

# Rendons à Julius, Oskar, Herbert, Greenleaf, Jagadish .... ce qui est à eux ! Et comment la France a failli devancer les USA à 48 jours près!

Par Jean- Marie Mathieu RFL3657 [jmmathieu@wanadoo.fr](mailto:jmmathieu@wanadoo.fr)

Nous connaissons tous la découverte du "transfer-resistor" ou transistor en 1948 aux USA, événement majeur marquant la naissance de l'ère du semi-conducteur (dite aussi électronique du solide, ou électronique froide).

En effet, après la deuxième guerre mondiale **William Bradford Shockley** chez Bell Telephone Laboratories (BTL) dirige une équipe dont les membres principaux sont **John Bardeen et Walter Houser Brattain**. Ces deux derniers soudés par une très amicale coopération, **travaillent sur la conductivité superficielle du Germanium en utilisant deux contacts polarisés**. John est le théoricien (docteur en 1935 et compétant en mécanique quantique), Walter est l'expérimentateur et découvreur. Ils montrent que l'on peut moduler la conductivité, et l'idée qu'il pourrait y avoir un phénomène d'amplification devient évidente. Ainsi inspirés, ils aboutissent rapidement en décembre 1947. De son côté, Shockley travaille sur l'action du champ électrique dans les oxydes métalliques (semi-conducteur) et il sent le succès lui échapper. L'ambiance de l'équipe se dégrade, et Shockley s'oppose à Bardeen et Brattain. **Finalement Bardeen et Brattain présentent seuls le "Semi-Conductor Triode"** à la Physical Review le **25 juin 1948** (voir ci dessous). Une photo de presse de 1948 montre de gauche à droite John, William et Walter.

**The Transistor,  
A Semi-Conductor Triode**  
J. BARDEEN AND W. H. BRATTAIN  
Bell Telephone Laboratories, Murray Hill, New Jersey  
June 25, 1948

A THREE-ELEMENT electronic device which utilizes a newly discovered principle involving a semiconductor as the basic element is described. It may be employed as an amplifier, oscillator, and for other purposes for which vacuum tubes are ordinarily used. The device consists of three electrodes placed on a block of germanium<sup>1</sup> as shown schematically in Fig. 1. Two, called the emitter and collector, are of the point-contact rectifier type and are placed in close proximity (separation  $\sim .005$  to  $.025$  cm) on the upper surface. The third is a large area low resistance contact on the base.

The germanium is prepared in the same way as that used for high back-voltage rectifiers.<sup>2</sup> In this form it is an *N*-type or excess semiconductor with a resistivity of the order of 10 ohm cm. In the original studies, the upper surface was subjected to an additional anodic oxidation in a glycol borate solution<sup>3</sup> after it had been ground and etched in the usual way. The oxide is washed off and plays no direct role. It has since been found that other surface treatments are equally effective. Both tungsten and phosphor bronze points have been used. The collector point may be electrically formed by passing large currents in the reverse direction.

Each point, when connected separately with the base electrode, has characteristics similar to those of the high

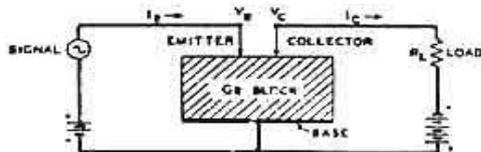
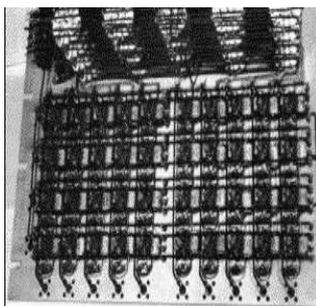
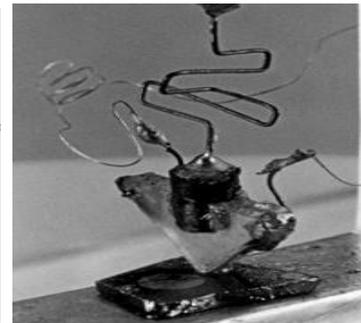
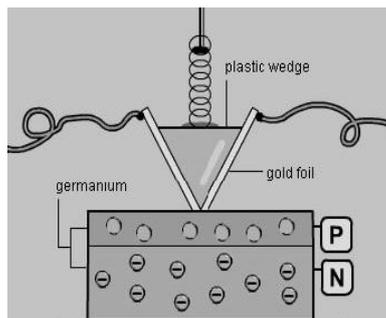


FIG. 1. Schematic of semi-conductor triode.



On voit ci-dessous un prototype de circuit intégré à 40 transistors pour calculateur de tir fait par Walter Mac Williams à B.T.L. en 1949.

La photo du transistor montre le support triangulaire en plexiglas appuyant les deux pointes (émetteur collecteur) sur la base en germanium.



**Néanmoins l'histoire retiendra les trois noms pour attribuer en 1956 le prix Nobel pour l'invention du "transfer-resistor".**

C'est la récompense de deux axes de recherche indépendants, d'une part une approche du FET (Shockley) et la découverte du transistor à pointe (Bardeen et Brattain).

En 1951 B.T.L. vend ses licences aux industriels pour 25000 \$, et Bardeen quitte Bell pour travailler sur la supraconductivité. Nommé professeur à University of Illinois, Bardeen édifie la théorie de la supraconductivité (B.C.S.) avec Cooper et Schrieffer. Un prix Nobel de physique leur ait attribué en 1972. Bardeen est un des rares scientifiques nobélisés deux fois.

### **Ce qui est moins connu, ce sont les déboires qu'essuya la Bell Telephone Laboratories lors des dépôts de brevet.**

Dès 1948 les juristes de la B.T.L. se mettent au travail pour élaborer un maximum de protection industrielle. Mais surprise et déception, ils se heurtent à plusieurs déclarations d'antériorité datant de **1925 à 1928 !**

**Shockley qui a travaillé sur "l'effet de champ" est contraint d'abandonner tout brevet associé à cette idée. Quand à Bardeen et Brattain ils doivent renoncer à une partie de leurs déclarations concernant le transistor à pointes.**

### **Le fautif, un certain Julius Edgar Lilienfeld !**

Jetons un coup d'œil sur le cursus de cet atypique inventeur:

Né en 1882 à Lemberg (ancienne Pologne, actuellement Ukraine), il obtient son doctorat en 1905 à Berlin. A partir de 1908, il développe à Leipzig la cryogénie de l'air et de l'hydrogène par liquéfaction. Il dépose plusieurs brevets (UK patent 22930 en 1912 etc.). Puis collabore avec **Ferdinand Von Zeppelin** pour porter la fabrication d'hélium à l'échelle industrielle. Il rédige plusieurs papiers sur la liquéfaction des gaz, la technologie des basses températures, les perfectionnements des tubes à rayons Röntgen et leur dosimétrie (US et UK patent en 1912, etc). Pendant la guerre il travaille sur l'émission électronique froide par métaux électropositifs dans le vide poussé, sous champ électrique.

En 1921 il va défendre ses brevets US saisis pendant la guerre ( Alien Property Custodian). En 1926 il émigre aux USA, fuyant les persécutions nazies contre les juifs, et se marie avec Beatrice Ginsburg. Alors chercheur à Ergon Research Laboratories il étudie les interfaces entre électrolytes et métaux, **et ainsi développe la technologie du condensateur électrolytique.**



Nous arrivons à la période qui nous intéresse expressément, celle où il dépose rapidement trois US patents qui feront obstacle au brevet du "transfer resistor".

**US patent 1745175 déposé le 8-9-1926 qui annonce le metal semiconductor field-effect transistor ou MESFET.**

**US patent 1900018 déposé le 28-12-1928 qui annonce le metal oxide semiconductor FET ou MOSFET.**

**US patent 1877140 déposé le 8-3-1928 qui annonce le semiconductor metal FET ou SMFET.**

Les illustrations des deux premiers enregistrés en 26 et 28 montrent une géométrie caractéristique du FET et du MOSFET.

A gauche on note un canal (15) long est très aminci (~10 μm), à droite le canal est court et localisé au fond d'une gorge étroite (13).

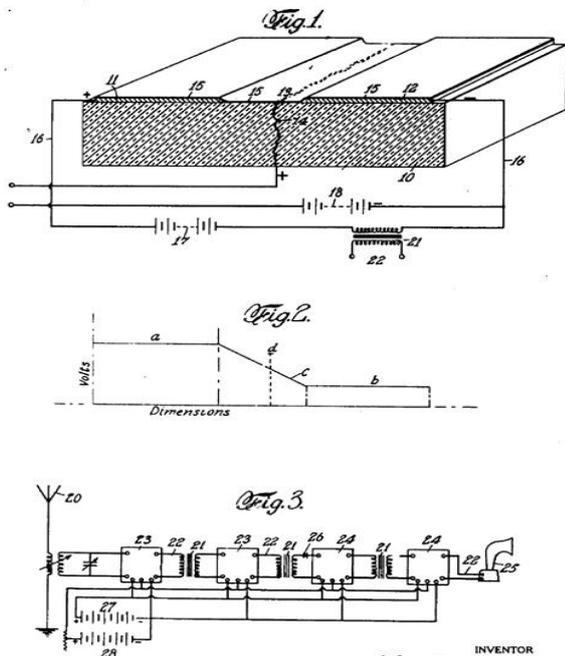
**Dans l'illustration de gauche** le support est une lame de verre cassée (10), dans laquelle une feuille d'aluminium (14) est insérée et repliée dessus (13), deux électrodes latérales (11 et 12) sont collées. Le tout est recouvert par métallisation et oxydation (15). Le canal allongé et très aminci (~10 μm), est ainsi constitué par la couche (15) déposée et traitée chimiquement.

Le champ électrique est appliqué au canal par la feuille d'aluminium repliée (13).

**De même, on peut faire avec l'illustration de droite** un rapprochement clair avec la structure de MOSFET. L'isolant est obtenu par oxydation du bloc d'aluminium (10) (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Drain, source et canal sont en sulfure cuivreux Cu<sub>2</sub>S (semi-conducteur d'actualité dans les cellules solaires). Ici, on a donc une grille isolée par oxydation et un canal en semi-conducteur.

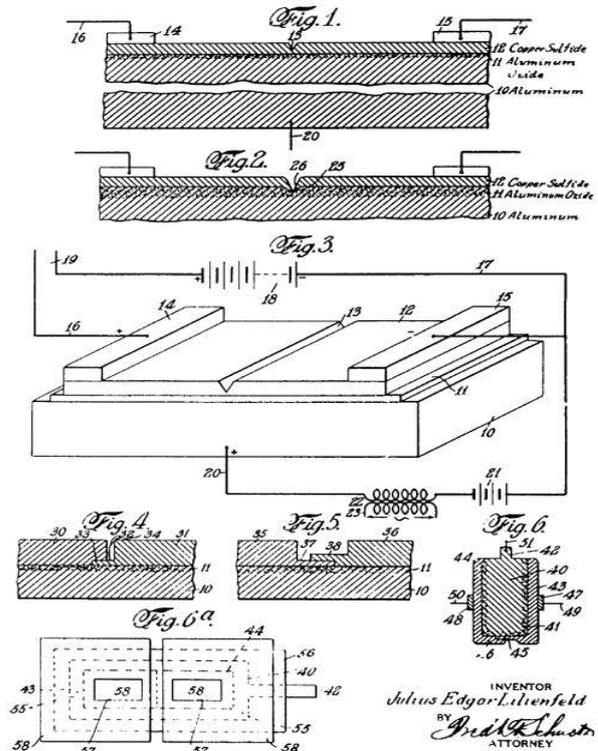
## Voici l'architecture type du MOSFET vue par un précurseur en 1926 !

Jan. 28, 1930. J. E. LILIENFELD 1,745,175  
METHOD AND APPARATUS FOR CONTROLLING ELECTRIC CURRENTS  
Filed Oct. 8, 1926



INVENTOR  
Julius Edgar Lilienfeld  
BY *Frank K. Schuster*  
ATTORNEY

March 7, 1933. J. E. LILIENFELD 1,900,018  
DEVICE FOR CONTROLLING ELECTRIC CURRENT  
Filed March 28, 1928 3 Sheets-Sheet 1



INVENTOR  
Julius Edgar Lilienfeld  
BY *Frank K. Schuster*  
ATTORNEY

J.E.L. essaya bien d'intéresser les industriels de la radio, mais l'idée était trop incompréhensible pour l'époque, et il fut pris pour un rêveur un peu farfelu. **Malheureusement, ignorant la mécanique quantique, il n'a pu étayer ses brevets par une sérieuse présentation aux sociétés scientifiques de l'époque contrairement à Bardeen qui maîtrisait et a pu être le théoricien et conducteur éclairé dans l'expérimentation vingt ans plus tard.**

Il ne reste aucune réalisation de ces étranges composants, mais en 1991 Bret E. Crawford reprend les idées de J.E.L. dans sa thèse (Université de Vermont) et construit des prototypes médiocrement satisfaisants, d'après son directeur Barn.

On peut penser que l'équipe de la B.T.L. était au courant des travaux faits 20 ans avant sur un sujet aussi peu répandu, mais ils n'en font pas mention.

Lilienfeld devient américain en 1934, et s'installe à St Thomas (Iles Vierges à 1000 km à l'est d'Haïti), pensant que le climat améliorerait sa santé. J.E.L. décède le 28 août 1963 à Charlotte Amalia (Iles Vierges), laissant au moins 60 brevets US et 15 allemands.

**Julius Edgar Lilienfeld reste le père du condensateur électrolytique et de la séparation des gaz par cryogénie.**

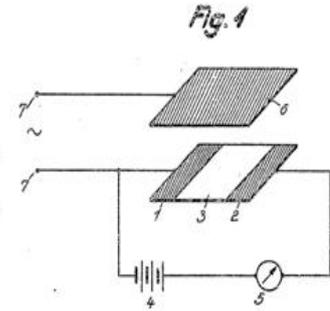
Citons également un autre inventeur, Oskar Heil qui dépose en 1935 un brevet enregistré en France pour une triode solide à semi-conducteur (Cu<sub>2</sub>O, Cu<sub>2</sub>S) précurseur du MESFET. Il est surtout connu pour son brevet de haut parleur destiné aux exigeants de la haute fidélité (Air Motion Transformer).



RÉPUBLIQUE FRANÇAISE.  
 MINISTÈRE DU COMMERCE ET DE L'INDUSTRIE.  
 DIRECTION DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE.  
**BREVET D'INVENTION.**  
 Gr. 12. — Cl. 6. N° 786.454

Nouveaux procédés de commande et d'amplification des courants électriques.  
 M. Oskar HEIL résidant en Allemagne.

Demandé le 1<sup>er</sup> mars 1935, à 10<sup>h</sup> 32<sup>m</sup>, à Paris.  
 Délivré le 8 juin 1935. — Publié le 3 septembre 1935.  
 (Demande de brevet déposée en Allemagne le 2 mars 1934. — Déclaration du déposant.)

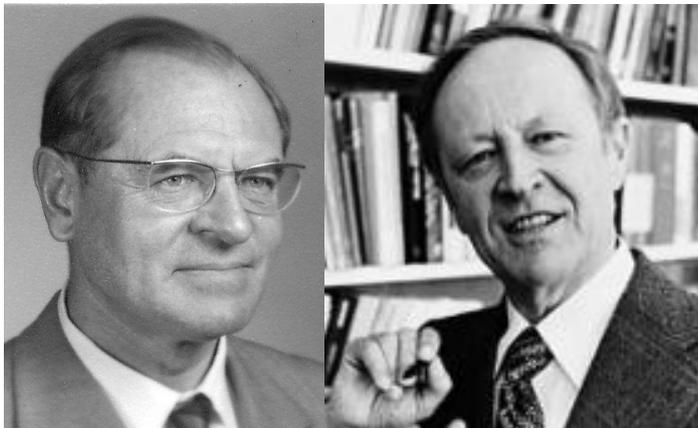


**Enfin l'histoire a attaché le transistor à points aux trois noms Brattain, Bardeen et Shockley.**

Il faut attendre la résolution des problèmes d'interface oxyde-semiconducteur dans les années 1960, pour voir réapparaître le MOSFET. Aujourd'hui le MOS (avec le CMOS) constitue, par sa simplicité de fabrication et ses dimensions, la base des techniques numériques. On prévoit pour 2016 des tailles de  $10^{-9}$  m par élément C.M.O.S. soit une densité du Giga C.M.O.S. par  $\text{cm}^2$ , au coût de  $10^{-8}$  euros par transistor ! L'alimentation des circuits ultrarapide sera inférieure au demi volt !

### Et que se passe t il en France entre 1945 et 1948 ? Le TRANSITRON.

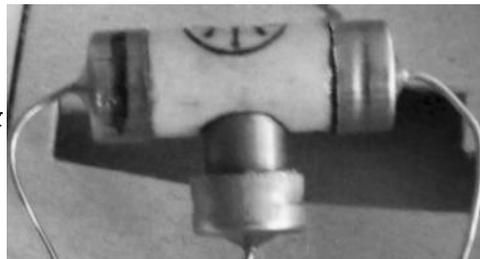
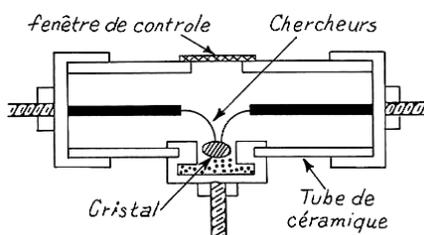
Deux allemands spécialiste du Germanium "récupérés" en 1945 par Y. Rocard (Norm. Sup.), **Herbert François Mataré et Heinrich Welker**, font une découverte identique à celle des américains, le **Transistron**.



**UNITED STATES PATENT**  
 2,673,948  
**CRYSTAL DEVICE FOR CONTROLLING ELECTRIC CURRENTS BY MEANS OF A SOLID SEMICONDUCTOR**  
 Herbert François Mataré and Heinrich Welker,  
 Vauresson, France, assignors to Societe Anonyme dite: Compagnie des Freins et Signaux Westinghouse, Paris, France  
 Application August 11, 1949, Serial No. 109,752  
 Claims priority, application France August 13, 1948

Les moyens techniques sont fournis au sein de la Compagnie des Freins et Signaux à Aulnay-sous-Bois (Westinghouse), financés par les P.T.T. La production est très vite engagée (plus de 10000 pièces par mois) et vendue aux militaires et au C.N.E.T. (prémices des équipements à semi-conducteurs pour les répéteurs téléphoniques Paris Nancy.).

On peut noter la ressemblance avec le transistor de Bardeen et Brattain, un cristal de germanium et deux pointes.



Puis, en 1950, Mataré fonde Intermetall en Allemagne, premier fabricant de diodes et transistor au monde. Intermetall présente en 1953 le prototype d'un récepteur de poche à 4 transistors, précédant le premier poste américain (Texas/Regency TR-1 en 1954) vendu 50\$, (soit en équivalent actuel 350 euros), suivi par Raytheon avec le 8TP-4.

## La France a donc raté à 48 jours près l'antériorité sur les USA !

### Quelques mots sur la préhistoire des semi-conducteurs.

Dès 1833, Michael Faraday remarque un comportement thermique anormal de la conduction du sulfure d'argent ( $Ag_2S$ ) qui ne pouvait être classé ni du côté des conducteurs ni des isolants.

En 1874 Ferdinand Braun découvre la conduction non linéaire du sulfure de plomb ( $PbS$  ou galène). Il recevra en 1909 avec Guglielmo Marconi le prix Nobel de physique. Braun est surtout connu pour avoir construit le premier tube cathodique, dit tube de Braun en 1897.

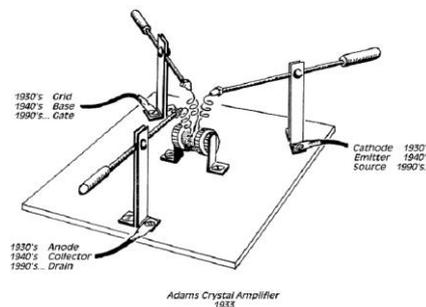
A partir de 1895, Jagadish Chandra Bose, professeur de physique à Calcutta, semble avoir utilisé le détecteur à galène dans ses démonstrations de cours. Epoque où le jeune Guglielmo (à Salvan en Suisse) et Alexander Stepanovich Popov (à St Petersburg) utilisaient des tubes radioconducteur de Branly (voir le n°56 du bulletin CHCR). Son fils Satyendranath Bose est connu pour son travail avec A. Einstein sur la probabilité pour une particule d'occuper un niveau d'énergie (statistique de Bose-Einstein).

De 1906 à 1914, Greenleaf Whittier Pickard teste des milliers de contacts métal sur minéraux. Il constate l'efficacité du silicium poli et dépose une patente pour commercialiser ce détecteur sous le nom très imagé de "cat's-whisker". ("Means for receiving intelligent communication by electric waves").

Henry Harrison Chase Dunwoody brevète un détecteur à carborundum ( $SiC$ ) en 1906.

En 1922 Oleg Losev à Leningrad utilise le carborundum ( $SiC$ ) et l'oxyde de zinc ( $ZnO$  ou zincite) et constate l'existence de résistance négative exploitable en amplification et oscillation. Il découvre par hasard l'électroluminescence (L.E.D.) du carborundum, ( Henry J Round l'avait observé 20 ans avant).

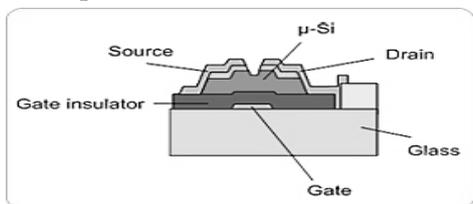
Vers les années 20, dans le monde des radioamateurs (OM) et des radiotélégraphistes navigants on expérimentait les détecteurs à 2 pointes, dont l'une était polarisée par une pile. Plusieurs articles dans Radio New (Hugo Gernsback) en font mention. Actuellement des amateurs de techniques anciennes font revivre ces curiosités du passé.



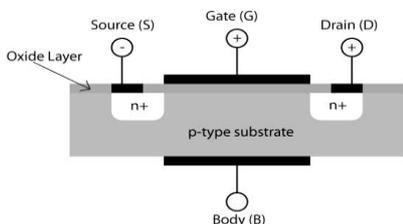
### Annexes.

Deux coupes de transistor à effet de champ à comparer aux brevets de 1926 et 1928 et une page du cahier de laboratoire de Brattain.

Architecture d'un MOSFET actuel à comparer au brevet n°1900018



Architecture d'un MOSFET actuel à comparer au projet n°1745175



DATE Nov 28 1947  
CASE NO. 38139-7

V	$\Delta I \times R$	$I_{\text{in}}$
0		$2 \times 10^{-6}$
-4.0	-30	$-2 \times 10^{-6}$
+4.0	+50	$1.2 \times 10^{-5}$

Dec 4 1947

I was out due to a cold the experiment immediately above was taken over by Pearson. Any way the experiment worked. N.B. 20912 page 75

at a conference on Nov 27 or 29 it was decided that all the following combinations should be tried. This is the one we have already tried and found wire to work. This is the electrolyte one we tried on page 168

**Avenir des technologies à base de CMOSFET :**  
dans 4 ans le coût unitaire serait inférieur au  $\mu$  centime d'€.

	2004	2010	2016
Densité en $10^6$ transistor/cm <sup>2</sup>	77	309	1200
Surface intégrée en mm <sup>2</sup>	140	140	140
Alimentation en V	1	0,6	0,4
Horloge en GHz	4	15	40
Coût unitaire en $\mu$ centime d'€	60	8	1

### Quelques sites passionnants à visiter.

Une animation qui illustre le phénomène de conduction et pincement du canal.

[http://people.seas.harvard.edu/~jones/es154/lectures/lecture\\_4/lecture\\_4.html](http://people.seas.harvard.edu/~jones/es154/lectures/lecture_4/lecture_4.html)

<http://www.youtube.com/watch?v=4liOXGovjIA>

<http://iutgeii.u-3mrs.fr/> puis espace étudiant, puis électronique, puis techniques anciennes.

<http://www.computerhistory.org/semiconductor/resources.html#reading>

<http://www.courses.ncsu.edu:8020/ece480/common/htdocs/>

<http://amasci.com/amateur/transis.html>

[http://www.qsl.net/dl8ser/crystal\\_links.html](http://www.qsl.net/dl8ser/crystal_links.html)

<http://www.tvhistory.tv/W1XAY.htm>

<http://www.sparkbangbuzz.com/>

<http://earlyradiohistory.us/>

[Radiobygones.com](http://Radiobygones.com)

[Pbs.org](http://Pbs.org)

### Note de dernière minute:

**Je cherche des informations sur l'histoire de ces "transistrons" marqués LTT ou SIF, d'origine P.T.T.**

**Constitués d'un superbe barreau bleu en Ge dopé à ...?**

**Réponse et commentaires bienvenus à [jmmathieu@wanadoo.fr](mailto:jmmathieu@wanadoo.fr)**

