

Union internationale des télécommunications

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R SM.2139-0
(08/2021)

**Procédure de test pour déterminer la
précision des systèmes TDOA**

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 œuvre 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

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

Séries	Titre
BO	Diffusion par satellite
BR	Enregistrement pour la production, l'archivage et la diffusion; films pour la télévision
BS	Service de radiodiffusion sonore
BT	Service de radiodiffusion télévisuelle
F	Service fixe
M	Services mobile, de radiorepérage et d'amateur y compris les services par satellite associés
P	Propagation des ondes radioélectriques
RA	Radioastronomie
RS	Systèmes de télédétection
S	Service fixe par satellite
SA	Applications spatiales et météorologie
SF	Partage des fréquences et coordination entre les systèmes du service fixe par satellite et du service fixe
SM	Gestion du spectre
SNG	Reportage d'actualités par satellite
TF	Émissions de fréquences étalon et de signaux horaires
V	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.2139-0

Procédure de test pour déterminer la précision des systèmes TDOA

(2021)

Domaine d'application

La précision des systèmes de mesure de la différence entre les instants d'arrivée (TDOA) est importante pour les autorités de régulation et autres entités amenées à localiser des émetteurs à l'aide de systèmes de localisation reposant sur la méthode TDOA. Afin de faciliter la comparaison des systèmes TDOA, cette Recommandation donne des indications sur les méthodes à utiliser pour déterminer la précision des systèmes TDOA, communiquer les résultats et choisir le scénario de test.

Mots clés

Précision des systèmes TDOA, mesure, site d'essai, scénario de test, différence entre les instants d'arrivée, TDOA

Acronymes

CEP	probabilité d'erreur circulaire (<i>circular error probability</i>)
EEP	probabilité d'erreur elliptique (<i>elliptic error probability</i>)
GDOP	dilution géométrique de la précision (<i>geometric dilution of precision</i>)
RMS	moyenne quadratique ou valeur efficace (<i>root mean square</i>)
RTK	cinématique en temps réel (<i>real-time kinematic</i>)
SNR	rapport signal/bruit (<i>signal to noise ratio</i>)
TDOA	différence entre les instants d'arrivée (<i>time-difference-of-arrival</i>)
VDOP	dilution verticale de la précision (<i>vertical dilution of precision</i>)

Recommandations et Rapports de l'UIT connexes

Recommandation UIT-R SM.2060

Recommandation UIT-R SM.2097

Rapport UIT-R SM.2211

Rapport UIT-R SM.2356

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 l'UIT-R a intégré la méthode de localisation des émetteurs par différence entre les instants d'arrivée (TDOA) dans le Manuel de l'UIT sur le contrôle du spectre (édition de 2011);
- b) que le Rapport UIT-R SM.2211-1 – Comparaison de la méthode de géolocalisation de signal fondée sur la différence entre les instants d'arrivée par rapport à celle fondée sur l'angle d'arrivée, détaille les points forts et les points faibles des systèmes TDOA;

- c) que les procédures de test mises en œuvre ont un effet sur la précision mesurée et communiquée pour les systèmes de localisation des émetteurs fondés sur la méthode TDOA;
- d) que le scénario de test a un impact sur la précision mesurée et communiquée pour les systèmes de localisation des émetteurs fondés sur la méthode TDOA;
- e) que la précision des systèmes TDOA peut avoir une incidence sur l'opportunité perçue d'utiliser tel ou tel système TDOA pour effectuer certaines opérations de contrôle;
- f) que les procédures de test pour valider des systèmes TDOA ne devraient pas dépendre de la conception du système;
- g) qu'un ensemble bien défini de procédures de test pour déterminer la précision de systèmes TDOA, dès lors qu'elles sont adoptées, facilitera une évaluation objective des différents systèmes;
- h) qu'une comparaison objective de différents systèmes nécessite de réaliser un test suivant le même scénario,

recommande

- 1 que la procédure de test figurant dans l'Annexe 1 soit utilisée pour déterminer et communiquer la précision des systèmes TDOA;
- 2 que le scénario de test figurant dans l'Annexe 2 soit utilisé pour configurer le site d'essai;
- 3 que pour chaque niveau de performance spécifié concernant la précision, la procédure et le scénario de test soient indiqués;
- 4 que les administrations envisagent d'effectuer des essais de fonctionnement en plus de ceux décrits dans l'Annexe 1 dans un environnement d'exploitation afin d'évaluer l'incidence de l'affaiblissement des signaux, des effets défavorables de la propagation et de la géométrie des capteurs (y compris l'élévation) sur la précision ou la performance globale des systèmes TDOA, de façon à déterminer l'aptitude du système à répondre aux exigences de ces administrations.

Annexe 1

Procédure de test générale pour déterminer la précision des systèmes TDOA

1 Introduction

La présente Recommandation propose une procédure de test qui peut être utilisée pour évaluer la précision de systèmes TDOA. Son objectif est de donner une méthode type qui puisse être utilisée pour effectuer des tests, afin que les administrations disposent de bases pour comparer les systèmes de localisation d'émetteur reposant sur les principes de la TDOA des différents fabricants en fonction de leurs besoins.

On notera que la précision seule ne saurait caractériser la qualité de fonctionnement générale d'un système TDOA et son aptitude à répondre aux exigences d'une administration. D'autres aspects utiles, tels que la capacité de localisation de signaux impulsifs et le délai entre l'émission et la géolocalisation, peuvent avoir leur importance, mais ils sont hors du champ de la présente Recommandation.

La précision d'un système TDOA est définie comme la moyenne quadratique (RMS) de la différence entre l'emplacement réel d'un émetteur et la localisation déterminée par le système de mesure.

On pourrait exécuter la procédure suivant un scénario qui se déroule dans des conditions idéales/contrôlées selon l'Annexe 2 ou les exigences de l'administration, et s'en servir à des fins de comparaison de la précision et de la qualité de fonctionnement de systèmes TDOA.

D'autres considérations relatives à la méthode TDOA se trouvent dans le Manuel de l'UIT sur le contrôle du spectre (édition de 2011), § 4.7, ainsi que dans le Rapport UIT-R SM.2211-2 – Comparaison de la méthode de géolocalisation de signal fondée sur la différence entre les instants d'arrivée par rapport à celle fondée sur l'angle d'arrivée.

2 Principe de mesure

La précision d'une mesure TDOA étant fortement influencée par le signal d'essai et la méthode d'essai correspondante, l'Annexe 1 précise le type de modulation et la largeur de bande du signal d'essai, la sélection de la fréquence d'essai, les conditions applicables au système testé et la procédure de mesure. Dans l'Annexe 2, on effectuera les mesures suivant un scénario contrôlé, dans le but d'assurer la répétabilité du test et la cohérence des résultats dans des sites d'essai similaires; ainsi, les brouillages sur le même canal et les conditions extérieures non contrôlables, telles la propagation par trajets multiples et les variations de terrain, ne seront pas prises en compte afin de réduire la complexité et la durée du test. Les mesures devraient être effectuées dans un environnement éloigné de tout rayonnement puissant, sans rayonnement secondaire. Avant le choix final du site, l'environnement électromagnétique du lieu devra être évalué afin de s'assurer que les niveaux des signaux extérieurs et d'énergie de bruit sont suffisamment bas pour pouvoir effectuer le test.

Divers effets des environnements réels peuvent toutefois dégrader la précision des systèmes TDOA. Ces effets réels peuvent être classés dans deux catégories, les effets systématiques (ou déterministes), et les effets aléatoires (ou non déterministes). La géométrie des capteurs (GDOP) et la variation de l'élévation (VDOP), qui sont fortement liées au terrain dans la zone de couverture, sont des exemples de sources d'erreur qui peuvent introduire un biais systématique dans les résultats de localisation. Les erreurs provenant de la VDOP dépendent de la différence d'élévation entre les capteurs, de l'émetteur et des distances de séparation associées. Par exemple, lorsque la distance de séparation est faible, les différences d'élévation peuvent causer une erreur significative si elles ne sont pas prises en compte par le système TDOA par le biais de données d'élévations spécifiques au terrain ou à la situation. D'autre part, les effets liés à la propagation et d'autres causes d'affaiblissement du signal peuvent donner lieu à des erreurs aléatoires ou à des erreurs systématiques, selon les circonstances. Les erreurs provenant de toutes ces sources auront un impact sur les performances du système dans un environnement d'exploitation réel. Les mesures effectuées en terrain plat, dans une zone exempte d'obstacles, donnent généralement de meilleurs résultats en termes de précision mesurée et de qualité de fonctionnement d'un système TDOA que les mesures incluant les sources d'erreur ci-dessus. Pour déterminer si un système TDOA peut être utilisé dans un environnement réel, il est suggéré de répéter les mesures décrites dans la présente Recommandation avec des récepteurs TDOA déployés dans un environnement réaliste où l'impact total des effets systématiques et aléatoires peut être évalué. Bien qu'un tel test permette de déterminer l'utilité du système TDOA, il ne peut pas être utilisé en pratique pour comparer les performances de différents systèmes.

3 Montage utilisé pour les mesures

3.1 Site d'essai

L'Annexe 2 présente un site d'essai recommandé. Le site d'essai peut également être choisi en fonction des exigences de l'administration, selon les scénarios de déploiement visés.

Le montage utilisé pour les mesures décrit dans la présente rubrique, ainsi que la procédure de mesure du § 4 ont une validité générale et peuvent être mis en œuvre dans différents sites d'essai.

3.2 Choix de l'équipement d'essai

L'équipement d'essai devrait inclure un système d'émission de signal pourvu d'un équipement de positionnement. Le système d'émission comprend un générateur de signal capable de générer des modulations analogiques et numériques, un amplificateur de puissance et un ensemble d'antennes pouvant émettre dans les bandes de fréquence testées. Il est conseillé d'utiliser des antennes omnidirectionnelles pour se connecter au système d'émission utilisé pour le test. Il convient de travailler à des niveaux de puissance fixes, qui seront enregistrés conjointement aux données d'essai. La polarisation de l'antenne de l'émetteur d'essai devrait correspondre à la polarisation des antennes TDOA. La polarisation utilisée devrait être indiquée dans le rapport d'essai.

Si nécessaire, l'équipement de positionnement peut utiliser un dispositif de positionnement cinématique en temps réel (RTK) pour accroître l'exactitude des positions indiquées. Si un autre équipement de positionnement est utilisé, la précision de l'équipement doit être précisée et enregistrée dans le rapport d'essai. Tout le matériel d'essai doit être étalonné et raccordé aux étalons d'un laboratoire d'essai national.

3.3 Sélection de la fréquence d'essai

Les fréquences d'essai doivent être réparties uniformément dans la gamme de fréquence de travail du système. L'intervalle de fréquence minimum devrait être de 10 MHz en-dessous de 100 MHz; de 50 MHz entre 100 MHz et 1 000 MHz; et de 100 MHz au-dessus de 1 000 MHz. Le nombre de points de fréquence peut également être déterminé d'un commun accord entre l'administration et les fabricants en fonction des exigences du système ou du cas d'utilisation.

Il convient d'éviter certaines fréquences en raison des brouillages que des signaux autorisés ou non contrôlés pourraient provoquer dans la zone en général. Ces fréquences devraient avoir été identifiées lors de l'étude du site. Les fréquences associées à des perturbations dues à des effets extérieurs devraient être exclues des tests. S'il existe sur la fréquence de test un signal brouilleur supérieur de 6 dB au bruit de fond, il est conseillé de changer la fréquence de test pour en prendre une nouvelle, mais qui ne doit pas être située à plus de 5 MHz de la fréquence originale.

3.4 Paramètres de modulation du signal d'essai

Les deux formats de modulation, analogique et numérique, doivent être utilisés pour le signal d'essai. Il convient de faire varier le schéma de modulation dans les limites des capacités de l'équipement d'essai pour produire des largeurs de bande correspondant aux besoins de l'administration, avec l'accord du fabricant. Pour chaque type de modulation, la puissance de sortie doit être notée en plus de l'amplitude reçue au niveau de chaque récepteur TDOA. Le format de modulation et les paramètres (par exemple la vitesse de modulation) doivent être enregistrés dans le rapport d'essai.

3.5 Configuration du système testé

La présente Recommandation décrit une configuration de test typique comportant trois récepteurs TDOA. Si le système, tel que défini par l'administration, utilise quatre récepteurs ou plus, il est possible de se référer à la présente Recommandation pour mettre en place le test après ajustement de la géométrie des récepteurs; cette situation devra être mentionnée dans le rapport d'essai. Le nombre de capteurs devra cependant être identique dans le cas d'une comparaison de systèmes.

L'antenne du système TDOA doit être réglée à une hauteur appropriée, de préférence constante d'un emplacement de récepteur à l'autre. Avant le test, il convient de préchauffer le système TDOA conformément aux recommandations du fabricant pour atteindre les performances spécifiées.

Le système TDOA devrait être configuré pour effectuer des mesures à chaque fréquence d'essai avec une largeur de bande d'acquisition qui n'excède pas la largeur de bande de modulation de la fréquence émise, et un temps d'acquisition fixe basé sur les paramètres recommandés par le fabricant (le temps d'acquisition correspondant au nombre d'échantillons IQ rapporté au taux d'échantillonnage IQ).

4 Procédure de mesure

4.1 Sélection de la position d'essai

Plusieurs positions d'essai doivent être sélectionnées pour mesurer la précision de géolocalisation du système TDOA. En plus de la position correspondant au centre du site d'essai, d'autres positions d'essai sont nécessaires et peuvent être choisies comme suit:

- le nombre de positions d'essai supplémentaires doit être au moins égal à trois;
- les positions d'essai devraient être choisies à l'intérieur de la région définie par les récepteurs TDOA, en évitant les emplacements d'essai situés le long des lignes radiales entre les capteurs;
- la distance entre positions d'essai doit être supérieure à la précision de géolocalisation nominale du système testé;
- si possible, deux positions d'essai situées en dehors de la région délimitée par les récepteurs TDOA doivent être sélectionnées afin de déterminer la capacité de fonctionnement du système avec une mauvaise GDOP. La distance entre les récepteurs TDOA et la limite de la zone d'essai ne doit pas être inférieure à la précision de géolocalisation nominale du système testé. Ces positions d'essai et leurs résultats doivent être enregistrés séparément dans le rapport d'essai.

4.2 Procédure de test

- 1 Placer le système émetteur à la position d'essai N° 1 et régler l'antenne pour qu'elle soit à la même hauteur que l'antenne du récepteur TDOA.
- 2 Faire fonctionner le dispositif de positionnement pour mesurer la position du système émetteur. Enregistrer la latitude et la longitude (α_j, β_j) ($j = 1, 2 \dots m$).
- 3 Définir le type de modulation du système émetteur et sélectionner la fréquence d'essai f_i ($i = 1, 2 \dots n$).
- 4 Régler le système émetteur de façon à obtenir un rapport signal/bruit minimum de 20 dB pour chaque récepteur TDOA, pour que le test soit possible.
- 5 Définir la fréquence de fonctionnement du système TDOA sur la fréquence d'essai active f_i , puis régler le mode de réception optimal du système sous le mode de modulation du signal correspondant et enregistrer les paramètres du récepteur.
- 6 Faire fonctionner le système TDOA en prenant au moins 10 (dix) mesures. Enregistrer la latitude et la longitude de chaque emplacement mesuré ainsi que les résultats moyens (x_i, y_i), et reporter ces informations dans le Tableau 1. Afficher ensuite les résultats sur un diagramme de position.
- 7 Changer la fréquence d'essai, les paramètres de modulation et l'emplacement du système émetteur, et répéter les étapes ci-dessus jusqu'à avoir testé toutes les fréquences, toutes les modulations et toutes les positions.

4.3 Traitement des données d'essai et présentation des résultats

La distance entre les positions mesurées (x_i, y_i) et la position réelle (α_j, β_j) du système émetteur représente l'erreur de géolocalisation ΔL_{ij} . La formule de calcul est la suivante:

$$\Delta L_{ij} = R \times \arccos \left(\sin \left(\frac{\beta_j \times \pi}{180} \right) \times \sin \left(\frac{y_j \times \pi}{180} \right) + \cos \left(\frac{\beta_j \times \pi}{180} \right) \times \cos \left(\frac{y_j \times \pi}{180} \right) \times \cos \left(\frac{(x_i - \alpha_j) \times \pi}{180} \right) \right)$$

où:

R : rayon elliptique long de la Terre.

Après avoir mesuré l'erreur de géolocalisation de toutes les positions sur l'ensemble de la bande de fréquences de travail du système testé, la précision du système TDOA dans le mode de modulation du signal et la largeur de bande correspondants peut être obtenue comme suit:

$$\Delta L_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (\Delta L_{ij})^2}{mn}}$$

où:

m : nombre de positions d'essai

n : nombre de points de fréquence.

Le rapport d'essai de la précision du système TDOA devrait au moins contenir le tableau de données et le diagramme de position. Le temps approximatif nécessaire pour calculer le résultat sur la base des essais réalisés, la puissance de sortie de l'équipement d'essai et l'amplitude reçue par chaque récepteur TDOA doivent également être enregistrés dans la mesure du possible. En outre, si le système TDOA fournit une valeur indicative de la qualité de la corrélation (en pourcentage ou en fraction), il convient de la faire figurer dans le rapport d'essai.

TABLEAU 1

Tableau des données obtenues avec l'échantillon testé

Informations générales	
Date:	
Conditions météorologiques:	
Environnement de test:	
Nombre de capteurs:	
Nom du fabricant:	
Nom du produit:	

Position d'essai 1		Latitude			xx.xxxx			Longitude		xx.xxxx		
Mes. 1	Paramètres du générateur de signal				Paramètres du système TDOA			Résultats de mesure TDOA				
ID de la mes.	Fréquence (MHz)	Largeur de bande (kHz)	Modulation	Amplitude (dBm)	Nombre d'échantillons	Largeur de bande (kHz)	Atténuation (dB)	Latitude	Longitude	Qualité (0 > 1)	Erreur (mètres)	Temps de mes.
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
MOYENNE												

Noter que ΔL représente l'erreur de géolocalisation pour la position moyenne déterminée. Elle est calculée comme la distance entre la position réelle et la position moyenne affichée par le système TDOA. Elle peut également être exprimée sous la forme d'un delta x (écart de mesure dans la direction de la latitude, en mètres, les valeurs étant positives vers l'est), et d'un delta y (écart de mesure dans la direction de la longitude, en mètres, les valeurs étant positives vers le nord).

Annexe 2

Scénario de test pour la détermination de la précision des systèmes TDOA

1 Exigences générales pour le site d'essai

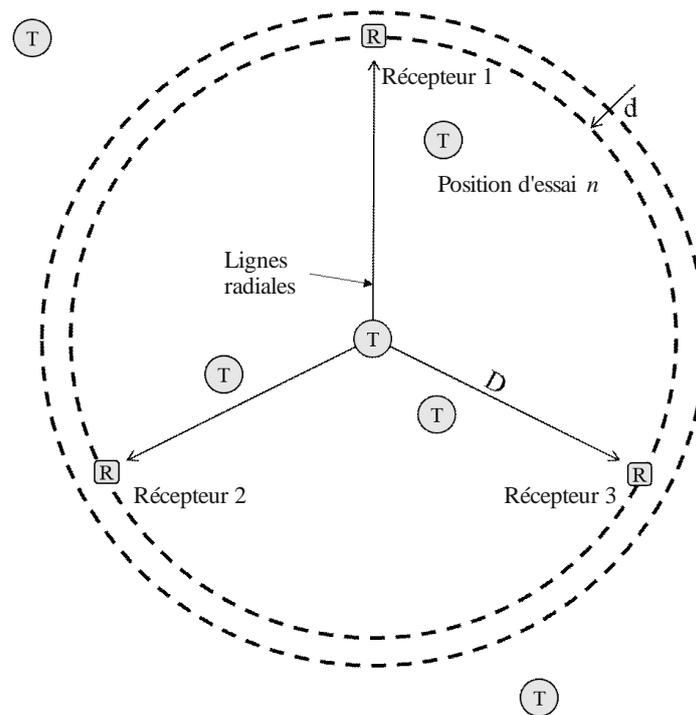
Le scénario de test devrait être exempt de surfaces réfléchissantes, d'obstacles et d'émetteurs; il doit être éloigné des rayonnements forts et sans rayonnement secondaire. Le site d'essai à ciel ouvert, tel que défini dans la Recommandation UIT-R SM.2060, peut constituer le site d'essai idéal.

Le site d'essai peut également être choisi en fonction des exigences de l'administration. Les aspects relatifs à la planification d'un réseau TDOA donnés dans le Rapport UIT-R SM.2356 doivent être pris en compte lors de la préparation de la configuration du système TDOA testé.

2 Préparation du site d'essai

Le scénario recommandé est présenté dans la Fig. 1. Il s'agit d'une région plane délimitée par un cercle. On peut également choisir le site d'essai en fonction des exigences de l'administration et des scénarios de déploiement visés. La distance de séparation entre les récepteurs TDOA doit être suffisante pour garantir un bon fonctionnement, notamment sur les signaux d'essai à bande étroite. Il en résulte que le rayon du site d'essai ne devrait pas être inférieur à 500 mètres. Si cela ne peut être réalisé, le rayon du site d'essai sera déterminé d'un commun accord entre l'administration et le fabricant. Ces cas de figure devraient être indiqués clairement dans les résultats de l'essai.

FIGURE 1
Structure générale du site d'essai



SM.2139-01

«Récepteur» – Emplacement d'un récepteur TDOA

«T» – Emplacements possibles pour les positions d'essai

Configuration du système d'essai illustré à la Fig. 1:

- D représente la distance de chaque récepteur au centre du système d'essai; elle n'est pas inférieure à 500 m, sauf accord du fabricant.
- Chaque récepteur TDOA doit être réparti uniformément sur le site d'essai, et la distance entre les récepteurs doit correspondre aux conditions de fonctionnement normales des systèmes TDOA.
- d représente la distance de chaque récepteur au bord de la zone d'essai; elle n'est pas inférieure à 50 m.
- La distance minimale entre une position d'essai et un récepteur doit être conforme à la recommandation du fabricant. En général, plus la largeur de bande de modulation du signal d'essai est grande, plus l'émetteur d'essai peut être proche du récepteur. Une largeur de bande de modulation étroite du signal d'essai nécessite d'éloigner les récepteurs.

Annexe 3

Exemples de résultats de test de systèmes TDOA

S'agissant des données d'essai provenant de mesures effectuées dans un environnement opérationnel réaliste qui peut être affecté par le signal brouilleur, les valeurs aberrantes au plan statistique peuvent être écartées mais elles doivent être notées dans le rapport d'essai.

Des représentations visuelles du test de précision TDOA aidera les autorités à interpréter les résultats et à mieux comprendre les sources d'erreur pour les différents emplacements de test et largeurs de bande de signal. Il est recommandé que les éléments suivants figurent dans la représentation visuelle des résultats des tests TDOA:

- une carte de la zone d'essai, avec une indication claire de l'échelle ou de la distance entre les capteurs;
- l'emplacement précis de l'émetteur d'essai;
- le numéro de la séquence d'essai (renvoyant au tableau des conditions d'essai, parmi lesquelles la fréquence centrale, la largeur de bande du signal et la puissance de sortie);
- l'emplacement de chacune des estimations TDOA de la position de l'émetteur d'essai (marqué par un «X» ou un «+»);
- l'emplacement de la position moyenne calculée à partir des estimations TDOA, et la distance mesurée de la position d'essai;
- les ellipses ou cercles d'erreur (facultatif);
- une carte de convergence ou de densité TDOA (facultatif).

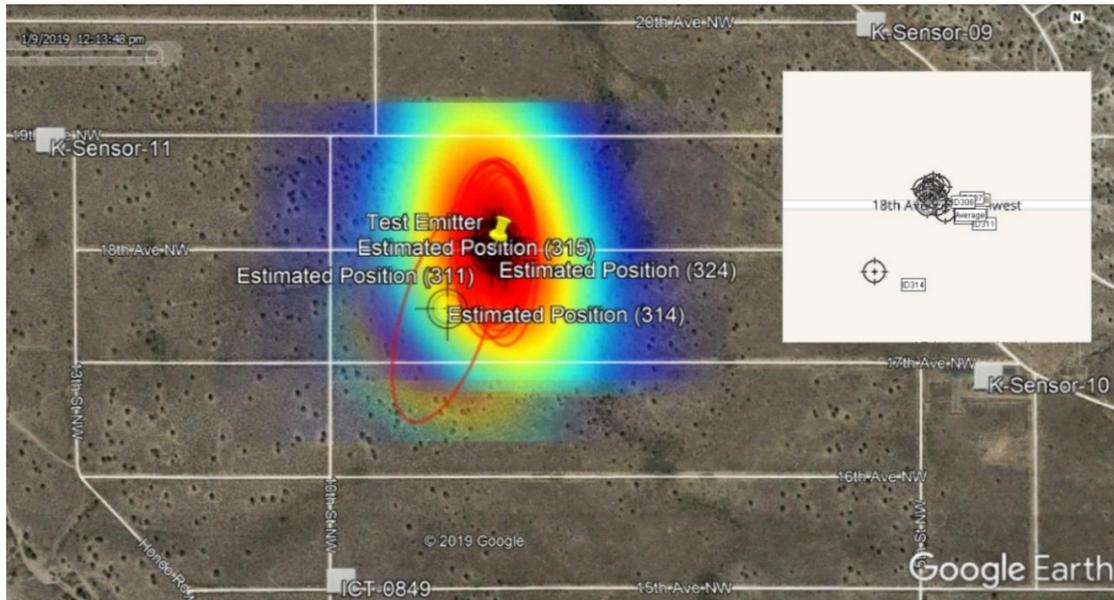
Pour mieux comprendre les résultats des tests, les mesures devraient également être affichées dans un système d'information géographique (SIG) disponible dans le commerce, ou sur l'affichage cartographique intégré au système testé. Pour chaque position d'essai, il convient de superposer les résultats et l'emplacement de l'émetteur, pour constater visuellement la nature des erreurs. Le cas échéant, les informations supplémentaires du système testé doivent être affichées et figurer au rapport d'essai. Ces informations peuvent comprendre les éléments suivants:

- l'ellipse d'erreur (EEP) ou le cercle d'erreur (CEP) avec le pourcentage associé (habituellement 50% ou 95%), de façon à inclure les axes mineur et majeur ainsi que l'angle de rotation par rapport au nord;
- l'hyperbole TDOA;
- une carte en couleur représentant la convergence de l'algorithme de géolocalisation;
- l'emplacement des capteurs;
- le nombre de capteurs TDOA.

Ces informations aideront les autorités à comprendre les sources d'erreur associées à chaque mesure, telles que la largeur de bande, le rapport signal/bruit et la géométrie (GDOP) du signal. Quatre exemples sont présentés ci-après.

FIGURE 2

Exemple de résultats de test de géolocalisation – bonne GDOP

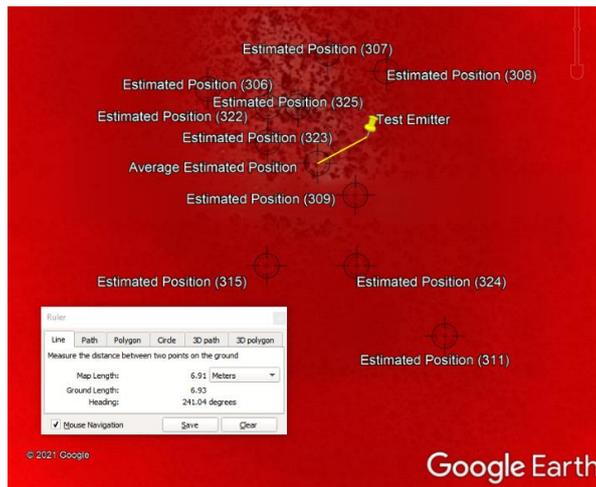


SM.2139-02

La Figure 2 présente un ensemble de 12 mesures TDOA obtenues avec quatre capteurs TDOA, l'émetteur d'essai (représenté par l'épingle jaune) étant placé à un endroit favorisant l'obtention de mesures TDOA précises (bonne GDOP). Les localisations estimées, les ellipses d'erreur et la carte en couleur des mesures sont représentées. La visualisation permet à l'utilisateur d'évaluer rapidement la précision et la cohérence des résultats par rapport à l'émetteur d'essai. L'encart indique les résultats de localisation tels qu'ils apparaissent sur l'application de cartographie du système TDOA. Cet ensemble de mesures comprend une valeur aberrante (numéro 314), qui nécessite une analyse complémentaire pour déterminer si cette erreur anormalement élevée provient d'un brouillage ou d'un autre facteur extérieur.

La procédure requiert de déterminer l'erreur entre la position réelle de l'émetteur d'essai et la moyenne des mesures TDOA. Cette erreur peut également être représentée visuellement, comme à la Fig. 3 par exemple. L'image montre aussi une distribution aléatoire de l'erreur autour de l'émetteur d'essai qui permet de constater que dans le cas présent, la moyenne produit une estimation précise de la localisation de l'émetteur – meilleure que la plupart des mesures individuelles. La valeur aberrante n'est pas représentée sur l'image, afin de mieux visualiser la distribution de l'erreur.

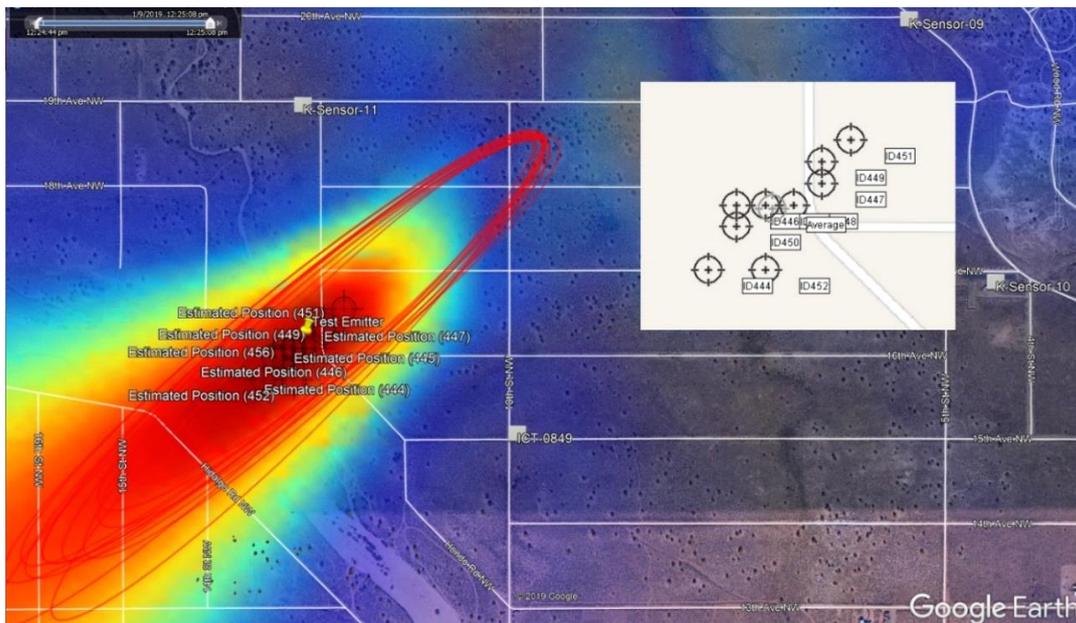
FIGURE 3
Distribution des erreurs TDOA – bonne GDOP



SM.2139-03

Sur la Fig. 4, l'émetteur d'essai se trouvait hors de la zone délimitée par les capteurs, d'où une mauvaise GDOP et des erreurs de mesure plus importantes. Comme on peut le voir, les mesures sont réparties le long d'un axe représentant la ligne de relèvement du champ du capteur à l'émetteur. Les ellipses d'erreur (EEP) sont allongées en raison de l'incertitude due à la géométrie.

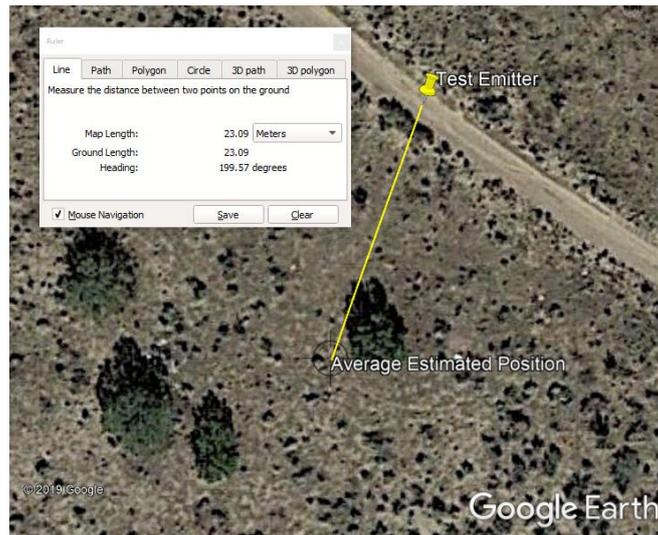
FIGURE 4
Exemple de résultats de test de géolocalisation – mauvaise GDOP



SM.2139-04

L'erreur la plus importante dans cet ensemble de données excédait 120 mètres. Cependant, le calcul de la moyenne des erreurs aléatoires permet d'obtenir une précision d'environ 20 mètres, comme le montre la Fig. 5.

FIGURE 5
Erreur TDOA moyenne – mauvaise GDOP



SM.2139-05

Les exemples de mesure présentés ci-dessus ont été obtenus avec quatre capteurs TDOA et ont porté sur des signaux ayant une largeur de bande de modulation relativement large (environ 1,25 MHz). Effectuer le test avec trois capteurs, le minimum requis pour une localisation d'émetteur, et des signaux de largeur de bande différente peut révéler les limites de certains équipements ou algorithmes. L'administration devrait tenir compte de ces limites pour classer les systèmes TDOA.

NOTE – Les appellations employées et la présentation des données dans les Figs 2 à 5 n'impliquent, de la part de l'UIT et du Secrétariat de l'UIT, aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.
