

SE PRÉMUNIR CONTRE L'AMNÉSIE D'UN APPAREIL DE MESURE

Suite 2 : Multimètre numérique de laboratoire : 8,5 digits.

Une référence mondiale : Hewlett-Packard Agilent Keysight : HP 3458A.

Mise sur le marché par Hewlett-Packard en 1989, ensuite commercialisé par Agilent et enfin toujours le même modèle distribué par Keysight en 2016, soit plus de 25 ans !

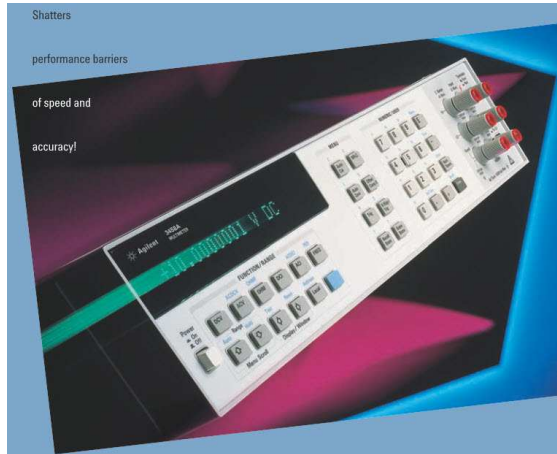


Fig. 1 : Cliché du multimètre numérique 8,5 digits HP 3458A Agilent (actuellement Keysight). Source : feuillet de présentation de l'instrument de mesure HP 3458A, Agilent Hewlett-Packard.



Fig. 2 : HP 3458A, ici un exemplaire dont l'année de construction est de 1996.

Cet appareil est équipé d'une carte CPU avec trois composants mémoires NVRAM. Voir l'article sur le site Internet ON5VL : « Se prémunir contre l'amnésie d'un appareil de mesure », suite : oscilloscope numérique, où vous y découvrirez une description des NVRAM Dallas (*Non Volatile Random Access Memory*).

La première mémoire « CALRAM » contient les 253 constantes de calibrage en usine de l'instrument de mesure, les deux autres mémoires « STATERAM » mémorisent une série de paramètres, entre autres, le dernier état de configuration de l'appareil avant mise hors tensions, diverses configurations enregistrées par l'utilisateur, etc.

Dans cet article nous vous proposons une méthode de sauvegarde des données essentielles contenues dans ces mémoires et une manière d'accéder aux constantes de calibrage par le port GPIB (*General Purpose Interface Bus*) avec un petit programme très simple.

Nous profitons de cette opportunité pour vous en dire un peu plus sur les deux étalons de mesure qui se situent à l'intérieur de cet appareil.

Le premier étalon interne du multimètre numérique HP 3458A est une référence de tension LTZ1000ACH (Linear Technology) qui actuellement n'est toujours pas détrônée en 2016 par une autre référence de tension qui serait plus précise ou plus stable. La société Fluke propose en option pour cet appareil une version spéciale de carte électronique de référence de tension dont les performances sont supérieures à celle de la carte d'origine HP. Toutefois, il s'agirait du même composant de base pour l'étalon de référence de tension.

LTZ1000ACH : 0,05 ppm/°C Drift ; 1,2 μ Vpp Noise ; 2 μ V/ Root kHr Long-Term Stability. Temperature Stabilized : Heater and Temperature Sensing Transistor included on subsurface of Zener Reference. 400 °C/W Thermal Resistance Reduces Insulation Requirements. Specified for -55 °C to +125 °C Temperature Range.

Le deuxième étalon interne est une résistance tout-à-fait spéciale : Vishay VHP101.

VHP101 : 0,3 ppm/°C ; 10 ppm absolute window from +15 °C to +45 °C. Ultra-High Precision Hermetically Sealed Bulk Oil Filled Metal Foil Resistor with Zero TCR, no Humidity Effect and 0,005 % Tolerance Shelf Live Stability ± 2 ppm typical after at least 6 years.

L'étalon de référence de tension est monté sur une carte électronique enfichable. La référence de tension LTZ1000ACH n'a de sens qu'à partir du moment où elle est intégrée dans un circuit électronique dont la conception est parfaite.

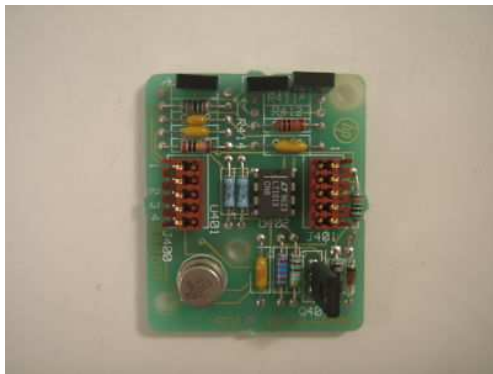


Fig. 3 : Carte électronique de référence de tension.
Source fig. 3 et 4 : EEVblog Electronics Community Forum.



Fig. 4 : Détail de la référence de tension.

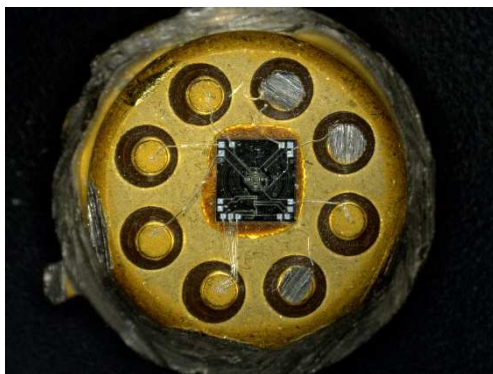


Fig. 5 : Vue interne du composant LTZ1000ACH.
Source fig. 5 et 6 : EEVblog Electronics Community Forum.

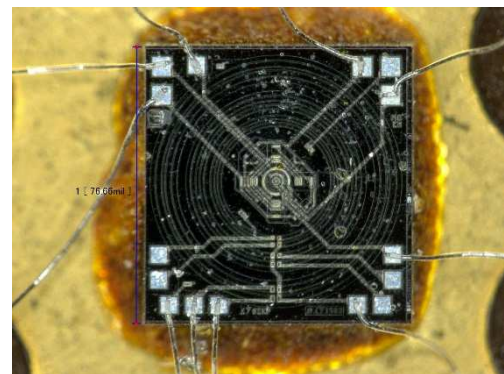


Fig. 6 : Vue du chip LTZ1000ACH.

Une résistance chauffante en forme de spirale est visible sur le substrat du chip de la référence de tension (voir fig. 6) afin de maintenir à une température constante l'élément actif de référence de tension. La version « ACH » du composant LTZ1000 est équipé en outre d'un dispositif de « suspension » thermomécanique interne entre le boîtier et le chip du composant afin d'améliorer l'isolation thermique de ce dernier par rapport à son boîtier et aussi vis-à-vis du monde extérieur environnant le composant. Ainsi, une fluctuation de la température auprès du boîtier du composant a une moindre incidence sur la stabilisation en température du chip de la référence de tension.

Il est à remarquer que quelques concepteurs indépendants ou de sociétés privées proposent une carte électronique de référence de tension, sur base entre autres du composant LTZ1000ACH, monté sur un circuit imprimé dont la géométrie (*layout*) renforce cette isolation thermique du composant par rapport à son environnement : les connexions au composant prennent la forme de pistes conductrices en fractions de spirales ou de serpentins pour allonger les distances du gradient de température au niveau des connexions pour diminuer ainsi les ponts thermiques entre le composant lui-même et la surface du circuit imprimé sur lequel il est intégré. Le substrat du circuit imprimé est en outre détourné aux abords des pistes de connexion au composant de manière à diminuer autant que possible la conductibilité thermique entre les zones de connexion et la surface environnante à celles-ci sur le circuit imprimé. Enfin, les abords des pistes des connexions détournées sont parfois encerclées de larges pistes devant agir comme une zone isotherme dans le but de réduire les écarts de températures entre les points de connexions au composant. Il s'agit ici de raffinements extrêmes dont le gain en efficacité reste à prouver.

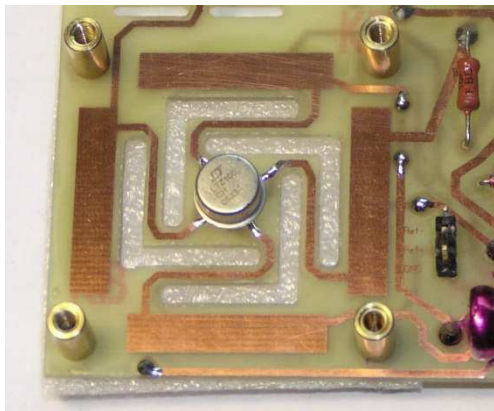


Fig. 7 : *Layout* spécial de circuit imprimé.

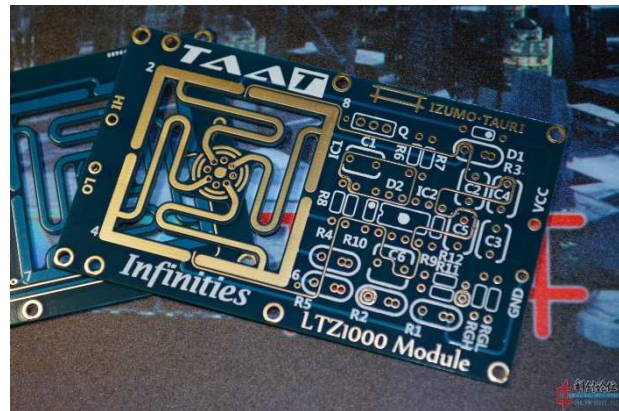


Fig. 8 : *Layout* similaire à celui de la fig. 7. Voir explications dans le texte ci-dessus.



Fig. 9 : *Layout* spécial de circuit imprimé (version similaire à celle de la figure 7).

La référence de tension (après vieillissement) est comparée en usine par rapport à une référence absolue constituée d'un réseau de jonctions de Josephson (voir encadré ci-dessous).

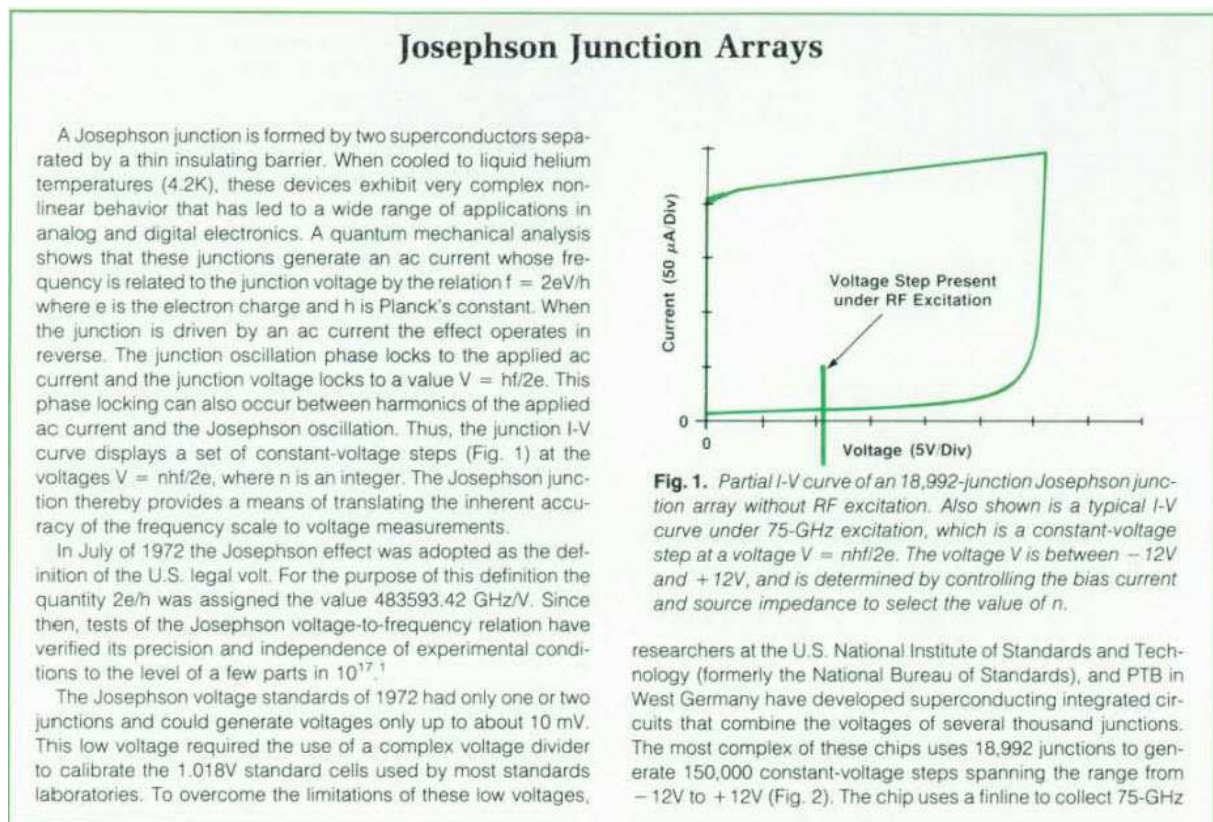


Fig. 10 : Bref explicatif sur le réseau de jonctions de Josephson dont la traduction en français se trouve ci-dessous. Source : HP Journal Avril 1989.

Une jonction de Josephson est constituée de deux supraconducteurs [par exemple du plomb ou du niobium] séparés par un substrat isolant très mince. Lorsqu'ils sont refroidis dans de l'hélium liquide à une température de 4,2 Kelvin (-268,8 °C), ces dispositifs à jonctions offrent un comportement très complexe à telle enseigne que ce phénomène a apporté une vaste gamme d'applications dans le domaine de l'électronique analogique et numérique. Une analyse selon la mécanique quantique montre que ces jonctions produisent un courant alternatif dont la fréquence est liée à la tension de jonction par la relation : $f = 2eV/h$ où e représente la charge d'un électron ($-1,602 \cdot 10^{-19}$ C), et h la constante de Planck ($6,626 \cdot 10^{-34}$ J . s).

Lorsque la jonction est excitée par un courant alternatif, l'effet obtenu agit aussi d'une manière réversible. La phase des oscillations de la jonction se verrouille selon le courant alternatif qui lui est appliqué et la tension récoltée aux bornes de la jonction se verrouille sur une valeur de $V = hf/2e$. Ce verrouillage de phase peut aussi se produire entre d'une part les harmoniques du courant alternatif appliqué et d'autre part les oscillations de la jonction de Josephson. Ainsi, la courbe de caractéristique courant – tension ($I - V$) montre un jeu de sauts à tension constante aux tensions $V = nhf/2e$ où n est un nombre entier (voir « figure 1 » de l'encadré ci-dessus).

La jonction de Josephson offre ainsi un moyen de traduire la précision inhérente à l'échelle de fréquence vers des mesures de tension.

Légende de la « figure 1 » de l'encadré ci-dessus :

Partie de la courbe $I - V$ d'une des 18.992 jonctions du réseau de jonctions de Josephson sans excitation radiofréquence. La figure montre aussi une courbe $I - V$ typique sous une excitation à 75 GHz où l'on peut observer un incrément de tension constante à une tension $V = nhf/2e$. La tension V est comprise entre -12 V et +12 V et est déterminée par le contrôle du courant de polarisation et par l'impédance de la source afin de choisir la valeur de n .

En juillet 1972, l'effet de la jonction de Josephson a été adopté en tant que définition légale du Volt aux États-Unis d'Amérique. Pour les besoins de cette définition, la grandeur à attribuer à l'expression $2e/h$ a reçu la valeur de 483.593,42 GHz/V. Depuis lors, des tests sur la relation tension – fréquence de la jonction de Josephson ont vérifié sa précision et son indépendance vis-à-vis des conditions expérimentales jusqu'à un niveau de quelques parties par 10^7 (voir réf. 1, quelques pages plus loin).

[Note de l'auteur : il s'agit ici d'avoir trouvé à cette époque un « invariant » de la définition du Volt. Pour la compréhension du lecteur et par analogie avec un autre « invariant », l'étalon du système international de l'unité de longueur, c'est-à-dire le mètre, n'est plus le barreau de platine conservé à Paris au bureau international des poids et mesures pour une question de mémoire historique, mais bien un « invariant » inaltérable et reproductible à n'importe quel endroit et à n'importe quelle époque sur notre planète (ou même dans l'espace). La définition du mètre est ainsi devenue, en 1960 à la 11^{ème} conférence des poids et mesures, l'équivalent de 1.650.763,73 longueurs d'ondes d'une radiation orangée propagée dans le vide et correspondant à l'émission d'un photon due à la transition d'un électron entre les couches de niveaux 2p₁₀ et 5d₅, radiation émise par l'isotope 86 du krypton. Cette définition a été revue et corrigée à la 17^{ème} conférence des poids et mesures en 1983 par l'intermédiaire de la définition de la vitesse de la lumière dans le vide absolu qui est de 299.792.458 m/s, ce qui a pour effet de réviser la valeur du mètre comme étant la distance parcourue par la lumière dans le vide en 1/299.792.458^{ème} de seconde ; cette définition étant plus précise que la définition précédente du mètre et constitue à présent un véritable invariant. Un invariant d'un étalon international de mesure s'appuie sur une constante physique universelle et non plus sur un élément matériel comme cela était le cas pour la définition du mètre sur base d'un rayonnement du krypton.

Il est à noter que la définition du Volt selon les propriétés de la jonction de Josephson ne constitue pas un invariant au sens strict et absolu du terme car il s'appuie sur un élément matériel. Toutefois, les conditions dans lesquelles on établit un étalon primaire du Volt sur le principe des propriétés de la jonction de Josephson sont bien plus reproductibles et offrent une mesure bien plus stable que les anciens étalons du Volt constitués entre autres de délicates piles de Weston à base de mercure et de cadmium. Plusieurs expériences empiriques sur les jonctions de Josephson ont montré que la méthode de mesure est indépendante de la conception du dispositif, de la matière, etc. et qu'aucun facteur de correction n'est nécessaire dans une application pratique quelle que soit la manière dont elle est mise en œuvre. Ces constatations conduisent à l'aspect « invariant » de ce type d'étalon. Lors de la 18^{ème} conférence internationale des poids et mesure en 1988, il a été recommandé d'utiliser pour constante de Josephson la valeur K_{J-90} exactement de 483.597,9 GHz/V. Cette nouvelle valeur est dès lors utilisée depuis le 1^{er} Janvier 1990 dans tous les laboratoires mondiaux d'étalons primaires.]

Les étalons de tension à jonctions de Josephson en 1972 n'étaient constitués que d'une seule ou de deux jonctions et ne pouvaient donc produire que des tensions avoisinant une valeur de 10 mV. Cette faible valeur de tension exigeait de recourir à l'utilisation de complexes diviseurs de tension pour le calibrage à partir de la tension de 1,018 V des cellules étalons utilisées par la plupart des laboratoires à cette époque.

[Note de l'auteur : on peut imaginer que ce type de diviseur complexe pouvait être du type « Kelvin-Varley » inventé par William Thomson Baron Kelvin et Cromwell Fleetwood Varley, et qui est constitué d'une série de ponts diviseurs à décades et en plusieurs cascades. Nous invitons le lecteur à se documenter sur ce sujet essentiel.]

Pour outrepasser les limitations dues à ces faibles tensions, le personnel de recherche de l'Institut National des Étalons et des Technologies des États-Unis d'Amérique (anciennement le Bureau National des Étalons) et le Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) [littéralement : Établissement Fédéral de Technique Physique] de la République Fédérale de l'Allemagne de l'Ouest ont développé des circuits intégrés à supraconducteurs qui combinent les tensions de plusieurs milliers de jonctions de Josephson. Le plus complexe de ces chips en circuits intégrés utilise 18.992 jonctions pour produire 150.000 incréments de tension constante s'étalant dans la gamme de -12 V à +12 V (voir « figure 2 » de l'encadré ci-dessous).

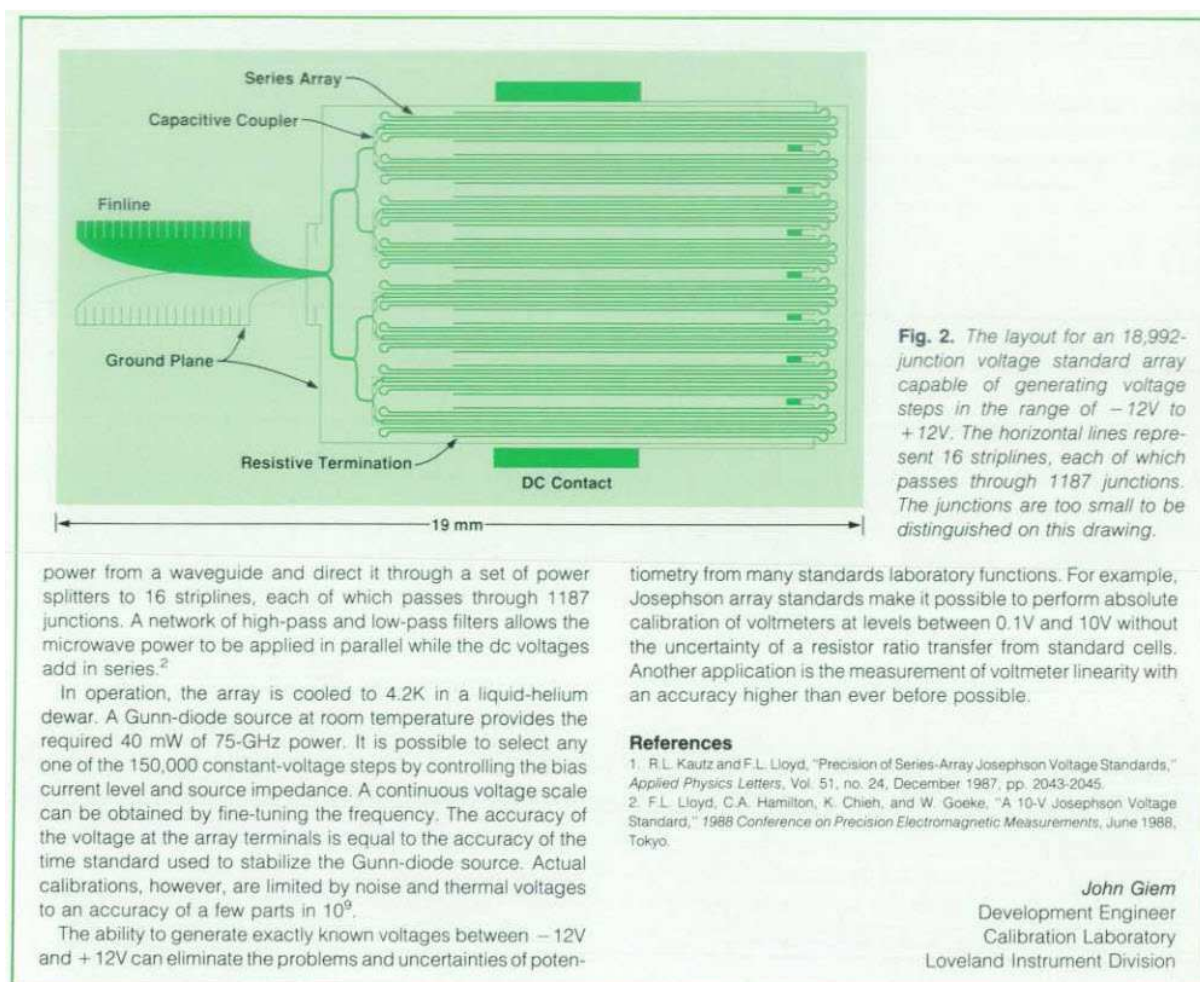


Fig. 11 : Suite de l'explicatif sur le réseau de jonctions de Josephson dont la traduction en français se trouve ci-dessous. Source : HP Journal Avril 1989.

Légende de la « figure 2 » de l'encadré ci-dessus :

Disposition (*layout*) pour un réseau étalon de tension à 18.992 jonctions capables de produire des incréments de tension de -12 V à +12 V. Les lignes horizontales représentent 16 lignes à micro-ruban (*stripline*) dont chacune d'elles passe au travers de 1187 jonctions. Les jonctions sont trop petites pour être perçues sur le dessin de cette figure.

Le chip utilise une ligne à ailettes pour collecter la puissance d'une source de 75 GHz à partir d'un guide d'ondes et redirige ce signal au travers d'un jeu de diviseurs de puissance pour l'acheminer vers 16 lignes à micro-ruban (*stripline*) dont chacune passe au travers de 1187 jonctions.

[Note de l'auteur : une ligne à ailettes (*finline*) est une ligne de transmission similaire à une ligne à fente (*slotline*) mais une ligne à ailettes est en outre entourée d'un guide d'ondes rectangulaire. La morphologie d'une telle ligne est proche de celle d'un guide d'ondes à doubles nervures (*double-ridged waveguide*). Un substrat diélectrique est métallisé de manière à constituer une ligne à fente et le tout est inséré verticalement dans un guide d'ondes (voir une vue en coupe à la fig. 12).

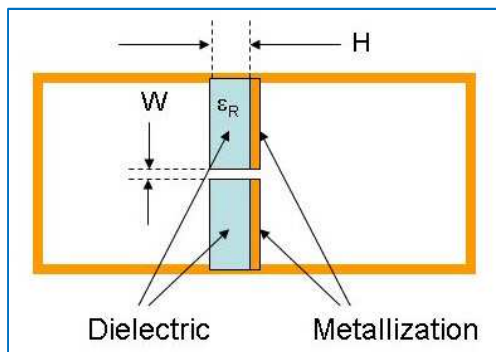


Fig. 12 : Vue en coupe transversale d'une ligne à ailettes. Source : Microwaves101.com.

Plusieurs formes de lignes à ailettes existent (voir fig. 13).

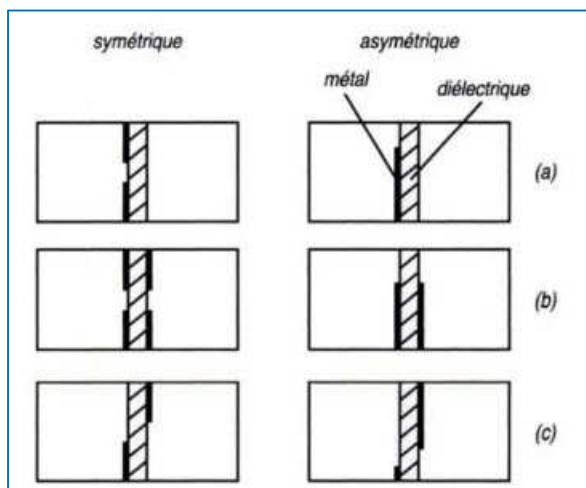


Fig. 13 : Diverses configurations de lignes à ailettes : (a) unilatérales, (b) bilatérales, (c) antipodales. Source : Bases de l'Ingénierie Micro-Onde, André Vander Vorst, Danielle Vanhoenacker-Janvier, Bibliothèque des universités – Physique, éditions De Boeck Université, p103 (ch. 1 : Lignes de transmission et résonateurs), ISSN 0779-9241, ISBN 2-8041-2126-7.

Ces lignes de transmission ont l'avantage d'offrir une large bande passante qui est supérieure à celle des guides d'ondes de section équivalente. En outre, la morphologie d'une ligne à ailettes se prête particulièrement bien pour accueillir des circuits électroniques montés sur un substrat planaire comme ceux qui sont sur circuits imprimés ou sur le substrat d'un chip de circuit intégré. On peut assimiler une ligne à ailettes à un guide d'ondes coplanaire (*Coplanar Waveguide, CPW*).

Pour raccorder un guide d'onde à une ligne micro-ruban (*stripline*), on utilise un élément de transition avec une ligne à ailettes (voir fig. 14).]

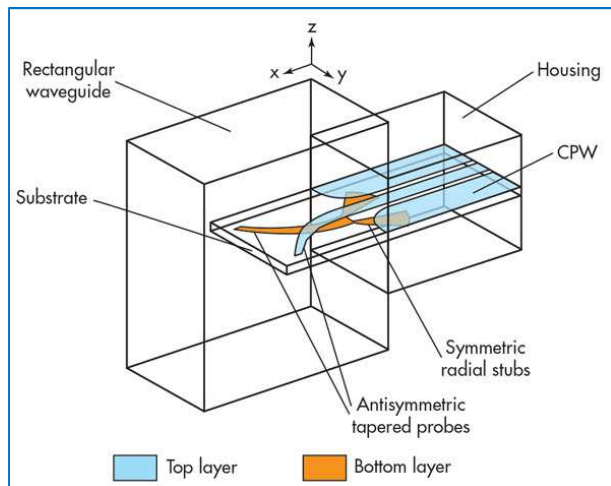


Fig. 14 : Structure de base d'une transition entre un guide d'onde rectangulaire, une ligne à ailettes et un guide d'onde coplanaire (CPW) pour pouvoir raccorder ensuite des lignes micro-ruban (*microstrip* ou *stripline*). Source Microwaves & RF.

Un réseau de filtres passe-haut et passe-bas permet d'appliquer la puissance du signal microonde en parallèle sur la jonction de Josephson alors que les tensions récoltées en courant continu s'additionnent en série (voir réf. 2, page suivante).

En fonctionnement opérationnel, le réseau de jonctions est refroidi à une température de 4,2 Kelvin par immersion dans de l'hélium liquide contenu dans un vase de Dewar (bouteille thermo). Une source avec un oscillateur à diode Gunn se situant à température ambiante fournit un signal de 40 mW à 75 GHz. Il est possible de sélectionner n'importe quel des 150.000 incréments à tension constante par un contrôle du niveau de l'intensité du courant et de l'impédance de la source. L'échelle de tension peut être obtenue selon une fonction continue (contrairement à une fonction par valeurs discrètes) en exerçant un réglage fin de la fréquence de la source. La précision de la tension aux bornes du réseau équivaut à la précision de l'étalon de base de temps qui stabilise la fréquence de l'oscillateur de la source à diode Gunn.

[Note de l'auteur : on peut imaginer que la fréquence de l'oscillateur à diode Gunn fasse partie d'une boucle à verrouillage de phase (*PLL*) qui est pilotée par un oscillateur de référence (base de temps), par exemple un oscillateur étalon au rubidium ou au césium ou encore un oscillateur étalon du type Maser à hydrogène (horloge atomique) ; Maser : *Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation*.]

Toutefois, les calibrages actuels sont limités par la tension de bruit et d'agitation thermique et sont de l'ordre de grandeur de quelques parties par 10^9 .

La capacité de produire des tensions exactes et connues entre -12 V et +12 V peut éliminer les problèmes d'incertitude des mesures dus aux dispositifs diviseurs de tension qui ont des fonctions d'étalons dans les laboratoires de mesure. Par exemple, les étalons à réseau de jonctions de Josephson rendent possible l'exécution des calibrages absolus des voltmètres à des niveaux de tensions comprises entre 0,1 V et 10 V sans l'incertitude du transfert d'un rapport de résistances à partir des piles étalons de tension. Une autre application est celle de la mesure de la linéarité d'un voltmètre avec un niveau de précision supérieur à ceux qui pouvaient être atteint précédemment.

Réf. 1 : R.L. Kautz et F.L. Lloyd, « Précision des étalons de tension à réseaux séries de Josephson. », lettres des physiques appliquées, Vol. 51, n° 24, Décembre 1987, pp. 2043-2045.

Réf. 2 : F.L. Lloyd, C.A. Hamilton, K Chieh et W. Goeke, « Un étalon de tension Josephson de 10 V. », Conférence de 1988 sur la précision des mesures en électromagnétisme, Juin 1988, Tokyo.

Encadrés des figures 10 et 11 : John Giem, Ingénieur de développement Hewlett-Packard, laboratoire de calibrage, Division Instrumentation de Loveland, Colorado, États-Unis.

Le deuxième étalon interne du multimètre HP 3458A est constitué d'une résistance étalon du constructeur Vishay et est du type VHP 101 de 40,000 k Ω . Cette résistance tout-à-fait spéciale est d'un modèle à ultra haute précision qui est constituée d'un mince ruban métallique fabriqué dans un alliage spécial. Le tout est scellé dans un boîtier métallique étanche rempli d'un bain d'huile. Ce type de résistance peut être considéré à coefficient de température nul : en effet, le coefficient de température de la résistance est de 0,3 ppm/°C et se situe dans une fenêtre absolue de valeur de résistance de 10 ppm de +15 °C à +45 °C. Ceci signifie pour une résistance de 40,000 k Ω que l'écart maximum absolu de résistance est de 400 m Ω (0,4 Ω) pour un écart de température de 30 °C (entre +15 °C et +45 °C). Il n'existe aucun effet de l'humidité sur la valeur de la résistance puisque l'élément résistif se situe dans un bain d'huile hermétiquement scellé. La tolérance typique sur la stabilité de dérive à long terme est de ± 2 ppm après au moins 6 ans. Autant dire que ces caractéristiques sont vraiment remarquables et très proches de celles des étalons de laboratoire de métrologie au point de vue de la stabilité à long terme.



Fig. 15 : Quelques exemplaires de résistance Vishay VHP101. Source image Internet.

La valeur de l'étalon interne de tension et celle de l'étalon interne de résistance du multimètre HP 3458A sont mesurées au laboratoire de métrologie du constructeur et ces données sont mémorisées dans une mémoire sécurisée du multimètre. Ces données sont mises à jour en principe tous les deux ans lors du calibrage de l'appareil confié au département de métrologie du constructeur (Keysight, Taft Avenue 900S, 80537 Loveland, Colorado, USA).

Pour l'exemplaire d'appareil de mesure que nous vous présentons et dont l'année de construction est de 1996, les valeurs des deux étalons internes qui ont été mises à jour pour la dernière fois le 14 Janvier 2012 sont les suivantes :

- étalon de tension : 7,17433752 V (précision donnée à 10 nV près) à une température interne à l'appareil de 35,6 °C ;
- étalon de résistance : 39,9987948 kΩ (précision donnée à 100 μΩ près) à une température interne de l'appareil de 35,6 °C.

Les données les plus précieuses mémorisées dans la mémoire CALRAM sont les 253 constantes de calibrage déterminées lors de l'étalonnage de l'appareil de mesure en usine. En particulier 53 d'entre elles sont critiques : il y a 6 constantes qui sont déterminées une seule fois à la sortie d'usine de l'appareil et il y a 47 constantes mises à jour lors du calibrage de l'appareil par le service de métrologie du constructeur. Il y a 200 constantes moins critiques : 3 constantes de température sont mises à jour lors d'un auto-calibrage et les 197 autres constantes restantes sont aussi mises à jour chaque fois que l'on procède à un auto-calibrage de l'appareil.

Ci-dessous, on observe sur l'estampille la dernière date de calibrage au 14.01.2012. Les dérives à long terme des étalons internes ont largement eu le temps de se stabiliser depuis 1996. Un appareil ancien se révèle donc plus stable qu'un neuf à ce point de vue.



Fig. 16 : Estampille de calibrage de l'instrument de mesure en laboratoire Agilent.

Les laboratoires de métrologie de HP Agilent Keysight disposent d'un système automatisé pour calibrer les multimètres numériques HP 3458A de leurs clients par rapport à des étalons secondaires. Seul un multimètre HP 3458A réputé stable par sélection chez le constructeur et appelé « étalon de référence » est calibré par rapport à des étalons primaires au Japon. Cet appareil étalon de référence est calibré tous les trois mois. La traçabilité des étalons primaires est assurée par le laboratoire national des étalons au Japon (ETL, Electrotechnical Laboratory, devenu NMIJ AIST, National Metrology Institute of Japan Advanced Industrial Science and Technology).

Deux types de calibrage peuvent être commandés au laboratoire de métrologie du constructeur. Le premier type consiste à envoyer l'appareil à calibrer dans un « service center » de la société du constructeur. Ce centre de service est équipé pour vérifier si tous les paramètres de l'appareil à « calibrer » se situent dans les spécifications du constructeur. Vous recevrez avec l'appareil en retour un simple certificat avec une liste des paramètres à côté desquels se trouvera la mention « pass » et il vous en aura coûté la modique somme de 500,00 dollars. Le deuxième type de calibrage s'effectue d'une manière bien plus poussée avec des étalons de référence dont la traçabilité est certifiée et avec un système de tests automatisés. Les constantes de calibrage sont mises à jour dans la mémoire sécurisée de l'appareil et vous recevrez un rapport avec toutes les mesures vraies comparées à celles affichées par votre appareil sur tous les calibres, échelles et types de mesure de votre appareil. Pour cette opération, il vous en coûtera une somme de l'ordre de 1350,00 à 1500,00 dollars.

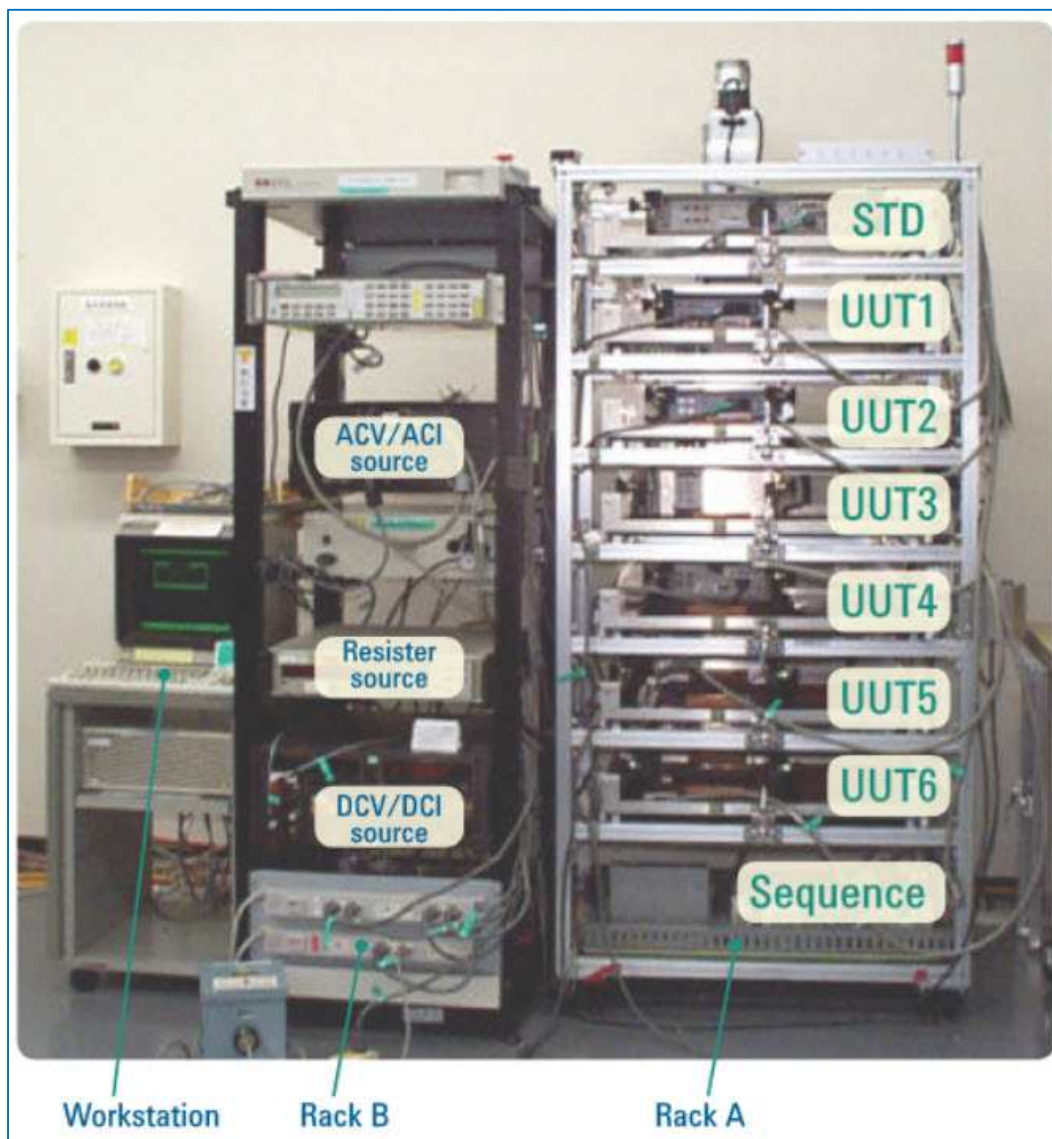


Fig. 17 : Système automatisé HP Agilent Keysight pour le calibrage de 6 multimètres numériques HP 3458A (UUT : *Unit Under Test* ; STD : HP 3458A étalon de référence calibré tous les 3 mois au Japon). Source Fully Automatic DMM Calibration System White Paper, Yuko Hirota, Yoshiaki Aoki and Masao Noguchi, Agilent Technologies Japan Ltd., 2000 NCSL Workshop and Symposium, Published in USA, October 14, 2012.

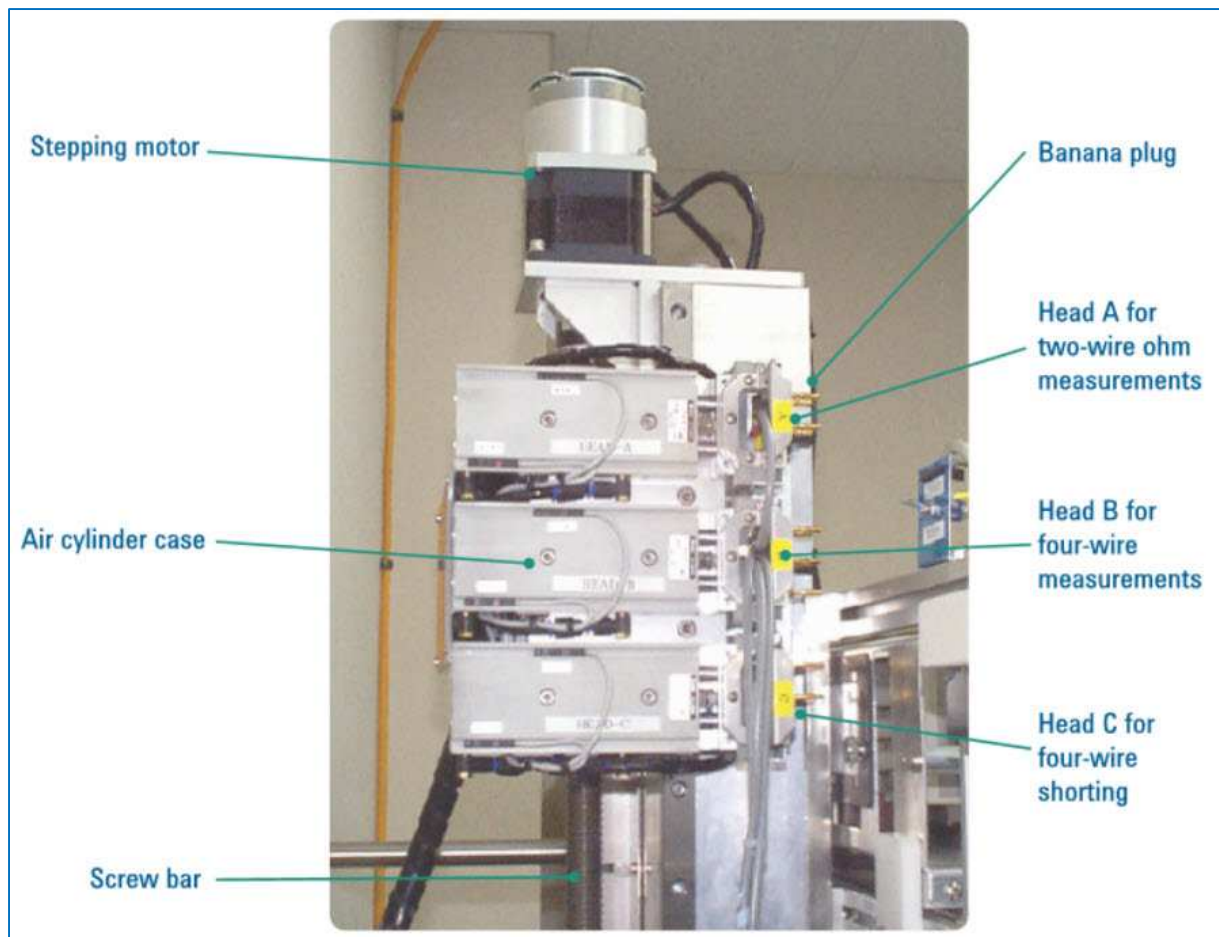


Fig. 18 : Système de calibrage des multimètres numériques HP 3458A. Détail du rack « A » où l'on peut observer un mécanisme avec une vis sans fin et un moteur pas à pas pour embrocher trois type de tête avec des connexions à fiches bananes dont l'alliage de recouvrement des contacts offre une tension de couple électro-galvanique la plus faible possible afin de ne pas perturber les mesures. Source Fully Automatic DMM Calibration System White Paper, Yuko Hirota, Tos hiaki Aoki and Masao Noguchi, Agilent Technologies Japan Ltd., 2000 NCSL Workshop and Symposium, Published in USA, October 14, 2012.

Toute cette description des calibrages des multimètres numériques HP 3458A ont pour but de vous faire prendre conscience que l'enregistrement et la sauvegarde des constantes de calibrage contenues dans la mémoire NVRAM « CALRAM » sont très précieuses et ont leur pesant d'or. Il y a lieu de vérifier le code de date des composants NVRAM de votre appareil et constater si la limite de longévité des piles au lithium de ces composants est atteinte ou même dépassée. Si tel est le cas, et que par chance votre appareil de mesure n'est pas encore devenu amnésique à l'heure où vous êtes en train de lire cet article, alors précipitez-vous afin d'enregistrer et de sauvegarder les constantes de calibrage de votre appareil. Ensuite, commandez des composants NVRAM neufs que vous programmerez grâce aux fichiers binaires sauvegardés. Et longue vie à votre instrument de mesure grâce à cette cure de jouvence. Hi 3x.

Relevé des 253 constantes de calibrage par interface GPIB

Afin d'éviter tout risque de perdre les données précieuses contenues dans le composant mémoire (253 constantes de calibrage), et tant que l'appareil de mesure satisfait à l'autotest et à l'auto-calibrage, il y a lieu d'accéder et de sauvegarder ces données par l'intermédiaire du bus d'interface GPIB (*General Purpose Interface Bus*).

En effet, certains composants NVRAM particulièrement vieillis et bien au-delà de leur durée de vie certifiée par le constructeur, ces NVRAM peuvent perdre leur contenu à la suite d'un choc thermique sur les connexions du composant (ce phénomène est rare mais pas nul). Enlever sans précautions ce composant qui est soudé (brasé) sur une carte électronique n'est donc pas exempt d'un certain risque. Il vaut mieux prendre les mesures conservatoires qui s'imposent.

Les données des constantes se situent dans une zone d'adresses mémoires bien précise et n'est accessible qu'en mode de lecture par la carte CPU (*Central Processing Unit*) de l'appareil de mesure. Pour accéder à la mémoire en mode d'écriture par l'interface GPIB, il faut alors manoeuvrer une protection *hardware* interne à l'appareil. Accéder à la zone mémoire par l'intermédiaire de l'interface GPIB ne comporte donc aucun risque pour les données qu'elle contient lorsque l'on s'abstient de désactiver la protection *hardware*.

Afin de communiquer avec l'instrument de mesure par des moyens informatiques modernes, on utilisera une interface GPIB-USB (GPIB : *General Purpose Interface Bus* ; USB : *Universal Serial Bus*). L'interface choisie est le convertisseur GPIB-USB de *Prologix, LLC*. L'application logicielle choisie permettant de piloter l'interface GPIB-USB est le *software* EZGPIB, Version 20121217, développé par un radioamateur allemand : Ulrich Bangert (DF6JB).



Fig. 19 : Interface GPIB-USB de Prologix, LLC.

Quelques constantes ont été relevées « manuellement » une par une afin de vérifier la validité de communication entre l'ordinateur portable utilisé et l'appareil de mesure. Cela a permis de vérifier aussi un adressage mémoire correct pour accéder aux constantes voulues. N'oubliez pas de paramétrer au départ l'instruction de fin de commande : « END ON ».

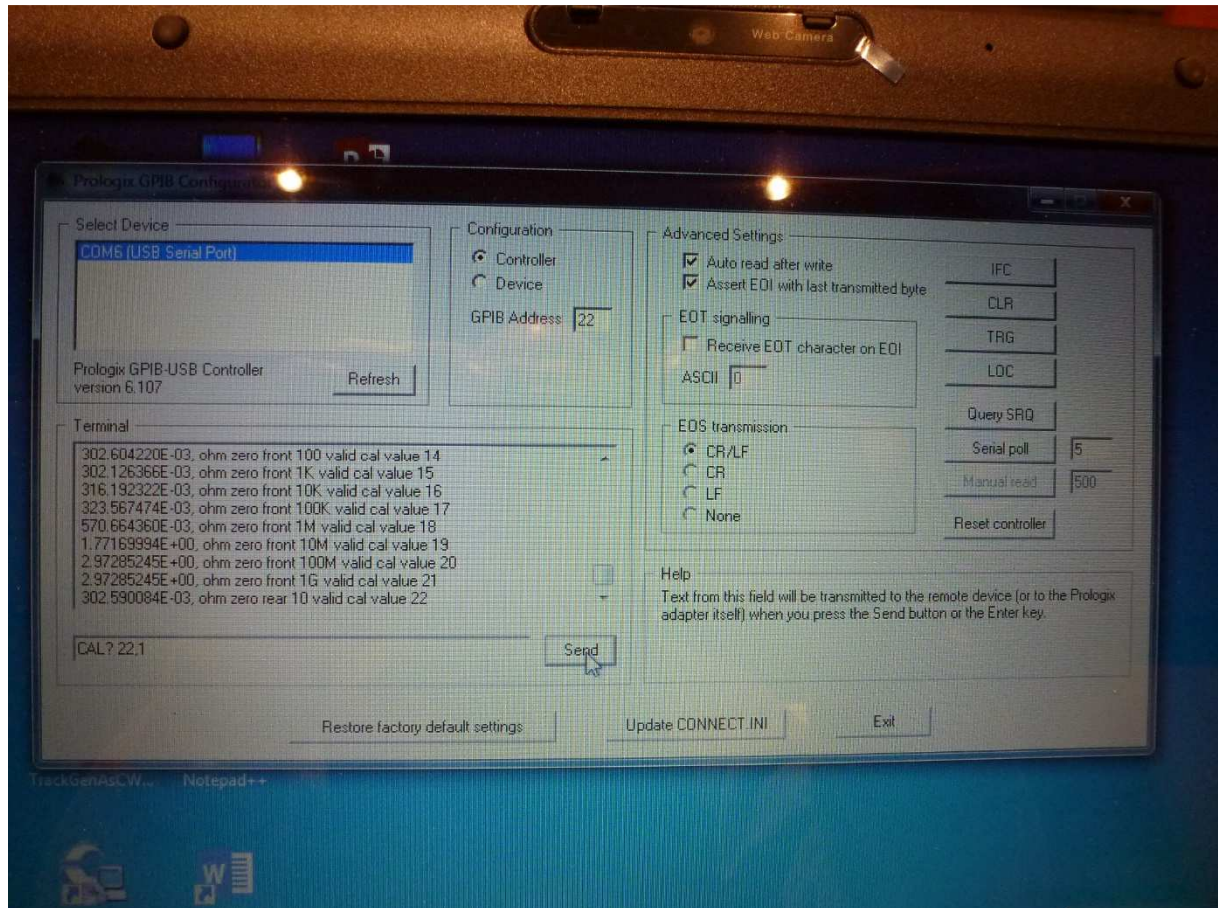


Fig. 20 : Application logicielle de communication avec l'interface GPIB-USB Prologix, LLC.

L'instruction GPIB permettant d'accéder en lecture aux constantes de calibrage se subdivise en quatre types de commande :

- CAL? xxx,1 : Actual Value (Last Calibration by Agilent, date 14 JAN 2012) ;
- CAL? xxx,0 : Initial (Nominal) Value ;
- CAL? xxx,3 : Upper Limit ;
- CAL? xxx,5 : Lower Limit.

Avec xxx = numéro de la constante de calibrage : $1 \leq xxx \leq 253$.

L'instruction GPIB permettant d'accéder en lecture à l'adresse mémoire où sont enregistrées les constantes de calibrage est : MREAD yyyyyy.

Avec yyyyyy = adresse mémoire : $393216 \leq yyyyyy \leq 397310$.

Il est à remarquer que les adresses sont des nombres pairs car ils représentent un pointeur d'adresse du premier des deux bytes du contenu de l'adresse mémoire.

Envoyer 253 commandes GPIB fois quatre (Actual, Initial, Upper, Lower) pour obtenir en retour la lecture de la valeur des constantes de calibrage est une opération qui ne s'effectue pas autant de fois manuellement que nécessaire !

Ainsi, l'application logicielle EZGPIB de Ulrich Bangert (DF6JB) permet de concevoir un programme en langage Pascal afin d'effectuer la lecture de toutes les valeurs d'une manière automatique et sans erreur de manipulation ou d'encodage de commande.

Ulrich Bangert propose une série d'exemple de programmation en langage Pascal afin d'illustrer les différentes fonctionnalités usuelles de programmation. Il n'existe pas de programme spécifique pour la lecture des constantes du multimètre numérique HP 3458A. En revanche, votre serviteur et auteur de cet article, ON4IJ (anciennement ON1KYM), a mis au point un tel programme pour réaliser cette tâche. Le code source du programme est reproduit ci-dessous avec la permission de son auteur. Le programme qui suit est prévu pour accéder aux constantes de calibrage par l'instruction MREAD du multimètre numérique. Ce programme peut être aisément adapté par vos soins pour lire ces constantes par l'instruction CAL? xxx,1 ($1 \leq xxx \leq 253$). Un *Timer* interne au programme permet d'espacer les 253 commandes GPIB d'une seconde entre chacune d'elles afin de bien laisser le temps au bus d'établir la communication et à l'ordinateur de bien enregistrer les données. Vous pourrez donc facilement suivre les opérations en temps réel.

Voir le code source du programme aux pages suivantes.

```

1 Program HP3458A_CALRAM_MREAD;

    // CALRAM reading with added file handling capabilities

2    // Created by Jean-François Flamée ON4IJ (ex ON1KYM)
    // and based on programming samples given by Ulrich
    // Bangert (DF6JB)

3 const filename='C:\EZGPIBData\HP3458A_MREAD_TestFile.Txt';

4   HP3458A_Address=22;    // GPIB Address of the device

5   TimeOut=2;            // TimeOut for instruction ezgpib_BusWaitForData

6 var answer:string;      // Declare variable of string type (Instrument ID)

7   command:string;       // GPIB command : MREAD (read CALRAM Memory)

8   s:string;             // GPIB result : CALRAM Memory Content

9   i:integer;            // Declare variable of integer type (MREAD Address)

10

11 procedure writefileheader;

12 begin;

13   ezgpib_filedelete(filename);          // If the file exists, delete it

14   ezgpib_fileclearbuffer;               // Clear the file's Dataline

15   ezgpib_fileaddtobuffer('MREAD at Address / Content'); // Add header to file

16   ezgpib_filewrite(filename);           // Write Dataline to file

17 end;

18

19 procedure writefiledata;

20 begin;

21   ezgpib_fileclearbuffer;

22   ezgpib_fileaddtobuffer(i);             // MREAD Address

23   ezgpib_fileaddtobuffer(s);             // CALRAM Memory content

24   ezgpib_filewrite(filename);

25 end;

26

```



```

27 procedure init;
28 begin;
29  ezgplib_busifc;           // Send a IFC to Prologix USB <-> GPIB converter
30  ezgplib_busaddressdevice(HP3458A_Address); // Address device (as a talker)
31  ezgplib_screenclear;      // Clear output console screen
32  EZGPIB_BusWriteData(HP3458A_Address,'END ON');
                                // Send instruction End of String (CRLF) to the device
33  EZGPIB_BusWriteData(HP3458A_Address,'ID?');
                                // Send Query command: instrument identification ?
34  if EZGPIB_BusWaitForData(HP3458A_Address,answer,TimeOut) then;
35  begin
36    EZGPIB_screengotoxy(1,1); // Setup the instrument Identification
37    EZGPIB_screenwrite('Instrument Identification : ');
38    EZGPIB_screengotoxy(30,1);
39    EZGPIB_screenwrite(answer);
40  end;
41  ezgplib_screengotoxy(1,3); // Setup the titles (Header on the screen)
42  ezgplib_screenwrite('Time Code');
43  ezgplib_screengotoxy(25,3);
44  ezgplib_screenwrite('MREAD Address');
45  ezgplib_screengotoxy(40,3);
46  ezgplib_screenwrite('GPIB raw data');
47  ezgplib_screengotoxy(60,3);
48  ezgplib_screenwrite('GPIB data stripped');
49  ezgplib_screengotoxy(1,4);
50  ezgplib_screenwrite('-----');

```

```

51 writefileheader;
52 EZGPIB_BusWriteData(HP3458A_Address,'TRIG HOLD');
           // GPIB Command to hold the trigger and to stop the measures
53 EZGPIB_BusWriteData(HP3458A_Address,'QFORMAT NUM');
           // GPIB Command Query responses sent to GPIB are numeric only
54 end;
55
56 procedure handleclock;
57 begin;
58   ezgpiб_timewaitformultipleof(1);           // Wait for the next second
59   ezgpiб_screengotoxy(1,5);
60   ezgpiб_screenwrite(ezgpiб_timenow);         // Time Code
61 end;
62
63 procedure dooutput;                           // Getting the results from GPIB
64 begin;
65   command:='MREAD ';
66   EZGPIB_ConvertAddToString(command,i);
           // Add Memory Address to string "command" i.e. "MREAD Address"
67   EZGPIB_BusWriteData(HP3458A_Address,command);
           // GPIB Command "MREAD ADDRESS"
68   if EZGPIB_BusWaitForData(HP3458A_Address,s,TimeOut) then;
69     begin;
70       ezgpiб_screengotoxy(25,5);
71       ezgpiб_screenwrite(i);                 // MREAD Address and put it on the screen
72       ezgpiб_screengotoxy(40,5);
73       ezgpiб_screenwrite(command);
           // Full writing of the GPIB Command "MREAD ADDRESS"

```

```

74  ezgpib_screengotoxy(60,5);
75  ezgpib_screenwrite (s);
                                     // Content in the CALRAM Memory at MREAD Address
76  end;
77 end;
78
79 procedure endmessage;
80 begin;
81  ezgpib_screengotoxy(1,6);
82  ezgpib_screenwriteln('Ready : CALRAM MREAD Full recorded');
                                     // It's been that long... better we tell it!
83 end;
84
85 begin                                // MAIN PROGRAM
86  init;
87  i:=393216;                          // Start address of the CALRAM memory
88  repeat
89    handleclock;                      // Wait for one second procedure
90    ezgpib_screengotoxy(25,5);
91    ezgpib_screenwrite(i);            // Mread Address put on screen
92    dooutput;
                                     // GPIB Command procedure MREAD ADDRESS returning content
93    writefiledata;                    // Write MREAD Address and Content to a file
94    i:=i+2;                           // Address incrementing (even number)
95  until i=397312;                     // End address +2 of the CALRAM memory (397310)
96  endmessage;                         // End message procedure, program successfully executed
97 end.

```

Voici un extrait des contenus mémoires obtenus par l'instruction MREAD :

MREAD at Address / Content

393216	16569
393218	-7239
393220	-30791
393222	-9799
393224	28345
393226	-5447
393228	8121
393230	14777
393232	16569
393234	7353
393236	-19783
393238	-31303
393240	-30535
393242	-26439
393244	28089
...	
...	
...	
397302	-71
397304	-71
397306	-71
397308	-71
397310	-71

Voici un extrait des contenus mémoires obtenus par l'instruction CAL? et organisés dans un tableur :

1	A		B		C		D		E		F		G	
	Const Num.		Cal Constant Description		Actual Cal Value		Act Cal Val Status		Initial Value		Lower Limit		Upper Limit	
2	1		40 kΩ reference A1R207 (VHP101)		39,9987948E+03		Valid		40,0000000E+03		39,9200000E+03		40,0800000E+03	
3	2		7V DC reference A9U401 (LTZ1000ACH)		7,17433752E+00		Valid		7,2000000E+00		7,0000000E+00		7,5000000E+00	
4	3		dcv zero front 100 mV		1,30307950E-06		Valid		0,0000000E+00		-15,1231925E-06		15,1231925E-06	
5	4		dcv zero rear 100 mV		1,09661531E-06		Valid		0,0000000E+00		-15,1231925E-06		15,1231925E-06	
6	5		dcv zero front 1 V		1,35130378E-06		Valid		0,0000000E+00		-15,1341750E-06		15,1341750E-06	
7	6		dcv zero rear 1 V		1,06138047E-06		Valid		0,0000000E+00		-15,1341750E-06		15,1341750E-06	
8	7		dcv zero front 10 V		1,09278021E-06		Valid		0,0000000E+00		-15,1388069E-06		15,1388069E-06	
9	8		dcv zero rear 10 V		610,119421E-09		Valid		0,0000000E+00		-15,1388069E-06		15,1388069E-06	
10	9		dcv zero front 100 V		-157,424719E-06		Valid		0,0000000E+00		-2,04767576E-03		2,04767576E-03	
11	10		dcv zero rear 100 V		-157,424719E-06		Valid		0,0000000E+00		-2,04767576E-03		2,04767576E-03	

: :
: :
: :

: :
: :
: :

243	242	rmsdc ratio		1,02599550E+00	Valid	1,0200000E+00	990,000000E-03	1,06000000E+00
244	243	sampdc ratio		1,00014526E+00	Valid	1,0000000E+00	999,000000E-03	1,00100000E+00
245	244	aci gain		1,00009005E+00	Valid	1,0000000E+00	995,000000E-03	1,00500000E+00
246	245	freq gain		1,00000467E+00	Valid	1,0000000E+00	999,875000E-03	1,00012500E+00
247	246	attenuator high frequency dac		69	Valid	70	0	255
248	247	amplifier high frequency dac 10 mV		25	Valid	70	0	255
249	248	amplifier high frequency dac 100 mV		25	Valid	70	0	255
250	249	amplifier high frequency dac 1 V		25	Valid	70	0	255
251	250	amplifier high frequency dac 10 V		33	Valid	70	0	255
252	251	amplifier high frequency dac 100 V		42	Valid	70	0	255
253	252	amplifier high frequency dac 1 kV		42	Valid	70	0	255
254	253	interpolator		13	Valid	16	0	31

Upgrade de la carte CPU avec une extension de mémoire RAM et remplacement des trois NVRAM

La carte CPU est équipée de sockets de circuits intégrés pouvant accueillir une extension de mémoire RAM (option 001 du HP 3458A). Ainsi, la capacité de mémoire de lecture des mesures est étendue de 75 k Bytes à 148 k Bytes. Ceci est utile pour un traitement postérieur des données traitées par des fonctions mathématiques dont dispose le multimètre numérique HP 3458A.



Fig. 21 : Carte CPU du multimètre numérique HP 3458A où sont visibles les emplacements de l'extension mémoire RAM, les trois NVRAM (Dallas) et l'EPROM du *firmware*.



Fig. 22 : Composants mémoires RAM (4 pièces et une de réserve).



Fig. 23 : Dépose des trois NVRAM.



Fig. 24 : Placement de l'EPROM du *firmware* sur soquet de circuit intégré.

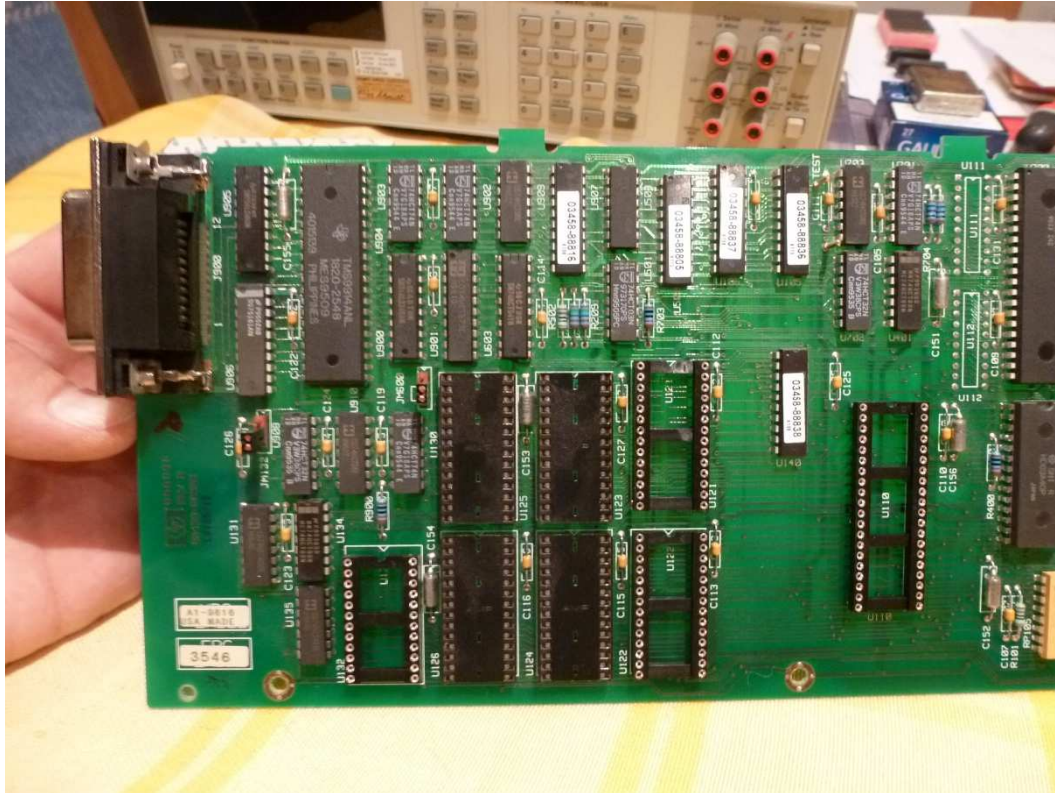


Fig. 25 : Placement des sockets de circuits intégrés pour l'insertion de nouveaux composants NVRAM.

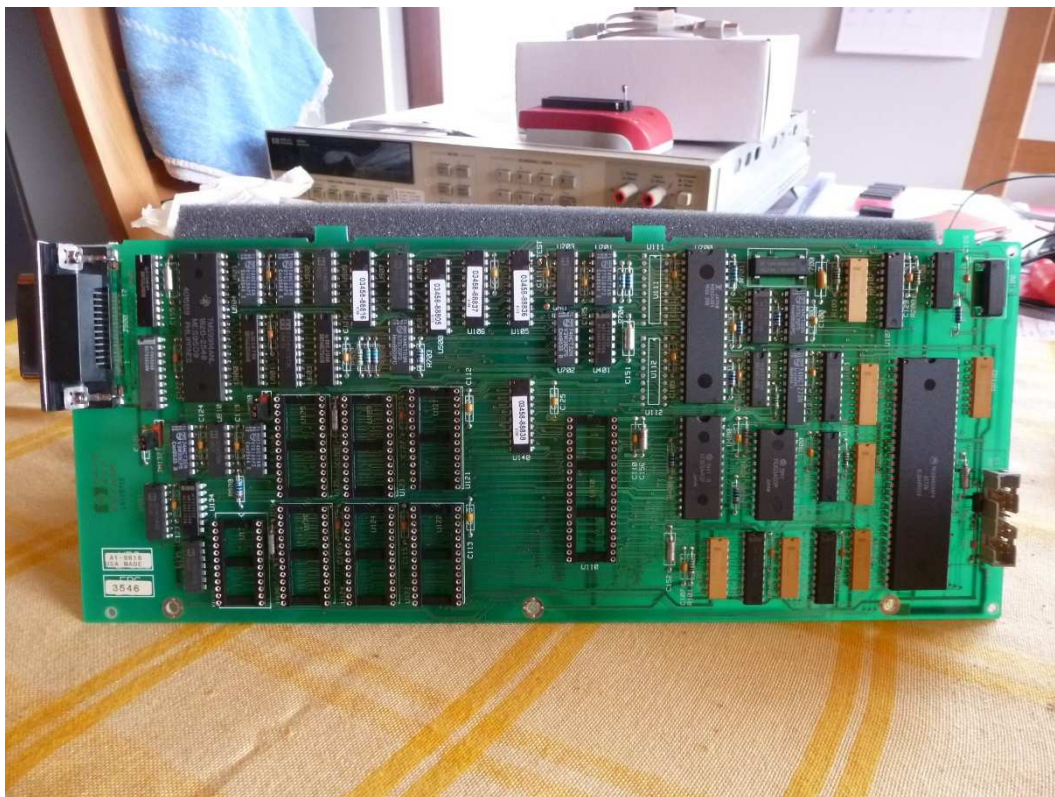


Fig. 26 : Remplacement des sockets pour l'insertion de l'extension de mémoire RAM.



Fig. 27 : Placement de l'extension de mémoire RAM sur leurs soquets appropriés.

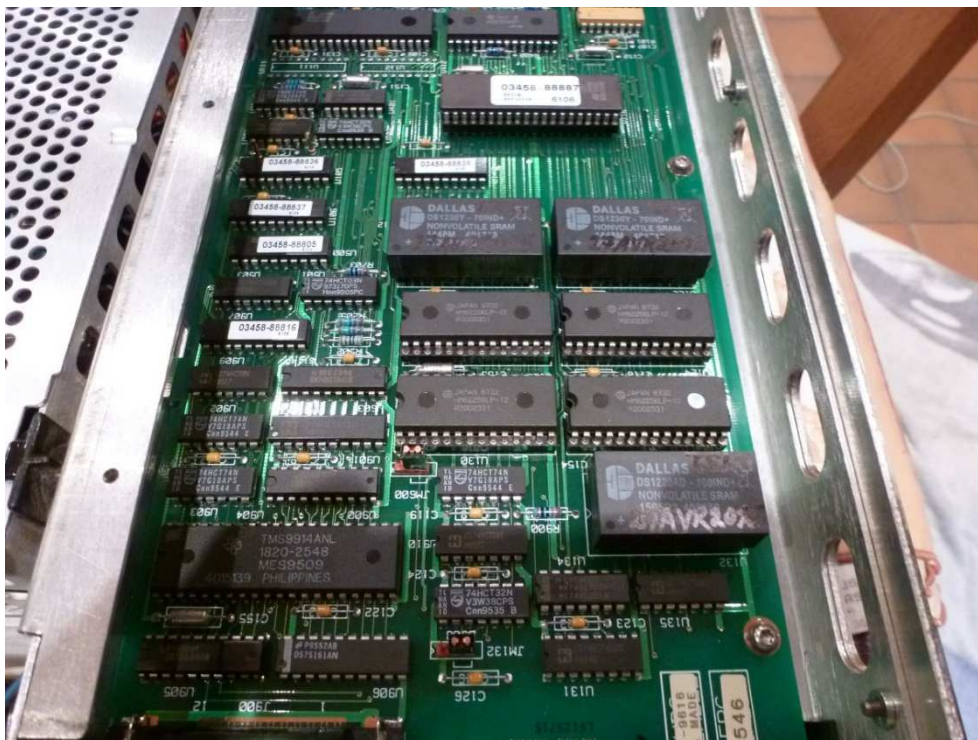


Fig. 28 : Carte CPU remplacée dans l'appareil avec les trois nouvelles NVRAM programmées par recopie des anciennes au moyen d'un programmeur Galep5 (27 AVR 2015). Les NVRAM sont garanties pendant 10 ans par le constructeur. Les NVRAM d'origine dataient de 1995 soit en 2015 de deux fois leur durée de vie théorique ! Selon les recommandations du constructeur Maxim (Dallas), la NVRAM DS1220Y-150 (150 ns) d'origine et obsolète a été substituée par une NVRAM DS1220AD-100IND+ (100 ns avec extension de la gamme de température) et les NVRAM DS1230Y-150 (150 ns) d'origine et obsolètes ont été substituées par des NVRAM DS1230Y-70IND+ (70 ns avec extension de la gamme de température).

Lorsque l'appareil de mesure est remis sous tension, on procède à l'activation d'un autotest.



Fig. 29 : Autotest réussi sans erreur après remplacement des NVRAM et à la remise sous tension de l'appareil de mesure.

La liaison GPIB-USB est rétablie et la commande d'interrogation d'option est envoyée. La réponse donne l'activation de l'option 001 : extension de mémoire RAM reconnue.

Le programme EZGPIB est à nouveau activé pour une nouvelle lecture de la zone mémoire des constantes de calibrage. Les résultats des lectures sont comparés et sont OK.

	A	B	C	D
1	MREAD	CONTENT	New MREAD	Status
2	393216	16569	16569	OK
3	393218	-7239	-7239	OK
4	393220	-30791	-30791	OK
5	393222	-9799	-9799	OK
6	393224	28345	28345	OK
7	393226	-5447	-5447	OK
8	393228	8121	8121	OK
9	393230	14777	14777	OK
10	393232	16569	16569	OK
11	393234	7353	7353	OK
12	393236	-19783	-19783	OK
13	393238	-31303	-31303	OK
14	393240	-30535	-30535	OK
15	393242	-26439	-26439	OK
16	393244	28089	28089	OK
17	393246	19641	19641	OK
18	393248	16313	16313	OK
19	393250	29113	29113	OK
20	393252	-71	-71	OK

... etc.

Enfin la fonction d'auto-calibrage est activée et se déroule entièrement avec succès.

L'appareil est donc sauvé de l'amnésie pour une nouvelle période garantie de 10 ans.

Lorsque vous aurez reconditionné votre appareil de mesure HP 3458A, nous vous conseillons de le placer dans un local tempéré, au sec, porte fermée et dans lequel il n'y a pas de passages fréquents. Ensuite, mettez l'appareil sous tension 24h/24 et 7j/7. Maintenant, il va falloir vous armer de patience pendant 6 semaines ! En effet, dans le manuel vous trouverez une recommandation où il y a lieu de placer l'appareil sous tension sans discontinuer pendant 6 semaines avant que la référence de tension soit à nouveau stabilisée et revienne dans les tolérances de ses spécifications et dans les mesures effectuées lors du dernier calibrage de l'appareil. Ceci est spécialement critique si l'appareil est resté hors tension sur une étagère pendant une période prolongée.

Après les premières 24 heures de mise sous tension, vous allez profiter de ces 6 semaines pour effectuer toutes les 24 heures un auto-calibrage et ensuite effectuer quelques commandes d'affichage de paramètres bien précis afin de suivre la dérive du paramètre de la valeur de gain en tension continue (CAL? 72) et de la température interne de l'appareil au moment où ce paramètre a été enregistré (CAL? 175). Vous noterez toutes ces valeurs dans un tableur pour suivre à la trace l'évolution de la stabilisation de la référence de tension. Un petit algorithme de calcul vous permettra de surveiller l'écart de gain après un auto-calibrage toutes les 24 heures et de constater si le taux d'écart reste dans les spécifications annoncées par le constructeur (0,4300). Voici un exemple ci-dessous où les paramètres ont été suivis pendant 164 jours.

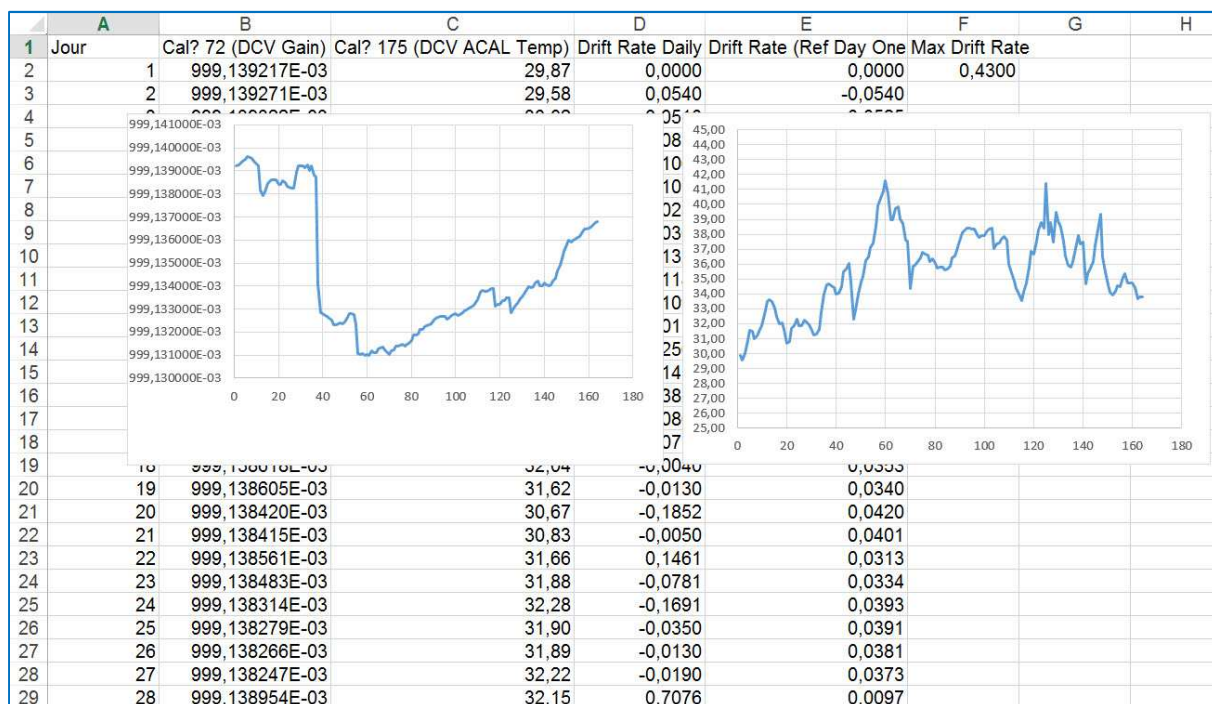


Fig. 30 : Tableau de surveillance de la dérive du gain DCV (reflet de la référence de tension interne) et de l'évolution de la température interne de l'appareil lors du relevé du gain DCV, cela pendant les 164 jours qui ont suivi la remise sous tension d'un multimètre numérique HP 3458A après une période de stockage prolongé et hors tension.

Ensuite, laissez votre appareil sous tension en permanence (la consommation n'est pas prohibitive). Ainsi, vous aurez un appareil ultra-stable et immédiatement disponible pour des mesures de précision. Vous pourrez ainsi mesurer par exemple la linéarité de vos montages à convertisseurs numérique/analogique ou bien d'amplificateurs à isolation galvanique ou encore vos convertisseurs tension/courant 0...10 V ou convertisseurs courant/tension 0...20 mA. Ce sera aussi l'occasion de révéifier périodiquement vos multimètres portables de chantier ou tout autre appareil de mesure de tension, de courant ou de résistance.

Cet appareil est d'une précision redoutable et vous permettra d'avoir une totale confiance en un appareil de mesure de référence. N'oubliez pas qu'il y a une large différence entre ce que l'on mesure et ce que l'on croit mesurer. Veillez entre autres à vous méfier des couples électro-galvaniques présents au niveau des connexions entre l'appareil de mesure et l'endroit où vous voulez effectuer une mesure. En effet, mesurer une tension continue avec une précision en dessous du micro Volt restera toujours un véritable défi pour l'instrumentiste.

Dernier conseil : pendant les périodes où vous ne devez pas effectuer de lecture, activez la fonction DISP OFF pour épargner l'afficheur. Il suffira de réactiver la fonction DISP ON au moment des manipulations sur l'appareil pour effectuer vos mesures.