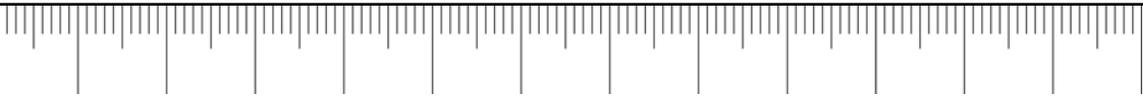


INCERTITUDE MESURE DU CHAMP ELECTROMAGNETIQUE A PROXIMITE DES STATIONS DE BASES



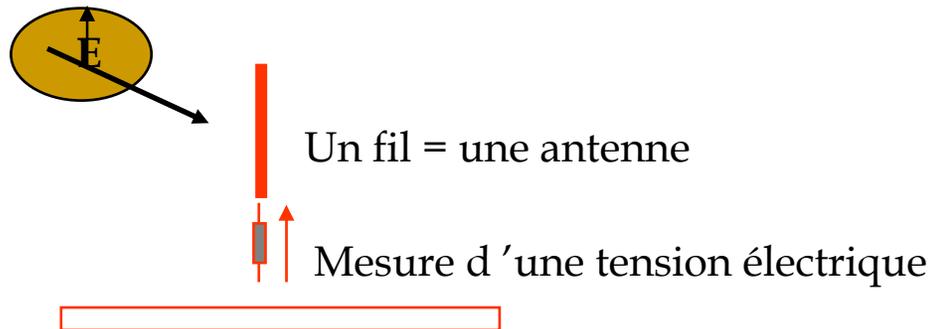
Métrologie des champs

L'INERIS étudie la métrologie des champs électromagnétiques pour :

- caractériser des sites industriels pouvant présenter des risques.
- évaluer la conformité vis-à-vis de la réglementation et de la recommandation Européenne 1999/519/CE.
- proposer des mesures de renforcement de protection des personnes sur sites industriels.

Particularité des champs électromagnétiques

- Le champ électromagnétique **ne peut être comparé à un champ de référence**, comme c'est le cas de la masse.
- Le facteur d'antenne **ne peut être déterminé intrinsèquement**, il est calculé ou mesuré par comparaison avec une autre antenne dont on connaît le facteur théorique.



$$E = k \cdot V$$

- Le débit d'absorption spécifique n'est pas une grandeur physique mais correspond à l'énergie moyenne absorbée par unité de masse, ce qui implique qu'il faut **déterminer les caractéristiques électromagnétiques des tissus.**

Nature de la grandeur physique

Le champ électromagnétique est **une grandeur vectorielle**.
L'amplitude du champ résultant est la somme quadratique des composantes du champ :

$$|\mathbf{E}| = \sqrt{|\mathbf{E}_x|^2 + |\mathbf{E}_y|^2 + |\mathbf{E}_z|^2}$$

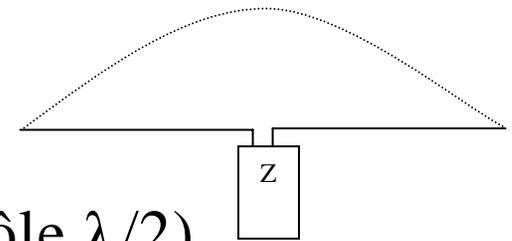
Puissance électrique aux bornes d'une antenne dipôle $\lambda/2$

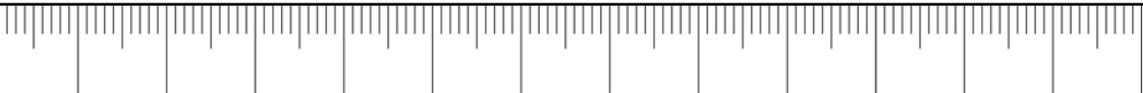
$$P_r = \frac{E^2}{120 \cdot \pi} \cdot \frac{\lambda^2}{4 \cdot \pi} \cdot G \quad \text{en W}$$

λ : longueur d'onde

E : champ électrique

G : gain du dipôle (1,64 pour un dipôle $\lambda/2$)

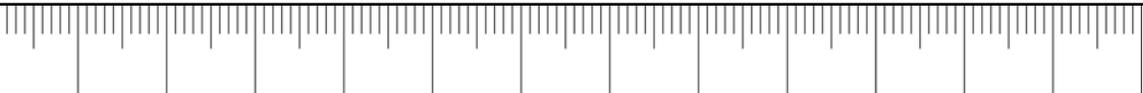




Métrologie des champs

Sources d'erreurs externes, liées à l'environnement

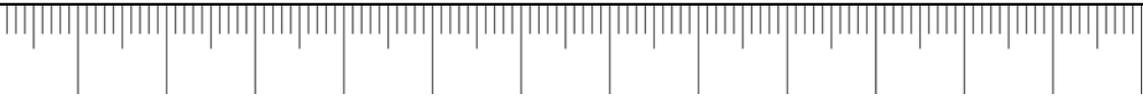
- Le sol et les objets avoisinants renforcent ou réduisent l'intensité du champ.
- L'influence de l'environnement électromagnétique au niveau de l'émetteur doit être caractérisé.
- L'influence de la hauteur de l'antenne par rapport au sol sur le facteur d'antenne.
- La modulation et le débit des communications.



Métrologie des champs

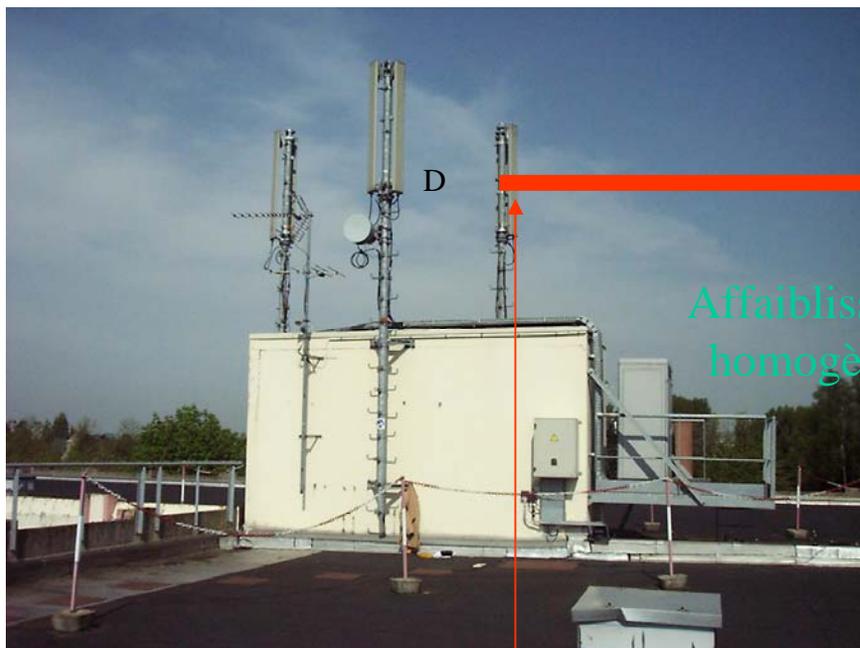
Incertitudes des instruments :

- La nature de la chaîne de mesure.
 - ✗ analyseur de spectre
 - ✗ mesureur de champ
- Sensibilité à l'autre composante du champ (E-H).
- Les conditions dans la détermination du facteur d'antenne et de l'isotropie de la sonde.
- L'environnement climatique pour les mesures sur sites.



Incertitude due à l'environnement

Influence de la distance entre la sonde et l'antenne



Affaiblissement non homogène en $1/d^2$

Champ lointain
affaiblissement en $1/d$

$$D = 1,5 \text{ m} \quad \lambda = 0,33 \text{ m}$$

zone Réactive

$$\lambda/2\pi (0,05 \text{ m})$$

zone Fresnel

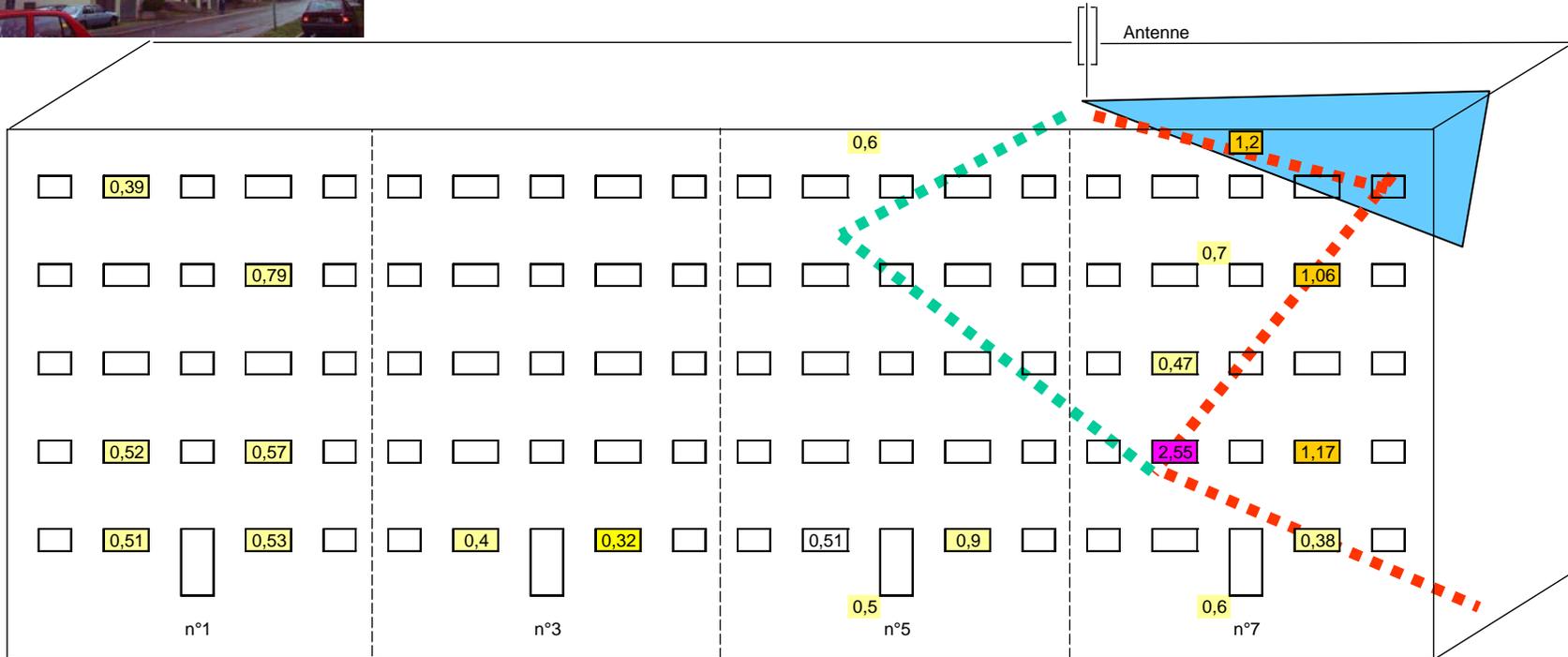
$$2D^2/2\lambda (13,6 \text{ m})$$

zone homogène

En dehors de la zone de champ réactif, la mesure du champ E ou H est suffisante, soit:

- une distance de 30 cm (à 935 MHz)
- une distance 15 cm (à 1800 MHz)

Le sol et les objets avoisinants renforcent ou réduisent l'intensité du champ



champ électrique maximum mesuré dans l'appartement

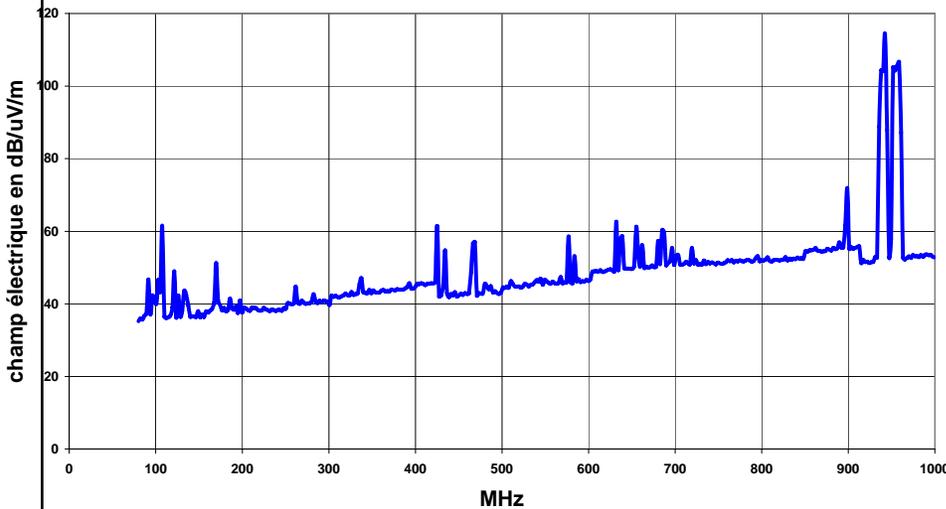
0 1 1,5 2 2,5 V/m



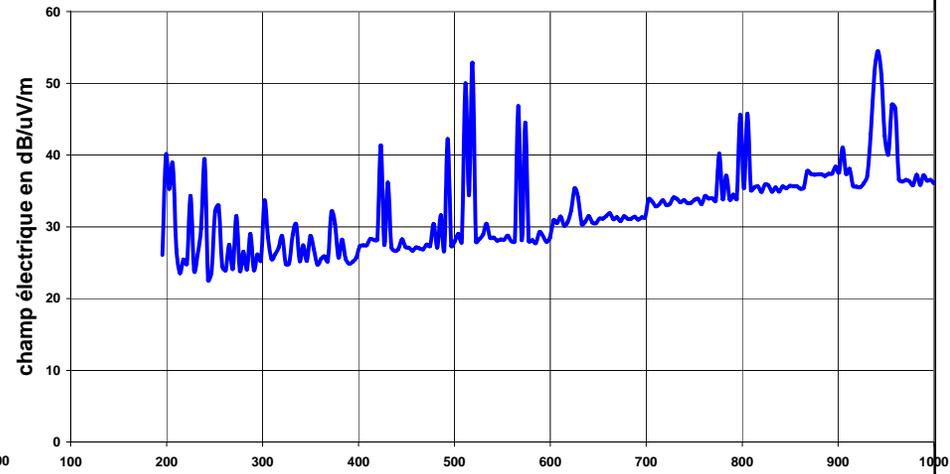
Variabilité [0,32 - 2,55] soit 18 dB

Mesurer l'ensemble des émissions radiofréquences

Champ électrique mesuré



Champ électrique mesuré



$$E = \sqrt{0,6^2 + 0,9^2} = 1,09 \text{ V / m}$$

nature de la mesure	champ E mV/m
sonde PMM (100kHz-3 GHz)	400
analyseur de spectre valeur à 944,8 MHz	500
analyseur de spectre contribution de toutes les raies hors GSM	200
analyseur de spectre (80-1000 MHz) pondération agglomération <100 000 h	1130
analyseur de spectre (80-1000 MHz) pondération agglomération <400 000 h	1300

nature de la mesure	champ E mV/m
sonde PMM (100kHz-3 GHz)	non mesurable
analyseur de spectre valeur à 944,8 MHz (GSM)	0,6
analyseur de spectre contribution de toutes les raies hors GSM	0,9
analyseur de spectre (80-1500 MHz) pondération agglomération <100 000 h	1,2
analyseur de spectre (80-1500 MHz) pondération agglomération <400 000 h	1,3

Influence de la hauteur de l'antenne par rapport au sol

Distance par rapport au sol ou l'antenne est considérée isolée ($Z=73$ ohms)

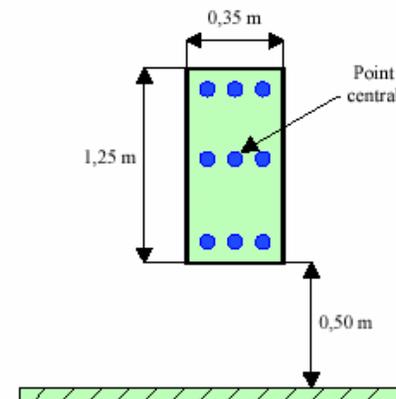
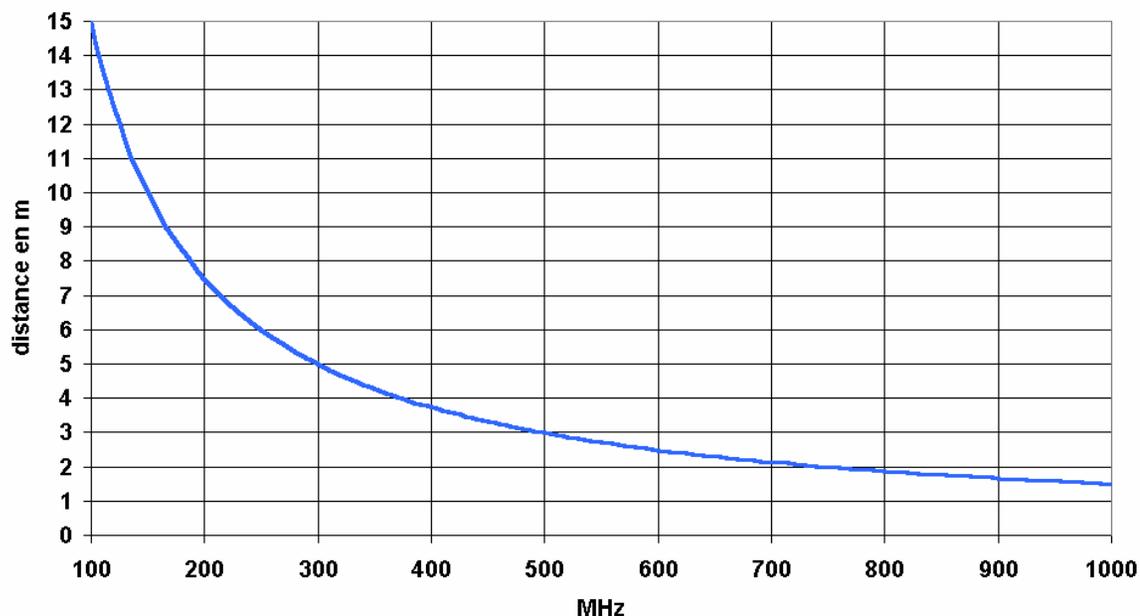


Figure 3 : Description du gabarit

Cas d'un doublet $\lambda/2$

Le calcul de la moyenne spatiale du niveau de champ s'effectue sur neuf points répartis sur une grille d'environ 0,35m x 1,25m à une distance de 0,5m au-dessus du sol

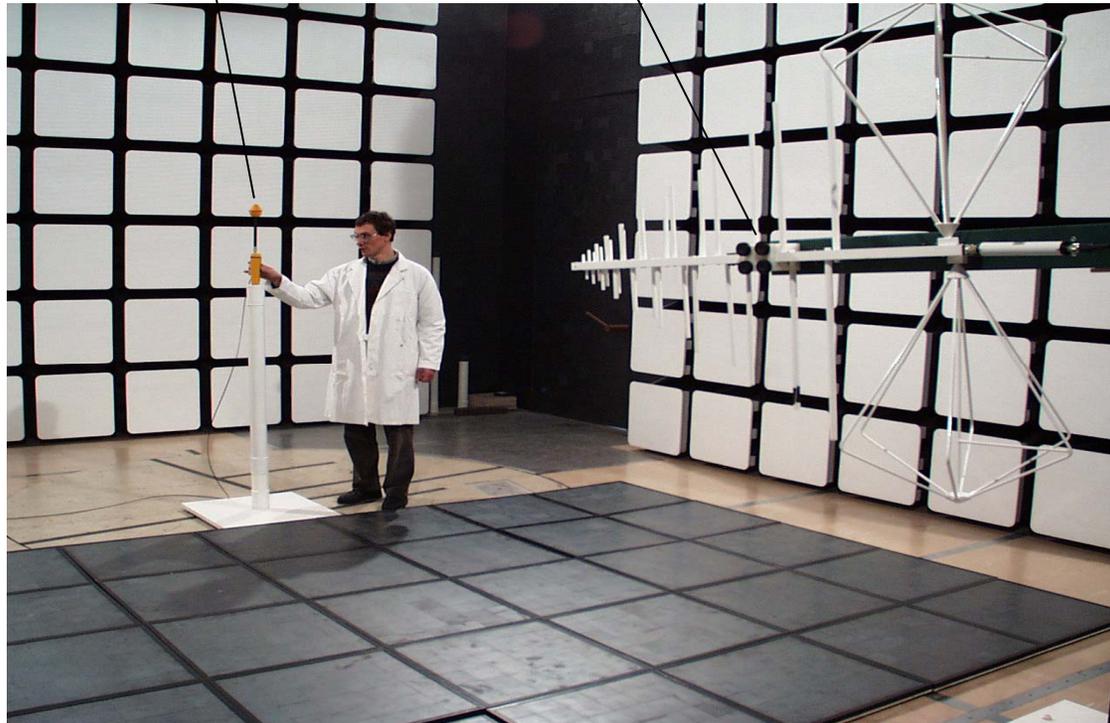


Incertitude due aux matériels de mesures

Influence du type d'antenne de réception et sa proximité par rapport à l'antenne d'émission

Mesureur de champ
(sonde ponctuelle)

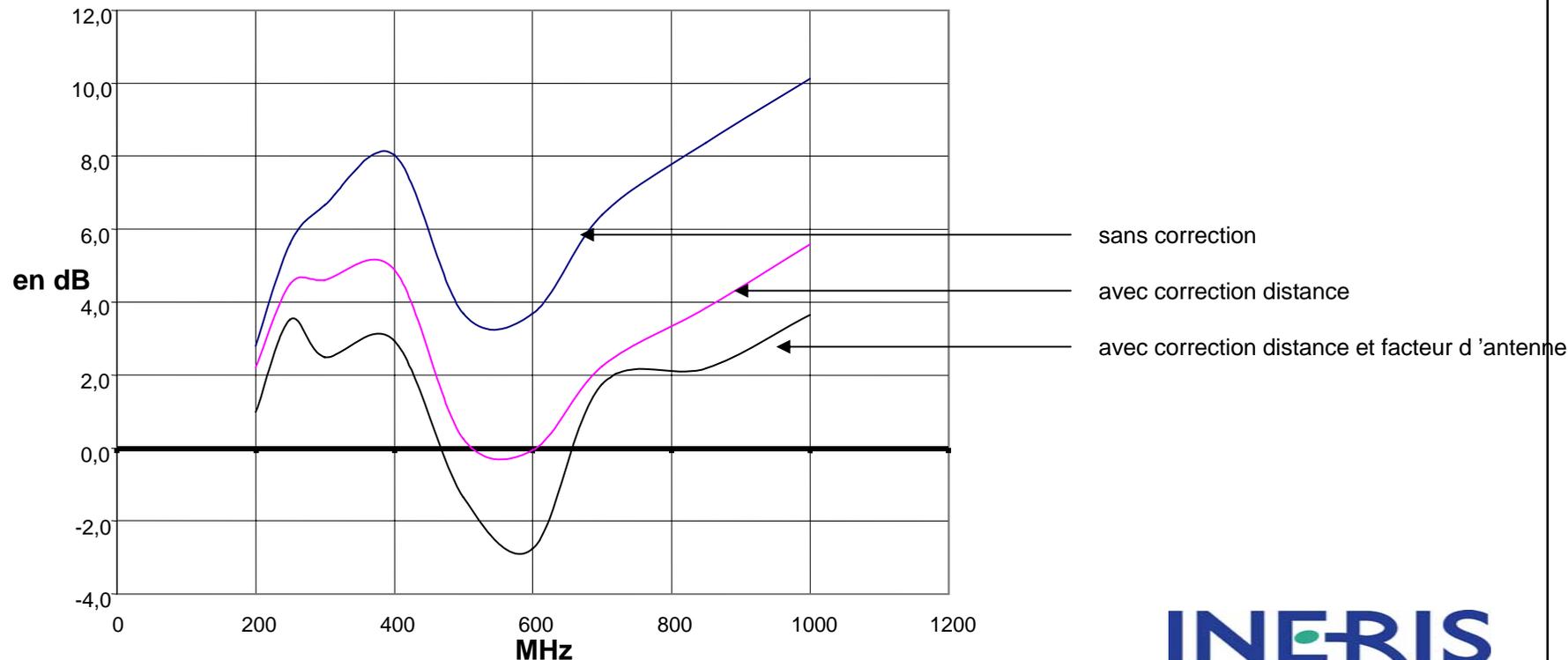
Antenne
périodique log-



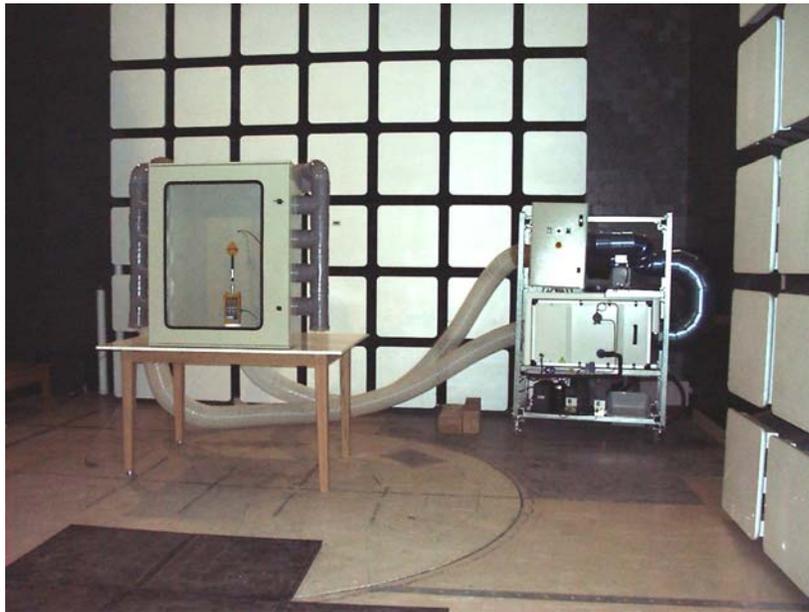
Comparaison mesureur de champ analyseur de spectre- antenne

Ecart (mesureur - analyseur) :

- sans correction
- en corrigeant l'influence de la distance,
- en corrigeant l'influence de la distance et du facteur d'antenne

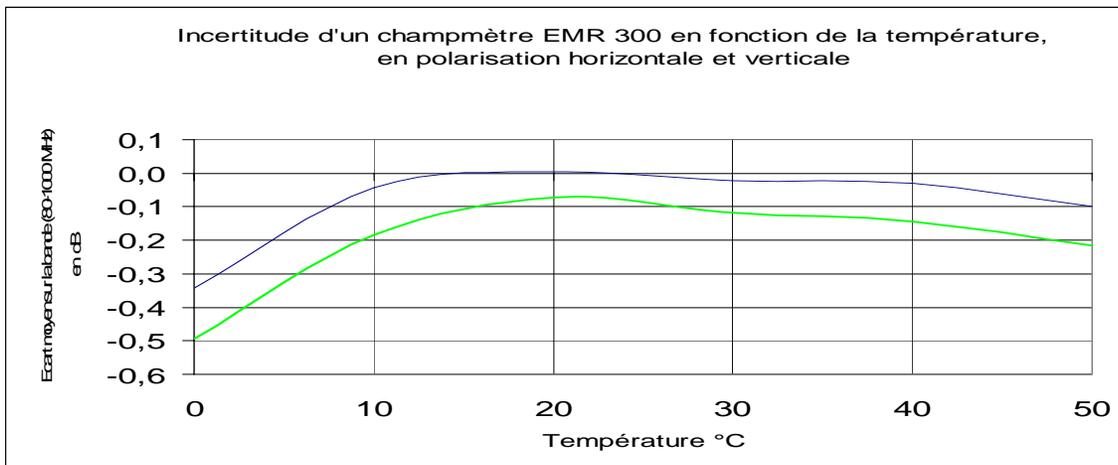


L'influence de l'environnement climatique



Mesurer l'incertitude d'un champmètre en faisant varier :

- la température (0-50 °C)
- la fréquence (80-1000 MHz)
- l'amplitude du champ et la polarisation

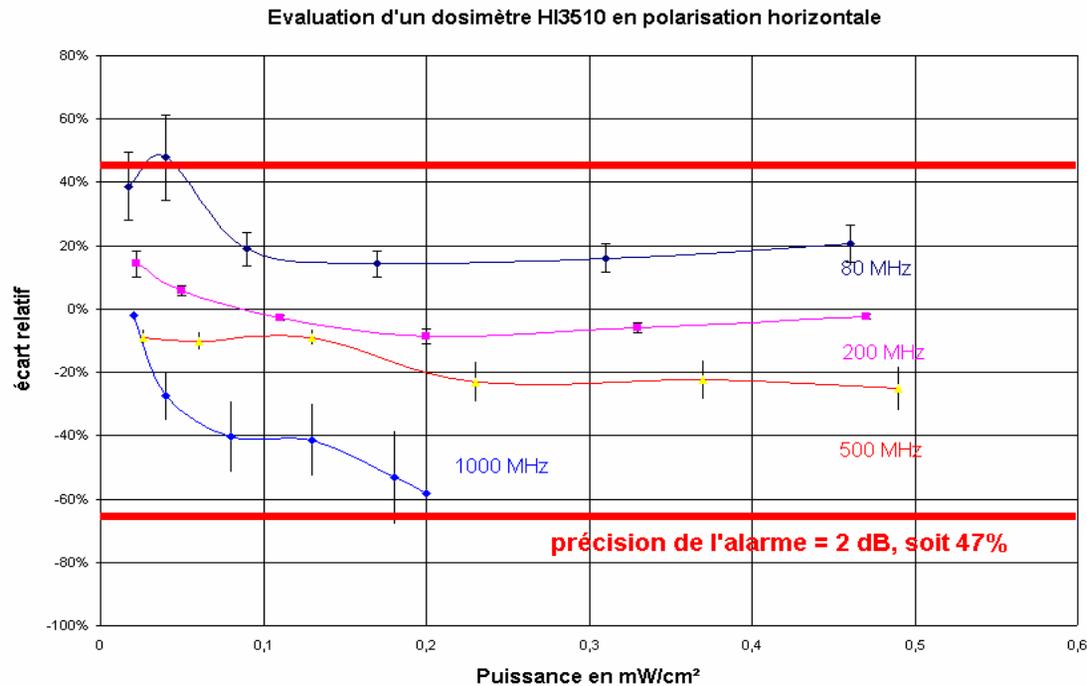


0,6 dB = 7 %

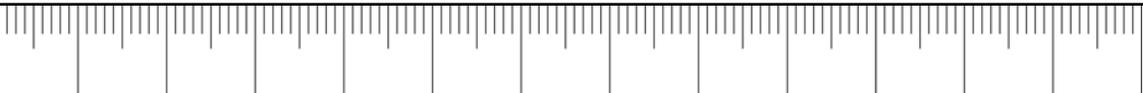
Précision des mesureurs de champ

Evaluation des performances du matériel, en fonction :

- de la fréquence
- de la puissance mesurée



Vis-à-vis des spécifications, l'incertitude est-elle déterminée sur toute la bande, à différents niveaux de champ?



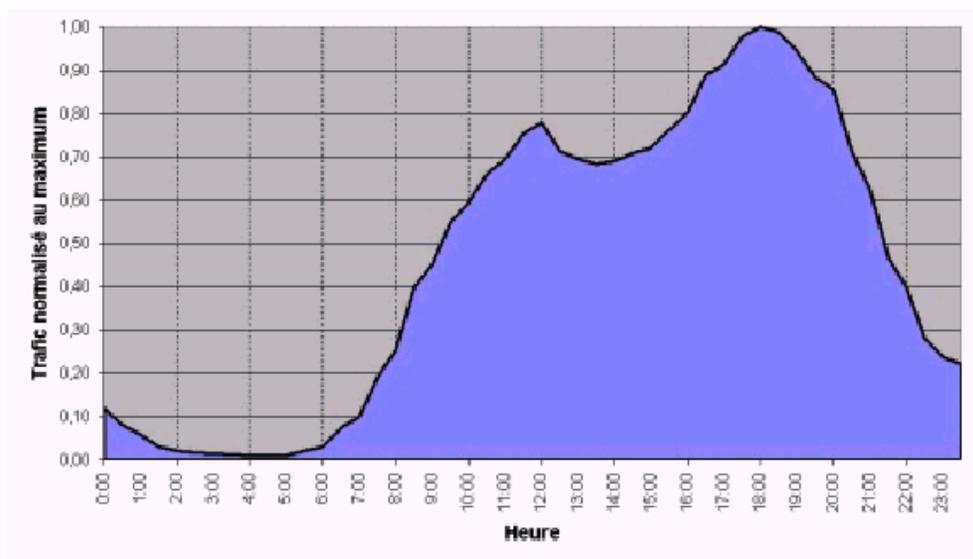
Incertitude due aux émetteurs à caractériser

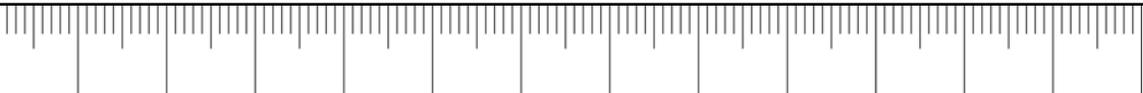
Influence du débit des communications

Une station de base GSM comprend :

un émetteur balise “ BCCH ” de puissance constante P_{BCCH}
n-1 émetteurs d’une puissance égale à P_{BCCH}

$$E_{estimé} = E_{BCCH} * \sqrt{n_{TR X}}$$





Synthèse (1/2)

sources d'incertitudes et moyens de les réduire

Facteurs environnementaux	Moyen de les réduire
Réflexion des ondes sur le sol et les objets environnants	Mesure moyenne sur une zone donnée Rechercher le maximum dans une zone donnée S'éloigner d'obstacle immédiat
Plusieurs sources d'émission	Analyse en bande étroite avec un analyseur de spectre
Influence de la hauteur de l'antenne par rapport au sol sur le facteur d'antenne	Moyenner sur plusieurs hauteurs
Sonde très proche d'une antenne d'émission - couplage	Mesurer le champ E et H Mesurer avec une petite sonde

Synthèse (2/2)

sources d'incertitudes et moyens de les réduire

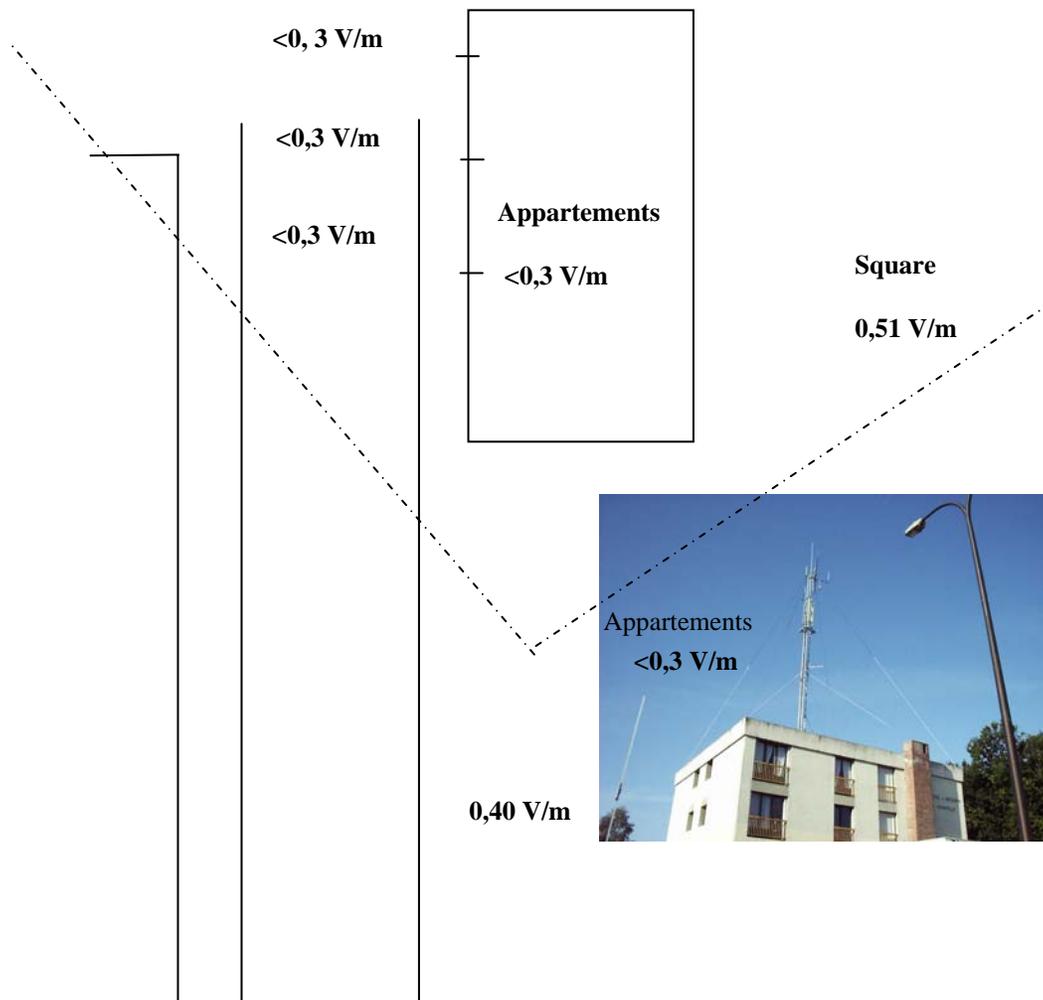
Facteurs associés au matériel de mesure	Moyen de les réduire
modulations	Connaître la modulation et effectuer les corrections
Sensibilité à l'autre composante du champ	Mesurer le champ E près d'une antenne filaire et H près d'une boucle de courant
Influence de la température et de l'humidité	S'assurer que l'instrument est adapté aux conditions d'essais
Incertitude du facteur d'antenne	
Incertitude de l'isotropie de la sonde	Caractéristiques du constructeur
Linéarité du récepteur	Caractéristiques du constructeur
Directivité de l'antenne	Rechercher le maximum en tournant l'antenne
Incertitude sur la calibration du champ mètre	Recalibrer

Calcul de l'incertitude avec un analyseur de spectre

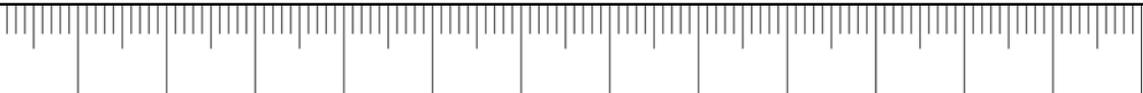
SOURCES D'ERREUR	Valeur d'incertitude DB (I)	Distribution de probabilité	Facteur de division (k)	C_i	Incertitude Type*
Appareillage de mesure					
Facteur d'antenne	1,5	Normale	k	1	1
Isotropie	1,5	Rectangulaire ou normale	$\sqrt{3}$ ou k	1	1,5
Linéarité	0,7	Rectangulaire ou normale	$\sqrt{3}$ ou k	1	0,7
Incertitude d'étalonnage sur la calibration		Normale	k	1	
Paramètres extérieurs					
Champ en zone de Fresnel et influence de la hauteur	6	Rectangulaire	$\sqrt{3}$	1	3,5 très près 0 plus loin
Plusieurs sources d'émission		Rectangulaire	$\sqrt{3}$	1	
Réflexion et diffusion	4,2	Rayleigh	$\sqrt{3}$	1	4,2
Incertitude majorante standart combinée		$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^m c_i^2 \cdot u_i^2} = 4,5 \text{ 68\%}$			
Incertitude étendue (Intervalle de confiance de 95%)		Log. normale	$u_e \approx u_c \approx 4,5 \text{ dB}$		

L'incertitude totale, en appliquant tous les coefficients de correction ne sera pas meilleure à 4,5 dB (68 %)

Application à une antenne relais GSM



Recherche du maximum



Mesure avec un mesureur de champ

Au niveau des appartements :

Le champ maximum est de 0,4 V/m.

L'incertitude de mesure est de 4,5 dB

Le champ varie donc entre 0,18 et 0,64 V/m



Retour d 'expérience Caractérisations de différents sites

Mesure des champs maximum

- Avec mesureur de champ

Nature de l'émetteur			
Habitation		Local recevant du public	Site industriel
GSM (41)	GSM (58)	WI-FI (61)	RMN (40 mT)
900 MHz	1 800 MHz	2 400 MHz	Champ statique
2,8 V/m	2 V/m	3,1 V/m à 10 cm antenne	40 mT à 12 cm - dans zone balisée
2,9 V/m			2,71 mT - hors balisage
0,7 - 3,2 V/m			6 mT - zone emplacement opérateur
4,6 V face à une antenne sur immeuble voisin			

(...) seuil de la recommandation