

Exposition des travailleurs et mesures de champs

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

Alain ALCARAS
Christophe LEGEAY

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



- ◆ 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.

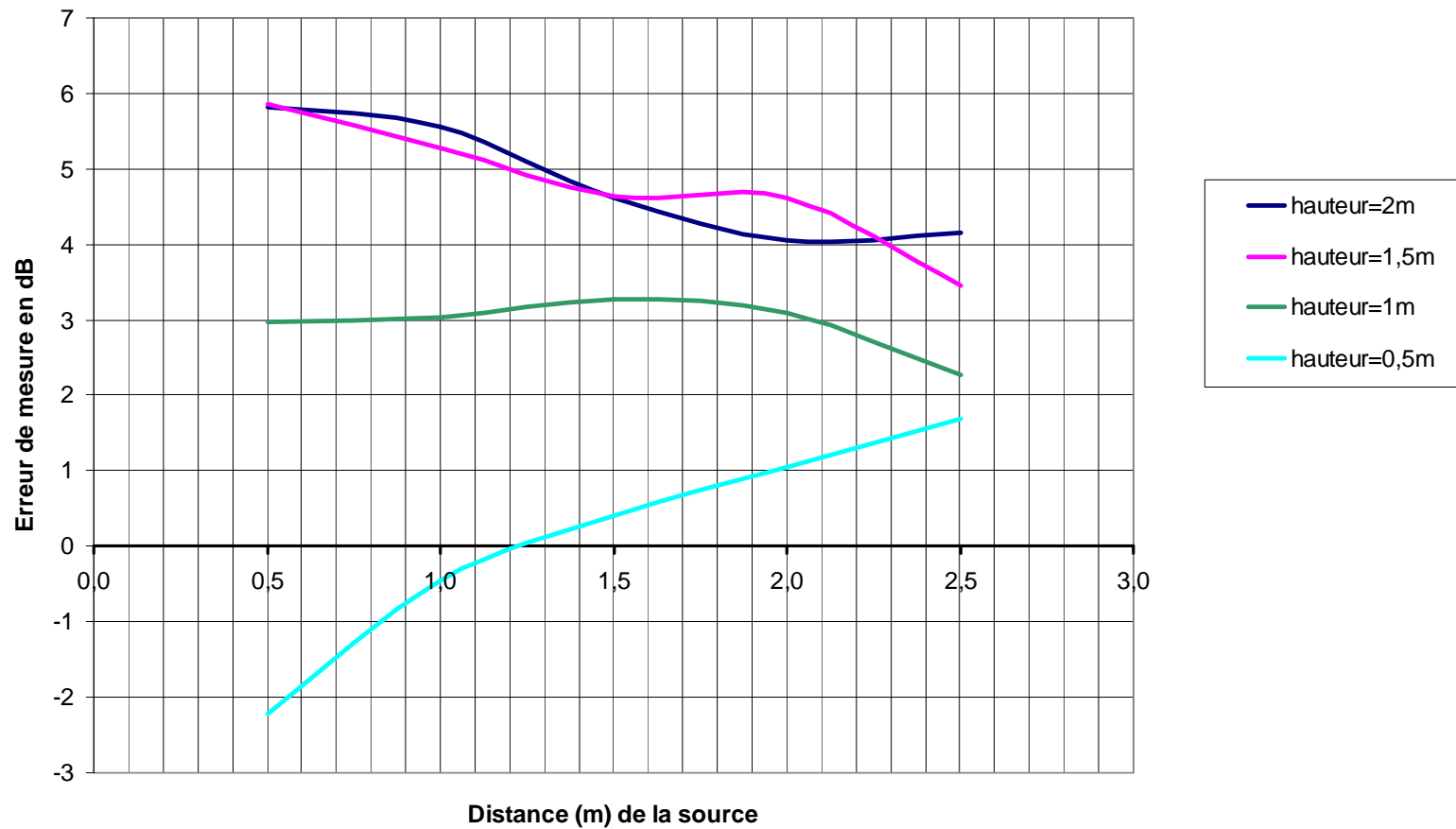
Impact de l'opérateur sur la mesure



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



- ◆ 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

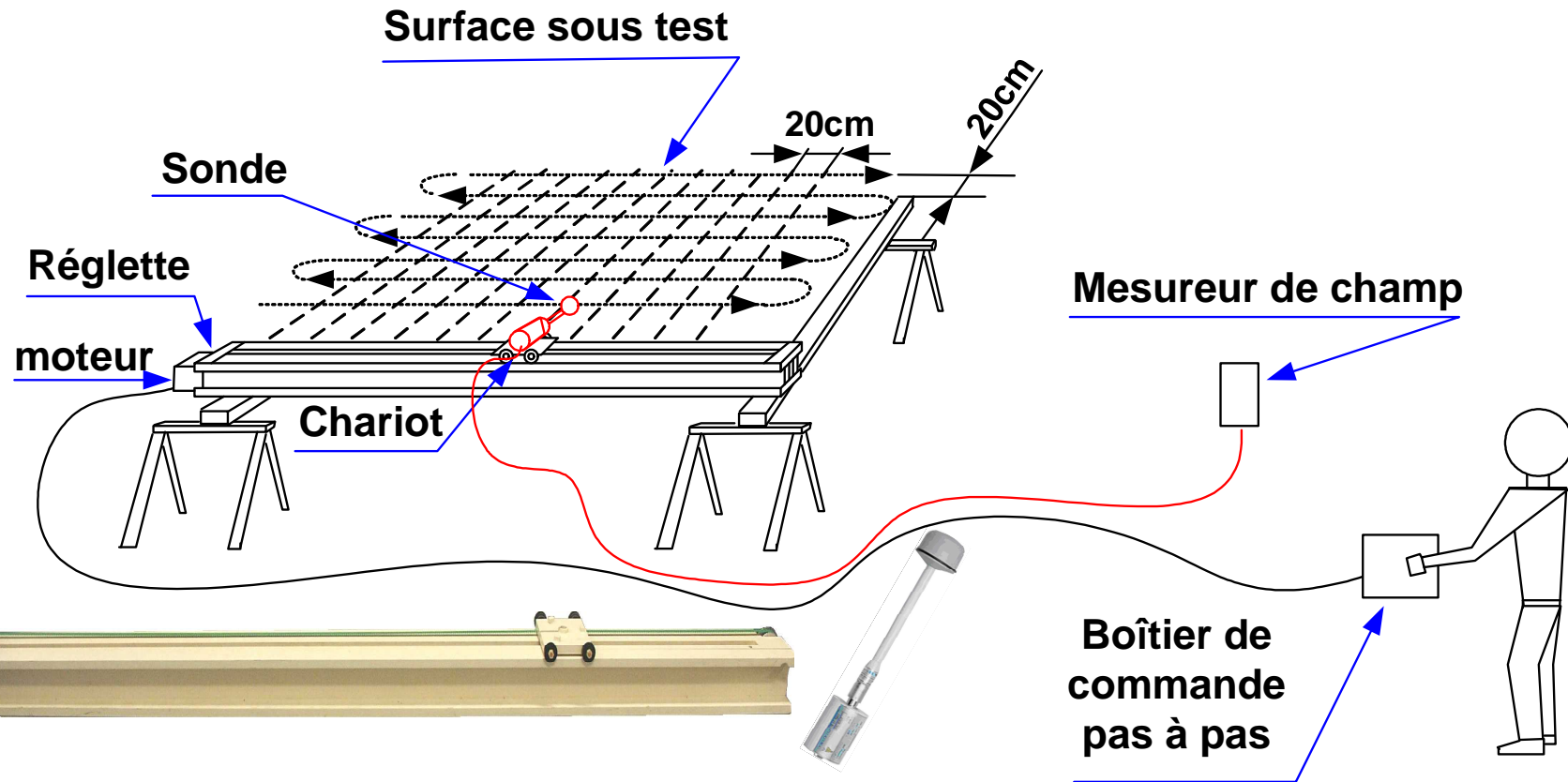
- ◆ Interpolation par Krigeage (interpolation statistique) : permet un échantillonnage spatiale moins dense lors de la mesure.

- 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



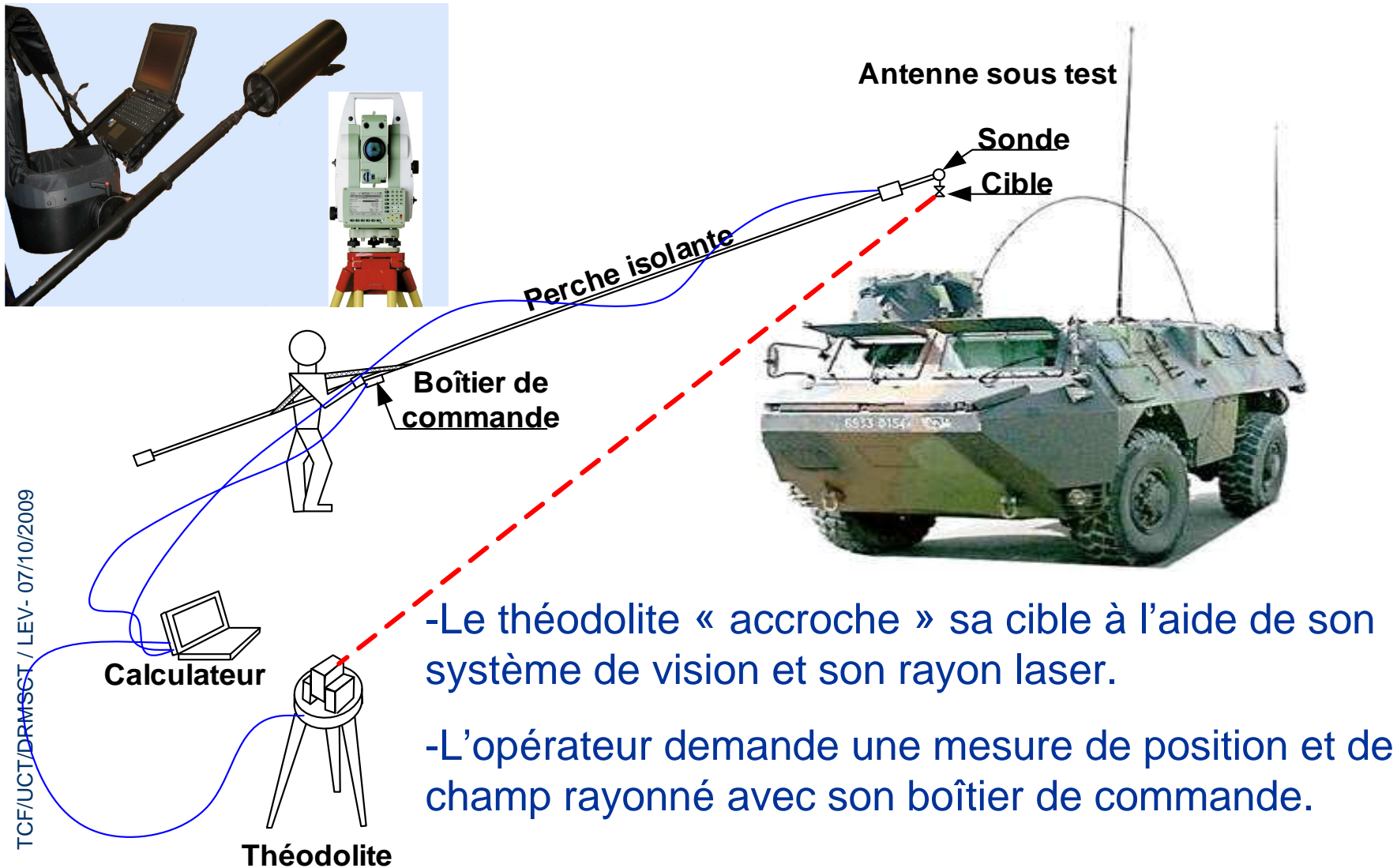
TCF/UCT/DRMSCT / LEV- 07/10/2009

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

Systeme de localisation : Systeme METHEO

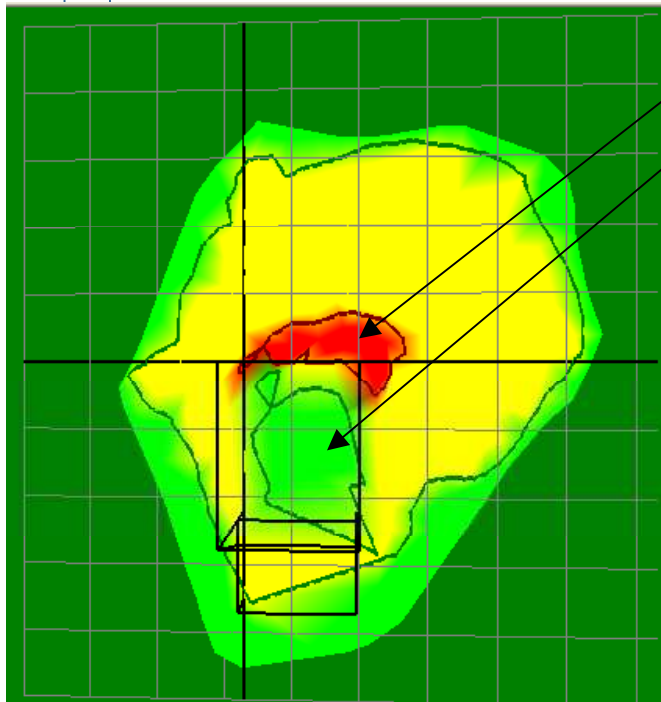


Mesures de champs Électromagnétiques assistées par THEOdolite



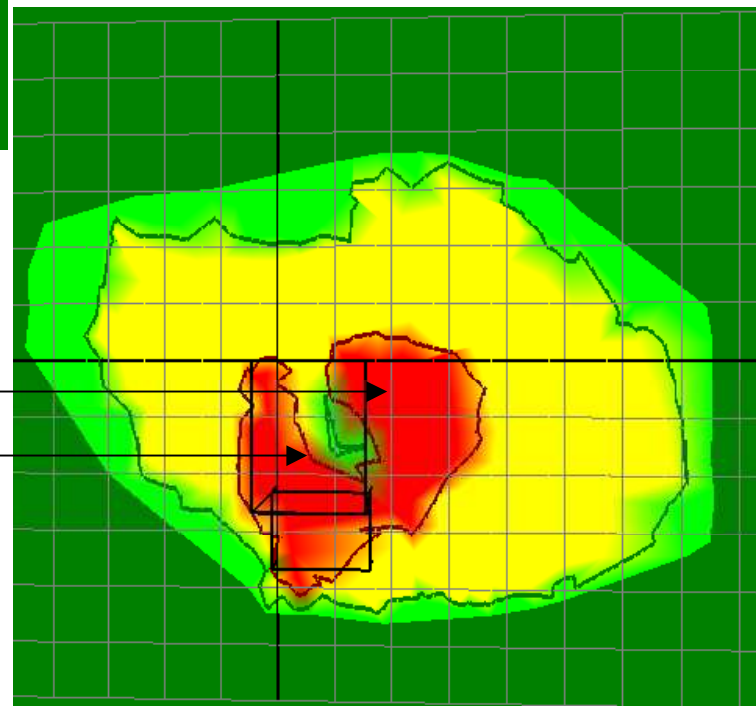
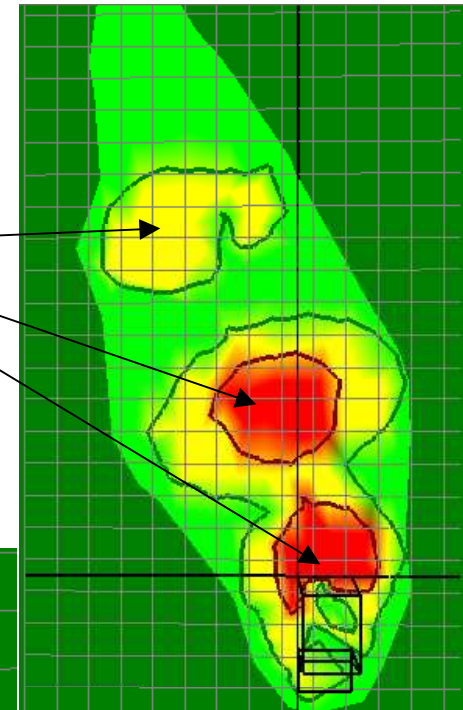
TCF/UCT/DRM/SGT / LEV- 07/10/2009

Exemple de cartographie de champ proche



Zone interdite petite
Effet de blindage interne

Effet de résonance
(antenne longue)

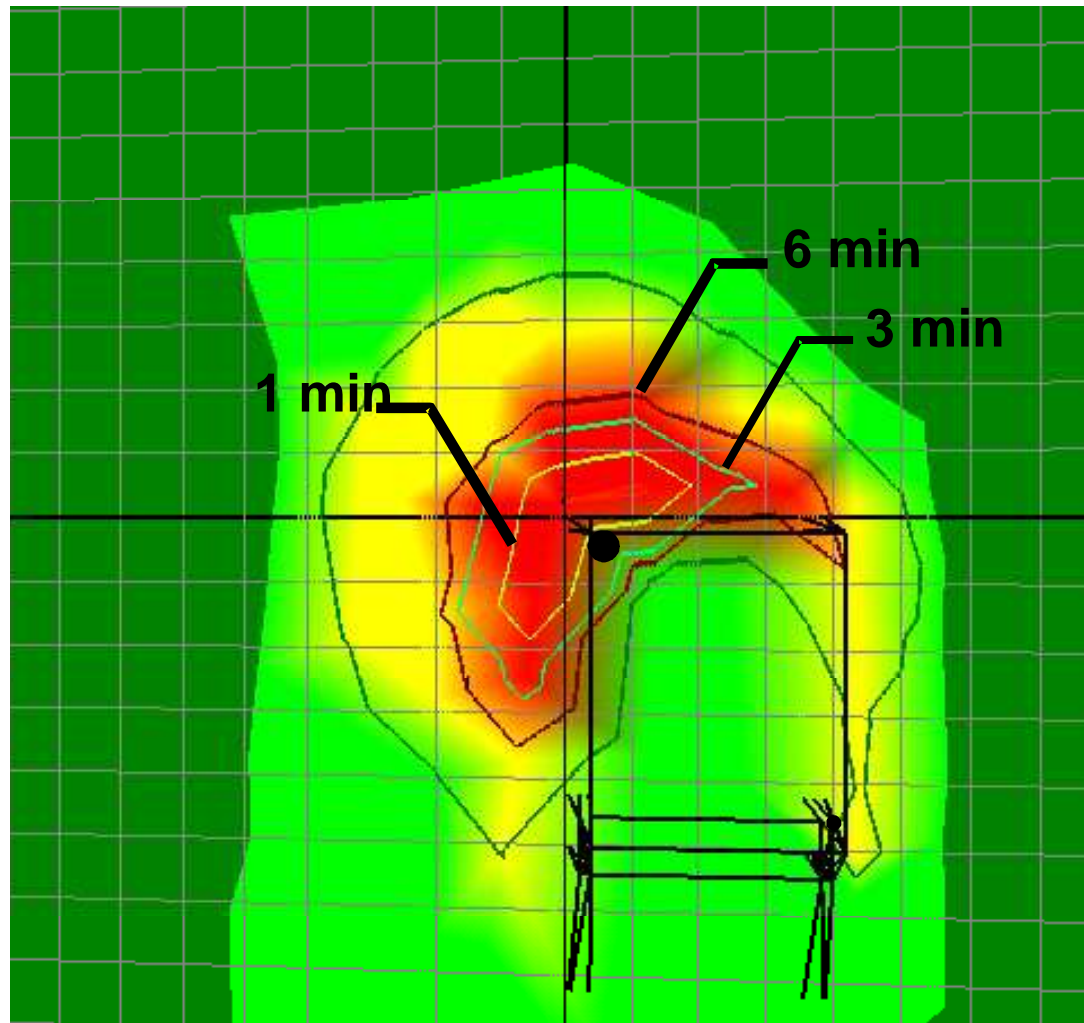


LEV- 07/10/2009

Zone interdite importante
Blindage insuffisant

TCF/UC

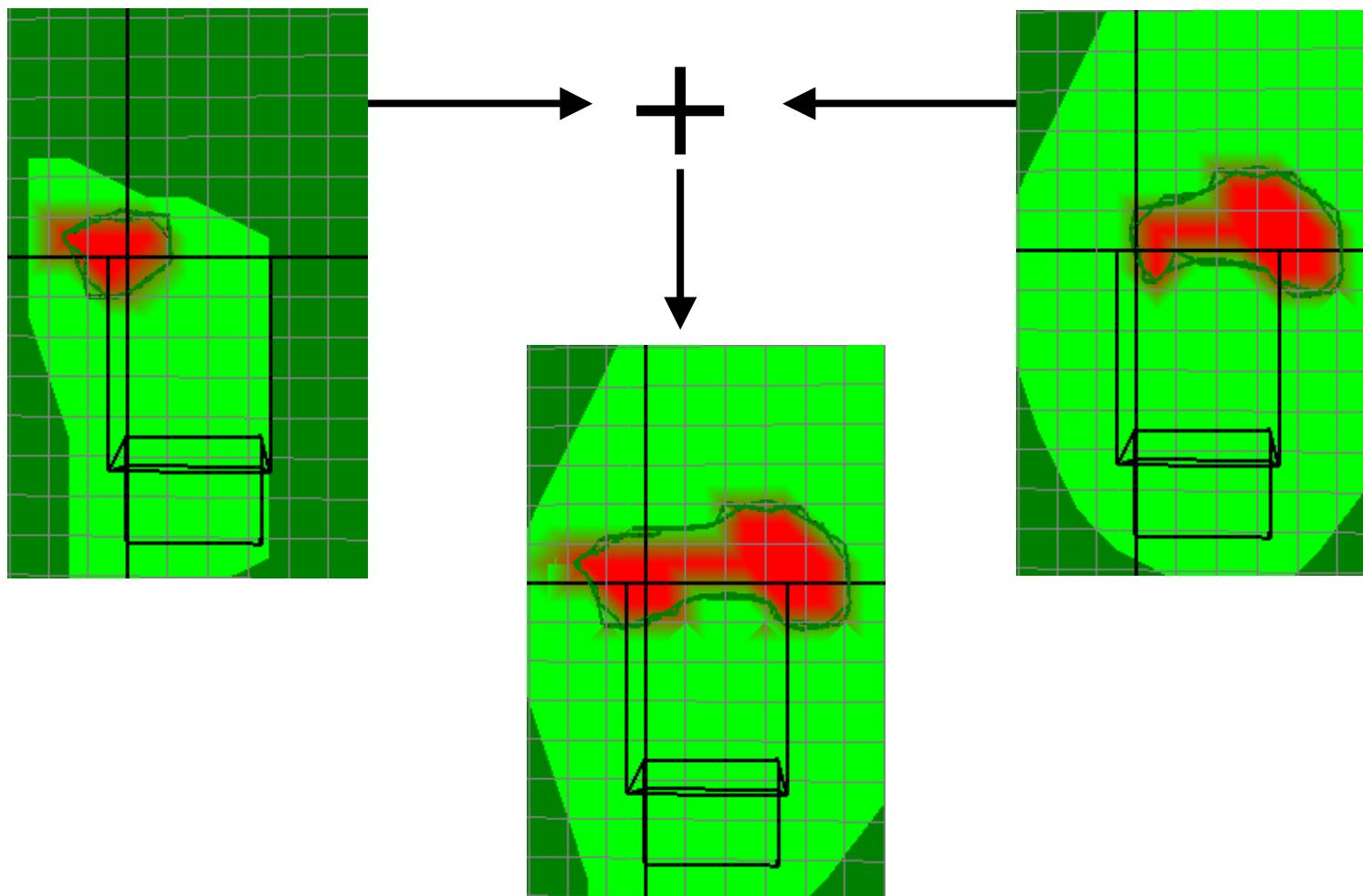
Exemple : Tracé des durées limites d'exposition



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

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

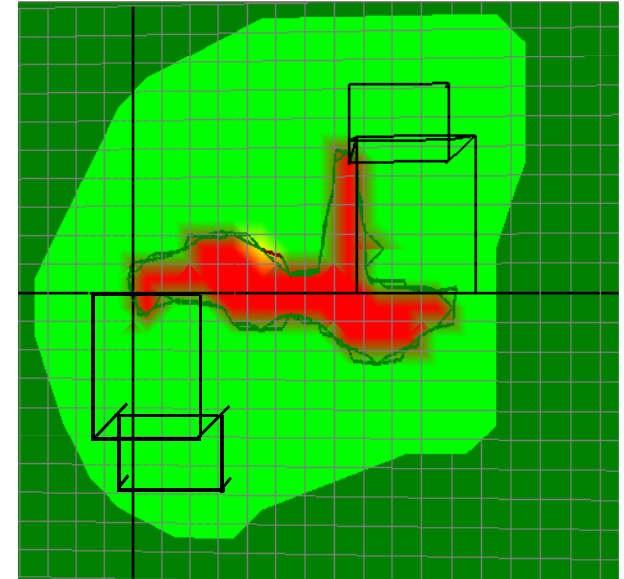
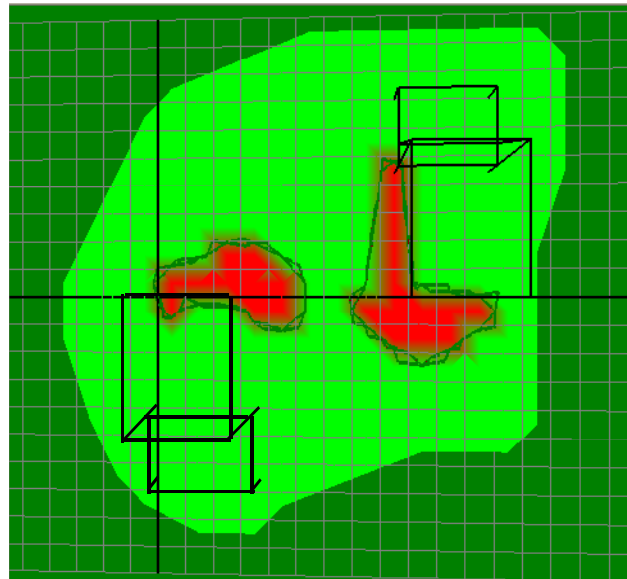
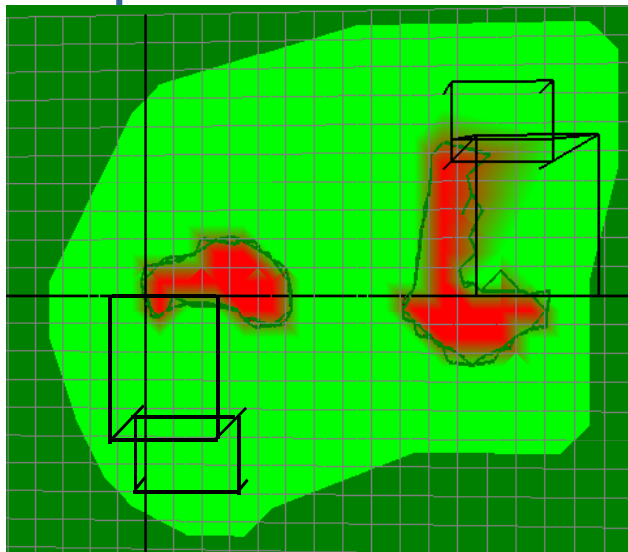
Exemple : Cumul de 2 antennes intra-système



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)

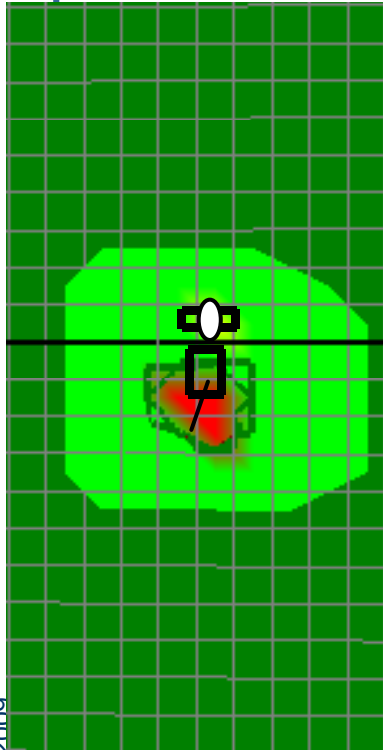
Ecart de 2 m : **Ajout d'une zone de 50 cm**

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

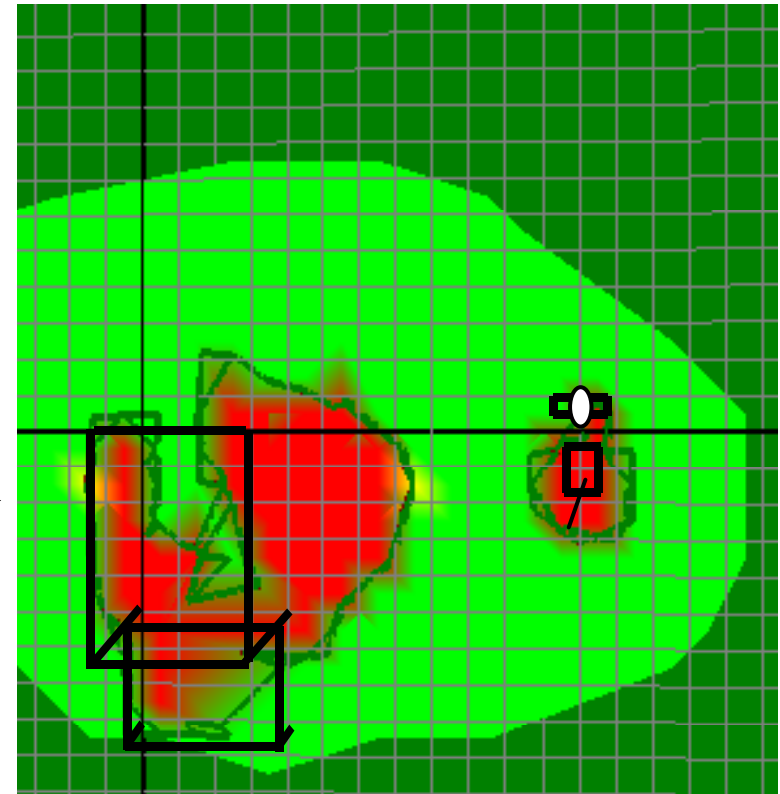
Exemple : Cumul de 2 antennes inter-système (2/2)



- (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

