

# nouvelle donne dans les instruments de test et mesure

## L'innovation des petits acteurs



Stuart Cording (Elektor)

Il n'y a rien de plus rassurant que de voir un laboratoire rempli d'instruments de test et mesure. C'est un indice de sérieux et de compétence, mais le coût des outils classiques peut être prohibitif pour les start-ups, petites entreprises ou étudiants. Alors, que fait-on pour que tous puissent accéder à la mesure ?

En parcourant un salon de l'électronique tel qu'*electronica* ou *embedded world*, on s'enthousiasme aisément pour les équipements de test et mesure (T&M) alignés par les principaux fournisseurs mondiaux. Écrans couleur, boutons dociles, et molettes à retour haptique rassurant lorsqu'on les tourne, tout cela respire la qualité, la fiabilité et la justesse de mesure. Mais à quel prix ? Chez les grands noms, comme Rohde & Schwarz ou Keysight, même les oscilloscopes d'entrée de gamme à bande passante de 50 MHz tutoient déjà les 1000 €. Pour les générateurs de signaux et analyseurs de spectre, c'est 2000 €. Et la mobilité, par ex. avec un ordinateur de poche, se paie beaucoup plus cher.

La pression sur les budgets est vite évidente lorsqu'il s'agit d'équiper un laboratoire. Elle est encore plus forte pour les établissements d'enseignement ou les laboratoires de R&D. Alors qu'un étudiant ou un ingénieur peut passer sa journée à la paillasse, les appareils de T&M ne sont pas tous dans ce cas. Certains sont utilisés à longueur de journée, mais d'autres seulement une fois par semaine. Oscilloscopes et analyseurs de spectre sont encombrants, ce qui les rend peu pratiques à déplacer. Les applications étant toujours plus complexes, l'équipement de T&M est aussi souvent intégré aux systèmes d'automatisation des tests pendant le développement. Dans ce cas, un outil donné peut être bloqué et donc inaccessible pendant des jours ou des semaines.

Les fournisseurs classiques d'instruments de T&M sont aujourd'hui bousculés par les acteurs du renouveau. Des start-ups et des anciens de l'industrie électronique, exaspérés par la complexité des outils classiques, l'esthétique austère et les interfaces utilisateur absconnes, proposent des alternatives efficaces offrant des capacités de pointe pour une fraction du prix d'une alternative de table. Les ingénieurs commencent à équiper leur laboratoire (et les étudiants à apprendre) autrement.

### Le laboratoire en boîte

Jusque-là, l'acquisition d'un ensemble (oscilloscope, alimentation, analyseur de spectre, générateur de formes d'onde et voltmètre) nécessitait un budget élevé et un établi robuste, chaque élément étant fourni isolé. Au fil des ans, poussés par l'expansion des systèmes de test automatisés, des fournisseurs tels que National Instruments ont développé des solutions matérielles modulaires de T&M, par ex. PXI. Celles-ci comprennent un châssis dans lequel on insère diverses cartes de mesure, permettant la création de solutions d'instrumentation personnalisées. Mais qu'arriverait-il si le matériel restait le même et que seul le logiciel définissait la capacité de mesure ?

Cette question, l'équipe de cinq fondateurs de *Liquid Instruments*, basée au nord de *San Diego* (Californie), se l'est posée. Ce groupe

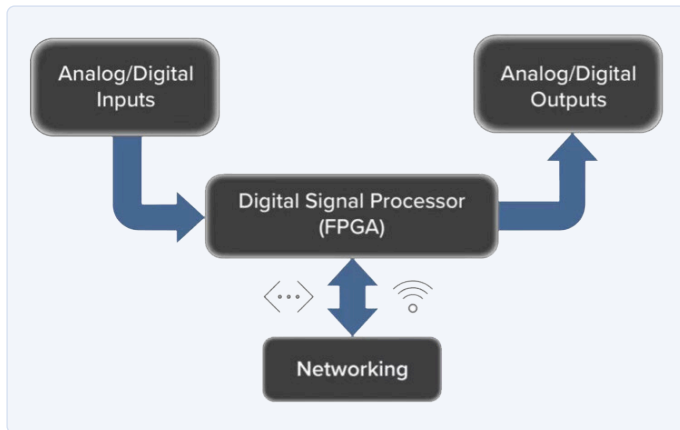


Figure 1. Moku, famille d'instruments sur puce (IoC), propose une partie analogique très performante couplée à un FPGA reconfigurable pour mettre en œuvre les différentes capacités prises en charge. (Source : Liquid Instruments)



Figure 2. Moku:Go est l'instrument de test et de mesure portable d'entrée de gamme de Liquid Instruments. (Source : Liquid Instruments)

de scientifiques ayant participé à des expériences de physique et à des recherches sur les ondes gravitationnelles trouvait que l'offre en matière de T&M était peu flexible et manquait d'évolutivité. La disponibilité de puissants systèmes sur puce (SoC) et de réseaux de portes programmables sur le terrain (FPGA) leur donna l'idée de développer une plateforme matérielle commune utilisable de multiples façons (fig. 1). Leur objectif devint : les utilisateurs doivent pouvoir construire des solutions de mesure que l'équipe n'avait pas imaginées.

Et c'est ainsi que la gamme Moku de solutions T&M définies par logiciel vit le jour. En entrée de gamme, il y a *Moku:Go* (fig. 2), une plateforme d'ingénierie conçue pour se glisser facilement dans le sac d'un étudiant ou d'un ingénieur. Mesurant à peine 24 × 13 cm et épaisse de 3,8 cm, elle comporte deux voies d'entrée analogiques de 12 bits et 125 Méc/s, offre une BP de 30 MHz et une plage d'entrée de  $\pm 25$  V. Côté sorties, deux sont analogiques (12 bits, 125 Méc/s avec une BP de 20 MHz et une plage de  $\pm 5$  V) et 16 sont des voies d'E/S numériques. Quatre sorties d'alimentation délivrant selon le modèle entre 150 mA et 1 A sous  $-5$  V à 16 V, complètent les caractéristiques de l'outil.

### À vos tablettes !

À l'instar des outils de ce genre, l'interface utilisateur graphique (IUG) s'appuie sur un matériel externe. Les ordinateurs portables et les PC accèdent d'habitude à l'IUG via un navigateur. Ici, Moku est optimisé pour l'écran tactile d'un iPad. Le Wi-Fi assure la connectivité des Moku:Go Mo et M1, mais le M2 dispose aussi d'un port Ethernet. Grâce au soin apporté à sa conception, l'IUG est propre et intuitive.

Prêt à l'emploi, Moku:Go [1] offre 11 instruments, dont un oscilloscope, des générateurs de formes d'ondes standard et arbitraires, un analyseur logique et un analyseur de spectre. En outre, il existe des instruments avancés, tels qu'un constructeur de filtres à réponse impulsionnelle finie, un enregistreur de données, un ampli à

verrouillage de 20 MHz et un contrôleur PID multi E/S [2]. Ce dernier instrument met en évidence la capacité de ce type d'équipement à implémenter, configurer et contrôler jusqu'à deux contrôleurs PID. Le tracé de Bode interactif offre un contrôle en temps réel et des configurations de constructeurs PID à sections multiples, donnant un superbe aperçu de son fonctionnement aux fabricants de systèmes de contrôle et aux enseignants.

Michi Yoneda, membre de l'équipe de Liquid Instruments, indique que la gamme Moku est à l'aise dans les laboratoires universitaires et les instituts de recherche. Elle y est utilisée partout : photonique, LiDAR, spectroscopie et même informatique quantique. Sa capacité à changer d'instrument à la volée et son interface programmable en font une alternative précieuse aux coûteux équipements de T&M classiques. Chacun peut aussi développer ses propres instruments, même sans accès aux outils classiques de développement FPGA. Toute personne maîtrisant le langage VHDL peut créer le flux binaire requis via leur plateforme *Cloud Compile* [3]. Pour l'instant, seul *Moku:Pro* bénéficie de cette fonction, mais elle pourrait être étendue à Moku:Go.

La précision de ces outils est une préoccupation. Certes, ils permettent d'obtenir une vue d'ensemble des signaux sur un circuit imprimé (PCB), mais puis-je garantir à un client la justesse de la valeur mesurée ? Yoneda m'assure que, oui, c'est possible, grâce à un tiers qui propose un étalonnage accompagné d'un certificat.

### De la frustration à l'analyseur logique

Il n'y a rien de plus irritant que de s'apercevoir qu'il faut acquérir une licence une fois que l'on a installé ses sondes sur une interface série et trouvé un décodeur approprié sur son analyseur logique ! Après tout, le matériel peut intrinsèquement faire le travail, et l'outil est déjà payé. D'autres fois, c'est simplement l'absence d'instruments de test abordables qui conduit à la création d'entreprises comme *Saleae*, le développeur et fabricant d'analyseurs logiques basés sur USB.



Figure 3. Logic 8, entrée de gamme de Saleae, offre huit voies de capture de signaux mixtes dans un minuscule boîtier d'aluminium usiné d'à peine 5,3 cm de côté. (Source : Saleae)

Mark Garrison, vice-président de Saleae et chargé de l'ingénierie, explique qu'un travail de son frère sur un système embarqué fut le déclencheur du développement de leurs outils. À l'époque, aucun analyseur logique de table n'était viable financièrement, même d'occasion sur eBay, alors il s'est procuré un appareil basé sur USB. Le problème fut que cet outil nécessita encore plus de débogage que le système qu'il construisait.

Au fil des ans, leur gamme d'analyseurs logiques s'est développée, et désormais, c'est le Logic 8 (fig. 3) qui débute leur offre [4]. Il a huit entrées de signaux mixtes enregistrant des signaux numériques, analogiques ou les deux. La vitesse d'échantillonnage numérique

de 100 Méc/s et analogique de 10 Méc/s couvre la majorité des besoins des laboratoires de recherche et d'enseignement.

### Changez en douceur

Leur logiciel Logic 2 (fig. 4), l'interface utilisateur de l'outil qui fonctionne sous Windows, Linux et Mac OSX est en tout point remarquable. L'IUG est intuitive, permet d'activer et de désactiver les voies, de les nommer, et le codage couleur utilisé reproduit celui des câbles de connexion de l'unité. Le décodage des protocoles série standard est pris en charge : I<sup>2</sup>C, SPI, UART, MIDI, Modbus RTU, et même l'interface HD44780 utilisée sur les LCD alphanumériques. Le dispositif est aussi fréquemment utilisé pour l'enregistrement de données, par les développeurs utilisant l'API Python.

Cependant, comparée à celle d'un instrument de table classique, la facilité d'examen des signaux dans le logiciel est bluffante. M. Garrison explique que l'interface utilisateur de Google Maps fut une source d'inspiration lors du développement initial. L'IUG localise facilement des transitions consécutives dans le flux de données, même très espacées. Une pichenette à droite (ou à gauche) sur le flux de données fait défiler la sortie logique qui ralentit ensuite jusqu'à l'arrêt, à moins de la bloquer avant. C'est une amélioration considérable sur les boutons classiques.

Aujourd'hui, environ 80 % des achats sont le fait d'équipes d'ingénieurs, dont beaucoup apprécient la capture de données à haute résolution de ce modeste appareil. Le reste de la clientèle se partage entre fabricants et passionnés, enseignants et jeunes entreprises, tous heureux d'utiliser un outil de ce calibre aussi abordable. Leur actif forum d'utilisateurs reflète cela [5] : les outils et les questions

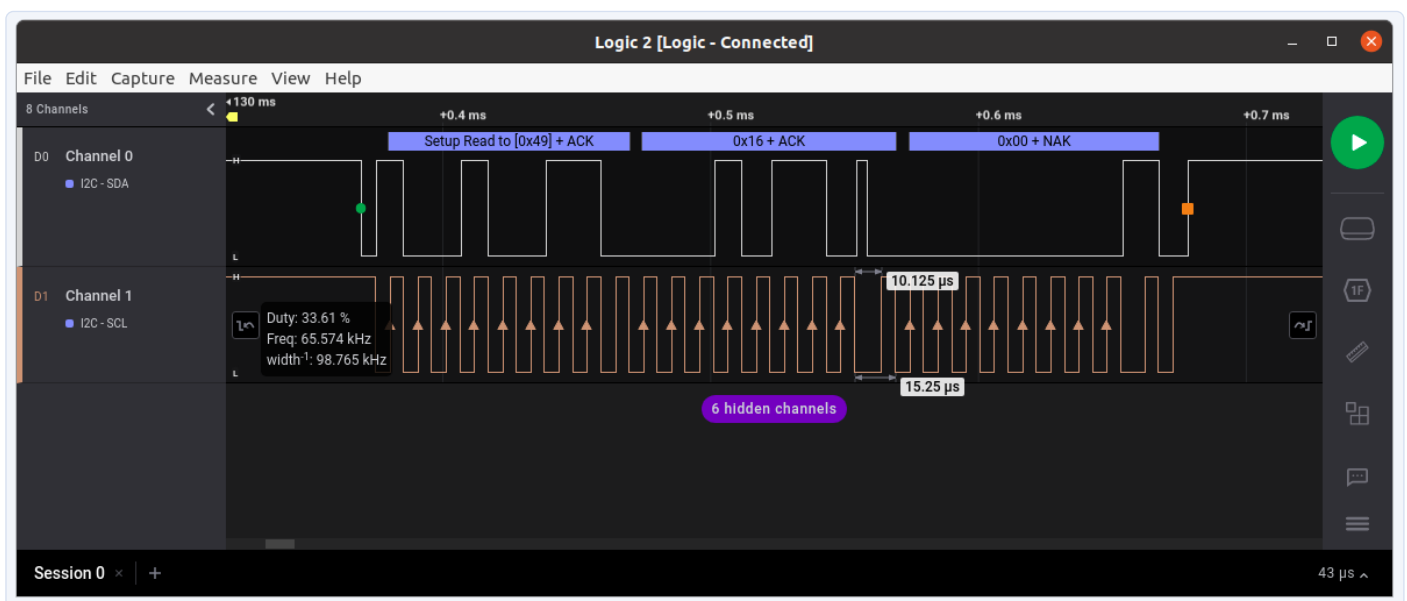


Figure 4. Logic 2 constitue l'interface utilisateur des outils de Saleae. Exceptionnellement facile à utiliser, elle localise très vite les transitions et décode les interfaces série.

des développeurs favorisent l'entraide et le soutien mutuel. Les membres créent aussi des extensions et une série de paquets basés sur Python analysant les données capturées et fournissant par ex. la gigue du signal, ou un 2<sup>e</sup> niveau d'analyse des flux de données décodés.

### Un labo dans votre cartable

Si le corps enseignant a fait un excellent travail pour tirer parti de la vogue du tout numérique en formant programmeurs et développeurs d'applications embarquées, l'enthousiasme des étudiants pour l'analogique a fortement diminué. C'est ce qu'a déploré Robin Getz, directeur de l'ingénierie des systèmes chez Analog Devices, en discutant avec un professeur du MIT il y a dix ans. À l'époque, seuls 2% des étudiants en ingénierie s'intéressaient à l'analogique, les autres plébiscitaient les logiciels et le numérique. Cette constatation déboucha sur le développement de plateformes de *modules d'apprentissage actif* à faible coût facilitant l'accès aux technologies analogiques et RF.

En entrée de gamme, l'ADALM1000 [6] (surnommé M1K) est un outil autonome permettant aux étudiants d'explorer les relations courant-tension-impédance (fig. 5). Alimenté et configuré par USB, il offre deux voies de génération de signaux et de mesure de tension et courant. Ses oscilloscopes et générateurs de fonctions à 16 bits-100 kéch/s sont plus que suffisants pour l'étude de base et intermédiaire des concepts analogiques. Le logiciel PixelPulse 2 [7], simple d'utilisation et à code source ouvert, fonctionne sous Windows et Mac OSX. Les utilisateurs de Linux peuvent construire l'application eux-mêmes. Le progiciel ALICE [8] fournit une interface utilisateur plus classique.

L'ADALM2000 [9] (de son petit nom M2K) hausse les performances d'un cran (fig. 6). Deux alimentations variables (0 à  $\pm 5$  V à 50 mA) secondent deux entrées analogiques (100 Méc/s, 25 MHz) et deux sorties analogiques (150 Méc/s, 30 MHz). Il y a aussi 16 E/S numériques et deux déclencheurs numériques. Cet outil utilise Scopy [10], une IUG instrumentale complète qui fonctionne sous Windows, Mac OSX et Linux (fig. 7). Le logiciel fonctionne aussi sur Android, un adaptateur OTG connectant l'outil à une tablette.

### Mesure sur ordinateur portable et tablette

La prise en charge des tablettes Android est voulue, déclare M. Getz : « Aux États-Unis, les étudiants exploitent notre matériel de labo sur leur ordinateur portable tout en utilisant M2K sur leur tablette. À contrario, en Asie, les étudiants n'ont en général qu'une tablette ». Les étudiants disposent d'un vaste matériel pédagogique sur le site du programme universitaire d'ingénierie [11].



Figure 5. L'ADALM1000 (MK1) offre aux étudiants en génie électrique un labo complet en cité universitaire ou à domicile. (Source : Analog Devices)



Figure 6. Désormais outil standard des FAE d'Analog Device, l'ADALM2000 (MK2) rassemble oscilloscope, générateur de fonctions, analyseur logique et générateur de motifs. (Source : Analog Devices)



Figure 7. L'interface graphique est essentielle au succès de tout outil logiciel de mesure. Scopy offre un accès clair aux fonctions et paramètres sur tout système d'exploitation et sur tablette Android.



Au lieu de choisir le programme d'un seul institut d'enseignement, l'équipe a choisi de créer un amalgame de tous les supports de cours utilisés par les instituts pour former les élèves ingénieurs à l'électronique et aux composants de base. Aux États-Unis, les étudiants utilisant les outils d'Analog Devices effectuent généralement le travail de labo à la maison puis discutent des résultats et de toute anomalie avec les enseignants à l'école ou l'université. Ils peuvent aussi utiliser LTspice [12] pour comparer les simulations aux résultats. Cela permet de poursuivre l'apprentissage malgré les restrictions dues à la Covid. Mais la question de savoir quand les élèves apprendront à utiliser un banc de test « approprié » demeure. « Les bancs de test sont toujours nécessaires à un moment donné », déclare M. Getz. « Nous pensons fournir des clés de compréhension des processus de mesure et de test ».

Les étudiants passent aussi plus de temps à étudier le matériel. Ceux qui ont utilisé le M1K et un ensemble de composants fournis par Analog Devices à l'université de Limerick, en Irlande, ont noté que les étudiants s'engageaient plus loin et passaient plus de temps à valider les concepts abordés en cours. Le professeur Hayes, directeur de la section d'ingénierie électronique et informatique, a déclaré que les étudiants devenaient des experts plus vite en « apprenant à recréer leur environnement de laboratoire » pour faire les travaux pratiques [13].

### Le test et la mesure ont-ils changé durablement ?

Les instruments de T&M de table ne sont pas près de disparaître. L'industrie a besoin d'équipements standard, étalonnés et commercialisés qui s'intègrent facilement aux outils de programmation courants comme LabVIEW de National Instruments ou MATLAB de MathWorks. Mais, question enseignement, prix et portabilité, les outils proposés par ces acteurs disruptifs offrent un univers de capacités de mesure de qualité à une fraction du coût proposé par les fournisseurs d'instruments de T&M équivalents. Getz, d'Analog Device, souligne que ses ingénieurs d'application sur site (FAE) sont tous équipés de leurs outils. Tant qu'ils restent dans les limites

de l'outil en assistant les clients sur le terrain, ils peuvent relever une multitude de défis de conception. Et, fait-il remarquer, un menuisier n'a pas qu'un marteau et une scie, alors pourquoi les FAE devraient-ils se contenter d'un équipement de test sur banc ?

220201-04 – VF : Yves Georges

### Des questions, des commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur (stuart.cording@elektor.com) ou contactez Elektor (redaction@elektor.fr).



### PRODUITS

- > **Oscilloscope USB PicoScope 2204A (10 MHz)**  
www.elektor.fr/17303
- > **SQ200 - analyseur logique et générateur de signaux de ScanaQuad**  
www.elektor.fr/18103



### LIENS (tous en anglais)

- [1] Page du Moku:Go : <https://bit.ly/35tKNmz>
- [2] « Multiple-Input Multiple-Output PID Controller », Liquid Instruments : <https://bit.ly/3NF3Zin>
- [3] « Moku Cloud Compile : A getting Started Guide », Liquid Instruments, Sept. 2021 : <https://bit.ly/35tWR7m>
- [4] Page des analyseurs logiques Saleae : <https://bit.ly/3qWyt62>
- [5] Forum des utilisateurs Saleae : <https://bit.ly/376dAyf>
- [6] Page de l'ADALM1000 : <https://bit.ly/3tXoFdE>
- [7] Logiciel Pixelpulse : <https://bit.ly/3NRfdkj>
- [8] ALICE, Active Learning Interface (for) Circuits (and) Electronics Software : <https://bit.ly/3tYFi96>
- [9] Page de l'ADALM2000 : <https://bit.ly/36G6laZ>
- [10] Logiciel Scopy : <https://bit.ly/3Jcj2Nr>
- [11] Programme universitaire d'ingénierie d'Analog Devices : <https://bit.ly/3LE3OCt>
- [12] Page de LTspice : [www.analog.com/en/design-center/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html](http://www.analog.com/en/design-center/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html)
- [13] « UL and Analog Devices partner on digital learning tool to recreate lab environment at home », Université de Limerick, 12/2020 : <https://bit.ly/3uOZVDB>