



Jeudi 16 septembre 2016, au CEMES

19<sup>ème</sup> rencontre régionale en Occitanie  
organisée par la délégation DR14

# La mesure

## Inventaire des matériels essentiels en 2016

### ***Introduction et annonce des présentations :***

Christian Pertel présente le planning de la journée qui est dédiée à la mesure et plus particulièrement à l'instrumentation proposée par Tektronix-Keithley. Les représentants de cette société sont Alain Ricard, responsable commercial, Matthias Charriot ingénieur applications pour les produits Tektronix, Mickael Billaud, ingénieur applications pour les produits Keithley et Michel Chazalon, responsable vente de la société Farnell. Cécile Marcelot nous accompagne pour une visite guidée de la boule en rappelant les fonctions et l'historique de cet instrument.

### ***Bilan et perspective du réseau régional :***

Stéphane Martin évoque les actions du réseau régional qui ont été entreprises ces deux dernières années. La dernière rencontre régionale était orientée sur la mécatronique avec la société A2V qui a proposé des ateliers pour des démonstrations de matériel dédiés à l'instrumentation dans des domaines aussi variés que l'optique, la commande moteur, les actionneurs piézoélectriques, le contrôle d'axes, la commande par automate et la conception de dispositifs électroniques à la demande.

Beaucoup de formations organisées par des membres du réseau des électroniciens ont pu être proposées pendant ces deux dernières années. Cette solution limite les coûts et permet de bénéficier





d'expériences proches des préoccupations éprouvées dans nos différents laboratoires. Les formations peuvent être précédées de séminaires et cela a été le cas pour la formation Python organisée au mois de juin.

- Formation Arduino organisée en mai 2016.
- Formations Python Qt Designer, avec deux sessions en mars et en juin.
- Formation Petits signaux et faibles bruits organisée en juin 2016.
- Formation C# avec intervenant externe pour une session initiation en septembre et une session perfectionnement en octobre 2016.

### ***Retour suite à la formation "petits signaux" :***

Christian Jarnot présente le bilan de la formation "Petits signaux et faibles bruits" organisée par Jean-Luc Mocellin au mois de juin. Les avis des 12 participants sont très positifs et ce succès incitera à reproposez cette formation pour laquelle plusieurs candidats parmi 25 avaient été refusés. Cette formation est essentielle pour les électroniciens confrontés à la mise en œuvre de composants analogiques dont l'utilisation doit être conforme à des contraintes CEM.

Les principes de la CEM ont été largement évoqués pendant cette formation et plusieurs expérimentations ont mis en évidence les bonnes pratiques pour limiter les erreurs inhérentes à l'observation d'un signal. Les cours ont été illustrés par une documentation abondante et par des travaux pratiques qui ont nécessité le transport de plusieurs instruments.

### ***Présentation de la société Tektronix/Keithley par Alain Ricard :***

Alain Ricard nous présente l'histoire de la société Tektronix qui vient de changer de Logo pour associer la société Keithley qui a été acquise en 2010. Les deux sociétés sont complémentaires et l'offre proposée par l'entité Tektronix/Keithley couvre tous les domaines du continu au domaine de l'EHF (extrêmement haute fréquence). Les instruments commercialisés par cette société se déclinent en plusieurs fonctions et on trouvera des analyseurs de spectre, des oscilloscopes, des analyseurs logiques, des générateurs de fonctions à synthèse numérique DDS, des sourcemètres et des analyseurs de réseaux et de protocoles, le tout accompagné par des applications logicielles permettant de décoder et de traiter tous les flux de données actuels. La gamme des instruments proposés autorise toutes les observations des signaux produits aujourd'hui et sont totalement adaptés à l'analyse spectrale dans le cas des objets dits connectés IoT. La société Keithley permet de compléter la gamme Tektronix avec des instruments dédiés à la caractérisation de composants avec des sourcemètres, des potentiostats, des multimètres haute définition, des alimentations et des bancs de test pour caractériser des semi-conducteurs.

Des modèles de la gamme Tektronix sont équipés de corrélateurs temporels pour diagnostiquer des signaux parasites. La calibration de l'instrument peut être réajustée à tout moment par l'utilisateur en fonction des conditions thermiques d'utilisation. C'est la fonction SPC (Signal Path Compensation) avec des sondes débranchées qui permettra de recalibrer les oscilloscopes quel que soit l'environnement. Tous les instruments bénéficient d'une garantie de 5 ans et Tektronix développe ces propres convertisseurs.



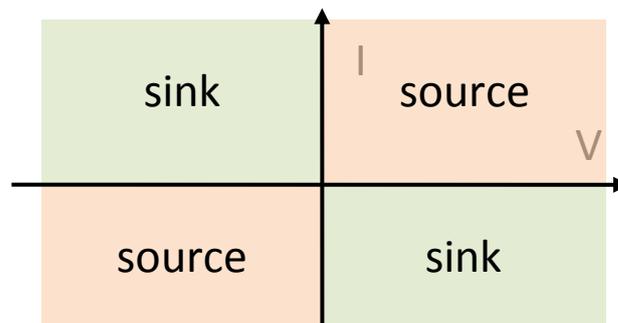
### **Visite guidée (Cécile Marcelot) :**

Cécile Marcelot nous rappelle que cet édifice a été inauguré en 1958 par de Gaulle et qu'il abritait initialement un microscope qui n'est plus en fonction aujourd'hui. Ce bâtiment singulier appelé la boule contient un générateur de tension produisant 3 MV nécessaire pour accélérer un flux d'électrons. C'est une variante du MEB (Microscope électronique à balayage) permettant d'obtenir des images suite à l'interaction des électrons projetés sur une surface. Les électrons sont produits à partir d'un filament de tungstène alimenté par batteries et leur accélération est liée à la différence de potentiel appliquée entre la source et la cible. Pour orienter le faisceau, l'ensemble nécessite un champ magnétique induit par un ensemble de spires. La résolution obtenue est inférieure au nanomètre et les électrons sont projetés à une vitesse proche de celle de la lumière.

### **Les sourcemètres KEITHLEY par Mickael Billaud :**

C'est un peu l'appareil polyvalent qui fonctionne en quatre quadrants permettant de l'utiliser en source comme en charge avec un contrôle du courant ou de la tension. La résolution en courant de cet instrument est hors norme et peut descendre à une dizaine de picoampère. Cet instrument nécessite d'utiliser un câble de type TRIAX pour conditionner le signal et compenser les fuites induites par le câble quand on observe un signal. Ce câble comprend deux âmes en plus du blindage dont une est reliée à un étage qui suit les pertes en lignes en compensant exactement le courant de fuite.

Ce principe consiste à opposer une ddp au retour de tension produit par le courant de fuite et qui permet d'obtenir ainsi une impédance d'entrée hors norme de l'ordre de 200 Téra Ohms. Les sourcemètres sont aussi des standards de tension permettant d'analyser en temps réel le courant et la tension aux bornes d'une charge. Pour la mesure, ces dispositifs sont équipés d'étage d'entrée en quatre fils permettant de s'affranchir des pertes en lignes quand deux entrées sont à très haute impédance (10 GΩ).



Si les sourcemètres sont des générateurs, ils peuvent aussi devenir des charges dynamiques adaptées à la source à tester. En mesure de courant, les modèles de la série 2600B affichent dans la gamme de 100 nA, une résolution de 100 fA avec quelques conditions à respecter pour la ddp observée. Pour la mesure de tension la résolution est de 100 nV dans la gamme 100 mV. Ce type d'instrument est programmable pour dimensionner des impulsions et permet de commuter entre deux niveaux différents sans interférence à condition de respecter des temporisations minimales (Settling time très court pour les modes DC ou pulsé).

Lors des séances atelier, Mikael Billaud nous a présenté des solutions pour caractériser une diode germanium et un transistor MOSFET avec un sourcemètre de la série [SMU 2400](#). La



programmation proposée par ces instruments autorise toutes les excursions possibles et les options graphiques de ces sourcemètres permettant d'afficher les courbes en temps réel qui caractérisent les composants à tester. Ces sourcemètres embarquent un OS permettant d'accéder à des applications qui permettront de lancer des fonctions préprogrammées.

### **Les analyseurs de spectre par Matthias Charriot :**

Les oscilloscopes de la gamme MDO4000C intègrent un analyseur de spectre mixte dont la fonction principale est d'échantillonner et de mémoriser les échantillons pour un traitement ultérieur. Ce type d'analyseur de spectre ne doit pas être comparé aux analyseurs de spectre en temps réel qui aujourd'hui offrent des moyens d'analyse adaptés pour les dispositifs à bande étroite ou moyenne. La bande passante de capture pour les analyseurs de spectre à temps réel sont de 15 MHz pour le modèle [RSA3300B](#) et de 36 MHz pour le modèle RSA3408B. Ce dernier modèle est adapté à l'analyse des signaux 3G, WLAN et WiMax. Pour l'analyse spectrale des signaux Wi-Fi pour les normes IEEE802.11 a/b/g/j/p IEEE802.11n et IEEE802.11ac, il faut utiliser l'analyseur de spectre [RSA5000](#). La plage dynamique garantie sans parasite dépasse largement 50 dB et vaut respectivement 70 dB et 73 dB pour les modèles RSA3300B et RSA3408B. La dynamique correspond au rapport entre la porteuse et les harmoniques secondaires quand un signal CW (Continuous Wave) est généré sous certaines conditions. Le gain est exprimé en dBc, cela correspond à une comparaison faite à partir de la raie principale de l'oscillateur local et de ses harmoniques secondaires et cette dynamique ne doit pas être confondue avec le rapport signal sur bruit.

Pour les analyseurs vectoriels, on pourra utiliser le modèle [RSA306](#) équipé d'un bus USB 3.0 permettant de relier l'instrument à une application logicielle fonctionnant sur PC. Cet analyseur permet d'analyser tous les signaux de la bande ISM et le logiciel est adapté pour visualiser les constellations des modulations employées pour ces types de signaux à bande étroite et moyenne de quelques mégahertz. L'analyseur vectoriel nécessite de passer par une fréquence intermédiaire FI qui conserve la modulation et qui permet aux filtres de ne pas échantillonner à la fréquence de la porteuse souvent très élevée. Cette solution augmente la dynamique qui peut atteindre 80 dB.

Pour les analyseurs temps réels, plus la bande est large et moins la dynamique sera importante. Les oscilloscopes associés à un analyseur de spectre garantissent une bonne dynamique avec une largeur de bande acceptable.

Une démonstration a permis d'identifier une commande hertzienne produite par la télécommande d'un jouet en décodant la modulation qui a été enregistrée par l'analyseur RSA306. Cette onde radio a pu être réinjectée dans un générateur de synthèse équipé d'un modulateur qui a reproduit la commande.

Matthias Charriot nous présente un inventaire des différentes technologies qui sont mises en œuvre pour les sondes d'oscilloscopes. Il rappelle le dispositif d'ajustement de la sonde qui permet de compenser l'effet capacitif inhérent à l'étage d'entrée de l'échantillonneur et du câble coaxial de la sonde. Pour les sondes hautes fréquences, l'impédance d'entrée sera bien plus petite que celle qu'on utilise habituellement mais la capacité de l'étage d'entrée pourra être inférieure à 2 pF. Une sonde passive x10 présente une impédance pour la charge de 10 MΩ mais atténuera par 10 le signal lu tout en augmentant sa bande passante par rapport à une sonde x1.

Pour la partie pratique de l'après-midi, une carte de démonstration équipée d'un bus USB 2.0 avec un taux de transfert en high speed a permis de tester les fonctions de décodage de trames





intégrées à l'oscilloscope [MDO4000C](#). La bande passante de cet instrument permet d'observer la 3<sup>ème</sup> harmonique de la trame USB qui permet d'obtenir une représentation du signal avec une perte de seulement 15 %. L'atténuation sera de 3 % si la bande passante de l'oscilloscope permet la lecture de la 5<sup>ème</sup> harmonique. Cette démonstration a permis d'identifier la nature des trames affichée par l'oscilloscope suite à l'échange de transactions sur le bus USB avec son protocole particulier comme la synchronisation initiale, les trames de données utiles et les acquittements.

### ***Partage d'expérience, les radars atmosphériques par Yannick Bezombes :***

Yannick Bezombes nous présente son métier orienté sur la problématique des radars atmosphériques mais aussi sur la problématique au sens large des systèmes radiofréquences.

Son travail nécessitant l'utilisation d'appareils radiofréquences consiste au dépannage et la vérification du bon fonctionnement de ses radars mais aussi au développement de systèmes.

Le développement de systèmes étant parfois obligatoires pour maintenir les performances (produit commercial non spécifique aux bandes des radars et donc avec des performances moins bonnes).

Ce métier à forte connotation radiofréquence nécessite les approches techniques suivantes :

- Maitrise des chaines radiofréquences et de ses principes (émission et réception)
- Maitrise des problèmes et des principes liés aux champs électromagnétiques
- Maitrisés des mesures radiofréquences (sensibilité, puissance, produits d'intermodulations etc ...)

Toutes les problématiques évoquées ci-dessus ne peuvent pas être analysées sans instruments appropriés. Pour l'analyse des impédances et la caractérisation des câbles coaxiaux, les analyseurs de réseau sont privilégiés avec lequel la représentation de l'impédance avec l'abaque de Smith devient possible. Les analyseurs de réseau ont la particularité d'intégrer un générateur pour à la fois stimuler le composant hyperfréquence et un détecteur large bande pour récupérer le signal produit par une analyse temporelle et spectrale. L'analyseur de réseau est la solution incontournable pour caractériser des composants hyperfréquences qui consiste souvent à déterminer les paramètres S d'un guide d'onde, d'une antenne ou d'une ligne de transmission.

Une bonne connaissance de la technologie des connecteurs est impérative pour connecter dans les règles de l'art les instruments d'observation. Un générateur RF permettra de produire des signaux radio complexes compatibles avec différents types de modulations numériques.

Les précautions qui doivent être appliquées sont nombreuses et il faudra tenir compte aussi de la CEM et des conditions atmosphériques de l'expérience pour qu'elle puisse être répétable. L'analyse des harmoniques, des canaux adjacents et des produits d'intermodulation d'un émetteur est nécessaire pour identifier les sources de perturbations sur les autres équipements. Les instruments nécessitent la plupart du temps des atténuateurs car ils n'acceptent pas des signaux supérieurs à 30 dBm et une lecture des caractéristiques est fortement recommandée avant d'utiliser ces instruments.





Yannick rappelle les critères fondamentaux qui doivent être retenus quand on choisit un instrument :

- La dynamique d'un instrument doit être élevée et elle caractérise la capacité de l'appareil à mesurer un signal bas niveau en présence d'un signal de niveau élevé.
- Pour l'analyse d'harmoniques l'appareil doit être capable d'afficher la troisième harmonique ce qui implique que l'instrument doit avoir au moins une plage de fréquence 3 fois supérieure à celle du signal à observer.
- Le plancher de bruit d'un analyseur de spectre doit au moins être inférieur de 6 dB par rapport au niveau du signal à mesurer pour que le rapport signal à bruit soit significatif.
- Pour des modulations numériques les appareils vectoriels sont nécessaires.



[comite-pilotage@laas.fr](mailto:comite-pilotage@laas.fr)

