



**Formation 202 - Antennes niveau 2
(optimisation/mesure)
Module 01 - Introduction**



Introduction

Contenu du module

- ◆ L'équipe : Rapide présentation d'Alciom
- ◆ Alciom Academy
- ◆ Objectifs pédagogiques et prérequis de cette formation
- ◆ Organisation pratique
- ◆ Suivi et évaluations
- ◆ Ressources pédagogiques
- ◆ Agenda de la formation

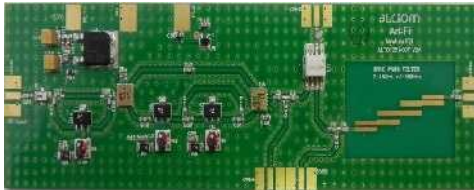
alciom

- ◆ Conseil, R&D sous contrat et études amont en électronique
- ◆ Spécialistes des radiofréquences et signaux mixtes :

Emetteurs/récepteurs RF
Antennes embarquées
Hyper-fréquences

Acquisition de signaux
Électronique rapide
Traitement du signal

IoT et objets connectés
Capteurs intégrés
Ultra-basse consommation



- ◆ Experts certifiés par ADI, TI, Microchip, Cypress & Xilinx
- ◆ Labellisés SRC, accrédités Crédit Impôt Recherche & CII
- ◆ 150 clients depuis 2003, 60% grands comptes / 40 % startups
- ◆ 15 prix internationaux, 9p, CA 1,6M€, Viroflay

Introduction

Alciom Academy

- ◆ Alciom Academy : 15 formations pour professionnels
- ◆ Ciblées sur nos **domaines d'expertise** exclusivement
- ◆ Un crédo : Une pédagogie **pragmatique** et appliquée...
- ◆ Beaucoup de retours d'expériences, un minimum de théorie

*La connaissance s'acquiert par l'expérience,
tout le reste n'est que de l'information*
(Albert Einstein)



- ◆ Plus de 500 stagiaires formés...



110- Comprendre et utiliser BLE - V4.2 à 5.2



111- Comprendre et utiliser LoRa/LoRaWAN



112- Comprendre et utiliser NB-IoT



113- Comprendre et utiliser Wize



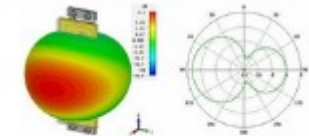
100- IoT : Synthèse pour décideurs



201- Antennes niveau 1



202- Antennes niveau 2 (optimisation /mesure)



203- Antennes niveau 3 (conception)



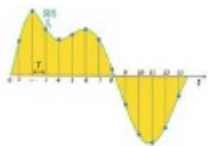
301- RF niveau 1



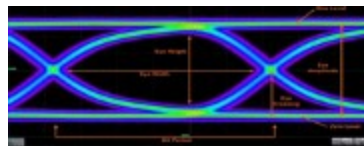
302- RF niveau 2 (transceivers intégrés)



303- RF niveau 3 (introduction SDR)



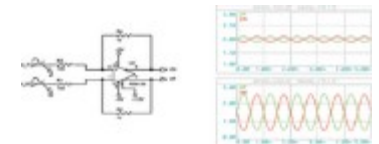
401- Le traitement du signal sans stress



402- Les interfaces numériques rapides



501- Piles, batteries et alimentations



502- Amplificateurs opérationnels et filtres

Introduction

Tour de table

- ◆ Vous & votre société ?
- ◆ Votre expérience en électronique, en radio, en antennes ?
- ◆ Vos projets et vos attentes ?



Introduction

Objectifs pédagogiques et prérequis de cette formation

♦ Objectifs pédagogiques :

- ♦ Comprendre la fonction et l'utilisation d'un analyseur de réseaux
- ♦ Savoir comment réaliser une adaptation d'impédance simple
- ♦ Comprendre la mesure des performances rayonnées d'un produit

♦ Prérequis :

- ♦ Avoir suivi la formation Antennes niveau 1... ou niveau équivalent (certains slides de la formation niveau 1 sont **volontairement repris** et représentés)
- ♦ Vous ne deviendrez pas des experts avec cette formation courte, mais vous éviterez nous l'espérons quelques erreurs !

*Un expert est une personne
qui a commis toutes les erreurs possibles
dans un domaine très restreint.*

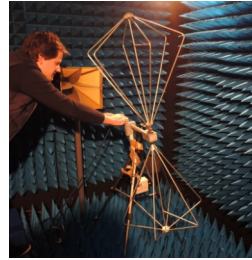
(Niels Bohr)



Introduction

Organisation pratique

- ◆ Une formation pragmatique, intégrant beaucoup de travaux pratiques



- ◆ Objectif : Comprendre et surtout retenir les éléments clés
- ◆ ... mais aussi savoir quoi faire et quoi faire faire
- ◆ Organisation des Tps
- ◆ N'hésitez pas à intervenir !

- ◆ Après la formation, n'hésitez pas à nous solliciter !
- ◆ Par mail : hotlineformations@alciom.com
- ◆ Par téléphone : 01 4709 3051 (prise de rdv si non disponible)

Introduction

Suivi et évaluations

- ◆ Petit QCM en début et en fin de formation
- ◆ Pour vous et rien que pour vous, archivé par Alciom pour audits uniquement
- ◆ Objectif : Vous prouver que cette formation vous a fait apprendre des choses !
- ◆ Une vingtaine de questions vrai/faux, maxi 30 secondes par question
- ◆ Sauter les questions pour lesquelles vous n'en savez vraiment rien...



Introduction

Suivi et évaluations

♦ En pratique :



Se connecter à Evalbox

Vous devriez avoir reçu par email les informations de connexion (login/mot de passe)

3

Nom d'utilisateur(log

Mot de passe

J'ai un code...

Connexion

Français ▾

1 Code Qui vous a été fourni

2 Email Email habituel

3 Nom Identité

Le code (ou une adresse Web équivalente) vous a été fourni par votre professeur

Langue: 4 çais

Code: FGWPU

Suivant >

5

Click on « DEMARRER » pour commencer, or on « QUITTER » pour quitter cet examen (et éventuellement pouvoir en rejoindre un autre)

► DEMARRER

* QUITTER

7 Répondre > 1/2

24 Testqq

6

vrai

faux

Introduction

Ressources pédagogiques

- ◆ Des ressources complémentaires disponibles via l'extranet stagiaire :
- ◆ <https://alciom.digiforma.net>

- ◆ Support de formation intégral (pdf)
- ◆ Bibliographie & Sitographie
- ◆ Notes techniques complémentaires



Introduction

Agenda de la formation

+ Quelques rapides rappels

+ Travaux pratiques : Comprendre l'adaptation d'impédance

+ L'analyseur de réseaux vectoriel

+ L'accord d'une antenne

+ Travaux pratiques : Adaptation d'impédance d'une antenne

+ La mesure des performances d'une antenne

+ Travaux pratiques : Mesure de champ rayonné d'un émetteur par substitution

+ Conclusion et synthèse



Formation 202 - Antennes niveau 2 (optimisation/mesure)

Module 02 - Quelques rappels rapides



Quelques rappels rapides

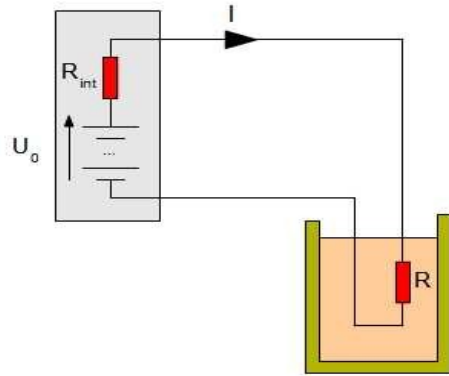
Contenu du module

- Quelques rapides rappels
 - > Adaptation d'impédance
 - > S11 et diagramme de Smith
 - > TOS

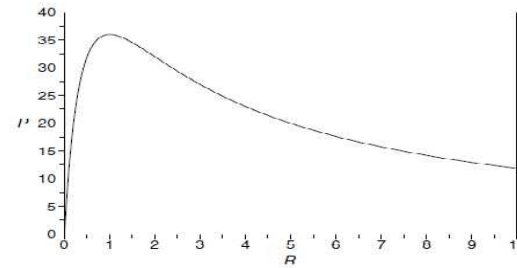
Quelques rappels rapides

Adaptation d'impédance

◆ En DC :

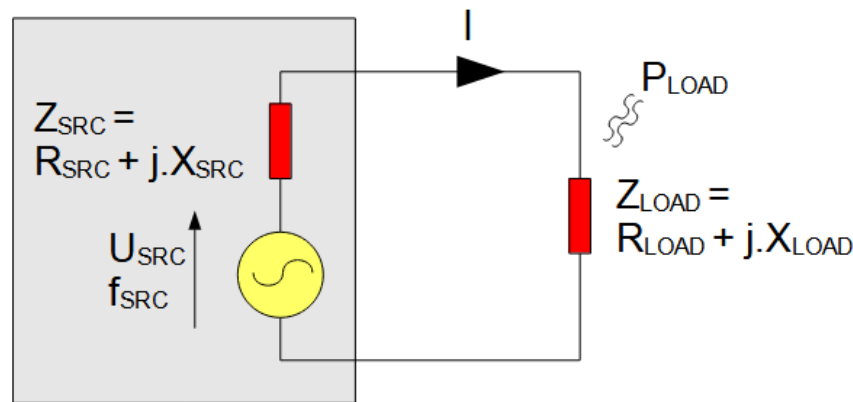


$$I = \frac{U_0}{R_{total}} = \frac{U_0}{R_{int} + R} \quad P = R \cdot I^2 = R \cdot \left(\frac{U_0}{R_{int} + R} \right)^2 = \frac{R}{(R_{int} + R)^2} \cdot U_0^2$$



P_{LOAD} maximum if $R_{LOAD} = R_{SRC}$

◆ En AC :

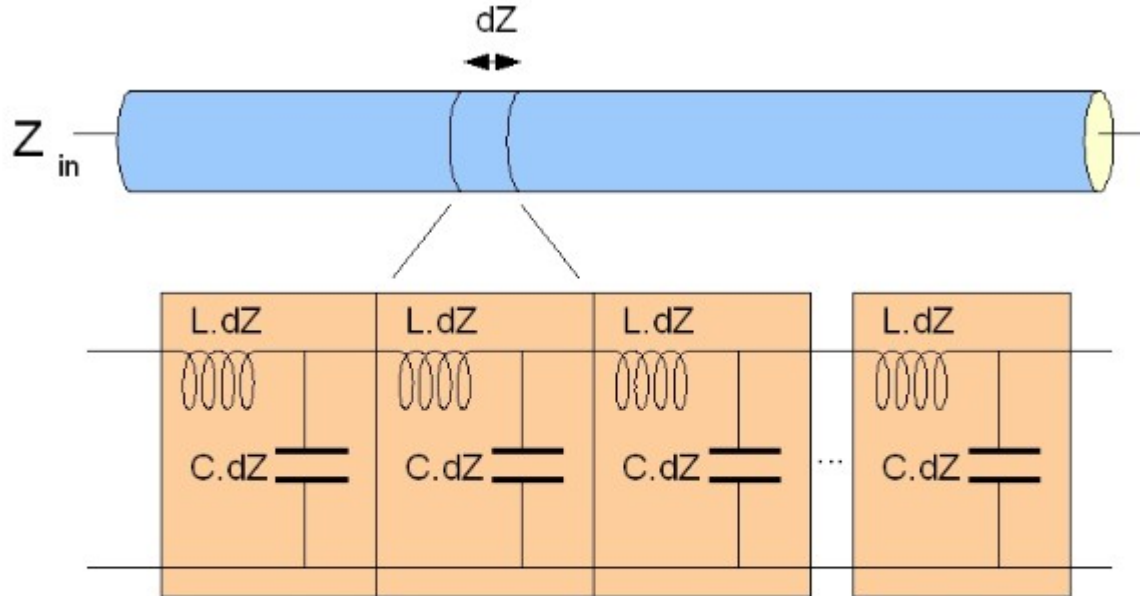


P_{LOAD} maximum if $R_{LOAD} = R_{SRC}$ and $X_{LOAD} = -X_{SRC}$

Quelques rappels rapides

Adaptation d'impédance

- ◆ Lignes de transmission = Notion d'impédance caractéristique



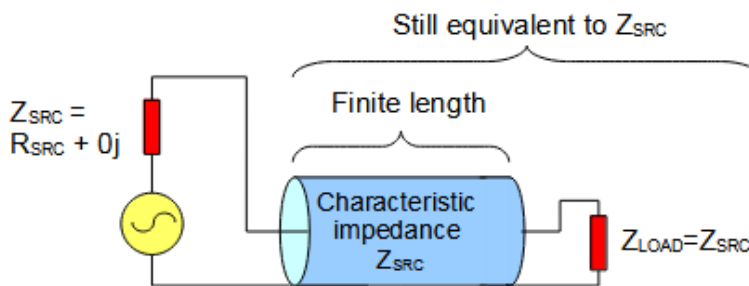
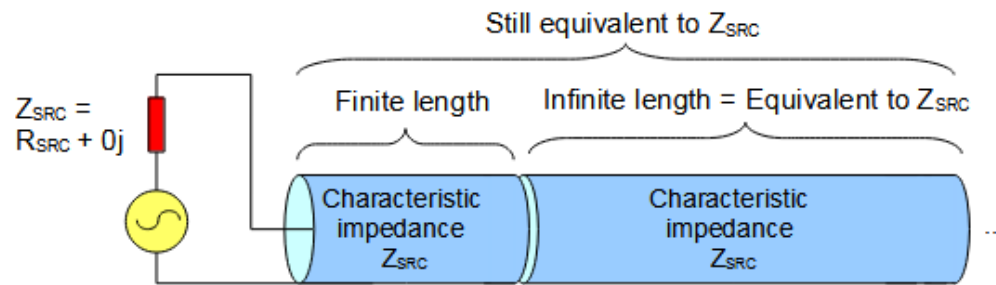
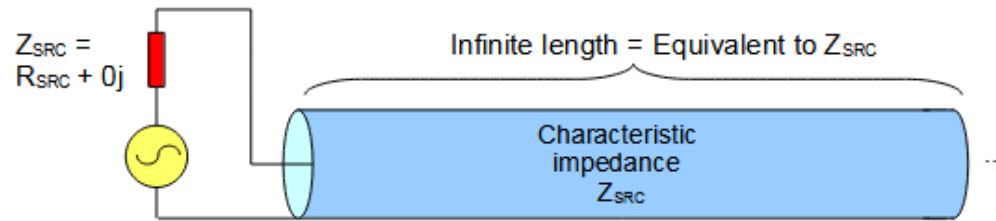
$$Z_{in} \approx \sqrt{\frac{L}{C}}$$

- ◆ Impédance réellement de Z_{in} si longueur infinie...

Quelques rappels rapides

Adaptation d'impédance

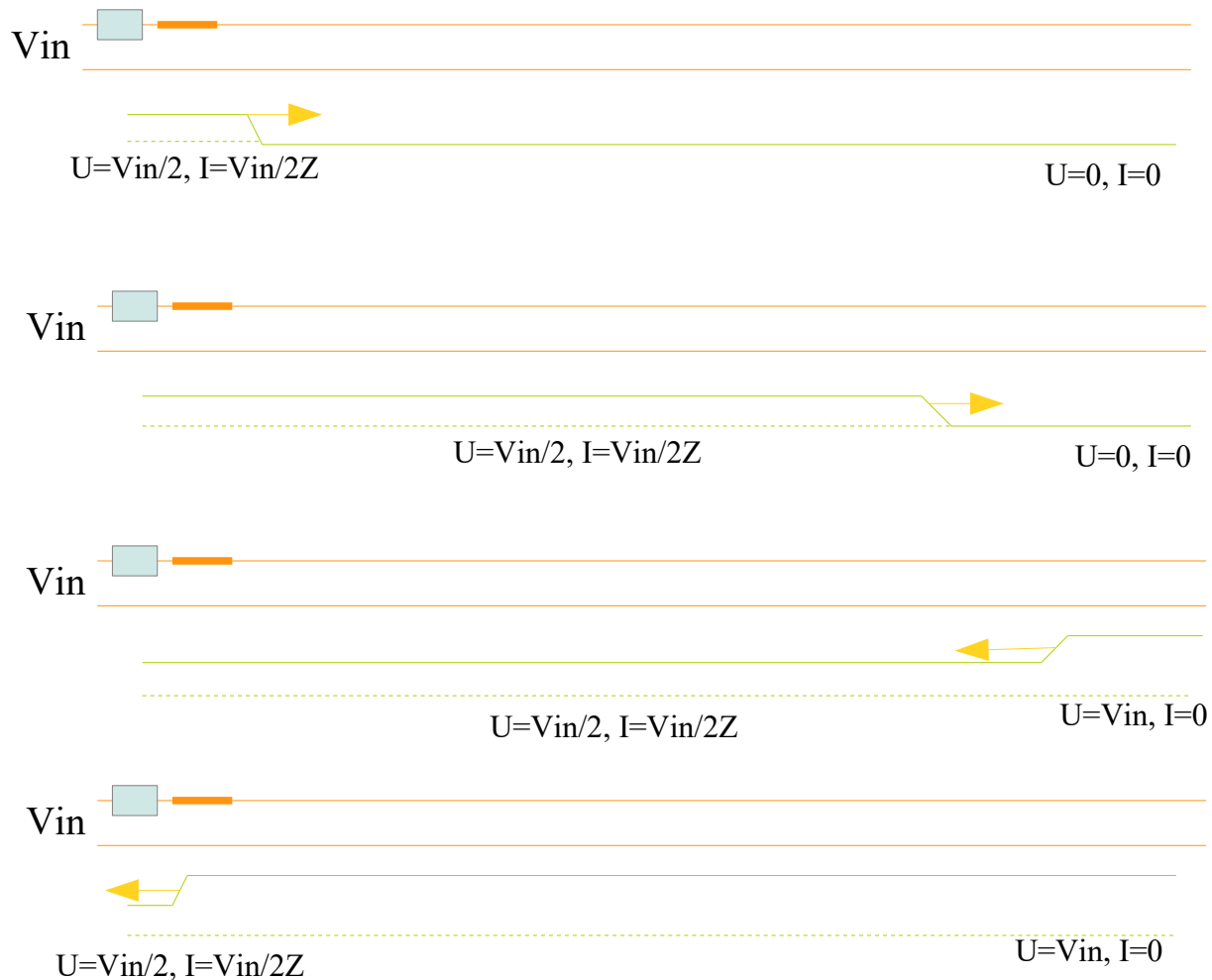
- ◆ Raccordement d'une charge Z_0 sur une source Z_0 ... via une ligne de transmission d'impédance caractéristique Z_0



Quelques rappels rapides

S11 et diagramme de Smith

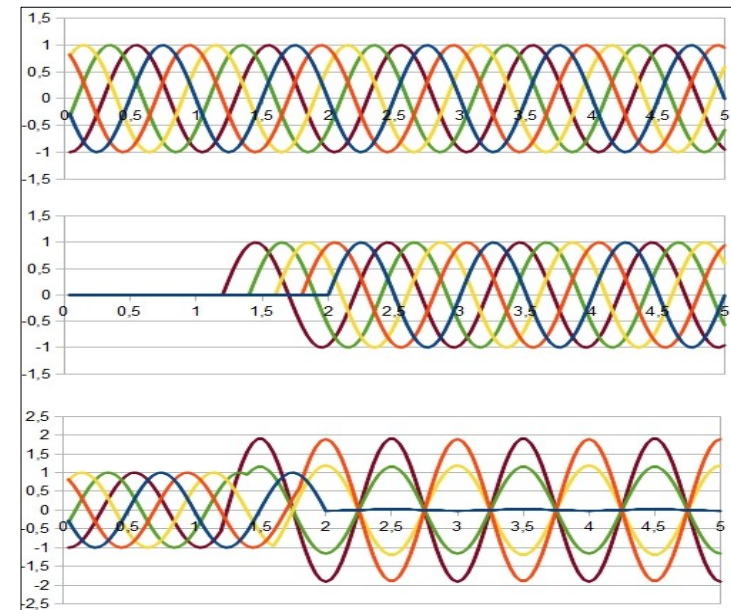
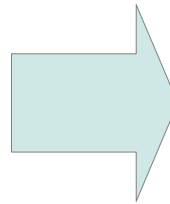
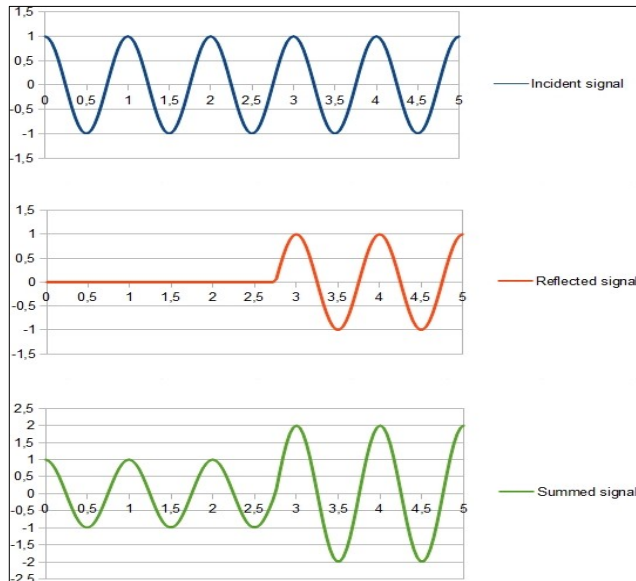
- ◆ Si pas d'adaptation d'impédance : Réflexion d'une partie de l'énergie vers la source



Quelques rappels rapides

S11 et diagramme de Smith

- Et en AC ?

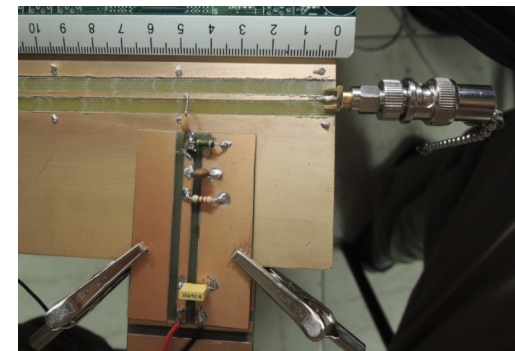


- Idem, mais apparition d'ondes stationnaires, car :

$$y = y_0 \sin(kx - \omega t) + y_0 \sin(kx + \omega t).$$

$$y = 2 y_0 \cos(\omega t) \sin(kx).$$

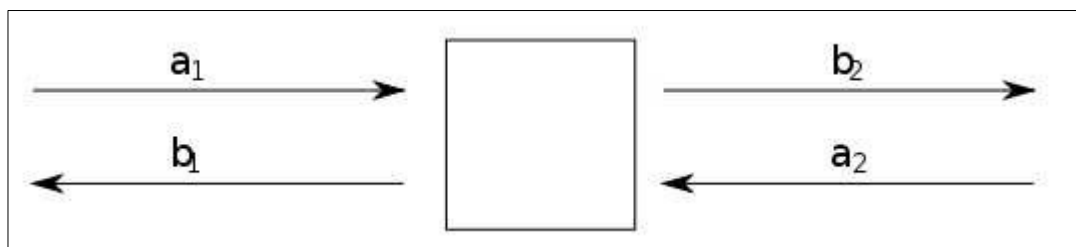
- Ventres et creux séparés de $\lambda/2$
- Position et amplitude fonction de la désadaptation



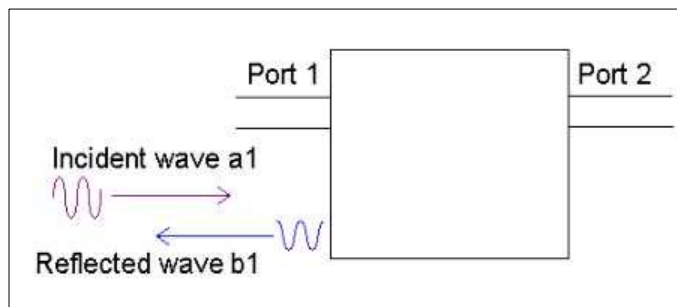
Quelques rappels rapides

S11 et diagramme de Smith

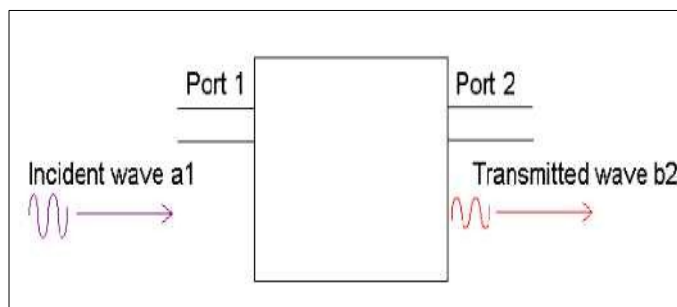
- Une manière utile de représenter la (des) adaptation(s) d'un réseau
- Nombres complexes (amplitude et phase), en **tension**



S11



S21



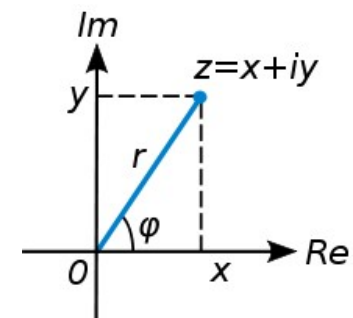
$$\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \end{pmatrix}$$

$$S_{11} = b_1 / a_1$$

$$S_{12} = b_1 / a_2$$

$$S_{21} = b_2 / a_1$$

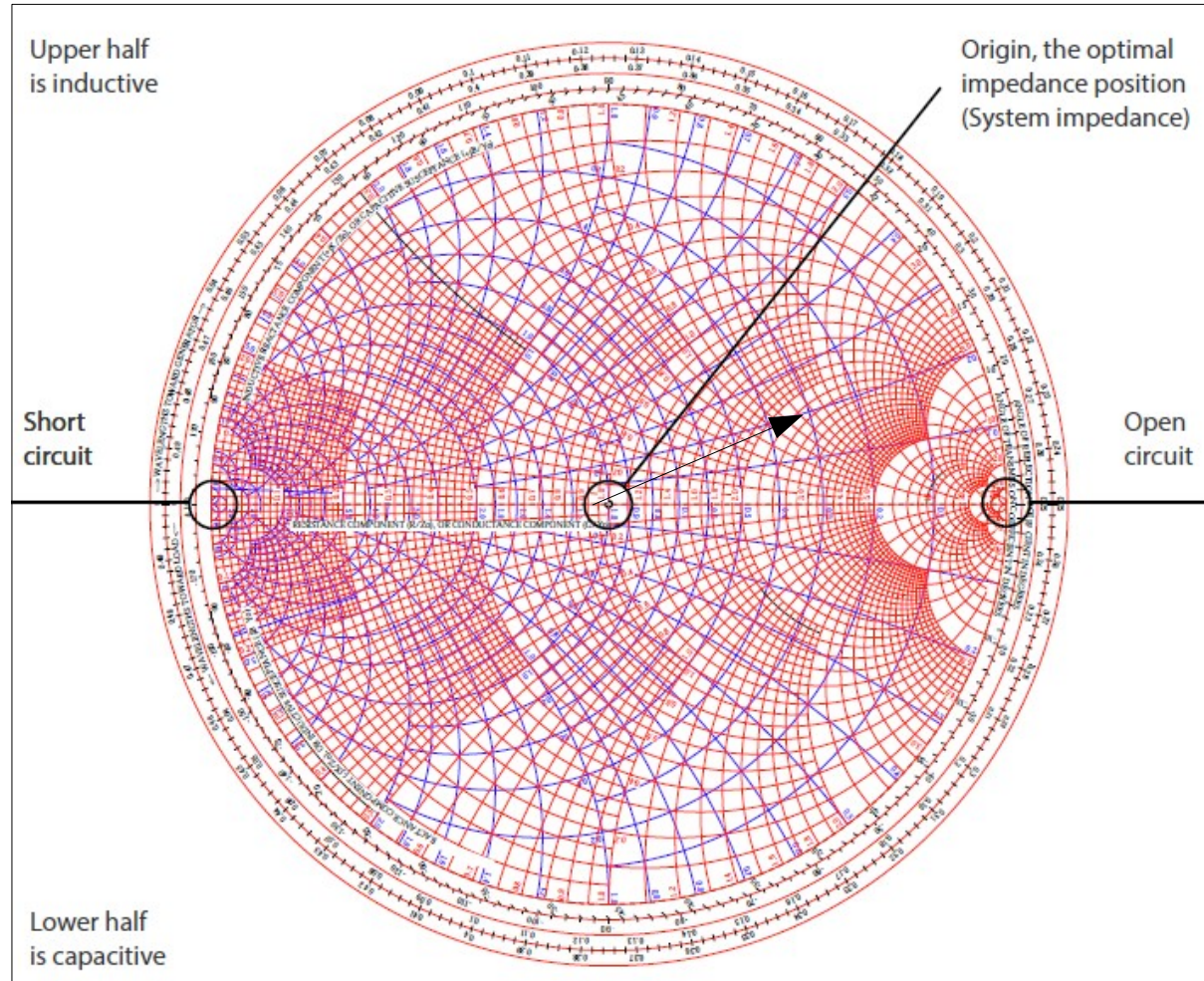
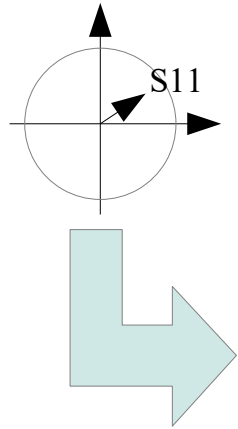
$$S_{22} = b_2 / a_2$$



Quelques rappels rapides

S11 et diagramme de Smith

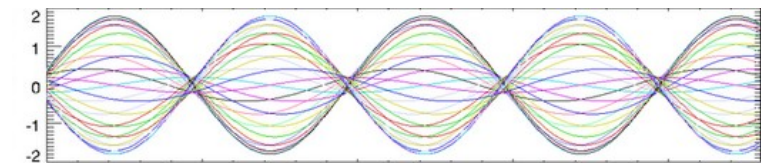
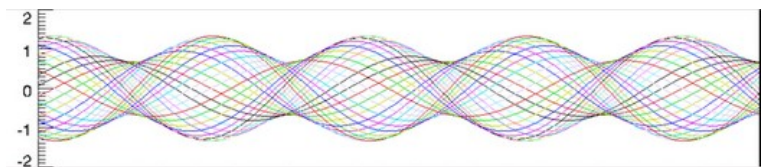
- Non adapté => S11 non nul
- Diagramme de Smith : Représentation du S11 en format polaire (phase/amplitude)



Quelques rappels rapides

TOS

- ◆ Non adapté => S11 non nul => Apparition d'ondes stationnaires sur la ligne
- ◆ Ondes stationnaires => Tension non constante sur la ligne
- ◆ « TOS » = VSWR = Ratio entre tension mini et maxi le long de la ligne



VSWR	Return Loss (dB)	% Power / Voltage Loss	Reflection Coefficient	Mismatch Loss (dB)
1	∞	0 / 0	0	0.000
1.15	23.1	0.49 / 7.0	0.07	.021
1.25	19.1	1.2 / 11.1	0.111	.054
1.5	14.0	4.0 / 20.0	0.200	.177
1.75	11.3	7.4 / 27.3	0.273	.336
1.9	10.0	9.6 / 31.6	0.316	.458
2.0	9.5	11.1 / 33.3	0.333	.512
2.5	7.4	18.2 / 42.9	0.429	.880
3.0	6.0	25.1 / 50.0	0.500	1.25
3.5	5.1	30.9 / 55.5	0.555	1.6
4.0	4.4	36.3 / 60.0	0.600	1.94
4.5	3.9	40.7 / 63.6	0.636	2.25
5.0	3.5	44.7 / 66.6	0.666	2.55
10	1.7	67.6 / 81.8	0.818	4.81
20	0.87	81.9 / 90.5	0.905	7.4
100	0.17	96.2 / 98.0	0.980	14.1
∞	.000	100 / 100	1.00	∞

Formation 202 - Antennes niveau 2 (optimisation/mesure)

Module 03 - TP Comprendre l'adaptation d'impédance



TP : Comprendre l'adaptation d'impédance

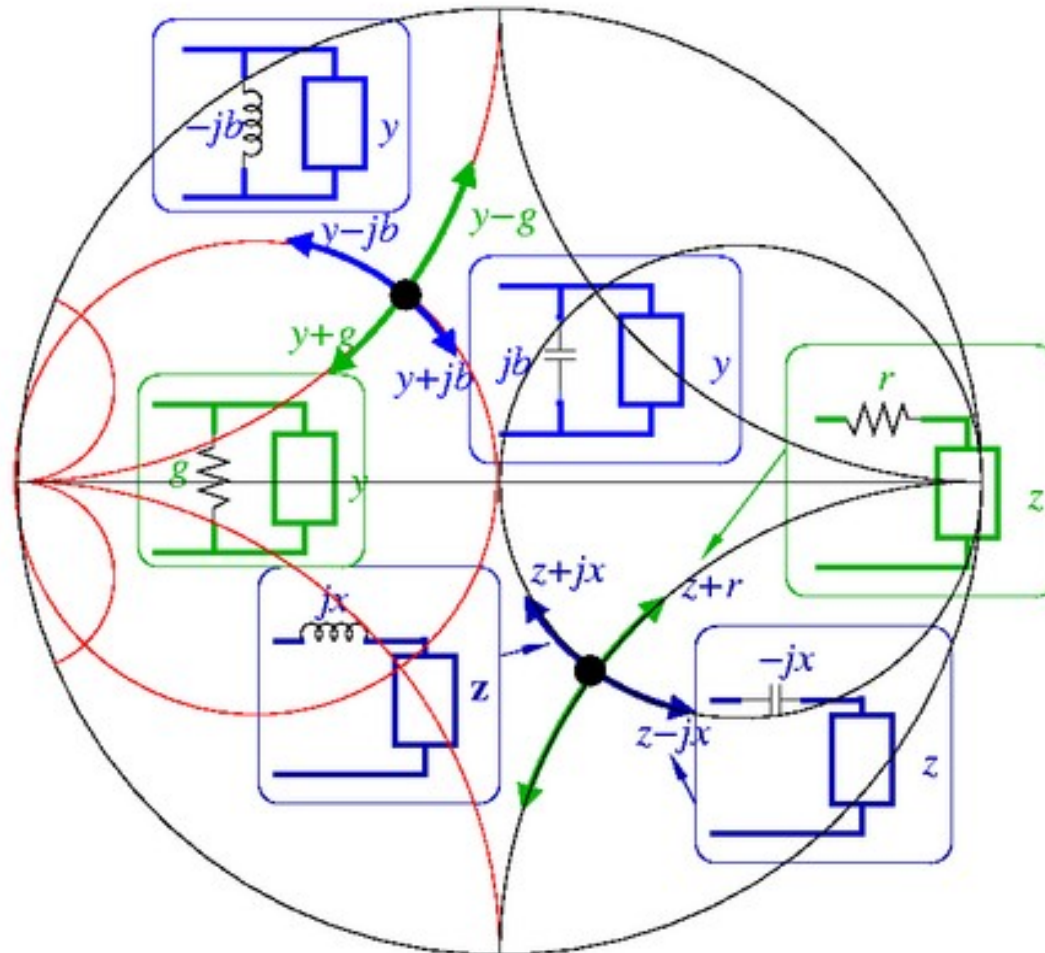
Contenu du module

- Travaux pratiques : Comprendre l'adaptation d'impédance
 - > Adaptation d'impédance et abaque de Smith (utilisation d'un logiciel Smith-Chart gratuit)
 - > Visualisation des ondes stationnaires sur une ligne à fente

TP : Comprendre l'adaptation d'impédance

Adaptation d'impédance et diagramme de Smith

- Tronçons de cercle sur le diagramme de Smith = Déplacement de l'impédance en ajoutant une inductance ou condensateur, en série ou en parallèle



TP : Comprendre l'adaptation d'impédance

Adaptation d'impédance et diagramme de Smith

- ◆ Réseaux d'accord possibles visualisables graphiquement directement !



Figure 13 Network configuration with corresponding forbidden region



Figure 15 Network configuration with corresponding forbidden region



Figure 14 Network configuration with corresponding forbidden region



Figure 16 Network configuration with corresponding forbidden region



Antenna tuning

TP : Comprendre l'adaptation d'impédance

Adaptation d'impédance et diagramme de Smith

- ◆ Malgré les outils automatisés, le diagramme de Smith reste irremplaçable...
- ◆ ... car permet de comprendre ce qui se passe...
- ◆ Téléchargeons un petit outil gratuit (sur la clé) :
- ◆ Iowa Hills Smith Chart (<http://www.iowahills.com/8DownloadPage.html>)

Program Downloads (Each is approximately 3.6 MB)

[IIR Filter Designer Ver. 6.5](#) Updated 10/20/16

[FIR Filter Designer Ver. 7.0](#) Updated 10/13/16

[Hilbert Filter Designer Ver. 3.0](#) Updated 10/13/14

[OpAmp Filter Designer Ver. 2.4](#) Updated 12/01/15

[RF Filter Designer Ver. 2.2](#) Updated 2/20/14

[Smith Chart Ver. 3.0](#) Updated 10/26/15

[Filter Polynomials Ver. 2.4](#) Updated 5/3/15

[IIR FIR Source Code](#) Updated

[P51 Poly Root Finder](#) Updated

[IIR Filter Page](#)

[FIR Filter Page](#)

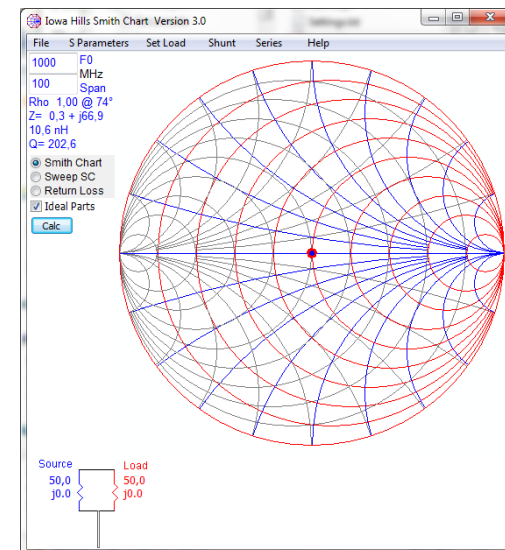
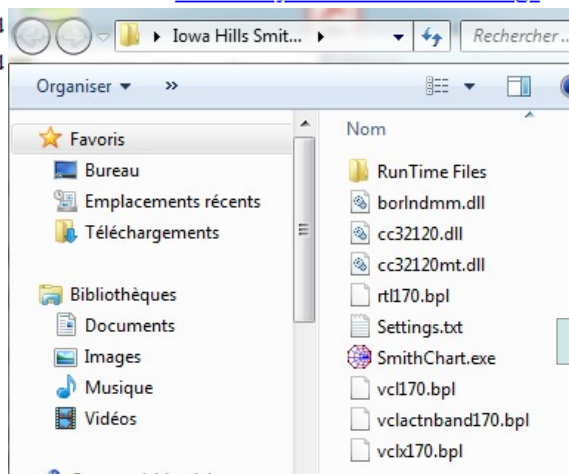
[Hilbert Filter Page](#)

[OpAmp Filter Page](#)

[RF Filter Page](#)

[Smith Chart Page](#)

[Filter Polys and Root Finder Page](#)

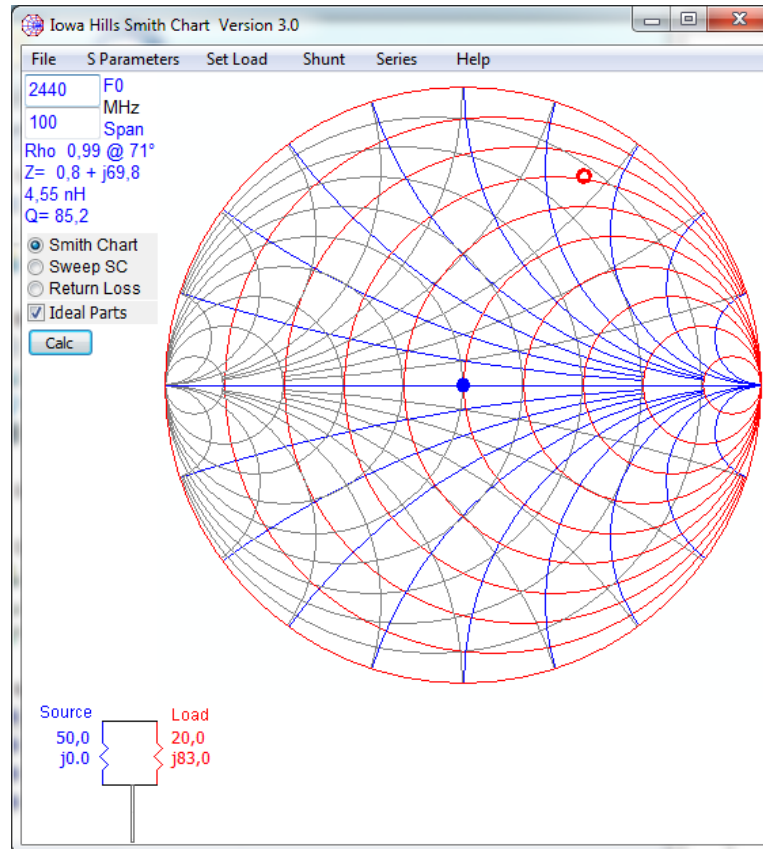


TP : Comprendre l'adaptation d'impédance

Adaptation d'impédance et diagramme de Smith

◆ $F_0 = 2440 \text{ MHz}$

◆ « Set Load », « Load/Source/Parasitics », Load = $20 + j83 \text{ ohm}$, Apply, Close

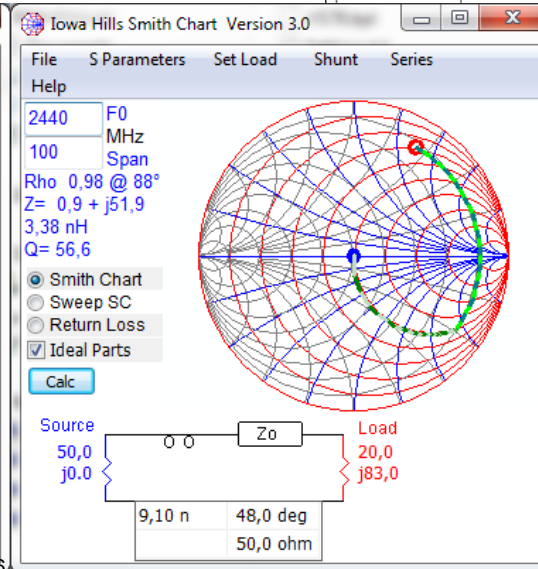
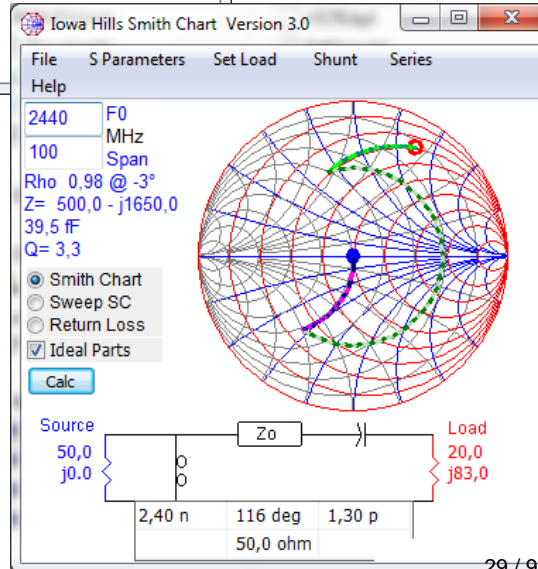
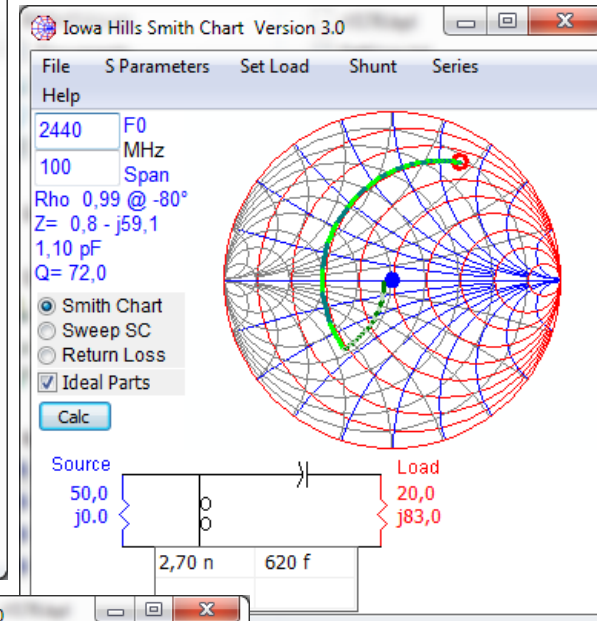
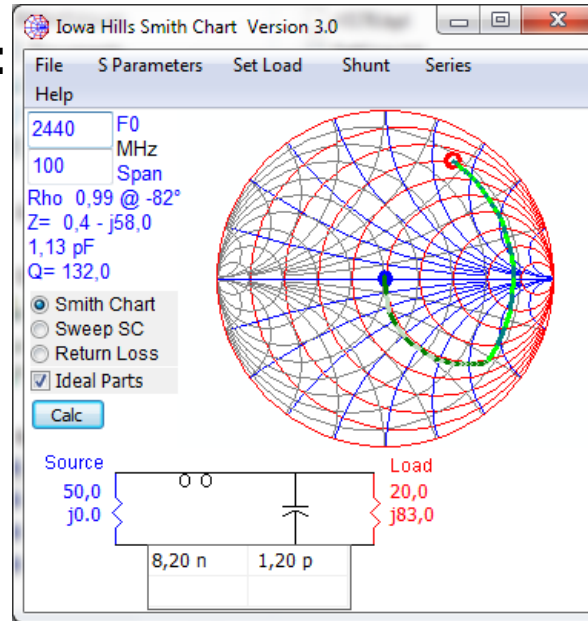
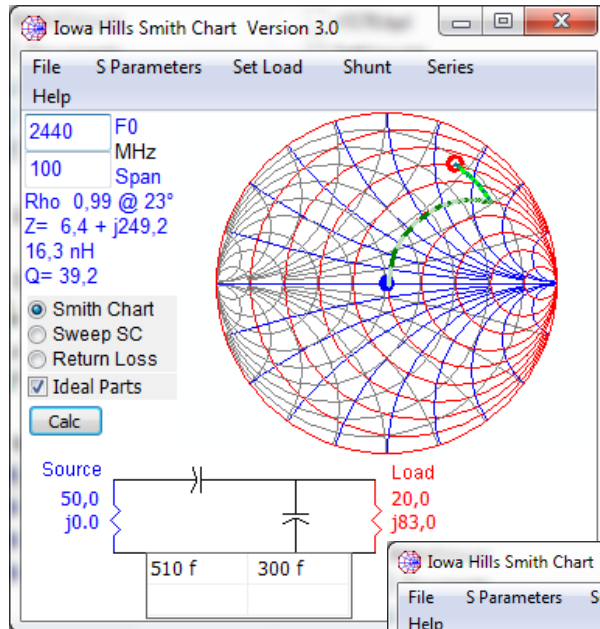


◆ Et cherchez des réseaux d'accord, en suivant les cercles pour revenir au centre !

TP : Comprendre l'adaptation d'impédance

Adaptation d'impédance et diagramme de Smith

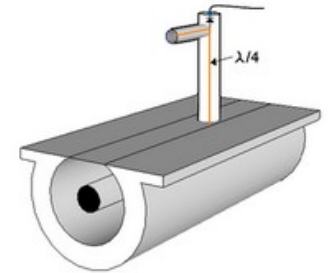
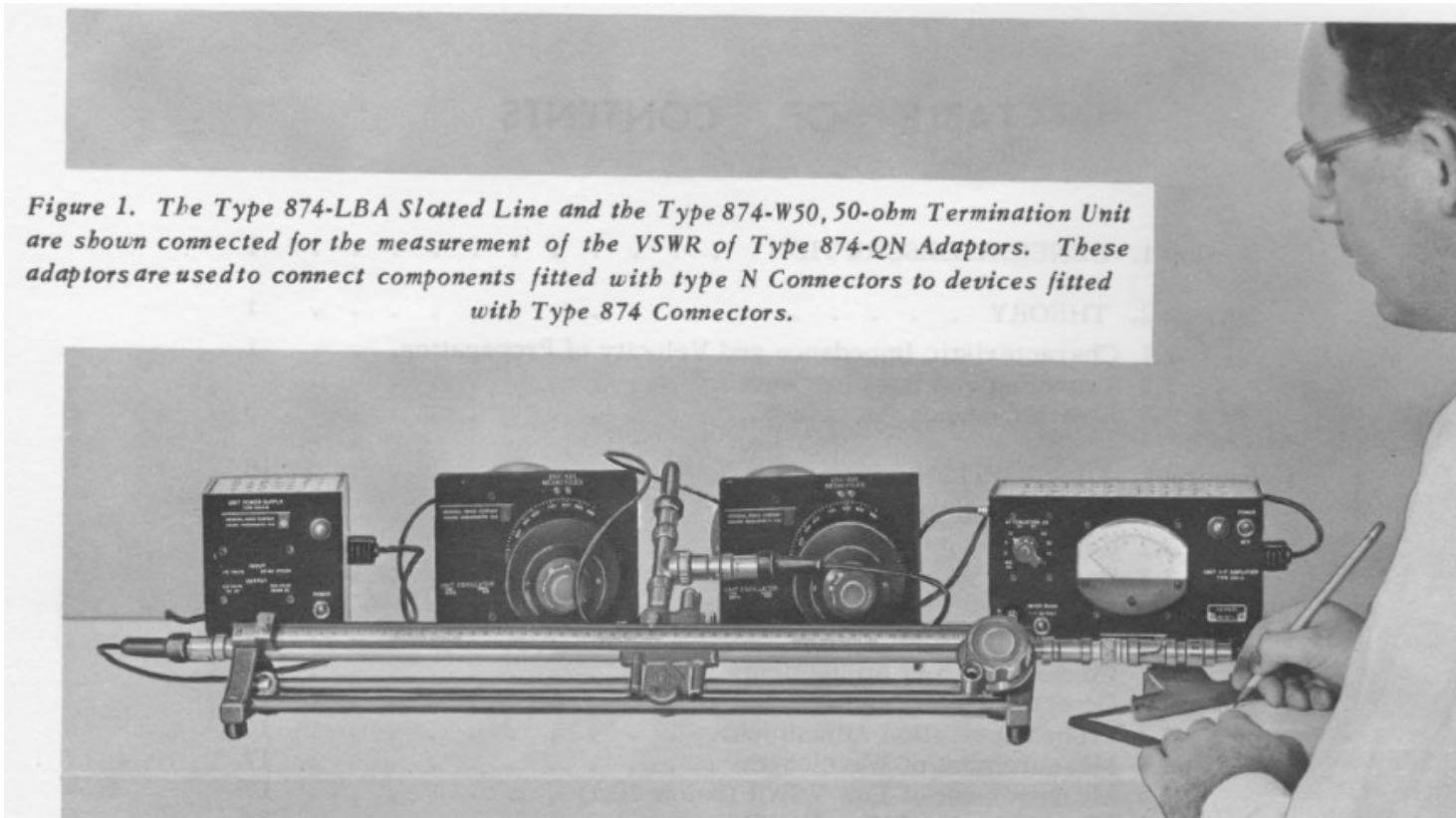
Des exemples de solutions :



TP : Comprendre l'adaptation d'impédance

Visualisation d'ondes stationnaires sur ligne à fente

- ♦ Ligne à fente = Ligne de transmission permettant de mesurer directement le TOS
- ♦ Remplacé depuis les années 50 par le VNA, mais très pédagogique !



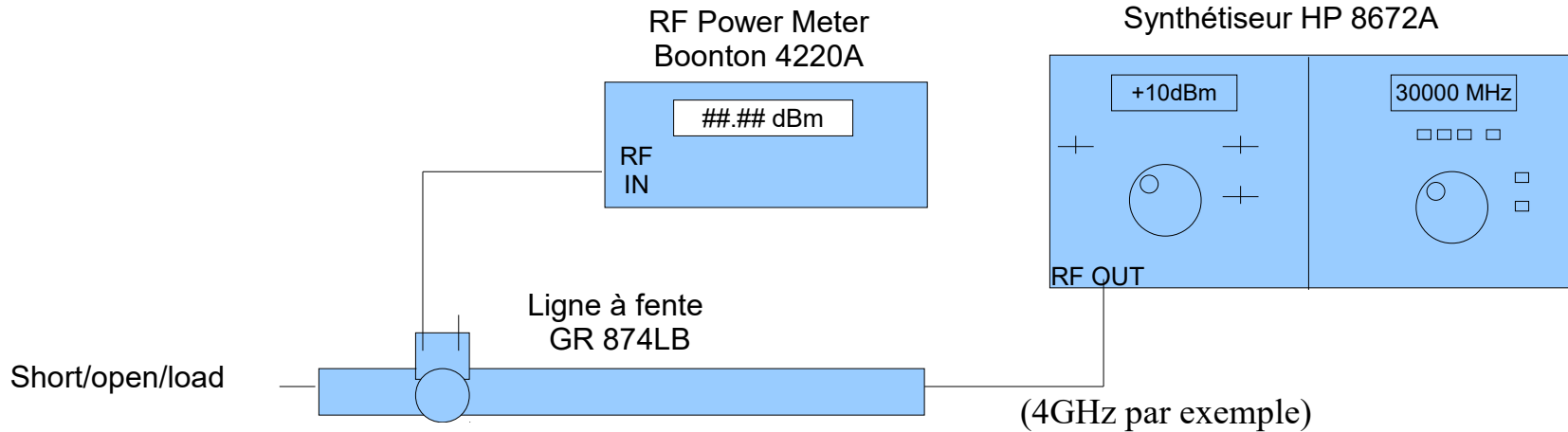
TP : Comprendre l'adaptation d'impédance

Visualisation d'ondes stationnaires sur ligne à fente

♦ La configuration de test :

(ou autre milliwattmètre,
ou analyseur de spectre,
ou détecteur à diode...)

(ou autre générateur RF)



TP : Comprendre l'adaptation d'impédance

Visualisation d'ondes stationnaires sur ligne à fente

- ◆ Avec un circuit ouvert en sortie, mesurer la **tension** le long de la ligne.
- ◆ Tracer celle ci en fonction de la distance. Quel est le TOS ?
- ◆ En déduire aussi la fréquence du signal
- ◆ Refaire la manipulation avec un court-circuit en bout de ligne. Quel est le changement ?
- ◆ Refaire la manipulation avec une charge adaptée. TOS ?

Formation 202 - Antennes niveau 2 (optimisation/mesure)

Module 03 - L'analyseur de réseau vectoriel



L'analyseur de réseaux vectoriel

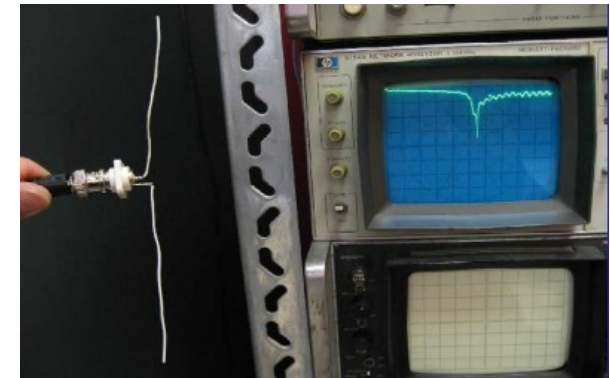
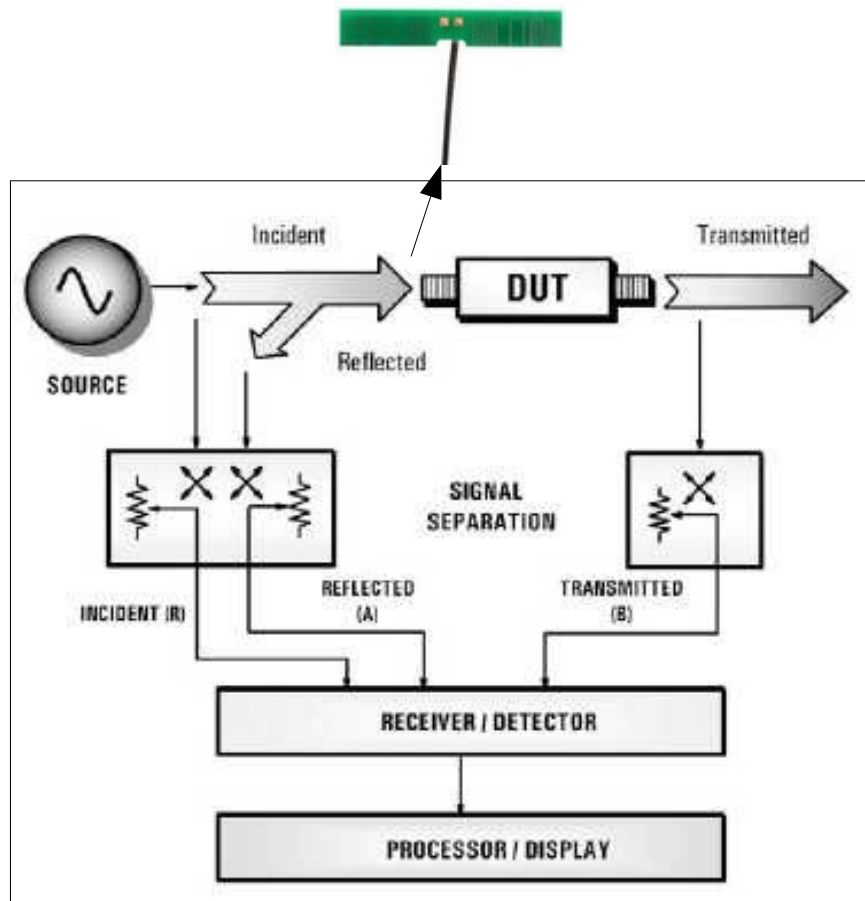
Contenu du module

- L'analyseur de réseaux vectoriel
 - > Principe
 - > Applications
 - > Calibration
 - > Exemples d'équipements

L'analyseur de réseaux vectoriel

Principe

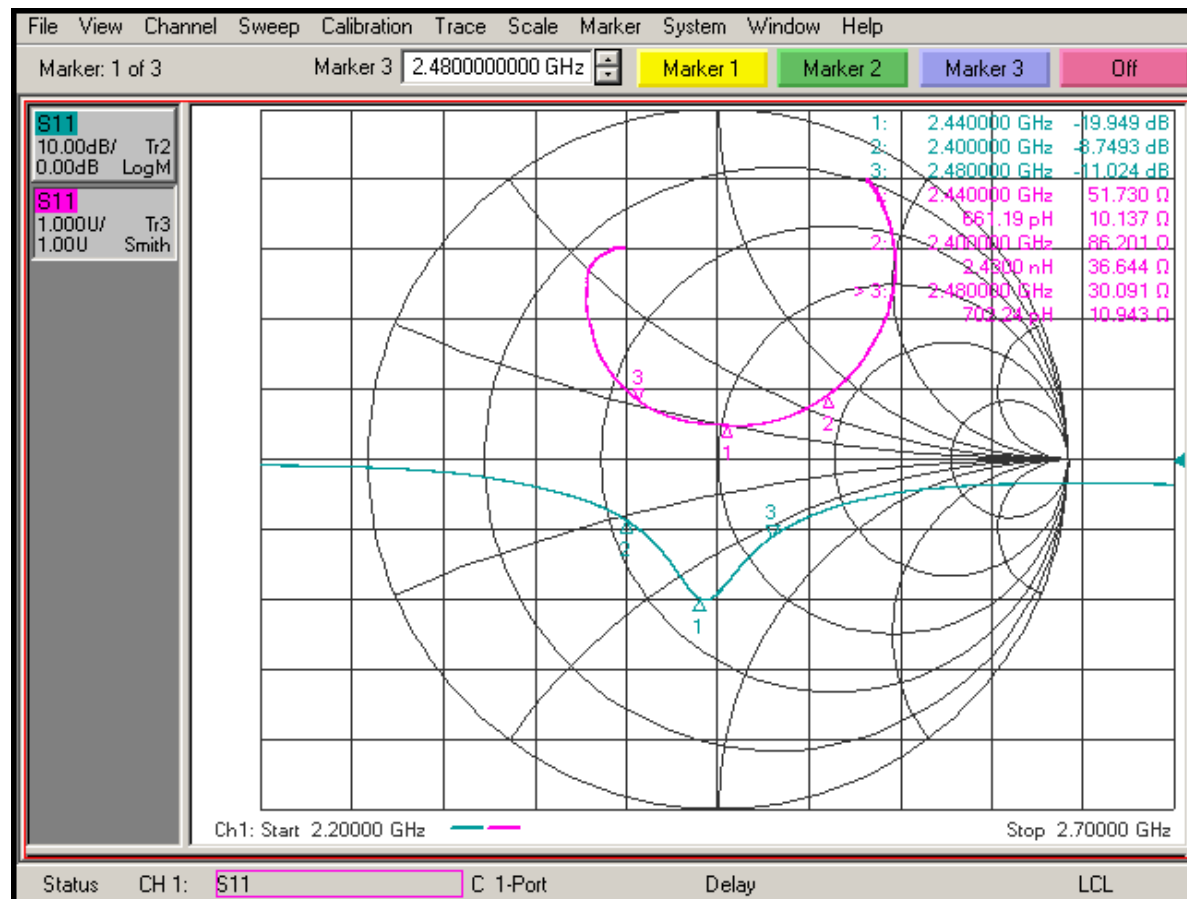
- ♦ VNA = générateur RF + pont de mesure + mesure phase & amplitude
- ♦ Un seul port nécessaire pour les antennes, souvent 2 ou plus disponibles



L'analyseur de réseaux vectoriel

Principe

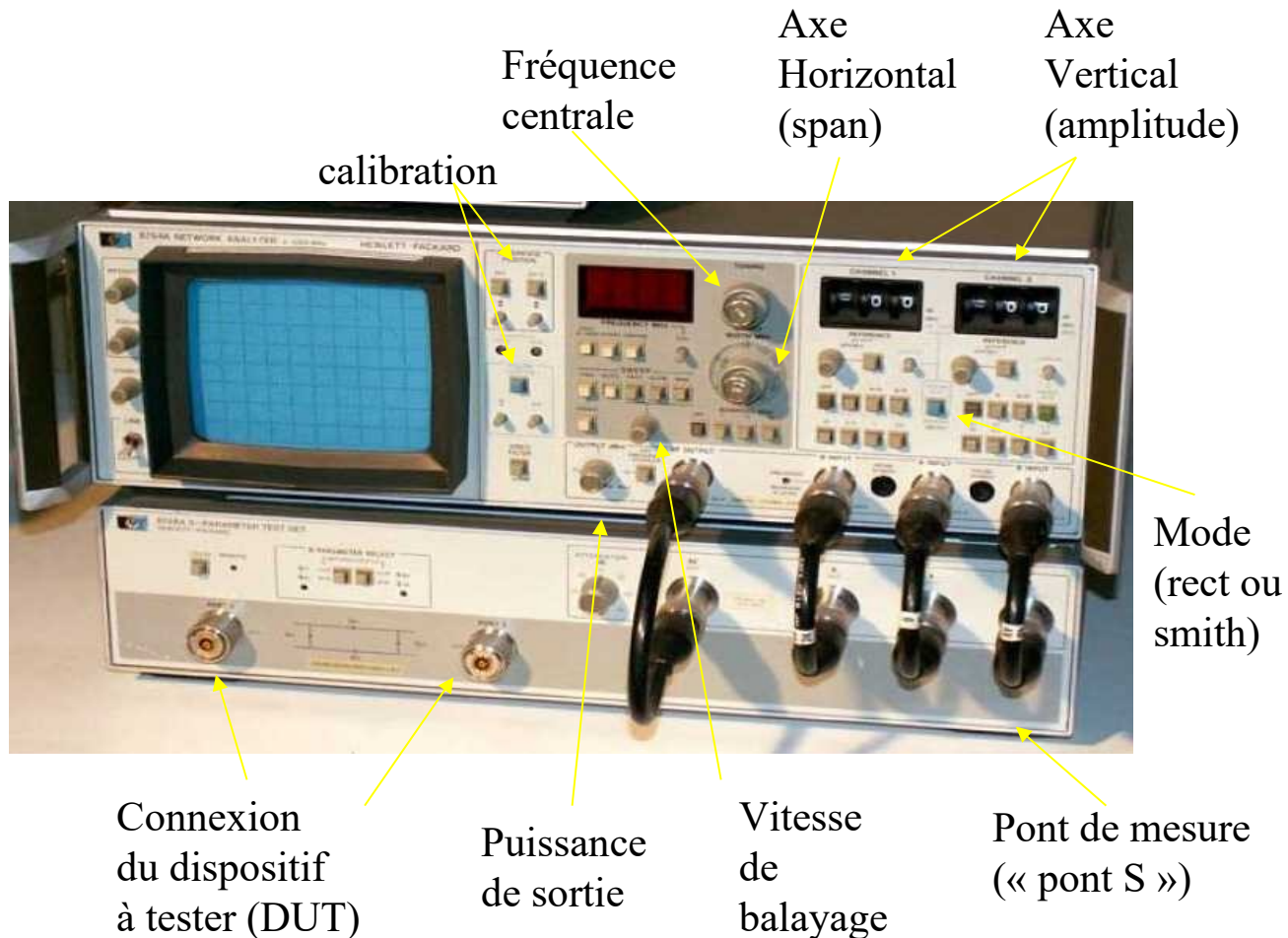
- ◆ Pour une antenne : Affiche le S11
- ◆ Soit sous forme rectangulaire (magnitude du S11 fonction de la fréquence)
- ◆ Soit sous forme polaire (diagramme de Smith), avec calcul de l'impédance...



L'analyseur de réseaux vectoriel

Principe

- ◆ Un exemple avec un modèle ancien pour bien comprendre...



L'analyseur de réseaux vectoriel

Applications

- ◆ Les usages d'un VNA ?

- ◆ Mesurer les caractéristiques d'un filtre
- ◆ Mesurer les performances d'un amplificateur
- ◆ Mesurer l'impédance d'un réseau quelconque
- ◆ Mesurer l'impédance d'une antenne
- ◆ Mesurer l'influence de l'environnement sur l'accord d'une antenne
- ◆ Mesurer la bande passante d'une antenne
- ◆ Calculer et vérifier un réseau d'adaptation d'impédance

- ◆ Il existe aussi des analyseurs de réseau scalaires (non vectoriels)
- ◆ Permet de mesurer l'amplitude mais pas la phase de la réflexion
- ◆ Suffit pour vérifier un TOS ou un accord, mais pas pour calculer un réseau d'accord

L'analyseur de réseaux vectoriel

Calibration

- ◆ VNA = Mesure fine de déphasages, et c'est critique (1° à 2,4GHz = 1,2ps...)
- ◆ Un VNA se calibre à chaque mesure, et phase cruciale
- ◆ Compensation des erreurs de l'appareil, mais aussi des câbles de liaison
- ◆ Qualité des câbles souvent très importante pour mesure reproductible



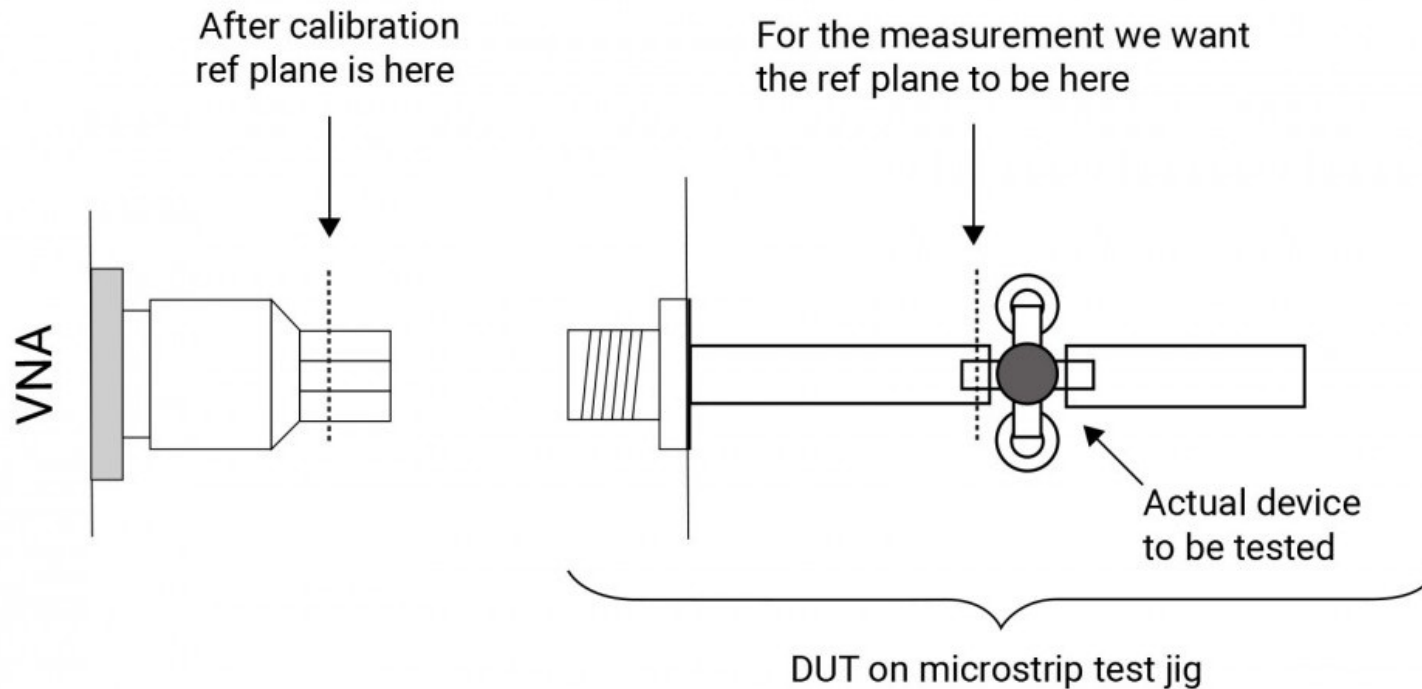
- ◆ Le principe : Utilisation d'un set de calibration (short/open/load en général), dont les défauts sont connus du VNA



L'analyseur de réseaux vectoriel

Calibration

- ◆ Fréquemment impossible de raccorder le kit de calibration à l'endroit où l'on veut mesurer une impédance (ex : Pas de connecteur)
- ◆ Dans ce cas, calibration là où l'on peut, et décalage du plan de référence

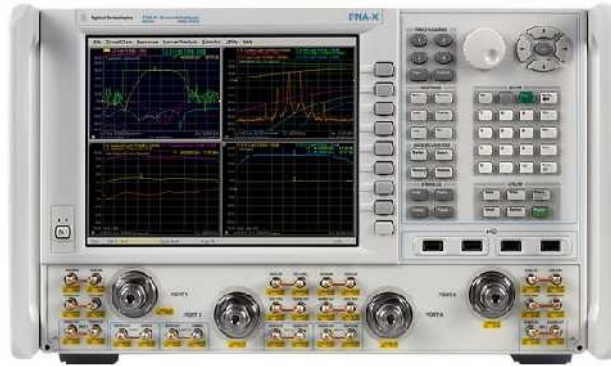


Source : Pico)

L'analyseur de réseaux vectoriel

Exemple d'équipements

- ◆ Principaux acteurs : Keysight, Rhodes & Schwarz, Tektronix, Anritsu, Lecroy...
- ◆ Des produits chers (20K à >1MEur neuf, >5KEur d'occasion) mais irremplaçables



- ◆ Quelques solutions plus abordables mais de performances modestes (Pico, planar ; etc), voire... très modestes (VNWA, nano-VNA, etc)



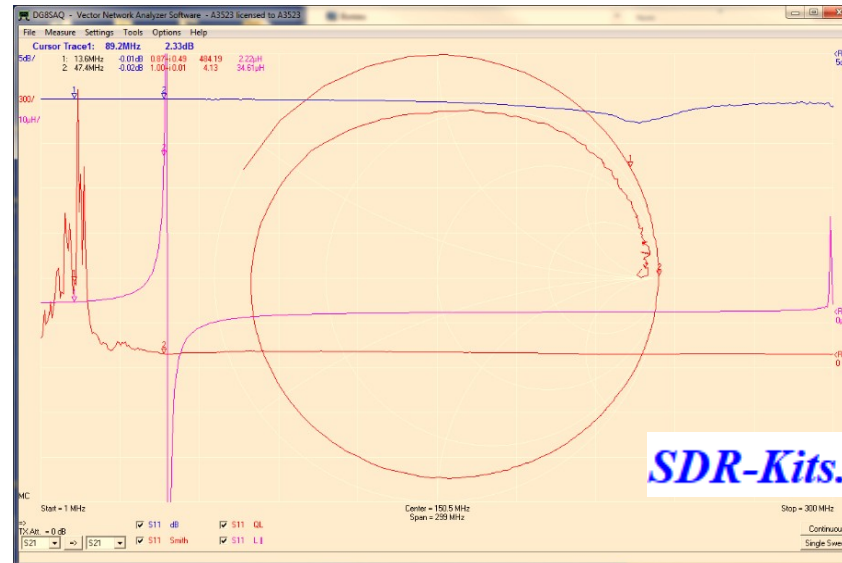
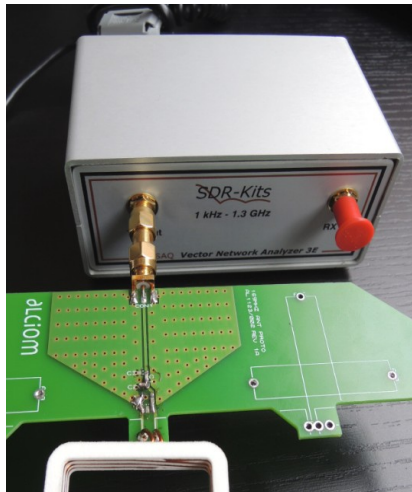
75,82 EUR

Achat immédiat
Livraison gratuite
de Chine

L'analyseur de réseaux vectoriel

Exemple d'équipements

- ◆ Un exemple de produit low cost : le VNWA3
- ◆ 500Eur, très intéressant, mais avec des contraintes non négligeables : Limité à 1,3GHz, dynamique et stabilité réduite, et grande variation de l'amplitude du signal de test : Exclusivement pour circuits passifs



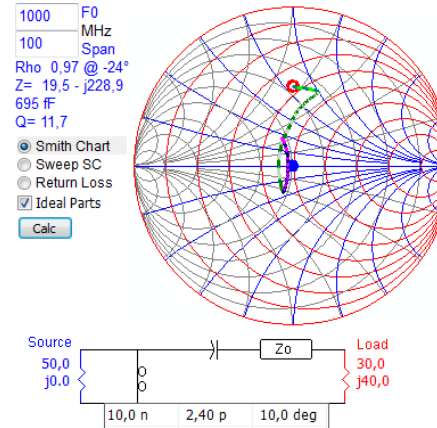
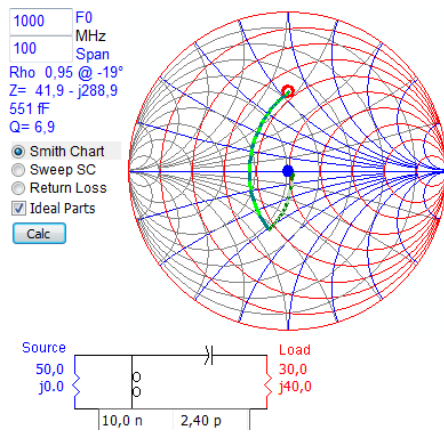
SDR-Kits.net - DG8SAQ

- ◆ Usage en général occasionnel et expertise nécessaire pour leur mise en oeuvre : Souvent préférable de trouver un bon partenaire pour faire ces mesures...

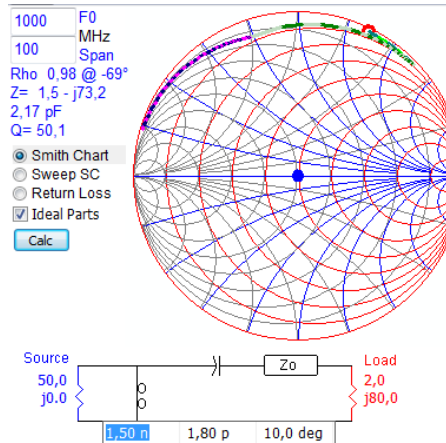
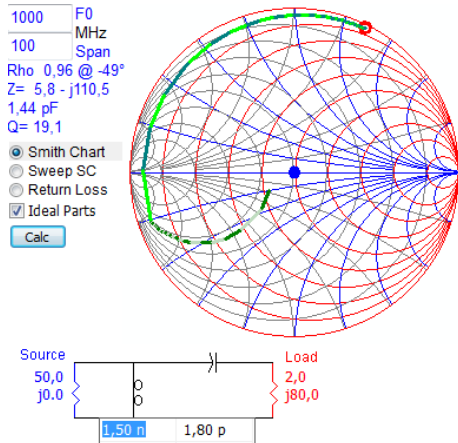
L'analyseur de réseaux vectoriel

Exemple d'équipements

- ❖ Faut-il un VNA à 100Eur, à 500Eur, à 5000Eur, à 50KEur, à 500KEur ?
- ❖ Ca dépend ! De la fréquence bien sûr, mais pas que :



1GHz, 30+40j ohm,
Erreur de 10° :
Ca marche encore



1GHz, 2+80j ohm,
Erreur de 10° :
Complètement faux !

L'analyseur de réseaux vectoriel

Exemple d'équipements

◆ En pratique :

◆ Plus la fréquence est haute

◆ et/ou plus l'antenne est compacte

◆ et/ou plus il y a d'éléments proches de l'antenne

◆ Et plus l'accord sera étroit et critique,

◆ Et donc plus le VNA devra être précis donc cher !

◆ Et plus la mesure et son interprétation nécessitera de l'expertise

◆ Or on n'en sait en général rien au départ

◆ Usage en général occasionnel et expertise nécessaire pour leur mise en oeuvre :
Souvent préférable de trouver un bon partenaire pour faire ces mesures...



L'analyseur de réseaux vectoriel

Exemple d'équipements

- ◆ Le VNA, peut-on s'en passer ?



Formation 202 - Antennes niveau 2 (optimisation/mesure) Module 05 - L'accord d'une antenne



L'accord d'une antenne

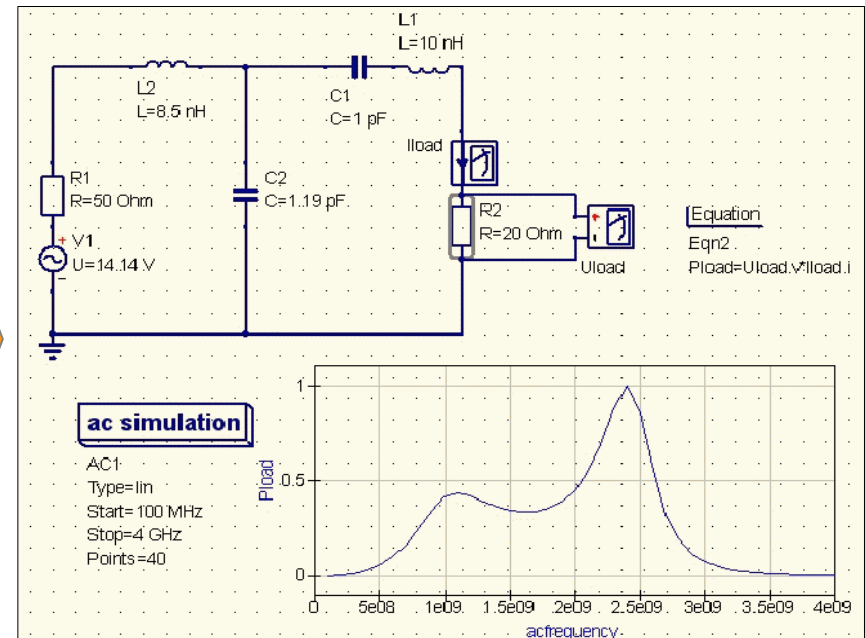
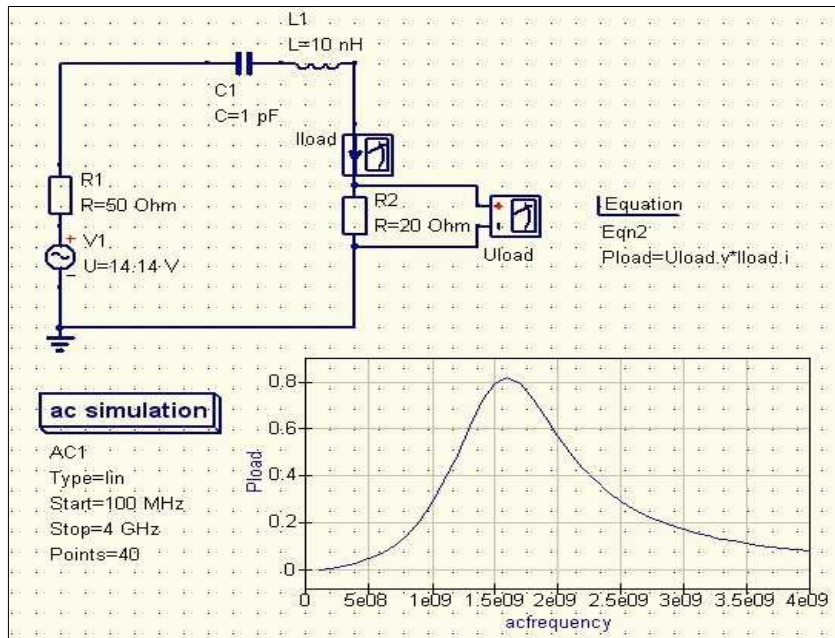
Contenu du module

- L'accord d'une antenne
 - > La mesure d'impédance en pratique
 - > Influence de l'environnement
 - > Précautions de routage et points de test
 - > Inductances et capacités parasites
 - > Choix des composants d'accord
 - > Méthodes et outils de calcul
 - > La théorie et la réalité

L'accord d'une antenne

La mesure d'impédance en pratique

- ◆ Rappel : Toujours possible de transformer Z en Z' en insérant un réseau d'adaptation d'impédance (mais les composants peuvent avoir des valeurs irréalisables...)

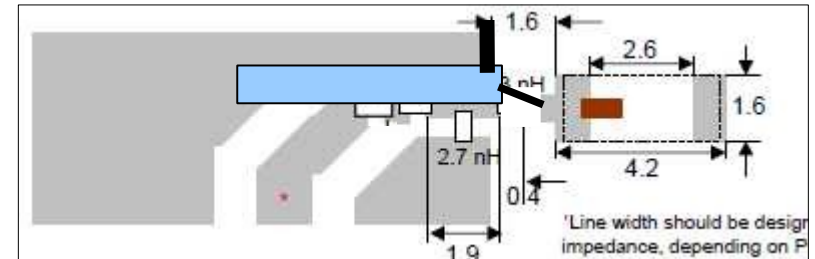


L'accord d'une antenne

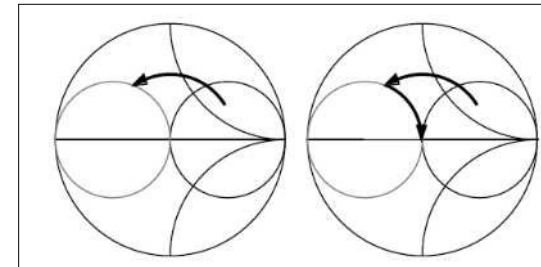
La mesure d'impédance en pratique

◆ Rappel des étapes classiques :

- Calibrer l'analyseur de réseaux
- Mesurer l'impédance de l'antenne, dans son environnement



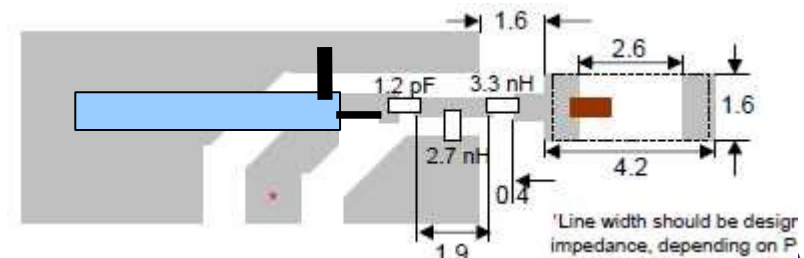
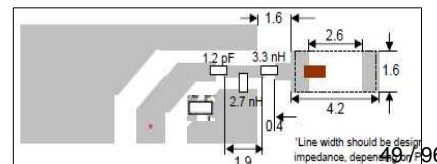
- Calculer le réseau d'adaptation théorique



- L'implanter, en prenant en compte les composants parasites si possible

- Vérifier le résultat

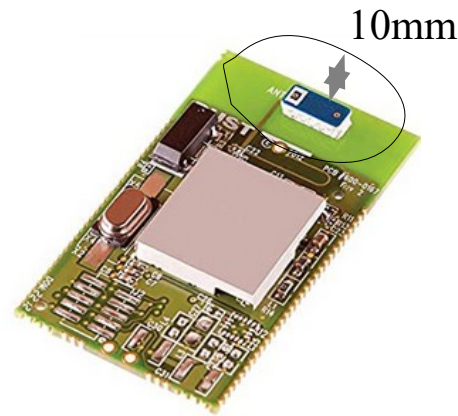
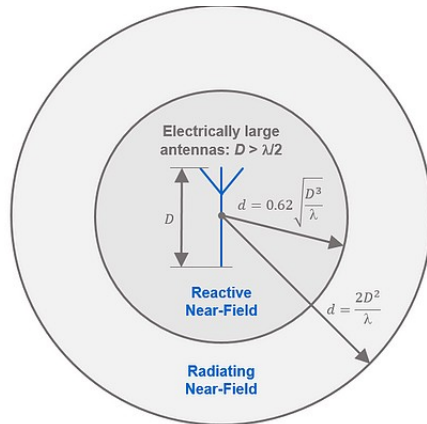
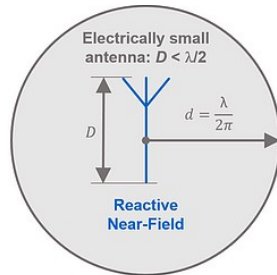
- Fermer le circuit



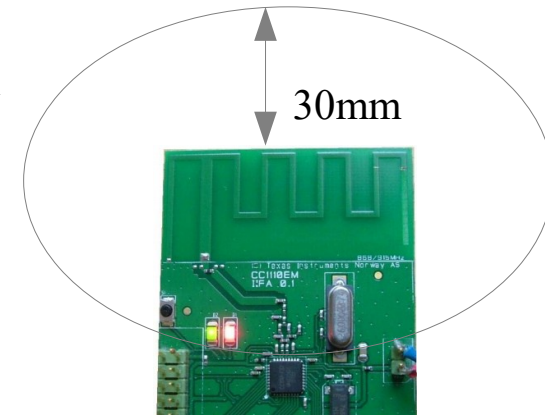
L'accord d'une antenne

Influence de l'environnement

- Impédance de l'antenne fonction de tout ce qui est dans son champ proche



2,4GHz : $\lambda = c/f = 12\text{cm}$
 $D=6\text{mm}, \ll \lambda/2$
 $\lambda/2\pi = 19\text{mm}$
 $2D^2/\lambda = 0,6\text{mm}$
10mm ?



868MHz : $\lambda = c/f = 0,34\text{m}$
 $D=40\text{mm}, < \lambda/2$
 $\lambda/2\pi = 50\text{mm}$
 $2D^2/\lambda = 10\text{mm}$
30mm ?

- De là définir l'environnement de référence, et tester le produit dans cette configuration : PCB avec le boîtier, fixations, main proche, etc

L'accord d'une antenne

Influence de l'environnement

- Un rappel important à ce stade :

$$Q = \frac{1}{(ka)^3} + \frac{1}{ka}$$
$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

extended Chu-Wheeler criterion

A=radius sphere

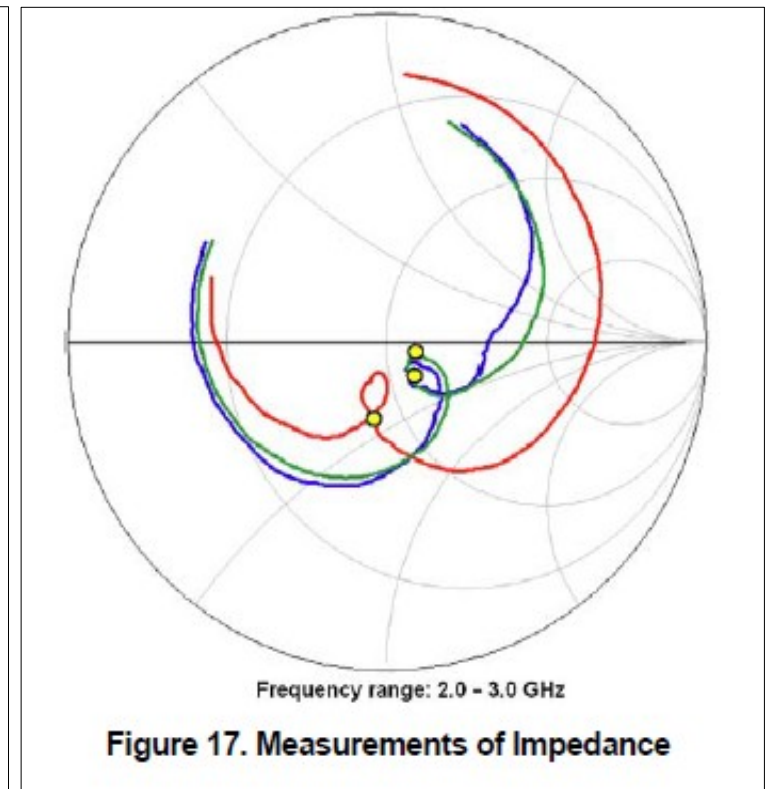
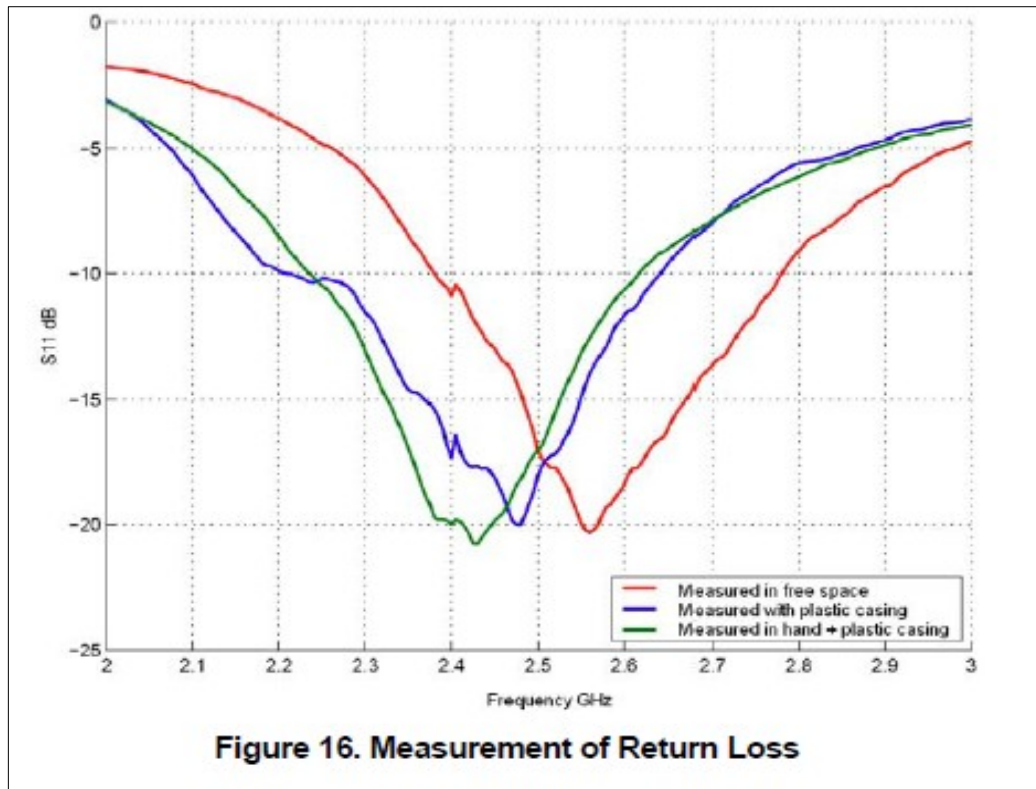
Q=quality factor (freq/bandwidth)

- Donc une antenne est :
- soit grande,
- soit pas efficace (mauvais gain partout...),
- soit bande très étroite (critique si environnement non parfaitement maîtrisé)
- ... soit, en pratique, un peu les 3 !

L'accord d'une antenne

Influence de l'environnement

- Rappel : exemple de l'influence d'un simple boîtier plastique :

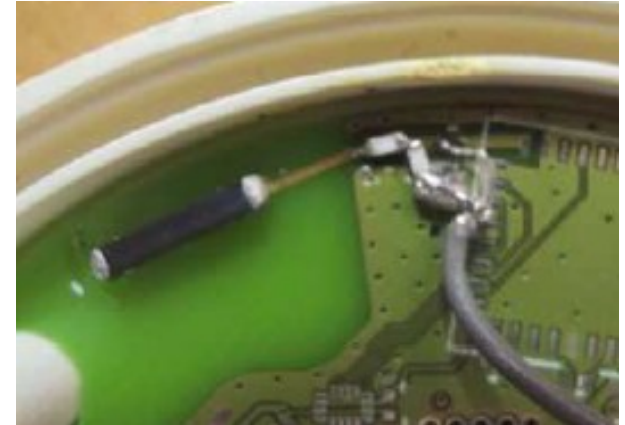


- Peut être quasi négligeable pour une (grande) antenne large bande, mais en général **très critique pour une antenne miniature**

L'accord d'une antenne

Précautions de routage et points de test

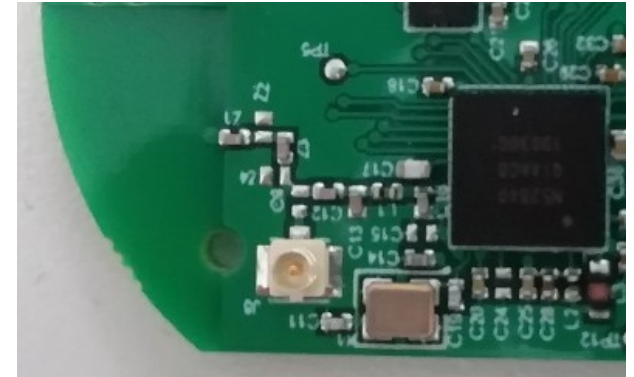
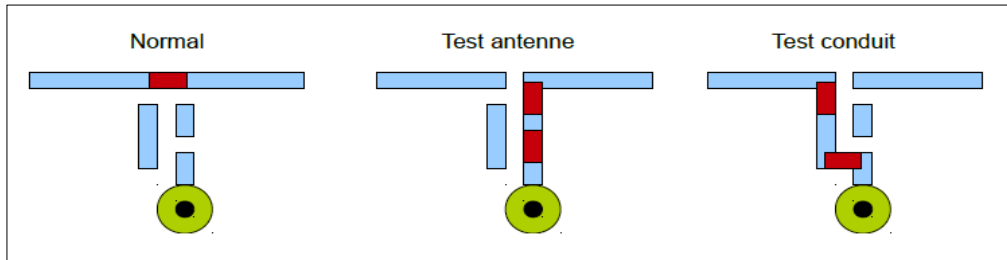
- ◆ Comment raccorder le VNA pour mesurer l'impédance de l'antenne ?
- ◆ Objectif : ne pas introduire d'impédances parasites, et ne pas perturber l'antenne
- ◆ Solution classique : petit jumper en câble semi-rigide ou de qualité, masse soudée sur le plan de masse du produit au plus prêt du raccordement, connexion antenne au plus court



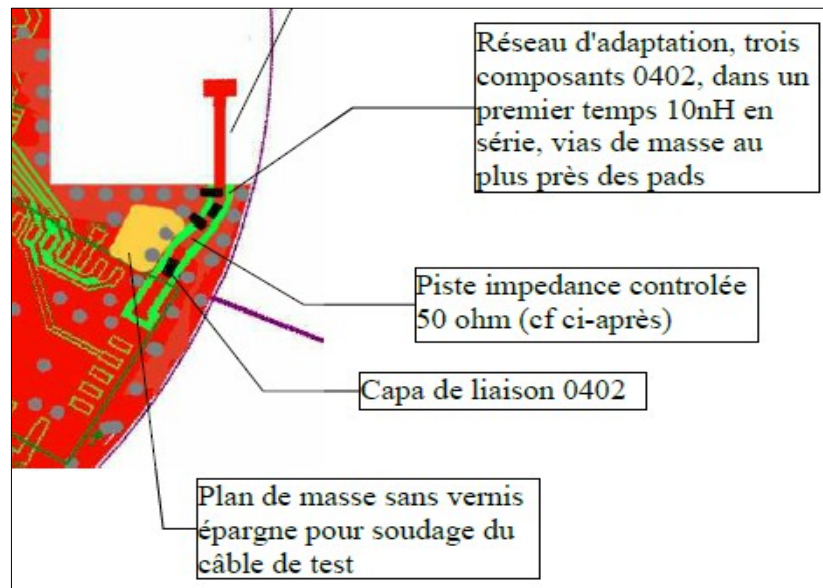
L'accord d'une antenne

Précautions de routage et points de test

- ◆ Beaucoup plus facile si cela a été anticipé sur le PCB... via un connecteur...
- ◆ Exemple de solutions utilisées souvent par Alciom :



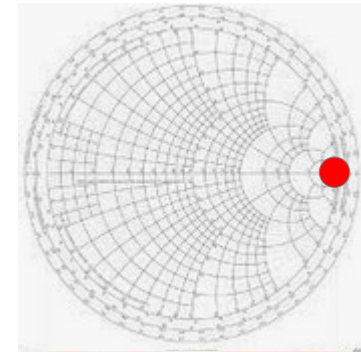
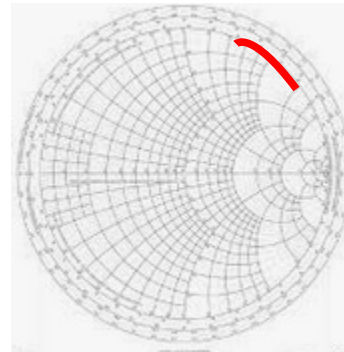
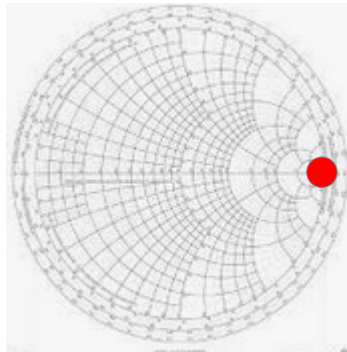
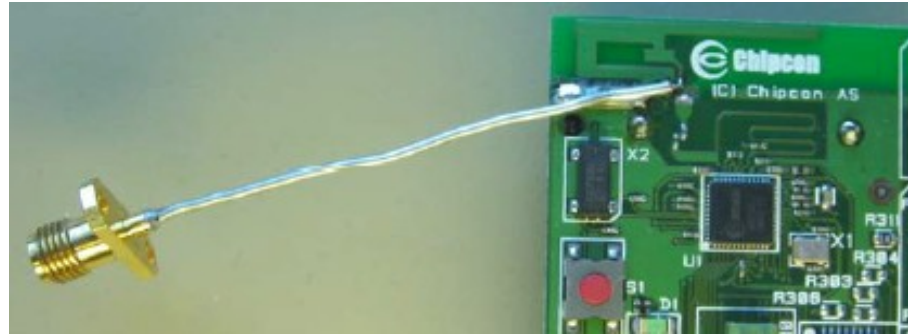
- ◆ ou a minima prévoir plage d'accueil du câble, de son blindage et d'un réseau d'adaptation :



L'accord d'une antenne

Précautions de routage et points de test

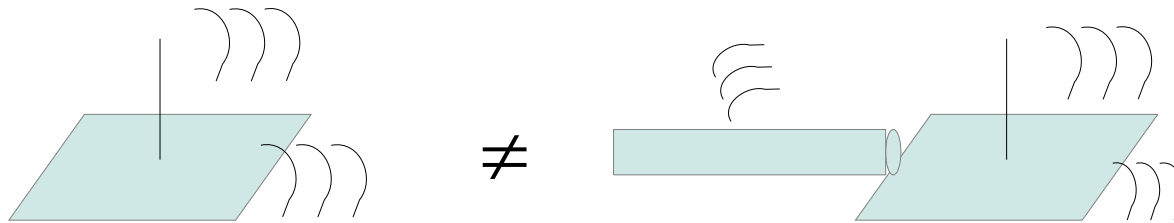
- ◆ Penser à décaler le plan de référence **avant** de souder le coax de mesure...



L'accord d'une antenne

Précautions de routage et points de test

- Tous les câbles externes peuvent aussi influencer sur l'accord d'une antenne
- D'autant plus que le plan de masse (la taille du PCB) est petit par rapport à λ

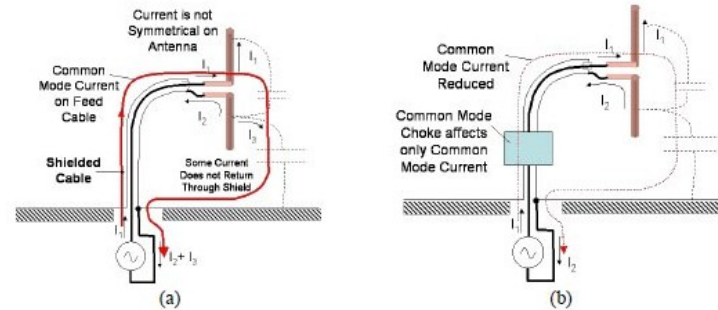


- D'où un problème avec les produits petits : L'ajout du câble de mesure pour le VNA modifie la taille du plan de masse, et donc modifie l'antenne que l'on mesure !
- L'anticiper, vérifier au moins l'impact...

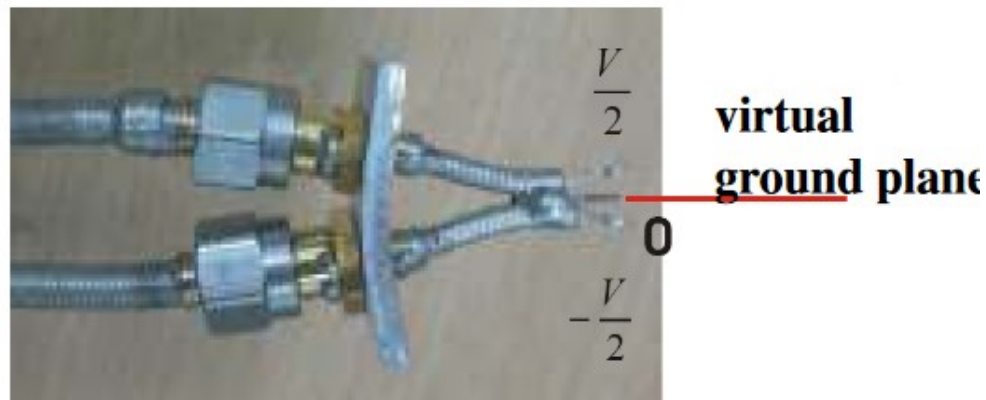
L'accord d'une antenne

Précautions de routage et points de test

- Deux solutions pour réduire l'impact du câble de mesure sur l'antenne :
- Ajouter une ferrite sur le câble au plus proche du produit



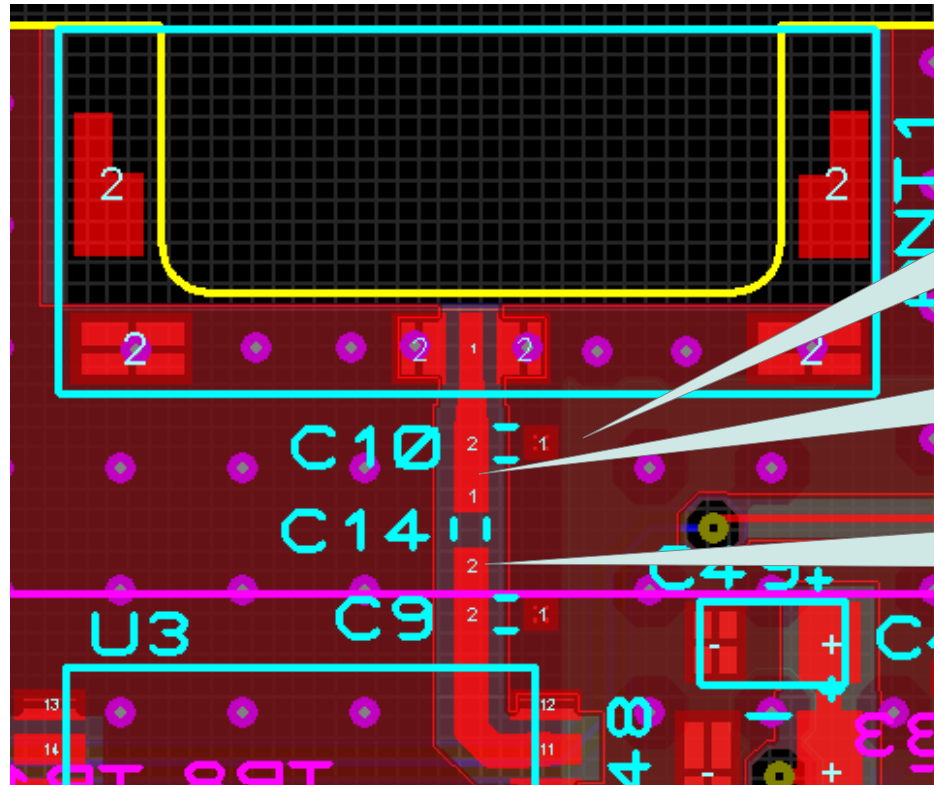
- Ou mesure différentielle, plus complexe. Revient à traiter le produit comme un dipole et à extraire les bonnes caractéristiques par calcul sur le VNA



L'accord d'une antenne

Inductances et capacités parasites

- Dans l'approche « simple », les composants d'accord sont supposés parfaits et colocalisés, ce n'est pas vrai en pratique...



Vias de masse non collés aux composants d'accord

Des (petites) lignes de transmission entre les composants d'accord

Pads créant des capacités parasites

- Si possible, minimiser impérativement ces « défauts » sur le routage du PCB

Attention au choix des composants L/C !

Choisir des gammes en accord avec la bande de fréquence utilisée

MULTICOMP - MCMT18N100
10PF



JOHANSON TECHNOLOGY
HI Q 0603 250V 10PF



- **CONDENSATEUR 0603 NPO 100V 10PF**
- **Gamme de produit:** MULTICOMP - MCCA Series
- **Capacité:** 10pF
- **Tolérance de capacité:** $\pm 1\%$
- **Diélectrique:** COG / NPO
- **Tension:** 100V
- **Boîtier de condensateur Céramique:** 0603 [1608 Metric]
- **Température d'utilisation min:** -55°C
- **Température de fonctionnement max..:** 125°C
- **Type de packaging:** Bande découpée
- **MSL:** -
- **SVHC:** No SVHC (20-Jun-2013)
- **Bornes de condensateur:** SMD

Qté	Prix Unitaire HT
100 - 400	0,027 €
500 - 900	0,024 €

- **CONDENSATEUR HI Q 0603 250V 10PF**
- **Capacité:** 10pF
- **Tolérance de capacité:** $\pm 2\%$
- **Tension:** 250V
- **Type de boîtier de condensateur:** 0603 [1608 Metric]
- **Température de fonctionnement max..:** 125°C
- **Type de packaging:** Bande découpée
- **MSL:** -
- **SVHC:** No SVHC (16-Dec-2013)
- **Diélectrique:** COG / NPO
- **Montage du condensateur:** CMS
- **Nombre de broches:** 2

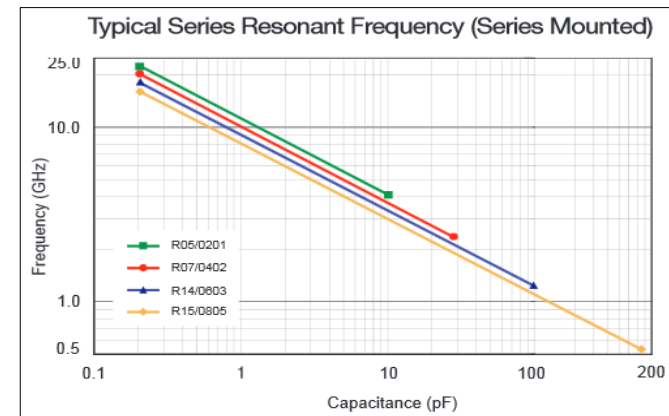
Qté	Prix Unitaire HT
25 - 75	0,46 €
100 - 475	0,28 €

L'accord d'une antenne

Choix des composants d'accord



?

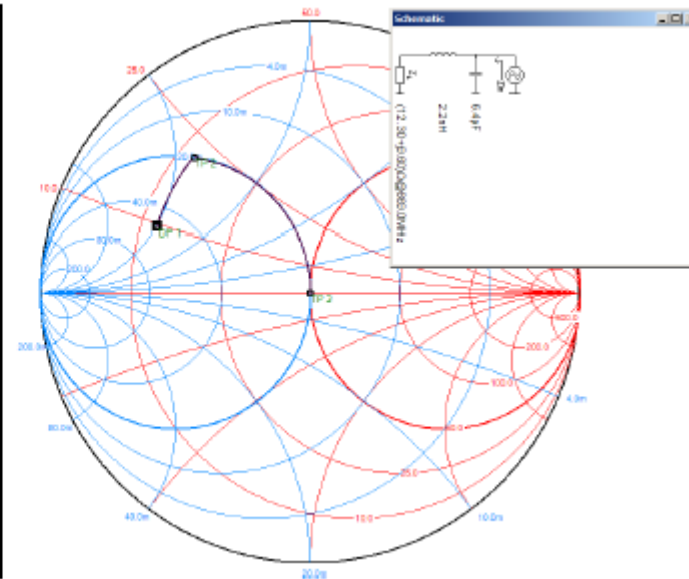
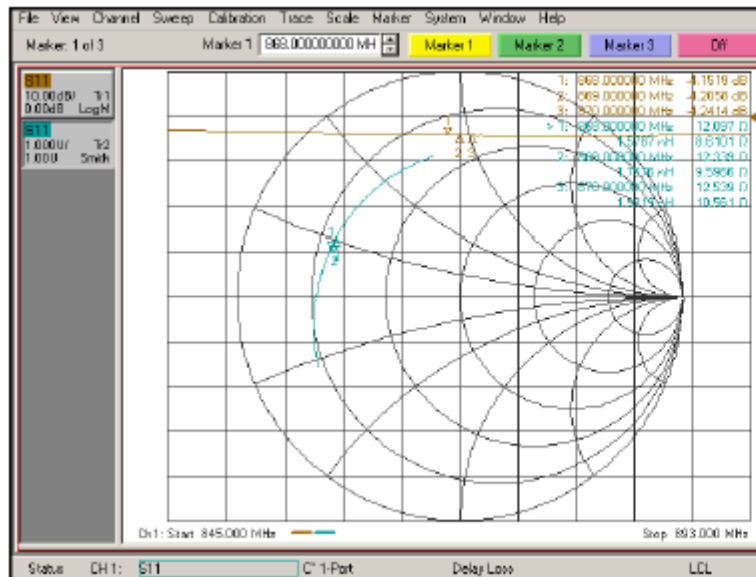


- ◆ Toujours utiliser des L et C de caractéristiques RF connues
- ◆ Vérifier les fréquences de résonance, doivent être significativement supérieures aux fréquences de travail
- ◆ Et surtout **spécifier le modèle/fournisseur du composant dans la BoM !**

L'accord d'une antenne

Méthodes et outils de calcul

- Une fois l'impédance mesurée, il faut calculer le réseau d'accord
- Pour les cas « simples », un outil de type Smith suffit



- Conseil : Implanter les composants **un par un**, en débutant coté antenne, et vérifier l'effet sur le diagramme de smith pas à pas
- Permet d'estimer les composants parasites, et de corriger le tir !

L'accord d'une antenne

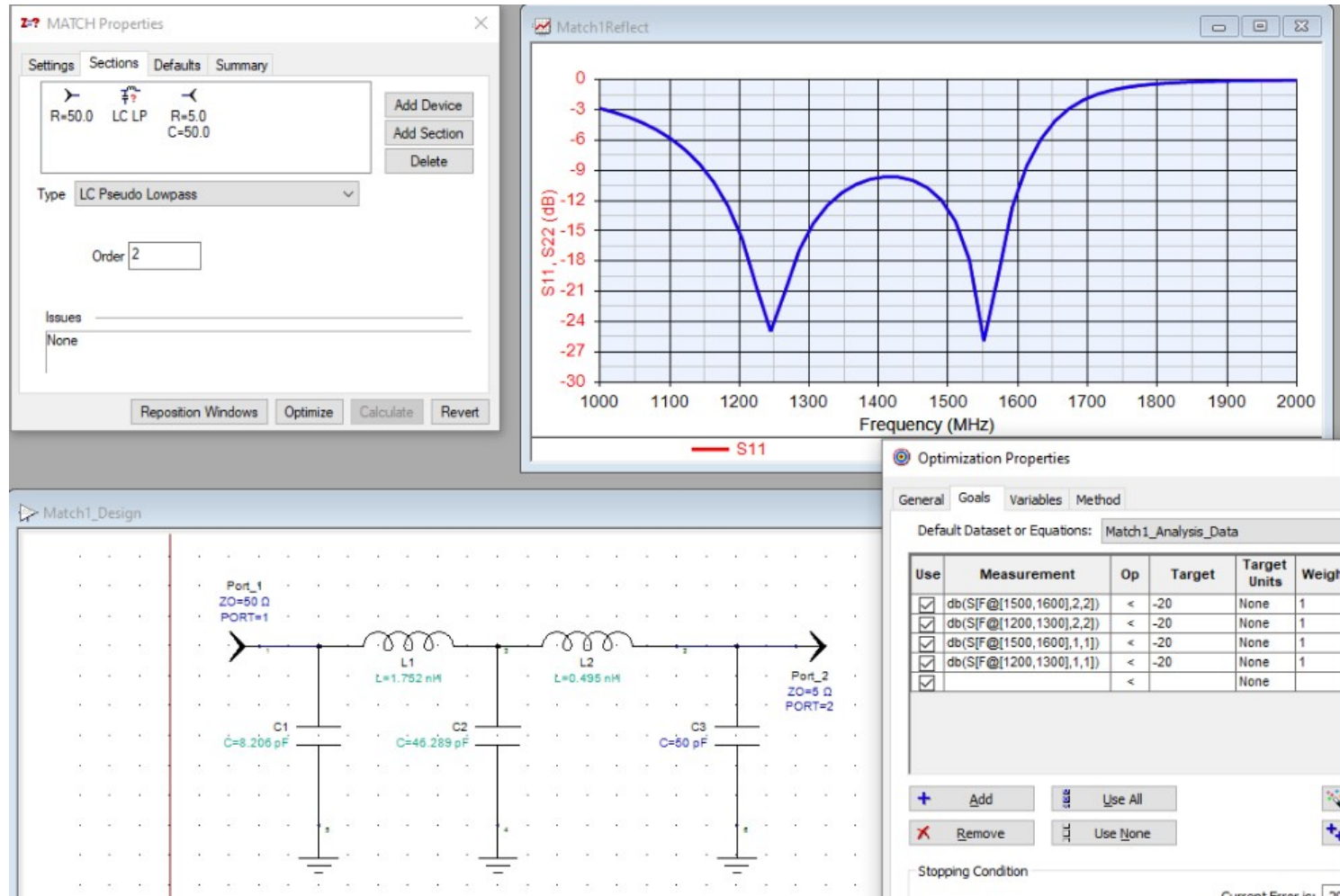
Méthodes et outils de calcul

- La limitation du calcul précédent : **tout est supposé parfait !**
- Peut être long dans la vraie vie, voire quasi impossible si :
 - Désaccord important ("proche du cercle")
 - Impédance variant significativement dans la bande d'accord
 - Très hautes fréquences
 - Composants parasites (espacement des composants d'accord, vias, etc)
 - Ou, pire, dans le cas d'antennes multi-bandes
- Peut être traité manuellement mais...
- Des logiciels spécifiques existent pour cela : Optenni lab, Genesys Synthesis, etc.
- **Optimisation multicritères**, tenant compte :
 - Des contraintes et objectifs du concepteur
 - Des imperfections des composants (bibliothèques)
 - Des composants parasites du PCB (espacement des composants d'accord, etc)
 - Etc

L'accord d'une antenne

Méthodes et outils de calcul

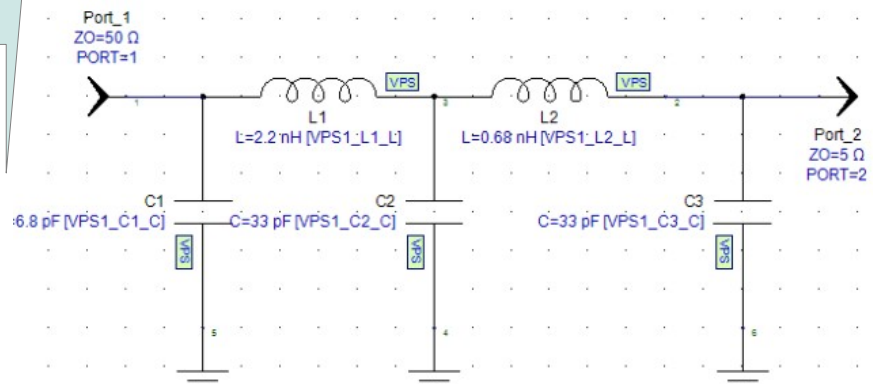
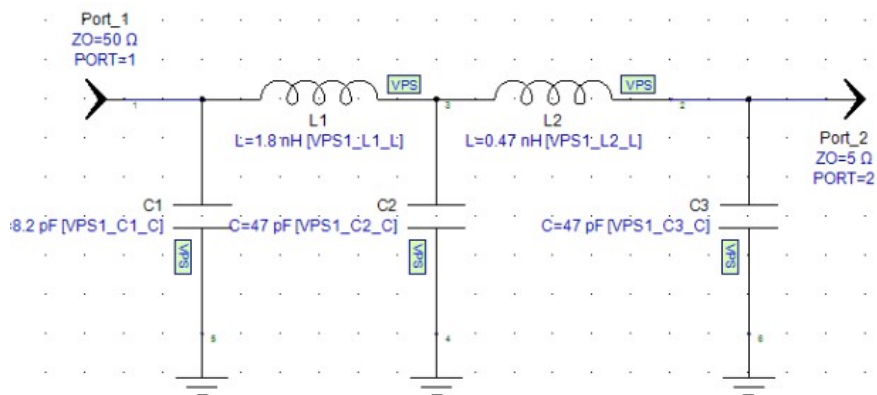
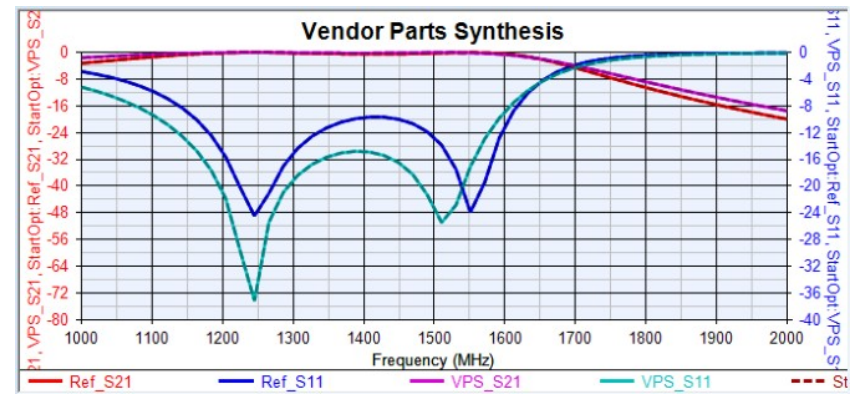
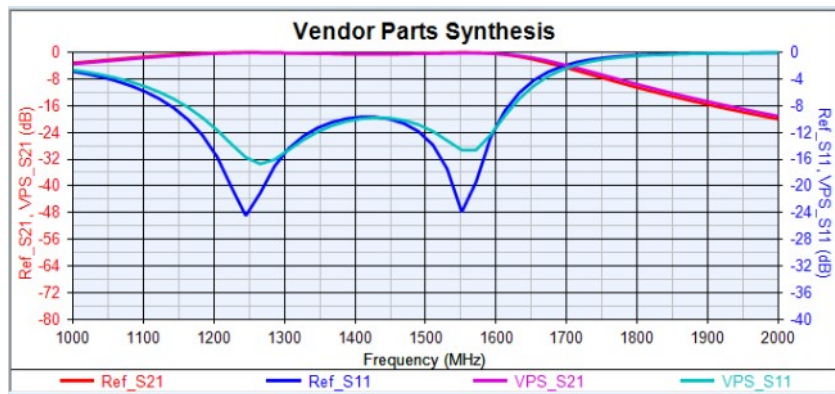
- Un exemple : Genesys Synthesis (Keysight)
- Antenne = 5 ohm + 50pF, besoin d'accord sur 1200-1300 et 1500-1600MHz ?



L'accord d'une antenne

Méthodes et outils de calcul

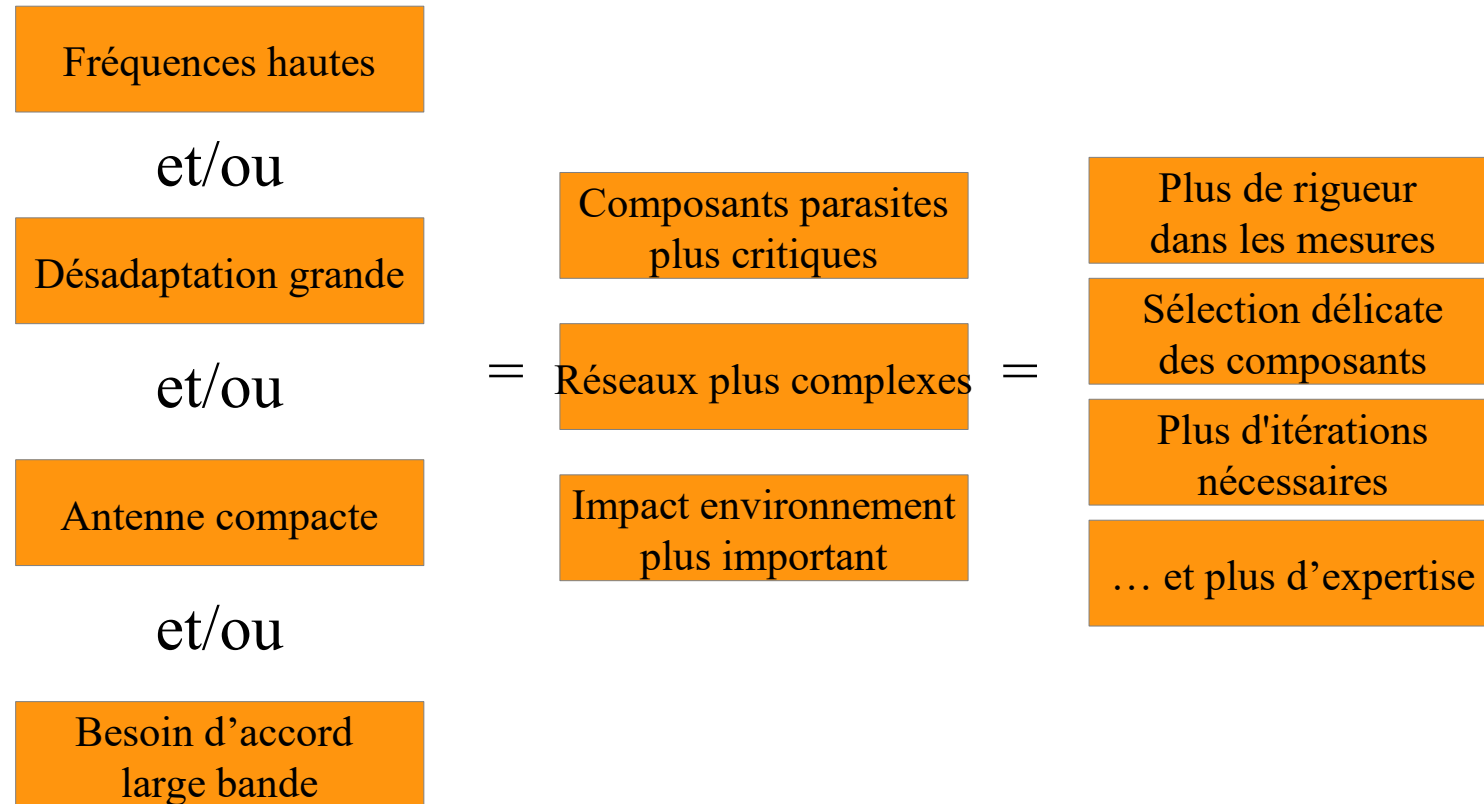
- Et quid avec des composants « réels » ?



L'accord d'une antenne

La théorie et la réalité

- Théorie vraie, mais vie réelle plus complexe





**Formation 202 - Antennes niveau 2
(optimisation/mesure)**

**Module 06 - TP : Adaptation d'impédance d'une
antenne**



TP : Adaptation d'impédance d'une antenne

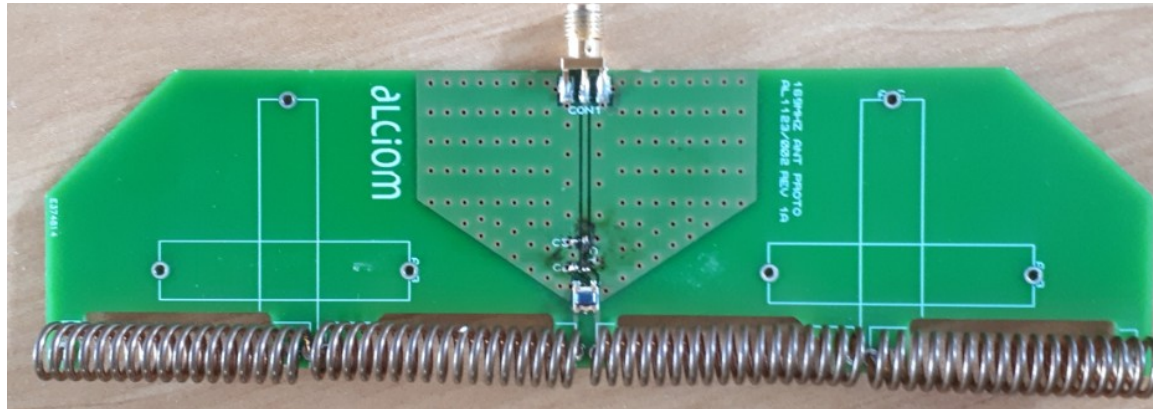
Contenu du module

- Travaux pratiques : Adaptation d'impédance d'une antenne
 - > Mise en oeuvre d'un analyseur de réseau vectoriel
 - > Mesure d'impédance
 - > Calcul et implantation d'un réseau correcteur
 - > Vérification de l'impédance finale
 - > Etude expérimentale de l'influence d'un boîtier sur les performances

TP : Adaptation d'impédance d'une antenne

L'antenne cible

- ◆ Un TP avec une antenne « facile » à adapter et surtout stable :
- ◆ Dipole avec balun intégré
- ◆ Fréquence assez basse : 169,4MHz
- ◆ Connecteur SMA



TP : Adaptation d'impédance d'une antenne

Les étapes...

- ◆ Dessouder le réseau d'accord existant le cas échéant
- ◆ Calibrer l'analyseur de réseaux (plage 140-200MHz)
- ◆ Raccorder le câble de mesure à l'antenne et décaler le plan de référence
- ◆ Remplacer le réseau d'accord par un shunt (1nF RF)
- ◆ Mesurer l'impédance complexe de l'antenne à 169,4MHz
- ◆ Calculer un réseau d'accord avec Smith
- ◆ Implanter le réseau d'accord, composant par composant
- ◆ Vérifier l'impédance résultante
- ◆ Mesurer le TOS et la bande passante
- ◆ Calculer la taille de la zone de champ proche
- ◆ Etudier l'influence de l'approche d'un objet en champ proche



Formation 202 - Antennes niveau 2 (optimisation/mesure)

Module 07 - Mesure des performances d'une antenne



Mesure des performances d'une antenne

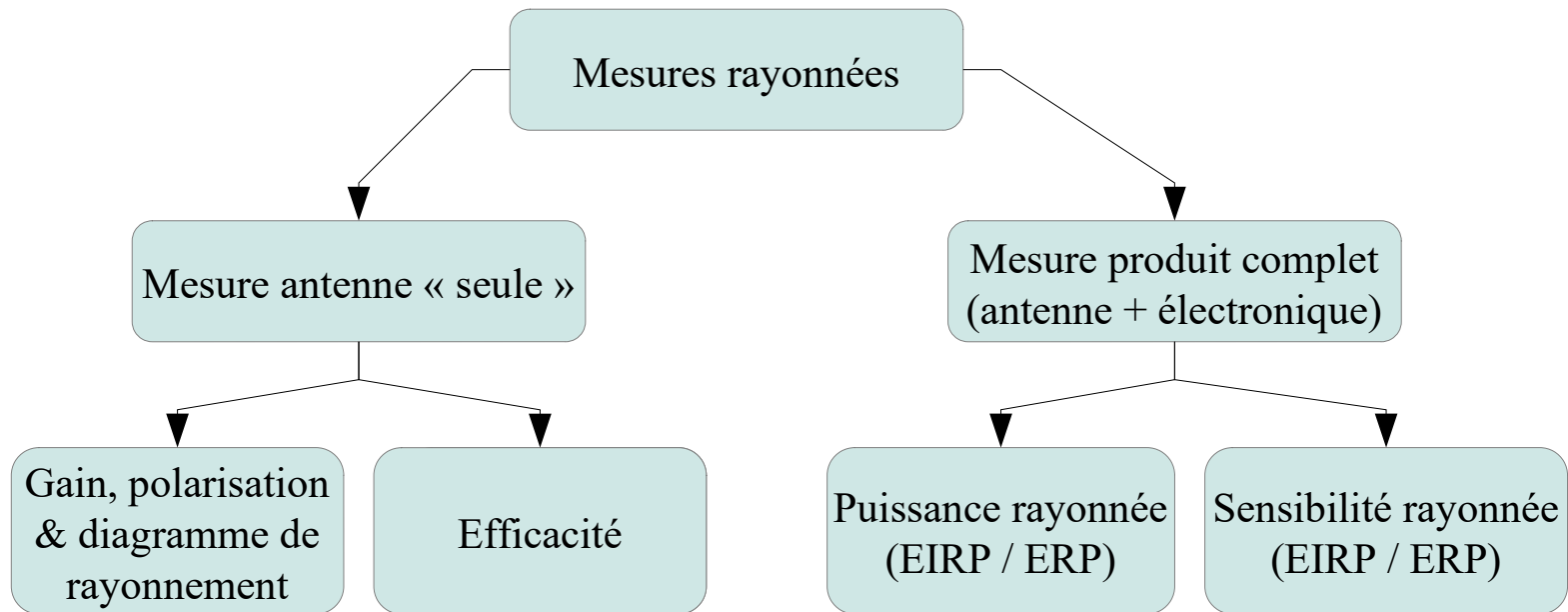
Contenu du module

- La mesure des performances d'une antenne
 - > Que mesurer
 - > Criticité des raccordements externes
 - > Mesure en champ libre
 - > Mesure en chambre anéchoïde
 - > Mesure en chambre dédiée

Mesure des performances d'une antenne

Que mesurer ?

- ◆ Première étape : Vérifier l'accord et la bande passante de l'antenne (VNA)
- ◆ Puis mesures rayonnées :



Réalisés avec générateur de test

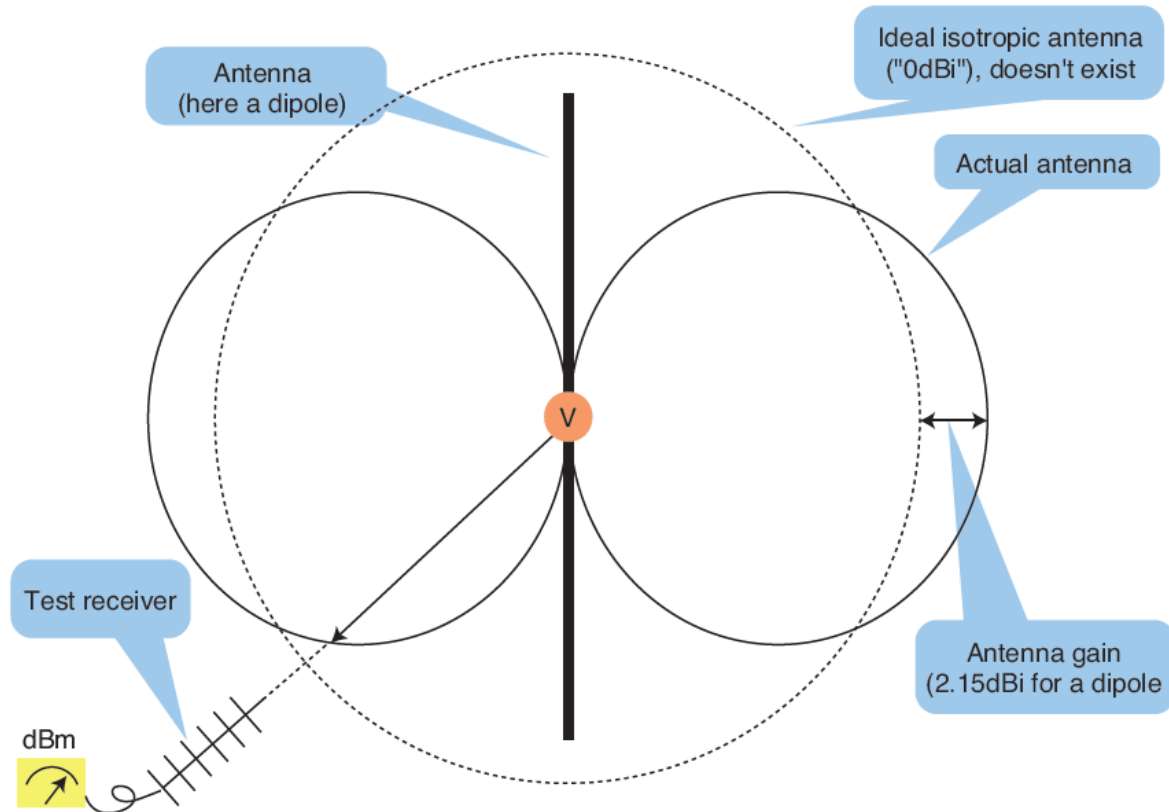
Possibilité d'en déduire l'EIRP si puissance conduite connue

Possibilité d'en déduire les caractéristiques de l'antenne si puissance conduite connue

Mesure des performances d'une antenne

Que mesurer ?

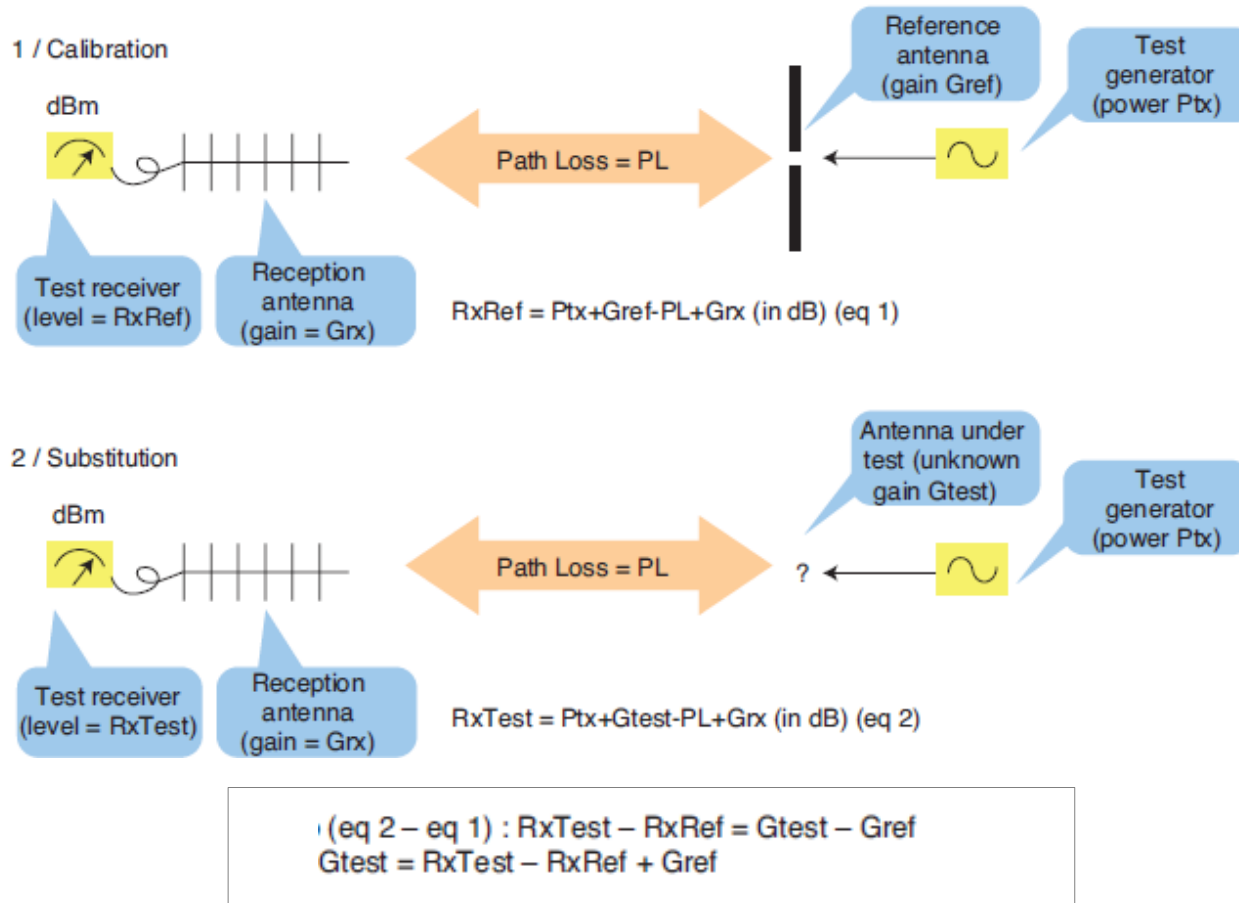
- ◆ Rappel de la notion de gain :



Mesure des performances d'une antenne

Que mesurer ? Le principe de substitution

- ◆ Dans tous les cas, mesure par substitution car trop de variables... :



- ◆ L'important : Que tout le reste reste **stable** (câbles, conditions de mesure, puissance de l'émetteur, réponse du récepteur, etc)

Mesure des performances d'une antenne

Que mesurer ? Le principe de substitution

- Besoin d'une antenne de référence de **gain connu** (à la fréquence de travail)
- Soit utilisation d'antennes calibrées (dipôles de référence), soit utilisation d'une antenne dipole supposée proche de la perfection



- Besoin d'un récepteur **de caractéristiques stables** : Attention aux variations de température ambiante, laisser les équipements se stabiliser avant mesure

Mesure des performances d'une antenne

Que mesurer ? Le principe de substitution

- Récepteur de mesure : En général analyseur de spectre ou milliwattmètre
- N'a pas forcément besoin d'être étalonné de manière absolue, ni d'être très performant

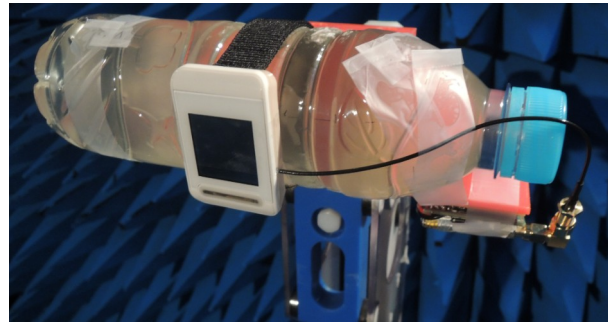
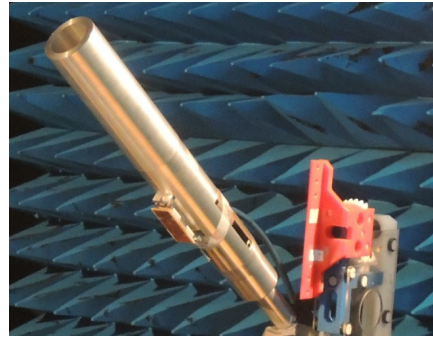


- Mais besoin d'un récepteur **de caractéristiques stables** :
 - Attention aux variations de température ambiante, laisser les équipements se stabiliser avant mesures...
 - Ne pas changer sa configuration entre mesure en conduit et mesure en rayonné...
- Un cas particulier : les produits émettant de brèves trames (ex BLE). Nécessitent de « bien » configurer le récepteur, et peut augmenter drastiquement le temps de mesure
- Possibilité également d'utiliser un VNA (comme émetteur et récepteur)

Mesure des performances d'une antenne

Criticité des raccordements externes

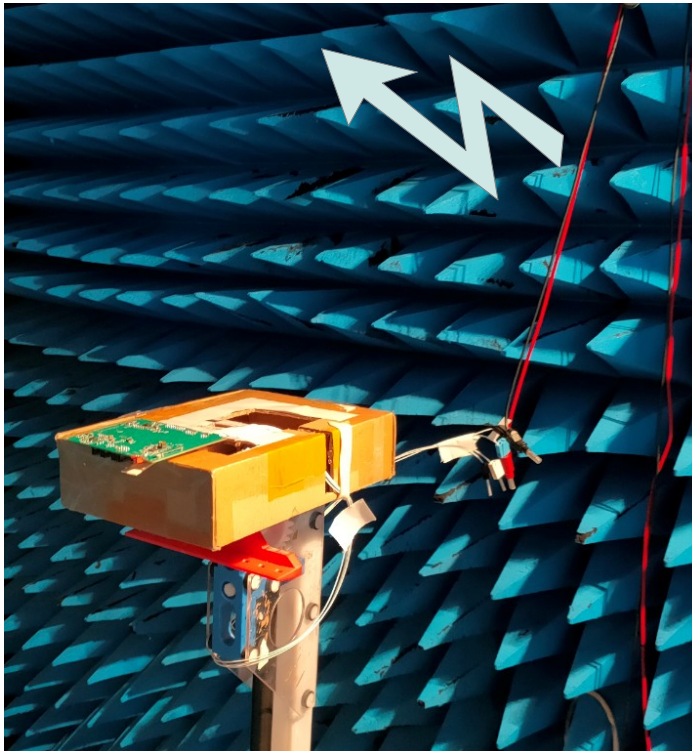
- ♦ Attention à l'environnement : Mesurer le produit dans la configuration pour laquelle il a été conçu et/ou dans plusieurs configurations



Mesure des performances d'une antenne

Criticité des raccordements externes

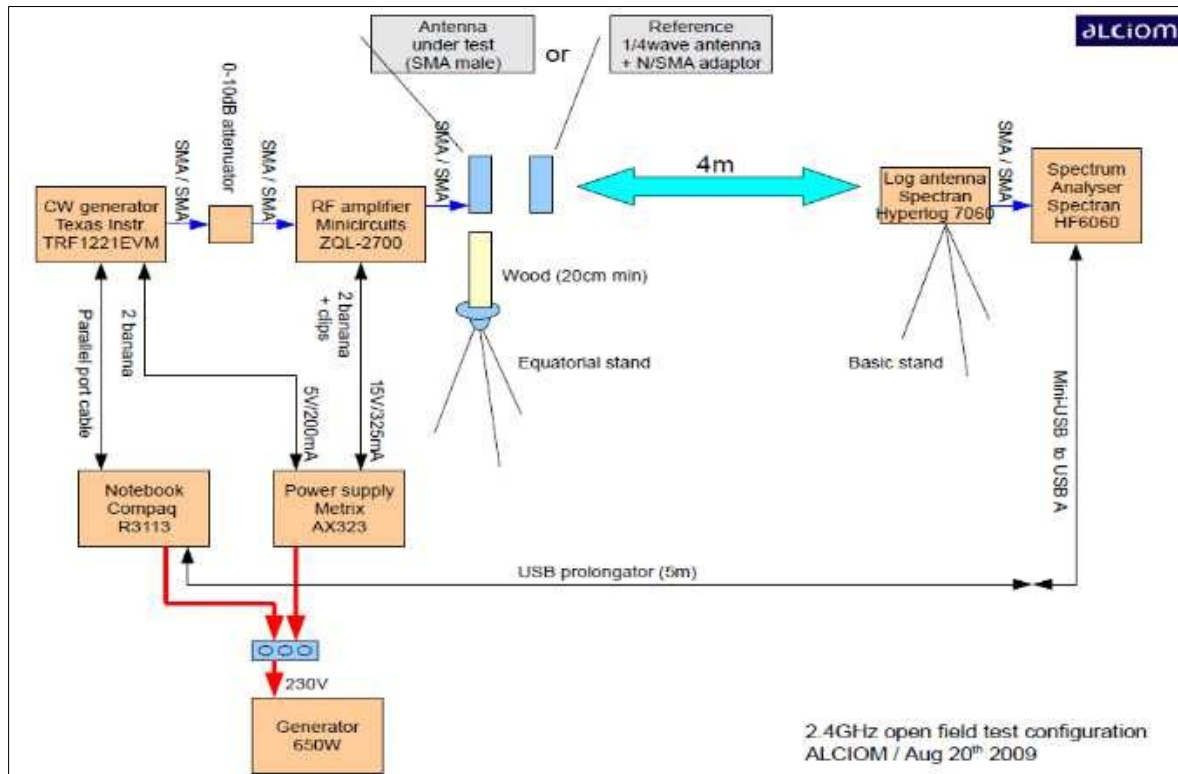
- ◆ Attention aux câbles externes : peuvent rayonner plus que le produit...
- ◆ Complexe en particulier pour petits produits ne disposant pas d'émetteur interne
- ◆ Une solution souvent utilisée par Alciom : le micro-générateur RF de test...
- ◆ ... peut être intégré au plus près de l'antenne à tester, sans fil externe



Mesure des performances d'une antenne

Mesure en champ libre

- ♦ Mesure en champ libre bien sûr possible, avec précautions
- ♦ Impact du sol, intempéries, perturbateurs, etc
- ♦ Un exemple. Cherchez l'erreur sur la photo...



- ♦ Disponibilités de plateformes de test champ libre auprès de certains labos

Mesure des performances d'une antenne

Mesure en champ libre

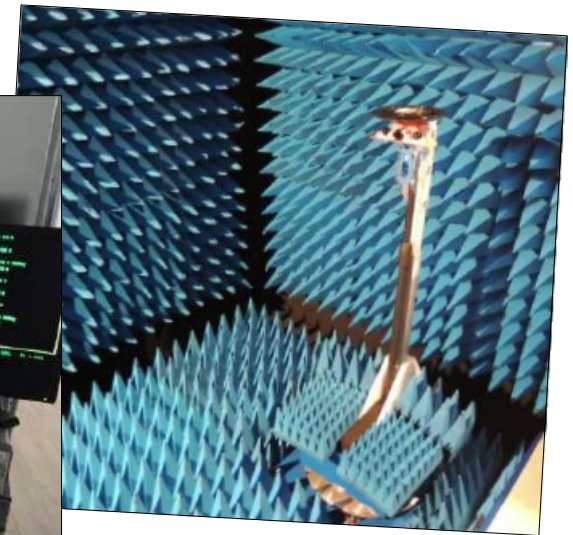
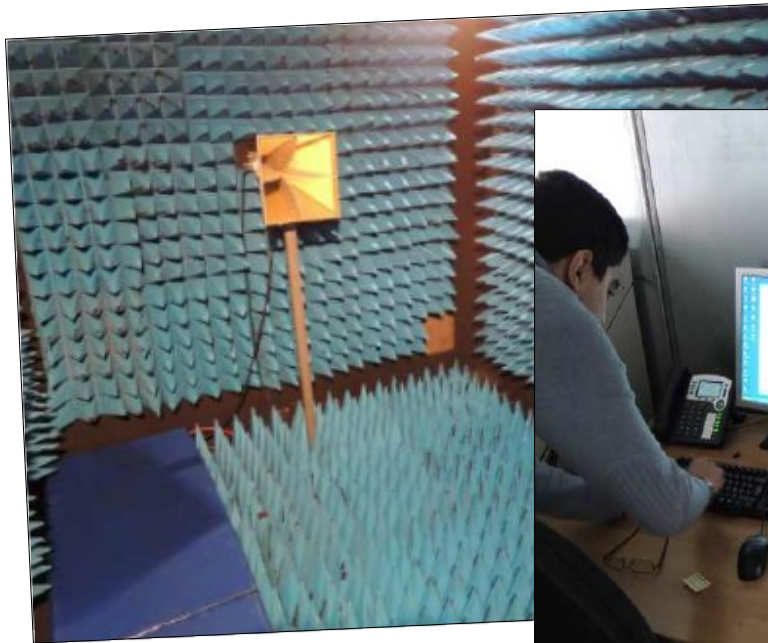
- ◆ Possible également de faire tourner l'antenne de mesure autour du produit
- ◆ Indispensable si l'objet doit rester horizontal. Un exemple (Alciom) :



Mesure des performances d'une antenne

Mesure en chambre anechooide

- ♦ La solution la plus classique : La chambre anéchoïde
- ♦ Deux fonctions : isolation de l'extérieur et anti-reflexion
- ♦ Bien différentier anéchoïde (RF) et semi-anechoïde (CEM)
- ♦ Antenne de mesure : Adaptée à la bande de fréquence de test
- ♦ Positionneur 2D ou 3D automatisé pour tests plus rapides
- ♦ Attention aux fréquences basses : Nécessité de grandes chambres et/ou d'absorbants avec plaques de ferrites en dessous 500MHz

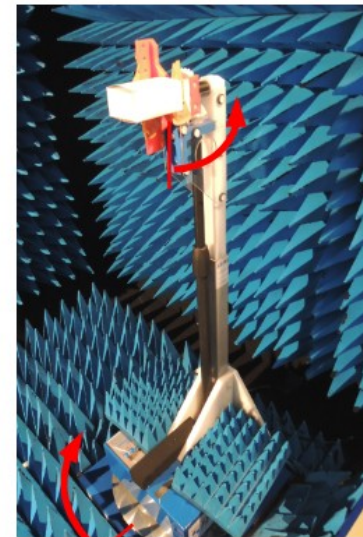
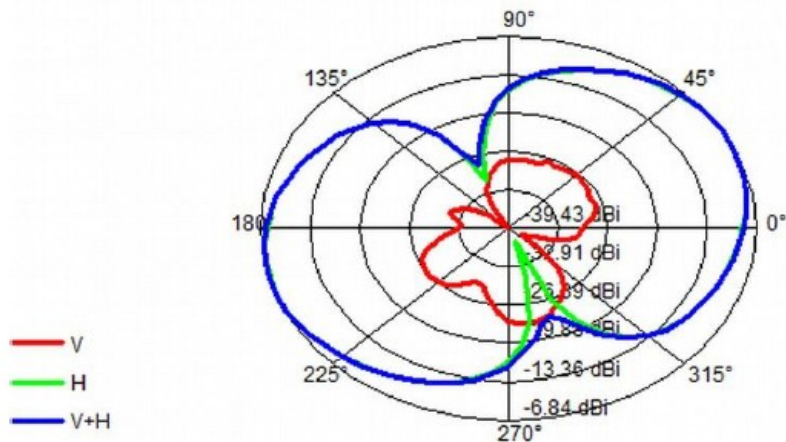


Mesure des performances d'une antenne

Mesure en chambre anechoïde

- ♦ Mesure la plus rapide et pertinente : Mesure du gain (ou EIRP) sur 1 à 3 plans orthogonaux
- ♦ Attention à la polarisation ! Mesure avec deux polarisations coté récepteur quasi impératif
- ♦ Attention à la structure mécanique du positionneur, en général 2 axes

Titre (Gain d'antenne)
XY (2D), Pol.: V + H, Fréquence: 868.00 MHz



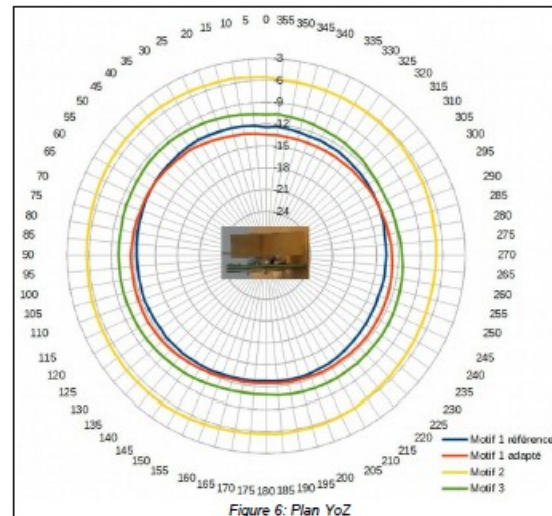
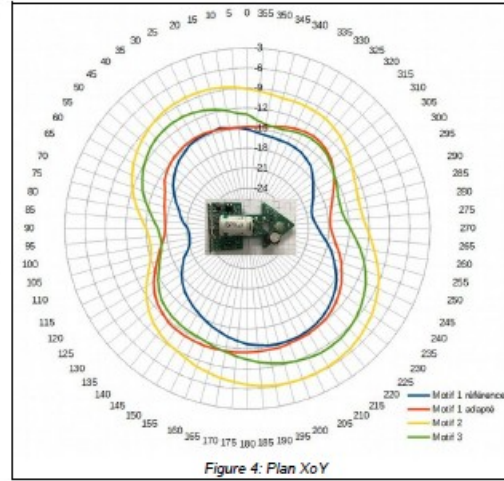
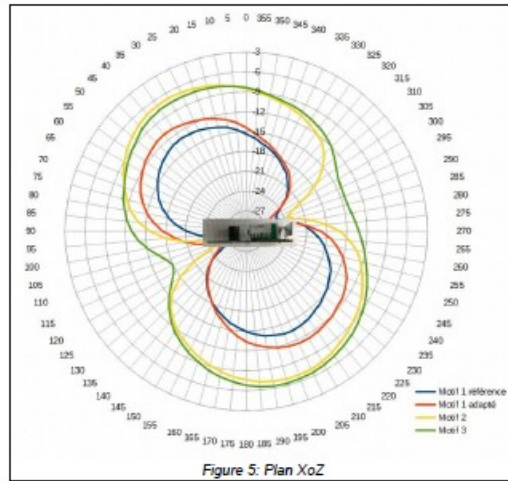
MOBILEPHONE (0-180°)

TURNTABLE (0-360°)

Mesure des performances d'une antenne

Mesure en chambre anechoïde

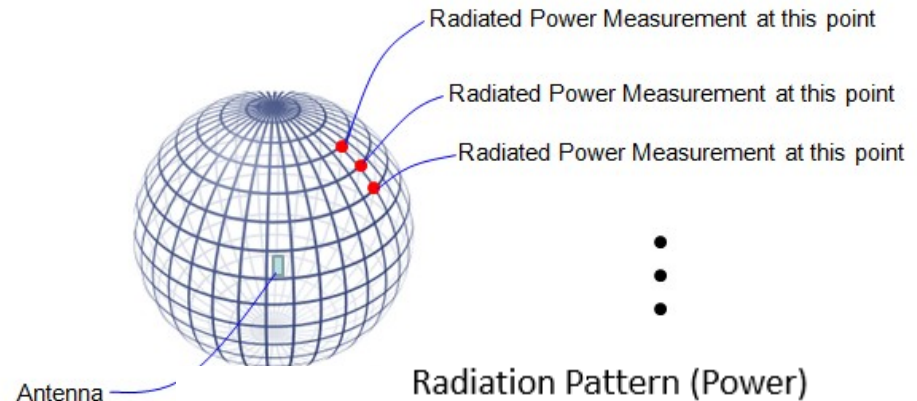
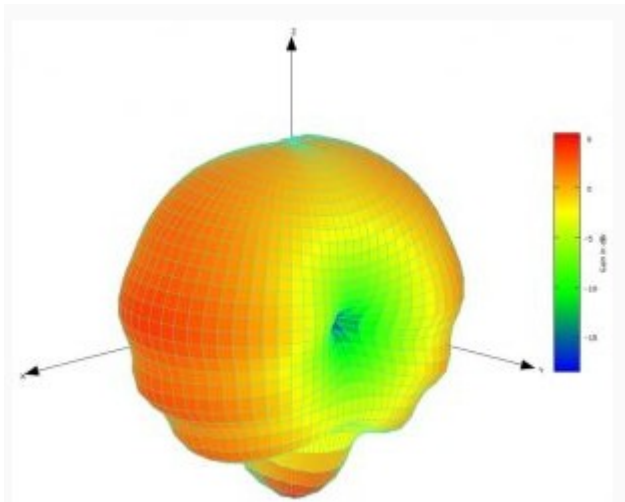
◆ Exemple en 3 plans :



Mesure des performances d'une antenne

Mesure en chambre anechoïde

- ♦ Mesure « full 3D » : Nettement plus long, et plus difficile à interpréter
- ♦ En pratique, nécessite de ne travailler alors qu'en champ total (polarisations H+V)
- ♦ Nécessaire surtout si l'on veut calculer l'efficacité de l'antenne



$$TRP = \frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} EIRP(\theta, \varphi) \sin(\theta) d\theta d\varphi$$

Mesure des performances d'une antenne

Mesure en chambre anechoique

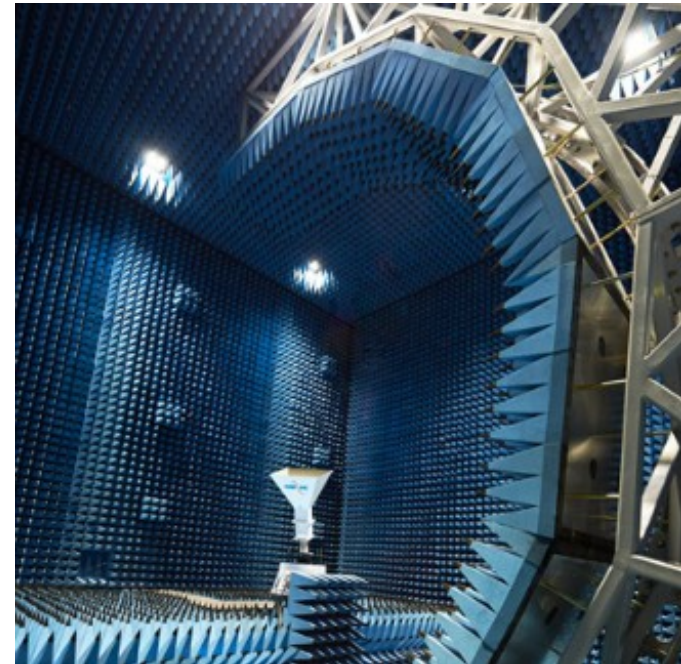
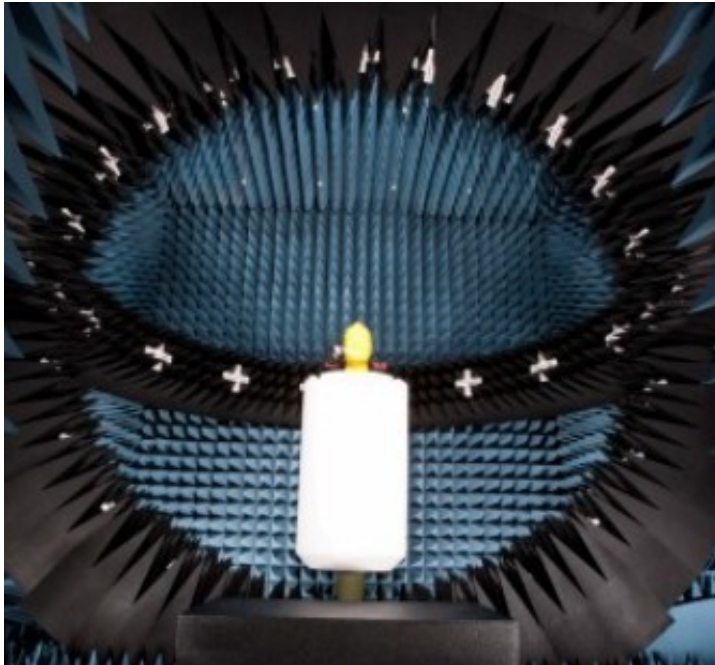
- ♦ La chambre « anéchoïque » du pauvre (Alciom 2004...) :



Mesure des performances d'une antenne

Mesure en chambre dédiée

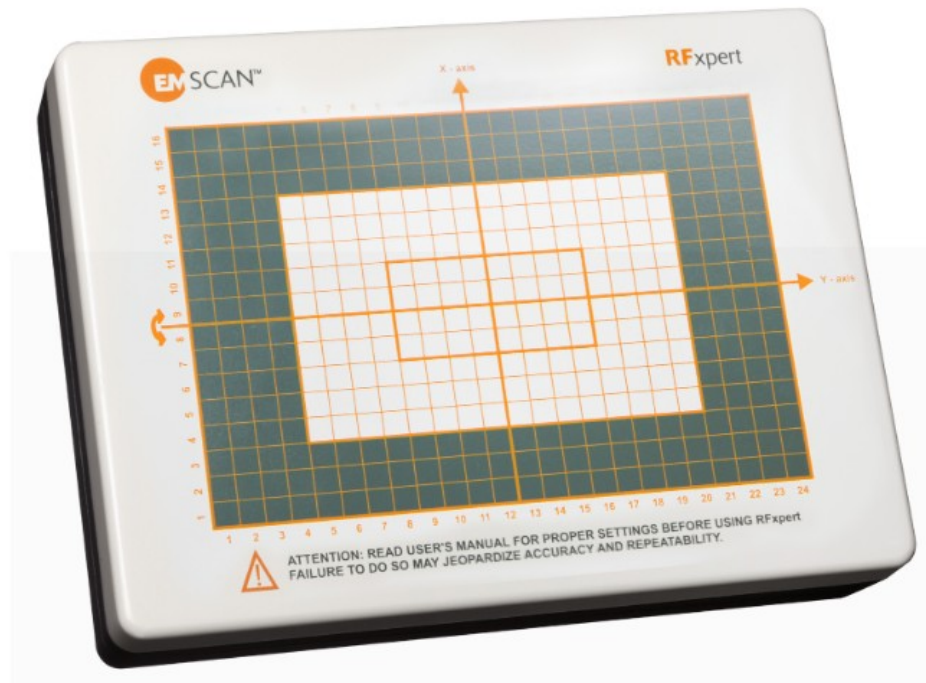
- ◆ Pour des mesures plus rapides, possibilité d'utiliser des chambres de test dédiées pour la mesure d'antennes : Grand nombre de récepteurs simultanés



Mesure des performances d'une antenne

Mesure en chambre dédiée

- ◆ Possibilité de mesure en amplitude & phase pour mesure en champ proche et reconstitution du champ lointain par calcul
- ◆ Souvent utilisé en champ « moyennement proche » (à 4 voire 10 lambda)
- ◆ Des produits proposent une telle mesure en quasi contact, mais quid de la désadaptation de l'antenne mesurée ? Exemple de produit :





**Formation 202 - Antennes niveau 2
(optimisation/mesure)**

Module 08 - TP : Mesure d'antenne par substitution



TP : Mesure d'antenne par substitution

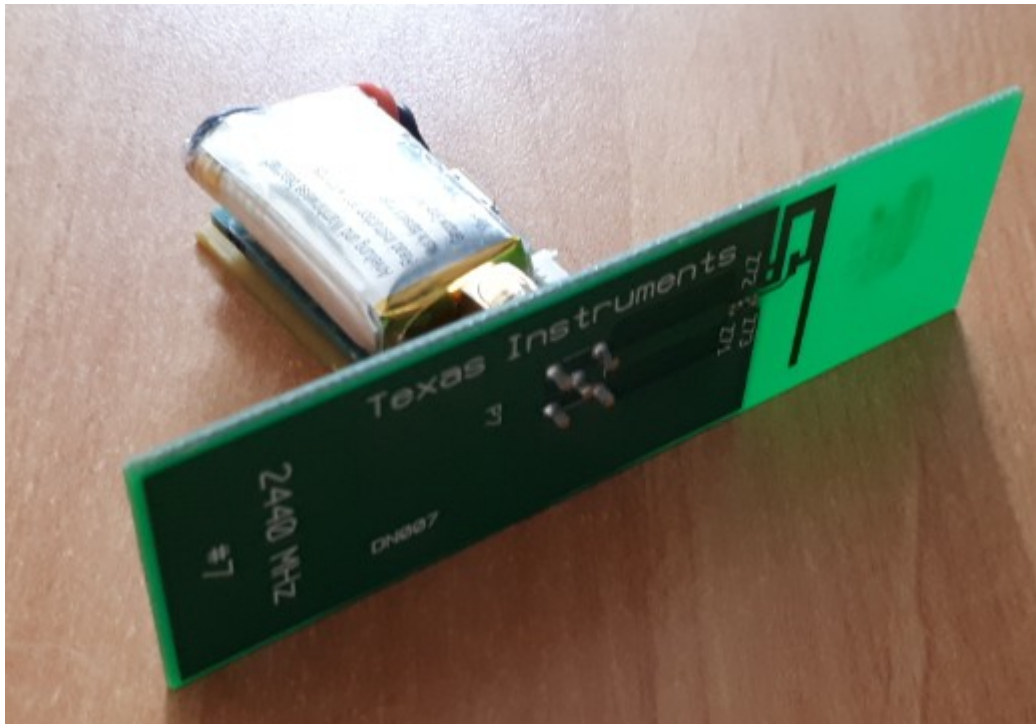
Contenu du module

- Travaux pratiques : Mesure de champ rayonné d'un émetteur par substitution
 - > Calibration de la mesure
 - > Mesure de la puissance rayonnée
 - > Mesure du diagramme de rayonnement (en chambre anechoïde)

TP : Mesure d'antenne par substitution

Objectif

- ♦ Mesurer le gain sur 2 plans d'une antenne 2,4GHz
- ♦ Alimentation par un émetteur de test miniature



TP : Mesure d'antenne par substitution

Les étapes

- ◆ Raccorder une antenne de référence à l'émetteur de test
 - ◆ Configurer l'émetteur de test : 2440MHz, Puissance=1
 - ◆ Mesurer la puissance reçue dans la direction de gain maximal
 - ◆ Calibrer le logiciel de pilotage de la chambre avec cette valeur
 - ◆ Raccorder l'antenne à tester à l'émetteur de test
 - ◆ Réaliser une mesure sur 2 plans / 2 polarisations
 - ◆ Comparer avec les caractéristiques théoriques de l'antenne testée...
-
- ◆ Nota : pas besoin ici de connaître la puissance de l'émetteur de test...



Formation 202 - Antennes niveau 2 (optimisation/mesure)

Module 09 - Conclusion et synthèse



Conclusion et synthèse

Contenu du module

- Conclusion et synthèse
 - > Les grandes erreurs à éviter
 - > Quizz final et débriefing de la formation

Conclusion et synthèse

Les grandes erreurs à éviter

- ◆ Ne pas prévoir de réseau d'accord
- ◆ Ne pas anticiper le besoin de raccordement du VNA au produit à tester
- ◆ Ne pas vérifier la largeur de bande de l'antenne
- ◆ Ne pas optimiser l'adaptation d'impédance de l'antenne AVANT le marquage CE
- ◆ Ne pas mesurer l'antenne dans son environnement d'utilisation
- ◆ Ne pas réaliser de mesure en rayonné une fois l'adaptation optimisée

Conclusion et synthèse

Quizz final



Se connecter à Evalbox

Vous devriez avoir reçu par email les informations de connexion (login/mot de passe)

Nom d'utilisateur(login)

Mot de passe

J'ai un code...

Connexion

Français

1 Code Qui vous a été fourni

2 Email Email habituel

3 Nom Identité

Le code (ou une adresse Web équivalente) vous a été fourni par votre professeur

Langue: français

Code: FGWPU

Suivant >

Click on « DEMARRER » pour commencer, or on « QUITTER » pour quitter cet examen (et éventuellement pouvoir en rejoindre un autre)

DEPARTER

QUITTER

Répondre 1/2

24 Testqq

vrai

faux

Conclusion et synthèse

Débriefing



- ◆ Commentaires et avis sur la formation ?
- ◆ Avez vous trouvé ce que vous cherchiez ?
- ◆ Comment faire encore mieux pour la prochaine ?
- ◆ Questions ?

N'oubliez pas les questionnaires de satisfaction...