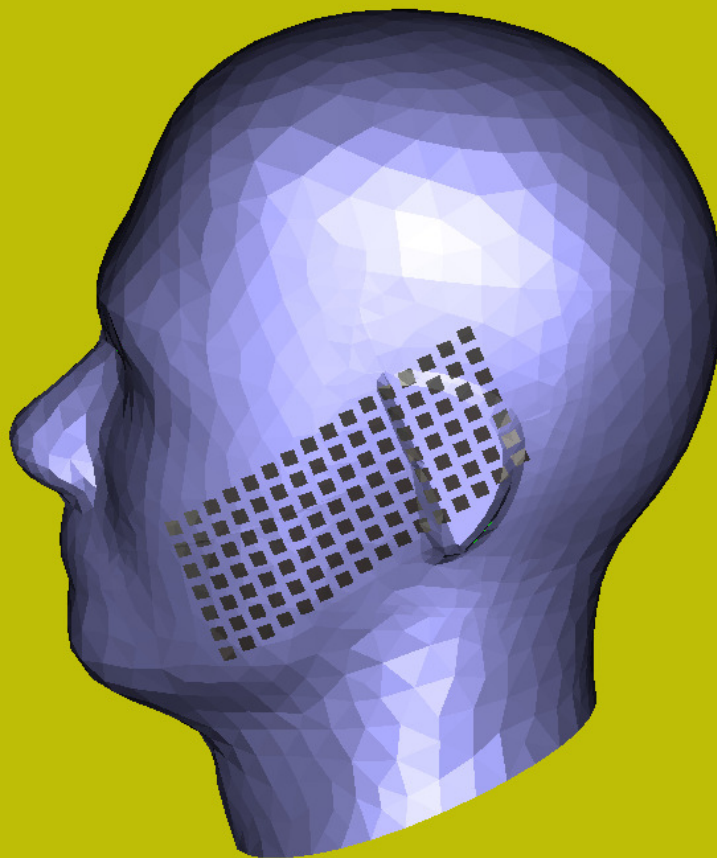




Session « Mesure de DAS, principe, outils & contraintes »

Conception d'une sonde de mesure de DAS ... de COMOBIO à MERODAS
Ch.PERSON





Dosimétrie - Contexte

ICNIRP

- **Commission Internationale pour la Protection contre les Rayonnements Non Ionisants**

Guide pour l'établissement de limites d'exposition aux champs électriques, magnétiques et électromagnétiques - Champs alternatifs de fréquence variable dans le temps, jusqu'à 300 GHz



Normes européennes : EN 50360 et EN 50361 + EN 62209-1
+ IEC 62209-1 & pr. IEC 62209-2
+ IEEE Std. P1528



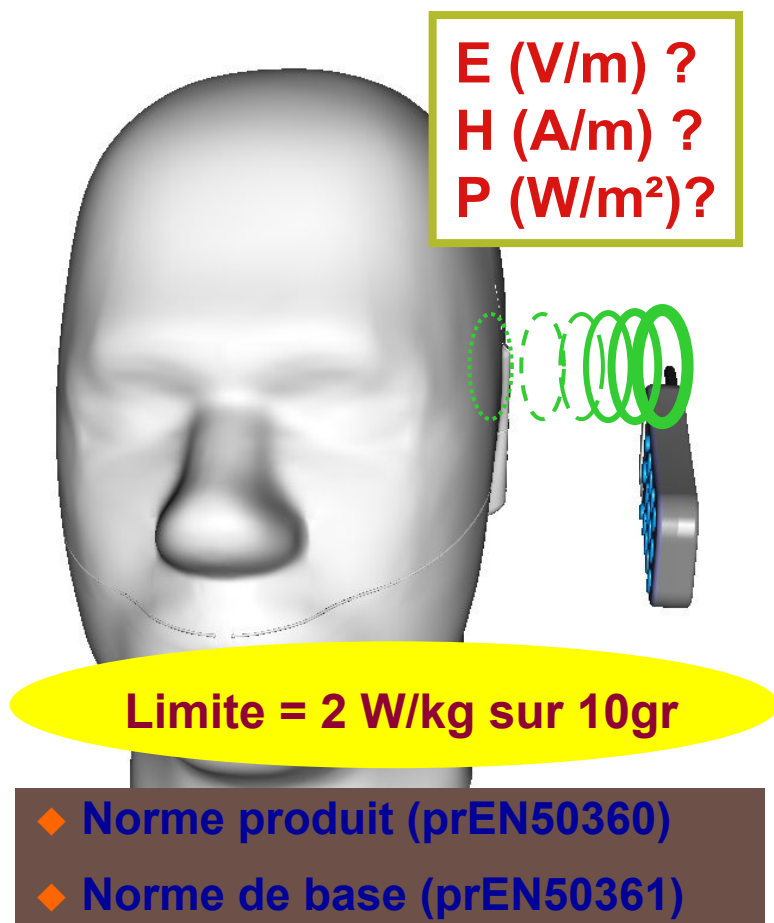
Specific Absorption Rate (SAR) – Débit d'Absorption Spécifique (DAS)

$$SAR = \frac{\sigma E_i^2}{\rho}$$

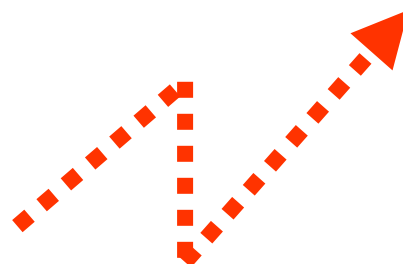
$\left\{ \begin{array}{l} E_i : \text{Champ électrique (valeur efficace rms) dans les tissus en V/m} \\ \sigma : \text{Conductivité des tissus en S/m} \\ \rho : \text{Densité des tissus en kg/m}^3 \end{array} \right.$



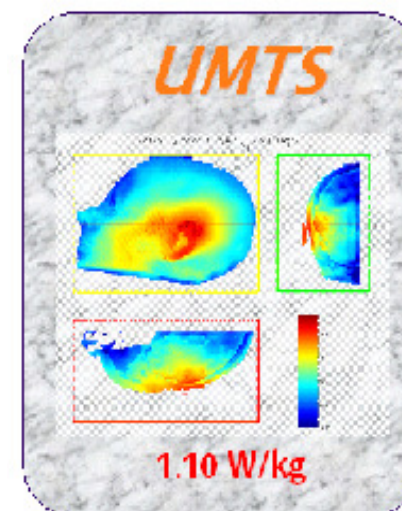
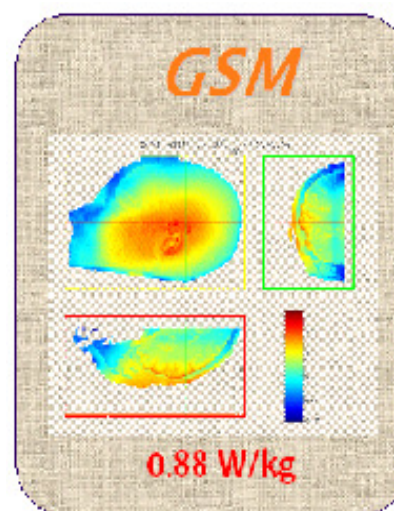
Évaluation du DAS des téléphones mobiles et des équipements périphériques



Puissance rayonnée



Station de base



+ DIFFICULTE SUPPLEMENTAIRE : "Confinement" du DAS



SONDES DE MESURE DE CHAMP

Cahier des charges



Normes : Spécifications

❖ Electrique

Limite de détection minimum : $< 0,02 \text{ W/kg}$.
maximum $> 100 \text{ W/kg}$

Linéarité : $\pm 0,5 \text{ dB}$ sur la gamme de SAR $[0,02-100 \text{ W/kg}]$

Isotropie : $\pm 1 \text{ dB}$ max axiale & hémisphérique

Temps de réponse spécifié : Temps d'intégration $\gggg$ reproductibilité à $\pm 5 \%$.

Relevées dans le liquide

❖ Physique

Longueur de chaque détecteur de la sonde de champ E : 5 mm max

D>imensions hors-tout de la protection : 8 mm max



SONDES DE MESURE DE CHAMP

➤ Solutions technologiques

- ① **Sondes de champ E**
- ② **Sondes de champ H**
- ③ **Sondes « multiphysiques »**
 - **Piezzo-électriques**
 - **Electro-optiques**
 - **Thermiques**
 -



SONDES DE MESURE DE CHAMP

De Comobio à Merodas – Evolutions

✓ Conception et Optimisation maîtrisée

- ① Comobio : Conception Sondes de champ Electriques & Calibrage
- ② Adonis : Miniaturisation et nouvelles configurations

✓ Nouveaux concepts & usages

- ③ MDP2 : Simplification (réseau planaire) et Perturbation
- ④ Multipass : Réponse temporelle & Multi-signaux
- ⑤ Merodas : Intégration et interfaces déportées



SONDES DE MESURE DE CHAMP

De Comobio à Merodas – Evolutions

✓ Conception et Optimisation maîtrisée

- ① Comobio : Conception Sondes de champ Electriques & Calibrage
- ② Adonis : Miniaturisation et nouvelles configurations

✓ Nouveaux concepts & usages

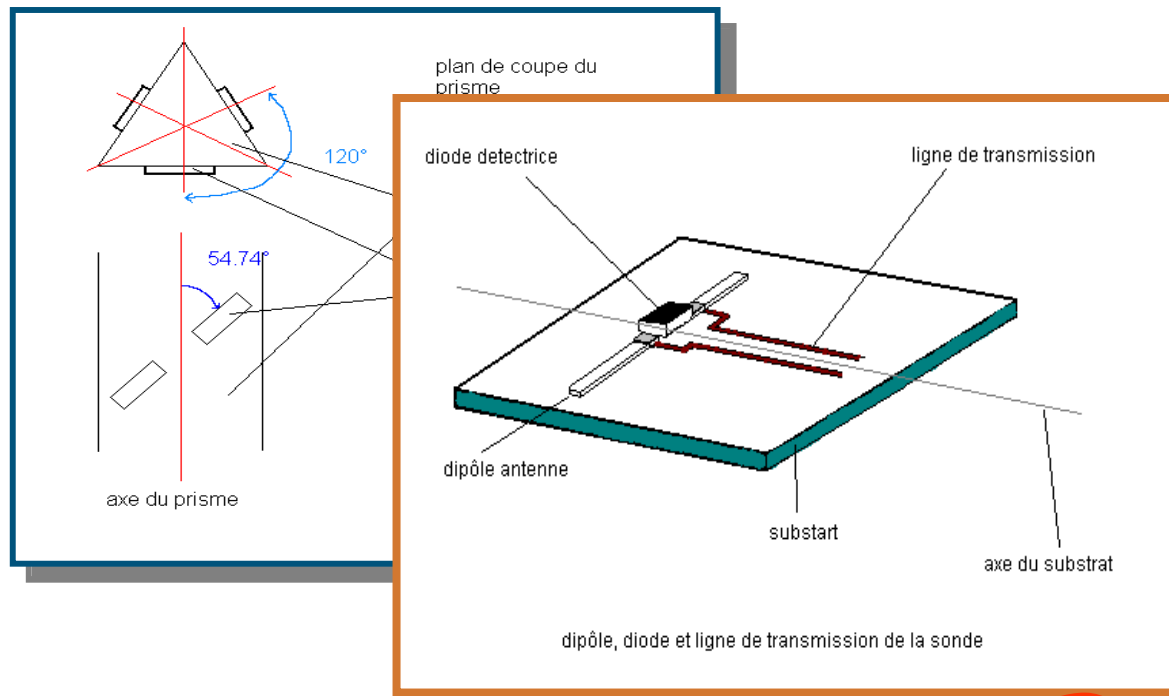
- ③ MDP2 : Simplification (réseau planaire) et Perturbation
- ④ Multipass : Réponse temporelle & Multi-signaux
- ⑤ Merodas : Intégration et interfaces déportées



SONDES DE MESURE DE CHAMP

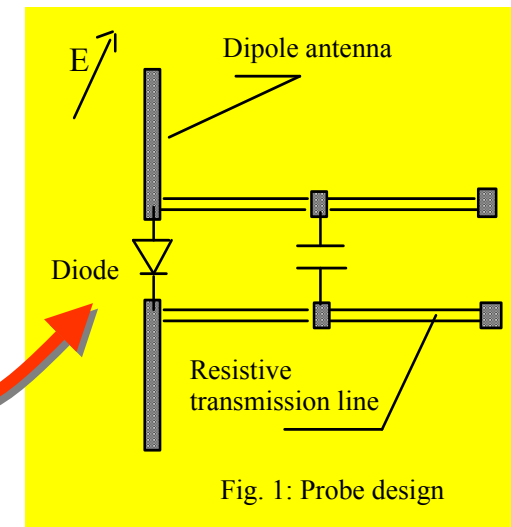
➤ Principe générique

Détection par **3 éléments orthogonaux**



chargés par une **diode Schottky**

$$I_{Diode} = a_0 + a_1 \cdot V_{RF} + a_2 \cdot V_{RF}^2 + a_3 \cdot V_{RF}^3 + \dots$$





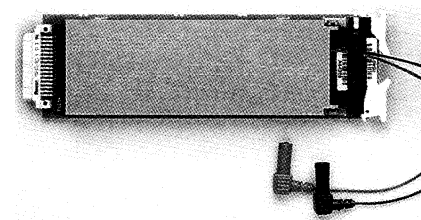
SONDE DE MESURE Champ E

Comobio



- I** Détection • Isotropie : matériau support
- II** Environnement • Composants & Détecteur
• Etanchéité par radôme
- III** Transfert mesure • Immunité EM
- IV** Mise en forme
 - Pas d'amplificateur DC
 - Carte scrutatrice 3 voies

SCAN INTERFACE



- Accès direct sur Multimètre

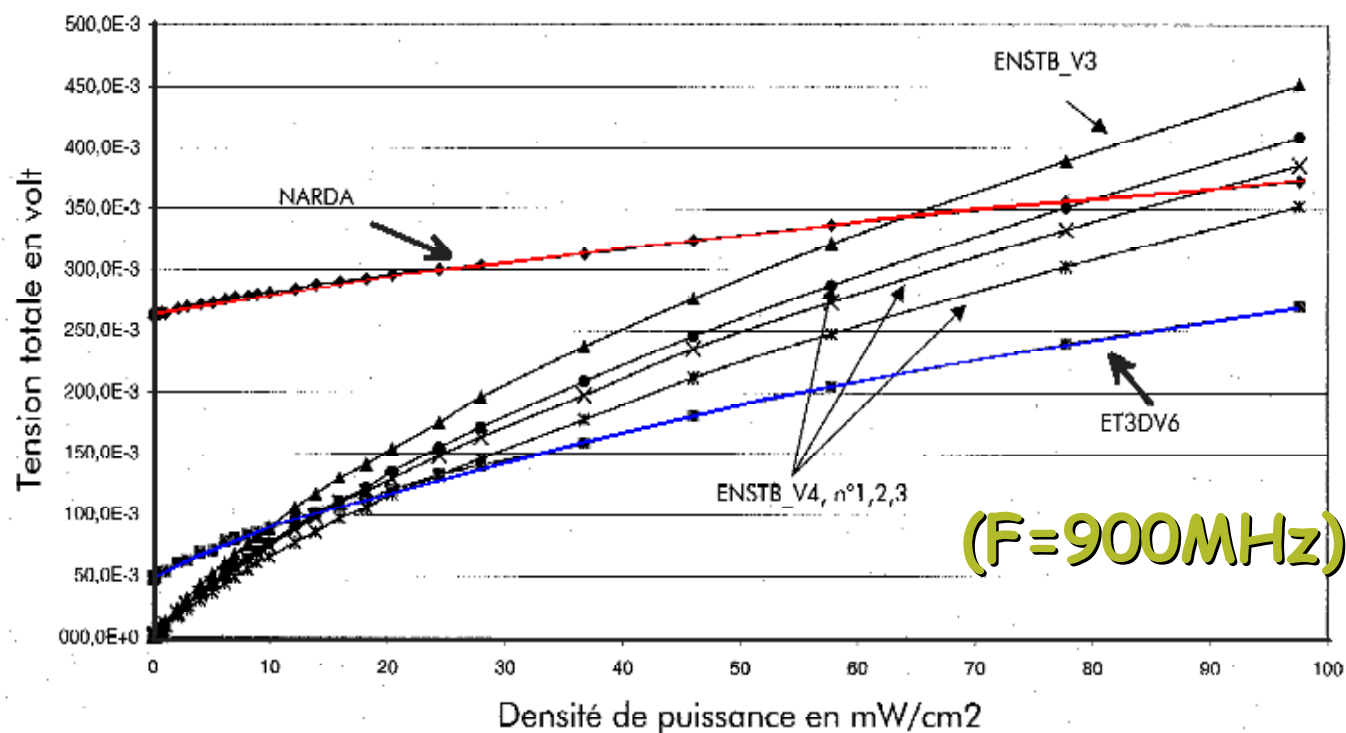


MULTIMETRE



SONDE DE MESURE Champ E

➤ Analyse comparative dans l'air



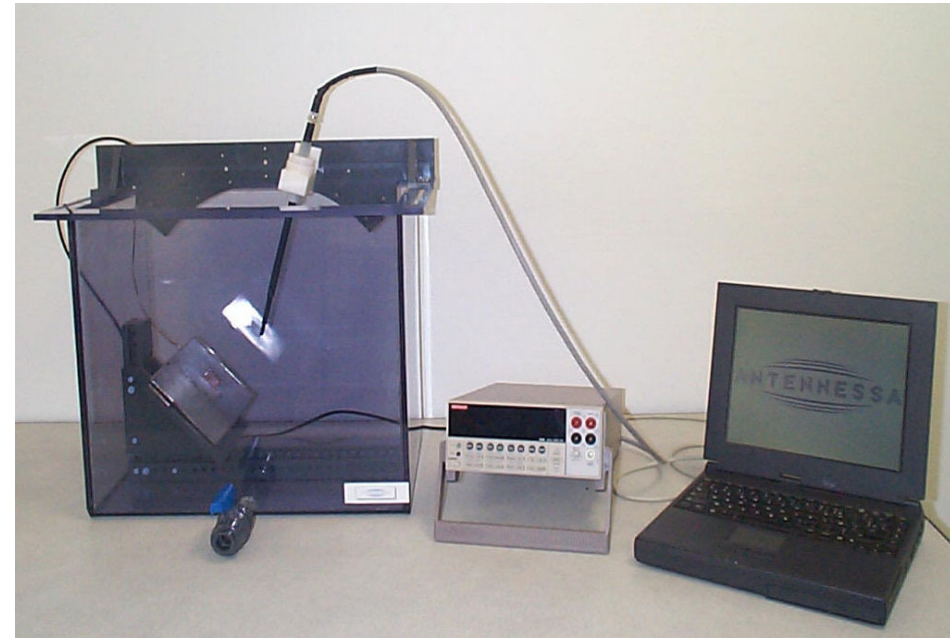
Sondes Comobio – Narda - SPEAG



SONDE DE MESURE Champ E



Sonde de SAR



Banc de calibration

➤ **Transferts de technologie**



SONDES DE MESURE DE CHAMP

De Comobio à Merodas – Evolutions

✓ Conception et Optimisation maîtrisée

- ① Comobio : Conception Sondes de champ Electriques & Calibrage
- ② Adonis : Miniaturisation et nouvelles configurations

✓ Nouveaux concepts & usages

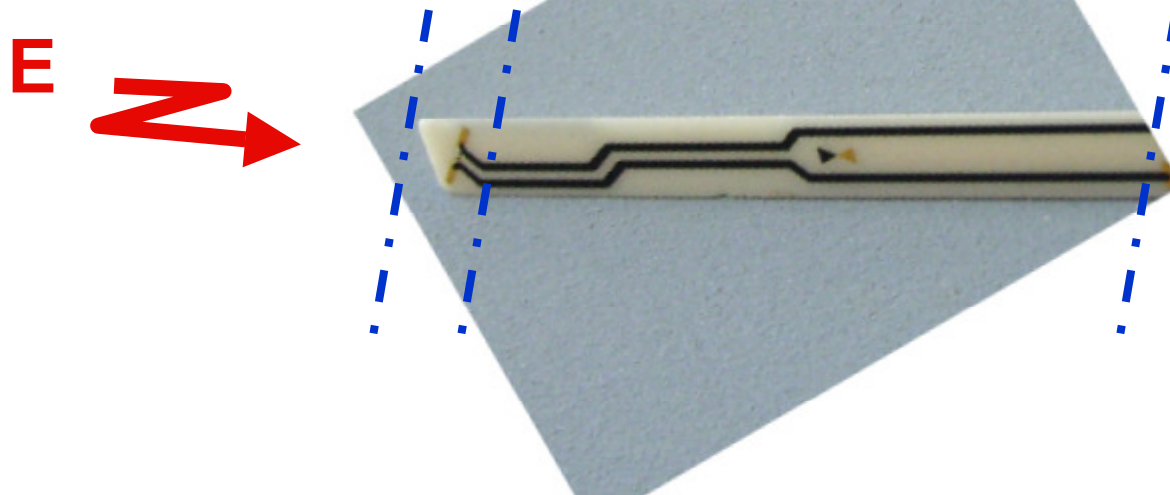
- ③ MDP2 : Simplification (réseau planaire) et Perturbation
- ④ Multipass : Réponse temporelle & Multi-signaux
- ⑤ Merodas : Intégration et interfaces déportées



Capteurs pour la mesure du DAS

➤ Questions ADONIS

- Quelle sensibilité peut-on espérer obtenir avec ce type de capteur en réduisant sa taille?
- Ce type de capteur est-il adapté en vue d'une miniaturisation?

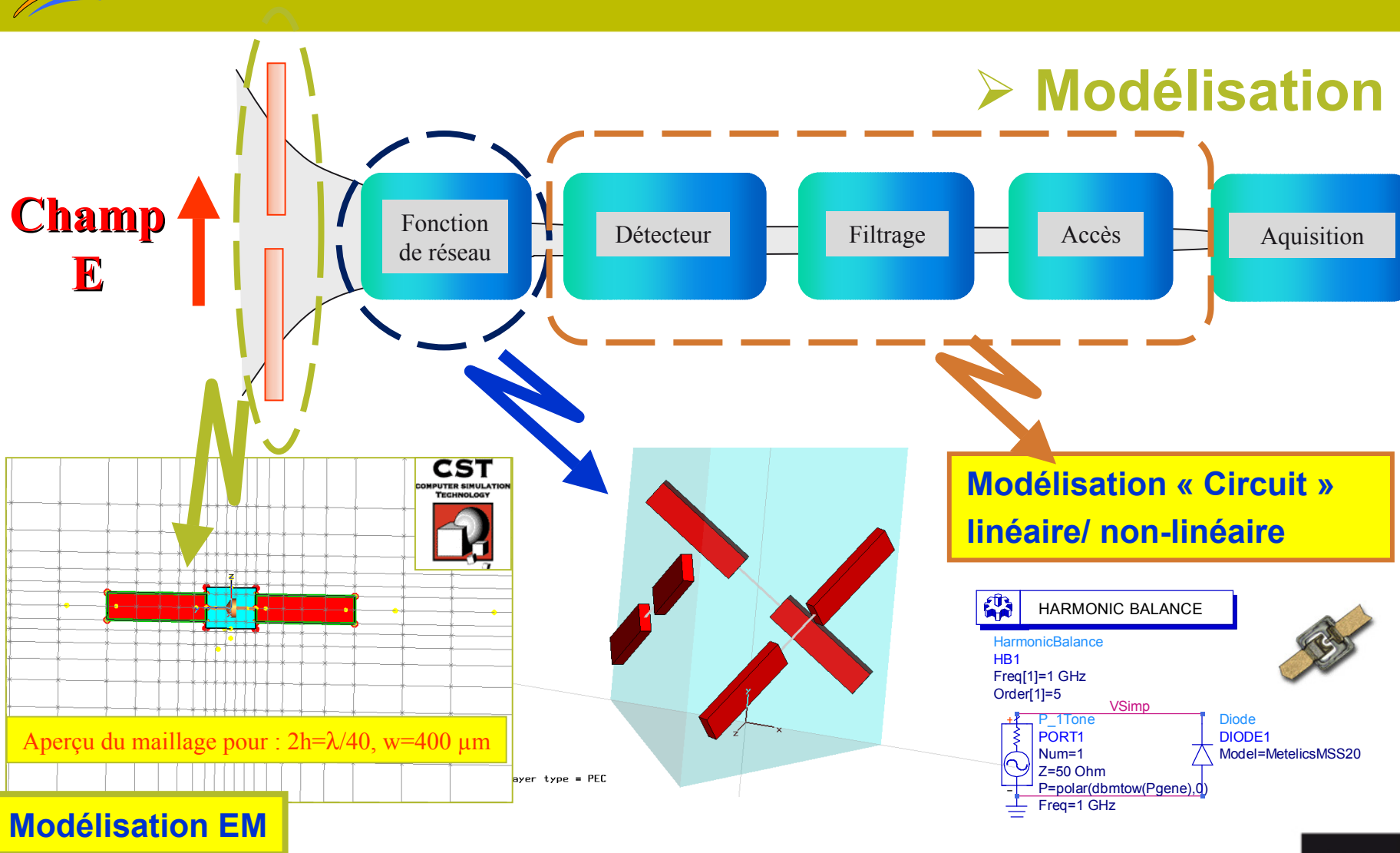


[1] C. Person, F. Le Pennec, J. Luc « Design, Modelisation and Optimisation of Hih efficiency Miniature E-field probes performed on 3D ceramic prisms for SAR evaluation » Annales de telecommunications, Special Issue Janvier 2006



SONDE DE MESURE Champ E

➤ Modélisation

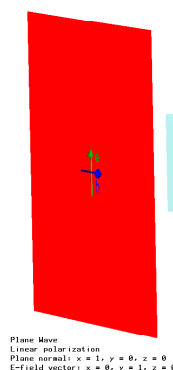




SONDE DE MESURE Champ E

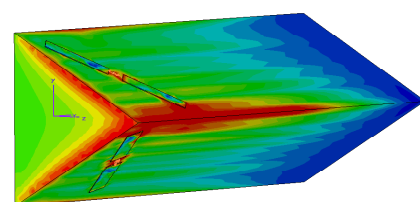
➤ Modélisation & Optimisation

Influence du prisme



Plane Wave
Linear polarization
Plane normal: $x = 1, y = 0, z = 0$
E-field vector: $x = 0, y = 1, z = 0$

Clamp to ranges: (Min: 0/ Max: 2)

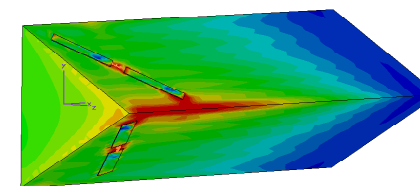


Type = E-field (peak)
Monitor = e-field (f=0.9) (mV)
Component = Abs
Maximum-3d = 55.1985 V/m at 0 / 0 / 0
Frequency = 0.9
Phase = 278 degrees

Champ électrique pour $f=900\text{MHz}$

a- Permittivité $\epsilon_r = 2$

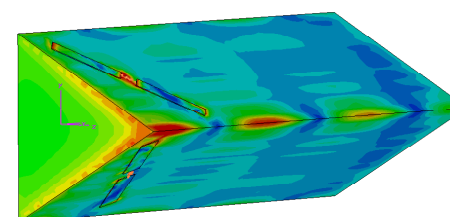
Clamp to ranges: (Min: 0/ Max: 2)



Type = E-field (peak)
Monitor = e-field (f=0.9) (mV)
Component = Abs
Maximum-3d = 54.9872 V/m at 0 / 0 / 0
Frequency = 0.9
Phase = 29 degrees

Champ électrique pour $f=900\text{MHz}$

V/m
1.94
1.81
1.69
1.56
1.44
1.31
1.19
1.06
0.938
0.813
0.688
0.563
0.438
0.313
0.188
0.0625
0



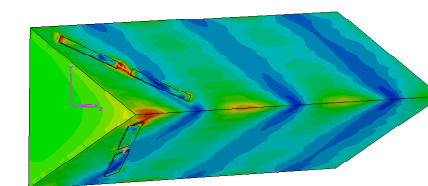
Type = E-field (peak)
Monitor = e-field (f=5) (mV)
Component = Abs
Maximum-3d = 50.2736 V/m at 0 / 0 / 0
Frequency = 5
Phase = 310 degrees

Champ électrique pour $f=5\text{GHz}$

@ 5000 MHz

Clamp to ranges: (Min: 0/ Max: 2)

V/m
1.94
1.81
1.69
1.56
1.44
1.31
1.19
1.06
0.938
0.813
0.688
0.563
0.438
0.313
0.188
0.0625
0



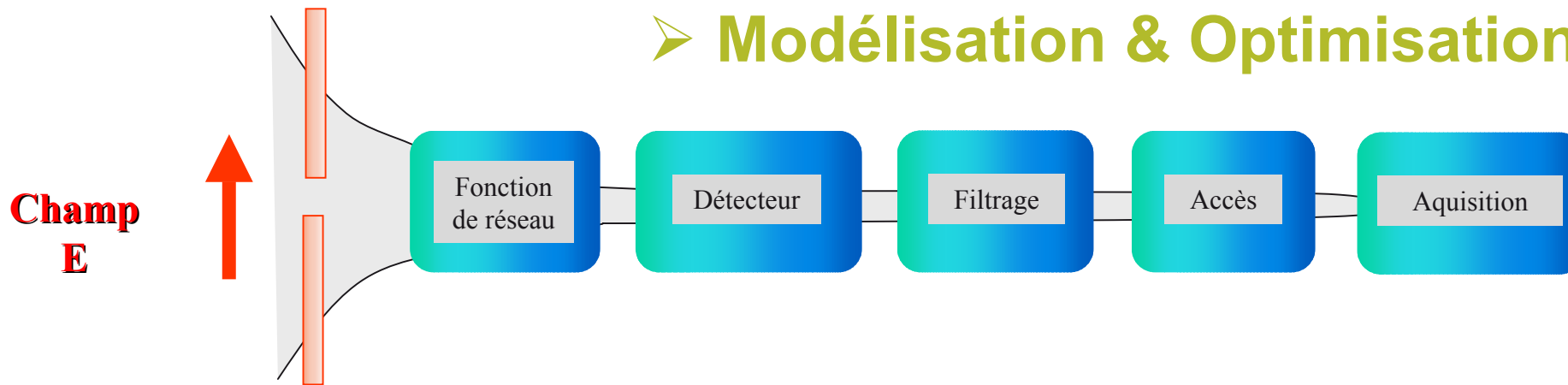
Type = E-field (peak)
Monitor = e-field (f=5) (mV)
Component = Abs
Maximum-3d = 54.8265 V/m at 0 / 0 / 0
Frequency = 5
Phase = 315 degrees

Champ électrique pour $f=5\text{GHz}$



SONDE DE MESURE Champ E

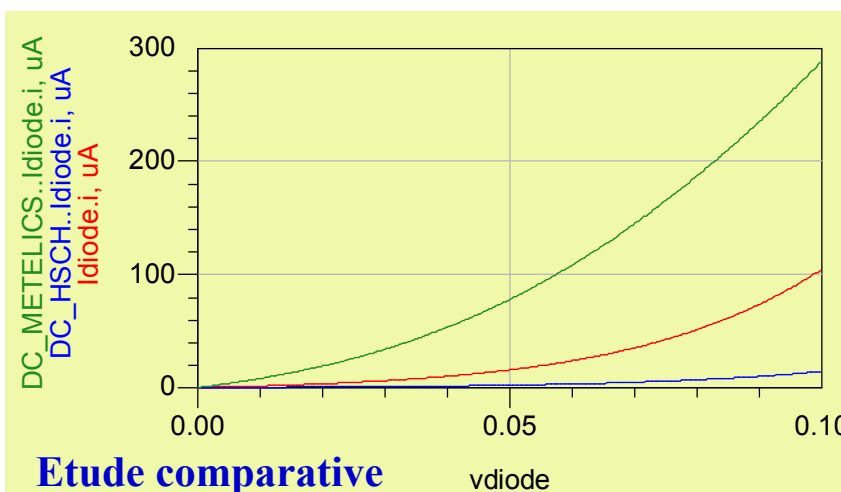
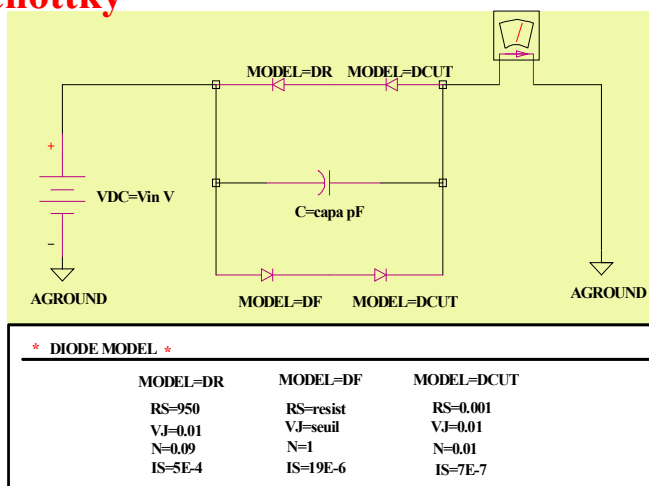
➤ Modélisation & Optimisation



CAO linéaire sous ADS agilent Choix du composant de détection

Diode Schottky

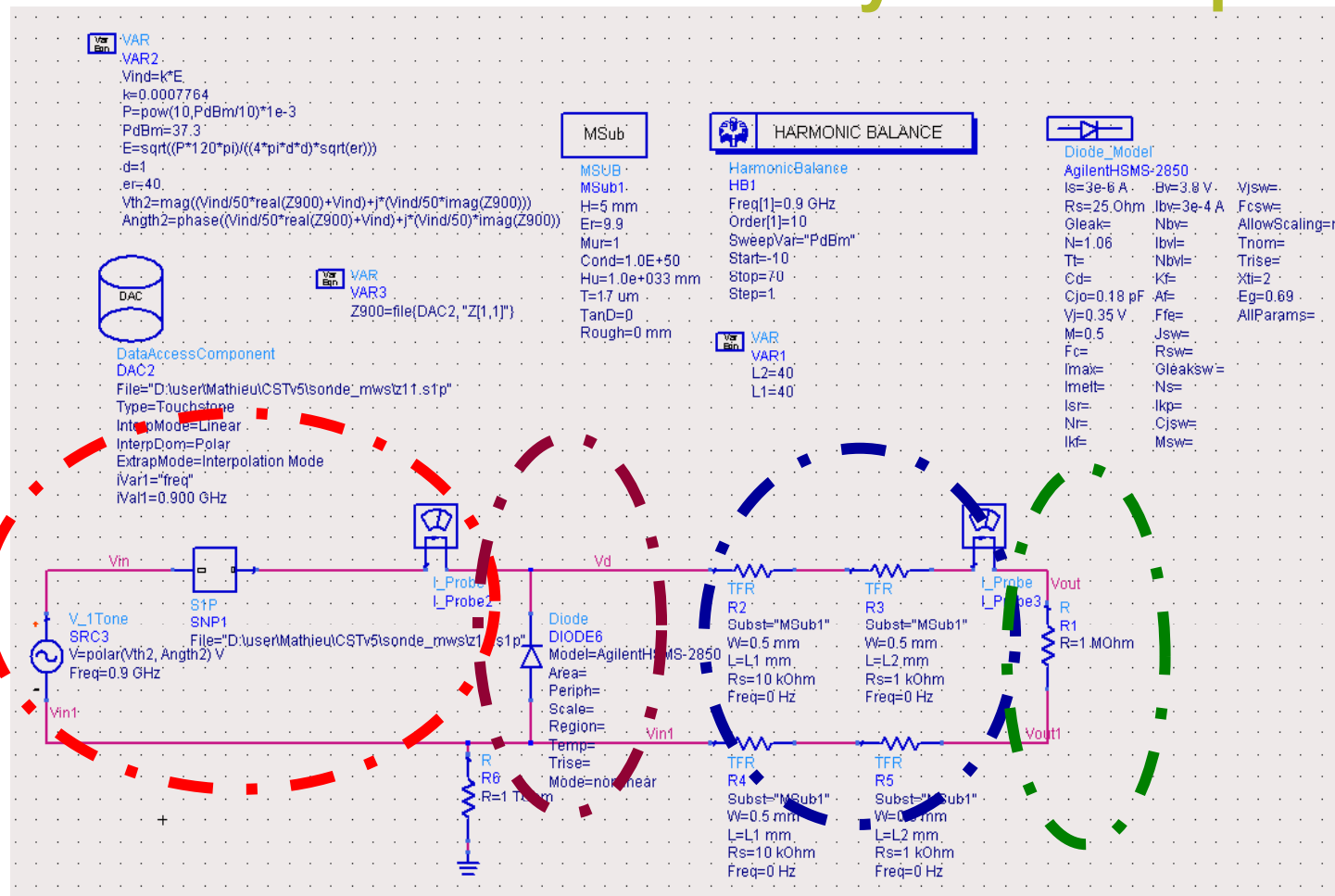
Modèle





SONDE DE MESURE Champ E

➤ Modélisation Hybride & Optimisation





SONDE DE MESURE Champ E





SONDES DE MESURE DE CHAMP

De Comobio à Merodas – Evolutions

✓ Conception et Optimisation maîtrisée

- ① Comobio : Conception Sondes de champ Electriques & Calibrage
- ② Adonis : Miniaturisation et nouvelles configurations

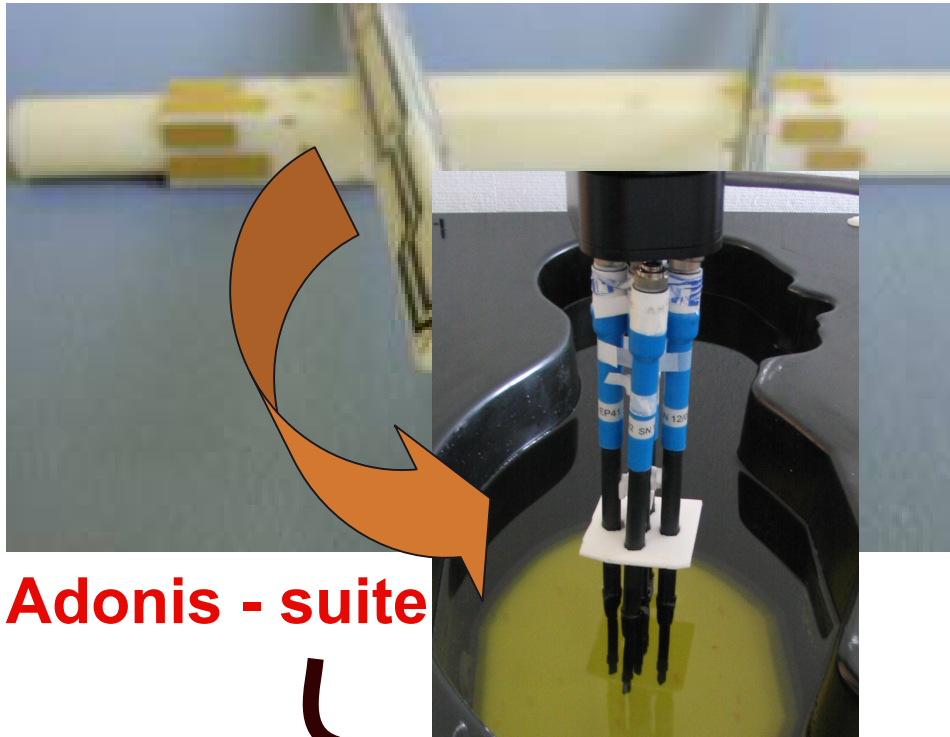
✓ Nouveaux concepts & usages

- ③ MDP2 : Simplification (réseau planaire) et Perturbation
- ④ Multipass : Réponse temporelle & Multi-signaux
- ⑤ Merodas : Intégration et interfaces déportées

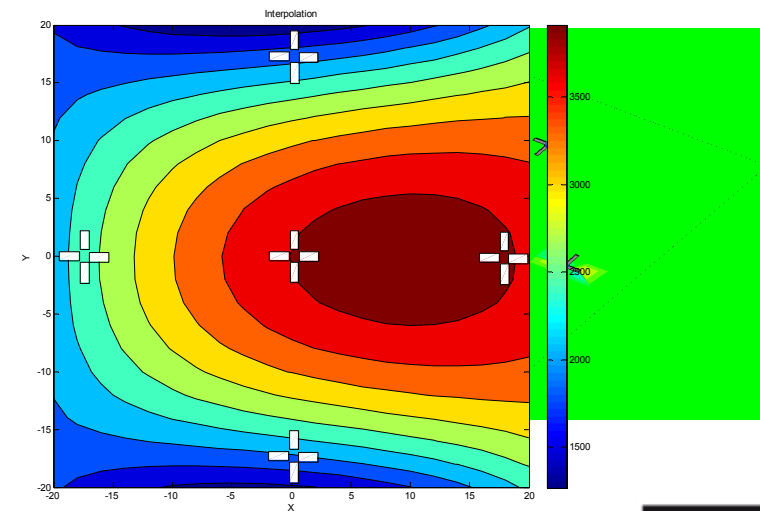
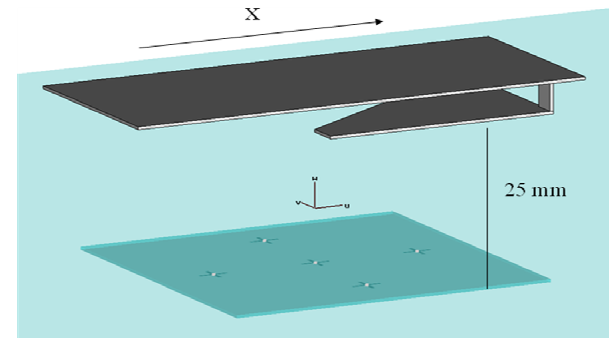


Nouveaux concepts & usages

➤ Topologies de sondes planaires & Réseau



Adonis - suite



MDP2

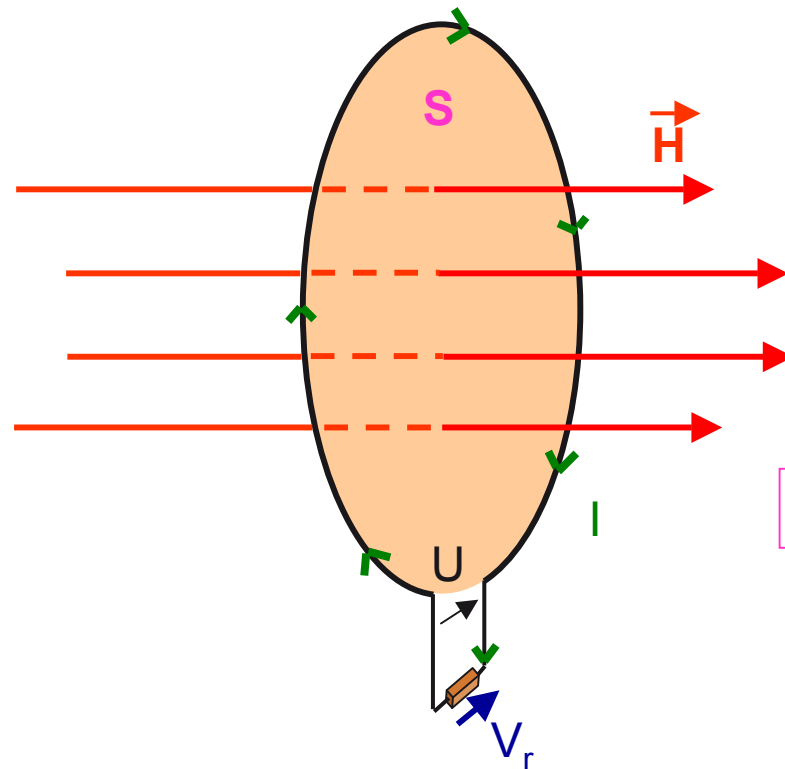


Nouveaux concepts & usages

➤ Sonde de mesure Champ H

Principe Général de mesure du Champ H

Loi de Lenz : Principe d'induction



$$\vec{B} = \mu \cdot \vec{H}$$

$\vec{H}$: Champ Magnétique

μ : Perméabilité du milieu

$\vec{B}$: Densité de Flux Magnétique

$$\Phi = B \cdot N \cdot S$$

N : Nombre de Spires (ici 1)

ϕ : Flux Magnétique

S : Surface traversée par Φ

$$U = - \frac{d\phi}{dt}$$

U : Tension induite

$$V_r(t) = R \cdot I(t) \approx - \frac{d(N \cdot S \cdot \mu \cdot H(t))}{dt}$$



Nouveaux concepts & usages

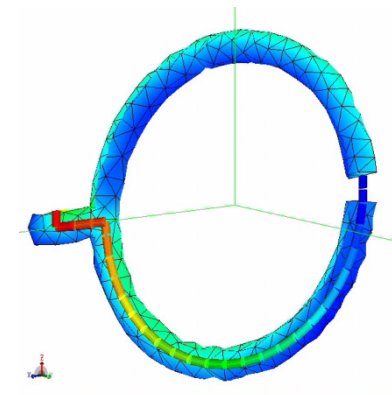
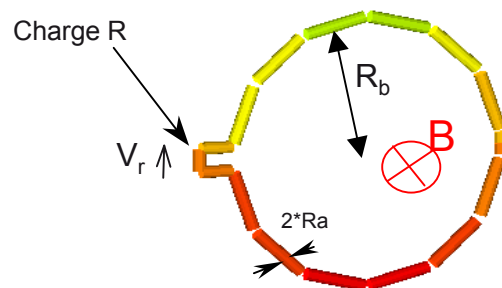
➤ Sonde de mesure Champ H

Boucle Simple:

Fréquence f_{dim} (MHz)	2500	1200
Sensibilité (mV/(A/m))	50	225
Incertitude (A/m)	0.0162	0.0416
Surface (mm ²)	2,86	12

Boucle Blindée:

Fréquence f_{cs} (MHz)	800	600
Sensibilité (mV/(A/m))	12	9
Incertitude (A/m)	0.0073	0.0197
Surface (mm ²)	2,1	2,1





Nouveaux concepts & usages

➤ Sonde de mesure Champ H

- Circuit de compensation: sélectivité
- Réalisation complexe / nombre de composants
- Problème de réjection du champ E

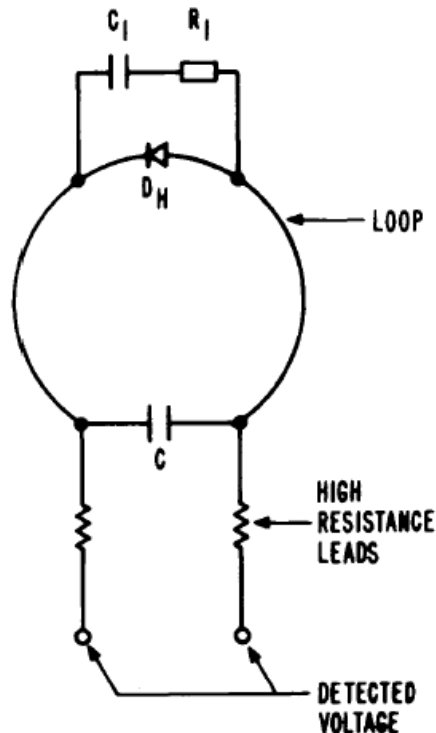
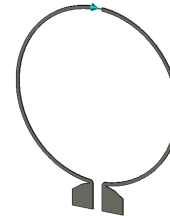
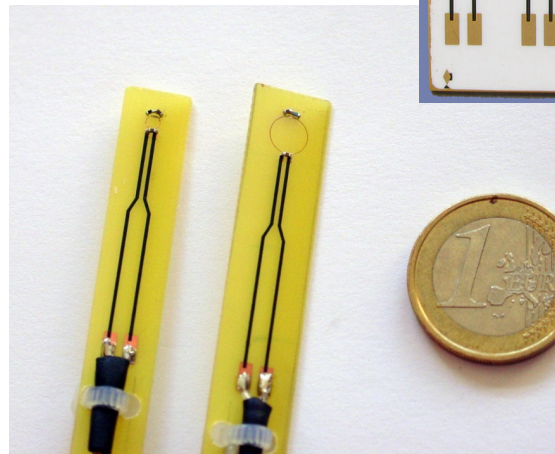
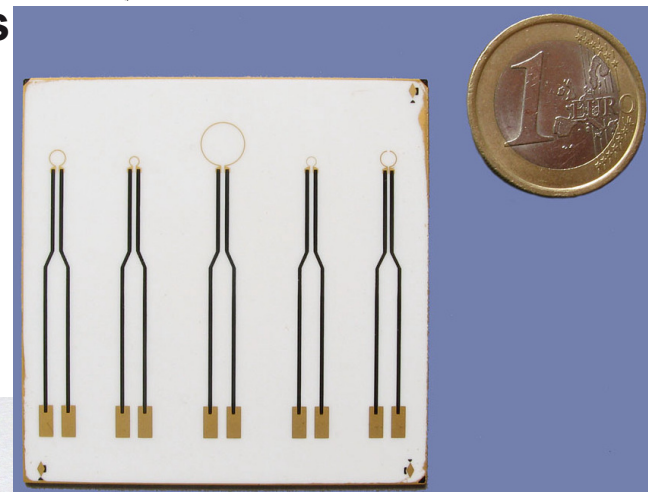


Fig. 1. Design of the H-field probe.



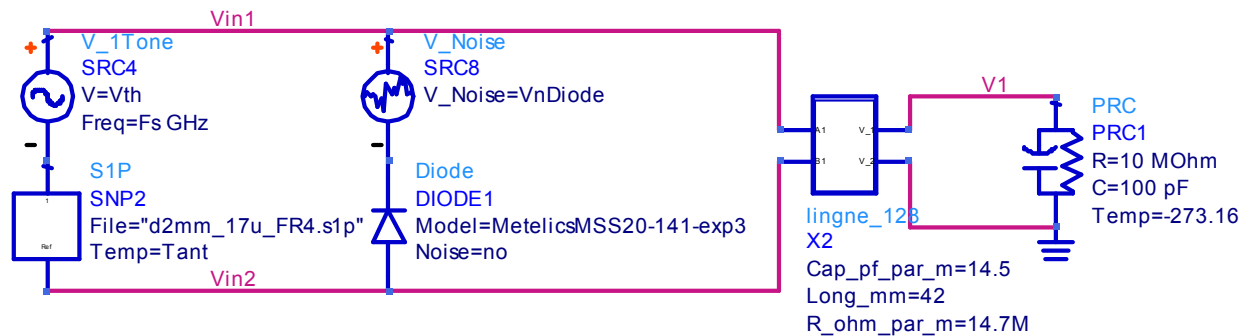
Merodas



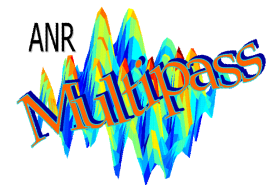


Nouveaux concepts & usages

➤ Modélisation affinée : Sensibilité, Bruit, Temps

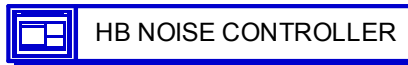


Multipass



HARMONIC BALANCE

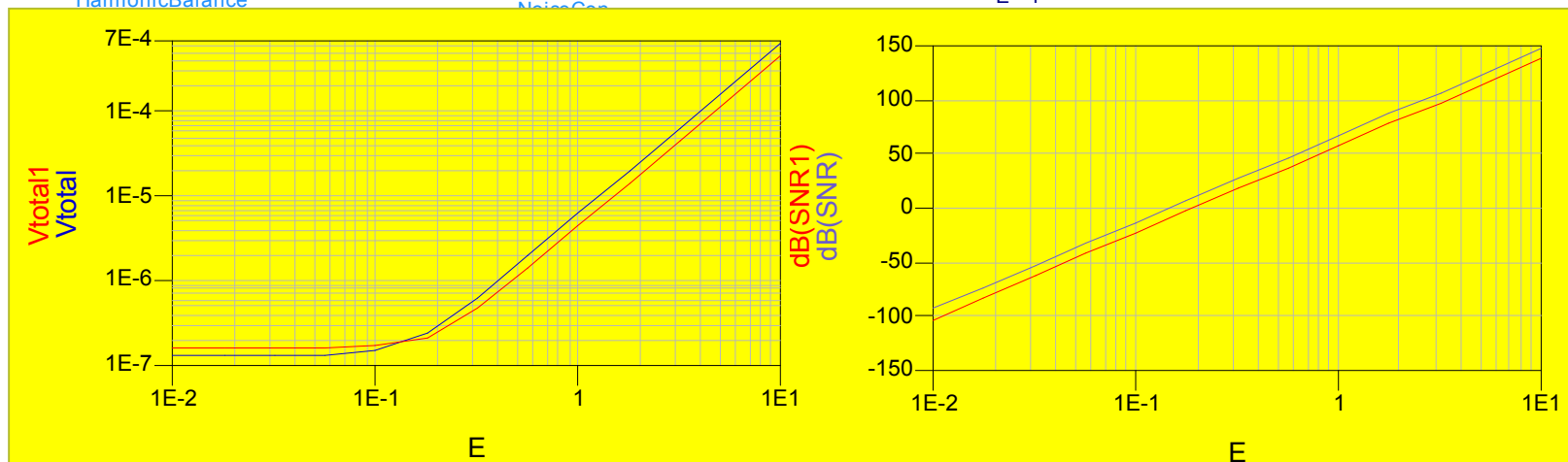
HarmonicBalance



HB NOISE CONTROLLER

NoiseCalc

Var Egn
VAR
VAR1
E =1

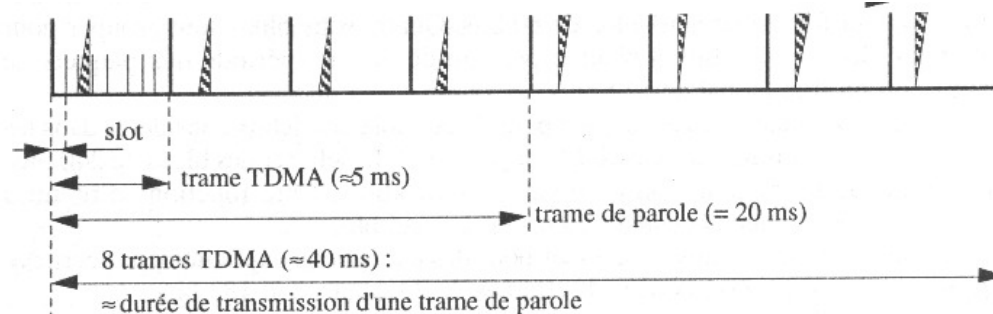




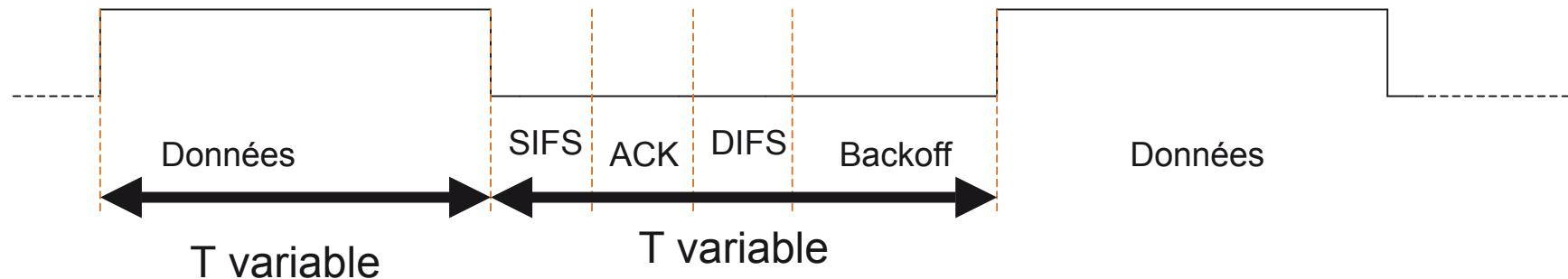
Nouveaux concepts & usages

➤ Modélisation affinée : Sensibilité, Bruit, Temps

■ Signal GSM : signal régulier



■ Signal WIFI : signal non régulier





Nouveaux concepts & usages

➤ **Modélisation affinée** : Sensibilité, Bruit, Temps

■ **Analyse des spécifications des équipements**

- Temps de réponse & incertitude



**CENELEC
IEC62209**



“If the measured signal is a pulsed signal, e.g. a TDMA frame, the integration and averaging time of the SAR measurement equipment (based on RMS-detection) shall be able to yield results reproducible to within 5%.”

- Adaptation du temps d'intégration / reproductibilité de la mesure à +/- 5%
- Détermination d'une incertitude / temps d'intégration pour signal pulsé

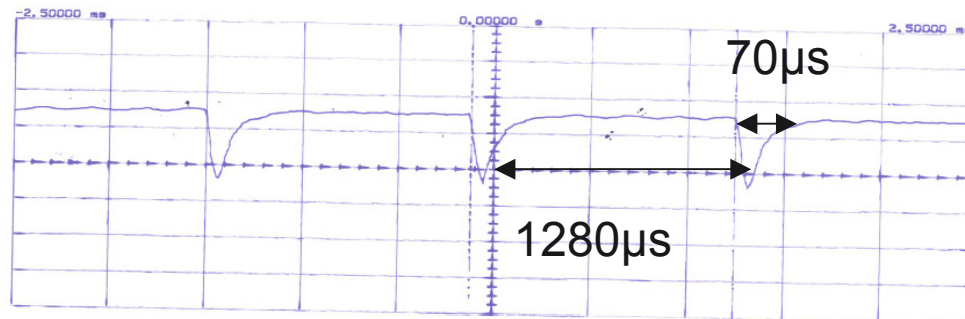


Caractérisation du temps de réponse des sondes



Nouveaux concepts & usages

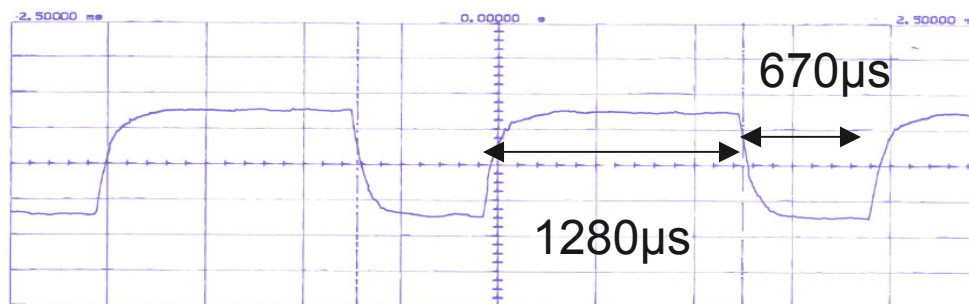
➤ Modélisation affinée : Sensibilité, Bruit, Temps



Main Timebase 500 us/div Delay/Pos 0.00000 s Reference Center Mode Realtime (NORMAL) Markers *stop = 1.24000 ns *start = -120.000 us delta t = 1.36000 ns 1/delta t = 735.294 Hz

Channel 1 Sensitivity 10.0 mV/div Offset 19.800 mV Probe 1.000 x1 Coupling do BW lim (1M ohm)

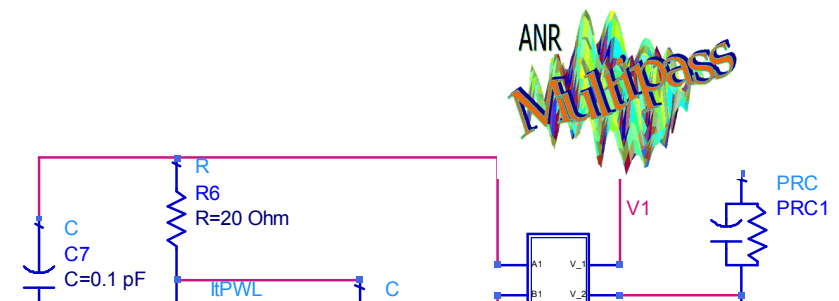
Trigger mode : Edge On Positive Edge Of Chan1 Trigger Level Chan1 = 18.550 mV (noise reject OFF) Holdoff = 40.000 ns



Main Timebase 500 us/div Delay/Pos 0.00000 s Reference Center Mode Realtime (NORMAL) Markers *stop = 1.24000 ns *start = -120.000 us delta t = 1.36000 ns 1/delta t = 735.294 Hz

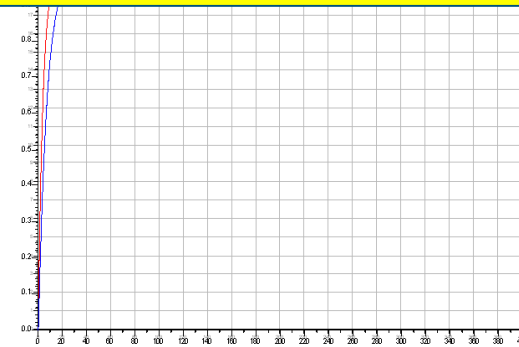
Channel 1 Sensitivity 10.0 mV/div Offset 19.800 mV Probe 1.000 x1 Coupling do BW lim (1M ohm)

Trigger mode : Edge On Positive Edge Of Chan1 Trigger Level Chan1 = 18.550 mV (noise reject OFF) Holdoff = 40.000 ns



Cas 1 : Utilisateur proche de la station (11Mbps/s)

- Durée de la trame : $1650 \mu s \pm 300 \mu s$
- Durée d'émission : $1280 \mu s$
- Taux d'occupation : entre 65% et 95%

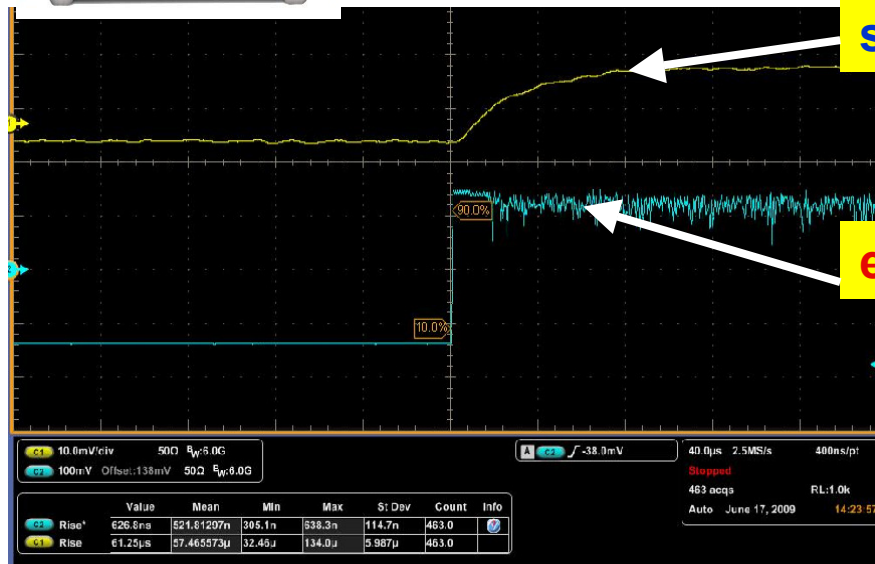
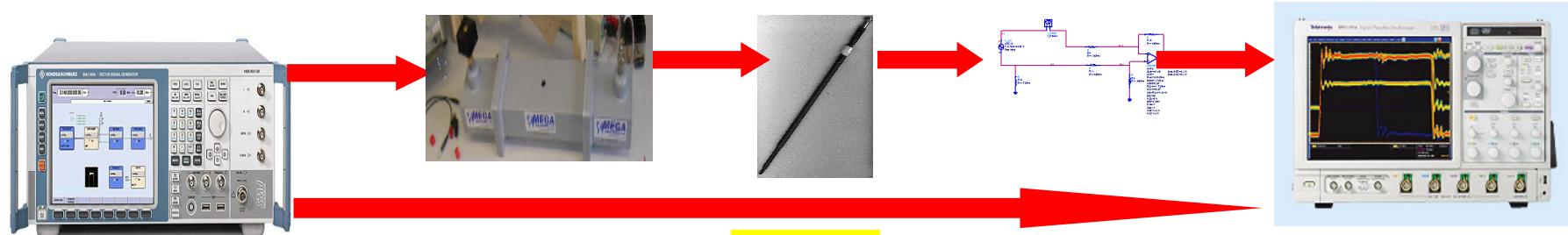
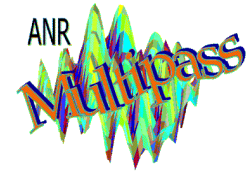


de DAS, principe, outils et contraintes

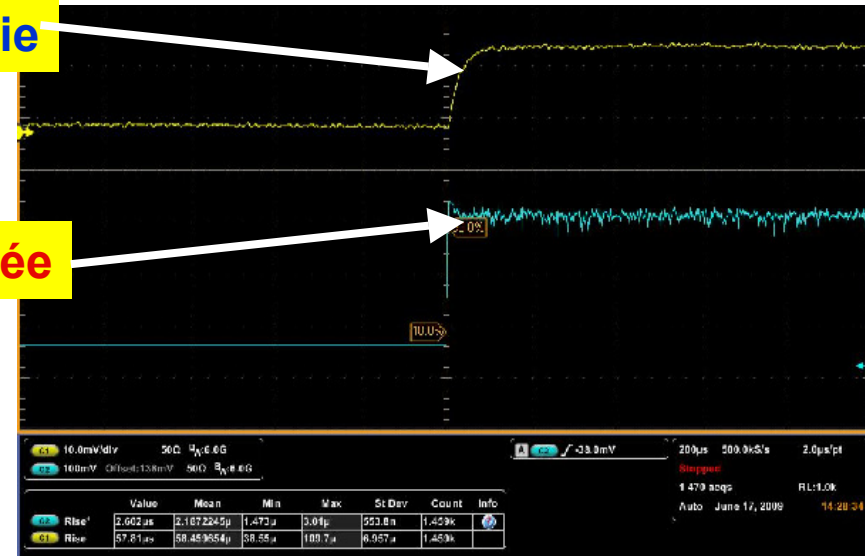


Nouveaux concepts & usages

➤ Caractérisation affinée : Temps



Câble de 0.5m



Câble de 2m

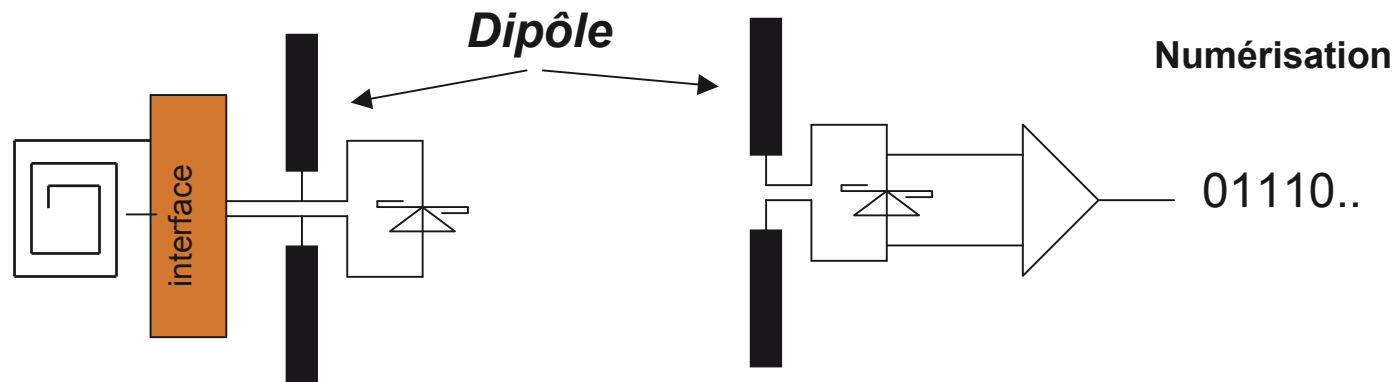


Nouveaux concepts & usages

➤ La sonde environnementée

**Merodas
& Multipass**

- Sonde – Mesure synchronisée/Mesure sélective
- Mesures déportées



- Mesures Mixte E/H
- Mesures spatiales et prédiction par reconstruction