

Union internationale des télécommunications

**UIT-R**

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

**Recommandation UIT-R SM.2140-0**  
(08/2021)

**Évaluation de la qualité de fonctionnement  
des unités de radiogoniométrie mobiles  
dans leur environnement d'exploitation**

**Série SM**  
**Gestion du spectre**



Union  
internationale des  
télécommunications

## Avant-propos

Le rôle du Secteur des radiocommunications est d'assurer l'utilisation rationnelle, équitable, efficace et économique du spectre radioélectrique par tous les services de radiocommunication, y compris les services par satellite, et de procéder à des études pour toutes les gammes de fréquences, à partir desquelles les Recommandations seront élaborées et adoptées.

Les fonctions réglementaires et politiques du Secteur des radiocommunications sont remplies par les Conférences mondiales et régionales des radiocommunications et par les Assemblées des radiocommunications assistées par les Commissions d'études.

## Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR)

La politique de l'UIT-R en matière de droits de propriété intellectuelle est décrite dans la «Politique commune de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI en matière de brevets», dont il est question dans la Résolution UIT-R 1. Les formulaires que les titulaires de brevets doivent utiliser pour soumettre les déclarations de brevet et d'octroi de licence sont accessibles à l'adresse <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/fr>, où l'on trouvera également les Lignes directrices pour la mise en oeuvre de la politique commune en matière de brevets de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI et la base de données en matière de brevets de l'UIT-R.

### Séries des Recommandations UIT-R

(Egalement disponible en ligne: <http://www.itu.int/publ/R-REC/fr>)

Séries	Titre
<b>BO</b>	Diffusion par satellite
<b>BR</b>	Enregistrement pour la production, l'archivage et la diffusion; films pour la télévision
<b>BS</b>	Service de radiodiffusion sonore
<b>BT</b>	Service de radiodiffusion télévisuelle
<b>F</b>	Service fixe
<b>M</b>	Services mobile, de radiorepérage et d'amateur y compris les services par satellite associés
<b>P</b>	Propagation des ondes radioélectriques
<b>RA</b>	Radio astronomie
<b>RS</b>	Systèmes de télédétection
<b>S</b>	Service fixe par satellite
<b>SA</b>	Applications spatiales et météorologie
<b>SF</b>	Partage des fréquences et coordination entre les systèmes du service fixe par satellite et du service fixe
<b>SM</b>	<b>Gestion du spectre</b>
<b>SNG</b>	Reportage d'actualités par satellite
<b>TF</b>	Emissions de fréquences étalon et de signaux horaires
<b>V</b>	Vocabulaire et sujets associés

*Note: Cette Recommandation UIT-R a été approuvée en anglais aux termes de la procédure détaillée dans la Résolution UIT-R 1.*

Publication électronique  
Genève, 2022

© UIT 2022

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT.

## RECOMMANDATION UIT-R SM.2140-0

**Évaluation de la qualité de fonctionnement des unités de radiogoniométrie mobiles dans leur environnement d'exploitation**

(2021)

**Domaine d'application**

Cette Recommandation donne des indications sur les méthodes normalisées à utiliser pour évaluer la qualité de fonctionnement globale des unités de radiogoniométrie mobiles, dans des conditions d'exploitation réelles, de préférence dans des environnements types où le système sera utilisé par l'administration qui l'aura acquis. On pourra s'en servir dans le cadre d'un test d'évaluation lors d'un appel d'offres ou d'un test d'acceptation pour des services de contrôle des émissions après l'acquisition.

**Mots clés**

Évaluation de la qualité de fonctionnement en radiogoniométrie, mesure sur site, environnement réaliste, équipement mobile/transportable, radioralliement, ligne de relèvement

**Acronymes/Abréviations**

CDF	fonction de distribution cumulative ( <i>cumulative distribution function</i> )
CW	onde/forme d'onde entretenue ( <i>continuous wave/waveform</i> )
DF	radiogoniomètre ( <i>direction finder</i> )
GNSS	système mondial de navigation par satellite ( <i>global navigation satellite system</i> )
LoB	ligne de relèvement ( <i>line of bearing</i> )
LoS	visibilité directe ( <i>line of sight</i> )
OATS	site d'essai à ciel ouvert ( <i>open-air test site</i> )
PDF	densité de probabilité ( <i>probability density function</i> )
RF	radiofréquence
RMS	moyenne quadratique ou valeur efficace ( <i>root mean square</i> )
SNR	rapport signal/bruit ( <i>signal to noise ratio</i> )
Tx	émetteur

**Recommandations et Rapports de l'UIT connexes**

Manuel de l'UIT sur le contrôle du spectre (édition de 2011)

Recommandation UIT-R SM.854

Recommandation UIT-R SM.1723

Recommandation UIT-R SM.2060

Recommandation UIT-R SM.2061

Recommandation UIT-R SM.2096

Recommandation UIT-R SM.2097

Rapport UIT-R SM.2125

Rapport UIT-R SM.2354

NOTE – La dernière édition de la Recommandation/du Rapport devrait être utilisée dans tous les cas.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*considérant*

- a) que pour donner une mesure exacte de la qualité de fonctionnement d'un système de radiogoniométrie, il convient de procéder aux essais dans des conditions d'exploitation effectives, semblables à celles dans lesquelles le système sera effectivement utilisé, les mesures servant alors à déterminer la "précision systémique" du système<sup>1</sup>;
- b) que la précision du radiogoniomètre (DF) peut être testée en environnement réel, sur un site d'essai à ciel ouvert (OATS) ou sur une plate-forme de laboratoire<sup>2</sup>;
- c) qu'aucune autre publication de l'UIT n'aborde en détail l'évaluation de la qualité de fonctionnement des radiogoniomètres mobiles en environnement réel;
- d) que l'usage des unités de radiogoniométrie mobiles augmente;
- e) que différentes technologies d'antennes radiogoniométriques et différentes méthodes de radiogoniométrie sont utilisées par les fabricants, ce qui entraîne des niveaux de qualité de fonctionnement variables dans des environnements d'exploitation divers<sup>3</sup>;
- f) qu'en zone urbaine, l'analyse des relèvements est fondée sur des méthodes probabilistes en raison des effets de la propagation par trajets multiples et d'autres effets locaux. Un traitement statistique de relèvements obtenus en continu par des stations de contrôle mobiles simplifie la localisation des sources d'émissions radio grâce à la procédure de radioralliement<sup>4</sup>;
- g) que les données de qualité de fonctionnement figurant dans les spécifications des équipements de radiogoniométrie reflètent habituellement des conditions de test idéales et n'intègrent pas les effets des obstacles, réflexions et signaux RF perturbateurs rencontrés au niveau du site d'installation final<sup>5</sup>;
- h) que les procédures de test des systèmes de radiogoniométrie mobiles dans des conditions (OATS) idéales seront similaires à celles des systèmes de radiogoniométrie fixes,

*recommande*

- 1** que les procédures de test définies en l'espèce par le Rapport UIT-R SM.2125 puissent être utilisées pour évaluer la précision d'un système de radiogoniométrie dans son environnement RF réaliste;
- 2** que les procédures de test définies en l'espèce par la Recommandation UIT-R SM.2096 puissent être utilisées pour tester et communiquer la sensibilité radiogoniométrique de systèmes radiogoniométriques mobiles;
- 3** que les procédures de test définies en l'espèce par la Recommandation UIT-R SM.2061 puissent être utilisées pour tester et communiquer l'immunité d'un système mobile à la propagation par trajets multiples;

---

<sup>1</sup> Rapport UIT-R SM.2125.

<sup>2</sup> Manuel de l'UIT sur le contrôle du spectre (§ 4.7.2.1.1).

<sup>3</sup> Manuel de l'UIT sur le contrôle du spectre (§ 4.7.2.2).

<sup>4</sup> Manuel de l'UIT sur le contrôle du spectre (§ 3.6.2.2.5 et 3.6.2.2.6).

<sup>5</sup> Recommandation UIT-R SM.2097.

4 que les procédures de test à l'Annexe 1 puissent être utilisées pour tester la qualité de fonctionnement de systèmes de radiogoniométrie mobiles dans des environnements d'exploitation réels et communiquer les résultats à l'administration utilisatrice et, qu'en outre, on puisse s'en servir dans le cadre d'un test d'évaluation lors d'un appel d'offres ou d'un test d'acceptation pour des services de contrôle des émissions après l'acquisition.

## Annexe 1

### Évaluation de la qualité de fonctionnement des unités de radiogoniométrie mobiles dans leur environnement d'exploitation

#### TABLE DES MATIÈRES

	<i>Page</i>
1 Introduction .....	3
2 Considérations générales .....	5
2.1 Montage utilisé pour les mesures .....	6
3 Procédures de test .....	7
3.1 Évaluation du mode de radiorallieement (méthode recommandée) .....	7
3.1.1 Considérations générales.....	7
3.1.2 Radiorallieement suivant un itinéraire prédéfini .....	8
3.1.3 Radiorallieement en conditions réelles – localisation de cibles .....	12
3.2 Évaluation du mode distance fixe (méthode alternative).....	17
3.2.1 Montage utilisé pour les mesures.....	17
3.2.2 Méthodes de mesure.....	19
3.2.3 Analyse des données d'essai.....	20
4 Présentation des résultats.....	25

#### 1 Introduction

Les radiogoniomètres (DF) mobiles sont probablement les outils les plus efficaces pour localiser la source des brouillages préjudiciables et pour repérer des émetteurs non autorisés. Parallèlement, ces équipements sont souvent l'un des outils les plus coûteux d'un service de contrôle des émissions.

Les caractéristiques principales d'un radiogoniomètre sont:

- sa précision;
- sa sensibilité;

- son immunité aux fronts d'ondes déformés;
- son insensibilité à la dépolarisation;
- les effets d'un brouillage sur le même canal;
- sa résistance à la désensibilisation des récepteurs;
- la durée de signal minimale.

La plupart des caractéristiques ci-dessus peuvent être évaluées dans un site d'essai à ciel ouvert (OATS, *open air test site*) en utilisant des fréquences particulières garantissant que les mesures ne seront pas perturbées par des réflexions sur des obstacles situés à proximité, du bruit ambiant ou d'autres signaux radioélectriques (Recommandations UIT-R SM.2060 et UIT-R SM.2061), ou mesurées au moyen d'un simulateur (Rapport UIT R SM.2354). Les méthodes présentées dans le Rapport UIT-R SM.2125-1 et la Recommandation UIT-R SM.2096 peuvent être employées pour déterminer la précision de l'instrument et la "sensibilité systémique".

En environnement "propre" (laboratoire, chambre anéchoïque, OATS), la plupart des systèmes de radiogoniométrie offrent une qualité de fonctionnement excellente, ce qui ne permet pas de les différencier. Le risque est qu'une administration peut acquérir un système qui aura subi brillamment les tests de laboratoire, pour découvrir plus tard qu'il ne fonctionne tout simplement pas bien dans la réalité<sup>6</sup>. Cette "précision du système" ne correspond donc pas toujours à une mesure des performances d'un système de radiogoniométrie dans des conditions d'exploitation réelles. Toutefois, des valeurs de "précision du système" figurent habituellement dans les notices d'utilisation et peuvent servir de base de comparaison pour les tests de "précision opérationnelle" effectués pour la validation sur site, ainsi que pour comparer les tests d'"immunité des radiogoniomètres" à la propagation par trajets multiples dans des conditions maîtrisées de propagation par trajets multiples.

Les tests en environnement réel servent principalement à déterminer la "qualité de fonctionnement opérationnelle" ou la "qualité de fonctionnement globale" du système dans des conditions d'exploitation réelles, de préférence dans des lieux représentatifs de l'utilisation du système par l'administration qui l'aura acquis. Ils peuvent s'inscrire dans des essais d'évaluation dans le cadre d'un appel d'offre, ou servir de méthode visant à faciliter le choix de l'outil le plus adapté à un besoin particulier par une administration.

La présente Recommandation propose des procédures de test générales pouvant être utilisées pour évaluer, dans un environnement RF réaliste, les performances radiogoniométriques d'un système de radiogoniométrie automatique non fixe placé sur un véhicule en mouvement, dit "unité DF mobile"<sup>7</sup>.

Les tests décrits ici ont pour but d'évaluer les performances radiogoniométriques globales dans l'environnement RF où il est prévu d'exploiter une unité DF mobile donnée. Cet environnement inclut les effets des bâtiments environnants, les obstacles, les réflexions sur des objets voisins et mobiles, un rapport signal/bruit faible (en raison d'un signal de faible niveau ou d'un plancher de bruit élevé), les émissions sur le même canal et sur des canaux adjacents et, parfois, la présence de signaux RF de forte puissance. Dans ces conditions les plus communément appliquées, l'administration peut donc choisir la méthode de test qu'il convient d'utiliser en fonction des besoins réels et des caractéristiques de l'unité DF mobile elle-même.

Il convient de noter que les résultats de performances radiogoniométriques mesurés en appliquant les méthodes décrites dans la présente Recommandation concernent uniquement l'unité DF mobile

---

<sup>6</sup> Rapport UIT-R SM.2125-1.

<sup>7</sup> Recommandation UIT-R SM.1723-2.

mesurée et qu'ils ne sauraient être appliqués à d'autres systèmes DF mobiles, y compris de même type, dans des environnements RF différents.

Bien que les présentes procédures permettent à une administration de comparer la qualité de fonctionnement de systèmes DF mobiles de différents fabricants en les testant en un même lieu, avec des paramètres de signaux identiques en fréquence, puissance et modulation, ces procédures ne sauraient être utilisées pour comparer les performances de systèmes radiogoniométriques testés par différentes administrations en des lieux différents.

## 2 Considérations générales

On considère que les spécifications en matière de précision, de sensibilité, d'immunité aux fronts d'ondes déformés, d'insensibilité à la dépolarisation, de brouillage sur le même canal ou des canaux adjacents et de résistance à la désensibilisation des récepteurs sont testées individuellement et évaluées dans un environnement propre; les valeurs correspondantes figurent dans le manuel technique livré avec l'unité DF mobile.

Une unité DF mobile opérationnelle est censée répondre à différentes conditions et exigences en divers lieux d'exploitation. Dans cette perspective:

- a) On pourra envisager différents environnements géographiques typiques, à savoir:
  - Terrain dégagé: absence de construction, végétation de faible hauteur.
  - Zone rurale: très faible densité de construction, bâti de faible hauteur.
  - Zone résidentielle: densité de construction moyenne avec quelques espaces dégagés, hauteur de construction moyenne.
  - Zone urbaine: forte densité de construction, avec un rapport hauteur de construction sur largeur des rues élevé.
  - Terrain vallonné.
- b) Différents types de signaux caractéristiques pourront être étudiés:
  - Porteuse non modulée.
  - Modulation en bande étroite – bande large.
  - Modulation analogique – numérique.
- c) On envisagera différents types de conditions RF:
  - Brouillage sur le même canal.
  - Brouillage sur des canaux adjacents.
  - Plancher de bruit élevé.
  - Émissions de forte puissance.
- d) Différentes bandes de fréquence pourront être sélectionnées pour les essais.

Une unité de radiogoniométrie AoA<sup>8</sup>, indépendamment de la technique employée, du nombre et de la taille des antennes ou du nombre d'éléments par antenne et de leur installation, sur un mât ou un véhicule, de façon permanente ou temporaire, est conçue pour émettre un seul élément en sortie, la ligne de relèvement (LoB, *line of bearing*). Le système d'antennes reçoit le signal étudié et l'unité de radiogoniométrie, en se fondant sur la technique de relèvement adéquate de l'angle d'incidence, calcule la direction de provenance la plus probable du signal (avec un certain degré d'incertitude).

---

<sup>8</sup> *Angle of Arrival*, angle d'incidence.

En pratique, une unité DF mobile peut fonctionner sous deux modes différents<sup>9</sup>:

- a) Mode de radioralliment: le véhicule suit un itinéraire déterminé par les données radiogoniométriques collectées, afin de géolocaliser l'émetteur. En conditions urbaines, l'analyse du relèvement repose sur des méthodes probabilistes, en raison des effets de propagation par trajets multiples et d'autres effets locaux. Un traitement statistique des relèvements obtenus en continu par des stations de contrôle mobiles simplifie cette procédure. Les logiciels utilisés font partie intégrante de l'unité DF mobile.
- b) Mode à distance fixe: consiste à obtenir plusieurs mesures distinctes de la LoB<sup>10</sup> à partir d'emplacements fixes, situés à des distances adéquates de l'émetteur utilisé d'essai. Des mesures successives pourront être effectuées en différents emplacements, avec une unité DF mobile *a minima*; ces mesures sont ensuite combinées au moyen de méthodes de triangulation classiques à des fins de géolocalisation.

En fonction des critères de l'administration adjudicatrice à l'achat, il conviendra d'évaluer la qualité de fonctionnement d'une unité DF mobile dans l'un, ou les deux modes ci-dessus, dans différents environnements d'intérêt représentatifs.

Deux procédures d'évaluation alternatives sont ainsi proposées, visant à permettre à l'administration adjudicatrice d'obtenir une compréhension complète des capacités et de la qualité de fonctionnement des unités DF mobiles, dans les conditions RF et les environnements d'intérêt:

- a) Évaluation du mode radioralliment.
- b) Évaluation du mode de relèvement à distance fixe.

## 2.1 Montage utilisé pour les mesures

L'équipement d'essai doit être préparé en vue des évaluations/tests sur le terrain. Il comprend des émetteurs d'essai, qui sont utilisés pour générer des ondes entretenues et des signaux modulés dans la gamme de fréquences à laquelle on s'intéresse, avec une puissance permettant d'atteindre le rapport signal/bruit reçu ou l'intensité de champ souhaités<sup>11, 12</sup>.

La polarisation de l'antenne de l'émetteur utilisé pour les tests devrait correspondre à la polarisation de l'unité DF mobile testée. Tous les principaux angles de polarisation pris en charge par l'antenne de radiogoniométrie devraient être testés au moyen d'antennes d'émission à polarisation unique. La polarisation utilisée devrait être indiquée dans le rapport de test.

Avant de commencer les mesures, il convient d'étalonner/d'installer l'unité DF mobile conformément aux instructions du fabricant. Il convient ensuite de vérifier rapidement le bon fonctionnement de l'unité en déplaçant un émetteur d'essai, émettant à la fréquence centrale de l'antenne de radiogoniométrie, autour de l'unité DF et de s'assurer que la ligne de relèvement suit l'émetteur en mouvement, ce qui permet de vérifier que le système est opérationnel.

---

<sup>9</sup> Manuel de l'UIT sur le contrôle du spectre (voir le § 4.7.3.3).

<sup>10</sup> *Line of Bearing*, ligne de relèvement.

<sup>11</sup> Quand les possibilités d'utiliser des cibles d'opportunité pour évaluer la qualité de fonctionnement de l'unité DF mobile sur différents types de modulation sont peu nombreuses, l'équipement pourrait comprendre des émetteurs d'essai et des générateurs de modulation pour générer des signaux associant des types de modulation clés (tant analogiques que numériques) et une gamme de largeurs de bande d'émission (par exemple bande étroite, bande moyenne et bande large dans la gamme de 10 kHz à 20 MHz).

<sup>12</sup> NOTE: il serait recommandé d'effectuer les tests à un rapport signal/bruit convenu équivalent à la force minimale du signal annoncée par le fabricant à laquelle la précision spécifiée est atteinte.



Les fréquences choisies devraient être bien réparties à l'intérieur des gammes de fréquences d'intérêt (spécifiées par le fabricant). Le nombre de signaux choisis, associant différentes fréquences et modulations, peut être généré par des émetteurs d'essai ou des cibles d'opportunité couvrant les services qui intéressent l'administration adjudicatrice et sont représentatifs de l'environnement d'essai<sup>13</sup>.

La méthode de sélection des fréquences d'essai pourra être celle de la Recommandation UIT-R SM.2060 (le nombre final des fréquences d'essai peut être limité par des restrictions associées aux licences ou par d'autres facteurs)<sup>14</sup>.

Il convient de prendre toutes les mesures nécessaires pour assurer la précision des données de direction et de localisation. Si un compas embarqué ne fournit pas d'informations suffisamment précises sur le cap, il convient, pour garantir la précision de direction du système DF basé sur le GNSS, de conduire l'unité mobile en ligne droite à vitesse constante (environ 20 km/h) pendant 10 secondes, avant de la garer, sans manœuvres finales de stationnement, sur le lieu de mesure. En dehors des antennes RF, des références peuvent être utilisées pour assurer/valider la précision des données de direction et de localisation : points de repère, cartes numériques, images satellite, odomètre, compas, matériel de lever topographique basé sur le GNSS, etc.

Toutes les configurations de l'essai (type du signal d'essai, largeur de bande du radiogoniomètre, angle du point d'essai, distance, etc.) devraient être consignées dans le rapport.

Enfin, l'équipement d'essai (émetteur, antennes d'émission, etc.) devrait être étalonné à intervalles réguliers de façon à garantir que les données recueillies sont valides.

Les procédures ci-après peuvent servir de méthode permettant à l'administration d'évaluer la qualité de fonctionnement de n'importe quelle unité DF mobile dans les environnements auxquels on s'intéresse. Elles ne sont pas destinées à établir un classement des systèmes de radiogoniométrie mobiles, mais plutôt à évaluer, par des mesures quantitatives et qualitatives, comment une unité DF mobile se comportera dans différents environnements types et sous différentes bandes de fréquence et modulations qui intéressent l'administration particulière qui souhaite utiliser l'équipement le plus approprié pour ses besoins spécifiques.

### **3 Procédures de test**

#### **3.1 Évaluation du mode de radioralliement (méthode recommandée)**

##### **3.1.1 Considérations générales**

Une unité DF mobile est l'outil employé pour rechercher et résoudre les situations de brouillage et d'émissions non autorisées, dans un contexte généralement urgent. La capacité d'une unité DF mobile à localiser la source recherchée en suivant, en se déplaçant, la ligne de relèvement instantanée ou moyenne dans sa direction, représente un avantage majeur par rapport aux stations de radiogoniométrie fixes.

---

<sup>13</sup> D'un commun accord entre les administrations et les fabricants, on pourra spécifier des essais de certains types de signaux modulés.

<sup>14</sup> Lors du choix des fréquences, il est important de prendre en compte la possibilité de disposer de licences de test. Il convient d'éviter les fréquences susceptibles d'être utilisées à proximité de la zone d'essai (si on peut les capter dans la zone d'essai), et de noter que dans de nombreux pays les fréquences sont soumises à licence, même pour un usage temporaire. C'est particulièrement vrai en zone urbaine, où des restrictions peuvent s'appliquer aux fréquences et bandes de fréquences disponibles pour tester les systèmes de radiogoniométrie.

Les conditions d'exploitation d'une unité DF mobile sont toutefois beaucoup plus contraignantes que celles d'une station fixe:

- environnement de propagation très changeant, allant de la visibilité directe à une situation de forte diffusion de Rayleigh;
- environnement RF variable d'un lieu à un autre (plancher de bruit élevé, signaux à très forte grandeur de champ);
- rapport signal/bruit variable en fonction de la distance à la cible et des conditions RF locales;
- existence de transmissions à la même fréquence ou sur des canaux adjacents, sans respect des ratios de protection.

L'unité DF mobile testée devra localiser un certain nombre de cibles, dans un certain type d'environnement physique et radiofréquence. L'administration adjudicatrice peut définir les cibles, soit en installant des émetteurs en vue du test, soit en recourant à des cibles d'opportunité. Chaque cible est réglée sur une combinaison fréquence-modulation différente (avec et sans brouillage sur le même canal ou sur des canaux adjacents).

La combinaison des conditions de mesure sera choisie au mieux par l'administration adjudicatrice par rapport à ses besoins. Si plusieurs systèmes sont évalués, chaque unité DF mobile devrait être évaluée en utilisant les mêmes conditions de mesure.

### **3.1.2 Radioralliment suivant un itinéraire prédéfini**

Il s'agit ici de tester les performances de radioralliment des unités DF mobiles dans des conditions contrôlées. L'administration adjudicatrice, en appliquant les procédures ci-après, sera en mesure d'évaluer quantitativement les performances de radioralliment d'une unité DF mobile en sélectionnant différents paramètres et environnements contrôlés.

#### **Étape 1**

Il convient de définir un itinéraire prédéfini qui circonscrit une zone donnée. Différents types de scénarios peuvent être sélectionnés (terrain dégagé, constructions de faible hauteur, zone urbaine dense, etc.). La cible se trouve à l'intérieur de la zone circonscrite par l'itinéraire prédéfini. La Figure 1 présente un exemple d'itinéraire faisant le tour d'un quartier composé de constructions de faible hauteur.

FIGURE 1



SM.2140-01

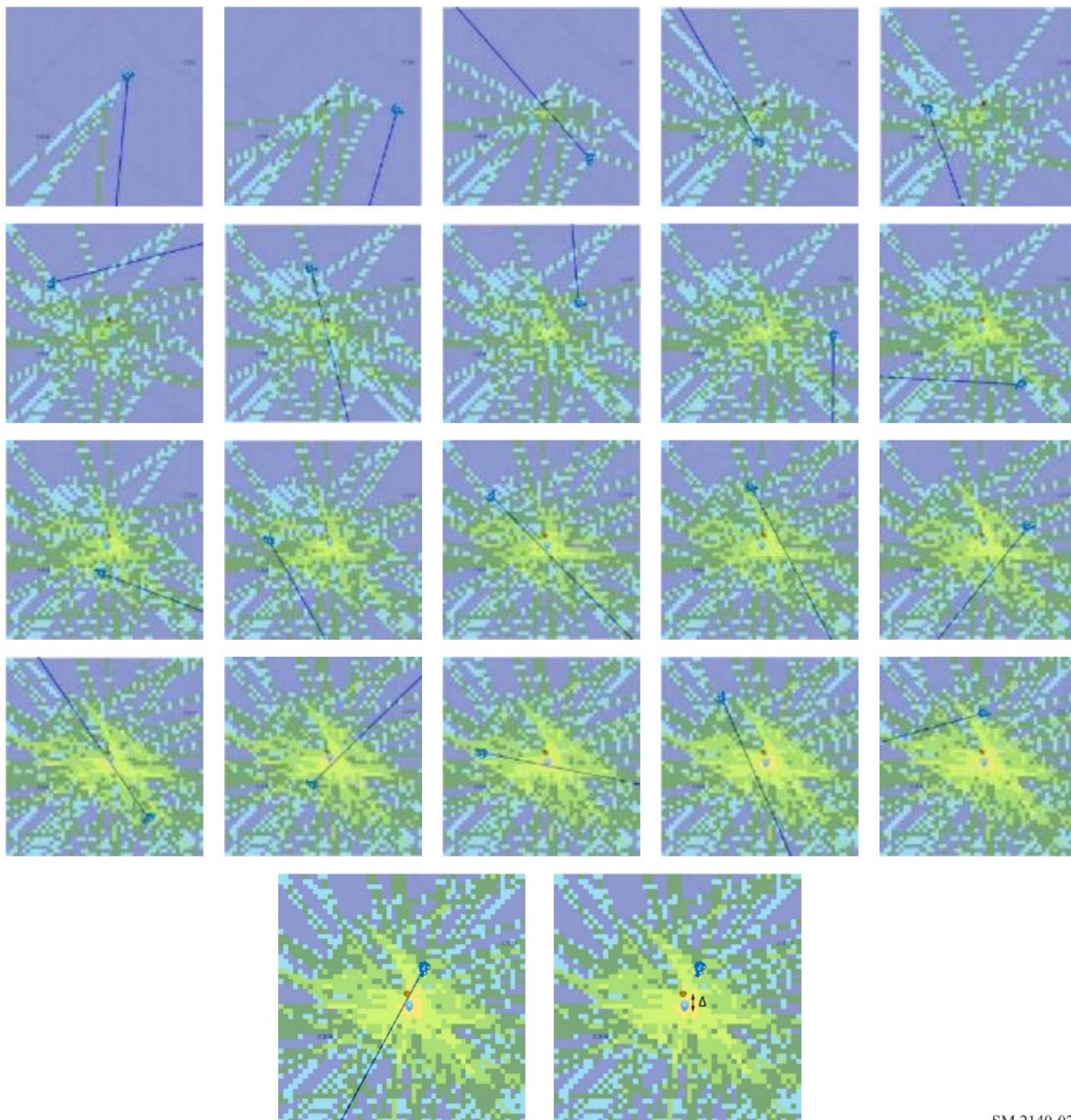
## Étape 2

L'unité DF mobile testée parcourt l'itinéraire prédéfini. Il convient de s'assurer que l'unité peut recevoir le signal avec un rapport signal/bruit suffisant (20 dB) sur la majeure partie de l'itinéraire. Pendant le trajet, le logiciel de positionnement fonctionne en mode automatique, sans aucune intervention manuelle. L'unité DF mobile doit parcourir au moins une fois l'itinéraire prédéfini, mais pour éliminer les facteurs aléatoires et rendre le test plus répétitif, il est fortement conseillé de réaliser le parcours choisi au moins trois fois. La Figure 2 illustre le processus de positionnement d'un logiciel typique.

## Étape 3

Une fois le trajet effectué, le logiciel de positionnement délivre en sortie l'emplacement de l'émetteur. Il convient alors de noter l'erreur de positionnement.

FIGURE 2



SM.2140-02

#### Étape 4

Sélectionner différentes combinaisons de conditions opératoires et effectuer plusieurs tests (cette étape facultative s'effectue en sélectionnant des combinaisons de conditions opératoires correspondant à l'utilisation réelle par l'administration adjudicatrice).

Il est possible de sélectionner différentes combinaisons de paramètres:

- bande de fréquences;
- modulation;
- conditions météorologiques;
- nombre de parcours autour de la cible;
- vitesse de conduite.

Les résultats du test de radorallieement suivant un itinéraire prédéfini peuvent être présentés comme illustré dans le tableau suivant.

TABLEAU 1

**Résultats du test de radorallieement suivant un itinéraire prédéfini**

Scénario de terrain	Fréquence	Modulation	Météo	Nombre de tours	Vitesse (km/h)	Erreur de position (mètre)

Scénario de terrain: terrain dégagé, constructions de faible hauteur, zone urbaine dense, etc.

Fréquence: fréquence centrale et largeur de bande

Modulation: modulation du signal

Météo: conditions météorologiques et température pendant le test (par exemple: ensoleillé, 31°C).

Nombre de tours: nombre de parcours effectués autour de la cible.

Vitesse: vitesse de conduite.

Erreur de position: distance entre la meilleure position donnée par le logiciel et la position réelle.

**Traitement des données de test**

Il est possible de calculer la valeur moyenne de l'erreur de position (en mètres), l'écart-type et la moyenne quadratique de l'erreur de position.

$$\hat{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (1a)$$

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \hat{x})^2}{n-1}} \quad (1b)$$

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{n}} \quad (1c)$$

où:

$\hat{x}$  moyenne

$\hat{\sigma}$  écart-type

$RMS$  moyenne quadratique

$x_i$  erreur de position pour le  $i$ ème échantillon

$n$  nombre d'échantillons.

**Règles d'évaluation à titre de référence**

- plus la moyenne arithmétique et la moyenne quadratique de l'erreur de position sont faibles, meilleures sont les performances;
- plus l'écart-type de l'erreur de position est faible, plus l'unité DF mobile produit des résultats cohérents dans des conditions de test différentes.

Il est essentiel que l'administration adjudicatrice évalue si l'écart sur le positionnement mesuré est acceptable. En règle générale, l'écart de positionnement devra être suffisamment faible pour faciliter la recherche du dispositif portatif ou la recherche visuelle, par exemple inférieur à 200 ou 300 mètres.

### 3.1.3 Radiorallieement en conditions réelles – localisation de cibles

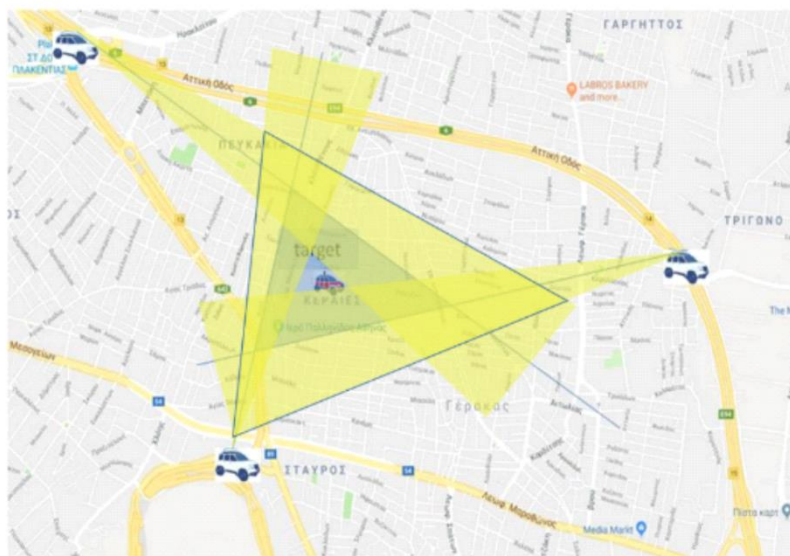
Il s'agit de tester effectivement les performances de radiorallieement des unités DF mobiles dans des conditions d'exploitation réelles.

L'unité DF mobile testée devra localiser un certain nombre de cibles, dans un certain type d'environnement géographique et de radiofréquence, et pour des combinaisons de fréquence et de modulation définies.

L'administration peut mettre en place les scénarios suivants:

- A) **Triangulation en trois points:** on pourra sélectionner trois emplacements jouissant d'une visibilité directe de la cible. L'unité DF mobile sera stationnée en conséquence à ces trois emplacements et effectuera des mesures de la ligne de relèvement en mode distance fixe. Les résultats de ces trois mesures serviront à effectuer une triangulation pour identifier l'aire du polygone dans laquelle est potentiellement installée la cible. Le niveau de signal de la cible au niveau de ces emplacements de mesure devrait être suffisamment élevé au-dessus du plancher de bruit pour obtenir une mesure de bonne qualité de la ligne de relèvement<sup>15</sup>.

FIGURE 3



SM.2140-03

On présentera le triangle obtenu pour chaque cible sur une carte intégrée au rapport final. L'aire du polygone en (m<sup>2</sup>), si elle contient la cible, peut constituer une autre mesure de la qualité de fonctionnement de l'unité DF mobile (voir la Fig. 3).

- B) **Radiorallieement à l'aveugle:** l'administration indique sur une carte les polygones contenant les emplacements des cibles et définit le point de départ dans un angle de la zone de recherche (voir la Fig. 4).

<sup>15</sup> SNR = 20 dB (il est habituellement plus faible lorsqu'une unité DF mobile essaie de localiser une source de brouillage ou une source d'émission non autorisée).

FIGURE 4



SM.2140-04

L'unité DF mobile peut alors démarrer la procédure de radioralliement. Comme précédemment décrit, une unité DF mobile acquiert en continu les relèvements à mesure qu'elle se déplace pour localiser la cible. L'analyse des relèvements repose sur des méthodes probabilistes, en raison des effets de la propagation par trajets multiples et d'autres effets locaux. L'emploi du logiciel adéquat simplifie la procédure de radioralliement et l'unité DF mobile est conduite en direction de la zone où se trouve le plus probablement la cible.

Le logiciel d'analyse des relèvements est habituellement propre au fabricant du radiogoniomètre et il fait partie intégrante de l'unité, au même titre que l'antenne, le récepteur et la méthodologie de radiogoniométrie. Il convient que le conducteur de l'unité DF mobile suive les indications générales données par ce logiciel (en respectant la signalisation routière), sans intervention des éventuels techniciens présents à bord. Dans tous les cas, il convient de respecter le code de la route et de conduire le véhicule à une vitesse allant de 20 à 40 km/h.

La puissance émise est réglée suffisamment haut pour obtenir un rapport signal/bruit de 20 dB au point de départ de chaque procédure de radioralliement.

On notera les directions données par le logiciel d'analyse des relèvements et l'itinéraire suivi par le véhicule à des fins de traitement et d'évaluation.

Le logiciel de géolocalisation affichera à l'écran la direction estimée dans laquelle il convient de conduire l'unité DF mobile, et indiquera au terme de la recherche une estimation de l'emplacement de la cible sous forme d'images similaires à celles présentées à la Fig. 5 ou la Fig. 6.

FIGURE 5

Emploi d'une carte thermique pour indiquer l'emplacement le plus probable de la cible pendant une opération de radioraliement

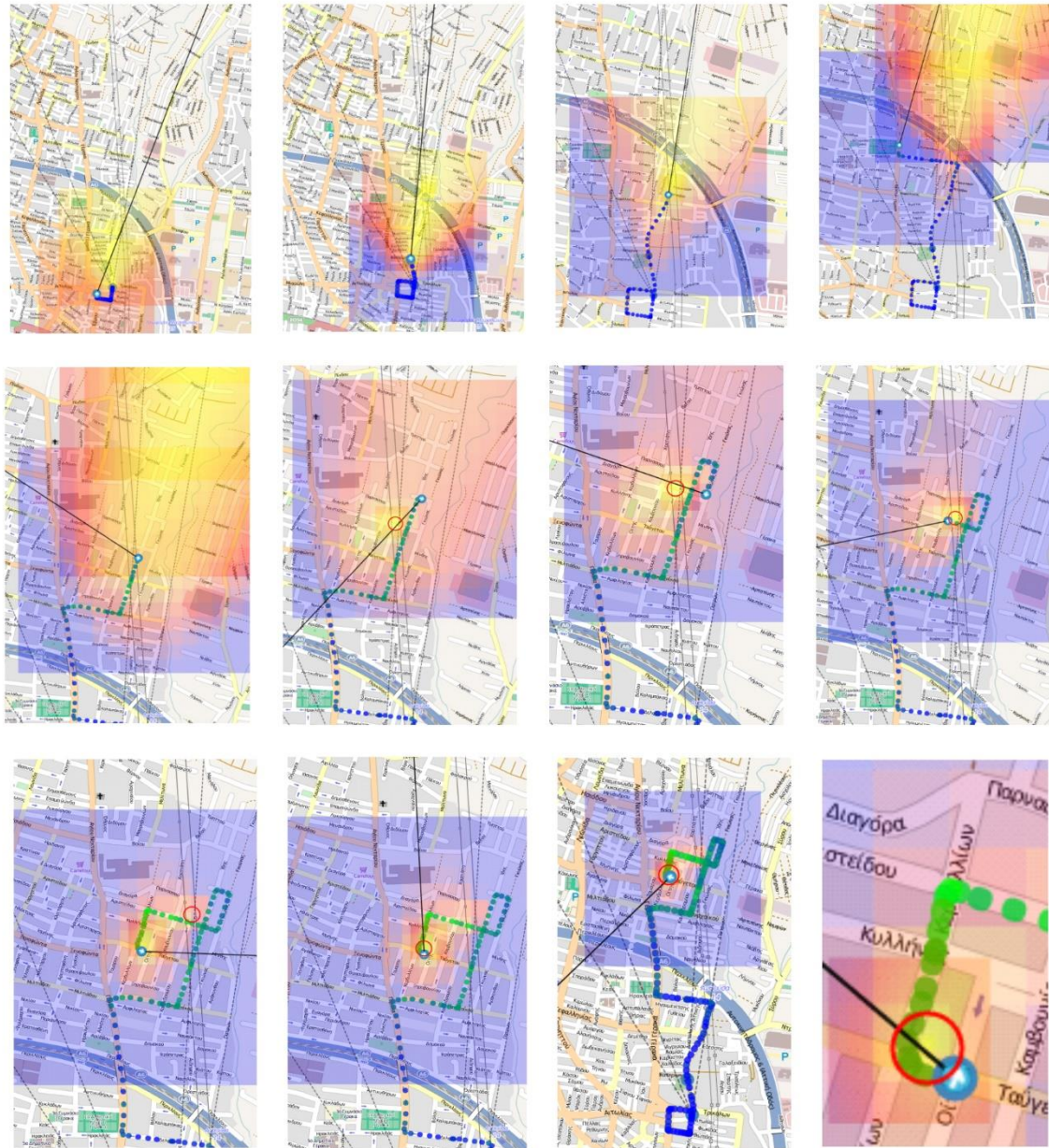
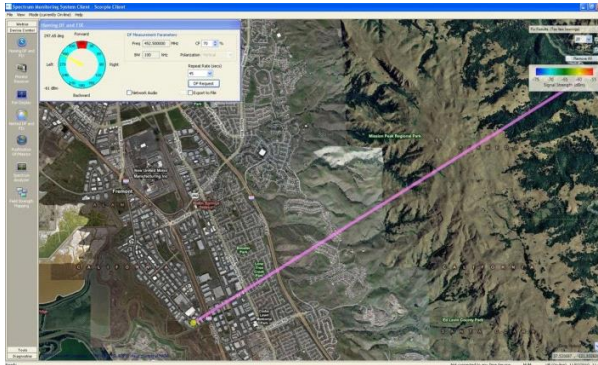


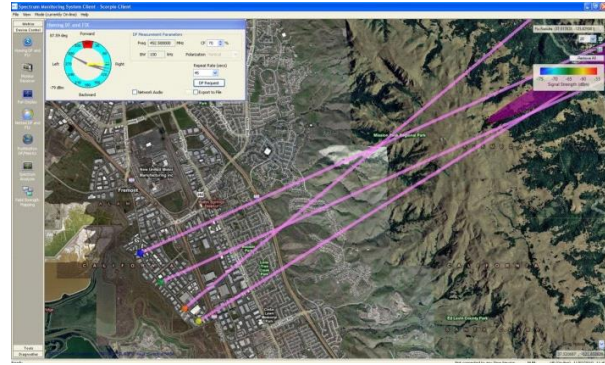


FIGURE 6

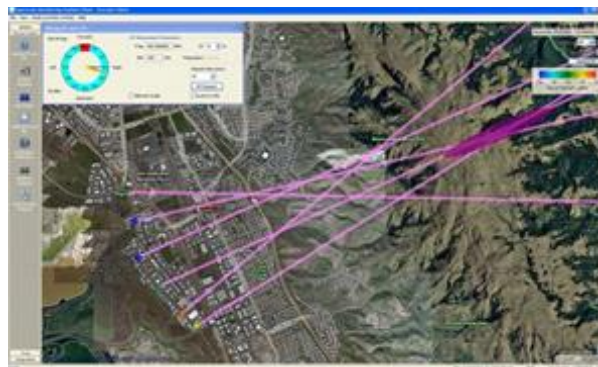
**Emploi d'une ellipse d'incertitude pour indiquer l'emplacement le plus probable de la cible pendant une opération de radioraliement**



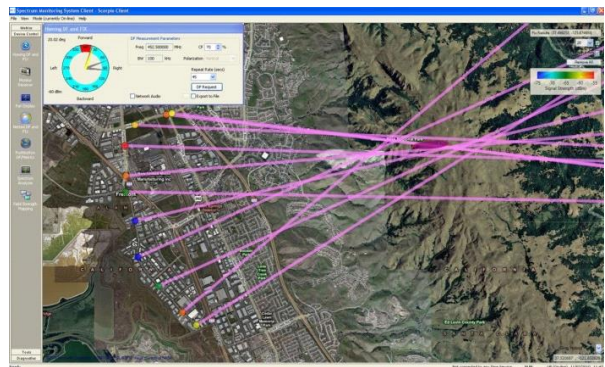
(I) Capture initiale de la cible à localiser



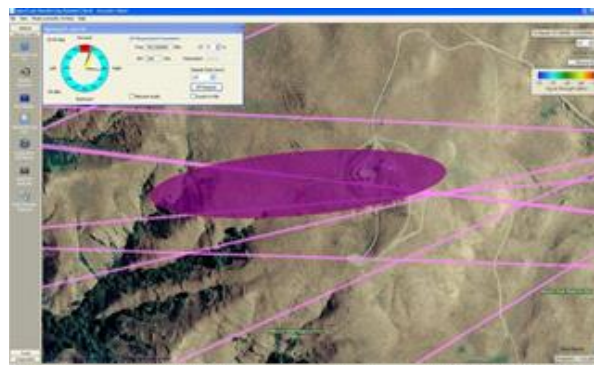
(ii) Après un premier déplacement et recueil de données



(iii) Après s'être déplacé de nouveau et avoir recueilli de plus amples données



(iv) Après s'être rapproché quelque peu de la cible



(v) Zoom sur l'ellipse d'incertitude; la cible se trouve à proximité ou dans le bâtiment situé dans l'ellipse

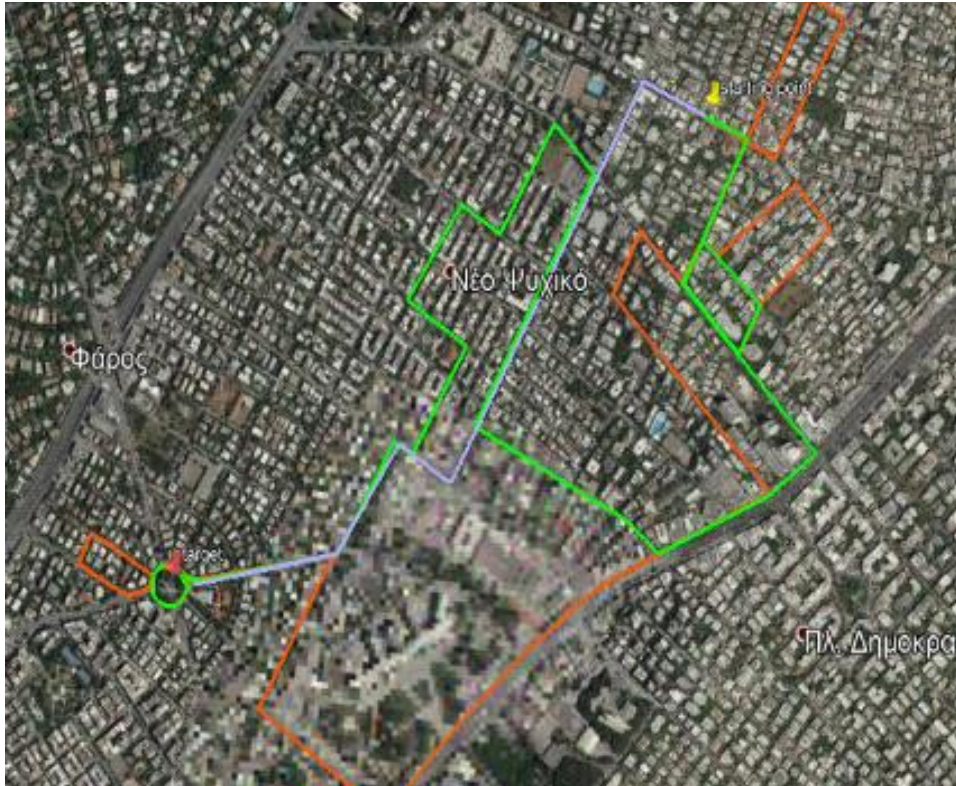
SM.2140-06

On considère que l'on a localisé l'émetteur lorsque les opérateurs du système de radiogoniométrie identifient le bâtiment dans lequel se trouve l'émetteur, ou qu'ils ont localisé le véhicule équipé de l'antenne d'émission. C'est habituellement le cas lorsque l'emplacement suggéré apparaît dans la couleur la plus chaude de la palette utilisée et qu'il est entièrement entouré de couleurs plus froides (si le logiciel utilise une carte thermique pour représenter la direction possible de la cible et son emplacement estimé) et/ou qu'il se trouve à l'intérieur de l'ellipse d'incertitude (si le logiciel utilise une ellipse d'erreur pour représenter l'emplacement estimé de la cible).

On enregistre à la fin de chaque trajet la distance parcourue par l'unité DF mobile.

Les résultats du test de radioralliement peuvent être présentés comme illustré dans le Tableau 2. La Figure 7 présente la qualité de fonctionnement de deux unités DF mobiles différentes dans un environnement urbain dense (tracés rouge et vert). Le tracé en bleu représente l'itinéraire le plus court calculé entre le point de départ et la cible.

FIGURE 7



SM.2140-07

TABLEAU 2

Résultats du test de radioralliement à l'aveugle

Lieu	Fréquence (MHz)	Modulation	Type d'environnement	Informations sur l'emplacement de la cible	Plus courte distance (m)		Distance parcourue (m)		Résultat	
					DF 1	DF 2	DF 1	DF 2	DF 1	DF 2

Lieu: endroit où s'est déroulé le radioralliement (par exemple, Athènes)

Type d'environnement: dépend de la densité des obstacles (urbain, rural, résidentiel, etc.).

Fréquence: désigne la fréquence du signal émis par la cible.

Modulation: désigne le type de modulation du signal émis (ondes entretenues, modulation de fréquence, etc.).

Informations sur l'emplacement de la cible: elles peuvent être connues ou non connues.

Plus courte distance: désigne la distance la plus courte sur la carte, en suivant les routes existantes, entre le point de départ du radioralliement et la cible.

Distance parcourue: désigne la distance réellement parcourue par l'unité DF mobile depuis le point de départ du radioralliement jusqu'à la localisation finale de la cible, en empruntant les routes existantes et en respectant le code de la route.

Résultat: cible trouvée ou non.

### 3.2 Évaluation du mode distance fixe (méthode alternative)

Le test en mode distance fixe a pour objectif de caractériser la réponse typique d'une unité DF mobile dans différents types d'environnements réels, cette fonctionnalité des unités DF mobiles étant décrite dans la documentation de l'UIT<sup>16</sup>. On demandera dans de nombreux cas à une unité DF mobile de rechercher la cause possible d'un brouillage dans une région non couverte par un réseau de surveillance fixe. Un ensemble initial constitué d'au moins trois mesures de relèvement à distance fixe, en des lieux judicieusement choisis (à une distance adéquate de l'émetteur en question), peuvent aider à géolocaliser la source du brouillage<sup>17</sup> (voir la Fig. 3).

On aura idéalement déterminé les paramètres techniques de l'unité DF mobile testée conformément au Rapport UIT-R SM.2125. Les tests décrits dans les paragraphes suivants s'appuient également sur les principes du Rapport UIT-R SM.2125 relatifs aux tests en environnement réel.

#### 3.2.1 Montage utilisé pour les mesures

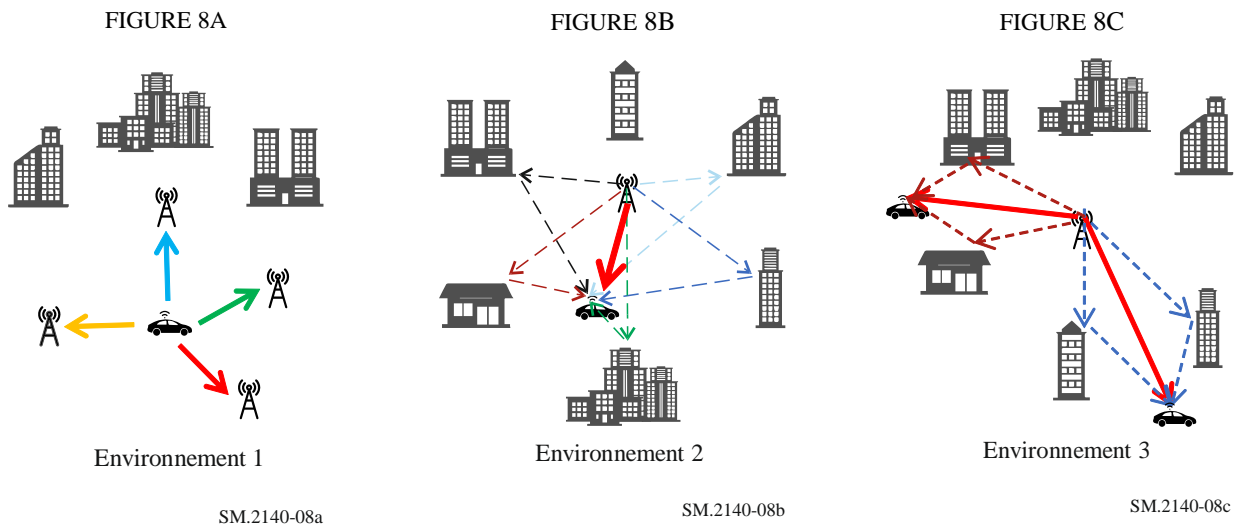
Trois zones d'essai typiques sont proposées:

- 1) Le premier environnement d'essai devrait être exempt d'obstacles entre l'unité DF mobile et l'émetteur (les sources de réflexion seront donc peu nombreuses et distantes de l'émetteur). Le trajet direct dénué d'obstacles entre l'émetteur et l'antenne de réception du radiogoniomètre est prédominant (Fig. 8a). La qualité de fonctionnement dans cet environnement peut servir de référence et représente un environnement typique dans lequel il n'existe aucune obstruction entre l'émetteur et l'unité DF mobile.
- 2) Le deuxième environnement d'essai devrait comporter un trajet direct dénué d'obstacles entre l'émetteur et l'unité DF mobile, ainsi que quelques réflexions provenant principalement d'obstacles situés derrière l'unité, comme illustré à la Fig. 8b.
- 3) Le troisième environnement d'essai devrait comporter des sources de réflexion autour de l'unité DF mobile, un trajet direct dénué d'obstacles existant également entre l'émetteur et l'unité DF mobile. Les réflexions provenant d'obstacles entre l'émetteur et l'unité DF mobile sont prédominantes (Fig. 8c).

---

<sup>16</sup> Manuel de l'UIT sur le contrôle du spectre (voir le § 4.7.3.3).

<sup>17</sup> Manuel de l'UIT sur le contrôle du spectre (voir le § 4.7.3.1).



L'équipement de radiogoniométrie testé devrait être installé dans un véhicule doté d'un système GPS et d'une source d'alimentation appropriée, lequel véhicule se rendra dans les trois environnements. Chaque emplacement d'essai devrait se trouver à l'intérieur de la zone de couverture calculée de l'émetteur d'essai. On demandera en règle générale à l'unité DF mobile d'effectuer des mesures de relèvement depuis au moins huit (8) emplacements différents autour de la cible, par bande de fréquence d'intérêt et par environnement d'essai. La répartition azimutale des emplacements d'essai n'a pas d'importance si chaque environnement est conforme aux spécificités requises.

Pour le premier environnement d'essai, l'exigence est d'avoir un trajet direct dénué d'obstacles prédominant entre l'émetteur et l'unité DF mobile, sans aucun obstacle à proximité, de façon à éviter toute réception par trajets multiples importante.

Le deuxième environnement d'essai doit comporter un trajet direct dénué d'obstacles entre l'émetteur et l'unité DF mobile, ainsi que des réflexions provenant uniquement d'obstacles et de sources de réflexion entourant l'émetteur et l'unité DF mobile. Les emplacements d'essai devraient de préférence se trouver à des distances différentes de l'émetteur, dans la mesure du possible. L'emplacement d'essai situé le plus loin devrait être à la limite de la couverture permettant d'assurer un rapport signal/bruit de 20 dB au-dessus de la grandeur de champ minimum spécifiée. S'agissant de l'emplacement d'essai situé le plus près, il suffira d'être dans le champ lointain.

L'exigence principale, pour le troisième environnement d'essai, est qu'il comporte un trajet direct dénué d'obstacles entre l'émetteur et l'unité DF mobile, ainsi que des obstacles générateurs de réflexion placés entre l'émetteur et l'unité DF mobile. Les réflexions peuvent dans ce cas être considérées comme dominantes. Les emplacements d'essai devraient de préférence se trouver à des distances différentes de l'émetteur, dans la mesure du possible. L'emplacement d'essai situé le plus loin devrait être à la limite de la couverture permettant d'assurer un rapport signal/bruit de 20 dB ou la grandeur de champ minimum convenue. S'agissant de l'emplacement d'essai situé le plus près, il suffira d'être dans le champ lointain.

Le test pourrait être effectué avec des signaux modulés ou non modulés (en ondes entretenues) provenant de l'émetteur d'essai ou des cibles d'opportunité. Les cibles d'opportunité devraient comprendre des signaux analogiques et numériques modulés suivant des types de modulation que l'on rencontre couramment dans les signaux devant être reçus par le système radiogoniométrique installé et courants dans l'environnement d'exploitation.

Si l'essai est réalisé au moyen de porteuses non modulées, la largeur de bande du radiogoniomètre sera fixée à une valeur conforme à la Recommandation UIT-R SM.2060. Si l'essai est réalisé au moyen d'un signal avec modulation analogique ou numérique, la largeur de bande du radiogoniomètre sera ajustée en fonction de la largeur de bande du signal.

Il incombe à l'administration en charge de l'évaluation de sélectionner les bandes de fréquence et la modulation des signaux d'essai pour ses besoins particuliers.

Toutes les conditions de l'essai (niveau du signal d'essai en  $\mu\text{V/m}$ , SNR, type de signal, type d'environnement, largeur de bande du radiogoniomètre, angle du point d'essai, distance d'essai, types d'antenne, etc.) devraient être consignées dans le rapport d'évaluation des performances.

### 3.2.2 Méthodes de mesure

#### a) Environnement en terrain dégagé

a1) Le test initial a pour but d'évaluer la qualité de fonctionnement d'une unité DF placée sur un certain type de véhicule.

Lorsque l'installation mobile (fixée de façon permanente sur un véhicule) est testée selon la Recommandation UIT-R SM.2097 (tests opérationnels en usine) pour les combinaisons fréquence/modulation requises, et que les données techniques correspondantes sont disponibles, on pourra omettre la présente mesure.

Si l'unité DF est portable et peut donc être montée de façon temporaire sur différents types de véhicules, ou que l'installation fixe n'a pas été testée conformément à la Recommandation UIT-R SM.2097, alors la procédure de la présente rubrique peut être utilisée.

a2) L'unité DF mobile stationne au centre du terrain dégagé et l'émetteur mobile se déplace autour d'elle. On relève les coordonnées géographiques et la ligne de relèvement instantanées. Les mesures sont répétées pour chaque couple de paramètres (fréquence, modulation).

#### b) Autres environnements

Dans cette procédure, l'émetteur est placé en un point fixe au centre de la zone d'essai. Il est également possible d'utiliser une cible d'opportunité s'il en existe une.

Il convient de conduire l'unité DF mobile en différents emplacements autour de l'émetteur, à des distances variables, en assurant la précision des données de direction et de localisation ainsi que décrit plus haut, de façon à mesurer le relèvement en continu. Les coordonnées de chaque mesure de relèvement individuelle doivent être soigneusement notées.

À chaque emplacement d'essai, on ajustera l'élément émetteur pour que le signal reçu soit 20 dB au-dessus du bruit ( $\text{SNR} = 20$ ).

Pour chaque zone d'essai, la ligne de relèvement est enregistrée pendant un laps de temps défini, par exemple 10 minutes. Les valeurs de relèvement et les coordonnées géographiques instantanées sont présentées dans le tableau des résultats (voir le Tableau 1), ce qui permet de calculer l'écart vis-à-vis de la direction réelle de la cible ( $\Delta\text{DF} = \text{LoB} - \text{A}$ ).

Le Tableau 1 est un exemple de tableau de résultats; chaque combinaison environnement/emplacement d'essai/modulation/fréquence donne lieu à un tableau de résultats.

TABLEAU 3

Tableau des données obtenues avec l'échantillon testé

Numéro	Coordonnées	Azimut vrai calculé en direction de la cible (degrés)	Relèvement (LoB, degrés)	$\Delta DF$ calculé = LoB-A (degrés)	$\Delta DF$ calculé =  LoB-A  (degrés)
1	C <sub>1</sub>	TAz <sub>1</sub>	LoB <sub>1</sub>	$\Delta DF_1$	
2	C <sub>2</sub>	TAz <sub>2</sub>	LoB <sub>2</sub>	$\Delta DF_2$	
3	C <sub>3</sub>	TAz <sub>3</sub>	LoB <sub>3</sub>	$\Delta DF_3$	
...	...	...	...	...	
x	C <sub>x</sub>	TAz <sub>x</sub>	LoB <sub>x</sub>	$\Delta DF_x$	

- L'azimut vrai (A) est calculé, à partir de la localisation exacte de l'émetteur sur la carte et des coordonnées exactes de l'unité DF mobile.
- Le relèvement (LoB) est mesuré par l'unité DF mobile.
- $\Delta DF = \text{LoB} - A$

### 3.2.3 Analyse des données d'essai

La procédure présentée peut servir de point de départ pour l'évaluation, par l'administration, de la qualité de fonctionnement de l'unité DF mobile.

L'évaluation des données calculées ( $\Delta DF$ ), à partir des données recueillies (LoB), peut être analysée en deux temps afin de produire une mesure quantitative de la qualité de fonctionnement de l'unité DF mobile dans des environnements réels.

#### Étape 1

Chaque fabricant indique, dans les spécifications techniques de son unité DF mobile, une valeur de précision. Celle-ci est habituellement exprimée en termes de moyenne quadratique pour la totalité de la bande de fonctionnement, ou des sous-bandes de fréquences différentes, quelle que soit la modulation du signal. La valeur provient de tests effectués dans un environnement sans réflexions (habituellement un environnement OATS) et aucune information n'est donnée quant à la taille du jeu de données de mesure, la valeur moyenne et l'écart-type. La précision est souvent caractérisée de "typique" sans plus de détails.

Pour chaque jeu de mesures, on écartera les valeurs aberrantes des mesures radiogoniométriques individuelles en leur appliquant la règle de l'interquartile exprimée dans l'équation (2)

$$\Delta DF_{\text{écartées}} = \begin{cases} \Delta DF > (Q_{75} + 1,5IQR) \\ \Delta DF < (Q_{25} - 1,5IQR) \end{cases} \quad (2)$$

où:

$Q_{75}$ : est la plus basse valeur de  $\Delta DF$  qui est supérieure ou égale à 75% des valeurs mesurées

$$IQR = Q_{75} - Q_{25}$$

$Q_{25}$ : est la plus basse valeur de  $\Delta DF$  qui est supérieure ou égale à 25% des valeurs mesurées

La valeur de  $\Delta DF_{rms}$  attendue sera différente d'un environnement à l'autre. Dans la première zone d'essai, elle devrait être aussi basse que possible (égale, à peu de choses près, à la valeur spécifiée

par le fabricant). Dans le deuxième environnement, on s'attend à ce qu'elle soit supérieure à la valeur de la première zone, puisqu'elle est indicative de l'immunité aux propagations par trajets multiples. Enfin dans le troisième environnement, la valeur de  $\Delta DF_{rms}$  sera encore supérieure en raison de la prédominance des réflexions au niveau du radiogoniomètre.

La valeur de  $\Delta DF_{rms}$  dans chaque environnement est calculée pour les sous-bandes de fréquences définies par le fabricant et en tenant compte de toutes les mesures, pour tous les types de modulations, toutes les fréquences et tous les emplacements (après avoir écarté les valeurs aberrantes dans chaque ensemble de mesures), en appliquant l'équation (3):

$$\Delta DF_{rms_{envzbande_j}} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta DF_{i_{envz}}^2} \quad \text{degrés} \quad (3)$$

où:

$env_z$ : type d'environnement :  $z = 1, 2$  ou  $3$

$bande_j$ : sous-bande de fréquences d'essai indiquée dans les spécifications

$j$ : nombre de sous-bandes de fréquences indiqué dans les spécifications (1 à J)

$N$ : nombre de mesures (Nombre d'azimuts \*  $L$  \*  $M$  \* Nombre de modulations)

Nombre d'azimuts : typiquement 8 (positions)

$L$ : nombre de relèvements recueillis pour chaque azimut, par fréquence et par modulation

$M$ : nombre de fréquences individuelles au sein de chacune des J sous-bandes

Nombre de modulations : ondes entretenues (CW), plus les types individuels de modulations.

À la fin de la procédure d'évaluation, on obtient un ensemble de J valeurs de  $\Delta DF_{rms_{env_1bande_j}}$ , par environnement, qui est égal au nombre de valeurs de précision DF, par sous-bande, communiquées par le fabricant. De ce fait, en considérant que l'environnement 1 et l'environnement OATS sont similaires, la comparaison des valeurs de moyenne quadratique aux valeurs respectives indiquées dans la fiche technique donne une indication directe de la qualité de fonctionnement de l'unité DF mobile.

## Étape 2

Chaque unité DF mobile à l'essai peut être considérée comme ayant été testée par le fabricant en ce qui concerne les erreurs systématiques d'estimation de la ligne de relèvement. Les valeurs de  $\Delta DF$  peuvent être considérées comme des erreurs aléatoires relevant de la théorie statistique. Ces incertitudes peuvent provenir du manque de fidélité instrumentale, et/ou de la nature statistique inhérente du phénomène observé, c'est-à-dire des effets environnementaux. Sur le plan statistique, elles sont traitées dans les deux cas comme des incertitudes liées à l'échantillonnage fini d'une population infinie d'événements. Tel que présenté, le processus de mesure constitue un processus d'échantillonnage d'une distribution trop grande pour être mesurée dans sa totalité.

L'utilisateur a pour objectif de déterminer la qualité de fonctionnement d'une unité DF mobile dans certains types d'environnement en prélevant un échantillon aléatoire de taille finie et en considérant les paramètres de l'échantillon comme une estimation des valeurs vraies.

La mesure d'une quantité fixe implique donc de prélever un échantillon d'une distribution théorique abstraite déterminée par le manque de fidélité de l'instrument. Dans presque tous les cas d'erreurs instrumentales, on peut affirmer que la distribution est gaussienne (normale). En supposant

l'absence d'erreur systématique, la moyenne de la distribution gaussienne devrait alors être égale à la valeur réelle de la quantité mesurée et l'écart-type proportionnel à la fidélité de l'instrument<sup>18</sup>.

La moyenne expérimentale et l'écart-type expérimental peuvent être calculés.

$$\hat{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (4a)$$

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \hat{x})^2}{n-1}} \quad (4b)$$

où:

- $\hat{x}$  moyenne expérimentale
- $\hat{\sigma}$  écart-type expérimental
- $x_i$  ième donnée d'échantillon de DF
- $n$  nombre de données recueillies.

La valeur de  $\Delta DF$  est de signe positif lorsque la direction estimée de la cible (LoB) est située à droite de la direction réelle (A); elle est de signe négatif lorsque la direction estimée de la cible (LoB) est située à gauche de la direction réelle (A).

La distribution des données recueillies, après exclusion des valeurs aberrantes en appliquant l'équation (2), peut prendre la forme d'un histogramme (voir la Fig. 9).

Dans le cas d'un réseau parfaitement circulaire, composé d'éléments identiques placés symétriquement qui mesurent des valeurs de relèvement en direction de cibles réparties de façon aléatoire sur son périmètre, il ne devrait exister aucun biais dans une direction ou une autre, et les valeurs  $\Delta DF$  mesurées en terrain dégagé devraient être réparties de façon égale à gauche et à droite de la valeur  $\Delta DF$  égale à zéro degré.

En théorie, la moyenne expérimentale d'un ensemble de données infini de valeurs  $\Delta DF$ , recueillies en terrain dégagé par une unité DF fonctionnant parfaitement, devrait être nulle ( $\hat{x} = 0$ ).

Dans la pratique, étant donné que le scénario en terrain dégagé (l'environnement 1 à la Fig. 8a) est exempt de réflexions et que l'antenne DF est placée correctement sur le véhicule, la moyenne expérimentale de  $\Delta DF$  tend effectivement vers zéro.

Le jeu de données  $\Delta DF$ , après exclusion des valeurs aberrantes en appliquant l'équation (2), peut être approximé par une distribution normale ayant pour moyenne  $\mu = \hat{x}$  et pour écart-type  $\sigma = \hat{\sigma}$ , comme illustré sur le graphique de la Fig. 9.

Les données de la Fig. 9 ont été obtenues lors de l'évaluation d'une unité DF mobile en terrain dégagé à intervalles de 20 MHz dans la bande de fréquence de 150 à 1 300 MHz, tous les 15 degrés autour de la cible. Le jeu de données initial contenait 1 416 valeurs de relèvement. Il en contenait 1 285 après exclusion des valeurs aberrantes en appliquant l'équation (2). L'histogramme a été tracé à partir de cet ensemble de données. La moyenne expérimentale  $\hat{x} = -0,27$  degré et la médiane expérimentale  $\bar{x} = -0,4$  degré. L'écart-type expérimental est  $\hat{\sigma} = 1,73$  degré. La moyenne quadratique  $\Delta DF_{rms} = 1,775$ .

Si la moyenne expérimentale est supérieure à la moitié de l'écart-type, le fonctionnement de l'antenne DF est biaisé de façon significative dans une direction, ce qui peut être dû à un dysfonctionnement de l'antenne, à un mauvais positionnement sur le véhicule ou à un biais significatif, et probablement non nécessaire, du scénario ou du montage utilisé pour la mesure. Dans

---

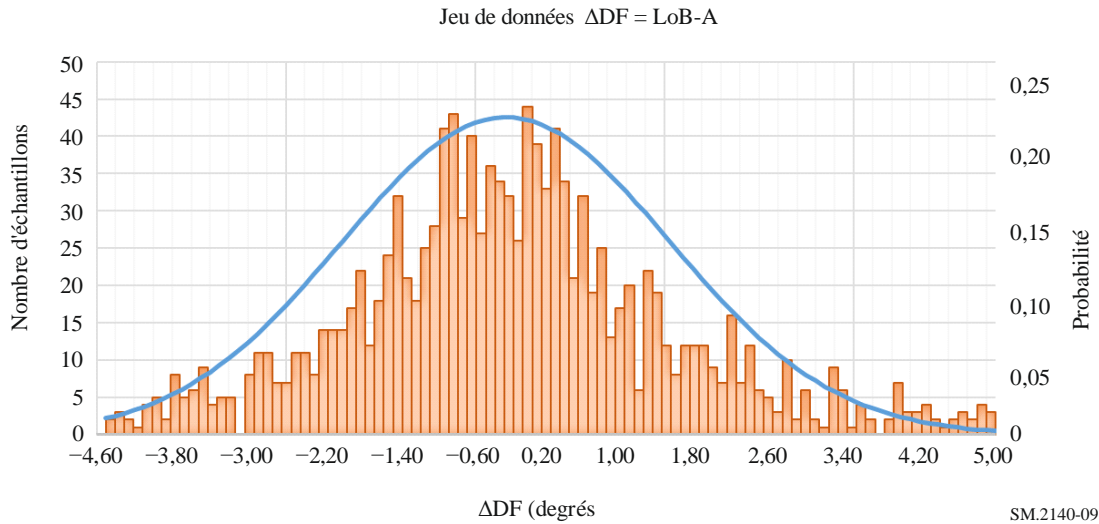
<sup>18</sup> Statistics and the treatment of experimental data. W. R. Leo (adapté du Chapitre 4, *Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments*, par W. R. Leo, Springer-Verlag 1992).



tous les cas, il convient de chercher l'origine du biais et de le corriger avant de poursuivre les mesures.

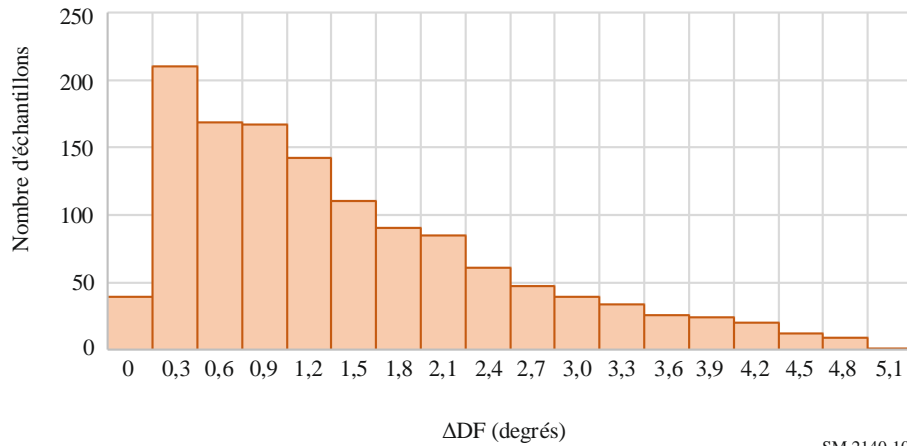
Lorsque le réseau circulaire de l'antenne DF est fonctionnel et correctement monté sur le véhicule, l'unité DF mobile ne produit aucun biais en faveur d'une direction particulière. Dans ce cas, seule l'amplitude de l'écart angulaire en direction de la cible intéressera l'utilisateur, à savoir les valeurs  $|\Delta DF| = |\text{LoB}-A|$ .

FIGURE 9



L'histogramme correspondant à l'ensemble de données  $|\text{LoB}-A|$ , une fois écartées les valeurs aberrantes de  $\Delta DF = \text{LoB}-A$  avec l'équation (2), combiné à la méthode de Sturges (équation (5)), fournira une représentation visuelle plus complète de la qualité de fonctionnement des unités DF mobiles.

FIGURE 10

Jeu de données  $\Delta DF = |\text{LoB-A}|$ 

SM.2140-10

Les données de la Fig. 10 représentent l'histogramme de l'amplitude du jeu de données de la Fig. 9. La moyenne expérimentale  $\hat{x} = 1,35$  degré et la médiane expérimentale  $\bar{x} = 1,0$  degré. L'écart-type expérimental  $\hat{\sigma} = 1,106$  degré. La moyenne quadratique est inchangée:  $\Delta DF_{rms} = 1,775$ .

Les données recueillies dans les environnements de type 2 et de type 3 peuvent être analysées de façon similaire.

Après avoir exclu les valeurs aberrantes à l'aide de l'équation (2), on peut créer l'histogramme de l'amplitude de  $\Delta DF$ , à l'aide de la méthode de Sturges décrite dans l'équation (5).

$$\text{Nombre de classes} = 1 + 3,322 \text{ Log}(k) \quad (5)$$

où  $k$  est la taille du jeu de données.

La moyenne, la médiane et l'écart-type expérimentaux pour chaque combinaison environnement-fréquence-modulation-SNR-météo (voir le Tableau 4), permettent de décrire quantitativement la qualité de fonctionnement de l'unité DF mobile pour cette combinaison de paramètres opérationnels.

TABLEAU 4

Tableau d'analyse du jeu de données

Unité DF	Conditions opérationnelles					Résultats			
	Environnement	Fréquence	Modulation	SNR max.	Météo	$\hat{x}$	$\bar{x}$	$\hat{\sigma}$	rms

L'unité offrant la meilleure qualité de fonctionnement sera celle offrant la  $\Delta DF$  moyenne la plus faible et l'écart-type le plus faible (l'étendue de l'erreur aléatoire est étroite).

En traçant, dans le même repère X-Y, les histogrammes de différents jeux de données  $|\Delta DF|$  correspondant à la qualité de fonctionnement d'une unité DF mobile dans différents environnements, et avec des paramètres opérationnels variables (fréquence, modulation, SNR, etc.),

l'utilisateur dispose d'une vision plus complète de la qualité de fonctionnement globale d'une unité DF mobile dans des conditions d'exploitation réelles.

Après une procédure de test à distance fixe, l'administration adjudicatrice devrait avoir confirmation du bon fonctionnement du système, et elle disposerait en outre d'une indication de la qualité de fonctionnement du montage installé sur le véhicule en conditions d'exploitation réelles.

L'administration peut appliquer des outils et méthodes statistiques plus sophistiqués aux jeux de données recueillis, afin d'identifier les relations plus complexes entre la qualité de fonctionnement et les différentes variables (environnement, bande de fréquence, etc.), ainsi que l'effet relatif de ces variables sur les performances.

#### 4 Présentation des résultats

Le rapport d'évaluation final devrait inclure:

- 1) Tous les paramètres de test pour chaque mesure, ainsi que décrit dans les différentes rubriques, à savoir:
  - le type d'environnement;
  - les conditions météorologiques;
  - l'emplacement de la cible;
  - le lieu de mesure;
  - la fréquence, la modulation, le SNR.
- 2) Les résultats de chaque type de mesure:
  - I Évaluation du mode radioralliement
    - a) Radioralliement suivant un itinéraire prédéfini
      - Tableau 1 – Résultats du test de radioralliement suivant un itinéraire prédéfini.
      - Moyenne quadratique de l'erreur de position.
      - Captures d'écran du logiciel de positionnement.
      - Images satellite de la zone d'essai.
    - b) Localisation de la cible
      - b1) Triangulation en trois points:
        - Polygone de triangulation créé à partir des estimations individuelles de l'angle d'incidence sur une carte.
        - L'aire du polygone en (m<sup>2</sup>), à condition qu'il contienne la cible (voir la Fig. 3).
      - b2) Radioralliement à l'aveugle:
        - Captures d'écran du logiciel de positionnement ou vidéo de l'opération de radioralliement à l'aveugle.
        - Itinéraire parcouru par l'unité DF mobile, tracé sur la carte.
        - Tableau 2 – Résultats du test de radioralliement à l'aveugle.
  - II Évaluation du mode distance fixe
    - Tableau 3 – Tableau des données obtenues avec l'échantillon testé, pour chaque ensemble de paramètres opérationnels.
    - Évaluation statistique de la qualité de fonctionnement en terrain dégagé.
    - Images satellite des zones d'essai.
    - Tableau 4 – Tableau d'analyse du jeu de données.

- Histogramme des valeurs de  $\Delta DF$  et  $|\Delta DF|$  pour chaque ensemble de paramètres opérationnels.

---