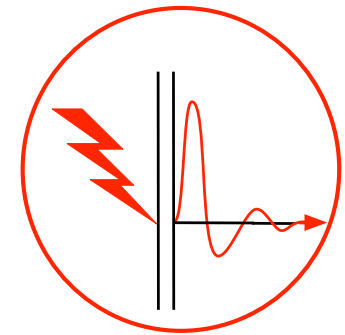




AFCEM



AEMC

BIENVENUE : Jeudi 2 avril 2015 CNIT Paris la Défense

CONFERENCE : Les logiciels publics de simulation CEM et radio

- *Introduction aux logiciels libres pour la CEM et les R.F. - M. Philippe Maliet – AEMC ; indicatif : F6IEH*
- *IC-EMC - M. Boyer et M. Sicard - INSA Toulouse-*
- *Logiciel de calcul d'impédance pour avoir une perte d'insertion en mode commun / mode différentiel - M. Lafuente - Würth Elektronik*
- *Radio Mobile : Logiciel de prédiction de couverture radio de 20 MHz à 20 GHz - M. Sébastien Alaïs - AEMC*

Plan de la présentation

- *Les approches pour résoudre un problème*
- *Règle du tiers-temps*
- *Equations de Maxwell et méthodes de simulation*
- *Suite Falstad : Applets Java en électromagnétisme*
- *Simulation en mode circuits : Ltspice –présentation*
- *Simulation Spice de la détection d'enveloppe*
- *Simulation SPICE pour composants dépendants de F*
- *Simulation avec QUCS d'un duplexeur UMTS*
- *Synthèse sur les simulations en mode circuit*
- *Méthode des éléments finis : FlexPDE SV*
- *Méthode des éléments finis FEMM*
- *Méthode des éléments finis Maxwell2D SV*
- *Méthode des moments 4NEC2X ; champ d'un dipôle*
- *4 NEC2X Visualisation des grandeurs de sortie*
- *Carte de champ sous une antenne UMTS*
- *Méthode différentielle temporelle FDTD/ TLM : Mefisto 3D (Faustus)*
- *Visualisation de réflexions sur une ligne de transmission : Mefisto3D*
- *Synthèse sur la simulation en mode rayonné*
- *Mesure d'efficacité de blindage avec des récepteurs SDR*
- *Planification de réseau radio : Radio Mobile*
- *Développements en radio logicielle : GNURADIO*
- *Traitement du signal bande audio Spectrumlab : paramétrages*
- *Exemples d'analyse spectrale bande audio Spectrumlab, Baudline*
- *Exemples d'applications fonctionnant sur les <<smartphones>>*



Les approches pour résoudre un problème



1 : L'analytique (ou une loi expérimentale) avec des fonctions continues (souvent empiriques ou approchées) applicables à des géométries simples.



2 : Le calcul numérique avec solutions discontinues résultant d'une somme de contributions de petits domaines de géométrie simple et/ou de petits intervalles de temps .



3 : Les mesures sur un système comparable reconstitué sous forme de maquette puis prise en compte de facteur d'échelle.

Les approches 1 et 2 ne sont pas antagonistes et l'approche analytique permet souvent de définir puis de modéliser un pire cas, ou de valider un résultat.

L'approche analytique peut utiliser des monogrammes, courbes, abaques... issus de logiciels :

- Commerciaux tels que EXCEL, Matlab, Mathcad...
- Libres tels que Scilab, GNUnumeric, OpenOffice, Graphcalc, Smith...
- Commerciaux abandonnés (Mathcad V5) ou Version d'essai (Smith).



Règle du tiers-temps

Surtout avec une faible expérience cumulée, refuser une confiance aveugle à un résultat calculé.

Durant la phase d'apprentissage (qui peut durer très longtemps) consacrer environ :

- **1/3 du temps à apprendre à utiliser le logiciel (dans des cas simples ou académiques) et y introduire les données jusqu'à obtenir un compromis satisfaisant temps de calcul / précision des résultats. Ne pas tenter de résoudre directement des cas complexes.**
- **1/3 du temps de calcul pour la machine (certains logiciels consomment beaucoup de ressources).**
- **1/3 du temps à la validation : analyser les résultats et les comparer à des résultats connus, effectuer des contrôles simples pour valider tous les résultats (fréquences de résonance, lois de décroissance, impédances, nombre de lobes, valeurs de champ...) avant de présenter clairement les résultats utiles.**

Il est recommandé de construire des maquettes pour obtenir des résultats expérimentaux.

Une bonne démarche est d'utiliser un autre logiciel utilisant soit le même algorithme, soit un autre.

Il est utile d'évaluer la « sensibilité » des résultats aux variations de paramètres d'entrée afin d'identifier les paramètres dominants (critiques) et les paramètres secondaires (marginaux).

Si une variation de fréquence (paramètre dominant) appliquée à un circuit oscillant ou une antenne accordée ne produit pas d'effet notable, il y a erreur. Si le logiciel est performant, l'influence de la forme de la section des conducteurs (paramètre secondaire) doit apparaître.

Pour des filtres ou des montages analogiques, la tolérance des composants importe. Une évaluation de l'effet des dispersions (type méthode de Monte-Carlo) est excellente mais coûte en durée de calcul.

Equations de Maxwell et méthodes de simulation

Relations de Maxwell

Formes intégrales

sur des frontières : fils,
surfaces, volumes.
EFIE ; MFIE ; MoM / BEM ;
PEEC

Formes différentielles

sur des mailles découpant
tout le volume de calcul
FEM ; TLM ; FDTD
FIT

Formes pratiques
Lois de Kirchoff
Mode circuit

Loi de Faraday
Ddp induite dans un circuit
soumis à une variation de
flux

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{\partial}{\partial t} \left(\int_S \vec{B} \cdot d\vec{s} \right)$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$v = -\frac{d\Phi}{dt} = -L \frac{dI}{dt}$$

Loi d'Ampère généralisée
Champ magnétique créé par
un courant de conduction et
par un courant de
déplacement

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = \frac{\partial}{\partial t} \left(\int_S \vec{D} \cdot d\vec{s} \right) + \int_S \vec{J} \cdot d\vec{s}$$

$$\nabla \times \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{J}$$

$$H = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot r}$$

$$I_{\text{Déplacement}} = C \cdot \frac{dV}{dt}$$

Loi de Gauss électrique

$$\int_S \vec{D} \cdot d\vec{s} = \int_V \rho \cdot dV$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho$$

Loi de Gauss magnétique

$$\int_S \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

ρ = Densité de charges électriques

Φ = Flux = Surface x grandeur

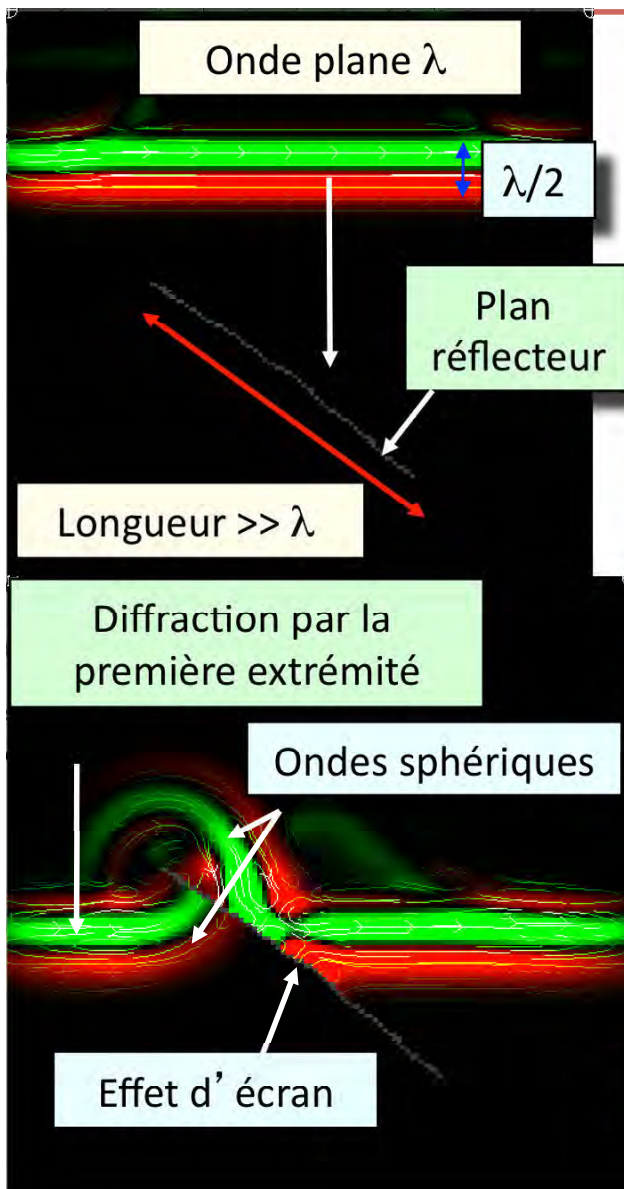
B = Induction magnétique

$B = \mu \cdot H$; $\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$; $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} = 1,25 \cdot 10^{-6} \mu\text{H} / \text{m}$

D = Induction électrique

$D = \epsilon \cdot E$; $\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$; $\epsilon_0 = 1 / (36 \cdot \pi \cdot 10^9) = 8.85 \text{ pF} / \text{m}$

Suite Falstad : Applets Java en électromagnétisme



Le phénomène de réflexion (Spéculaire) a lieu sur des surfaces avec :

- $L \gg \lambda$

Irrégularités $\ll \lambda$

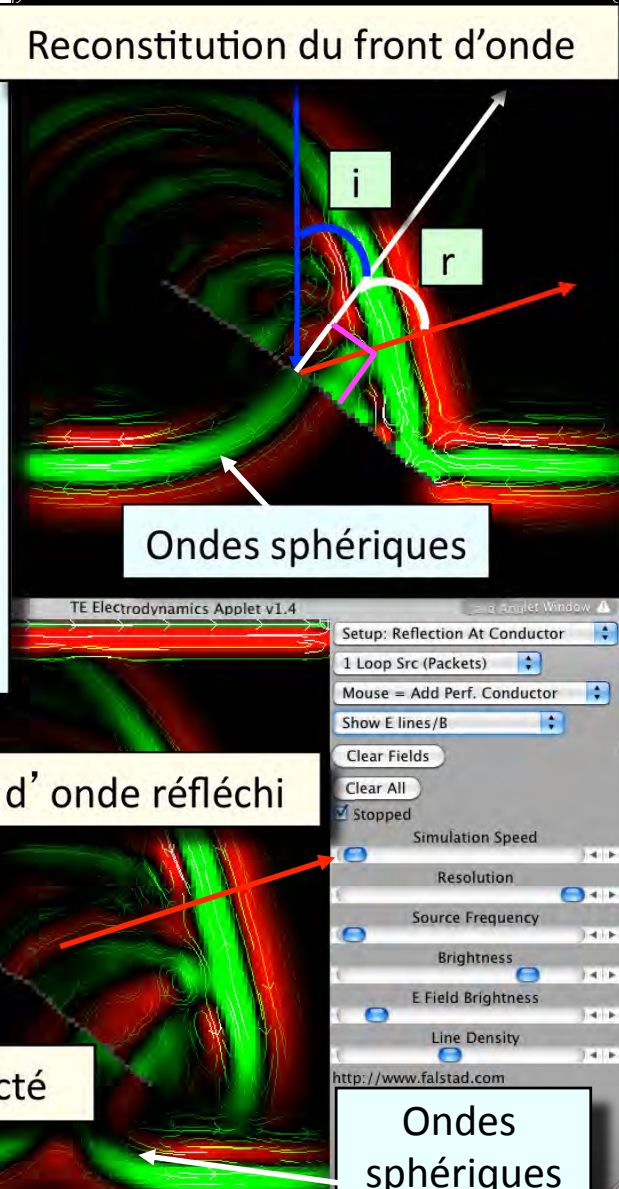
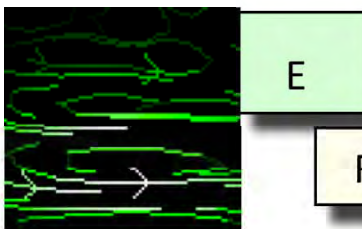
Angle d' incidence i = angle de réflexion r .

Si irrégularités $\approx \lambda$ alors réflexion diffuse.

Le phénomène de diffraction a lieu sur les arêtes du plan réflecteur qui se comportent comme des sources secondaires et rerayonnent des ondes sphériques qui composent un front d' onde diffracté.

La taille des objets diffractants est $\ll \lambda$.

Un obstacle illuminé par un front d' onde renvoie un front d' onde réfléchi et un front d' onde diffracté qui contourne l' obstacle.



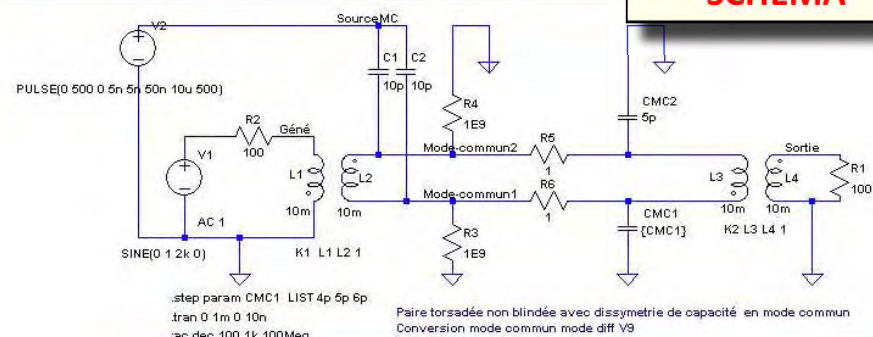
Simulation en mode circuits : Ltspice -présentation

Etude de l' influence de la dissymétrie de capacité de mode commun d' une paire symétrique sur la conversion du mode commun en mode symétrique Cf. essai d'immunité selon CEI 1000-4-4

Barre d' outils schéma

Résultats : Oscilloscope virtuel

SCHÉMA



Independent Voltage Source - V2

Functions

- (none)
- PULSE[V1 V2 Tdelay Trise Tfall Ton Period Ncycles]
- SINE[Voffset Vamp Freq Td Theta Phi Ncycles]
- EXP[V1 V2 Td1 Tau1 Td2 Tau2]
- SFFM[Voff Vamp Fcar MDI Fsig]
- PWL[t1 v1 t2 v2...]
- PWL FILE: Browse

DC Value

DC value:

Make this information visible on schematic:

Small signal AC analysis[AC]

AC Amplitude:

AC Phase:

Make this information visible on schematic:

Parasitic Properties

Series Resistance[Ω]:

Parallel Capacitance[F]:

Make this information visible on schematic:

Vinitial[V]: 0

Von[V]: 500

Tdelay[s]: 0

Trise[s]: 5n

Tfall[s]: 5n

Ton[s]: 50n

Tperiod[s]: 10u

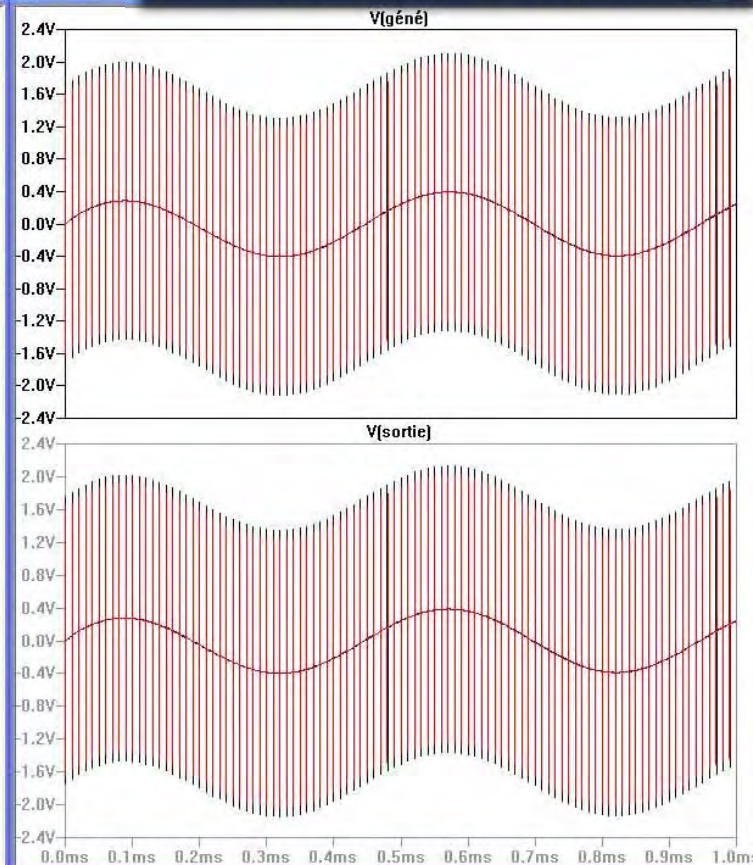
Ncycles: 500

Additional PWL Points:

Make this information visible on schematic:

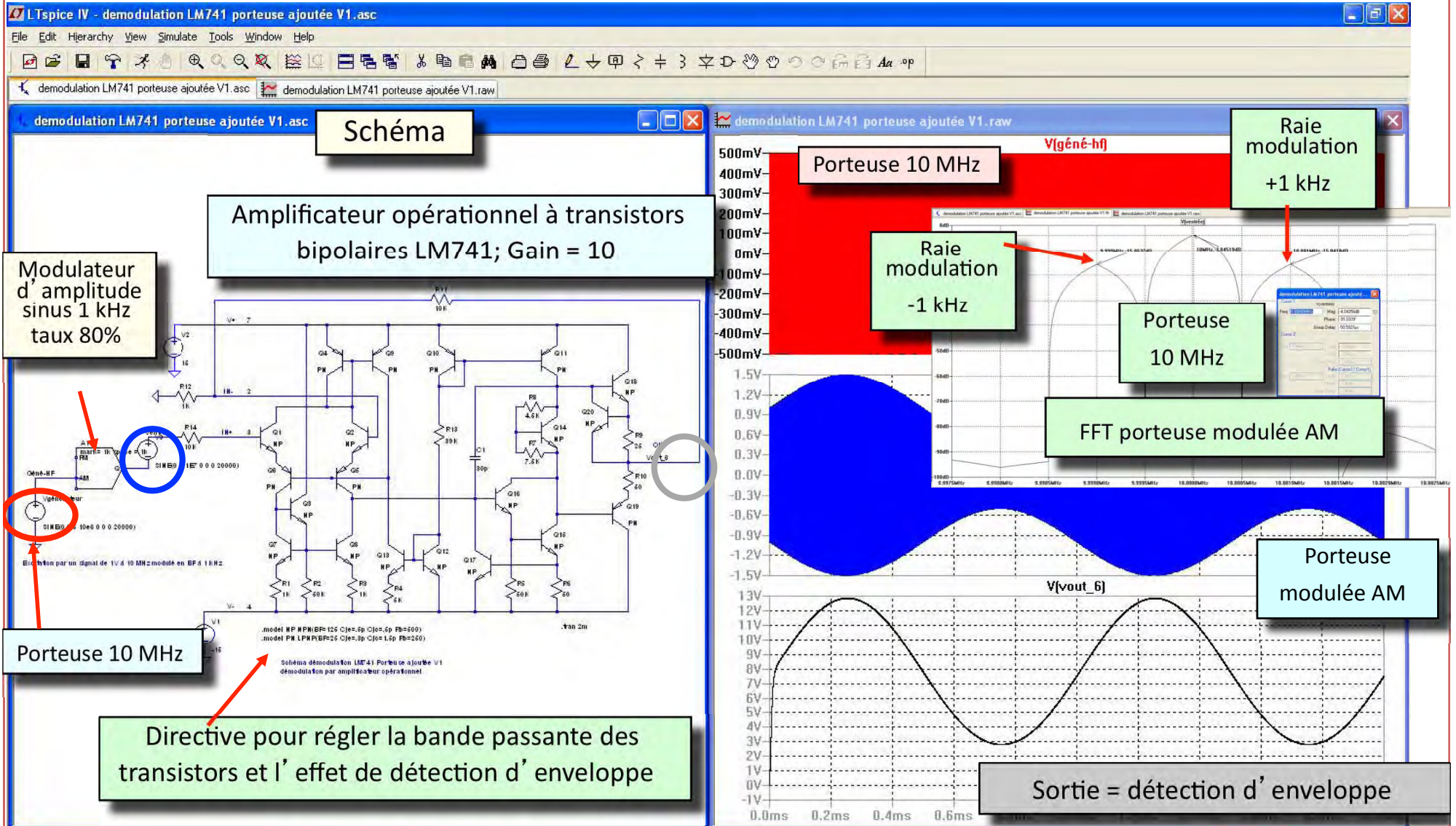
Cancel OK

Générateur de transitoires rapides en salves selon CEI 1000-4-4



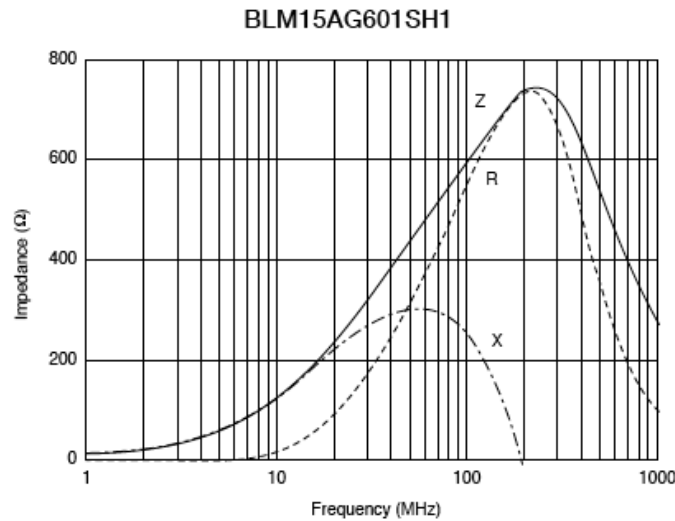
Simulation Spice de la détection d'enveloppe

Reproduction par simulation du phénomène de démodulation / détection d'enveloppe des amplificateurs opérationnels bipolaires par un essai d'immunité aux RF conduites selon CEI 1000 - 4 - 6 à 10 MHz

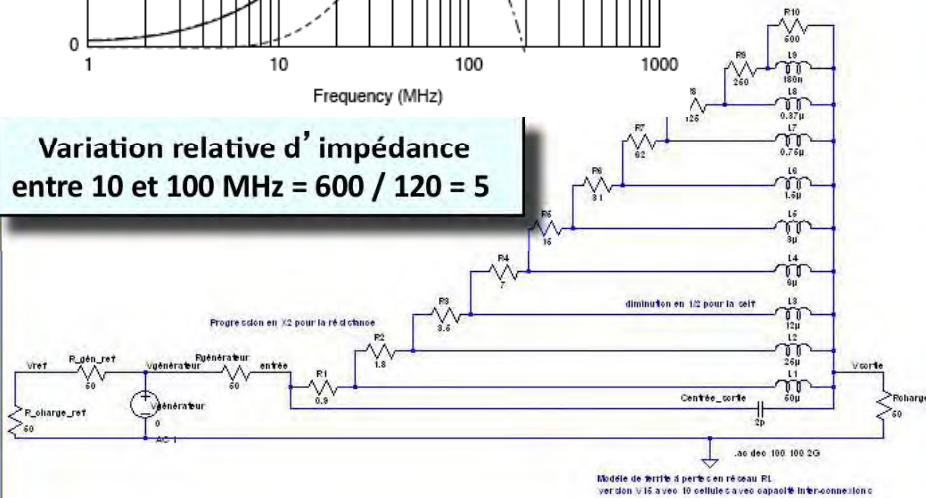


Simulation SPICE pour composants dépendants de F

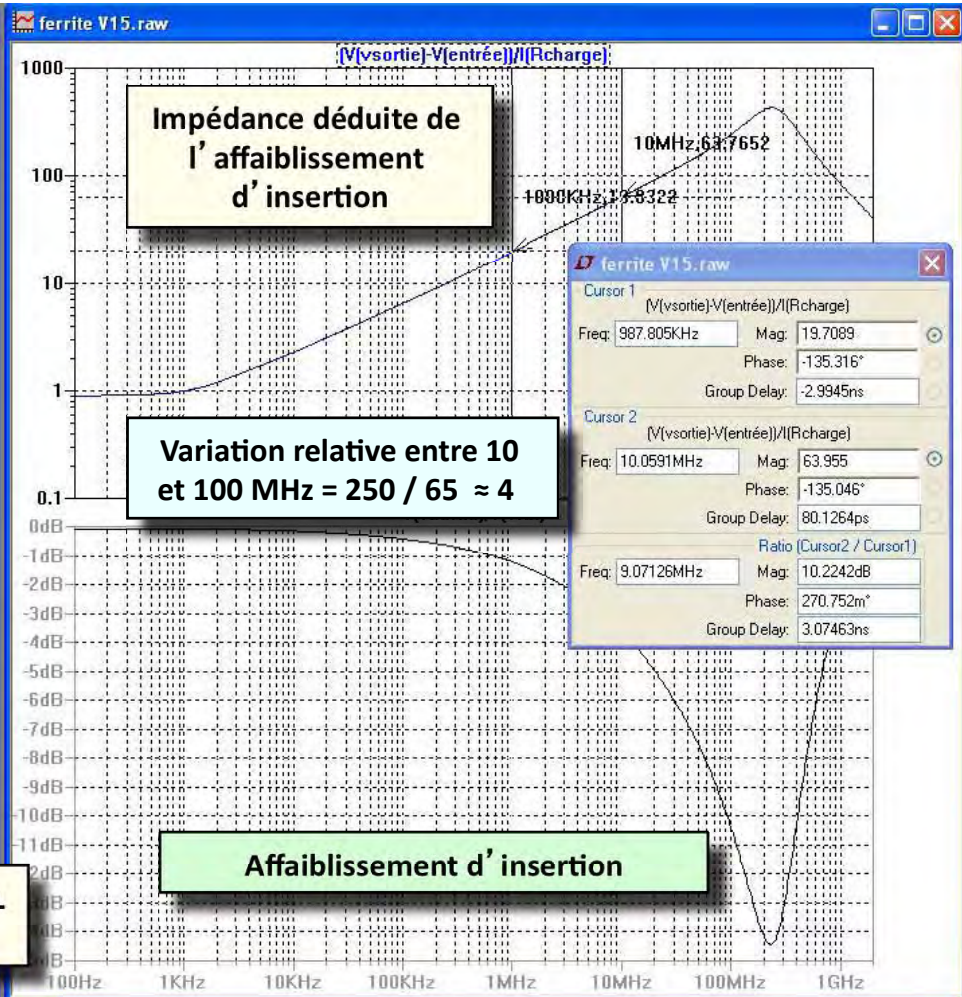
Comparaison entre une modélisation par réseau en échelle et les mesures sur un pavé ferrite BLM de MURATA



Variation relative d'impédance entre 10 et 100 MHz = $600 / 120 = 5$



Affaiblissement d'insertion d'une ferrite modélisée par un réseau RL en échelle



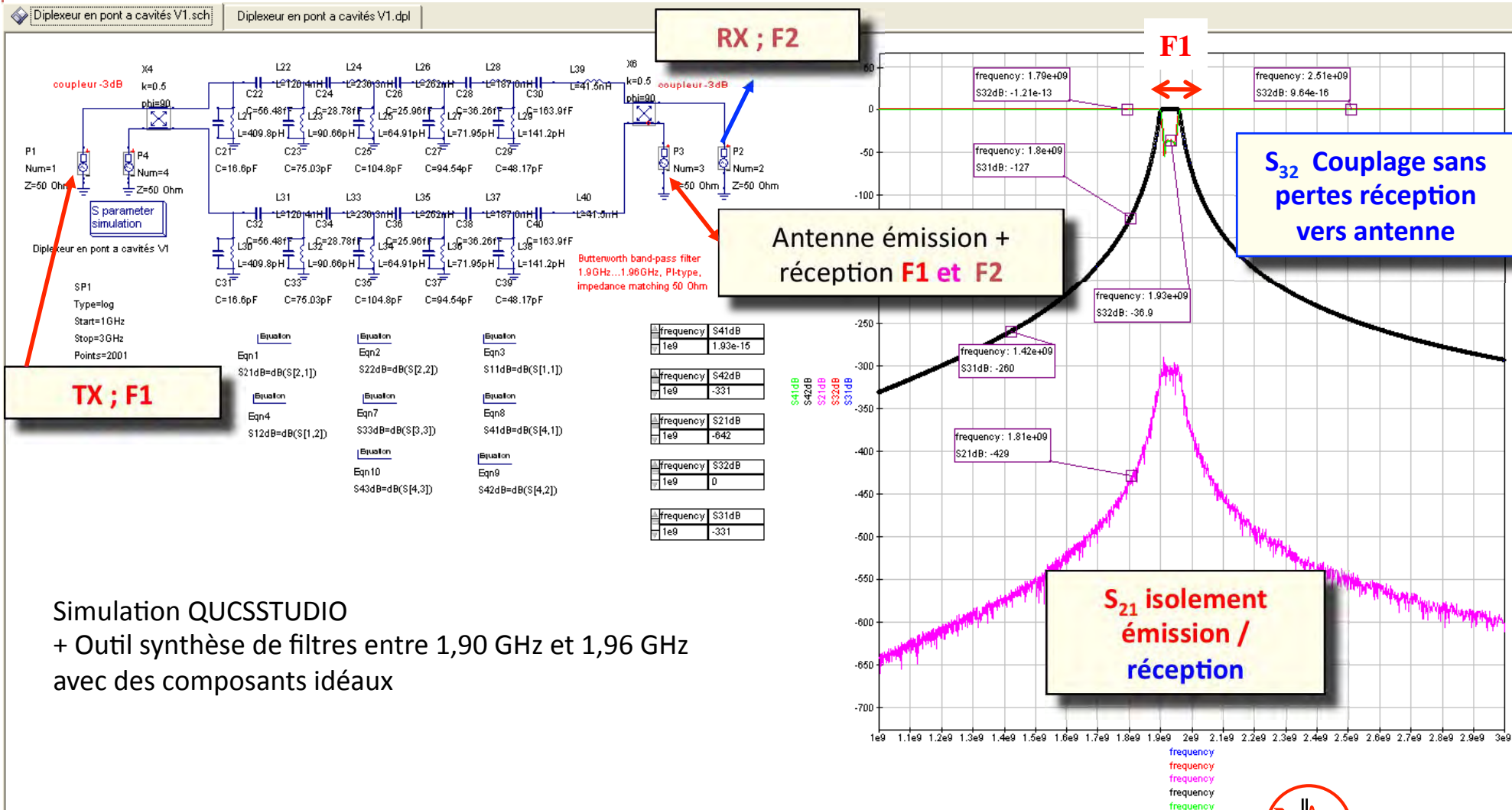
Simulation avec QUCS d'un duplexeur UMTS

Simulation QUCSSTUDIO montrant un isolement Emission Réception large bande et utilisant les paramètres

Emission à la fréquence F1 dans la bande passante du filtre

Réception à la fréquence F2 en dehors de la bande passante du filtre.

Attention : Composants idéaux sans pertes, sans déséquilibres et sans couplages parasites d'où des résultats optimistes



Simulation QUCSSTUDIO
+ Outil synthèse de filtres entre 1,90 GHz et 1,96 GHz
avec des composants idéaux

Synthèse sur les simulations en mode circuit

- Les lois de Kirchoff imposent des circuits fermés.
- Seule une simulation en temporel permet de modéliser des non-linéarités et elle doit être faite en premier
- Utiliser la directive *Parameter* et les tirages de Monte-Carlo pour identifier les composants critiques.
- Les bibliothèques de composants sont facilement éditables dans **LTSpice**.
- Le noyau Spice modélise les semi-conducteurs avec une grande précision en particulier en régime non-linéaire.
- Les non-linéarités magnétiques et celles des composants de protection sont modélisables (Avec limites).
- Les versions améliorées de Spice **HSPICE** (Pertes des lignes en \sqrt{F} , etc.) ne sont incluses que dans les suites de conception récentes. Les pertes en \sqrt{F} sont modélisables par des réseaux RL en échelle.
- **LTSpice** inclut les composants parasites RLC et il peut traiter des fichiers de sortie de grande taille comme ceux des simulations d'alimentations à découpage ou des effets de démodulation.
- L'ensemble **Simetrix + Simplis** est adapté pour l'électronique analogique et converge toujours .
- **QUCS Studio** est adapté aux composants RF et il les visualise dans l'abaque de Smith.
- **QUCS Studio** contient un outil de conception de filtres RF.
- Des outils de modélisation des lignes de transmission se trouvent dans :
 - QUCS Studio** avec paramètres S dans l'abaque de Smith
 - Hyperlynx** avec un outil automatique pour adapter les lignes
 - Smith** pour concevoir les réseaux d'adaptation d'antennes (Idem dans 4NEC2X)
 - RfCalc**
 - IC-EMC**
- **IC-EMC** offre un environnement complet pour traiter de l'immunité des C.I.
- **SpectrumLab** est un outil de mesures en B. F utilisant la carte son : 3 générateurs modulables + analyseurs de spectre FFT + spectrogrammes + oscilloscopes + filtres numériques + scripts de programmation.(Cf BaudLine)

Méthode des éléments finis : FlexPDE SV

La méthode des éléments finis repose sur la formulation **différentielle** des équations de Maxwell. Elle est très générale et elle a d'abord été utilisée pour les calculs de structures, de mécanique des sols, en simulation thermique.

C'est la méthode de référence de la suite commerciale Multiphysique Comsol Multiphysics

La caractéristique principale est le maillage conforme (Auto-adaptatif) de **TOUT** le volume de calcul.

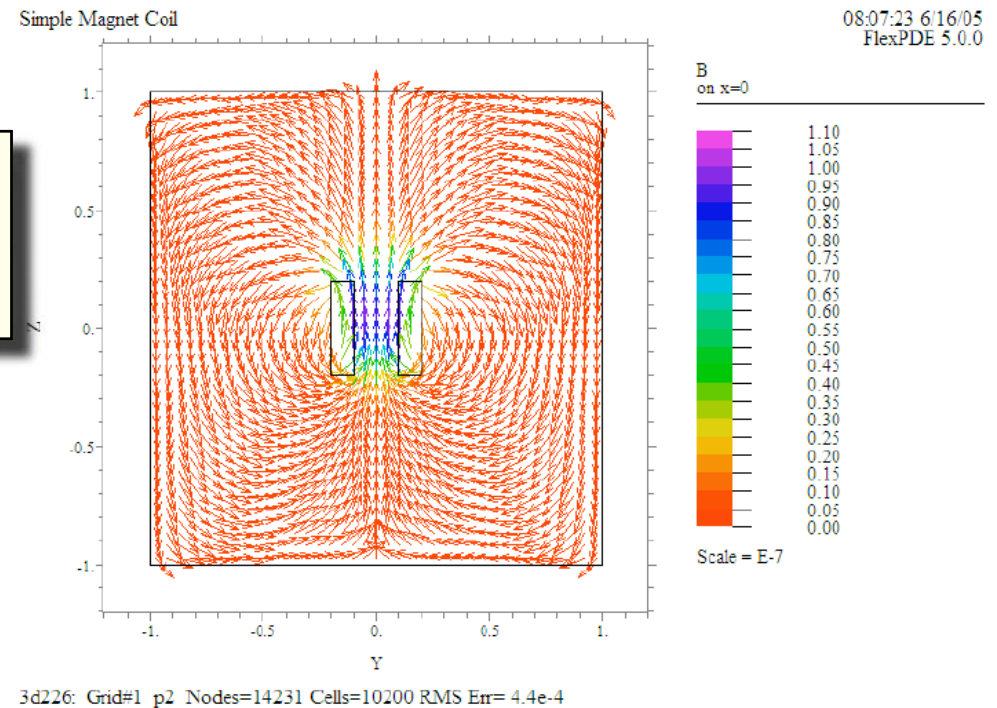
Le critère de convergence est la minimisation de l'énergie stockée.

Codes libres développés pour la multi-physique

FlexPDE Student Version : "scripted finite element model builder and numerical solver".

<http://www.pdesolutions.com/license.html#studentlicense.html#student>

Exemple de simulation 2D
d'un solénoïde dans un
repère cartésien
En magnétostatique

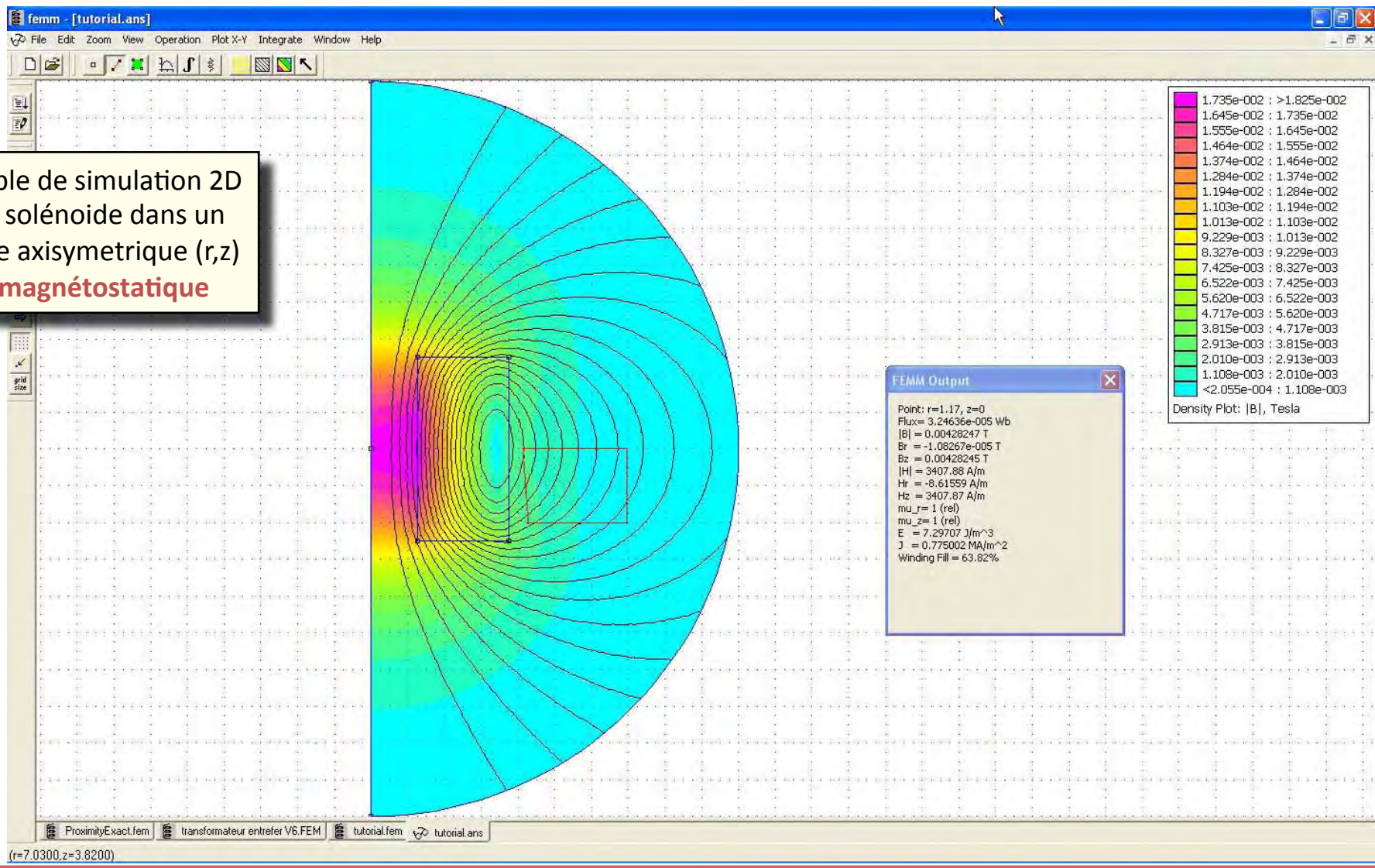


Méthode des éléments finis FEMM

Codes libres développés pour l'électromagnétisme

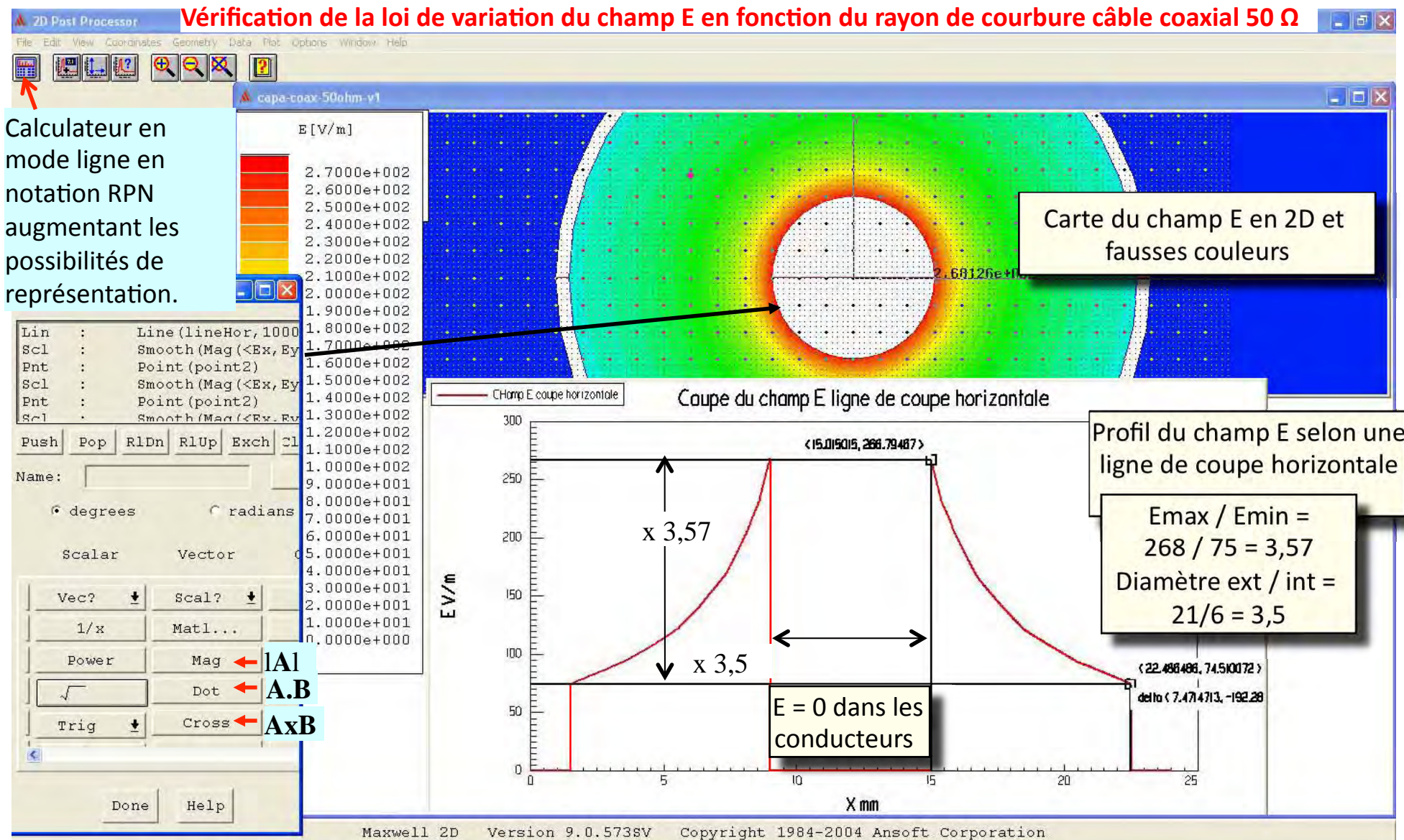
-FEMM

Exemple de simulation 2D
d'un solénoïde dans un
repère axisymétrique (r,z)
En magnétostatique



Méthode des éléments finis Maxwell2D SV

-Maxwell2D Student Version (Ansoft) → Maxwell2D Ansys commercial



Méthode des moments 4NEC2X ; champ d'un dipôle

Fenêtre principale

Fréquence = 300 MHz

Paramètres du calcul

Seg's/patches	27	start	stop	count	step	
Pattern lines	26741	X	-1	10	221	0.05
Freq/Eval steps	1	Y	0	0	1	0.05
Calculation time	1.578 s	Z	0	6	121	0.05

Fenêtre carte du champ proche E vue en coupe XZ

Axe vertical Z extension entre 0 m et 6 m

Calcul de la variation du champ E en fonction de la distance et de la hauteur

Hauteur du dipôle = 2 m

Plan de sol réflecteur

Axe horizontal X extension entre -1 m et 10 m

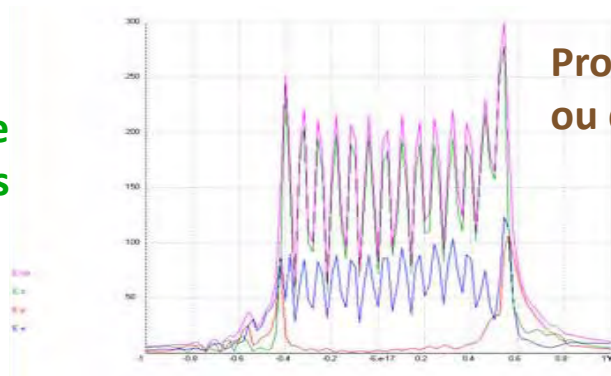
Fenêtre géométrie

Dipôle demi-onde avec 27 segments et l'allure du courant



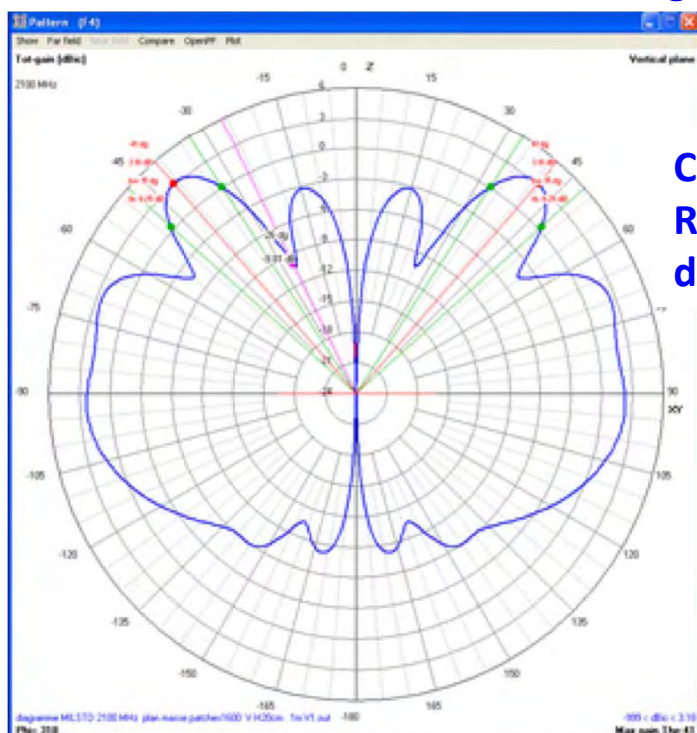
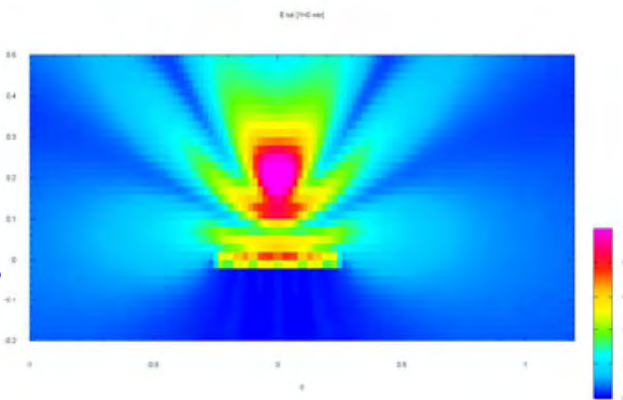
4 NEC2X Visualisation des grandeurs de sortie

Les fichiers textes peuvent être exploités tels quels ou exportés dans un tableur (Excel).



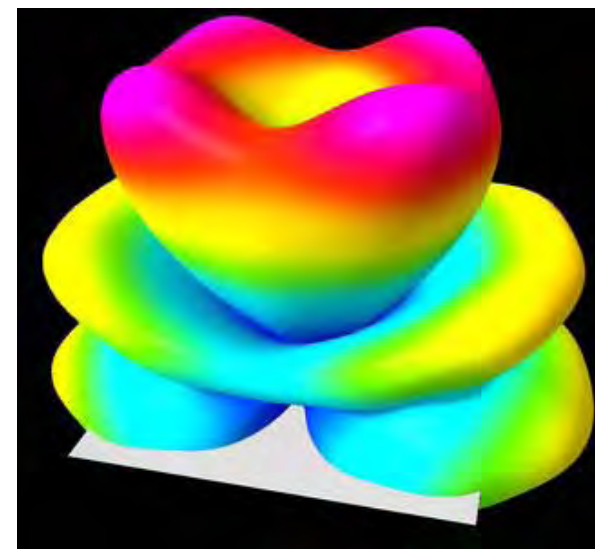
Profil en 1D (extrait d' image en 2D ou de graphes d' impédance).

Carte en 2D : diagramme cartésien avec lignes de niveaux ou fausses couleurs (extraite d' image en 3D)



Carte en 1D : Représentation polaire d' un diagramme de rayonnement

Objet en 3D : Diagramme de rayonnement

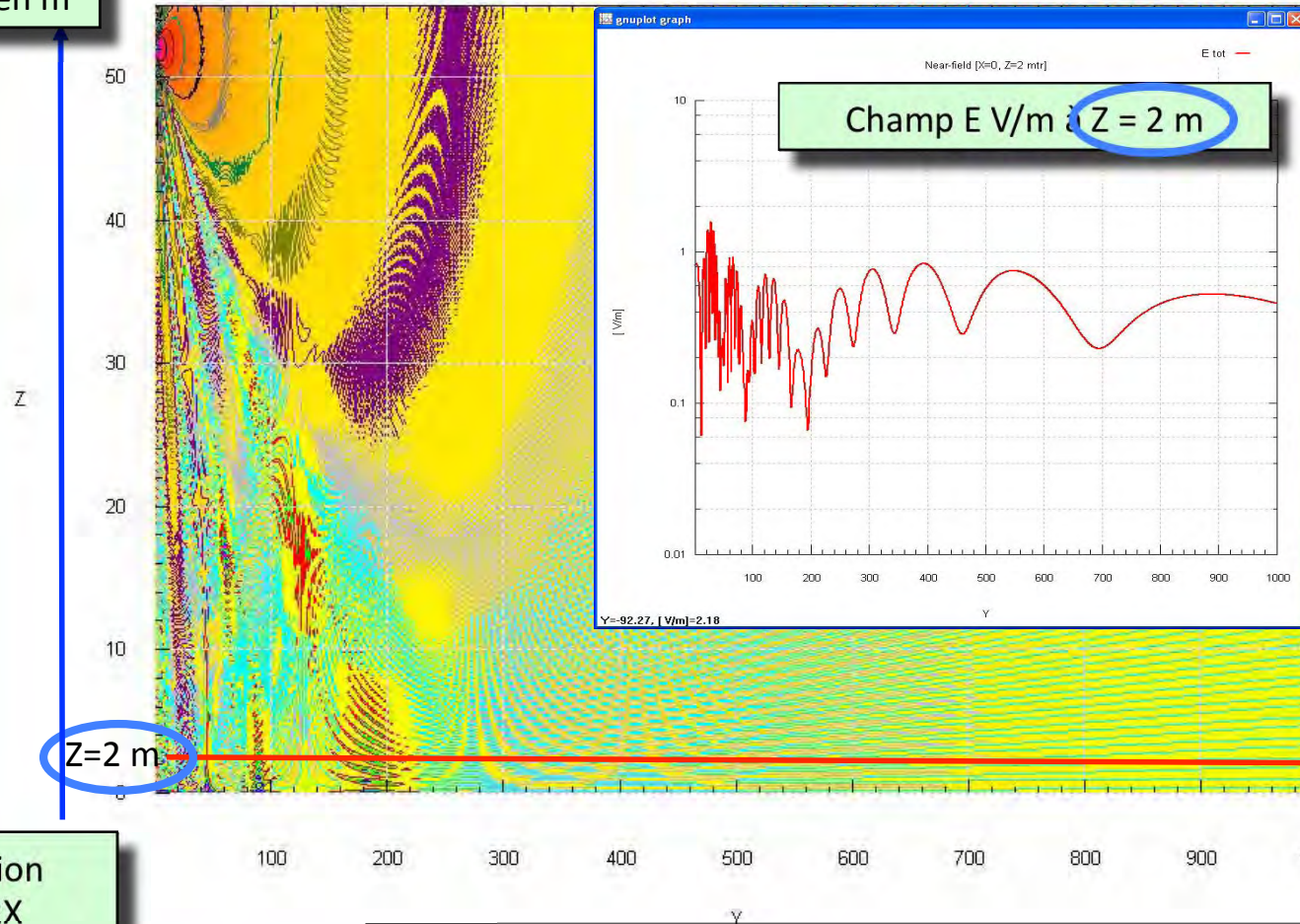


Carte de champ sous une antenne UMTS

Source = panneau d'antennes 4 x 2 dipôles croisés ; tilt = 0° ; Z = hauteur = 50 m

Fréquence = 2 GHz ; puissance appliquée = 200 W

Hauteur Z en m



Champ E V/m

- 100
- 63.1
- 39.8
- 25.1
- 15.8
- 10
- 6.31
- 3.98
- 2.51
- 1.58
- 1
- 0.631
- 0.398
- 0.251
- 0.158
- 0.1
- 0.0631
- 0.0398
- 0.0251
- 0.0158
- 0.01

Simulation
4NEC2X

Distance horizontale de 0 à 1000 m sur un **sol réflecteur idéal**

Y=-16.03, Z=59.29

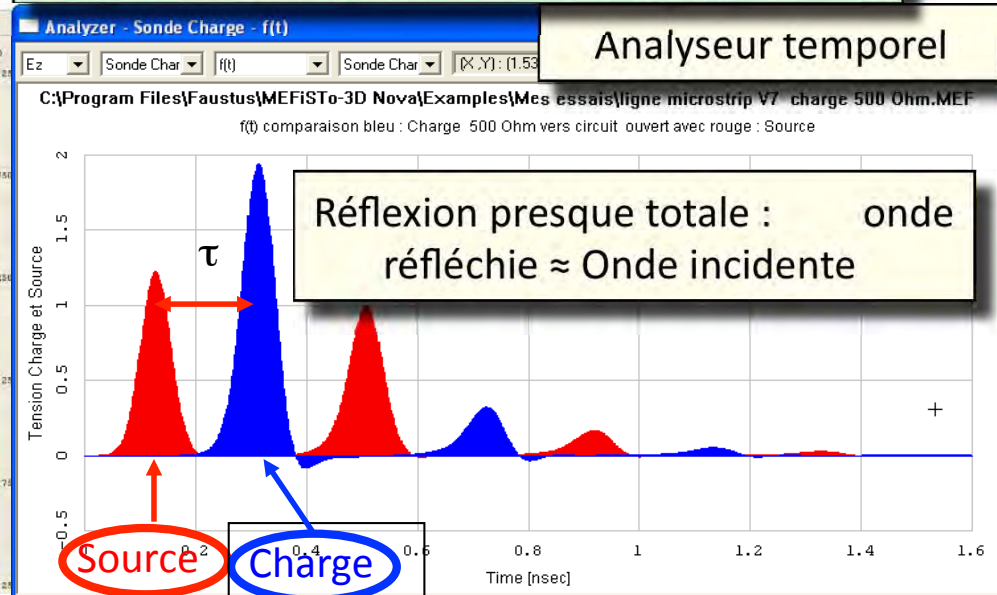
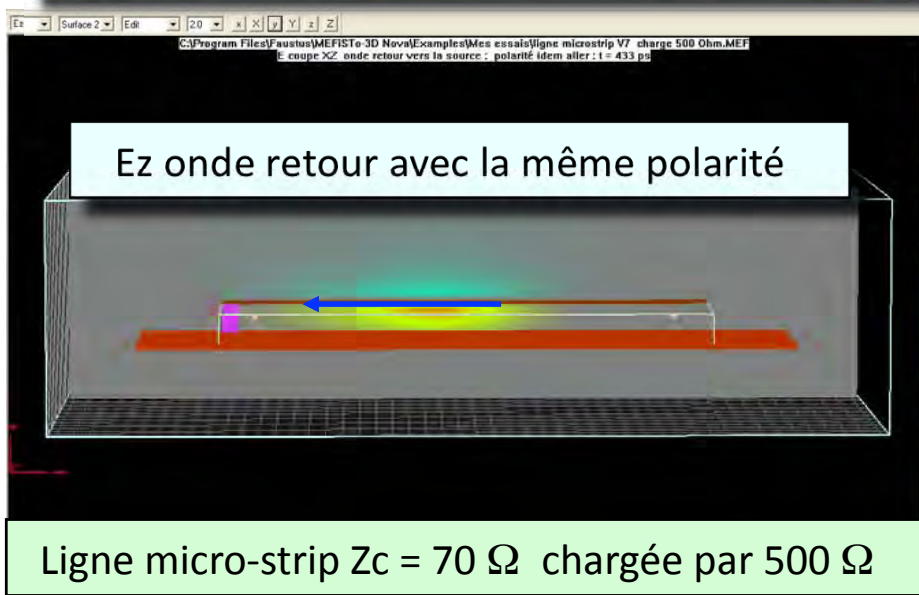
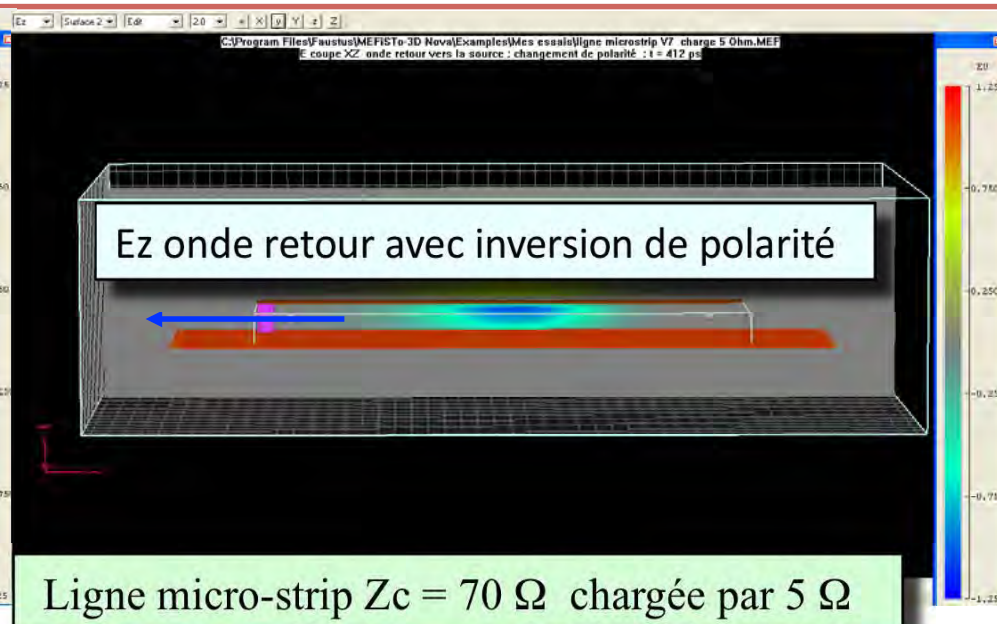
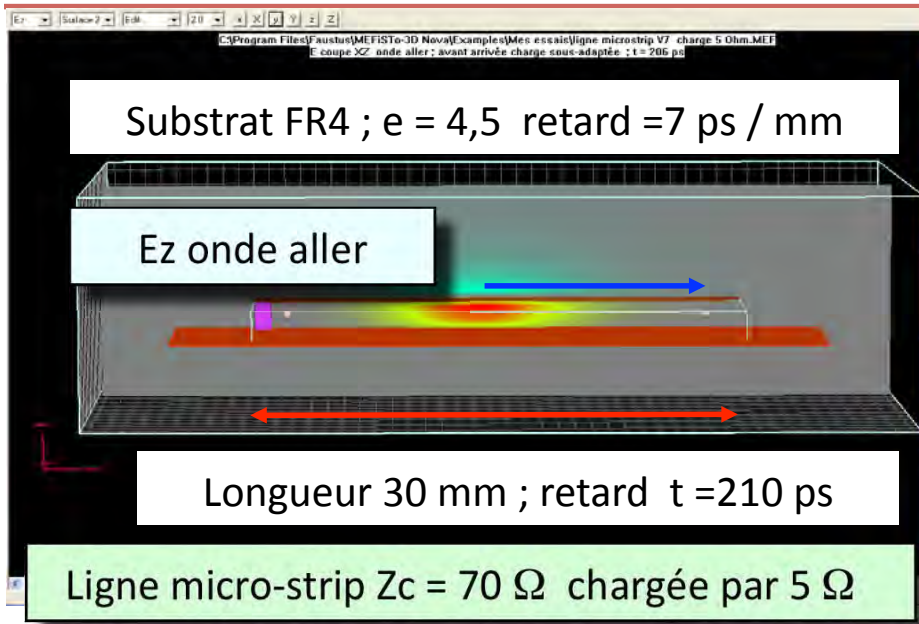


Méthode différentielle temporelle FDTD/ TLM : Mefisto 3D (Faustus)

The screenshot shows the MEFiSto-3D Nova software interface with several components labeled in French:

- Barre de menus**: Points to the top menu bar (File, Edit, Draw, Mesh, Simulation, Scaling, View, Wizard, Window, Help).
- Mode pas à pas**: Points to the step-by-step simulation mode button in the toolbar.
- Zoom affichage**: Points to the zoom controls in the toolbar.
- Axes de rotation en mode 3D**: Points to the rotation axes (X, Y, Z) in the 3D editor window.
- Bibliothèque d'objets**: Points to the object library on the left side of the interface.
- Fenêtre d'édition**: Points to the 3D editor window showing a wireframe model of a horn antenna.
- Carte des puissances en fonction du temps**: Points to the power map visualization in the 3D editor window.
- Diagramme de rayonnement**: Points to the radiation pattern plot in the 'Radiation Pattern - E-theta - Polar' window.
- Signal d'excitation = sinusoïde F = 33 GHz**: Points to the sine wave plot in the 'Generator - Input' window.
- Liste des objets éditables du modèle**: Points to the 'Computation Object' list on the left side of the interface.
- Compteur de pas temporels**: Points to the status bar at the bottom left showing 'EM Stop At : 254 Delta T = 334.759 psec [Elapsed Time is 00:00:1.734]'.
- Autres fenêtres disponibles**: Points to the taskbar at the bottom of the interface.

Visualisation de réflexions sur une ligne de transmission : Mefisto3D



Synthèse sur la simulation en mode rayonné

- **Optimum pour chaque méthode : Dimension $D < 10 \lambda$ et mailles ou segments de l'ordre de $\lambda / 20$.**
- **Méthode des éléments finis** (forme différentielle) peut traiter les matériaux complexes y compris biologiques avec ϵ_r et $\mu_r > 1$ mais sans propagation. Maillage conforme et auto-adaptatif de tout le volume de calcul donc encombrant en mémoire. Méthode fréquentielle en champ H nécessitant des pas de fréquence pour étudier un domaine de fréquences.
- Convient uniquement pour les problèmes en champ proche quasi-stationnaire de l'électrotechnique : Transformateurs, moteurs, BusBar, pompes électromagnétiques, les lignes de transmission en mode TEM, l'effet de peau et de proximité.
- **Maxwell 2D / 3D ; flux 2D / 3D ; FEMM.**
- **Comsol** multiphysique module **AC/DC** couplé à des modules thermiques, écoulement de fluides etc.
- **HFSS** module Méthode des éléments finis est surtout adapté à la modélisation de filtres RF.

- **Méthode des moments** (forme intégrale) Maillage conforme = Uniquement sur les segments découpant un modèle filaire.
Matrices denses avec beaucoup d'opérations. Méthode fréquentielle.
- Méthode de référence pour le calcul d'antennes et diagrammes de rayonnement, RCS (SAR) et couplages entre conducteurs.
- Méthode mal adaptée aux grandes structures en H.F. : $D / \lambda \gg 10$ et aux petites structures en B.F. : $D / \lambda \ll 10$
- **4NEC2X** utilise NEC2 (Libre) KO pour les diélectriques. **FEKO** utilise NEC4 (Commercial) OK pour les diélectriques.
- **HFSS** module méthode des moments pour les antennes et RCS. Idem pour le solveur **MLFMM de CST**

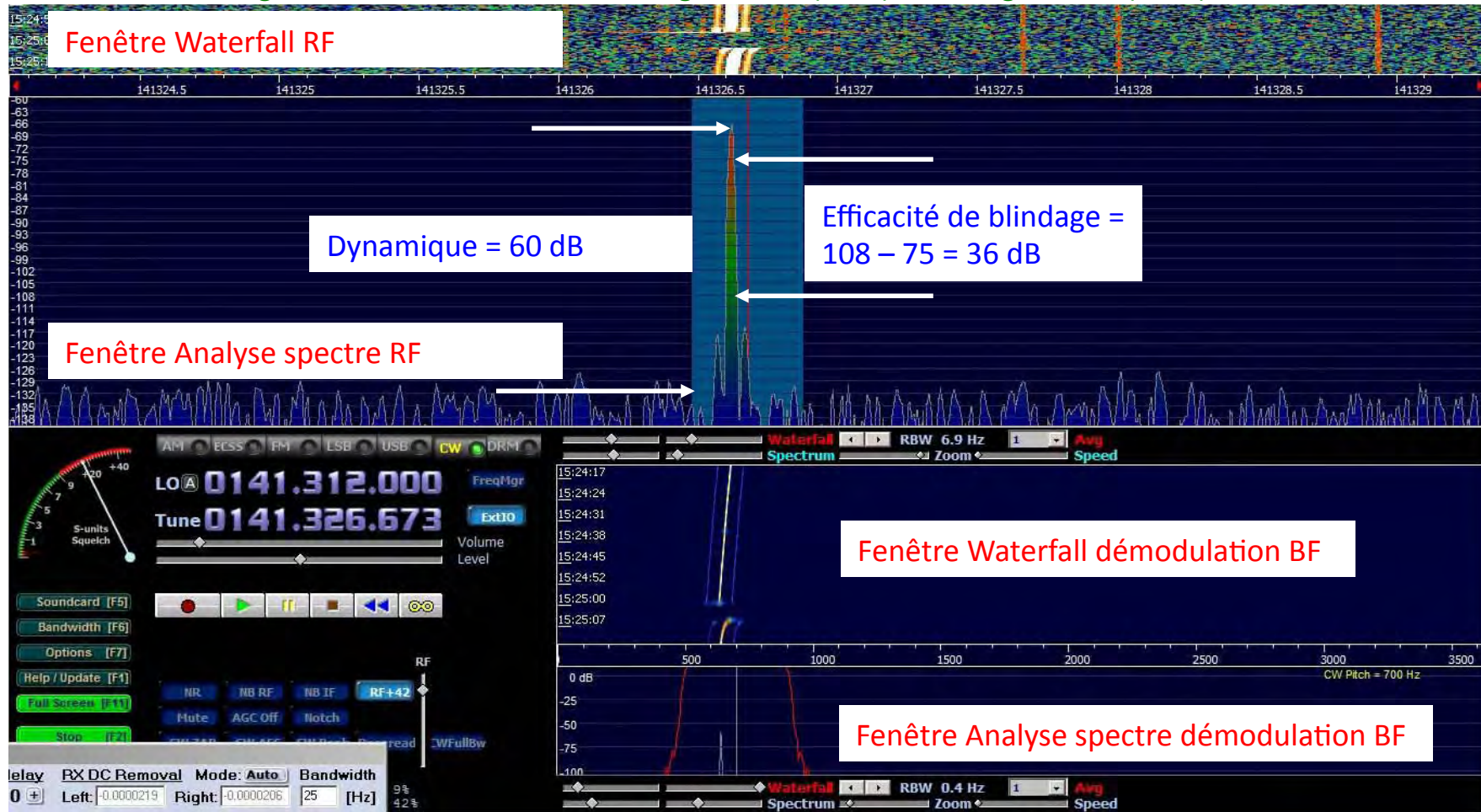
- **Méthode des différences finies (FDTD) et des lignes de transmission (TLM)** (forme différentielle) peut traiter les matériaux complexes y compris biologiques avec ϵ_r et $\mu_r > 1$ eux mêmes variables en fréquence.
- Convient pour DAS, rayonnements dont fuites de blindage et intégrité de signal des empilages de circuits imprimés.
- Tout le volume doit être maillé donc encombrant en mémoire pour $D \gg \lambda$. Le maillage est non conforme. Méthode bien adaptée aux fréquences > 100 MHz. Méthode temporelle permettant de prendre des sources impulsives et par F.F.T. une large plage de fréquences comprenant tous les modes stationnaires si nombre de pas temporels suffisant.
- **CST microwaves studio, Mefisto3D, QW3D**, Transient Solver de HFSS

- Méthodes asymptotiques quasi-optiques UTD , GO, lancer de rayons réservées aux problèmes de dimension $D \gg \lambda$.



Mesure d'efficacité de blindage avec des récepteurs SDR

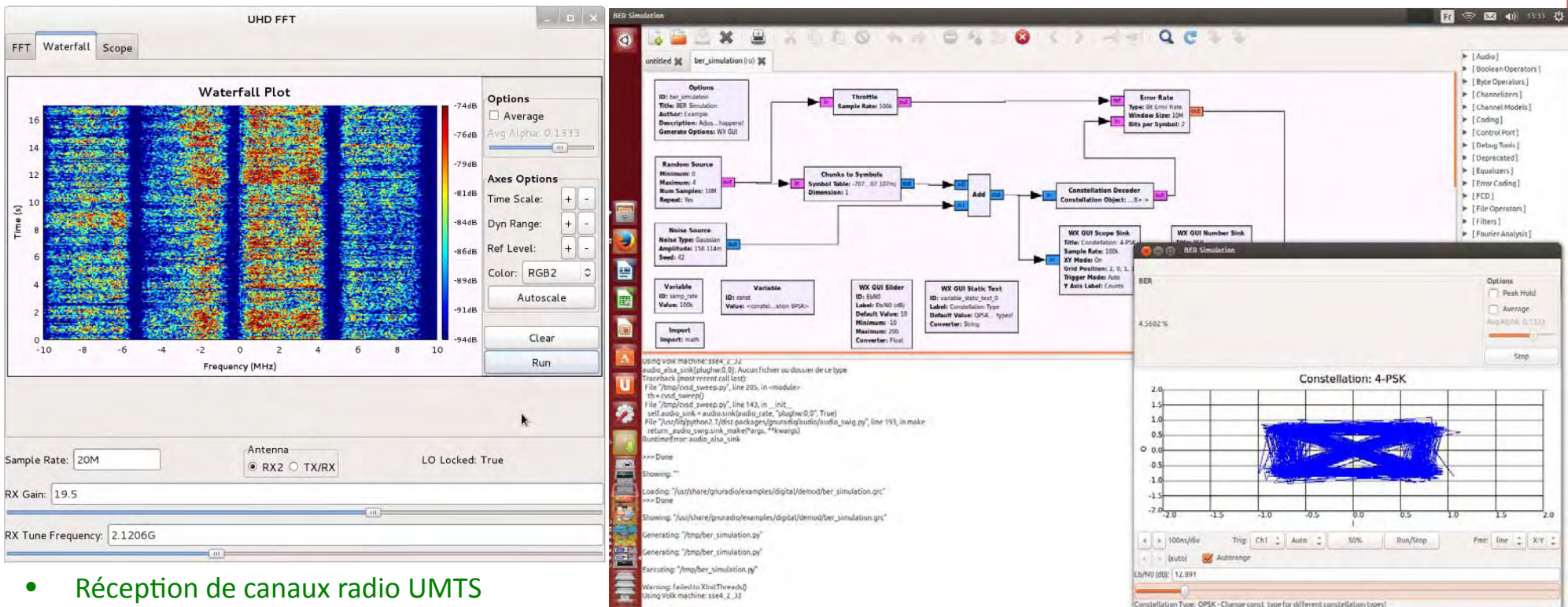
- 1) Utiliser comme générateur de rayonnement les harmoniques des oscillateurs des cartes ou introduire un oscillateur dans le blindage à essayer. Ici 141,326 MHz = Harmonique 23 de l'oscillateur 6,144 MHz (Nominal).
- 2) Récepteur d'harmoniques = récepteur SDR du type clef USB pour TNT piloté par les logiciels libres **HDSDR** ou SDRSharp ; Capteur = sonde de Moebius fabriquée à partir d'un câble coaxial modifié.
- 3) Efficacité de blindage = différence de niveau blindage ouvert (Sans) / Blindage fermé (Avec)



Développements en radio logicielle : GNURADIO

GNURADIO est un environnement de développement en radio logicielle libre et complet.

- Installation multiplateformes : Linux, Windows, Clef bootables dont KALILINUX
- Interface utilisateur graphique GNURADIO Companion (GRC) du type flux de données.
- Emulation détaillée de toutes les modulations / démodulations
- Pilotage de récepteurs SDR (Software defined Radio) : USRP de National Instruments / ETTUS ; clef USB TNT RTL2832 etc.



- Réception de canaux radio UMTS
- Mode Analyse de spectre FFT Waterfall
- USRP centré sur 2120,6 MHz
- Span = 20 MHz

Linux Ubuntu avec GnuRadio fenêtre GNURADIO companion
Démodulation et affichage constellation PSK 4 moments

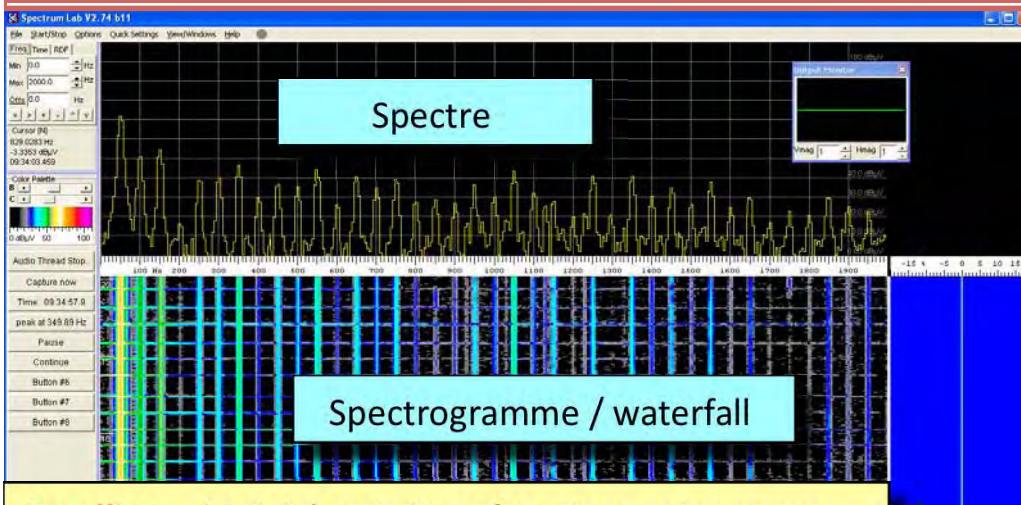
Traitement du signal bande audio Spectrumlab : paramétrages

The image shows the Spectrum Lab V2.75 b12 software interface. The main window displays a spectrogram with a frequency range from 0 to 10,000 Hz and a time range from 0 to 16 seconds. The spectrogram shows a complex signal with multiple frequency components. The interface includes several panels and windows:

- Mémorisation oscilloscope**: A callout pointing to the top of the main window.
- Reglages FFT**: A callout pointing to the "Configuration and Display Control" window, which shows FFT properties such as "Decimate input by (divisor) 1", "FFT input size ('length') 1024", and "FFT window function Hann".
- Spectre**: A callout pointing to the main spectrogram display.
- Oscilloscopes de contrôle**: A callout pointing to the "Input Monitor" and "Output Monitor" windows, which show waveforms of the signal.
- Boite à outils + Contrôle flux de données**: A callout pointing to the "Spectrum Lab Components" window, which shows a block diagram of the signal processing chain, including a "Signal Generator", "Digimode Modulator", "Filter bypassed", "Digimode Detector", and "Spectrum Analyser1".
- Oscilloscope**: A callout pointing to the "Time domain scope" window, which shows a waveform of the signal in the time domain.

The interface also includes a "Test Tone Generators" window on the right, which allows for the generation of test tones with various parameters such as frequency, level, and waveform. The "Time domain scope" window shows a plot of amplitude versus time, with a peak at 1228.74 Hz.

Exemples d'analyse spectrale bande audio Spectrumlab, Baudline



SpectrumLab

Harmoniques du champ magnétique $F = 50$ Hz
entre 20 Hz et 2 kHz (rang Hmaximum = 40)

Source = Champ de fuite d'un transformateur à tôles
circuit magnétique double E relié au réseau EDF

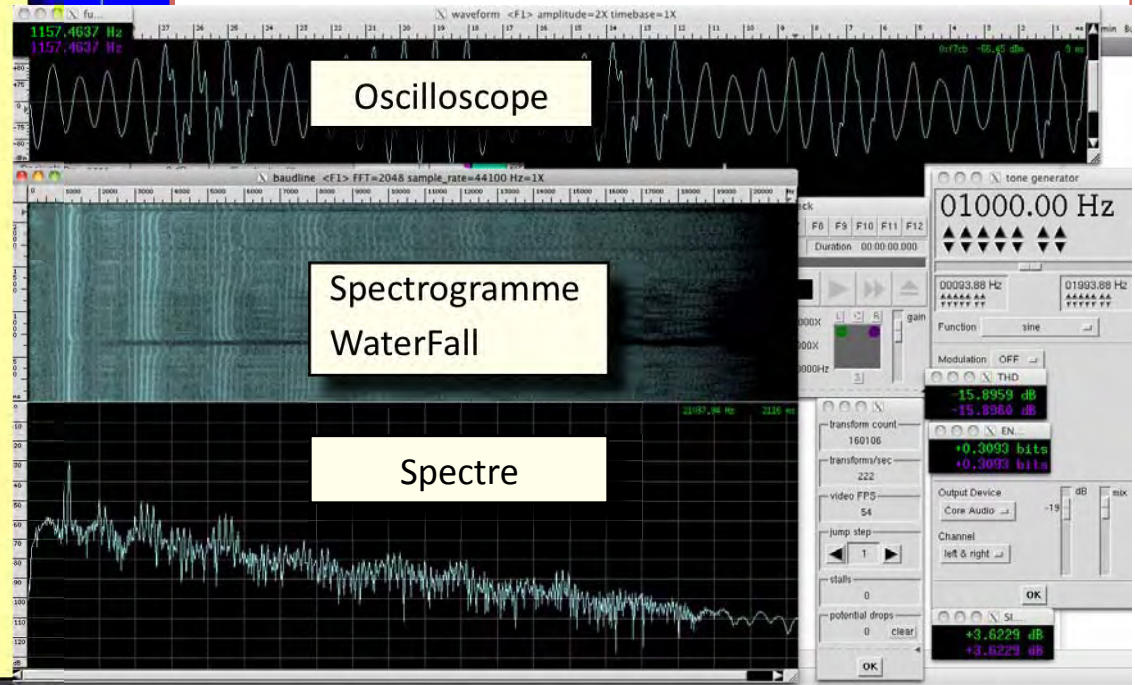
Capteur = Bobine à air reliée à l'entrée micro carte son

Baudline = Logiciel gratuit ne fonctionnant que sur
MacOS et Linux

Analyse de signaux captés par un
microphone (sifflement à 1156,4637 Hz) + signal de
référence à 1000 Hz

Points forts :

- Analyse stéréo très rapide avec au moins 100
analyses / seconde par canal
- Nombreuses mesures en temps réel
- Grande précision et possibilité de traiter des fichiers
de grande taille et d'extraire des fréquences au delà
de la gamme audio.



Exemples d'applications fonctionnant sur les <<smartphones>>

The image displays several mobile applications used for network and electromagnetic field analysis:

- Wifi Analyzer:** Shows signal strength (dBm) across Wi-Fi channels. Key entries include Livebox-70d2, FreeWifi_secure, and Livebox-efficiency.
- OpenSignal:** Provides a heatmap of cellular coverage for SFR FEMTO Ent HSPA. The map shows signal strength variations across a city area.
- Chart:** A line graph showing signal strength (dBm) over time, with a log table of signal events including LAC, Cell Id, and technology (UMTS, HSDPA).
- 3 Axis Magnetic Field Monitor:** Displays a magnetic field reading of 651.0 mG. It includes a compass and technical specifications like sampling rate (50,9491 Hz) and accuracy (Low).
- Samsung Galaxy S2 ANDROID:** A central text overlay identifying the device.
- EMF Sensor:** Shows a reading of 1326 mG with coordinates (x: 857, y: -496, z: -881) and a range of 6 mG to 19698 mG.
- G-NetTrack:** A network tracking application showing a map with signal strength levels and various measurement tools.
- RF & Microwave Toolbox Lite:** A toolbox for RF measurements, including tools for Mismatch, VSWR, dBm, dBuV, Coupler Directivity, Wavelength, and Skin Depth.



Les logiciels publics de simulation CEM et radio

Merci pour votre attention. Questions / réponses

