



Méthodes haute-résolution : Instrumentation et ingénierie

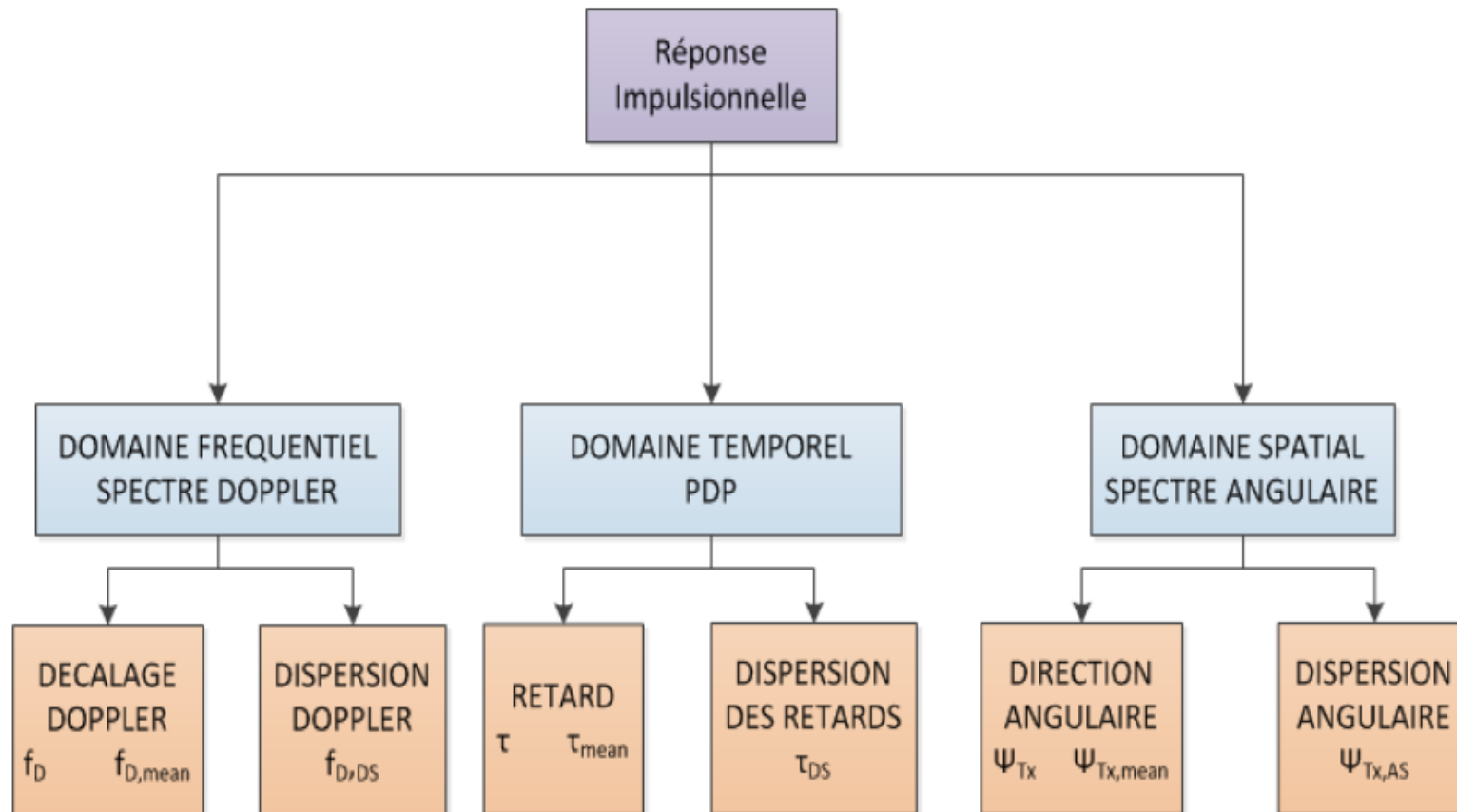
JC Cousin

Télécom ParisTech



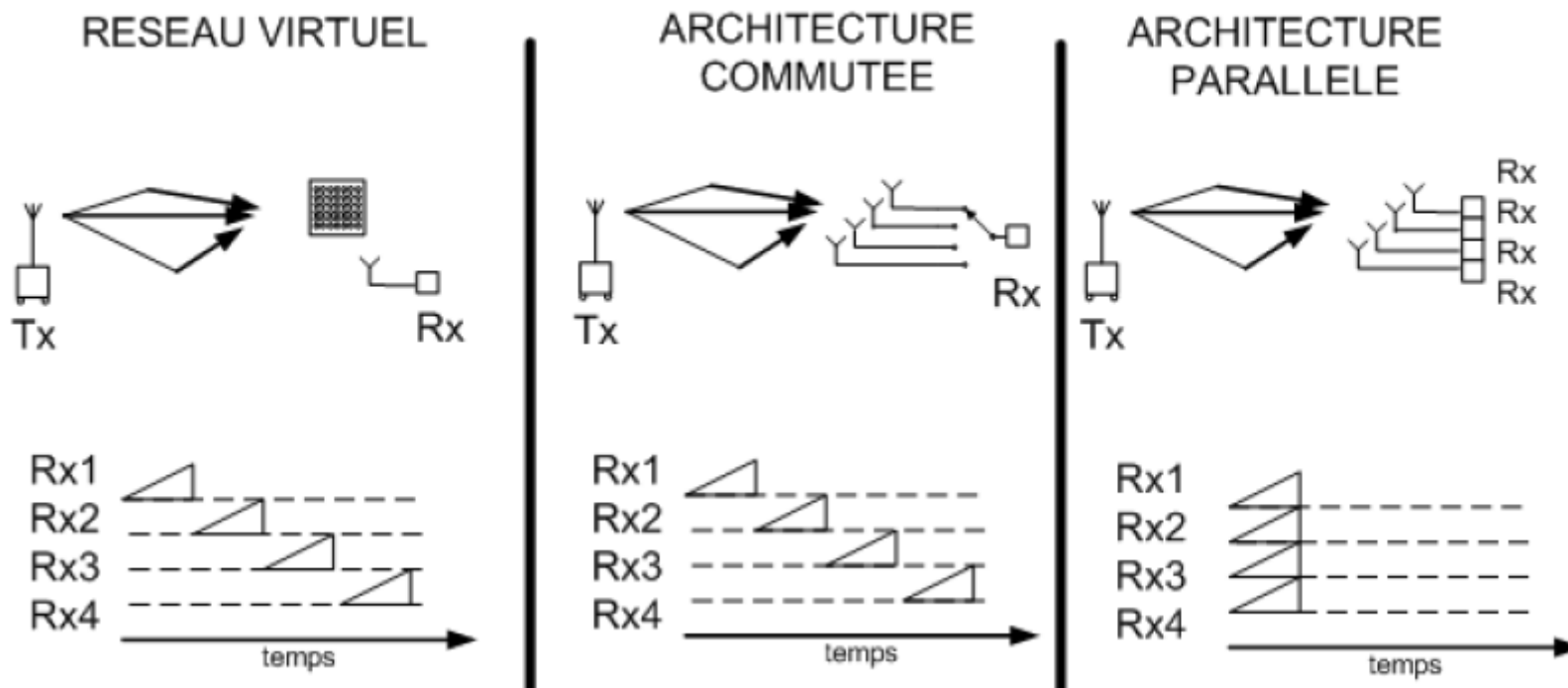
Méthodes haute-résolution : Instrumentation et ingénierie

■ Paramètres de mesure



Méthodes haute-résolution : Instrumentation et ingénierie

■ Méthodes et technologies: sondeurs de canaux



Méthodes haute-résolution : Instrumentation et ingénierie

■ Méthodes et technologies: types de signaux

- **Impulsionnel** : acquisition rapide, récepteur large bande, canaux variables
- **Etalement spectral PN** : acquisition rapide, récepteur large bande, canaux variables
- **Fréquentiel step**: acquisition par bande étroite, sensibilité, convertisseurs A/D
- **Fréquentiel CHIRP** : acquisition par bande étroite, sensibilité, convertisseurs A/D

PN et CHIRP: Bon compromis temps réel/équipement

Méthodes haute-résolution : Instrumentation et ingénierie

■ Méthodes et technologies: Algorithmes

- **Décomposition en sous espaces:**

- ESPRIT: temps de calcul
- MUSIC : plus robuste aux erreurs de modélisation

! : taille maximale de la matrice d'autocorrélation, connaissance du nb de trajets, large bande, canaux variables

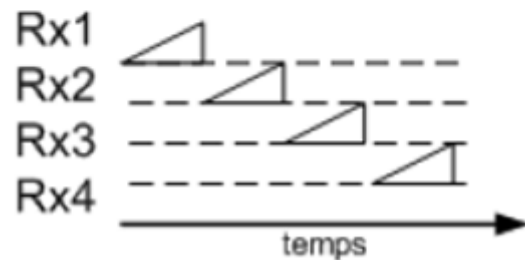
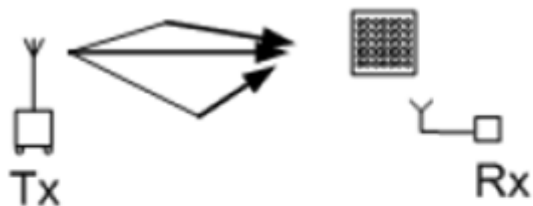
- **Itératif:** contrôle du temps de calcul suivant le calculateur et les performances

- SAGE: optimisation unidimensionnelle successive mais initialisation correcte
- CLEAN: simple mais trajets fantômes à gérer



Les sondeurs de canaux radio

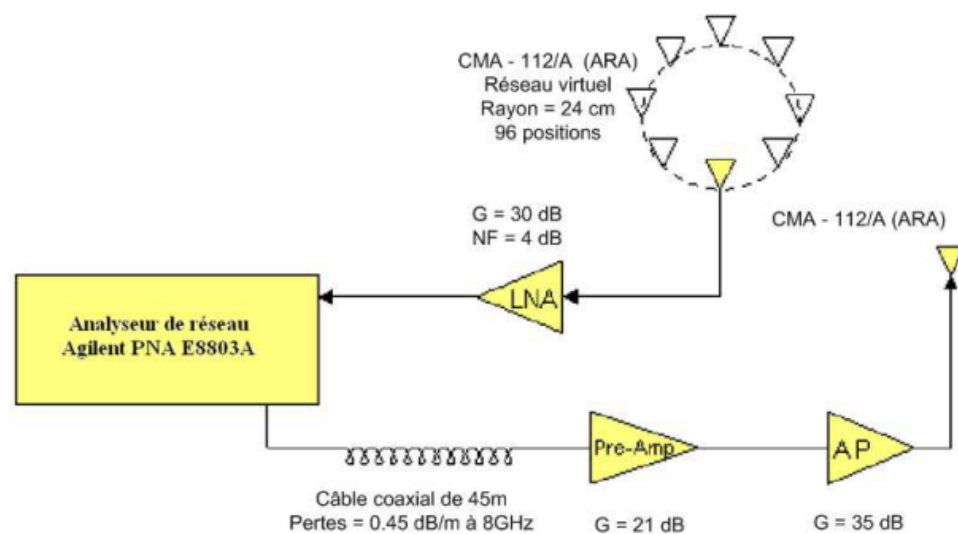
■ Réseaux virtuels



- Échantillonnage spatial
1 seule antenne que l'on déplace
associée à 1 récepteur
- + : pas de problème de couplage
réduction du calibrage
- : Temps de mesure (pas de doppler)
- ⇒UWB : distance entre les positions
inférieures à la taille de l'antenne

Les sondeurs de canaux radio

■ Réseaux virtuels



Sondeur canal UWB (NIST)

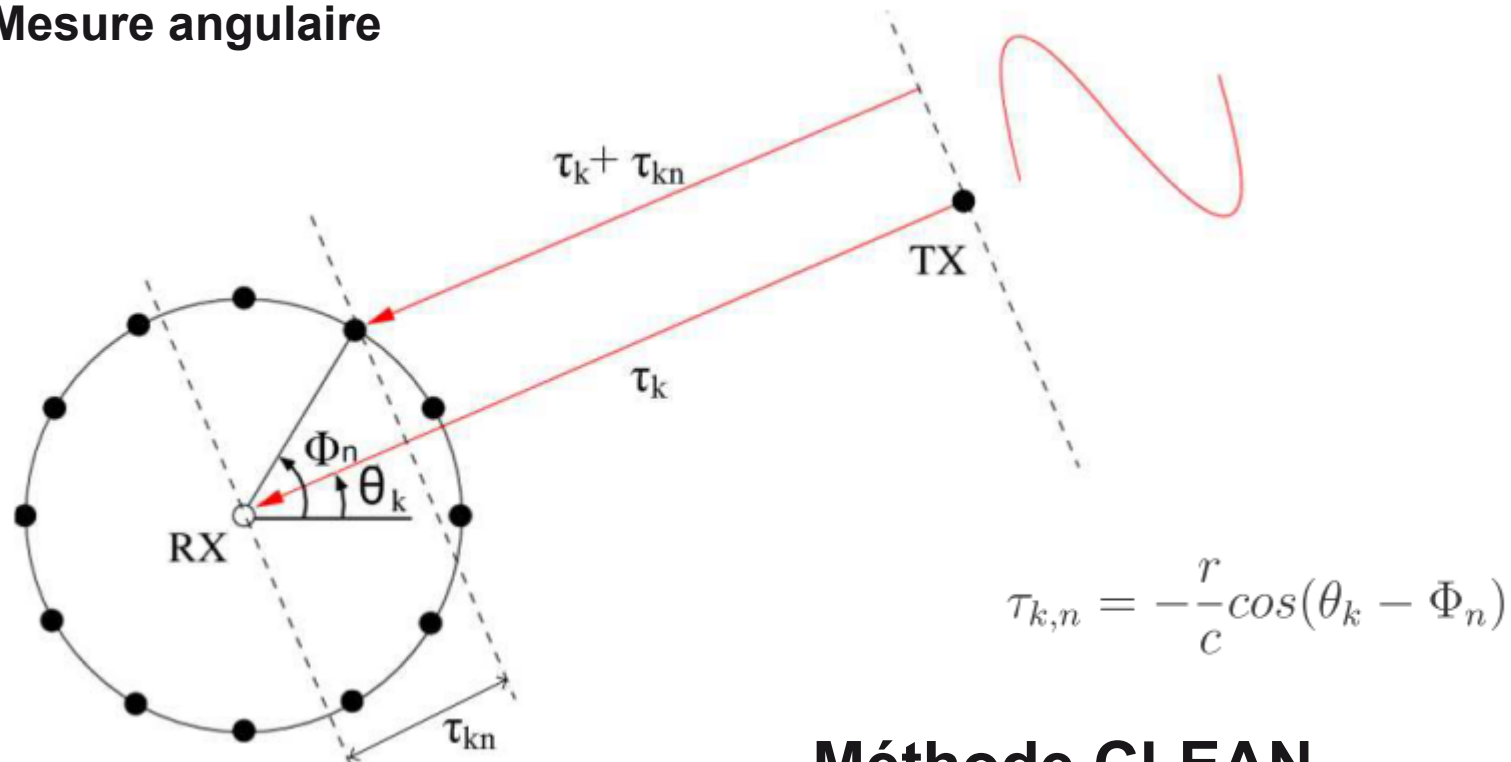
* Contributions au sondage de canal à l'intérieur des bâtiments : Direction de Départ, Fréquence Doppler, Polarisation et Modélisation du canal UWB, Sofia Martinez Lopez, Soutenue le 26 septembre 2008, Telecom Paristech



Les sondeurs de canaux radio

■ Réseaux virtuels : Sondeur canal UWB (NIST)

Mesure angulaire



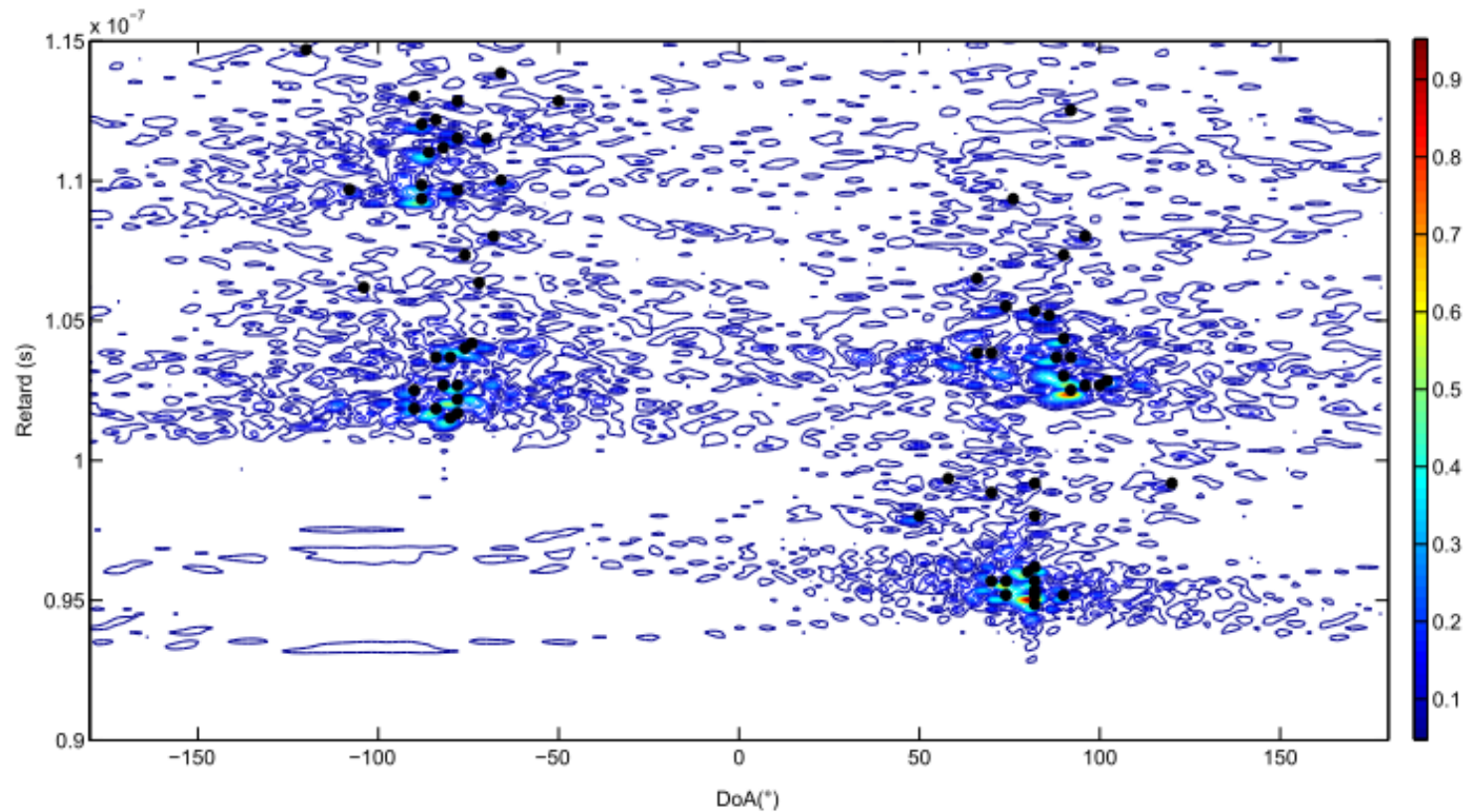
Méthode CLEAN



Les sondeurs de canaux radio

■ Réseaux virtuels : Sondeur canal UWB (NIST)

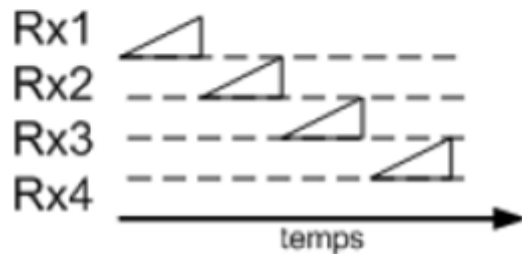
Exemple de mesure conjointe angle et retard (scénario NLOS)





Les sondeurs de canaux radio

■ Architecture commutée (rapide)



- commutation entre différentes antennes d'un réseau (1 seul récepteur)

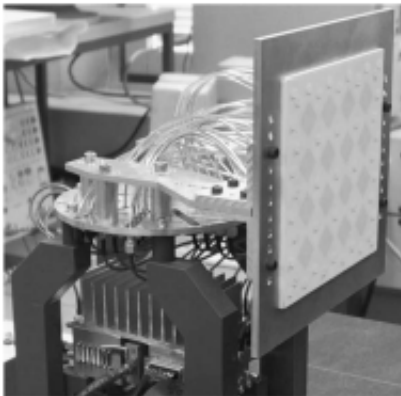
+ : simplification du calibrage
cout

- : commutateurs / puissance (MIMO)
synchronisation compliquée
temps total doit être petit pour mesurer les variations du canal (pb: MIMO)

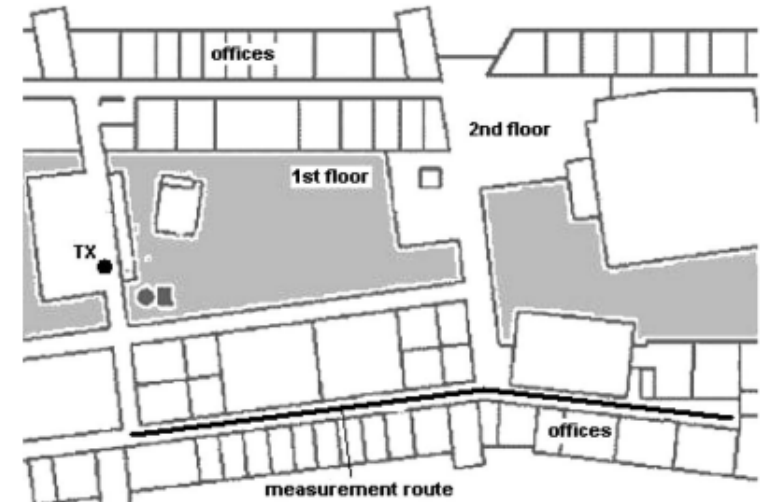


Les sondeurs de canaux radio

■ Architecture commutée (rapide)



	sph RX	sph TX	plan TX
Azimuth direction error	1.69° rms	1.34° rms	0.86°
Elevation direction error	2.38° rms	2.40° rms	1.94°

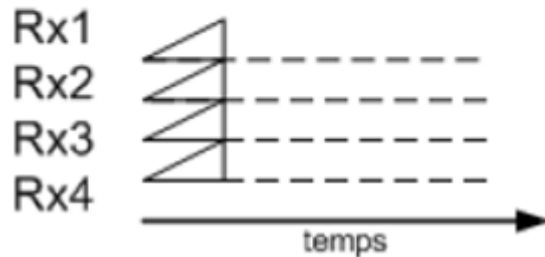


* 5.3-GHz MIMO Radio Channel Sounder , Kolmonen and al, IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT, VOL. 55, NO. 4, AUGUST 2006 1263



Les sondeurs de canaux radio

■ Architecture parallèle



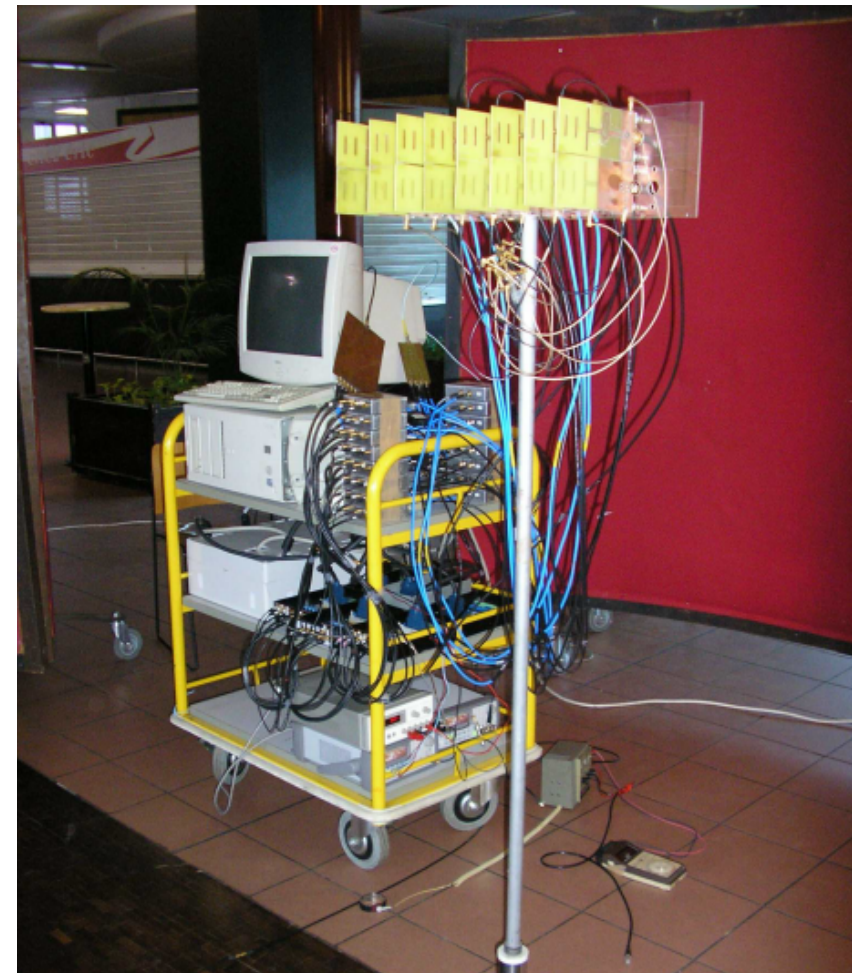
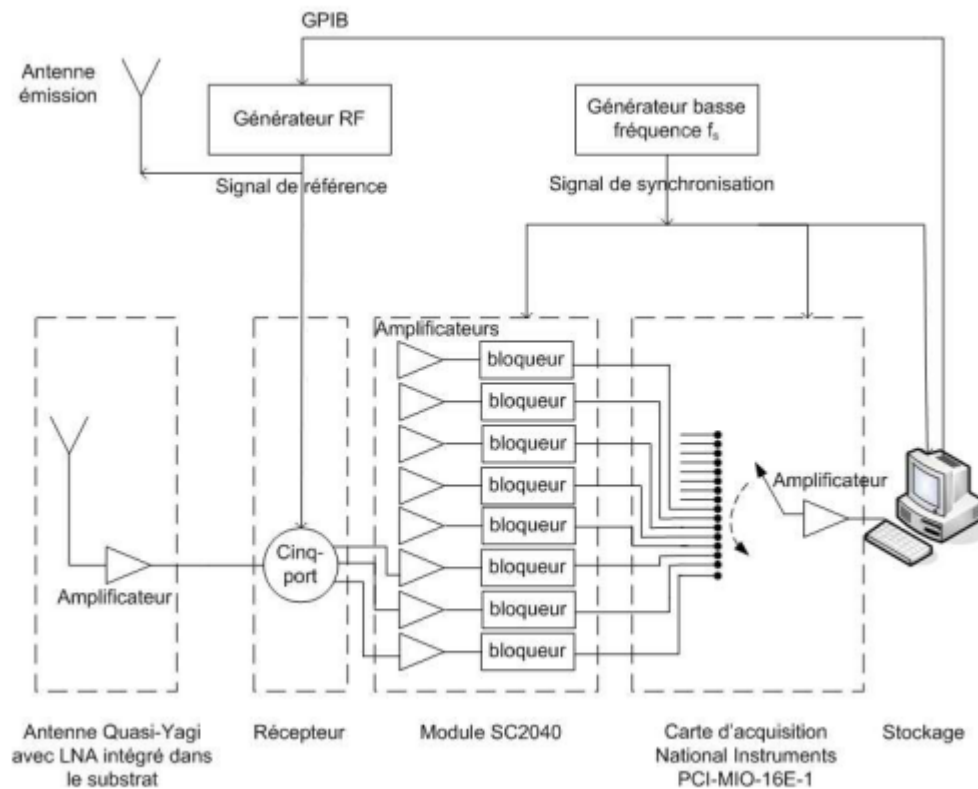
- N antennes / N récepteurs

- + : acquisition simultanée de chaque canal
temps de mesure : échantillonnage
doppler

- : cout en rapport avec le nb de canaux
calibration et couplage
limitation taille/espace des antennes

Sondeur 2.2-2.7 GHz de Telecom ParisTech

■ Architecture parallèle



Sondeur 2.2-2.7 GHz de Telecom ParisTech

■ Méthode de mesure

Signal CHIRP couvrant 500 MHz

Calibrage des chaines de réception

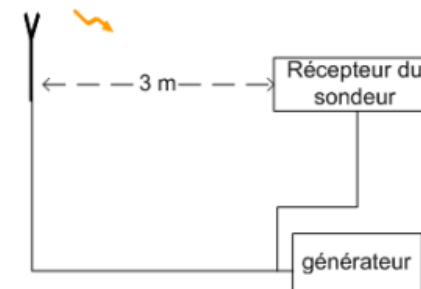
Mesure de référence

Mesure d'un scénario maîtrisé

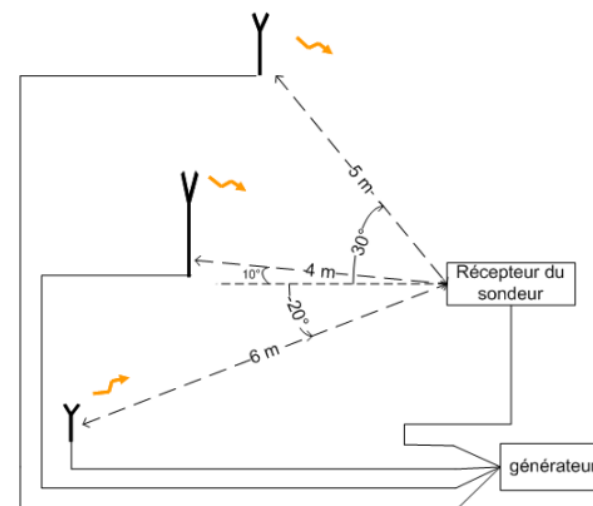
■ Valeurs mesurées

Retards, DOA, DOD, Doppler

Polarisation



Mesure de référence

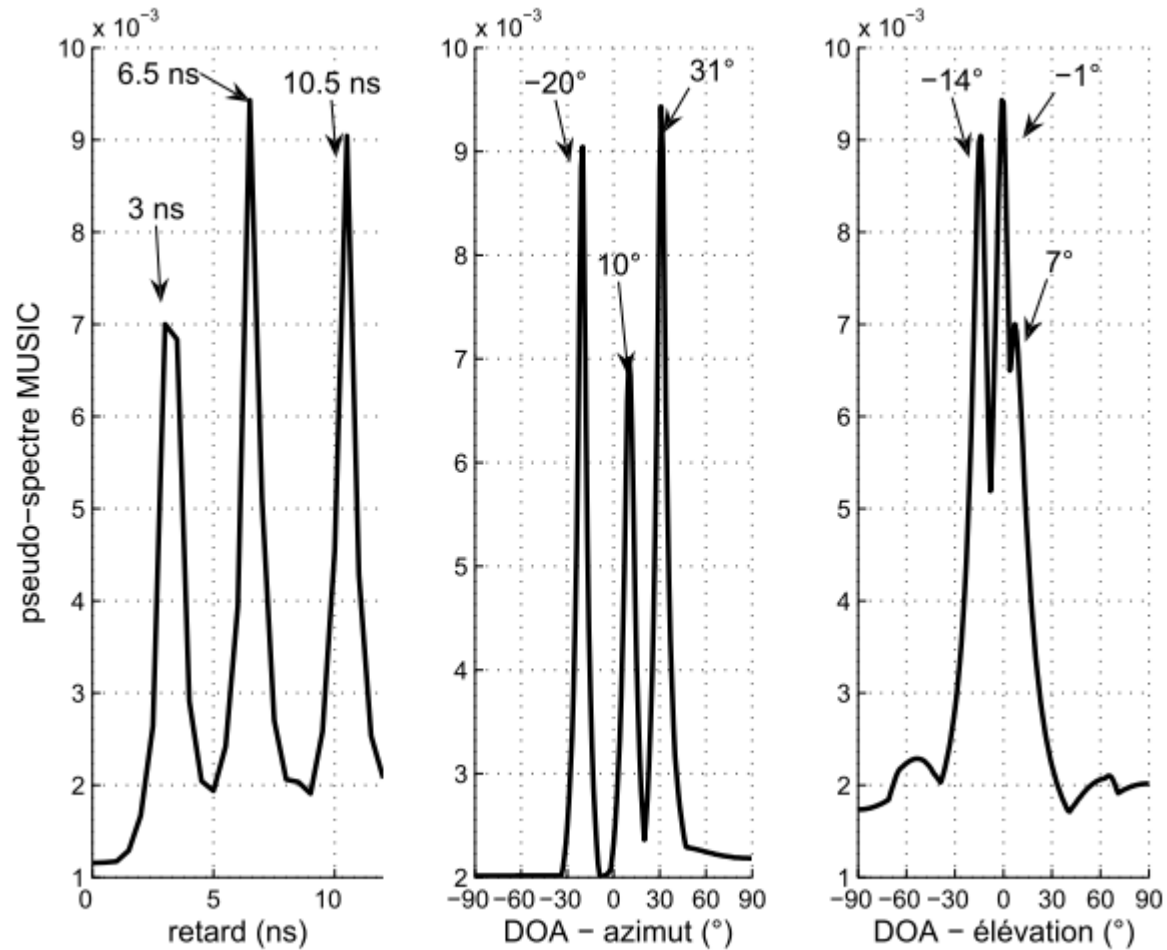


Mesure avec trois sources



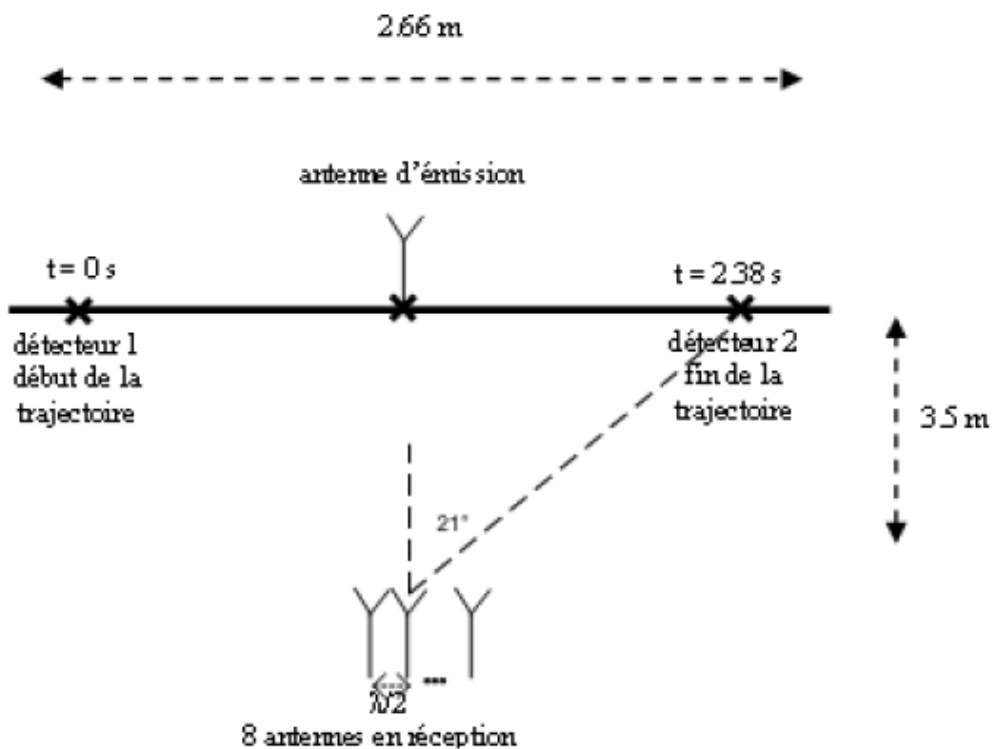
Sondeur 2.2-2.7 GHz de Telecom ParisTech

■ Cas du scénario maîtrisé

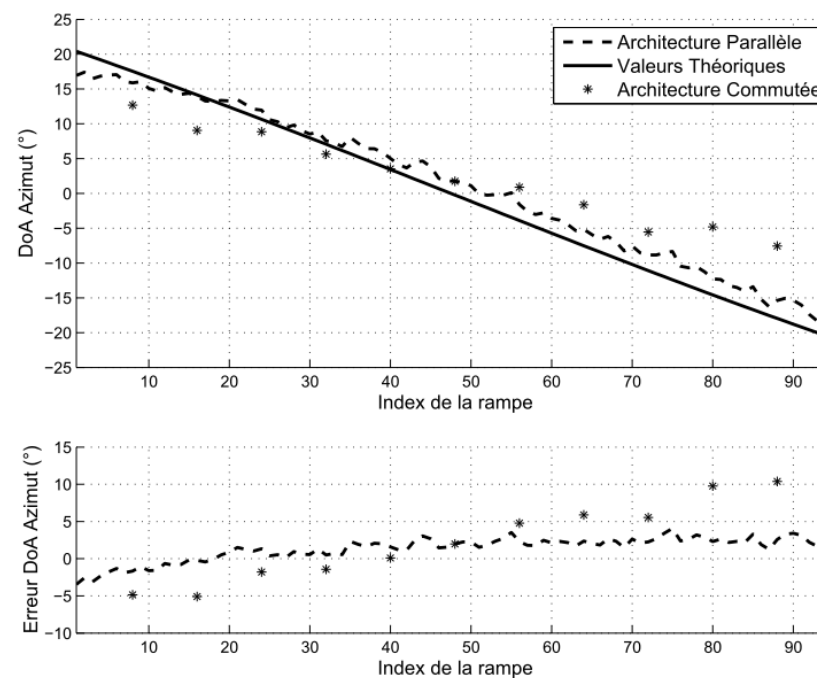


Sondeur 2.2-2.7 GHz de Telecom ParisTech

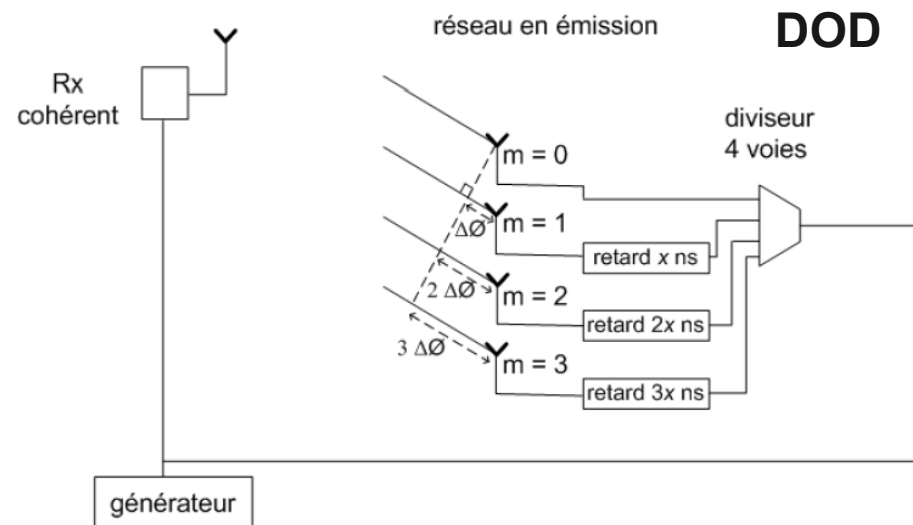
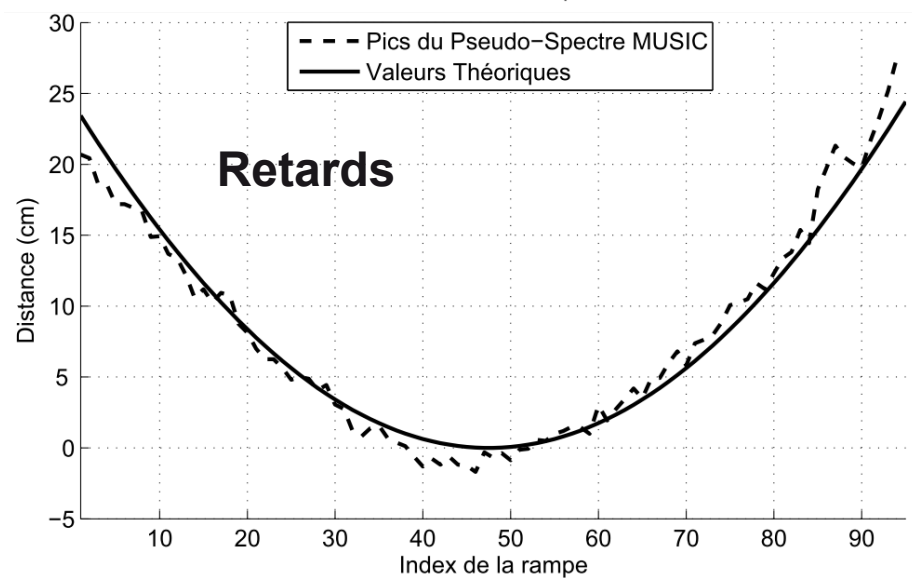
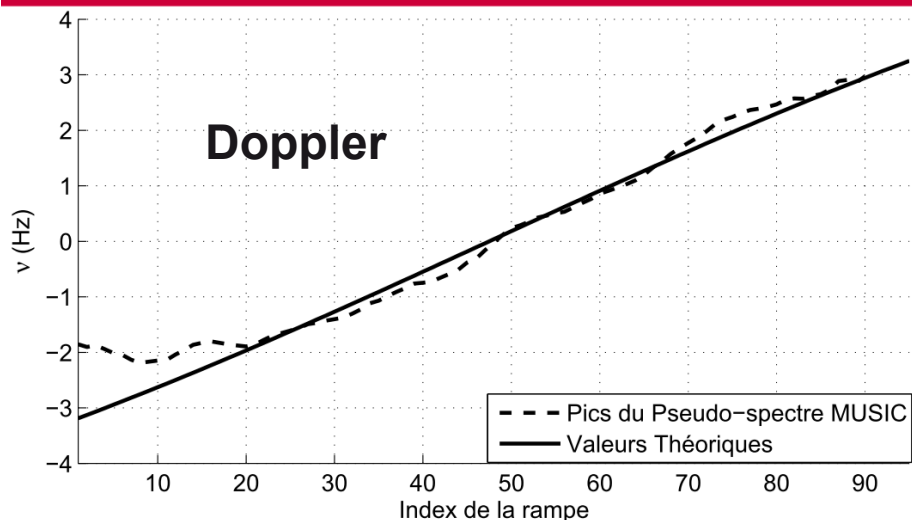
Mesure en dynamique



DOA



Sondeur 2.2-2.7 GHz de Telecom ParisTech

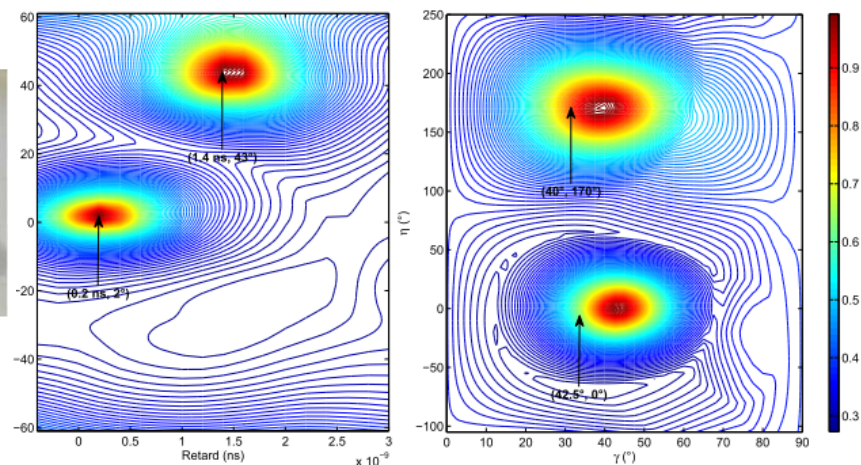
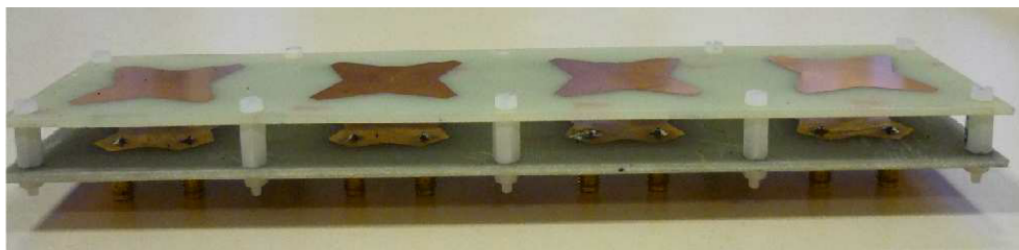


Valeur théorique	Estimation MUSIC DoD (°)
-60	-56
-50	-48
-40	-40
-30	-29
-20	-20
-10	-10

Valeur théorique	Estimation MUSIC DoD (°)
0	0
10	10
20	20
30	31
40	41
50	51
60	64

Sondeur 2.2-2.7 GHz de Telecom ParisTech

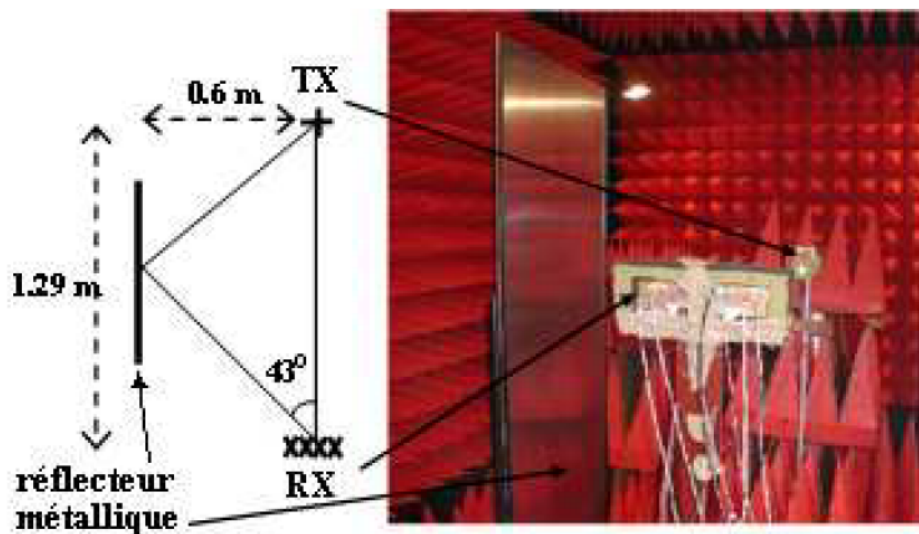
Polarisation



Pseudo-spectre MUSIC - Estimation conjointe du retard, de la DoA et de la polarisation

Valeurs théoriques et erreurs maximales

	retard (ns) $\frac{D-1.29}{3 \cdot 10^8}$	DoA(°)	γ (°)	η (°)
Valeurs théoriques, trajet direct	0	0	45	0
Valeurs théoriques, trajet réfléchi	1.6	43	45	180
Erreur maximale	0.2	2	5	10

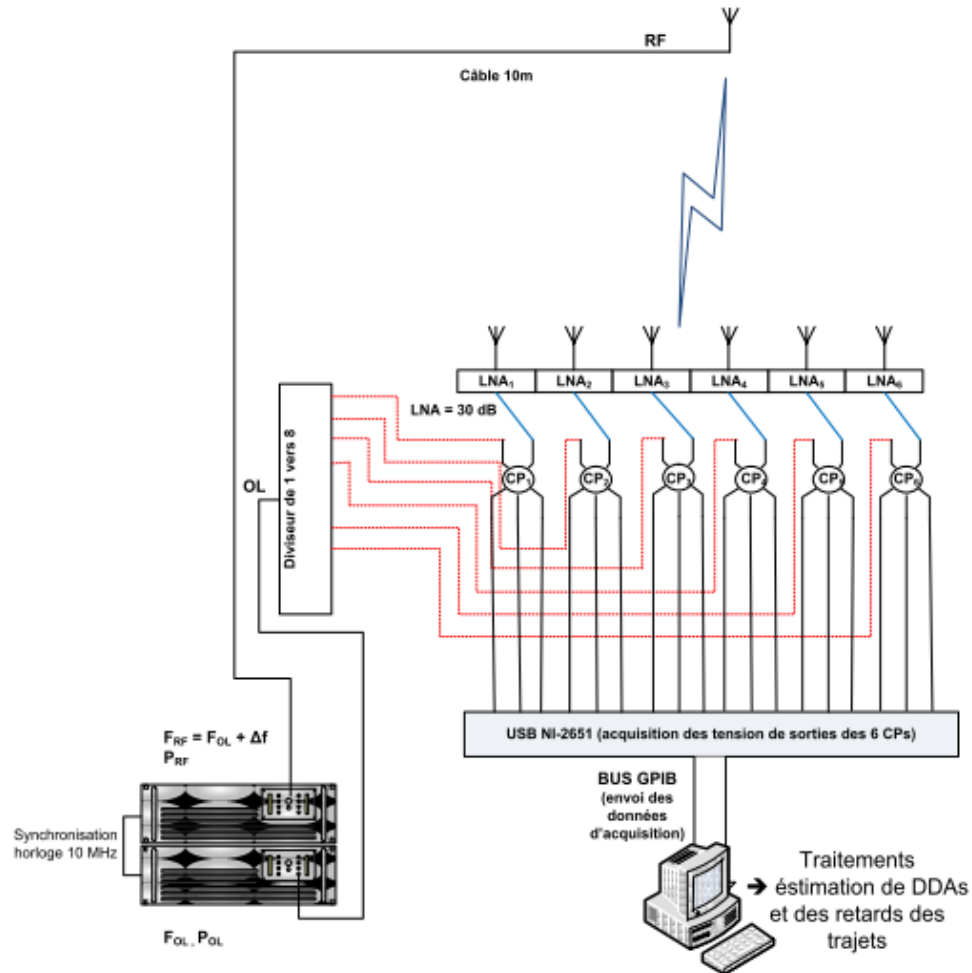


Expérience dans la chambre anéchoïque

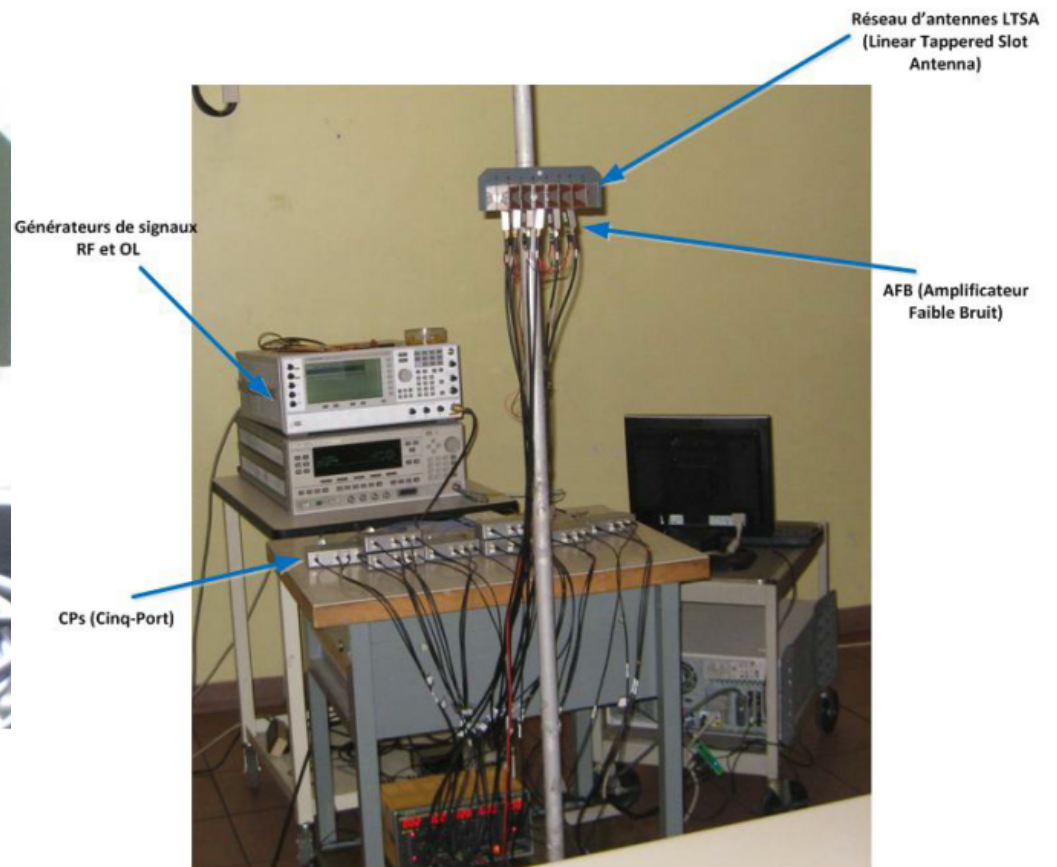
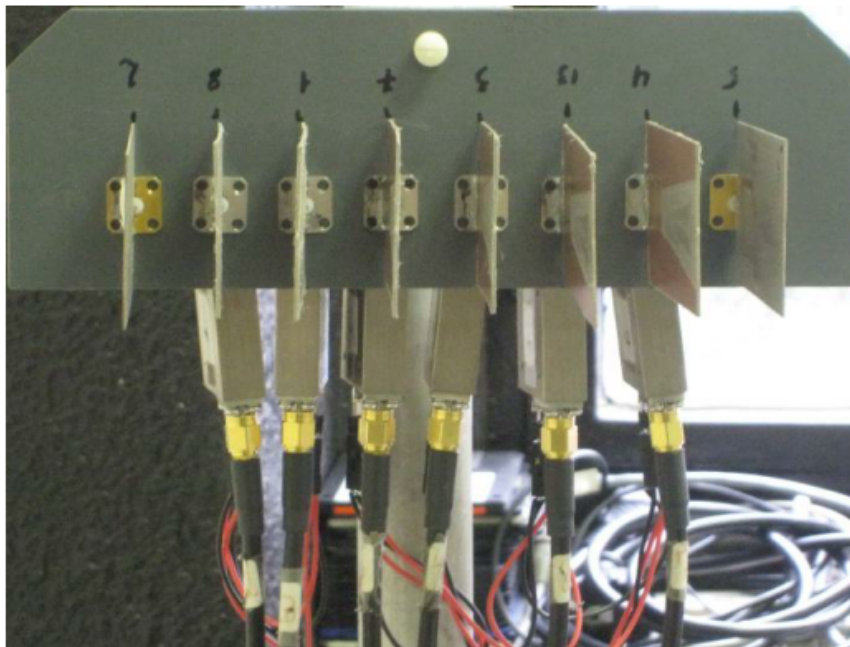


Sondeur UWB de Telecom ParisTech

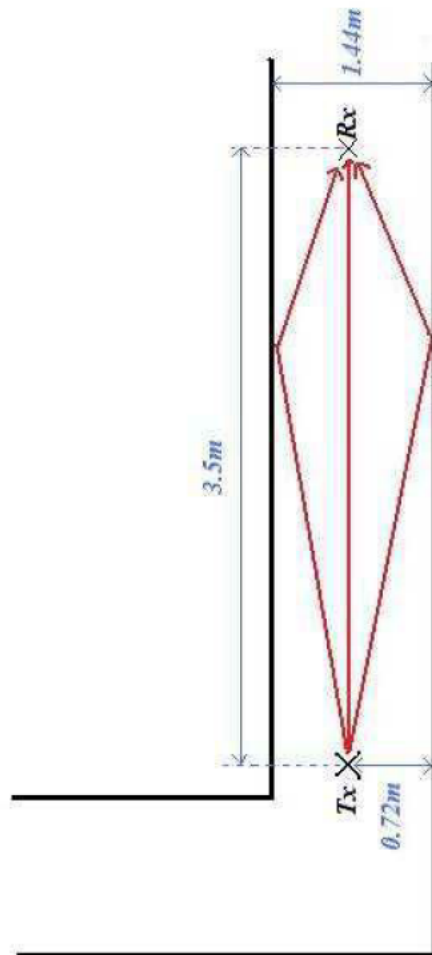
Sondeur UWB 6-8.5 GHz



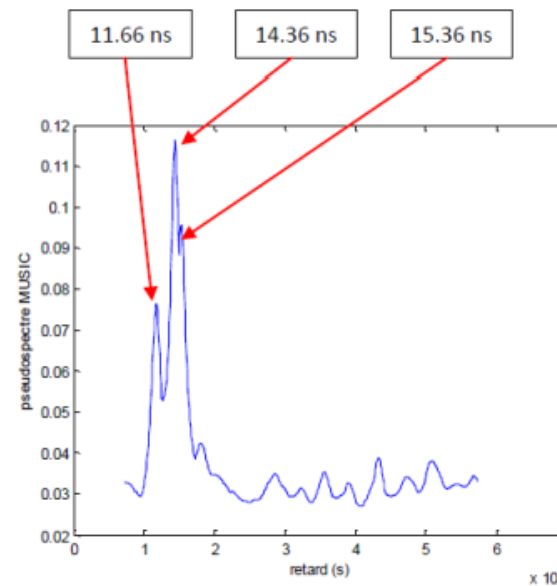
Sondeur UWB de Telecom ParisTech



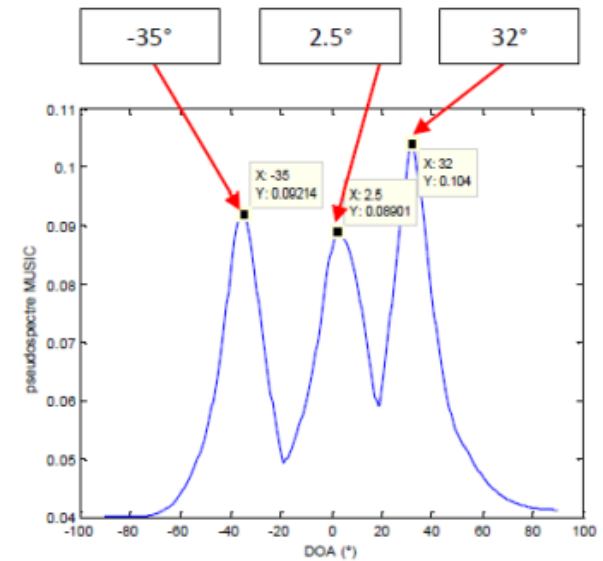
Sondeur UWB de Telecom ParisTech



Scénario de validation



Estimation des retards par MUSIC

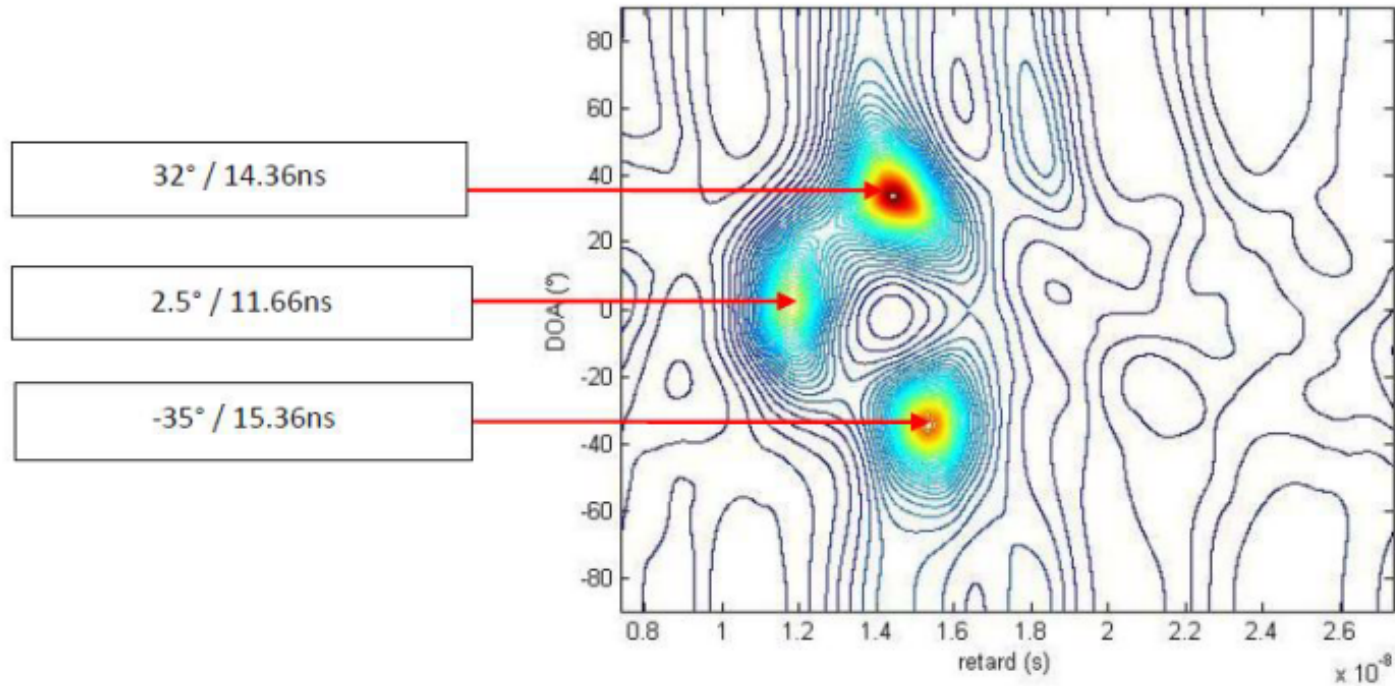


Estimation des DOAs par MUSIC



Sondeur UWB de Telecom ParisTech

Estimation conjointe







Exemples de sondeurs

<i>REFERENCE</i>	<i>ANNEE</i>	<i>BANDE D'ANALYSE</i>	<i>SIGNAL</i>	<i>RESEAU D'ANTENNES</i>	<i>ALGORITHME</i>
TELECOM ParisTech [52, 64]	2008	2.2-2.7 GHz $\Delta f = 2MHz$	CW et Chirp	SIMO/MIMO, architecture parallèle	MUSIC
NIST	2008	2.0-8.0 GHz $\Delta f = 1.25MHz$	CW - VNA	SIMO, réseau virtuel	CLEAN
Tokyo Instit. of Tech. [49]	2006	3.1-10.6 GHz $\Delta f = 9.375MHz$	CW - VNA	MIMO, réseaux virtuels	SAGE
MANITOBA [50]	2006	5.10-5.85 GHz $\Delta f = 1.875MHz$	CW - VNA	SIMO, rotation d'une antenne directive	CLEAN
Helsinki University of Technology [37]	2006	5.2-5.4 GHz	séquence PN	MIMO, réseaux commutés	formation de faisceau
ENSTA [51]	2005	2-10 GHz $\Delta f = 5MHz$	CW - VNA	SIMO, réseau virtuel planaire	CLEAN
VIRGINIA TECH [33]	2005	bande de 2 GHz	impulsions gaussiennes - oscilloscope	SIMO, réseau virtuel	CLEAN
SALOUS[53]	2005	1.87-1.93 GHz et 2.97-2.13 GHz	chirp	MIMO, architecture parallèle en réception, réseau d'antennes directives	fréquence de battement



Exemples de sondeurs

<i>REFERENCE</i>	<i>ANNEE</i>	<i>BANDE D'ANALYSE</i>	<i>SIGNAL</i>	<i>RESEAU D'ANTENNES</i>	<i>ALGORITHME</i>
INSA [36]	2004	2-4 GHz	séquence PN	MIMO, réseaux commutés	ESPRIT
FRANCE TELECOM [38]	2003	Multibande 2...60GHz bande de 250MHz	séquence arbitraire optimisée	commutateur d'antenne ou de fréquence	inversion de Wiener
INTEL LABS [34]	2003	2.0-8.0 GHz $\Delta f = 3.75MHz$	impulsion - oscilloscope et CW-VNA	SIMO, réseau virtuel	CLEAN
PROPSOUND Aalborg [39] [40] [41][31] [42]	2003	différentes bandes, selon la publication	séquences PA	SIMO et MIMO, réseaux commutés	SAGE
RUSK Medav Ilemenau [43][44] [45] [46] [47] [48]	2000-2008	5.14-5.26 GHz	séquences PN	SIMO, réseau commuté	différents selon la publication
Brigham Young University [54]	2000	6.75-7.25 GHz	chirp	SIMO, rotation d'une antenne directive	CLEAN
University of Southern California AT&T [35]	1999	pas indiqué - impulsion chaque 500 ns	impulsion	SIMO, réseau virtuel	CLEAN





Exemples de sondeurs

Exemples de sondeurs UWB

Références	Environnement	Technique de mesure	Signal émis & Bande de fréquence	Technique de mesure spatiale	Algorithme
Spencer (2000)	Bureaux	Fréquentielle avec VNA	Chirp [6.75 – 7.25] GHz	Rotation de l'antenne de réception en azimut par pas de 1°	CLEAN
Cassoli et al. (2002)	Bureau et laboratoire	Temporelle avec oscilloscope digital.	Impulsion de largeur 2ns Bande non précisée (NP)	Grille de 7*7 positions espacées de 15 cm	Distribution de probabilité
Prettie et al. (2002)	Maison résidentielle	Fréquentielle avec VNA	STEP CW [2 – 8] GHz	Réseau virtuel suivant 20 positions sur une ligne	Corrélation
Cramer (2002)	Bureau et laboratoire	Temporelle avec oscilloscope digital.	Impulsion de largeur 2ns Bande NP	Grille de 7*7 positions espacées de 15 cm	CLEAN
Alvarez (2003)	Bureau et Couloirs	Fréquentielle avec VNA	STEP CW [1 – 9] GHz	Grille de 3*3 positions espacées de 3 cm	Corrélation
Chamchoy (2004)	Maison moderne	Fréquentielle avec VNA	STEP CW [3 – 11] GHz	déplacement de l'antenne Rx entre 1 et 10 m de Tx avec un intervalle de 0.5 m	Transformée de Fourier associée à une fenêtre de type Hamming
Fort (2006)	Bureau	Fréquentielle avec VNA	STEP CW [3 – 6] GHz	Grille de 7*7 espacées de 5 cm	NC (Non Communiqué)

Exemples de sondeurs

Exemples de sondeurs UWB

Alavi (2006)	Bureau, Laboratoire, résidence	Fréquentielle avec VNA	STEP CW [3 – 8] GHz	NC	NC
Keignart (2006)	Laboratoire et industriel	Temporel avec DSO	Impulsion de largeur 1.11 ns Bande NP	Réseau linéaire de 4 antennes espacées de 85 mm	Corrélation
Pajusco et Pagani (2006), (2007)	Laboratoire	Fréquentielle avec VNA	STEP CW [3.1 – 10.6] GHz	Grille circulaire de 1*90 positions séparées de 2.8 cm	FDML (Frequency Domain Maximum Likelihood)
Alsindi (2007)	Magnetic Resonance Imaging ou MRI	Temporel avec DSO	Impulsion de largeur 0.8 ns	Grille circulaire 1*8 espacées de 15 cm	FFT et estimation dans le domaine fréquentielle
 NIST (2008)	Bâtiment	Fréquentielle avec VNA	STEP CW [2 – 8] GHz	Réseau virtuel avec 96 positions suivant un cercle de rayon 24 cm	CLEAN
NOORI (2009)	Laboratoire	Temporel avec DSO	Impulsion de largeur 15 ps	Grille avec 9 positions de 50 cm * 50 cm	Distribution de probabilité → modélisation empirique
 El Arja (2010)	Bâtiment	Fréquentielle avec systèmes cinq-ports	STEP CW et CHIRP [6 – 8.5] GHz	Réseau linéaire de 6 antennes espacées de 20 cm	MUSIC avec Lissage

Les sondeurs de canaux radio

■ Architecture parallèle

* Sondeur de canal de propagation multi-capteurs appliqué à la mesure de canal de propagation pour l'Ultra Large Bande (6GHz – 8.5 GHz) à l'intérieur des bâtiments, Hajar El Arja, Telecom ParisTech, Septembre 2010

