

## Etude de faisabilité d'une station EGNOS à Tamanrasset

L. TABTI & S. ABIDALLAH

Division de Géodésie Spatiale - Centre des Techniques Spatiales.

Email: thouaria@yahoo.fr

**ملخص :** الوظيفة الأساسية للمحطات المرجعية RIMS هي جمع المعلومات عن الأقمار الصناعية للأنظمة العالمية لتحديد المواقع ونقل هذه البيانات إلى مراكز المعالجة. يسمح نظام EGNOS بإرسال التصحيحات و المعلومات عن كفاءة الأقمار الصناعية المتواجدة في مجال التغطية لشبكة المحطات المرجعية.

دراسة تأثير المحطة المرجعية لتمنراست من حيث الكفاءة و التغطية تمت باستخدام برنامج المحاكاة للوكالة الفضائية الأوروبية Simulator SBAS. نلاحظ في الجزائر أن النظام يوفر تغطية جيدة في الشمال و بينت نتائج محاكاة محطة تمنراست أن النظام الأوربي لا يوفر تغطية ملحوظة حول هذه المحطة و لكنه يضمن تغطية أفضل في اتجاه شبكة المحطات الأوربية (نحو الشمال).

**الكلمات الأساسية :** نظام التعزيز الأوربي EGNOS، المحطات المرجعية RIMS، جي بي اس و تصحيح اليونوسفير.

**Résumé :** La fonction principale des stations RIMS (Ranging and Integrity Monitoring Stations) est de collecter les informations des satellites GPS et de transmettre ces données vers les centres de traitement. Le système EGNOS permet la transmission des corrections différentielles et des messages d'intégrité pour les satellites de navigation observés par un réseau de stations de référence (RIMS).

L'étude de l'influence de la station RIMS de Tamanrasset en termes de performance et de couverture a été menée en utilisant le logiciel SBAS Simulateur de l'ESA.

En Algérie, on a remarqué que le système assure une bonne couverture au nord. Les résultats de la simulation de la station de Tamanrasset montrent que l'ajout de cette station n'améliore pas sensiblement la couverture d'EGNOS autour du site en question ou plus au Sud, mais garantit plutôt une meilleure couverture dans la direction du réseau principal de stations RIMS (vers l'Europe, donc plus au Nord).

**Mots clés :** EGNOS, RIMS, GPS, et correction ionosphérique.

**Abstract :** The main function of the RIMS (Ranging and Integrity Monitoring Stations) stations is to collect measurements from GPS satellites and to transmit

these raw data to the master stations. EGNOS systems are designed to augment the Navigation System constellation by broadcasting additional signals from geostationary (GEO) satellites and providing differential correction messages and integrity data for the satellites which are in the view of a monitoring station network. The study of the impact of Tamanrasset station RIMS in terms of performance and coverage has been conducted by SBAS Simulator software of the ESA.

In Algeria, we observed that the system assure a good coverage of the north. The results of the Tamanrasset simulation show that the addition of this station don't significantly improve the EGNOS coverage surrounding the site concerned or further south, but ensures a better coverage in the direction of the main network stations RIMS (to Europe, therefore further north).

**Keywords :** EGNOS, RIMS, GPS, and ionospheric correction

### 1. Introduction

EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay Service*) est le système Européen d'augmentation de la précision par recouvrement géostationnaire. Il offre aux utilisateurs de la radionavigation par satellites un service de navigation et de positionnement très performant, meilleur que ce qui est actuellement disponible en Europe. Le système utilise les signaux des constellations de satellites du système américain GPS et russe GLONASS. Il se compose de plusieurs charges utiles de navigation installées sur des satellites en orbite géostationnaire et d'un réseau de stations terrestre (RIMS) comprenant plus de 40 stations. Ces équipements augmentent la précision et la fiabilité des services offerts par les signaux GPS et GLONASS dans une zone géographique couvrant l'Europe et les pays méditerranéens (*Commission Des Communautés Européennes, 2003*).

EGNOS permettra d'améliorer considérablement le service standard de GPS, en termes de précision (EGNOS permet une précision en temps réel de 2 à 5 mètres, tandis que celle des signaux bruts GPS est de l'ordre de 20 mètres), en termes de garantie de service (diffusion d'un signal d'intégrité) et améliore la disponibilité (diffusion des signaux supplémentaires) (*Ventura-traveset, 2004*).

## 2. Corrections transmises par EGNOS

### 2.1 Corrections rapides

Les corrections rapides ( $PRC_f$ ) sont diffusées pour corriger les erreurs qui varient rapidement comme les erreurs d'horloge et les erreurs d'éphémérides. Elles fournissent des corrections de pseudo distance pour chaque satellite (PRC), qui sont appliquées directement à la mesure de pseudo distance pour la durée d'applicabilité du message.

En plus de cette correction, une variation de correction ( $RRC$  -Range Rate Correction-) est aussi ajoutée à la mesure afin de compenser celle-ci lors de la réception des messages.

Les équations (1) et (2) présentent le calcul de ces corrections en mètres :

$$PR_{corrigé}(t) = PR_{mesuré}(t) + PRC_f(t_{of}) + RRC(t - t_{of}) \quad (1)$$

Et

$$PRC_{f\text{ courant}} - PRC_{f\text{ précédent}} = \frac{RRC(t_{of})}{t_{of\text{ courant}} - t_{of\text{ précédent}}} \quad (2)$$

Où:

- $t$  est le moment d'applicabilité, et  $t_{of}$  est le temps d'applicabilité du message le plus récent en (s),
- $PR_{corrigé}$  est la pseudo-distance corrigée, et  $PR_{mesuré}$  la pseudo-distance mesurée en (m),
- $PRC_f$  est la correction rapide, et  $RRC$  est la variation de la correction en (m).

### 2.2 Corrections lentes

Le but des corrections lentes ou corrections à long terme est :

- de corriger les erreurs qui varient lentement comme la position des satellites fournie par les éphémérides radio diffusées;
- d'actualiser les erreurs d'horloges des satellites ( $\delta a_{f0}$ ).

Les corrections de position des satellites sont calculées en utilisant une interpolation linéaire :

$$\begin{aligned} DX(t) &= DX(t_0) + D\dot{X}(t_0)(t - t_0) \\ DY(t) &= DY(t_0) + D\dot{Y}(t_0)(t - t_0) \\ DZ(t) &= DZ(t_0) + D\dot{Z}(t_0)(t - t_0) \end{aligned} \quad (3)$$

Tel que :

- $DX(t)$ ,  $DY(t)$ ,  $DZ(t)$  : correction de position du satellite à l'instant  $t$  (m);

- $DX(t_0)$ ,  $DY(t_0)$ ,  $DZ(t_0)$  : position des satellites provenant des éphémérides (m);
- $D\dot{X}$ ,  $D\dot{Y}$ ,  $D\dot{Z}$  : dérive des corrections (via SBAS) ; elle est égale à zéro lorsque le *Velocity Code* est nul (m/s);
- $t$  : moment d'applicabilité, et  $t_0$  : moment de réception du message (s),

$$\begin{bmatrix} X_{corr}(t) \\ Y_{corr}(t) \\ Z_{corr}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{GPS}(t) \\ Y_{GPS}(t) \\ Z_{GPS}(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} DX(t) \\ DY(t) \\ DZ(t) \end{bmatrix} \quad (4)$$

La mise à jour des horloges est donnée par l'équation suivante (*Gillieron, 2004*) :

$$\delta\Delta T_{sat}(t) = \delta a_{f0} + \delta a_{f1}(t - t_0) \quad (5)$$

Où:

- $t$  : moment d'applicabilité, et  $t_0$  : moment de réception du message (s),
- $\delta\Delta T_{sat}$  est la correction d'horloge (s);
- $\delta a_{f0}$  est la correction d'erreur d'horloge (s);
- $\delta a_{f1}$  est la dérive de correction et elle est égale à zéro lorsque le *Velocity Code* est nul (s).

Le facteur de correction de pseudo distance est donné par :

$$RC_{clock}(t) = \delta\Delta T_{sat}(t) \times c \quad (6)$$

### 2.3 Corrections ionosphériques

EGNOS transmet des corrections ionosphériques pour chacun des points appelés IGP (*Ionospheric Grid Points*) d'une grille virtuelle située à 350 km d'altitude. Connaissant la position de ces points particuliers et l'estimation du délai pour chaque IGP, le récepteur peut estimer le retard ionosphérique pour chaque IPP (*Ionospheric Pierce Point*) et donc pour chaque pseudo distance mesurée. Pour cela le récepteur doit réaliser une interpolation entre les valeurs fournies pour les IGP voisins de chaque IPP.

Le récepteur prend en compte un facteur d'Oblicité (angle avec lequel l'ionosphère est traversée : *Fpp Obliquity Factor at Pierce Point*) entre l'IPP et l'utilisateur (*Arbesser-Rastburg, 2002*).

Le  $F_{pp}$  se calcule par :

$$F_{PP} = \left[ 1 - \left( \frac{R_e \cos E}{R_e + h_I} \right)^2 \right]^{-1/2} \quad (7)$$

Où:

- $F_{PP}$  est le facteur d'oblicité;
- $E$  est l'angle d'élévation du satellite par rapport à l'utilisateur (radians);
- $R_e$  est le rayon approximatif de la Terre (6378,1363 km);
- $h_I$  est la hauteur de la densité maximale d'électrons (350 km).

Le calcul de la correction ionosphérique (IC) est donné par :

$$IC = F_{PP} \times \tau_{IPP}(\text{m}) \quad (8)$$

Tel que  $\tau_{IPP}$  est le délai de l'IPP. Cette correction ionosphérique est ajoutée directement aux mesures de pseudo-distance (Guay, 2010).

### 3. Calcul des niveaux de protection

EGNOS diffuse des paramètres qui permettent à l'utilisateur d'évaluer le degré de confiance dans les corrections différentielles et d'estimer une limite de son erreur de position ; ces paramètres appelés niveaux de protection XPL (*Horizontal or Vertical Protection Level*).

EGNOS transmet des variances pour chacune des corrections, puis le récepteur assemble ces variances afin d'avoir une limite pour la mesure de pseudo-distance d'un satellite. La somme des variances se calcule ainsi :

$$\sigma_i^2 = \sigma_{i,flt}^2 + \sigma_{i,UIRE}^2 + \sigma_{i,air}^2 + \sigma_{i,tropo}^2 \quad (9)$$

Où :

- $\sigma_i^2$  est la somme des variances pour chaque satellite ( $\text{m}^2$ );
- $\sigma_{i,flt}^2$  représente la variance des résidus de correction rapides et lentes ( $\text{m}^2$ );
- $\sigma_{i,UIRE}^2$  est la variance des erreurs de correction ionosphérique ( $\text{m}^2$ );
- $\sigma_{i,air}^2$  est la variance des erreurs du récepteur ( $\text{m}^2$ );
- $\sigma_{i,tropo}^2$  représente le carré de l'erreur résiduelle de correction troposphérique ( $\text{m}^2$ ).

La matrice de confiance est donnée par (Walter, 2012) :

$$W = \begin{bmatrix} 1/\sigma_1^2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1/\sigma_2^2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1/\sigma_N^2 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Le calcul de XPL est donné par :

$$XPL = K \times d \text{ tel que}$$

$$d = (G^T \cdot W \cdot G)^{-1} \cdot G^T \cdot W \quad (11)$$

Avec

$$G_i = [-\cos Eli \sin Azi \quad -\cos Eli \cos Azi \quad -\sin Eli \quad 1]$$

= *i* ème ligne de *G*

K est un facteur multiplicatif qui dépend de l'application (aviation, maritime, terrestre.....).

### 4. Résultats et Analyses

Les résultats dépendent du choix de plusieurs paramètres (RIMS filtre, RIMS network) et des conditions initiales (constellation, date, zone, masque d'élévation) :

- Date : 1 Mars 2013, constellation GPS ;
- Dans cette étude on a choisi une zone qui contient tout le territoire Algérien, elle est déterminée par : longitude min = -30°, longitude max =40° et latitude min =15°, latitude max =70° ;
- RIMS filtre : dans cette étude, le nombre minimal des stations RIMS pour surveiller un satellite est de 3, et l'élévation minimale d'un satellite pour être surveillé par une station RIMS est de 5° ;
- RIMS Network : pour les stations RIMS ; le choix a été porté en premier temps sur les stations opérationnelles en 2013 qui sont au total de 36 (European Commission, 2013), et en deuxième temps l'analyse a été faite sur l'ajout, aux stations déjà opérationnelles, de la station initialement prévue d'être implantée à Tamanrasset.

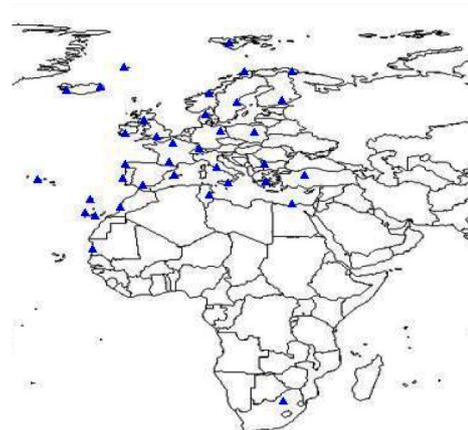


Fig. 6 Distribution géographique des stations RIMS existantes (2013)

Trois stations ont été ajoutées en 2012 (La Palma (Espagne), Athènes (Grèce) et Alexandrie (Egypte). La station de Djerba (Tunisie) est opérationnelle depuis 2009 et la station d'Agadir (Maroc) est en phase de test. Concernant la station de Tamanrasset, un changement de site est en discussion pour des raisons liées à l'indisponibilité (probablement) du signal EGNOS dans certaines parties Sud du territoire Algérien.

#### 4.1 Erreur de système de navigation NSE

La précision d'une position peut être estimée lorsqu'on dispose d'informations sur la qualité du signal du système de navigation; cette information est transmise par EGNOS.

Les figures [2] et [3] donnent le pourcentage du temps pour que le système maintienne l'erreur de position inférieure à 8 m (pour répondre aux besoins de l'aviation civile).

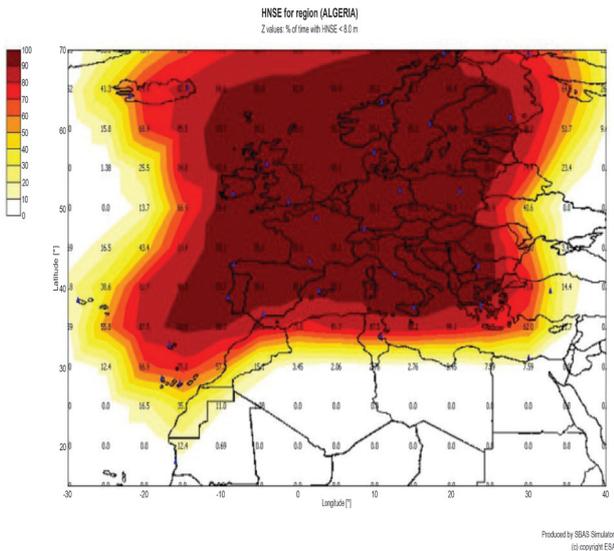


Fig. 2 Erreur horizontale d’EGNOS avec 36 stations RIMS en %

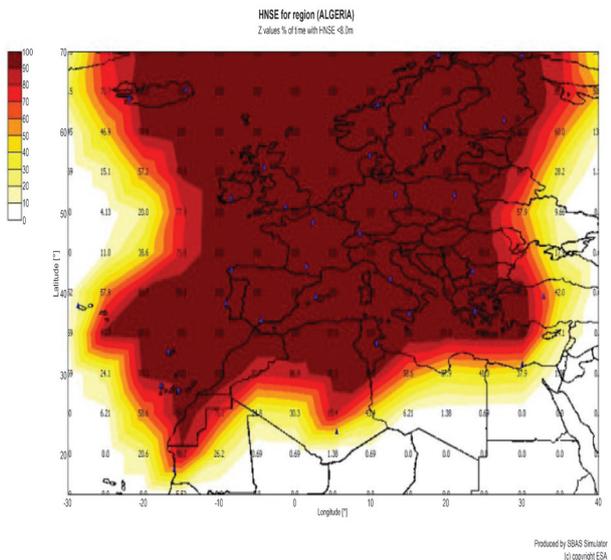


Fig. 3 Erreur horizontale d’EGNOS avec 37 stations RIMS incluant la station probable de Tamanrasset en %

Le tableau [1] donne la disponibilité de service avec une erreur de moins de 8 m dans quelques pays ainsi que les résultats de la simulation :

Tableau 1. Erreur horizontale d’EGNOS en %

Lieu	Réseau actuel (36 stations)	36 stations + station de Tamanrasset
France	95%	100%
Angleterre	94%	100%
Tunisie	80%	100%
Maroc	65%	95%
Nord Algérie	70%	95%
Sud Algérie	0%	70%

L’introduction de la station de Tamanrasset permet d’augmenter le pourcentage de l’erreur de système de navigation, ce pourcentage atteint son maximum (100 %), en France, en Angleterre et en Tunisie.

Dans le sud de l’Algérie, ce pourcentage est nul en l’absence de la station de Tamanrasset, mais l’ajout de cette station au réseau actuel permet de garantir cette erreur < 8 m jusqu’à 70% du temps en horizontal ; et en vertical le système peut garantir cette erreur < 8 m jusqu’à 60 % du temps.

On constate que les corrections d’EGNOS peuvent être utilisées seulement pour le territoire couvert par les stations RIMS du système.

4.2 Niveau de protection XPL

Les messages EGNOS permettent de borner les mesures de pseudo-distance individuellement.

Cela permet d’éliminer une mesure si celle-ci excède la borne de confiance afin de ne pas affecter la solution de navigation (Leite-Ribeiro, 2011).

Les figures [4] et [5] illustrent le niveau de protection donné par EGNOS et donnent le pourcentage du temps pour que le système puisse assurer une protection horizontale inférieure à 40 m pour les applications de l’aviation civile.

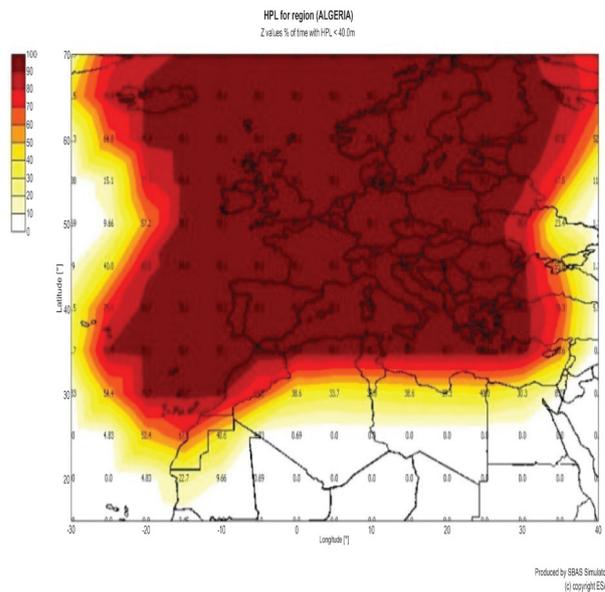


Fig. 4 Niveau de protection horizontale avec 36 stations RIMS en %

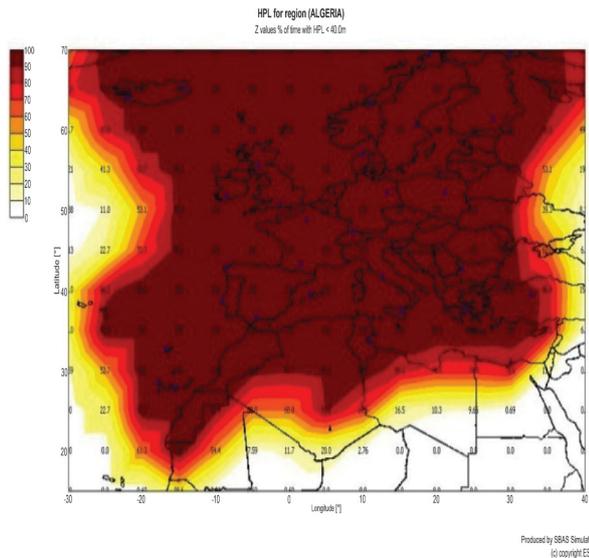


Fig. 5 Niveau de protection horizontale avec 37 stations RIMS incluant la station probable de Tamanrasset en %

L'ajout de la station de Tamanrasset permet d'augmenter la zone de protection en particulier en Algérie. Le résultat de l'estimation du niveau de protection horizontal est résumé dans le tableau [2]:

Tableau 2. Niveau de protection en %

Lieu	Réseau actuel (36 stations)	36 stations + station de Tamanrasset
France	95%	100%
Angleterre	95%	100%
Tunisie	85%	100%
Maroc	85%	100%
Nord Algérie	80%	100%
Sud Algérie	0%	75%

Sur le nord de l'Algérie, pendant 80 % du temps, le système peut assurer une protection horizontale avec le réseau actuel. Contrairement au sud de l'Algérie, où le pourcentage du temps pour que cette protection soit inférieure à 40 m est nul.

Néanmoins, l'utilisation de la station RIMS de Tamanrasset permet d'augmenter ce pourcentage pour atteindre 100% dans tous les pays à l'exception du sud de l'Algérie qui bénéficie d'une augmentation de 75 %.

### 4.3 Précision sur l'erreur verticale de la grille ionosphérique

La précision des corrections ionosphériques dépend du nombre des points IPP, plus ce nombre augmente par l'ajout des stations RIMS, plus la précision des corrections ionosphériques  $\sigma_{GIVE}$  sera meilleure.

La figure [6] donne les points de pénétration de l'ionosphère de toutes les stations RIMS avec tous les satellites GPS.

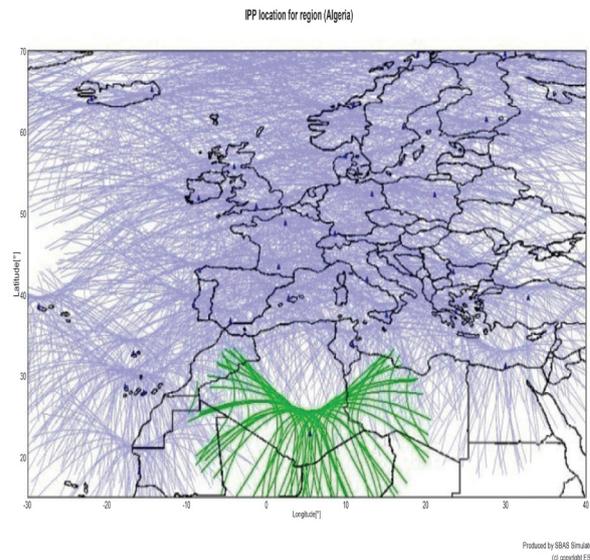


Fig. 6 IPP de l'ionosphère de toutes les stations RIMS (en bleu) et IPP de l'ionosphère de la station probable de Tamanrasset (en vert)

L'ajout de la station de Tamanrasset permet d'augmenter les points de pénétration de l'ionosphère au sud de l'Algérie.

L'utilisation des valeurs  $\sigma_{GIVE}$  fournies par le système permet à l'utilisateur de calculer l'erreur ionosphérique verticale pour chaque point ionosphérique, plus cette valeur est minimisée plus la précision sur l'erreur ionosphérique est améliorée.

Les figures [7] et [8] donnent la précision sur ces valeurs pour la zone étudiée:

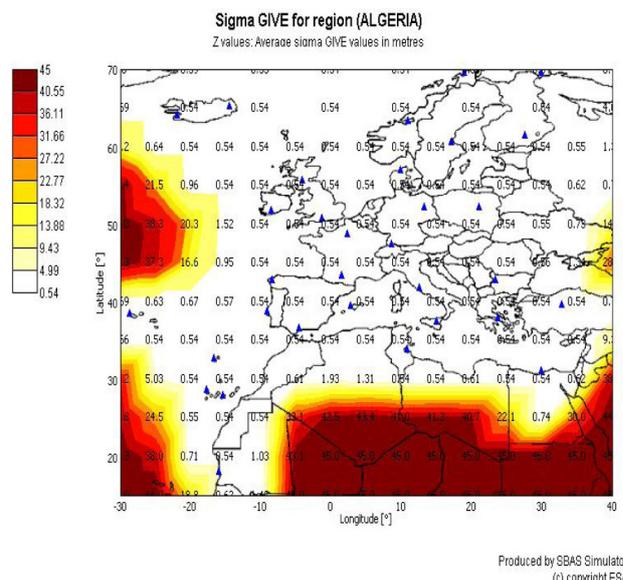


Fig. 7  $\sigma_{GIVE}$  avec 36 stations RIMS en m

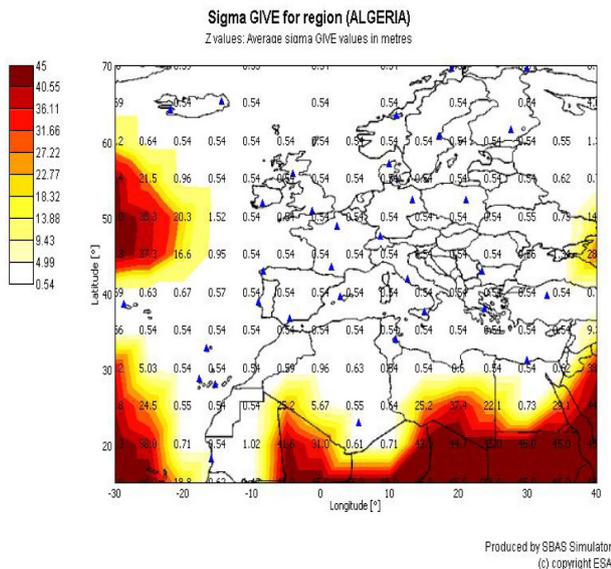


Fig. 8  $\sigma_{GIVE}$  avec 37 stations RIMS incluant la station probable de Tamanrasset en m

Les résultats de la figure [7], montrent que les intervalles des valeurs  $\sigma_{GIVE}$  varient entre 0.54 et 4 dans toutes les régions proches ou pourvues de stations RIMS. Les résultats montrent que cette valeur est égale à 0.54 au Nord de l'Algérie, au centre, cette valeur varie entre 1.31 et 1.93 néanmoins au sud de l'Algérie, elle varie entre 42.5 et 45.

Concernant les résultats de la simulation, l'ajout de la station RIMS de Tamanrasset permet de réduire toutes ces valeurs, en particulier au centre où cette valeur est minimisée dans un intervalle de [0.63, 0.96]; et au sud de l'Algérie; elle a été réduite jusqu'à 0.61.

On peut constater que l'ajout d'une station permet d'augmenter le nombre de points IPP qui permet d'améliorer la précision verticale de la grille ionosphérique.

## 5. Conclusion

L'amélioration des performances du système GPS par EGNOS permet d'obtenir une meilleure précision, d'augmenter la continuité de service et surtout d'assurer le contrôle de l'intégrité.

Cette étude a permis de mieux quantifier l'influence des stations RIMS pour améliorer la précision de positionnement en particulier en Algérie. La mise en œuvre des installations sol d'une station RIMS permettra de recevoir les corrections émises par le système dans le territoire Algérien et bénéficiera certainement des avantages offerts par ce système.

La simulation du site de Tamanrasset a montré que les performances du système ne peuvent pas être atteintes sur tout le territoire Algérien, mais garantit plutôt une meilleure couverture dans la direction du réseau principal de stations RIMS (vers l'Europe), donc assure une meilleure couverture du Nord de l'Algérie. Les conclusions tirées de cette étude sont:

- Les corrections fournies par chaque station RIMS dépendent des stations voisines;
- L'amélioration de service EGNOS est interne du réseau des stations RIMS;
- La portée entre deux RIMS est importante ; plus les stations sont proches plus l'amélioration est importante, c'est-à-dire les stations isolées n'ont aucune influence.

Pour toutes ces raisons le déplacement de la station de Tamanrasset plus au Nord, vers le centre du pays notamment, pourrait assurer une meilleure couverture du système EGNOS en Algérie.

## Acronymes

EGNOS : European Geostationary Navigation Overlay Service  
 ESA : European Space Agency  
 Fpp : Obliquity Factor at Pierce Point  
 GIVE : Grid Ionospheric Vertical Error  
 IC: Ionospheric correction  
 IGP : Ionospheric Grid Points  
 IPP: Ionospheric Pierce Point  
 NSE : Navigation System Error  
 PRCf: : Fast Pseudo Range Correction  
 RIMS : Ranging and Integrity Monitoring Stations  
 RRC : Range-Rate Correction  
 XPL : Horizontal or Vertical Protection Level

## Références Bibliographiques

- Allien. A.; Taillandier. C; Capo. C; Priselkow. K; Legenne. J; Marechal. J et Jeannot. M. [2011]: *Guide EGNOS à l'usage des développeurs d'applications*. Commission Européen, ED 2.0.
- Arbesser-Rastburg. B[2002]: *Ionospheric Corrections for satellite navigation using EGNOS*, European Space Agency, ESA-ESTEC, TOS-EEP.
- Commission des Communauté Européennes [2003] : *Intégration du programme EGNOS dans le programme GALILEO*.
- EGNOS Message Server (EMS): <http://www.egnos-pro.esa.int/ems/>
- European Commission [2013]: *EGNOS Data Access Service (EDAS) Service Definition Document*, New services available: FTP, SISNeT, Data Filtering, Ntrip. New client software version available.

- European Space Agency (SBASimulator); <http://www.egnos.pro.esa.int/sbassimulator>
- Gillieron. P-Y. [2004]: *Principes et Architecture des Systèmes d'Augmentation*, Laboratoire de topométrie, EPFL. Ref: EGN-SDD EDAS, V2.0.
- Guay. J-C [2010]: *Récepteur SBAS-GNSS logiciel pour des applications temps-réel*, École De Technologie Supérieure, Université du Québec, maîtrise en génie électrique M. Ing.
- Jimenez-Baños. D, Powe. M, Raj mathur. A, Toran. F, Flament. D, Chatre. E. [2011]: *EGNOS Open Service Guidelines for receiver manufacturers*; 24th International Technical.
- Leite-Ribeiro. J-P. [2011]: *Positioning Systems in Airport Environments*; master thesis; Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.
- Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, Portland OR.
- Ventura- Traveset. Michel. J, P and Gauthier. L. [2004]: *Architecture, mission and signal processing aspects of the EGNOS System: the first European implementation of GNSS*; European Space Agency (ESA).
- Walter. T. [2012]: *Satellite Navigation for Guidance of Aircraft*, Presented to Workshop on Science Application of GNSS in Developing Countries.
-