

Conception de systèmes radiofréquences. Entretien avec la PME française « Always Wireless »

Joss BRUNET¹, Pascal CHAMPANEY¹, Hervé DISCOURS²

Édité le
10/03/2025

école
normale
supérieure
paris-saclay

¹ Société « Always Wireless », ² IUT Cachan

Cette ressource fait partie du N° 115 de La Revue 3EI du deuxième trimestre 2025.

Cet article est un entretien avec J. Brunet, et P. Champaney qui développent des sous-ensembles dans le domaine des communications radioélectriques sans fil. Ils nous font part de leurs activités de projet depuis la conception, la réalisation, jusqu'à la qualification d'un produit.

Avec plus de 30 ans d'expérience, la Société « Always Wireless » est spécialisée dans les produits radio-électroniques grand public ou professionnel, principalement dédiés aux objets connectés d'aujourd'hui.

Située en région grenobloise, et composée uniquement de deux personnes, Always Wireless traite en moyenne 40 à 50 projets par an. Cela va des systèmes de communication pour arbitres de football UEFA « VOGO », en passant par des systèmes de localisation GNSS des vélos électriques DECATHLON, ou des gestionnaires de luminaires urbains LACROIX et BH TECHNOLOGIES, ou encore les antivols des vélos DELIVEROO et LA POSTE...

1 - Métier et domaine d'ingénierie

La Revue 3EI : Pouvez-vous décrire votre métier en quelques mots ?

J. Brunet et P. Champaney : Notre métier consiste à étudier et mettre au point les sous-ensembles nécessaires à établir des communications sans fil par voie radioélectrique entre des produits communicants : émetteurs, récepteurs et antennes radio (WiFi, Bluetooth, 4/5G et autres...). Les grandeurs électroniques manipulées sont très proches de la physique électronique basique, avec les limites associées. C'est un domaine peu représenté en termes de compétences, dont l'enseignement est limité à une théorie assez lourde et indigeste, alors qu'il requiert énormément d'expérience pratique.

La Revue 3EI : Quel est votre domaine d'ingénierie et en quoi consiste-t-il concrètement ?

J. Brunet et P. Champaney : Nous assurons les Conception, Développement et Qualification des chaînes radio issues de nos réflexions : Choix des composants radio stratégiques, proposition des éléments d'antennes, compléments et suivi des schématiques et CAO PCB, optimisation des prototypes et qualification fonctionnelle et pré-réglementaire.

De façon générale, nous travaillons sur des équipements tels que : modulateurs & démodulateurs analogiques, numériques ou logiciels, amplificateurs faible bruit pour la réception, amplificateurs de puissance pour l'émission, et antennes afin de convertir de manière bidirectionnelle, les signaux électriques en ondes électromagnétiques.

La Revue 3EI : Quels sont les projets ou missions les plus courants dans votre activité ?

J. Brunet et P. Champaney : Le client nous fait part de son besoin en termes de communication sans fil : nature et volume des données transmises, portées souhaitées, milieu d'exploitation des équipements, territoire géographique de l'usage des produits. A partir ces données nous proposons des solutions techniques et nous en assurons les intégrations et optimisations.

On peut assurer la conception de « front-end » RF en bandes 433 et 868/915 MHz, ainsi que la conception d'antennes intégrées. L'ajout d'un « front-end » RF permet d'augmenter significativement les performances et de répondre à des besoins clients spécifiques, initialement non couvert par les circuits intégrés traditionnels, disponibles sur le marché.

La Revue 3EI : Avez-vous des interactions fréquentes avec d'autres corps de métier (designers, techniciens, commerciaux, etc.) ?

J. Brunet et P. Champaney : Comme nous apportons seulement un complément à un produit électronique, nous sommes obligatoirement en échange permanent avec le bureau d'étude électronique classique du client. Les fonctions sont aujourd'hui très imbriquées et interdépendantes, tant en termes de matériel que des logiciels. Il nous faut également travailler avec les designers mécaniques car l'intégration des antennes apporte un lot de contraintes dont le respect est essentiel pour assurer un rayonnement radio le plus efficace possible.

La Revue 3EI : Avez-vous des interactions avec des laboratoires de recherche ?

J. Brunet et P. Champaney : Très peu. Nous travaillons une électronique très appliquée avec des fortes contraintes technico-économiques, donc avec peu de place pour les risques de l'innovation de pointe. De surcroît, nos quelques expériences passées avec des laboratoires de recherche ont été assez décevantes du fait d'objectifs et fonctionnements trop distincts.

La Revue 3EI : Quelle formation est nécessaire pour votre métier ? Quelles sont les compétences indispensables ?

J. Brunet et P. Champaney : Il faut une formation de technicien supérieur ou ingénieur en électronique, avec, dans la mesure du possible, une spécialisation vers les domaines de l'analogique ou des télécommunications. Cependant, et très au-delà de la formation, il faut une sensibilité à la physique électromagnétique (sans forcément s'abrutir avec sa théorie), être capable de « ressentir » les phénomènes et bien en comprendre les mécanismes et limites. Nous sommes à des lieux des numérisations et virtualisations actuellement très à la mode !

2 - L'activité de projet

La Revue 3EI : Quelles sont les principales étapes lors de la conception d'un produit RF ?

J. Brunet et P. Champaney : Définir correctement le besoin exact : Nature et volume des données transmises, portées souhaitées, milieu d'exploitation des équipements, territoire géographique de l'usage des produits.

- Choix des composants radios stratégiques, que ce soient des circuits intégrés ou des modules et leurs composants périphériques (quartz, filtres, amplis transistorisés, réseaux d'adaptation d'impédance...)
- Proposition des éléments d'antennes, selon les nécessités et possibilités d'intégration mécanique et les objectifs économiques.

- Fournir les compléments schématiques du sous-ensemble radio et assurer sans bonne intégration électrique au produit complet : cohérence des signaux et alimentations.
- Suivre la CAO des circuits imprimés pour s'assurer du respect des règles essentielles de la radio-électricité : chemins courts, respect des équipotentiels, réduction des pollutions électriques.
- Optimisation des prototypes afin de trouver les réglages et les valeurs de composants offrant des performances maximales.
- Qualification fonctionnelle et pré-réglémentaire pour obtenir des liens fiables, opérant aux distances attendues et conformes aux législations en vigueur.

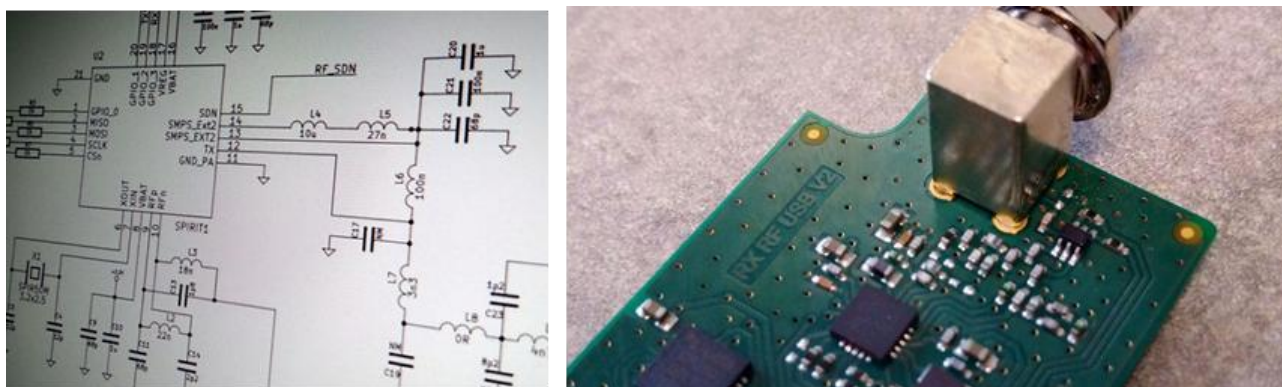


Figure 1 : De la conception à la réalisation

La Revue 3EI : Quelles sont les principales gammes de fréquence avec lesquelles vous travaillez ?

J. Brunet et P. Champaney : Nous travaillons de 30 kHz à 8 GHz. Au-delà, les activités changent considérablement vers les faisceaux télécoms et les radars, domaines que nous n'adressons pas. Nous exerçons néanmoins majoritairement dans les bandes sans licence d'exploitation : 125 kHz, 13.56 MHz, 169 MHz, 433 MHz, 868 MHz, 915MHz (US-CAN-AUS) 2450 MHz, 5300 MHz pour les produits monobandes et de 650 à 3800 MHz pour le cellulaire 4/5G.

La Revue 3EI : Quels sont les principaux protocoles de communication que vous utilisez actuellement ?

J. Brunet et P. Champaney : Il y a clairement un repositionnement du marché vers les standards très classiques, type Bluetooth, WiFi, LoRaWAN, 802.15.4 et consorts et les 4/5G et leur « descendance » LTE-M et NB-IoT. Aujourd'hui développer son propre protocole coûte cher en temps de design logiciel alors qu'il existe pléthore de solutions où le protocole est embarqué. Seuls les domaines très sécuritaires tels que les systèmes d'alarmes et contrôles d'accès persistent à exploiter des protocoles propriétaire, mais de moins en moins.

La Revue 3EI : Vous parlez parfois de « Always Design to cost », de quoi s'agit-il ?

J. Brunet et P. Champaney : Nos solutions techniques et designs sont toujours orientés afin de présenter un coût minimal : choix de composants peu coûteux et très standards, composants discrets proposés en multisources, solution d'antennes composants céramiques « low cost » ou 100% imprimée. Toute « subtilité » est toujours examinée avec un œil économique critique pour éviter les exotismes.

La Revue 3EI : Quels sont les principaux logiciels que vous utilisez ?

La Revue 3EI : Dans le développement de sous-ensembles intégrés et des réseaux passifs associés (Filtres, PA, LNA) quelles sont les principales normes à respecter ?

J. Brunet et P. Champaney : Les normes radio les plus classiques dont les points critiques sont puissances et rayonnements harmoniques à l'émission sont :

- EN 300-220 Europe / LoRa et autres 434-868 MHz
- EN 300-330 Europe / NFC & RFID 13.56 MHz
- EN 300-328 Europe / Bluetooth & WiFi
- EN 301-908 Europe / 4/5G et dérivés
- EN 301-489 Europe / CEM des produits radio
- FCC Part 15 / Toutes radio dans les Amériques

... et le puzzle asiatique où rien n'est harmonisé !

Il est à noter, qu'il existe des modules radio RF pré-certifié, donc des composants électroniques intégrant un émetteur et/ou un récepteur radiofréquence, qui a déjà été testé et certifié pour répondre aux réglementations de certains pays ou régions. Cela simplifie le développement de produits, car le fabricant du produit final peut s'appuyer sur la certification existante du module.

La Revue 3EI : Utilisez-vous LoRa® ou SigFox et que pensez-vous de leurs performances ?

J. Brunet et P. Champaney : Nous utilisons LoRa énormément car aujourd'hui 95% de nos projets sont en 868-915 MHz. Sa force inégalée est d'offrir des sensibilités de réception énormes tout en conservant une bonne immunité aux perturbateurs. Sa seule contrepartie est un débit binaire limité à 30 kbps max, ce qui interdit quasiment les mises à jour logiciel OTA ("Over The Air").

Sigfox a quasiment disparu de nos projets alors qu'il était leader voilà 10 ans. Comme quoi la chute va vite dès que la pertinence technique est noyée par du marketing ...

La Revue 3EI : Comment se déroule l'étape de qualification, notamment en termes de performances rayonnées ?

J. Brunet et P. Champaney : Nous relevons majoritairement quatre points essentiels : la puissance rayonnée fonctionnelle, les rayonnements indésirables et harmoniques à l'émission, et les remontés parasites en réception, pour la conformité réglementaire.

Pour ces opérations, le produit est complet en boîtier et il développe une émission permanente. La mesure du champ électrique à quelques mètres permet d'en déduire la puissance émise.

Always Wireless est complètement indépendant des laboratoires d'essais sur ces relevés.

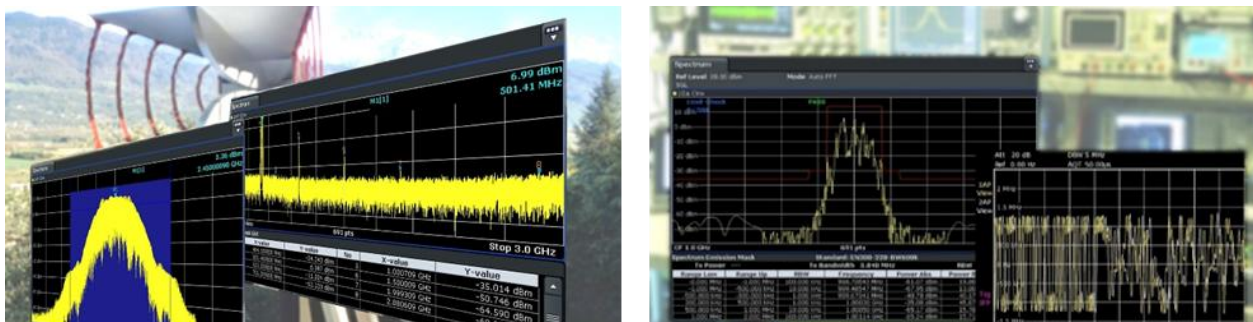


Figure 4 : Mesures de rayonnement et spectre

Les mesures sont généralement effectuées en utilisant une antenne de référence, placée à une distance fixe de l'équipement à mesurer et connectée à un analyseur de spectre. L'utilisation d'une antenne de référence permet de disposer d'une table de gain en fréquence. Cette table, une fois renseignée dans l'analyseur de spectre, permet d'effectuer des mesures précises de 500 MHz à 13,6 GHz.

L'équipement sous tests peut être mis en rotation à distance sur les plans X, Y & Z afin de mesurer pleinement son rayonnement dans l'espace.

La Revue 3EI : Comment s'effectue des tests de robustesse et d'immunité radio ?

J. Brunet et P. Champaney : Le récepteur sous test reçoit un signal « utile » périodique produit par un générateur RF et dont il indique la bonne réception. Un second générateur développe un signal « perturbateur » qui est additionné à l'utile. Son niveau est relevé jusqu'à perdre la réception.

Ce test peut être dans le canal de réception (cocal) ou les canaux adjacents et/ou bandes latérales (blocking).

Pour ces tests, Always Wireless est capable d'enregistrer des trames de test clients pour les reproduire à l'identique mais de niveau maîtrisé, via un générateur RF.

3 - Intégration d'antennes

La Revue 3EI : Comment bien prendre en compte l'environnement et le contexte d'une antenne, avant sa conception ?

J. Brunet et P. Champaney : Le point premier consiste à travailler le dégagement de l'antenne. Le champ électrique RF ne peut être produit que si celle-ci est éloignée de tout matériau conducteur. Il lui faut souvent une surface conductrice en son pied pour assurer un contrepois électrique mais son extrémité doit toujours être la plus dégagée possible.

Heureusement, les fabricants d'antennes « composants » ont fait de gros efforts de documentation de leurs solutions. A respecter à la lettre et éviter, ici aussi, tout exotisme !

De façon générale, une antenne est composée de métal, de forme géométriquement adaptée à une ou plusieurs fréquences de résonance. Peu importe sa technologie mise en avant par son marketing, sa principale propriété physique réside dans le fait que ses dimensions sont liées à sa fréquence de résonance, il n'est pas possible de faire autrement. Attention donc aux datasheets « magiques » !

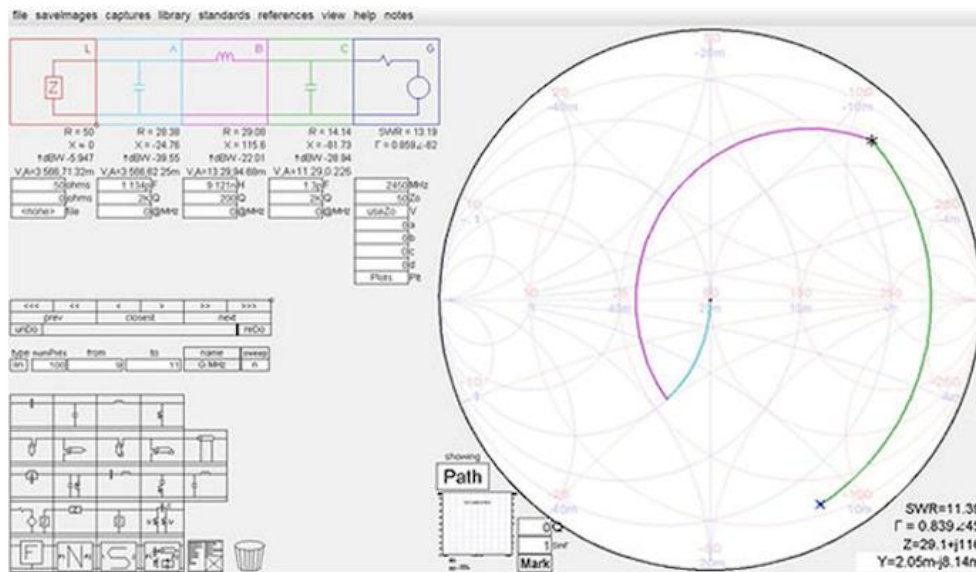
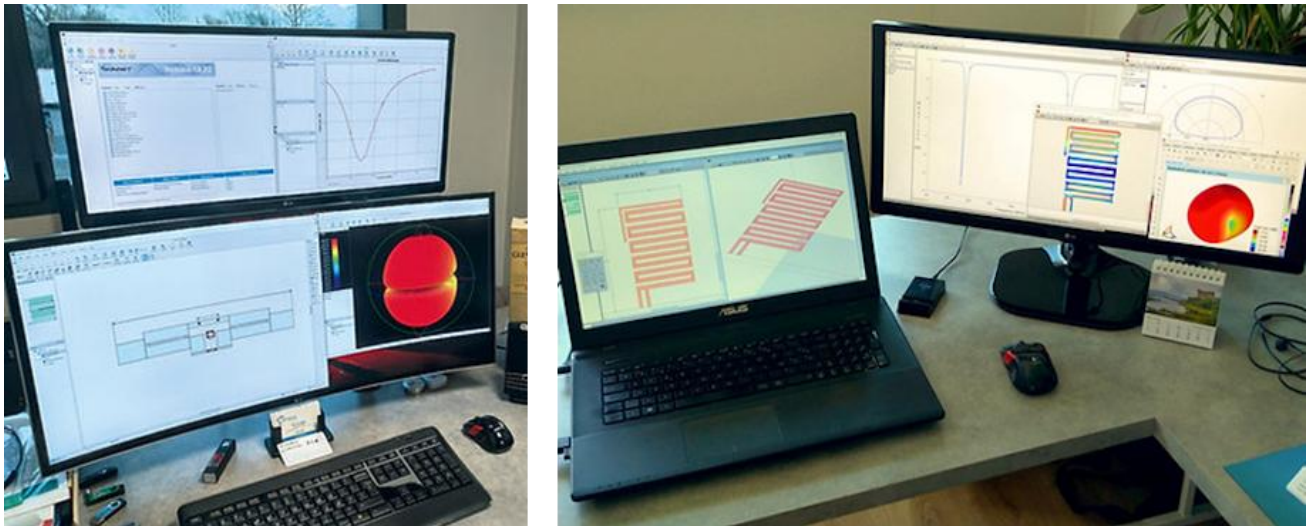


Figure 5 : Conception d'antennes et inductances imprimées

La Revue 3EI : Quelles sont les principales étapes lors de la conception de solutions personnalisées ?

J. Brunet et P. Champany : Always Wireless ne développe que des antennes dédiées qu'en forme « 2D imprimée ». La société ne propose pas de design 3D car trop couteux en licence logicielle et temps de modélisation. Impossible à amortir et assumer sauf à ne faire que cela, ce qui n'est pas la vocation de la société.

La première étape consiste à bien déterminer les encombrements et positions possibles (et faire preuve de pédagogie car les barrières sont ici physiques donc incontournables !). Une fois le contexte établi, il faut placer les formes des résonateurs d'antenne en fréquences croissantes et optimiser leur structure pour maximiser les rayonnements.

Bien comprendre le principe d'un résonateur électromagnétique est ici essentiel et cela requiert des années et des années de pratique. La théorie n'apporte rien.

Nous pouvons simuler électromagnétiquement les designs d'antenne. Ce qui peut prendre plusieurs jours pour une antenne LTE multibande.

Après avoir fourni un plan d'implémentation et du support à l'implémentation, nous demandons un prototype complet, mécanique incluse (car la permittivité du plastique décale la fréquence de

résonance des antennes) afin de procéder à la mise au point d'un réseau d'adaptation d'impédance.

Enfin, pour terminer, nous procédons à des mesures de rayonnement comme expliqué précédemment afin de juger des performances réelles.

La Revue 3EI : Quels outils ou savoir-faire sont nécessaire pour la phase d'optimisation ?

J. Brunet et P. Champaney : Les outils indispensables sont l'analyseur de réseau vectoriel puis l'analyseur de spectre.

Le premier permet de travailler les accords en fréquence des résonateurs de l'antenne et d'assurer un bon transfert de puissance électrique vers ceux-ci. L'observation se fait en conduisant en examinant la réponse de l'impédance au pied de l'antenne et en ajustant les composants associés.

Le second donne un diagramme « Puissance RF / Fréquence » et permet de juger de l'efficacité de rayonnement de l'élément. La structure peut alors être retouchée pour augmenter son efficacité.

Le sens physique du comportement des résonateurs électromagnétique est ici primordial.

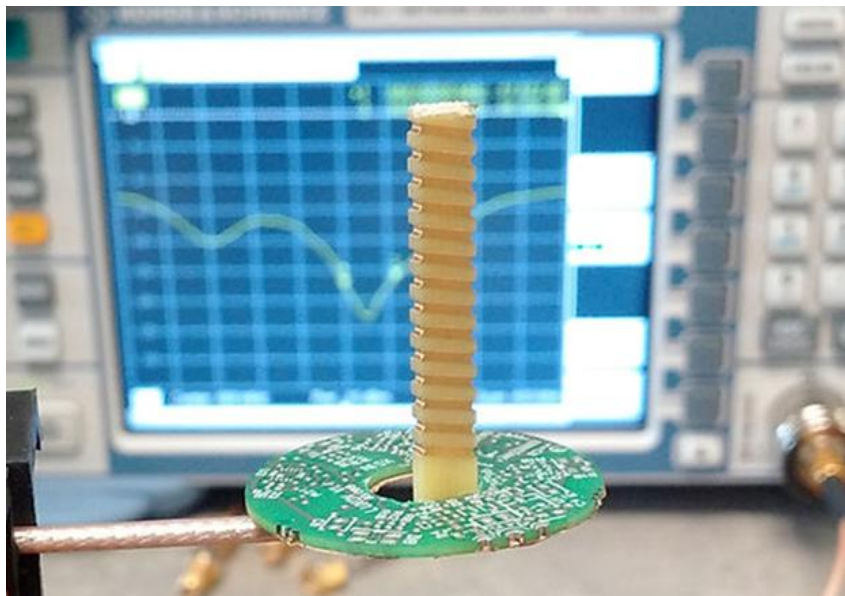


Figure 6 : Relevé d'une réponse en impédance. La résonance à la fréquence d'accord se manifeste par un creux dans la réponse.

La Revue 3EI : Comment se déroule l'étape de qualification, notamment pour l'extraction de diagrammes de rayonnement ?

J. Brunet et P. Champaney : Le produit est complet en boîtier et il développe une émission permanente. Il est à quelques mètres d'une antenne de référence (gain connu) reliée à un analyseur de spectre. La mesure du champ électrique vue par l'antenne de référence permet d'en déduire la puissance émise. Ce rayonnement est examiné par rotation de 360° selon les trois axes.

- Le champ maximum enregistré donne la puissance rayonnée maximale ou le gain maximum d'antenne.
- Un relevé pas par pas (typiquement 15°) donne le diagramme de rayonnement.
- Ces mesures sont faites en extérieur pour s'affranchir de tout obstacle.

4 - Laboratoire et instrumentation

La Revue 3EI : La figure ci-dessous, montre votre poste de travail pour la qualification de produits RF, avec différents instruments. Quels sont-ils exactement ?

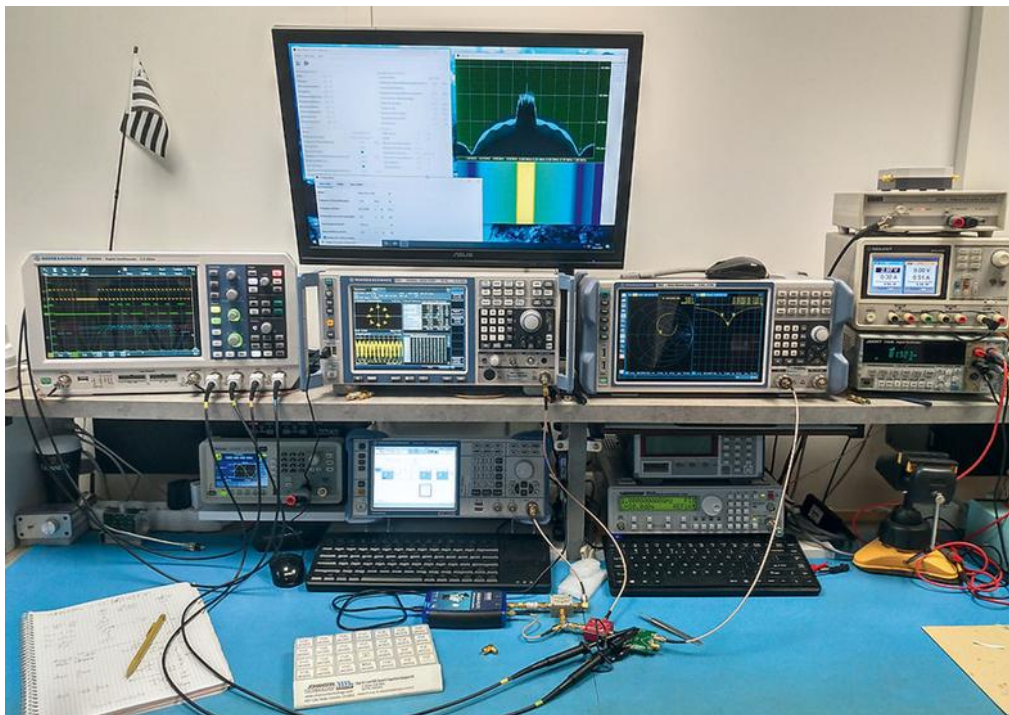


Figure 7 : Appareillage de mesure RF

J. Brunet et P. Champaney : Nous disposons de l'ensemble des instruments nécessaires pour la conception RF analogique et numérique :

- R&S FSV14 Analyseur de signaux et analyseur de spectre : cet instrument permet d'analyser n'importe quelle modulation analogique ou numérique afin de vérifier le contenu et la conformité de la modulation. Sa fonction primaire est l'analyse de spectre, ses très bonnes performances de balayage permettent de visualiser spectralement des modulations numériques large bande.
- R&S SMBV100B Générateur de signaux IQ 6 GHz : cet instrument permet de moduler de manière arbitraire l'ensemble des modulations classiques analogique ainsi que l'ensemble des modulations numériques avancées, jusqu'à une bande passante de 500 MHz. Il est également capable de « rejouer » des signaux RF enregistrés avec le R&S FSV14.
- R&S SMBV100A Générateur de signaux IQ 3 GHz : nous utilisons cet instrument en second du SMBV100B. Sur ce dernier, nous pouvons en plus des caractéristiques citées plus haut, générer une constellation satellite de type GPS afin d'effectuer une mesure de sensibilité de récepteurs GPS. Cela permet de valider de manière répétable, les performances de tout récepteur GPS ayant bénéficié d'une conception customisée.
- R&S ZNL6 Analyseur de réseaux vectoriels & analyseur de spectre 6 GHz : cet instrument permet de mesurer les paramètres S de manière simple ou différentielle de n'importe quels quadripôles. L'obtention des paramètres S est une étape obligatoire lors de la conception d'un circuit d'adaptation d'impédance. Sa fonction secondaire d'analyseur de spectre permet de compléter le R&S FSV14.
- R&S RTB2004 Oscilloscope numérique 2.5 Gé/s : cet instrument à mémoire numérique nous permet d'analyser le signal démodulé en sortie du R&S FSV14. Avec une mémoire allant

jusqu'à 20 millions de points et des fonctions mathématiques intégrées, l'analyse d'une modulation est rendue agréable.

- Divers alimentations & générateur de signaux BF & RF.

Les trois plus gros instruments du bas sont les générateurs RF. Le premier en haut à gauche est un oscilloscope numérique, hélas peu utilisé vue notre activité. En haut, sous le moniteur se trouve l'analyseur de spectre, ici en démodulateur numérique. A sa droite, l'analyseur de réseau vectoriel, où l'on distingue une réponse d'impédance sur abaque de Smith.

La Revue 3EI : Vous disposez d'une cellule GTEM. De quoi s'agit-il et en quoi vous est-elle utile ?

J. Brunet et P. Champaney : La GTEM (cellule Giga Transverse ElectroMagnétique), est une mini chambre anéchoïque qui embarque une antenne de référence sur sa face intérieure arrière. Elle offre une (petite) zone où le champ électrique est parfaitement maîtrisé. Cela permet de faire des mesures de rayonnement relatif et de juger rapidement des améliorations ou non d'un produit à l'émission.

Une fois la cellule close, le produit est isolé de l'extérieur afin d'évaluer des sensibilités de réception.



Figure 8 : Cellule GTEM

Néanmoins, cela reste un instrument peu précis, uniquement exploitable en développement afin de parfaire des mises au point. Des mesures absolues en émission imposent un site extérieur ou une grande chambre anéchoïque.

La Revue 3EI : Vous êtes amenés à réaliser des interventions sur un site de mesure en plein champ. Quelles en sont les raisons ?

J. Brunet et P. Champaney : Il n'est hélas pas possible de faire des relevés en rayonné sur un site quelconque, car non maîtrisé et souvent garni d'obstacles. Notre site extérieur limite au maximum les réflexions et sa réponse de 30 MHz à 15 GHz nous est parfaitement connue. Nos qualifications sont donc limitées à cet emplacement.

De fait, et même s'ils sont encombrants, ce sont nos clients qui nous envoient les produits pour qualification. Heureusement, la majorité d'entre eux sont de petite taille.



Figure 8 : Mesure de rayonnement en plein champ

La Revue 3EI : Merci beaucoup pour toutes ces informations, où se mélangent science, électronique et passion !

Ressource publiée sur Culture Sciences de l'Ingénieur : <https://sti.eduscol.education.fr/si-ens-paris-saclay>