

Exposition des travailleurs et mesures de champs

« **Mesure et cartographie des champs en zone de champ proche** »

Alain ALCARAS

Christophe LEGEAY



- ◆ Phénoménologie des champs proches
  - ★ Caractéristiques des champs proches – Méthode simple d'évaluation
  - ★ Perturbations du banc de mesure – Contraintes de mesure
- ◆ Moyen de mesure et de cartographie
  - ★ Caractéristiques principales des sondes de champ
  - ★ Méthodes et Moyens de cartographie
- ◆ Exemple de cartographie : Comportement champs proches
  - ★ Moyen de mesure « METHEO »
  - ★ Zones typiques de sécurité
  - ★ Tracé des durées d'exposition (zones oranges)
  - ★ Impacts typiques du cumul de deux émetteurs



- ◆ A proximité des antennes ( $D < \lambda$ ) , le champ décroît avec le carré de la distance (décroissance rapide).
  - Pour  $D > \lambda$  , on peut considérer une onde plane (gain d'antenne exploitable).
- ◆ Les champs E et H maximum sont dimensionnés par les tensions/courants de l'antenne.
- ◆ Il existe des composantes verticales et horizontales de mêmes niveaux (nécessité de sondes isotropes).
- ◆ Tout élément conducteur proche et de taille significative perturbe le champ (et parfois le comportement de l'antenne).

# Méthode simple d'évaluation des champs proches



*Estimation rapide et approchée du niveau de champ électrique/magnétique :*

**P** : Puissance d'émission (W, dBm)

**G** : Gain en champ lointain de l'antenne

**D** : Distance par rapport au centre de phase de l'antenne (m)

**L** : Dimension caractéristique de l'antenne linéaire (m); mono/dipôle, filaire, boucle, cadre.

**λ** : Longueur d'onde ( $3e8/F$ )

$$D_{lim} \cong \lambda/2\pi$$

$$D < D_{lim}$$

$$D > D_{lim}$$

Champ proche ( $F < 100$  MHz) :

Antennes électriques : Monopôle; dipôle; filaire

$$E_{(V/m)} = \frac{\sqrt{30 \cdot P_{(W)} \cdot G_{(lin)}}}{D_{lim}} \cdot \left(\frac{D_{lim}}{D}\right)^2 \quad E_{max} \cong \frac{V_{ant}}{L}$$

Antennes magnétiques : Boucle; Demi-Boucle; cadre.

$$H_{(A/m)} = \frac{\sqrt{30 \cdot P_{(W)} \cdot G_{(lin)}}}{Z \cdot D_{lim}} \cdot \left(\frac{D_{lim}}{D}\right)^2 \quad H_{max} \cong \frac{I_{ant}}{L}$$

$$\left[ \begin{array}{l} V_{ant} \cong Z_{ant} \sqrt{\frac{P}{R_{ant}}} \\ I_{ant} \cong \sqrt{\frac{P}{R_{ant}}} \end{array} \right]$$

Champ lointain ( $\forall F$ ) :

$\forall$  antenne

$$E_{(V/m)} = \frac{\sqrt{30 \cdot P_{(W)} \cdot G_{(lin)}}}{D_{(m)}}$$

$$H_{(A/m)} = E_{(V/m)} / 377$$

• Zant :

- est forte pour antennes électriques courtes accordées (d'autant plus que F diminue),
- est faible pour antennes magnétiques courtes accordées (d'autant plus que F diminue).

• Rant = R (rayonnement) + R (perte)

➤ Efficace pour évaluer les zones a priori (préparation des mesures)

# Perturbation du champ par le banc de mesure



- ◆ Le banc de mesure ne doit pas comporter d'éléments métalliques de grande taille.
- ◆ Les sondes (antennes de réception) doivent être de faibles dimensions.
- ◆ Les supports de sonde doivent être isolants (bois, plastique,...)
- ◆ Les liaisons de signaux des sondes ne doivent pas être des conducteurs électriques. Solutions : Fibre optique, liaison radio, batterie.
- ◆ L'opérateur engendre des renforcements pouvant induire des erreurs de mesure importantes => s'éloigner suffisamment de la sonde.

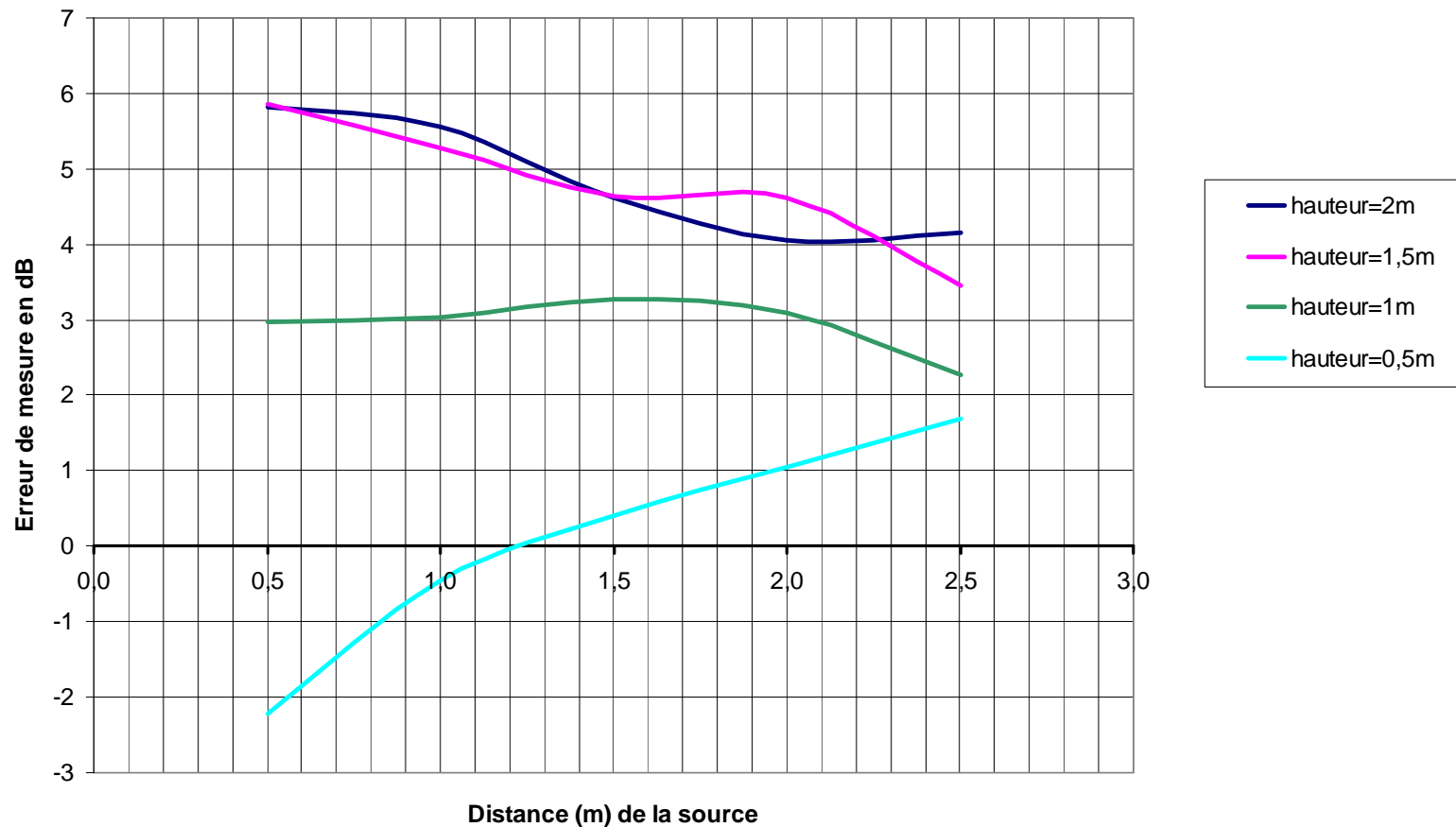
# Impact de l'opérateur sur la mesure



Erreur de mesure du champ E dû à la proximité de l'opérateur  
(fréquence = 2,025Mhz, fouet de 5m)

Cas erroné : sonde à portée de main

Cas correct : sonde déportée à 1,5 m de l'opérateur (perche isolante)



# Contraintes de mesure



- ◆ Les sondes doivent être éloignées de tout éléments conducteurs d'au moins la dimension maximale de la sonde (sauf pour sonde de surface)
- ◆ L'opérateur doit être à plus de 1,5 m de la sonde et des éléments conducteurs environnants (=> éléments de renforcement).
- ◆ Précision de localisation des points de mesures : de 1 cm (antennes testées très petites) à quelques dizaines de centimètres (antennes testées de grandes tailles).
- ◆ Ne pas oublier de mesurer les éventuels renforcements de champ par les éléments de taille significative aux alentours de l'antenne testée (renforcement de 2 à 5 possible) : mâts métalliques, barrières métalliques, autres structures métalliques...
- ◆ Prendre garde à faire des pauses régulières pour ne pas que la chaîne d'émission de l'antenne testée dérive (diminution de la puissance).

# Caractéristiques des sondes de champs (E et H)



- ◆ Sonde large bande en champ E et en champ H (antenne active)
- ◆ Sonde isotrope
- ◆ Capacité de mesure compatibles
  - ★ des limites de normes et des méthodes spécifiques de mesure (mesure faible puissance)
  - ★ des champs maximum rayonnés par l'antenne testée (à pré-évaluer !)
- ◆ Alimentée par batterie (autonomie de quelques heures)







## Deux phases principales pour la cartographie

- ◆ Mesures discrétisées des champs avec localisation de la sonde
- ◆ Interpolation des données de mesures (3D) : tracé des zones

# Méthodes de cartographie des zones : Mesure



## ◆ Choix des points de mesure

### ★ Grande densité de point de mesure aux endroits :

- de champs importants (supérieurs aux limites « travailleurs/habilités »)
- proches des renforcements significatifs de champs
- de décroissance rapide ( $1/R^2$ )

### ★ Faible densité de point de mesure aux endroits :

- de décroissance lente ( $1/R$ )
- éloignés de tout élément conducteur
- de champs faibles (inférieurs aux limites « public/non habilités »)

### ★ A évaluer à l'aide des estimations de champs et/ou en analysant les valeurs de champ au cours de la mesure.

## ◆ Sécurité de l'opérateur

### ★ Dosimètre personnel

### ★ Indication continue du niveau de champ mesuré par la sonde (alarme)

### ★ Mesure à faible puissance (rayonnement = phénomène linéaire)

- Mesure de champ en un point quelconque à puissance forte et à puissance faible  
=> facteur de correction
- Mesure des champs en tout points à puissance faible
- Etablissement du zonage à puissance forte par correction linéaire
- Autre avantage : diminue les risques de dérive de puissance d'émission

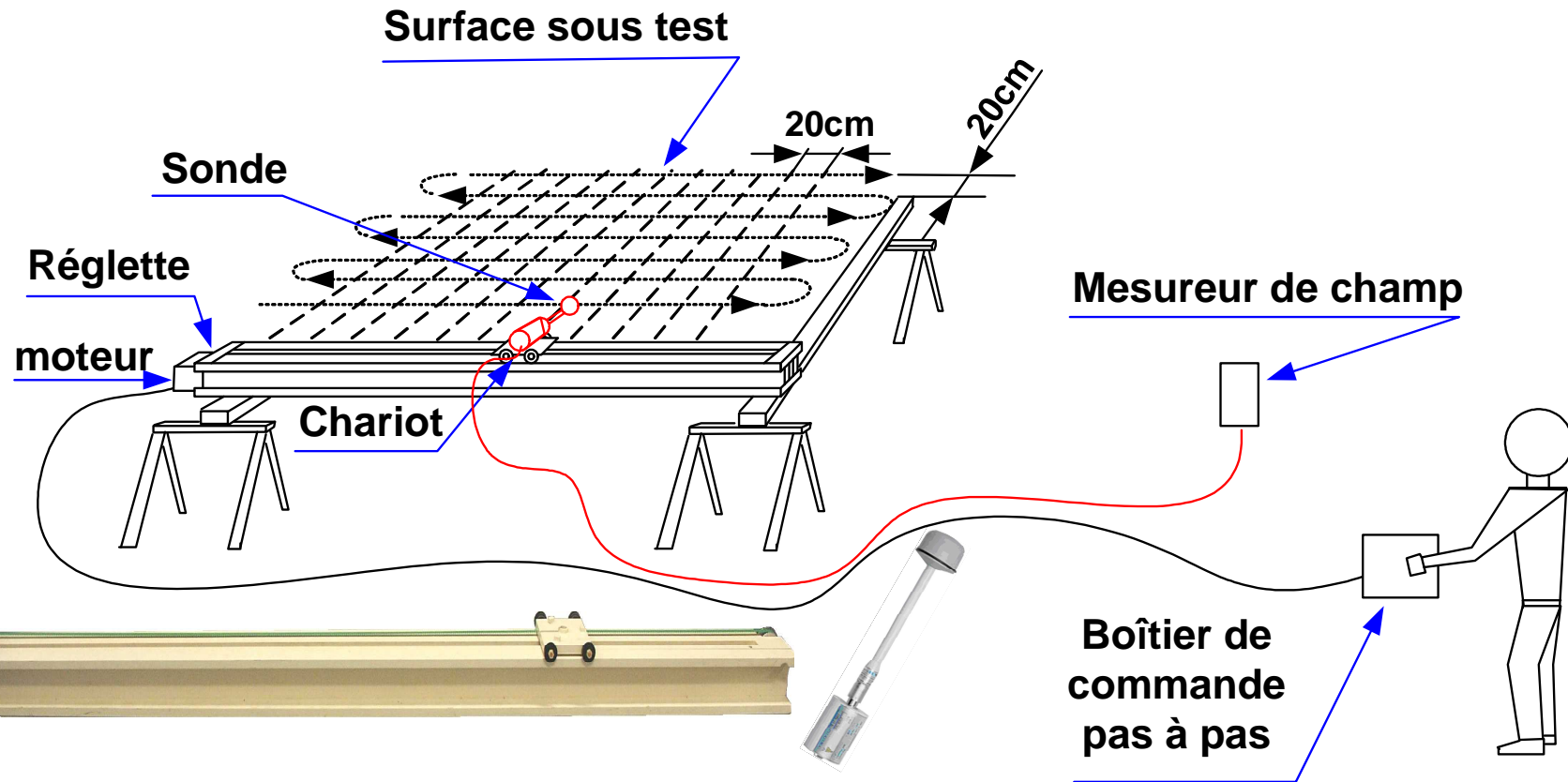


- ◆ Interpolation linéaire standard (polynome de Newton,...):
  - ★ Surfacique
  - ★ Volumique
  
- ◆ Interpolation par Krigeage (interpolation statistique) : permet un échantillonnage spatiale moins dense lors de la mesure.
  
- La précision de la cartographie dépend de la densité de points de mesure et de la performance de l'interpolation.



- ◆ Localisation statique de la sonde (système basique)
  - ★ Déplacement de la sonde en des points repérés visuellement (Mesure rapide mais peu précise).
  - ★ Déplacement/Repositionnement de la sonde sur un support pré-positionné (Mesure précise mais très gourmande en temps).
- ◆ Localisation dynamique de la sonde (repérage instantané de la sonde):
  - ★ Système GPS (Précision insuffisante en vertical, problème de mesure en intérieur, tenue GPS dans des champs forts...)
  - ★ Théodolite à visée laser
  - ★ .....

# Systeme de localisation : Systeme basique



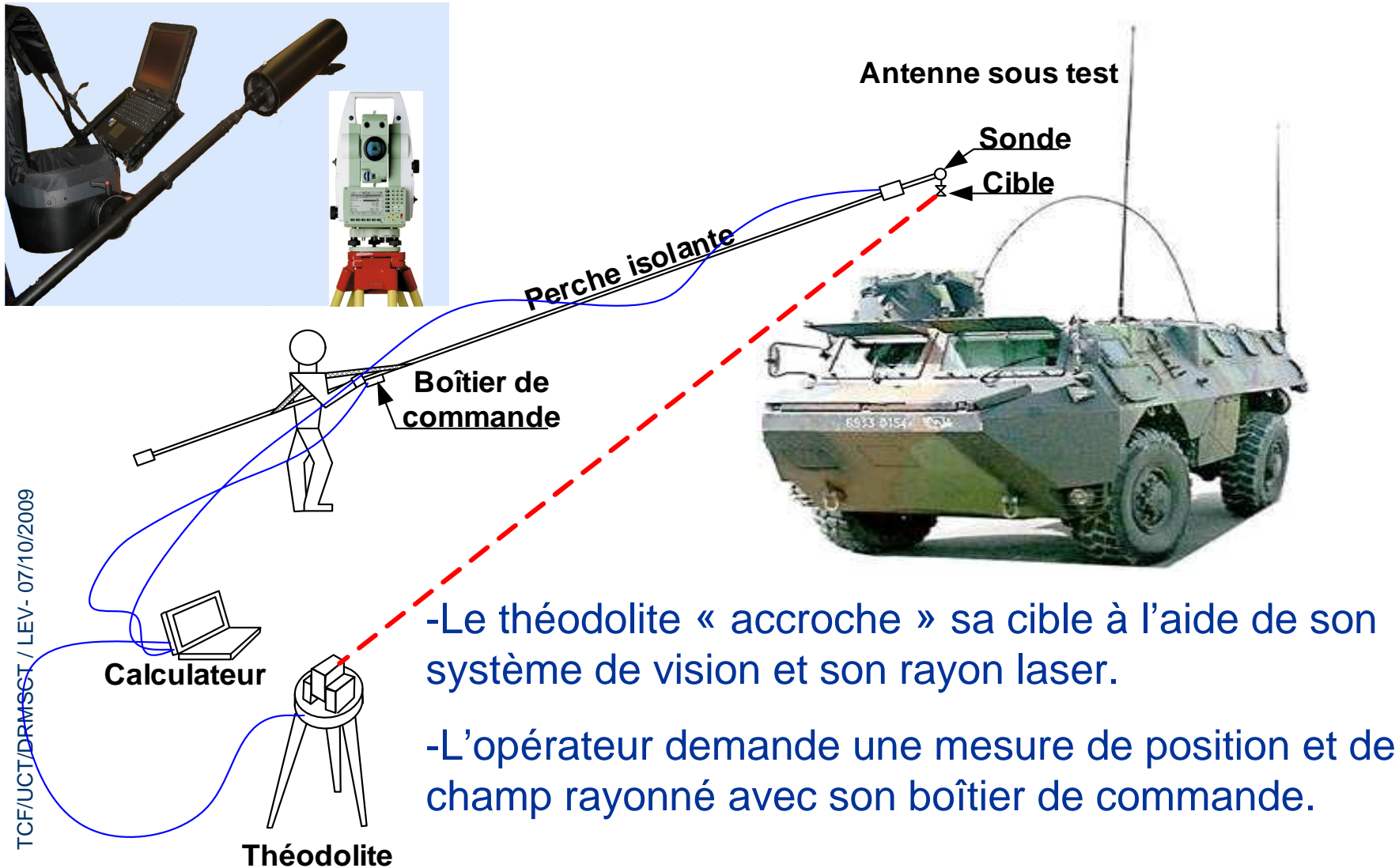
TCF/UCT/DRMSCT / LEV- 07/10/2009

Une réglette en bois de 2.50m de long transporte en pas à pas une sonde de mesure.

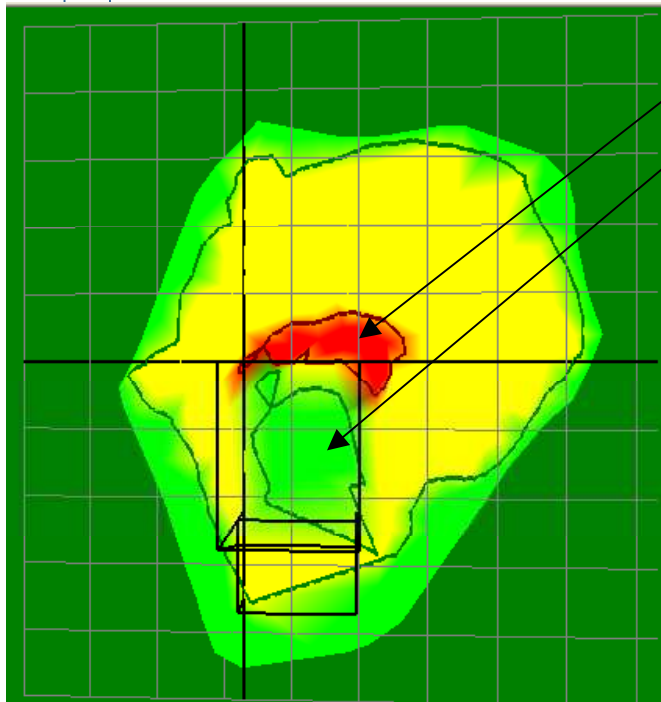
# Systeme de localisation : Systeme METHEO



## Mesures de champs Électromagnétiques assistées par THEOdolite

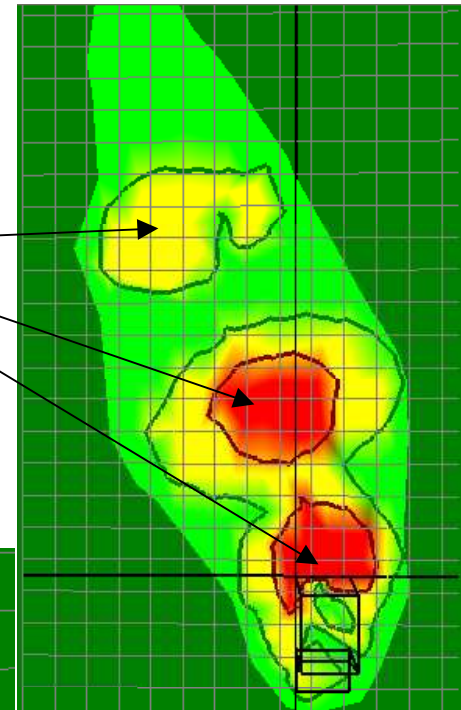


# Exemple de cartographie de champ proche



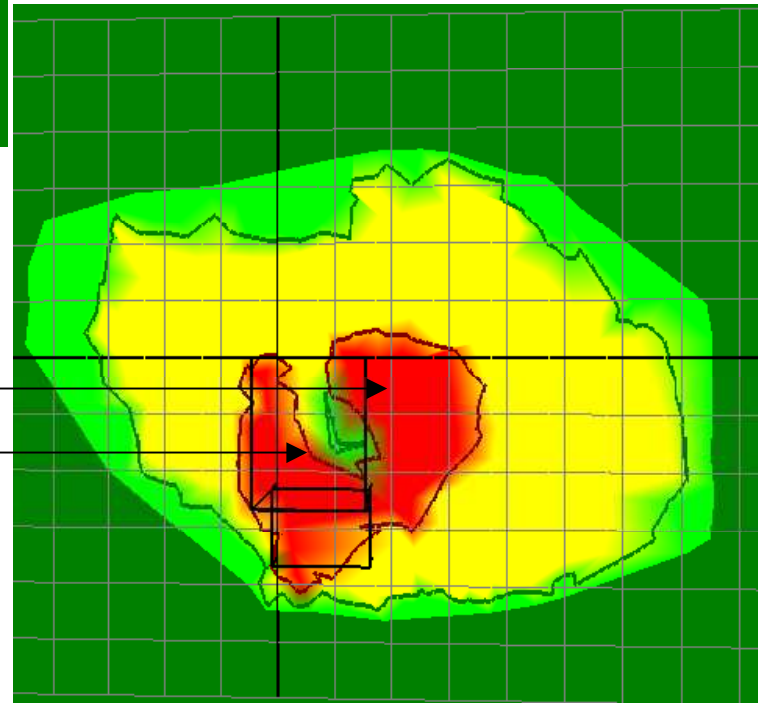
**Zone interdite petite**  
**Effet de blindage interne**

**Effet de résonance (antenne longue)**



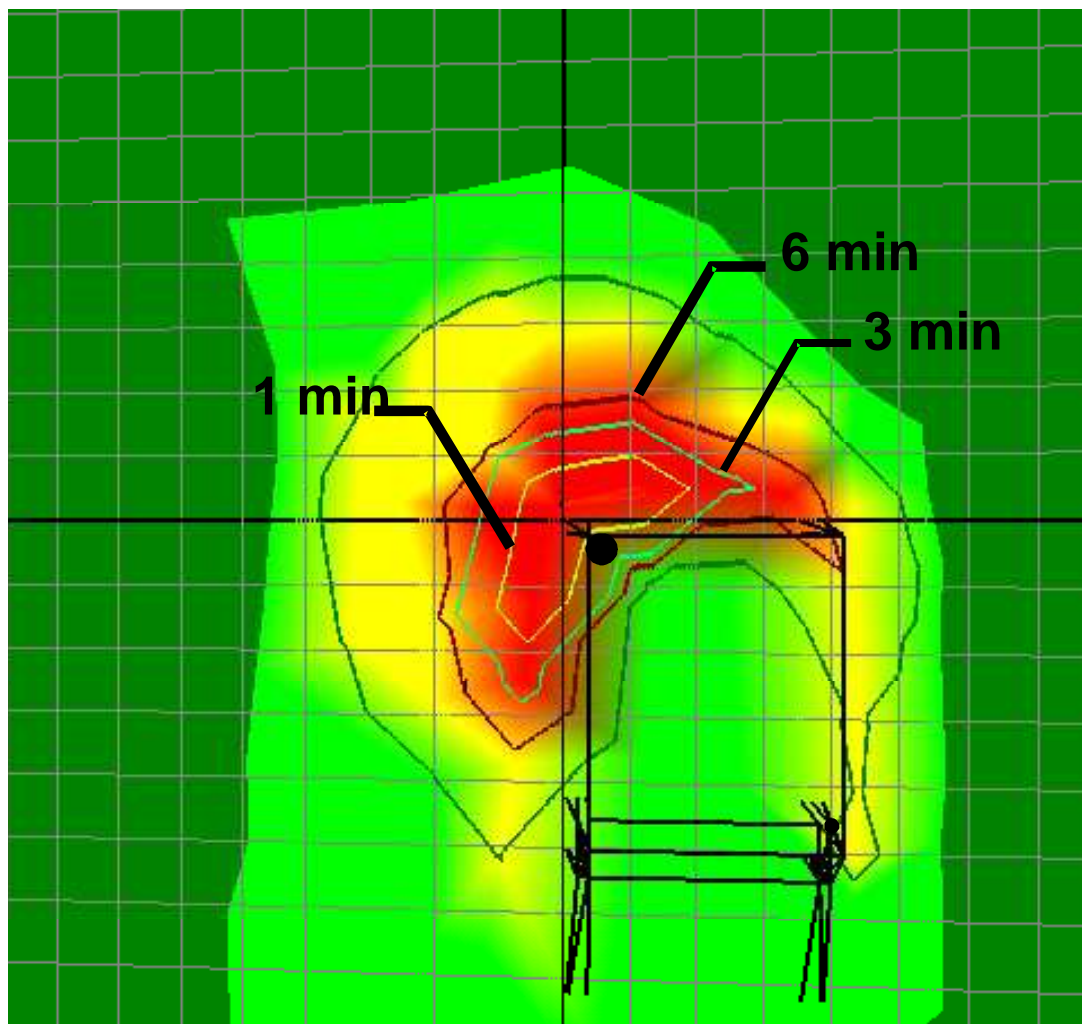
LEV- 07/10/2009

**Zone interdite importante**  
**Blindage insuffisant**



TCF/UC

# Exemple : Tracé des durées limites d'exposition

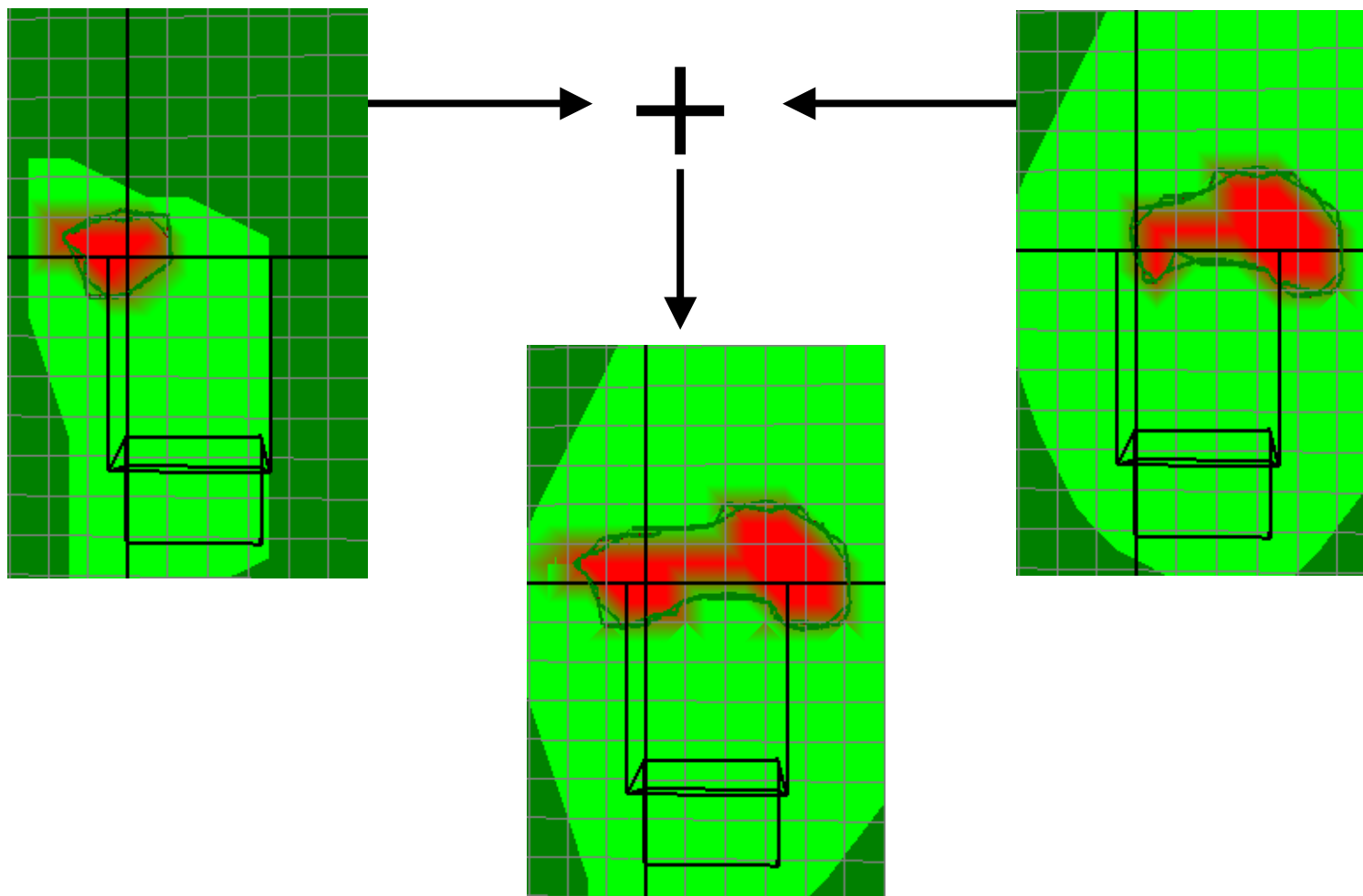


...T/DRMSCT / LEV- 07/10/2009

- ◆ Permet de définir des zone « orange » au sens DREP



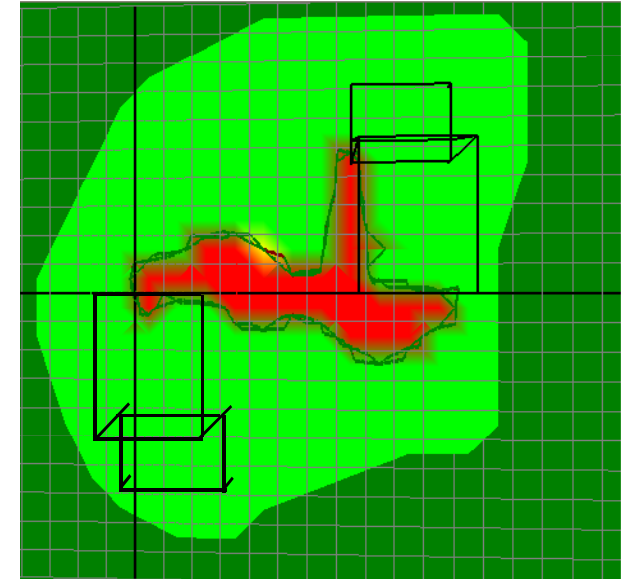
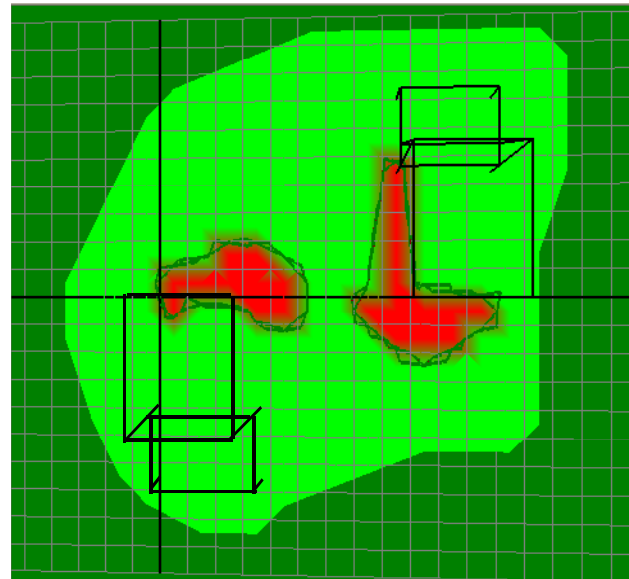
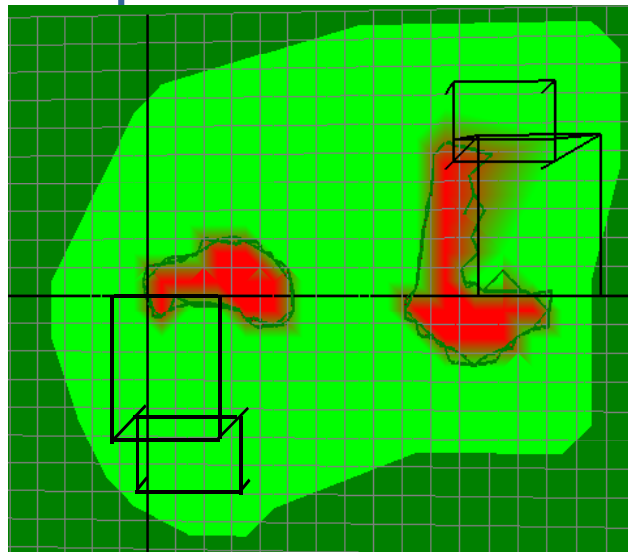
## Exemple : Cumul de 2 antennes intra-système



DRMSCT / LEV- 07/10/2009

- ◆ Pas d'agrandissement significatif du zonage initial

# Exemple : Cumul de 2 antennes inter-système (1/2)



(1)

Ecart de 3,5 m : Les zones initiales sont de 75 cm.

(2)

Ecart de 2,5 m : Pas d'ajout de zone interdite

(3)

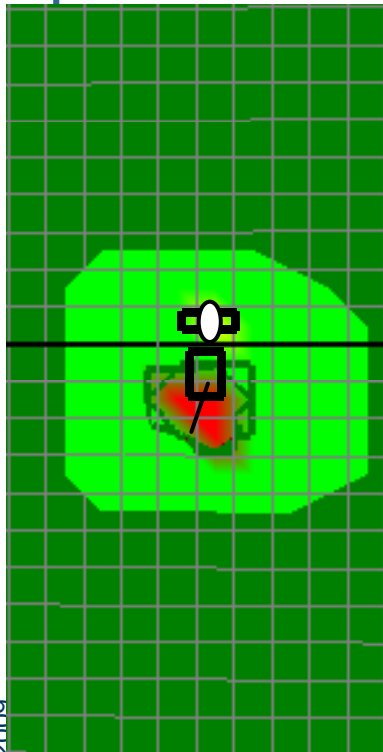
Ecart de 2 m : **Ajout d'une zone de 50 cm**

LEV-

- ◆ Agrandissement significatif de zone interdite pour des distances très proches
- ◆ Ces distances peuvent ne pas être opérationnelles à causes des contraintes de proximité radio
- **Pour ce type de configuration, le cumul n'ajoute pas de risque supplémentaire.**

T

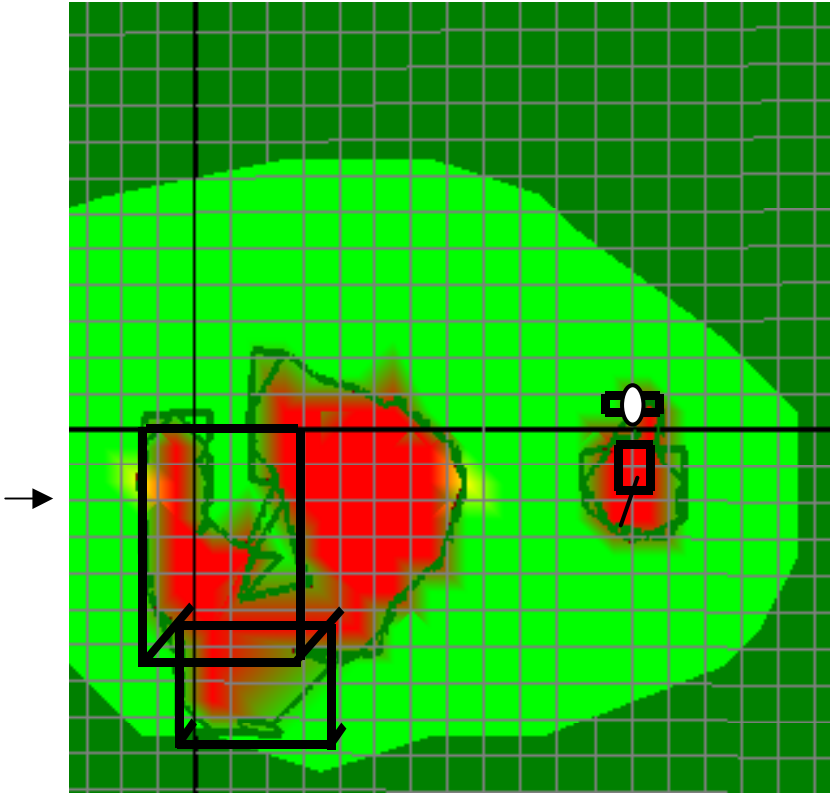
# Exemple : Cumul de 2 antennes inter-système (2/2)



- (1)
- Radio transportable à puissance moyenne
  - L'exploitant est en zone autorisée (habilité)

10/2009

- (2)
- Radio transportable à 4,5 m d'une radio véhicule forte puissance, dans la zone autorisée (zone interdite à 1,5 m)
  - **Le cumul des 2 radios place l'exploitant en zone interdite, sans modifier le zonage de la radio puissante.**
  - Dans certains cas, la zone autorisée peut être conditionnée à cause du cumul.



# QUESTIONS

