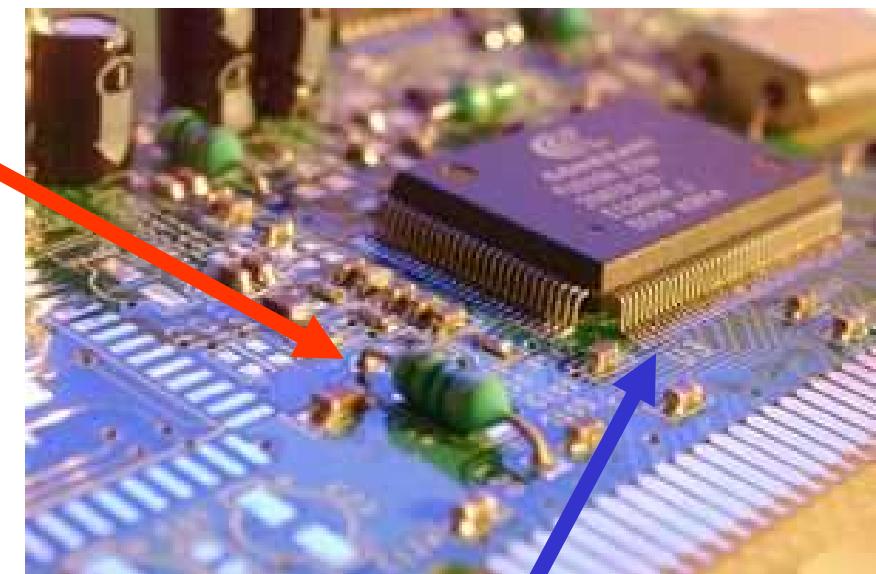
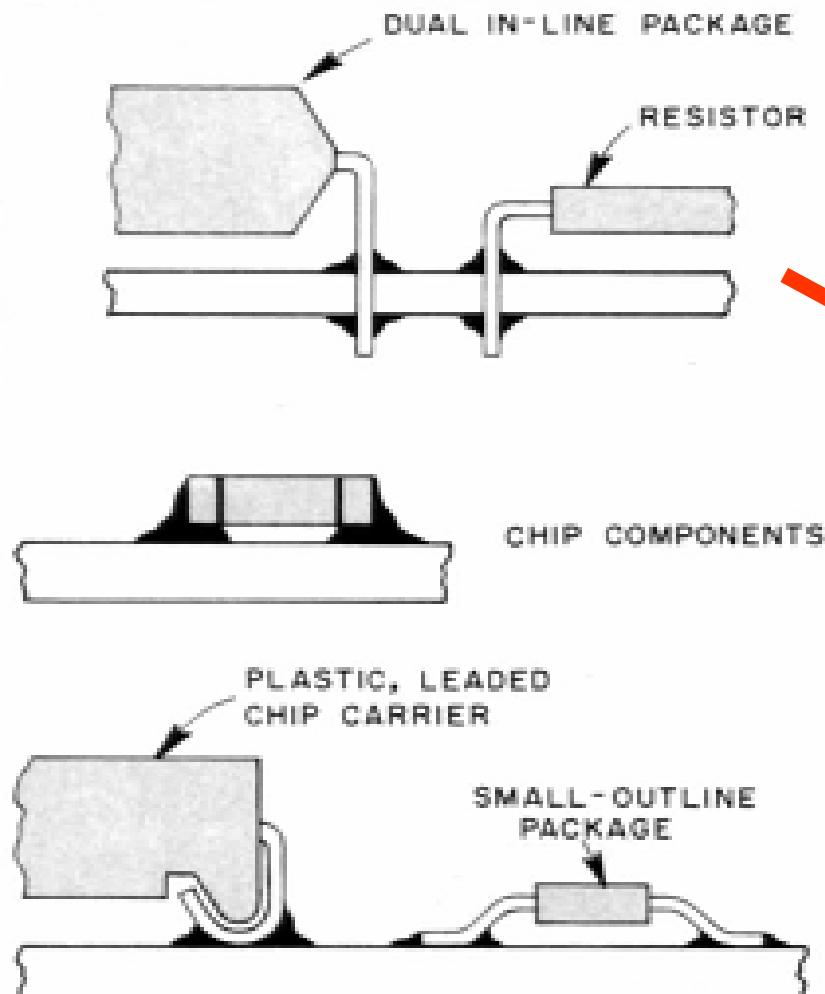
Brasage à l 'étain-plomb, soudure à la vague

Circuits hybrides

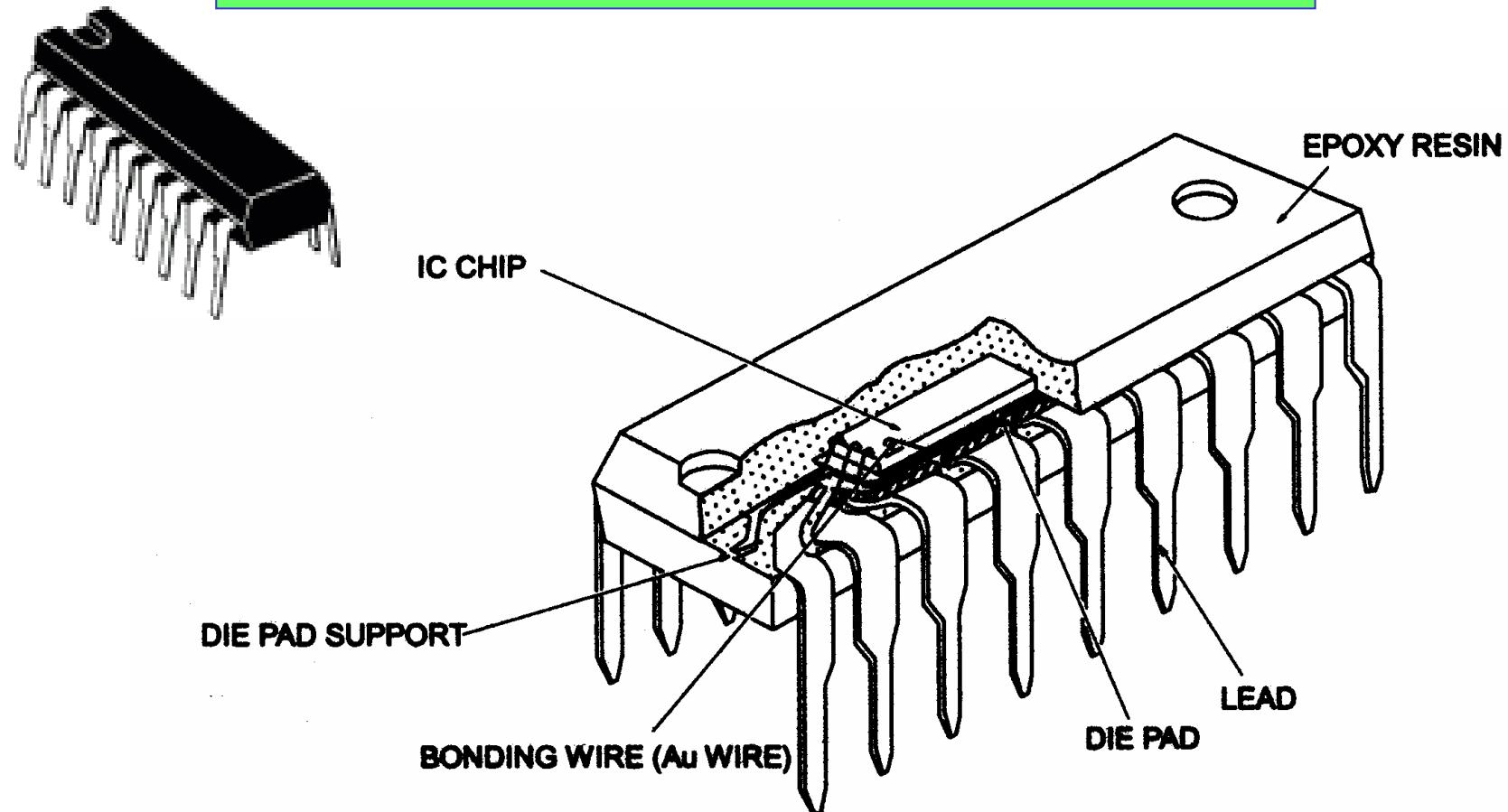
Wrapping

Réservé au prototypage

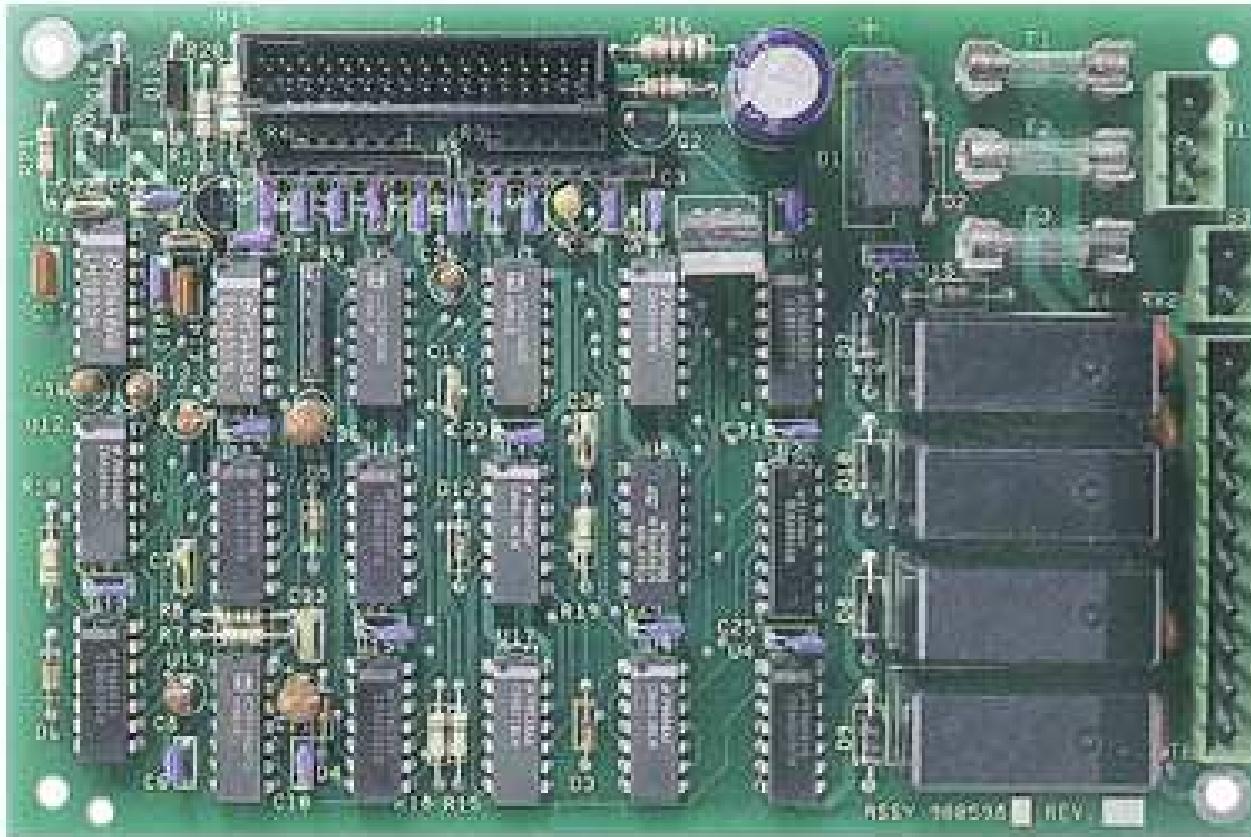
Composants à fils ou montés en surface



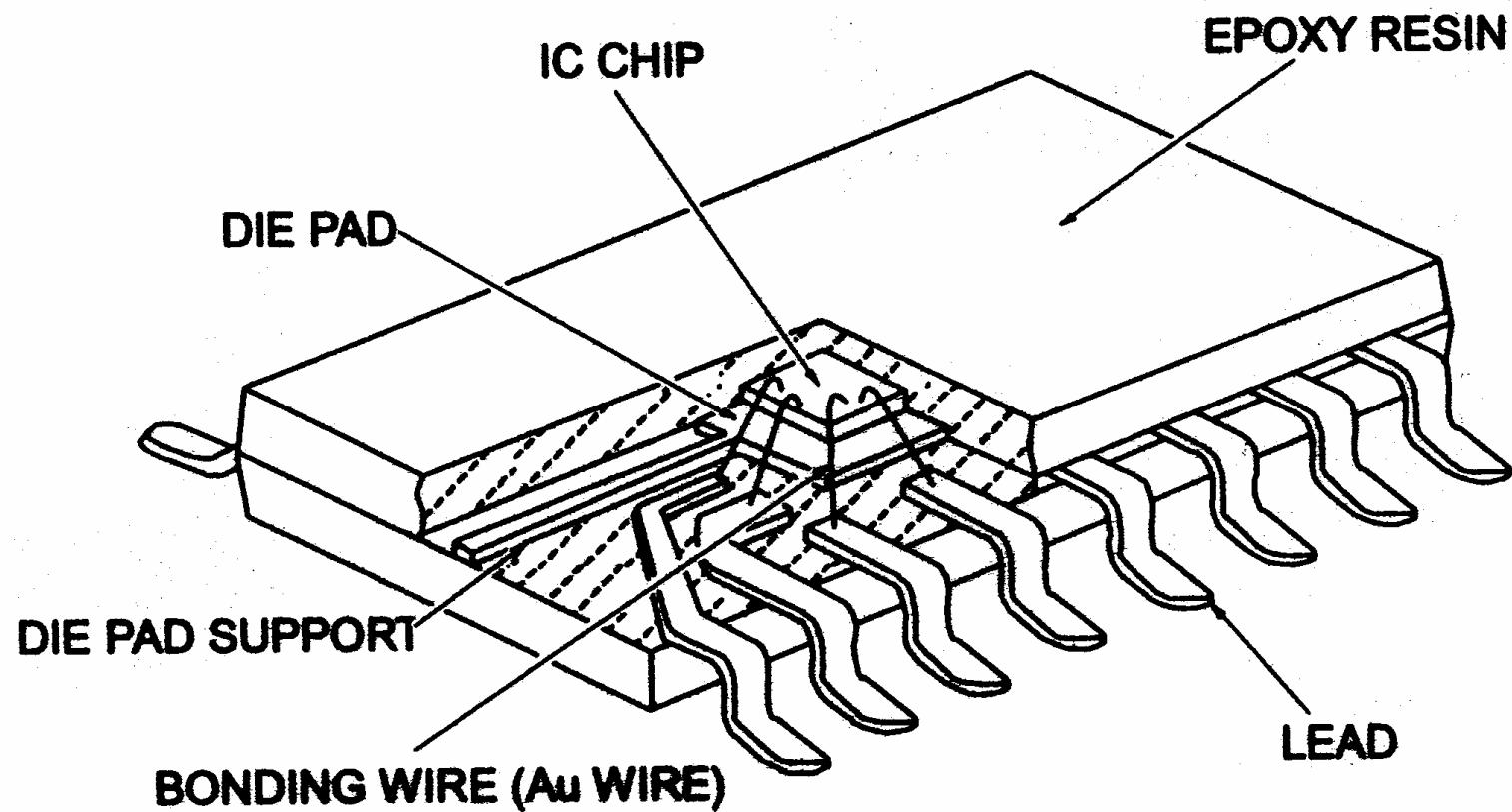
Boîtier DIL (ou DIP)



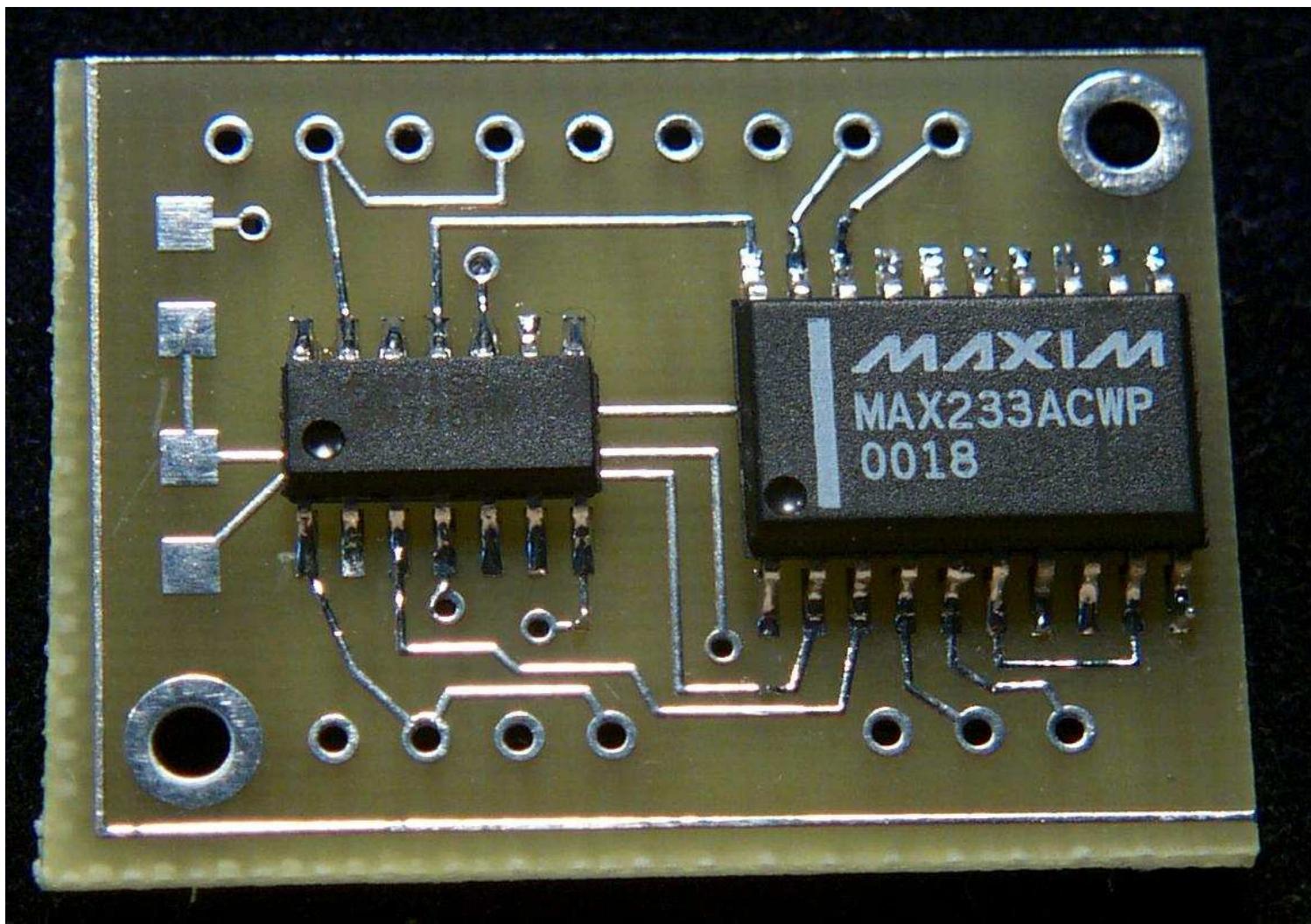
Circuit traditionnel



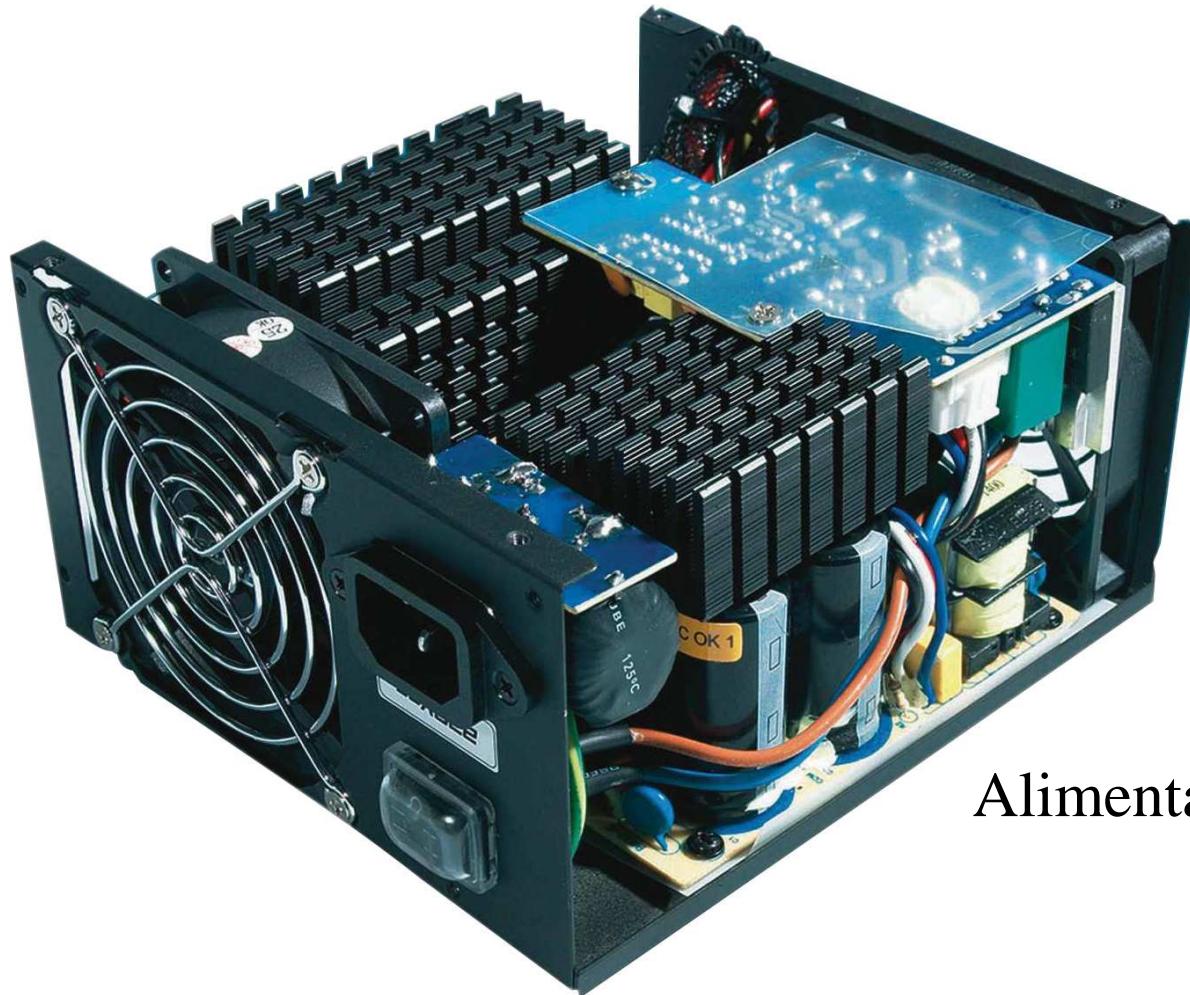
Boîtier SOP (small outline package)



Boîtiers CMS



Packaging



Alimentation de PC

Conception et réalisation d 'un circuit imprimé

CONCEPTION

Saisie de schéma

Etablissement de la netlist (liste des équivalences)

Placement-Routage → film (typon) et fichier de perçage

REALISATION

Découpe d 'une plaque présensibilisée

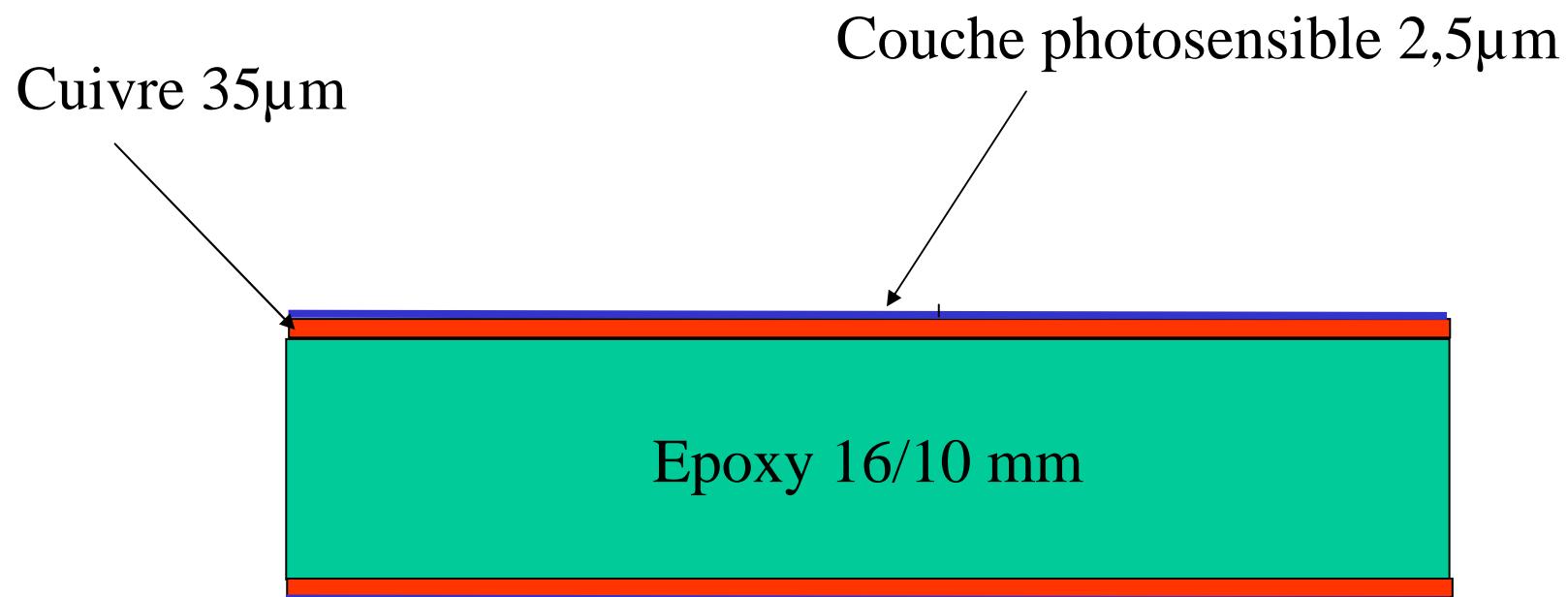
Perçage des trous

Masquage, insolation, révélation

Gravure chimique (perchlorure de fer)

Etamage des pistes

Epoxy standard FR4



$$\varepsilon_r = 4,6 \dots 4,8$$

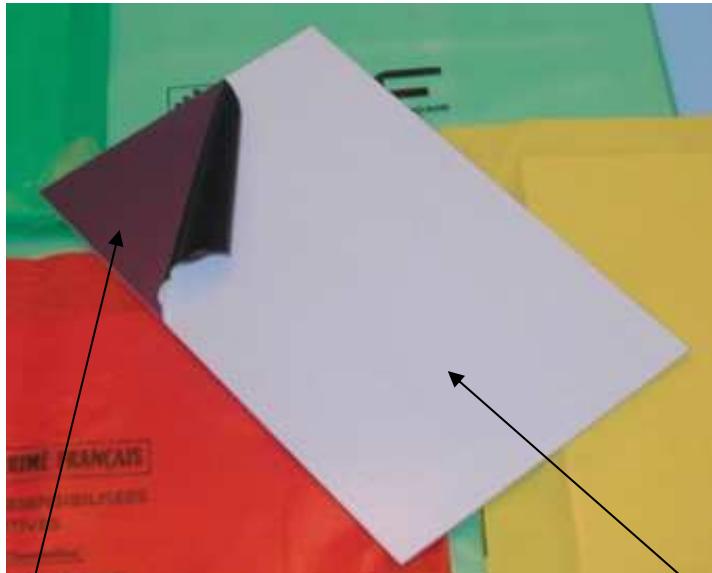
INTENSITE ADMISSIBLE DANS UNE PISTE DE CIRCUIT IMPRIME $\Delta T=20^\circ\text{C}$

LARGEUR DU CONDUCTEUR en mm

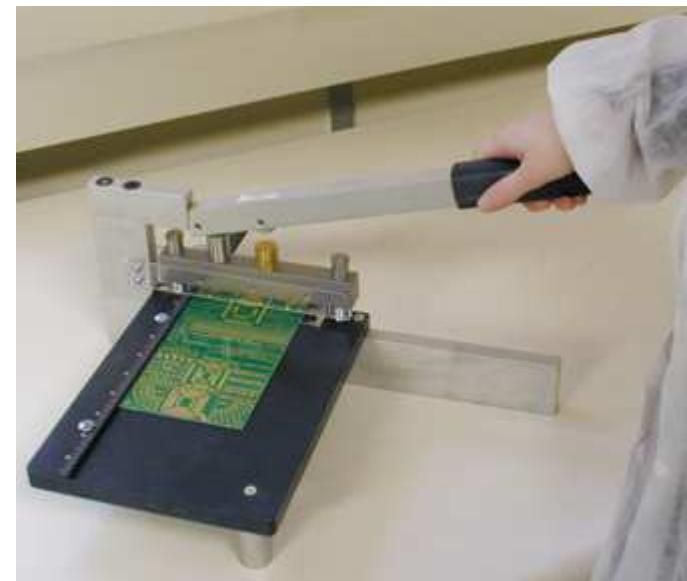
0,4	0,72	1,14	1,8	2,5	3,5	4,5	5,0	7,1	mm
1,3	2,7	3,8	5,2	6,8	8,3	9,7	11,2	13,0	A

**INTENSITÉ ADMISSIBLE EN AMPERES
POUR UNE ELEVATION DE TEMPERATURE DE 20°C**

Découpe des plaques



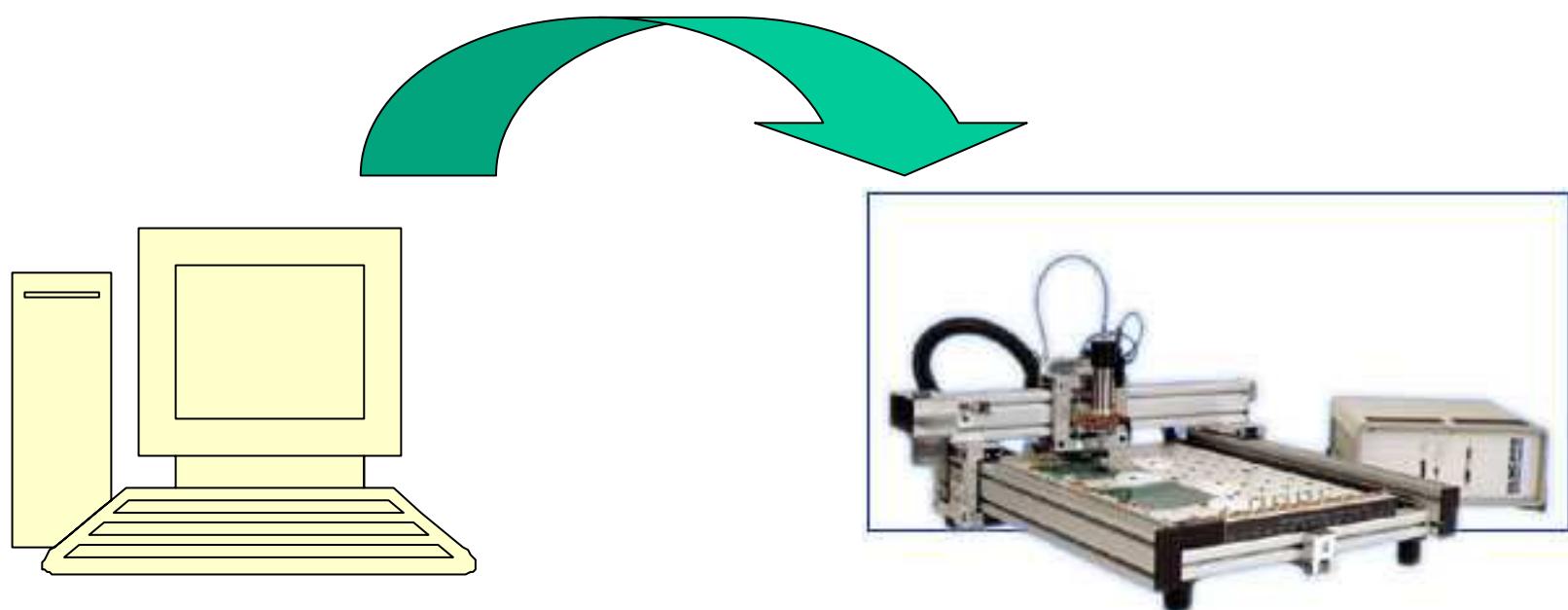
Plaque pré-sensibilisée



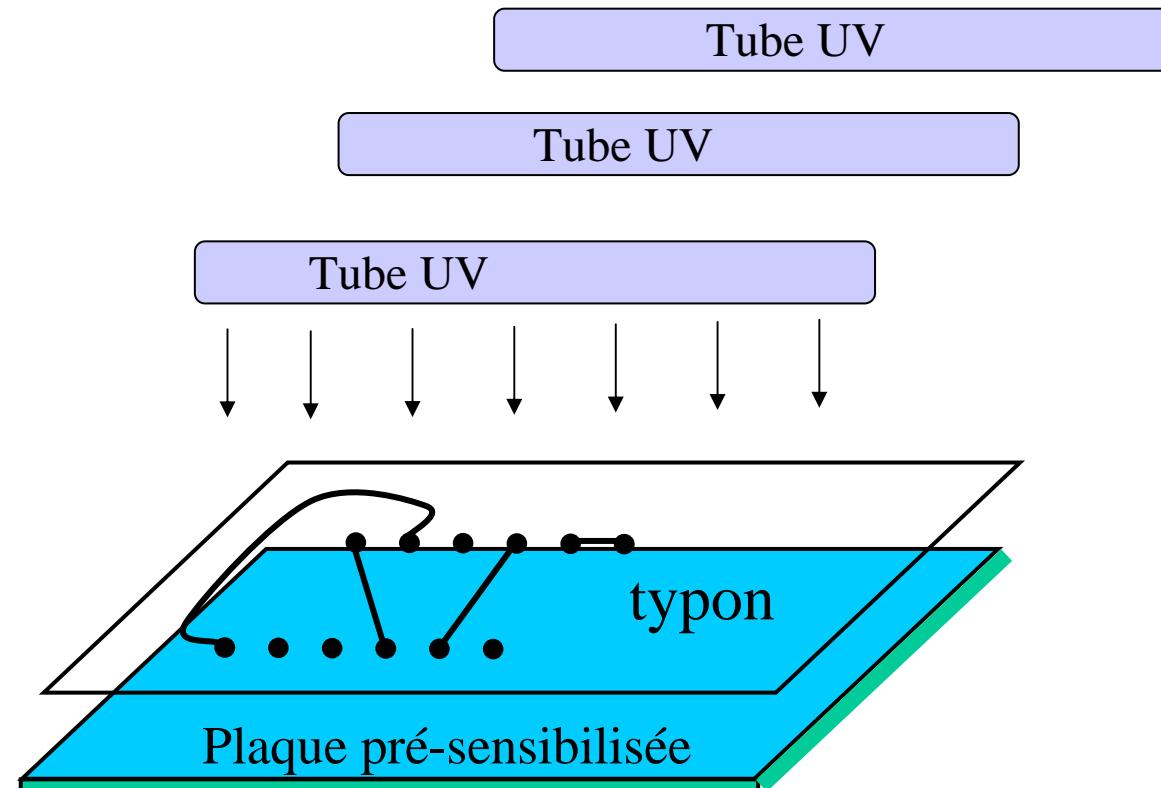
Film de protection

Perçage du circuit

Fichier GERBER

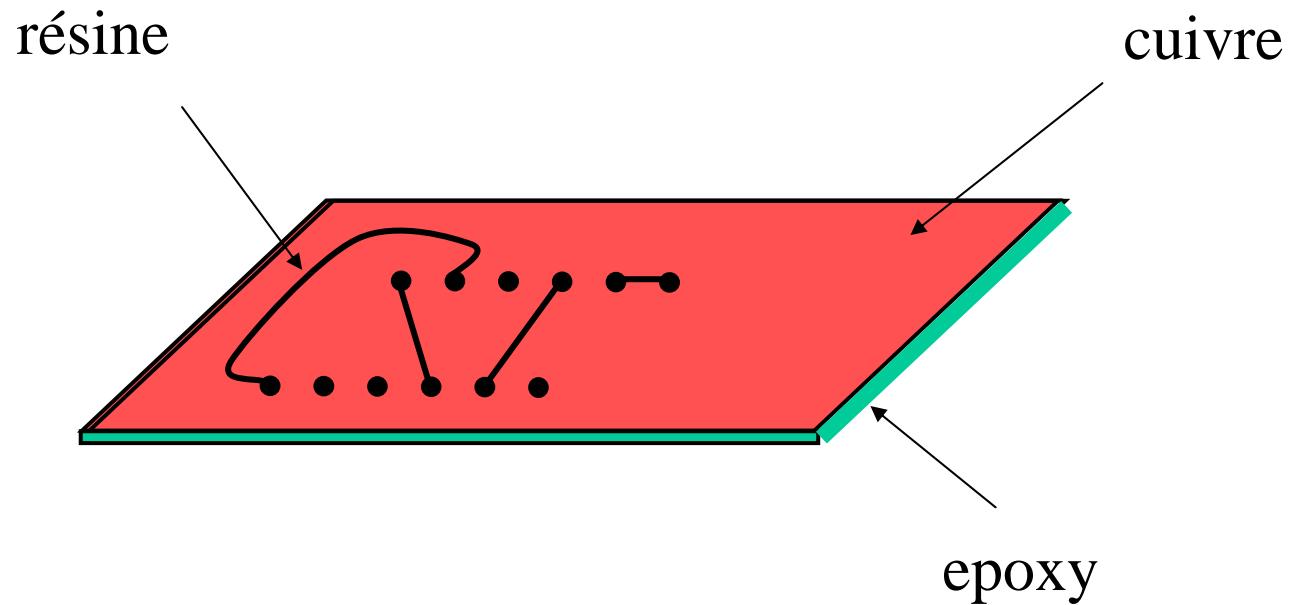


Insolation UV

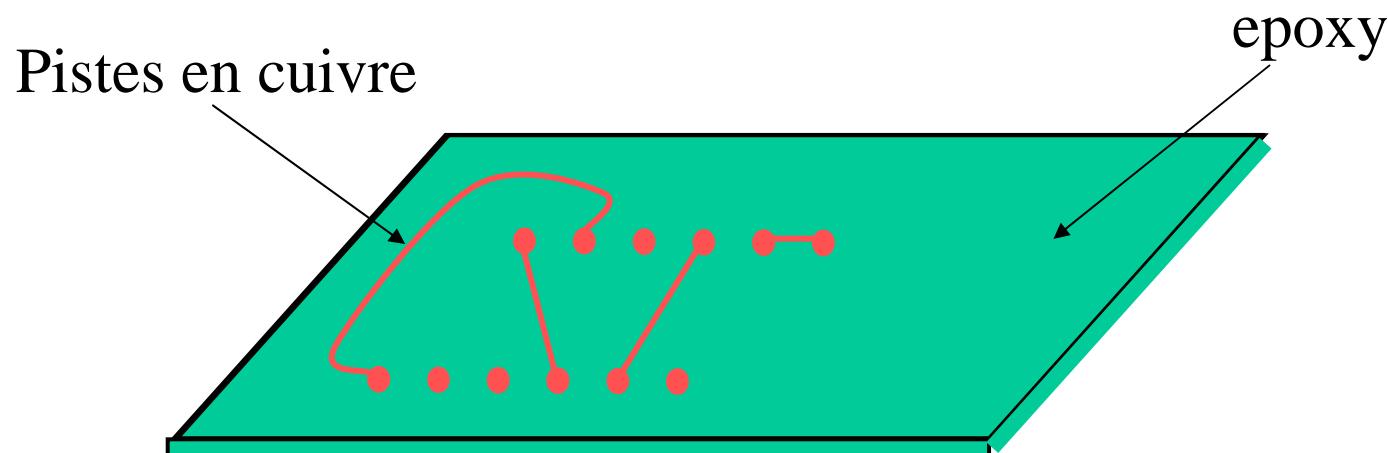
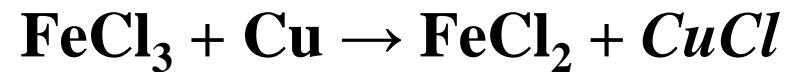


Révélation

La résine insolée est dissoute par un révélateur chimique



Attaque chimique du cuivre



Étamage des pistes



Chimique

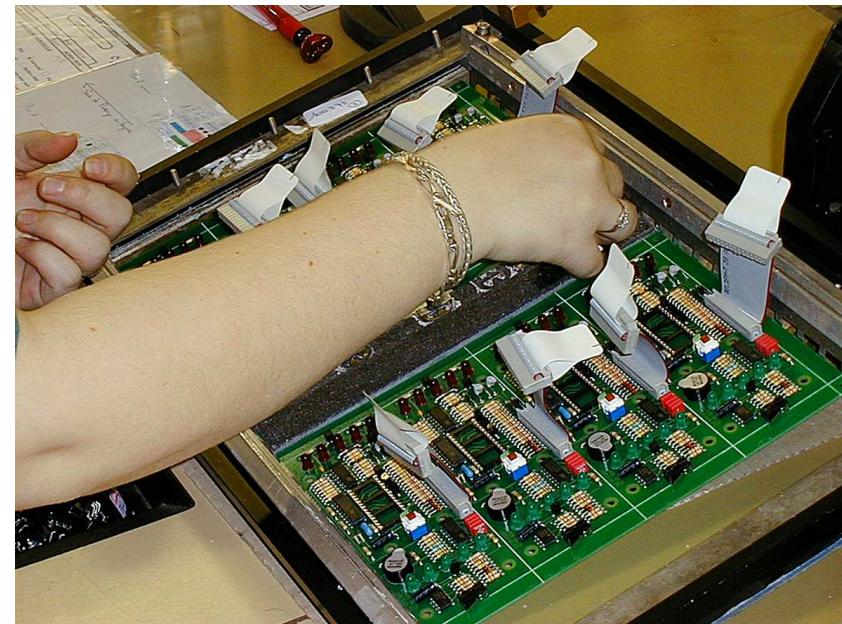


étamage au rouleau

Insertion des composants



insertion automatique



insertion manuelle

Soudage au fer

Fer à souder réglé en température



Soudure Sn-Pb 60/40 avec flux décapant
Température de fusion 183-188°C

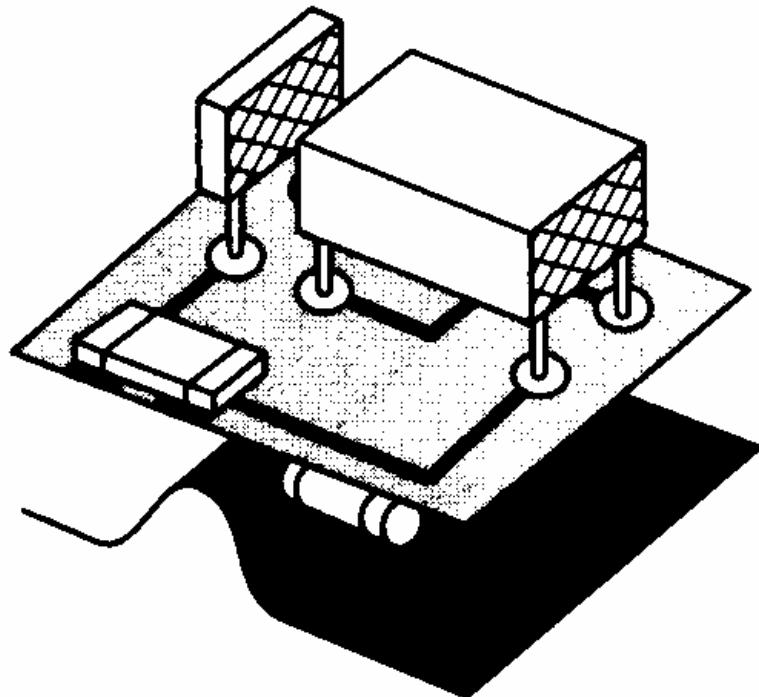
Norme RoHS

Suppression du plomb dans les alliages de soudure

Quelques alliages de substitution

Alliage	T fusion °C
Sn – 37 Pb	183
Sn-4Ag-0,5Cu	217-218
Sn – 3,5 Ag	221
Sn – 0,7Cu	227

Soudage à la vague



Soudage à la vague

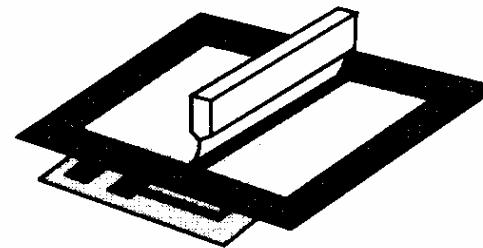


Bain de soudure en fusion

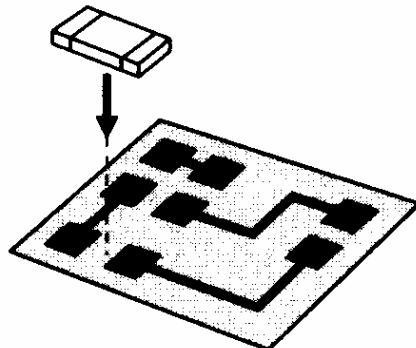
Assemblage de CMS



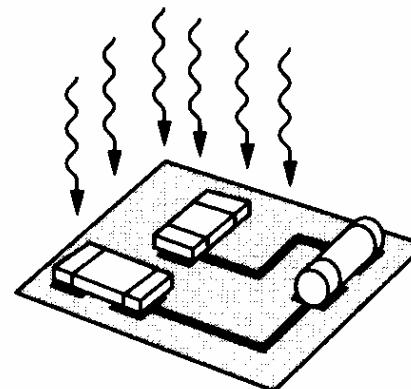
CMS sur circuit imprimé



Sérigraphie de
la pâte de soudure

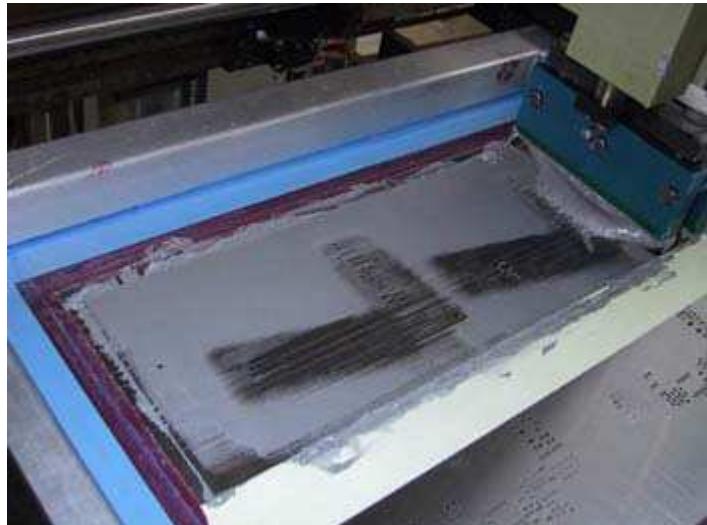


Pose des CMS



Soudage par refusion

Dépose de la pâte à souder

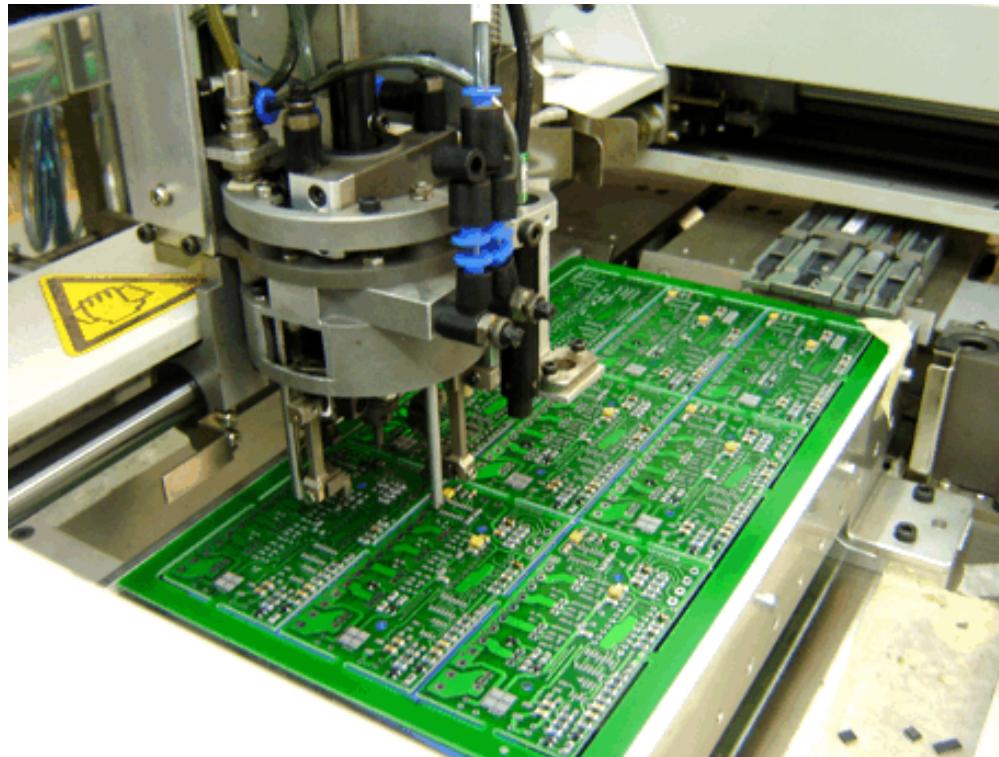


Par sérigraphie



Par dispenser

Placement des composants



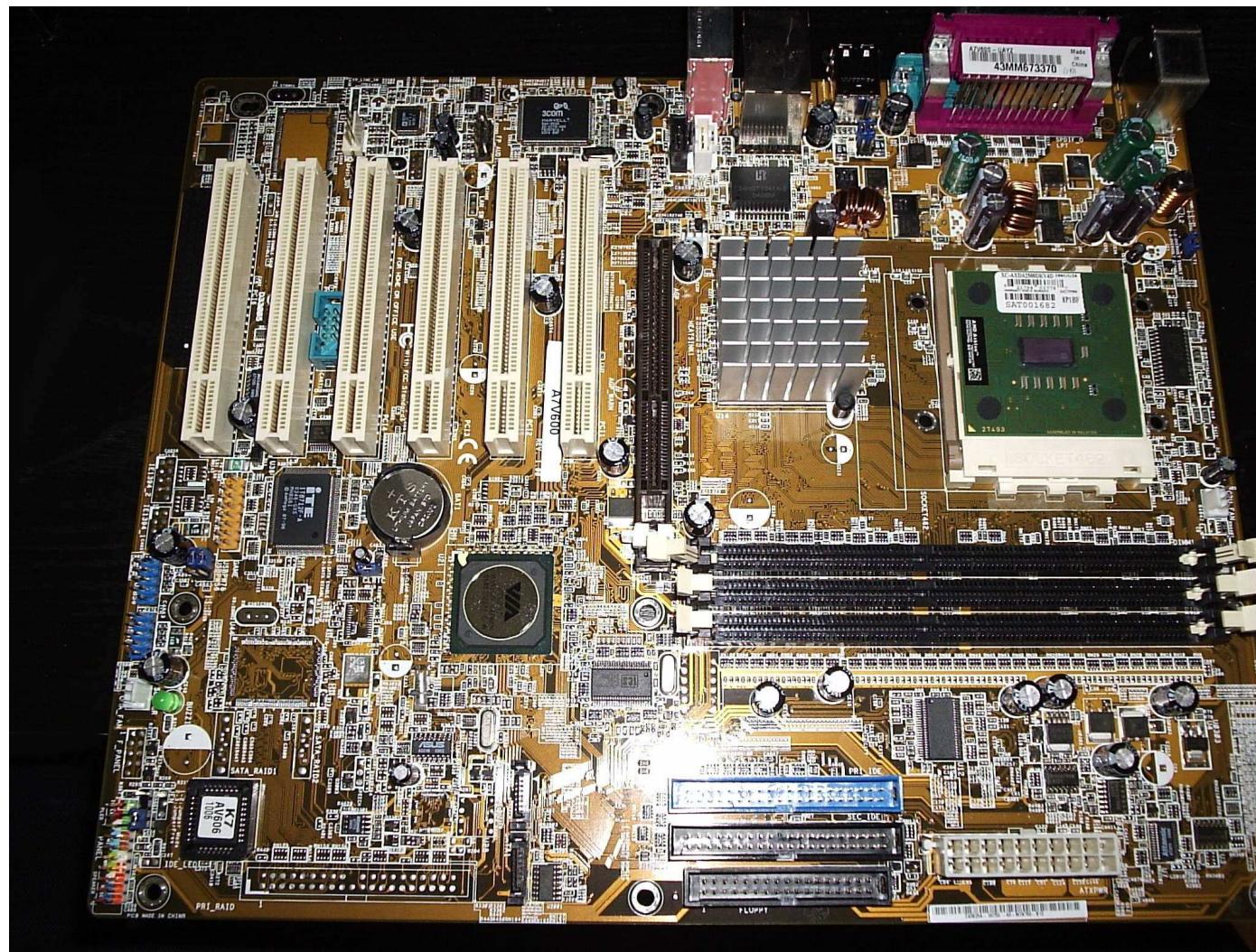
Machine de placement automatique

Refusion

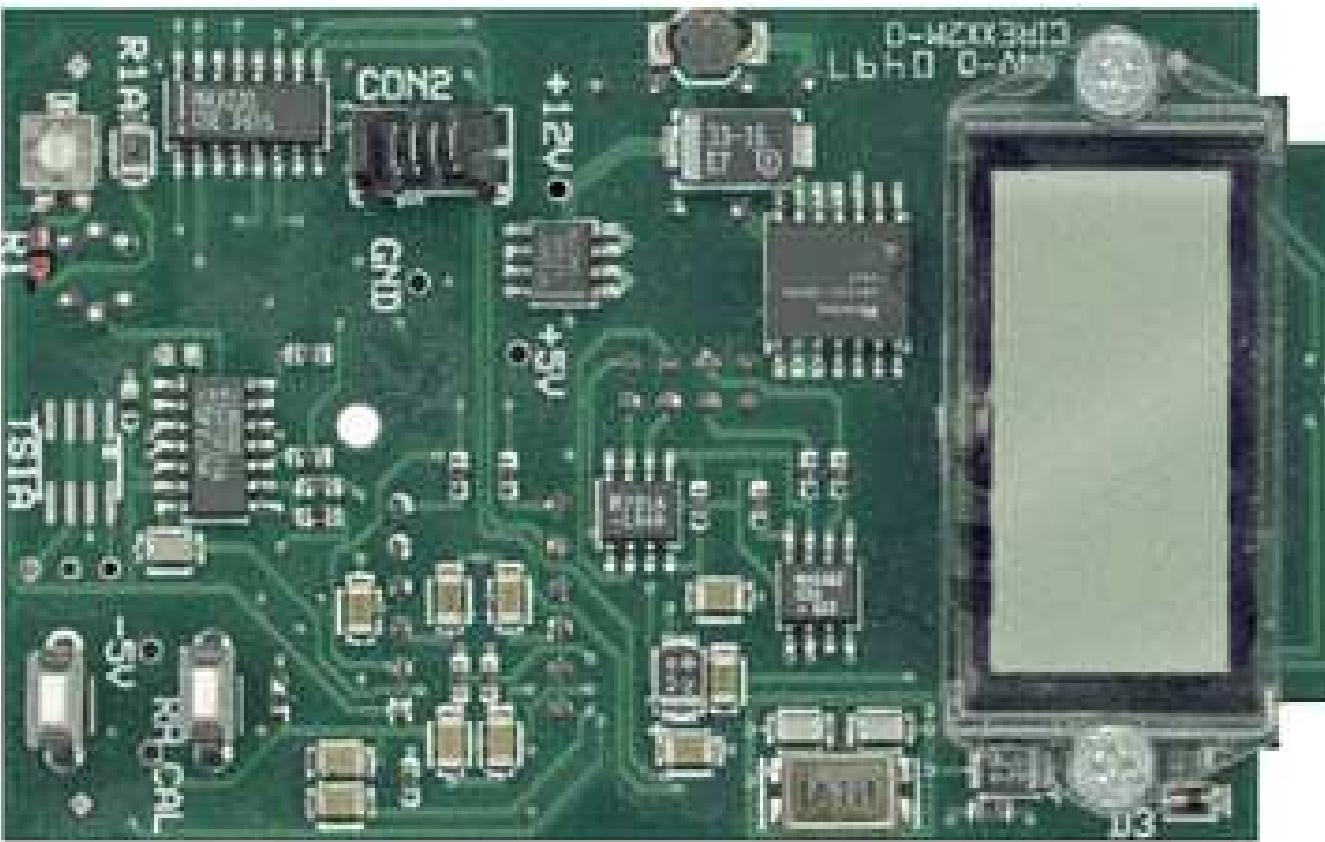


Four à refusion infra rouge

Carte mère de PC



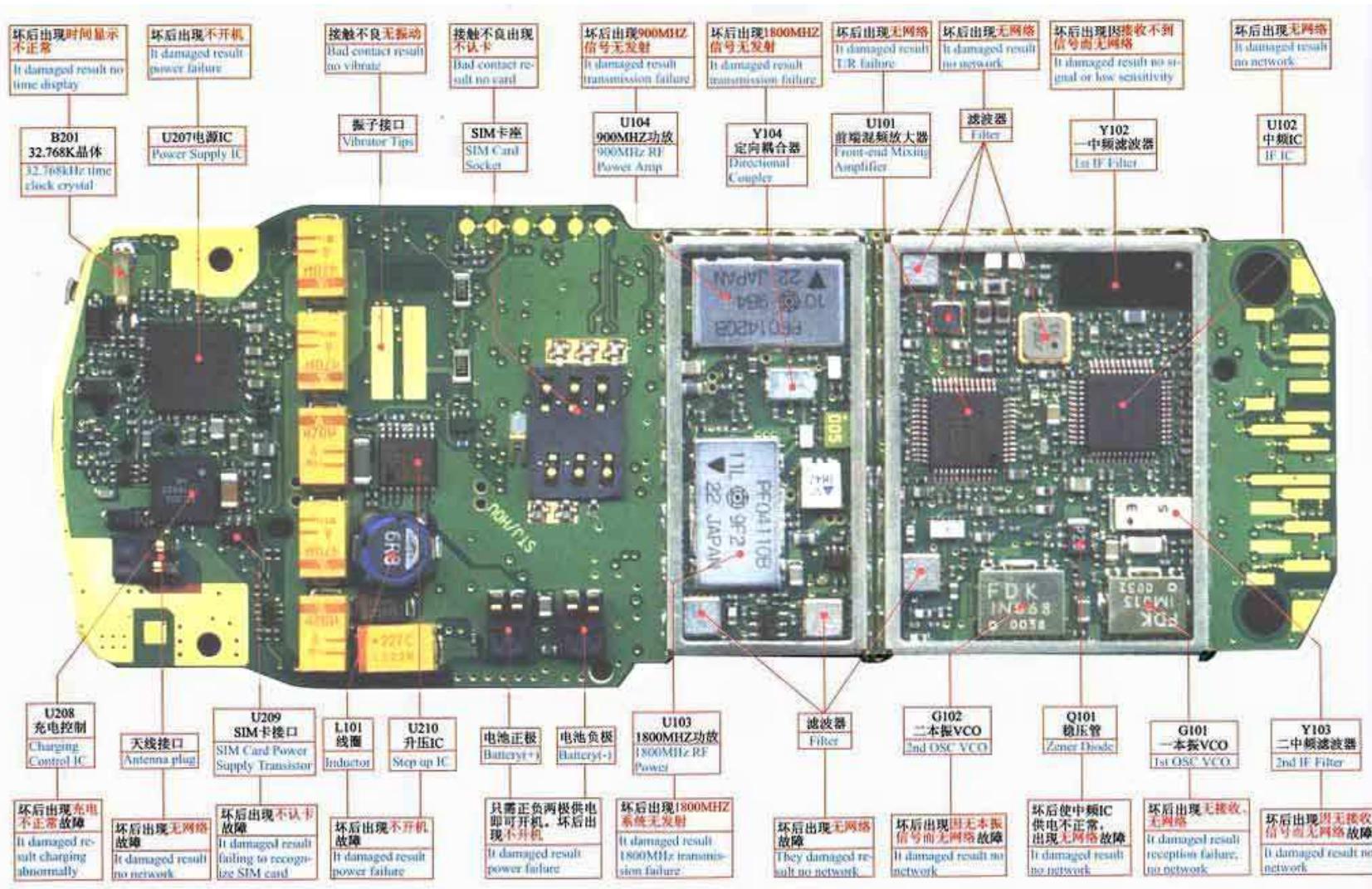
Circuit monté en surface



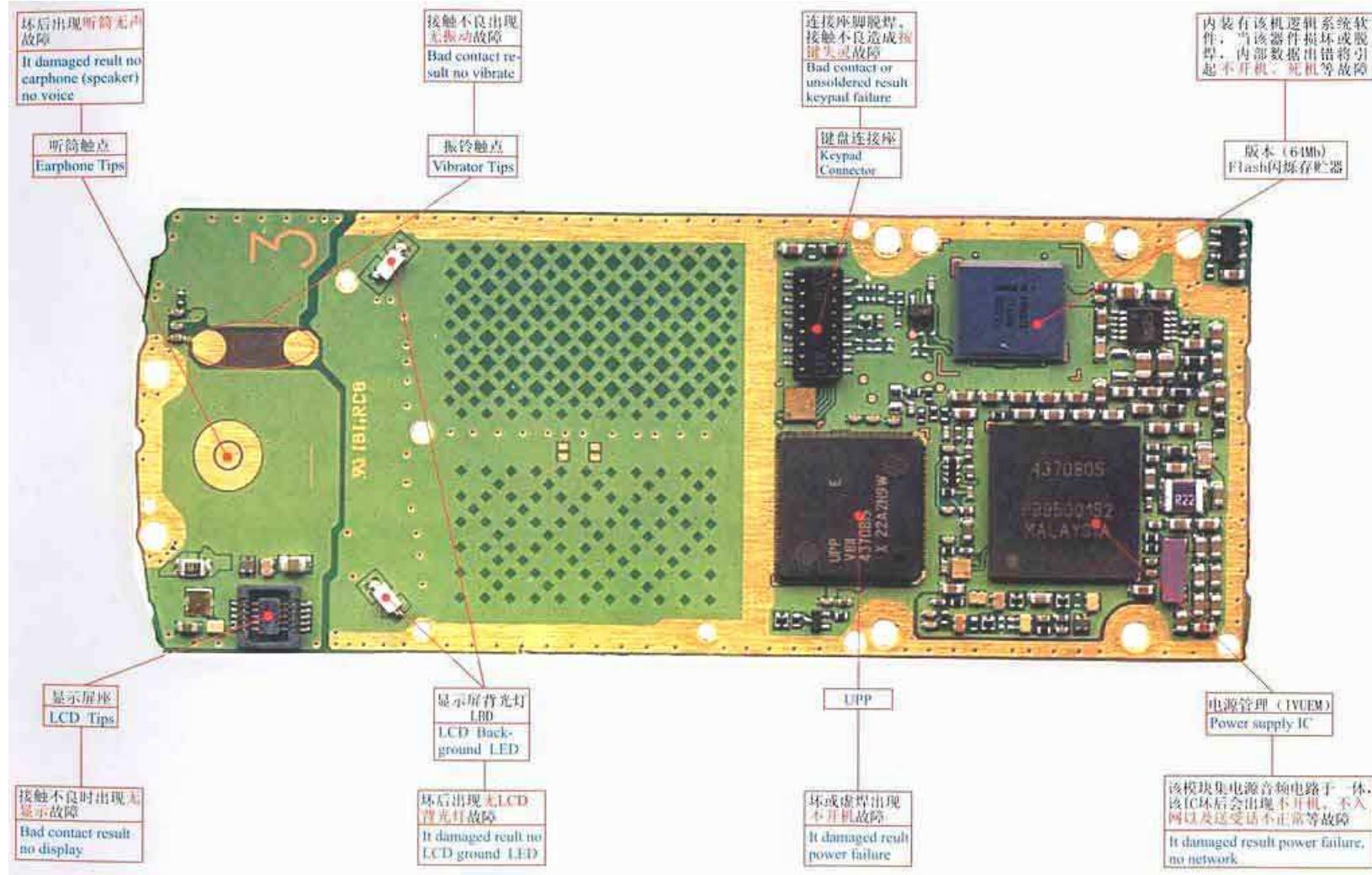
Evolution technologique

- Intégration monolithique de plus en plus poussée:
- Exemple de la téléphonie mobile

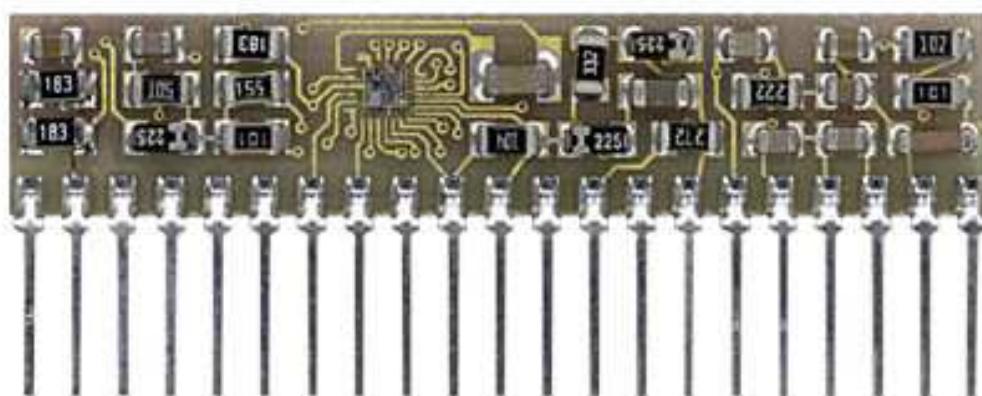
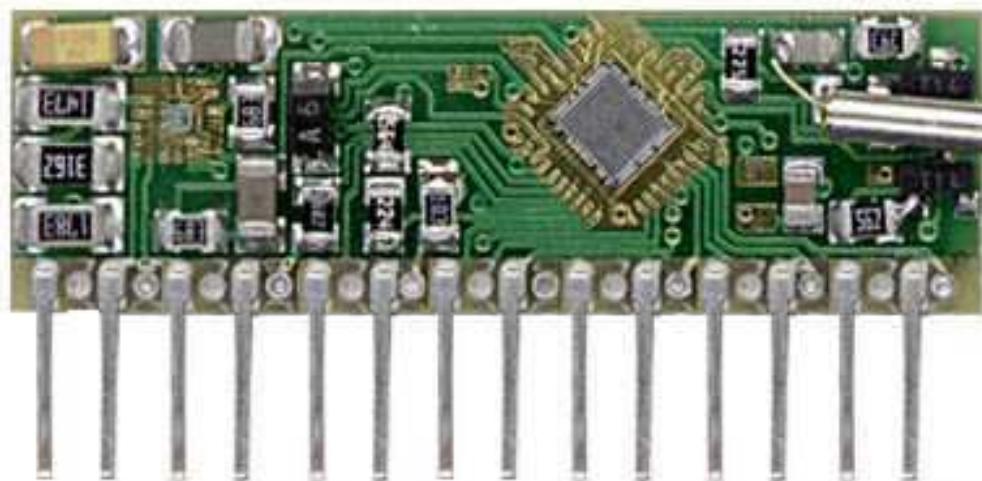
Nokia 3210



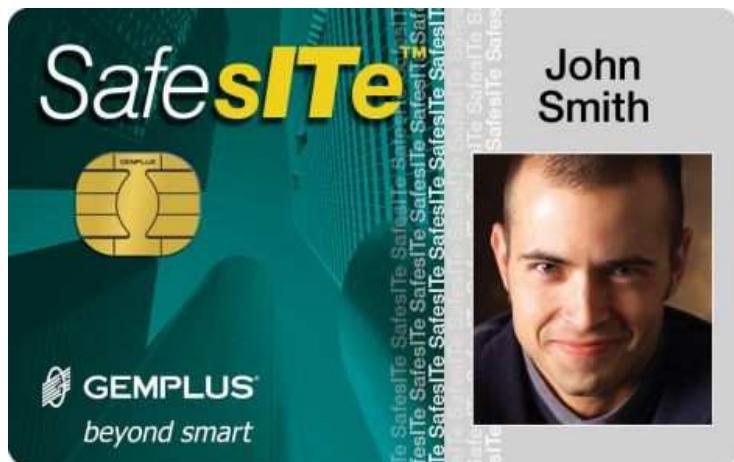
Nokia 8910



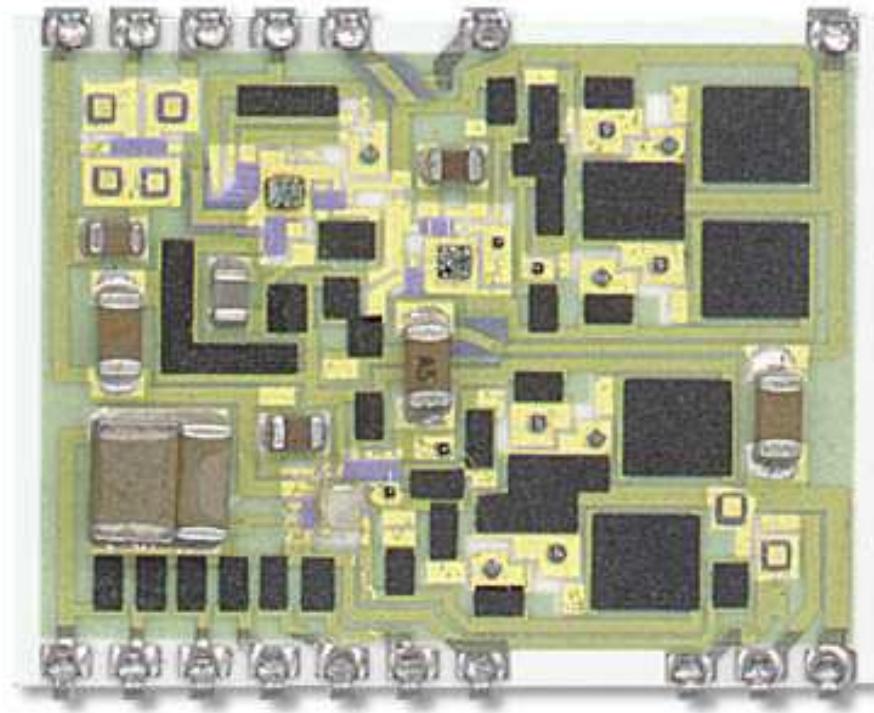
Chip on board



Carte à puce



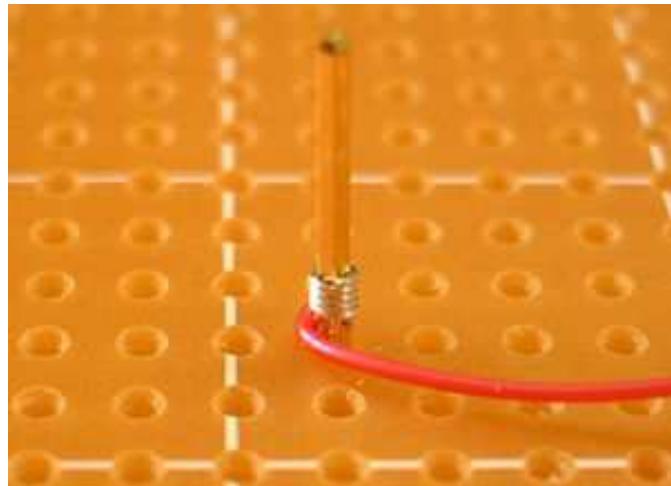
Hybride couche épaisse



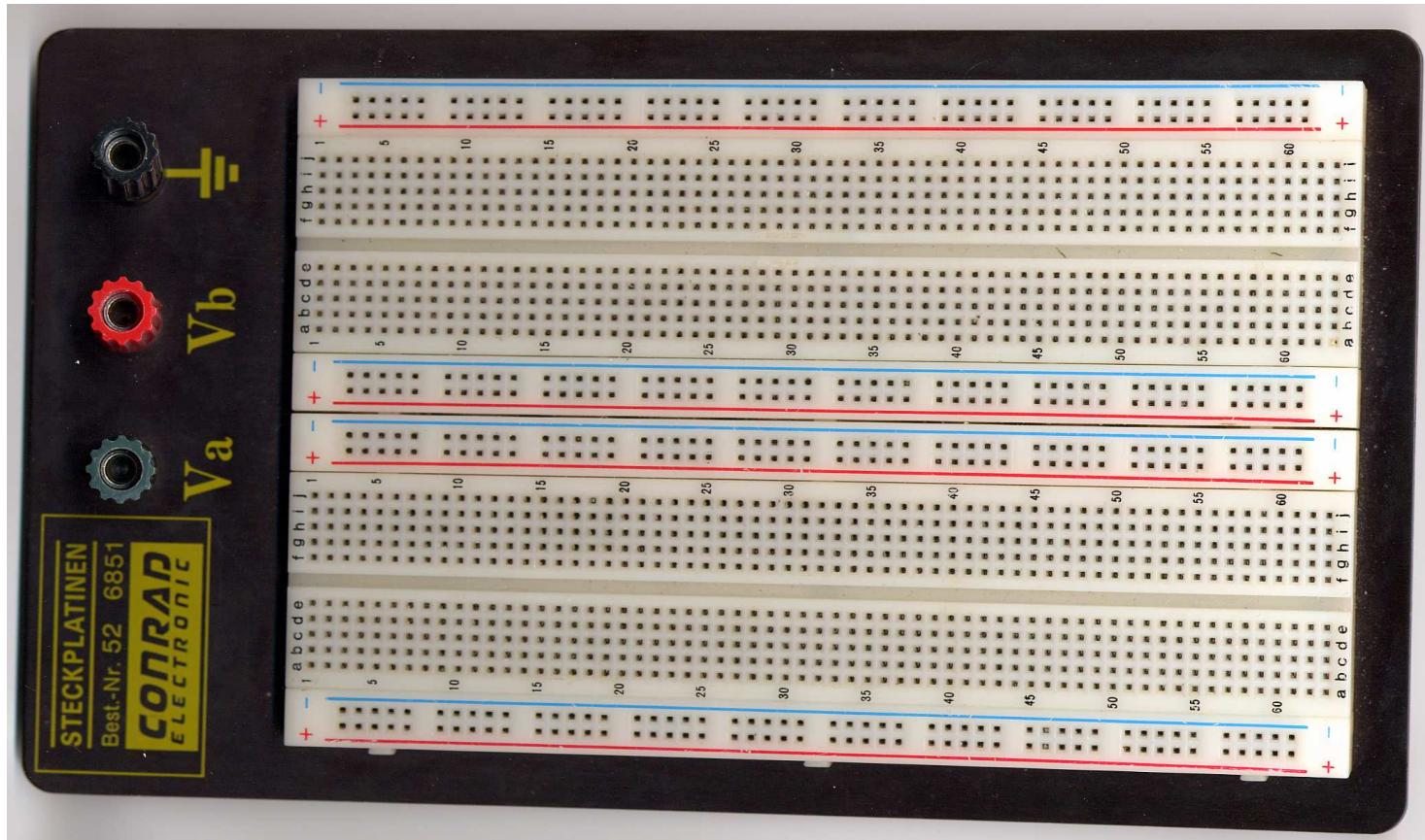
Substrat céramique (Al_2O_3 , AlN , BeO) métallisé
Résistances sérigraphiées

Wire Wrapping

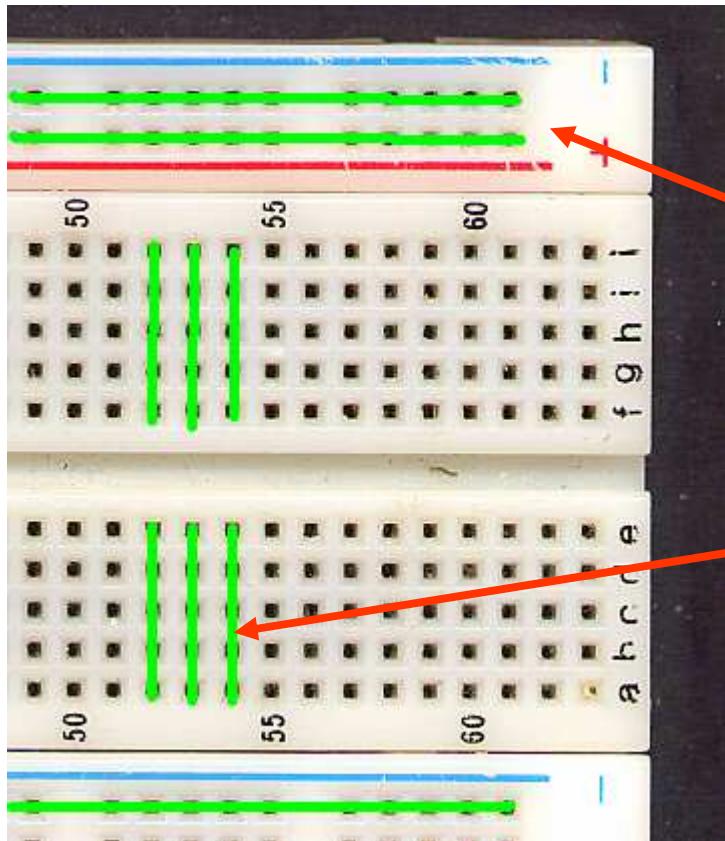
Les connexions sont réalisées par simple enroulement d'un fil monobrin autour d'un contact carré ou rectangulaire.



Plaquettes d'essais sans soudure



Plaquettes d 'essais



Bus d 'alimentation

Contacts reliés

ENIAC: le premier ordinateur 1946

