

Application des lignes géodésiques et des équations de la régression multiple pour la transformation entre deux Datums

A. Zeggai, B. Ghezali, R. Ait Alumed Lamara, N. Kheloufi, H. Taïbi, S. Touam
Centre National des Techniques Spatiales - Division de géodésie
BP, 13 Arzew - 31200 – Algérie.

Résumé : Les modèles globaux (Molodensky Badekas, Bursa Wolf, Veis, etc.) sont généralement les plus utilisés dans la résolution des paramètres de transformation entre deux systèmes géodésiques. Dans le cas du système géodésique Algérien (Nord Sahara 59), le calcul des paramètres est altéré par le manque d'information sur l'ondulation du géoïde au dessus de l'ellipsoïde astro géodésique de Clarke 1880A. Pour palier à ce problème, deux approches basées sur les lignes géodésiques (Azimut et longueur) et les équations de la régression multiple sont proposées dans cet article. Les tests effectués ont porté sur la détermination des paramètres de transformation entre WGS 84 et Nord Sahara 59. Les données utilisées sont constituées de 16 points répartis dans le Nord de l'Algérie (08 points d'appui et 08 points de contrôle). Les résultats des différents modèles de transformation sont illustrés.

Mots clés : Transformation, datum, correction d'azimut, variation d'échelle, équations de la régression multiple.

Abstract : The global models (Bursa Wolf, Molodensky Badekas, Veis...) are the most used to solve the transformation parameters between geodetic systems. In the case of North Sahara datum (Algeria), the parameter computation is altered by the insufficient information of the geoid's undulation above astro-geodetic ellipsoid (Clarke 1880 A). Two solutions using geodetic baselines (azimuth, geodetic length) and Multiple Regression Equation(s) are proposed. The application related to the determination of the transformation parameters between WGS 84 and North Sahara 59. The used data are constituted of 16 points distributed in the North of Algeria (08 points of reference and 08 points of control). Finally, the results of the various models are illustrated.

Key words : Transformation, datum, azimuthally correction, scale variation, Multiple Regression Equation(s).

1. Introduction

Malgré la facilité d'utilisation du système GPS (rapidité, précision), l'obtention de meilleurs résultats, nécessite les moyens mis en œuvre et l'adoption d'une méthodologie respectant les spécifications telles que la modélisation des erreurs liées aux mesures GPS, la définition d'une stratégie d'observation (redondance, réoccupation, nature des récepteurs...). l'introduction de modèles de traitements adéquats, etc.

En revanche, l'établissement des réseaux géodésiques classiques est basé sur les mesures de triangulation et de nivellement dont la valeur du réseau est impérativement liée à la qualité de ces mesures.

L'exploitation des données fournies par le GPS dans le référentiel WGS 84 (World Geodetic System 1984) pour des travaux géodésiques exprimés dans le système géodésique national (Nord Sahara 59) nécessite la mise en place de procédures particulières, tenant compte de la méconnaissance du géoïde local, telles que la résolution des équations de la régression multiple ou l'application des lignes géodésiques.

2. Les modèles globaux de transformation

La transformation des données GPS dans le système géodésique local, qui est la base du système cartographique en vigueur et dans lequel les résultats des travaux géodésiques doivent être exprimés, nécessite la connaissance des paramètres de passage. Le choix du modèle de transformation, c'est à dire la détermination des paramètres de passage, requiert la disponibilité d'un jeu de données connus dans chacun des deux systèmes. La transformation est généralement présentée sous la forme d'une similitude à sept paramètres appelée transformation d'Helmert.

Deux principaux modèles globaux de transformation sont présentés dans cet article :

2.1 Le modèle Cartésien de Bursa Wolf

C'est un modèle à sept (07) paramètres dont l'équation générale est donnée par :

$$\vec{X} = \vec{T} + (1 + \Delta k).R.\vec{x}$$

Avec :

\vec{X} : vecteur des coordonnées GPS.

\vec{x} : vecteur des coordonnées Nord Sahara.

\vec{T} : vecteur des trois (3) translations (T_x, T_y, T_z).

R : matrice exprimée en fonction des trois petites rotations (E_x, E_y, E_z) entre les deux systèmes.

Δk : variation relative du facteur d'échelle.

Pour un point, nous avons :

$$\begin{pmatrix} X-x \\ Y-y \\ Z-z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & x & 0 & z-y \\ 0 & 1 & 0 & y-z & 0 & x \\ 0 & 0 & 1 & z & y-x & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \\ \Delta k \\ E_x \\ E_y \\ E_z \end{pmatrix}$$

Pour plusieurs points, l'équation générale est donnée comme suit : $AX + B = V$

Et peut être résolue par l'ajustement des moindres carrés ($V^T.V = \text{minimum}$) dans un système normal :

$$\frac{\partial V^T.V}{\partial X^T} = A^T.A.X + A^T.B = 0$$

La solution donne :

$$X = (A^T.A)^{-1}.A^T.B$$

Où X représente le vecteur à 07 paramètres ($T_x, T_y, T_z, \Delta k, E_x, E_y, E_z$).

2.2 Le modèle géographique de Molodensky

A chaque système de référence géodésique est associé un ellipsoïde de révolution défini par ses composantes (a,b), (a,e) ou (a,f).

Les coordonnées géographiques (longitude, latitude et altitude ellipsoïdique) sont des valeurs plus représentatives dans la pratique que les coordonnées cartésiennes (X, Y, Z). La transformation mise en œuvre est alors à neuf (09) paramètres dans laquelle s'ajoutent deux autres paramètres (Da et Df ou De) ; où Da, Df et De représentent respectivement la variation du 1/2 grand axe ($a_2 - a_1$), la variation de l'inverse de l'aplatissement ($f_2 - f_1$) et la variation de l'excentricité ($e_2 - e_1$).

Il existe des formules permettant de s'affranchir des coordonnées géocentriques liées aux deux ellipsoïdes et d'aboutir à une transformation directe issue des équations différentielles de Molodensky.

En pratique si les systèmes de coordonnées X et x sont identiques, on obtient un modèle :

$$\vec{X} = F(\vec{x}, \vec{\alpha})$$

$$\vec{X} = {}^t(X, Y, Z)$$

$$\vec{x} = {}^t(\lambda, \varphi, he)$$

$$\vec{\alpha} = {}^t(a, f)$$

L'équation différentielle devient :

$$d\vec{X} = \frac{\partial F}{\partial x} d\vec{x} + \frac{\partial F}{\partial \alpha} d\vec{\alpha}$$

$$d\vec{X} = J.d\vec{x} + K.d\vec{\alpha}$$

Où J et K représentent les Jacobiens de la transformation.

Avec :

$$d\vec{x} = {}^t(\lambda_2 - \lambda_1, \varphi_2 - \varphi_1, he_2 - he_1)$$

$$d\vec{\alpha} = {}^t(da, df) = {}^t(a_2 - a_1, f_2 - f_1)$$

$$\vec{X} = F(\vec{x}, \vec{\alpha}) = \begin{pmatrix} (N + he). \cos \varphi. \cos \lambda \\ (N + he). \cos \varphi. \sin \lambda \\ (N(1 - e^2) + he). \sin \varphi \end{pmatrix}$$

N représente la grande normale ou normale principale.

$$d\vec{X} = U.d\vec{\theta}$$

$$d\vec{\theta} = {}^t(T_x, T_y, T_z, \delta k, E_x, E_y, E_z)$$

Nous pouvons écrire que :

$$d\vec{x} = J^{-1}.U.d\vec{\theta} - J^{-1}.K.d\vec{\alpha}$$

Où $A = J^{-1}.U$, $B = -J^{-1}.K$.

L'équation différentielle de Molodensky s'écrit finalement :

$$d\vec{x} = A.d\vec{\theta} + B.d\vec{\alpha}$$

Ces équations peuvent également être simplifiées en formules dites de Molodensky-DMA, telles que

$$\lambda_2 - \lambda_1 = -\frac{\sin \lambda}{(N+h)\cos \varphi} \cdot Tx + \frac{\cos \lambda}{(N+h)\cos \varphi} Ty - (1-2f)tg\varphi(\cos \lambda \cdot Ex + \sin \lambda \cdot Ey) + Ez$$

$$\varphi_2 - \varphi_1 = -\frac{\sin \varphi \cdot \cos \lambda}{(\rho+h)\cos \varphi} \cdot Tx - \frac{\sin \varphi \cdot \sin \lambda}{(\rho+h)\cos \varphi} Ty + \frac{\cos \varphi}{(\rho+h)} Tz + \sin \lambda \cdot Ex - \cos \lambda \cdot Ey$$

$$h_2 - h_1 = \cos \varphi \cdot \cos \lambda \cdot Tx + \cos \varphi \cdot \sin \lambda \cdot Ty + \sin \varphi \cdot Tz + a \cdot \Delta k - da + (adf - fda) \sin^2 \varphi$$

C'est l'écriture matricielle pour un seul point. Pour le cas de n points, la solution est donnée par la méthode des moindres carrés.

3. Approche des lignes géodésiques

L'utilisation des lignes géodésiques, dans le calcul des transformations ou passage entre coordonnées WGS 84 et coordonnées du système géodésique en vigueur dans un pays (Nord Sahara 59 pour notre cas), présente l'un des grands avantages dans la détermination des coordonnées transformées pour les bases usuelles d'applications topographiques.

La méthode nécessite au moins un point double contrairement aux méthodes tridimensionnelles (3 points > 7 paramètres). La précision se dégrade dès que la longueur de la géodésique devient importante. La précision, des éléments tels que l'azimut et la longueur, doit s'imposer avec rigueur.

3.1 Principe

La solution envisagée pour le problème de la transformation passe par la détermination d'abord des éléments de la géodésique dans le système GPS relatif à l'ellipsoïde WGS84 (aspect inverse : figure 1) puis le calcul des coordonnées de l'extrémité du point B dans le système Nord Sahara (aspect direct : figure 2).

La précision de la transformation réside dans le calcul précis de la correction angulaire entre les azimuts sur les deux ellipsoïdes et du facteur d'échelle.

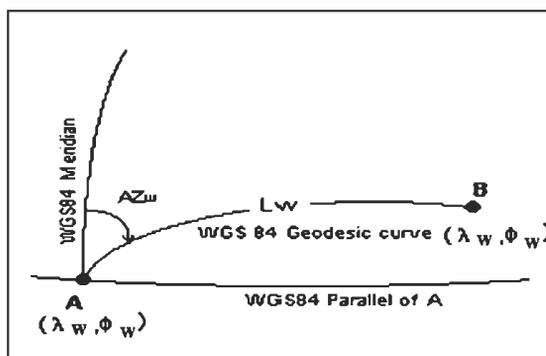


Fig. 1 Problème inverse des géodésiques.

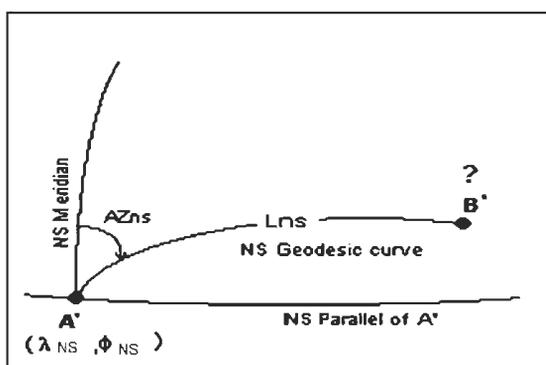


Fig. 2 Problème direct des géodésiques.

3.2 Détermination de la correction d'azimut de la géodésique

La détermination de la correction d'azimut est basée sur la comparaison des azimuts obtenus par GPS et des azimuts calculés dans le système NORD SAHARA.

$$az_{NS} = az_w + \Delta az$$

$$\Delta az_o = \frac{\sum \Delta az_i}{n}$$

$$\Delta az - \Delta az_o = a_i^T x + v_i$$

Avec :

Δaz_o : solution moyenne.

x : vecteur (nx1) des paramètres inconnus.

a_i^T : matrice (nx5) coefficients connus.

v_i : vecteur (nx1) des résidus.

Comme la différence $(\Delta az - \Delta az_o)_i$ est très petite, la fonction F peut être supposée linéaire et peut s'écrire sous la forme suivante :

$$\Delta az_i - \Delta az_o = F_i(\Delta\lambda, \varphi, az, D) = \mathbf{a}_i^T \mathbf{x} + \mathbf{v}_i$$

Avec :

$$\mathbf{a}_i^T \mathbf{x} = F_i = \mathbf{a} \cdot az + b\Delta\lambda + c\varphi + d \cdot D + e$$

Les coefficients a, b, c, d et e sont traités par moindres carrés et sont valables pour chaque station connue. La solution exige au moins six points d'appui connus dans les deux systèmes.

3.3 Calcul du facteur d'Echelle

L'échelle est définie comme étant le rapport :

$$k_i = \left(\frac{\text{Géodésique Nord Sahara}}{\text{Géodésique WGS84}} \right)_i$$

Comme les longueurs exprimées dans les deux ellipsoïdes sont voisines, le rapport ou facteur d'échelle est voisin de l'unité et par conséquent égal à :

$$k_i = 1 + \Delta k_i$$

Comme la différence Δk_i est très petite, la fonction G est supposée linéaire et peut être écrite comme suit :

$$\Delta k_i = G_i(\Delta\lambda, \varphi, az, D)$$

$$\Delta k_i = \mathbf{a}_i^T \mathbf{x} + \mathbf{v}_i$$

$$\mathbf{a}_i^T \mathbf{x} = G_i = \mathbf{a}' \cdot az + \mathbf{b}' \Delta\lambda + \mathbf{c}' \varphi + \mathbf{d}' D + \mathbf{e}'$$

Les coefficients a', b', c', d', e' sont obtenus par moindres carrés et sont valables pour chaque station connue. La solution exige au moins six points d'appui connus dans les deux systèmes.

4. Approche des équations de la régression multiple (MRE(s))

4.1 Cas général de la transformation

La transformation polynomiale entre deux systèmes géodésiques est appliquée dans le cas où l'un des systèmes ou bien les deux à la fois présentent une incohérence en orientation et en échelle. La petite distorsion est approximée par une fonction polynomiale en coordonnées géographiques (latitude et longitude) ou en composantes locales (Est et Nord).

La plus simple des fonctions polynomiales est la fonction polynomiale générale. Pour éviter les

problèmes d'instabilité numérique, ce type de polynôme doit être utilisé après réduction des valeurs de coordonnées dans les deux systèmes. Ce qui revient à faire un changement de repère (translation) dont l'origine est le point central d'évaluation (barycentre, point d'appui, point le plus proche du milieu, ...). Ainsi, le point d'évaluation est choisi dans le référentiel d'origine (x_0, y_0) et dans le deuxième référentiel (X, Y). Souvent, ces deux jeux de coordonnées ne se réfèrent pas au même point physique mais deux points sont choisis de telle sorte qu'ils aient les mêmes coordonnées dans les deux systèmes.

Le choix de ce point dans les deux référentiels, nous permet de réduire les coordonnées des points comme suit :

$$(\mathbf{x} - \mathbf{x}_0), (\mathbf{y} - \mathbf{y}_0) \text{ et } (\mathbf{X} - \mathbf{X}_0), (\mathbf{Y} - \mathbf{Y}_0)$$

Les différences de coordonnées sont exprimées dans leurs propres unités de mesure.

$$\begin{aligned} \mathbf{U} &= \mathbf{k}(\mathbf{x} - \mathbf{x}_0) \\ \mathbf{V} &= \mathbf{k}(\mathbf{y} - \mathbf{y}_0) \end{aligned}$$

Où

$\mathbf{x}_0, \mathbf{y}_0$: Coordonnées origine (1^{er} système).

$\mathbf{X}_0, \mathbf{Y}_0$: Coordonnées origine (second système).

x, y : Coordonnées du point d'évaluation dans le système d'origine.

\mathbf{k} : Le facteur d'échelle appliqué dans le premier système.

Les coordonnées normalisées U et V des points dont les coordonnées sont à transformer sont utilisées comme des sorties dans la formule de transformation polynomiale.

Les fonctions polynomiales s'écrivent comme suit :

$$\begin{aligned} d\mathbf{X} &= \mathbf{A}_0 + \mathbf{A}_1 \cdot \mathbf{U} + \mathbf{A}_2 \cdot \mathbf{V} + \dots + \mathbf{A}_5 \cdot \mathbf{V}^2 \\ &+ \mathbf{A}_6 \cdot \mathbf{U}^3 + \dots + \mathbf{A}_8 \cdot \mathbf{U} \cdot \mathbf{V}^2 + \mathbf{A}_9 \cdot \mathbf{V}^3 \\ &+ \mathbf{A}_{10} \cdot \mathbf{U}^4 + \dots + \mathbf{A}_{13} \cdot \mathbf{U} \cdot \mathbf{V}^3 + \mathbf{A}_{14} \cdot \mathbf{V}^4 \\ &+ \mathbf{A}_{15} \cdot \mathbf{U}^5 + \dots + \mathbf{A}_{19} \cdot \mathbf{U} \cdot \mathbf{V}^4 + \mathbf{A}_{20} \cdot \mathbf{V}^5 \\ &+ \mathbf{A}_{21} \cdot \mathbf{U}^6 + \dots + \mathbf{A}_{26} \cdot \mathbf{U} \cdot \mathbf{V}^5 + \mathbf{A}_{27} \cdot \mathbf{V}^6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d\mathbf{Y} &= \mathbf{B}_0 + \mathbf{B}_1 \cdot \mathbf{U} + \mathbf{B}_2 \cdot \mathbf{V} + \dots + \mathbf{B}_5 \cdot \mathbf{V}^2 \\ &+ \mathbf{B}_6 \cdot \mathbf{U}^3 + \dots + \mathbf{B}_8 \cdot \mathbf{U} \cdot \mathbf{V}^2 + \mathbf{B}_9 \cdot \mathbf{V}^3 \\ &+ \mathbf{B}_{10} \cdot \mathbf{U}^4 + \dots + \mathbf{B}_{13} \cdot \mathbf{U} \cdot \mathbf{V}^3 + \mathbf{B}_{14} \cdot \mathbf{V}^4 \\ &+ \mathbf{B}_{15} \cdot \mathbf{U}^5 + \dots + \mathbf{B}_{19} \cdot \mathbf{U} \cdot \mathbf{V}^4 + \mathbf{B}_{20} \cdot \mathbf{V}^5 \\ &+ \mathbf{B}_{21} \cdot \mathbf{U}^6 + \dots + \mathbf{B}_{26} \cdot \mathbf{U} \cdot \mathbf{V}^5 + \mathbf{B}_{27} \cdot \mathbf{V}^6 \end{aligned}$$

Les coefficients ($A_i, i=1,n$) et ($B_i, i=1,n$) sont estimés par la méthode des moindres carrés. Les écarts (dx, dy) sont calculés. La relation entre les deux systèmes de coordonnées peut s'écrire :

$$\begin{aligned} (X - X_0) &= (x - x_0) + dX \\ (Y - Y_0) &= (y - y_0) + dY \end{aligned}$$

D'où l'écriture finale des coordonnées transformées:

$$\begin{aligned} X &= X_0 + (x - x_0) + dX \\ Y &= Y_0 + (y - y_0) + dY \end{aligned}$$

Avec :

X_0, Y_0 : Coordonnées origine (1^{er} système).

X_0, Y_0 : Coordonnées du point d'évaluation dans le second système.

x, y : Coordonnées du point d'évaluation dans le premier système.

X, Y : Coordonnées du point d'évaluation dans le second système.

dX, dY : Sont déduits à partir de la formule polynomiale du facteur d'échelle.

Les coordonnées utilisées peuvent être des coordonnées planes ou des coordonnées géographiques géodésiques, exprimées avec des unités décimales.

4.2 Transformation MRE(s)

La méthode dite transformation par les équations à régression multiple ou MRE(s) a été utilisée par la NIMA (DMA : 1984) pour le passage d'un système géodésique local vers le système WGS 84. La méthode vient pour compléter les formules de transformations issues des équations différentielles de Molodensky.

Les équations de la régression multiple permettent de déterminer ou d'évaluer les distorsions non linéaires dans un réseau appartenant au premier système ou à l'autre.

L'inconvénient majeur de la méthode est la non validité de cette dernière pour des points qui se trouvent à l'extérieur de la zone ou du champ d'application défini par ces limites. Les résultats peuvent être extrêmement peu fiables.

La transformation des coordonnées géographiques géodésiques d'un point s'écrit de la manière suivante:

$$\begin{aligned} \lambda_2 &= \lambda_1 + \Delta\lambda \\ \varphi_2 &= \varphi_1 + \Delta\varphi \\ h_2 &= h_1 + \Delta h \end{aligned}$$

Avec :

$\lambda_1, \varphi_1, h_1$: Coordonnées géodésiques (1^{er} système).

$\lambda_2, \varphi_2, h_2$: Coordonnées géodésiques (2^{ème} système).

$\Delta\lambda, \Delta\varphi, \Delta h$: différences en longitude, latitude et hauteur ellipsoïdique.

La forme générale de la différence entre deux Datums en utilisant la MRE pour la latitude φ est donnée comme suit (DMA, 1984) :

$$\begin{aligned} \Delta\varphi &= A_0 + A_1.U + A_2.V + A_3.U^2 + A_4.U.V \\ &+ A_5.V^2 + \dots + A_{54}.V^9 + A_{55}.U^9.V \\ &+ A_{56}.U^8.V^2 + \dots + A_{64}.U^9.V^2 + A_{65}.U^8.V^3 \\ &+ A_{56}.U^8.V^2 + \dots + A_{72}.U^9.V^3 + A_{73}.U^8.V^4 \\ &+ \dots + A_{99}.U^9.V^9 \end{aligned}$$

Où :

A_0, A_1, \dots, A_{99} : 100 coefficients possibles déterminés dans la MRE.

$U = k.(\varphi - \varphi_0)$: Latitude géodésique normalisée.

$V = k.(\lambda - \lambda_0)$: Longitude géodésique normalisée.

k : facteur d'échelle.

λ_0, φ_0 : Coordonnées origine du premier système.

La forme des relations exprimant les différences $\Delta\lambda$ et Δh est identique à celle $\Delta\varphi$. Il suffit simplement de remplacer $\Delta\varphi$ par $\Delta\lambda$ ou Δh .

Le degré de la MRE dépend essentiellement du nombre de points. Pour le degré 18, il faut au moins 100 coefficients avec un minimum de 100 points.

5. Résultats obtenus

Les données utilisées sont issues de plusieurs campagnes d'observations qui ont été menées avec des récepteurs bifréquences Ashtech Z XII, soit total de 16 points répartis au Nord de l'Algérie (08 points d'appui et 08 points de contrôle).

La majorité du réseau a été observé dans le cadre du projet ALGEONET (Algerian Geodynamical Network), mené conjointement par le CNTS et l'INCT (Institut National de Cartographie et de Télédétection).

L'objectif de ce projet est la mise en place d'un réseau GPS précis, couvrant essentiellement la partie Nord de l'Algérie, pour les applications géodynamiques.

Il a été monté en 1998, ré observé en 2002, après l'extension du projet TYRGEONET (Tyrhenian Geodetic Network –ING Italie) en Algérie.

5.1 Transformation entre WGS 84 et Nord Sahara 59 : Modèles globaux

Les modèles (Bursa-Wolf, Molodensky-Badekas...) sont les plus utilisés pour calculer les paramètres de la transformation entre systèmes identiques.

Le tableau suivant (1) fournit quelques statistiques sur les coordonnées transformées à partir des modèles globaux.

Faute de manque d'information sur la hauteur du géoïde, la hauteur de l'ellipsoïde relative à Clarke 1880 (ellipsoïde associé au système Nord Sahara 59) est remplacée par l'altitude.

Tableau 1. Statistiques sur les coordonnées transformées à partir des modèles globaux.

Modèle	Ecart	Min. (m)	Max. (m)	Moy. (m)	RMS (m)
Bursa Wolf	dX	-1.426	2.686	1.294	1.397
	dY	-0.301	1.164	0.699	0.486
	dZ	-1.491	1.307	0.461	0.970
Molodensky	dλ	-1.417	0.605	-0.841	0.605
	dφ	0.090	0.541	0.404	0.090
	dH	-2.933	2.019	-1.308	1.698

Les écarts (dX, dY, dZ) et (Δλ, Δφ, dH) représentent les différences de coordonnées (cartésiennes et géographiques) sur les points de contrôle.

Les quantités (dλ, dφ) peuvent être exprimées dans le repère local par les relations suivantes :

$$dE = N \cos \phi \cdot d\lambda \text{ (Composante Est)}$$

$$dN = \rho d\phi \text{ (Composante Nord)}$$

La précision obtenue sur les coordonnées des points d'appui est identique à celle obtenue sur les coordonnées des points de contrôle. Elle est inférieure à 3 mètres.

5.2 Transformation entre WGS 84 et Nord Sahara 59 : Lignes géodésiques et MRE(s)

Les statistiques sur les coordonnées transformées par les approches des lignes géodésiques et des MRE(s) sont fournies par le tableau suivant :

Tableau 2. Statistiques sur les coordonnées transformées (MRE(s) et lignes géodésiques).

Modèle	Ecart	Min. (m)	Max. (m)	Moy. (m)	RMS (m)
MRE(s)	dλ	-0.063	0.224	0.110	0.164
	dφ	-0.407	0.634	-0.164	0.366
Lignes	dλ	-0.083	0.135	0.022	0.082
Géodésiques	dφ	-0.100	0.269	0.060	0.126

La moyenne des écarts en longitude et en latitude (dλ, dφ) obtenue par l'approche des lignes géodésiques est de l'ordre de 0.040 m. L'écart type moyen obtenu sur les coordonnées transformées est de meilleure qualité ≈ 0.104 m. Cette méthode permet de fournir une solution rigoureuse. En revanche, elle exige une grande précision sur l'azimut et la longueur.

La précision obtenue sur les coordonnées des points d'appui par ces deux dernières approches est généralement de bonne qualité. Elle ne dépasse pas le mètre.

6. Conclusion

L'introduction des sites TYRGEONET (Alger et Arzew) a permis en revanche d'ajuster tous les réseaux GPS observés et d'améliorer la précision de la transformation entre les systèmes géodésiques WGS 84 et Nord Sahara 59.

La qualité des paramètres de transformation entre les systèmes WGS 84 et Nord Sahara 59 reste tributaire de :

- La qualité des données GPS.
- La qualité des coordonnées Nord Sahara 59.
- L'information et la qualité de la hauteur du géoïde relative à l'ellipsoïde Clarke 1880 (donnée fondamentale).
- La densité et la répartition des points.
- Du choix du modèle de la transformation.

Références

D. Bouteloup, 2002 : *Systèmes géodésiques. Cours de Géodésie* Chapitre 8. IGN. Version 2.0. 20-11-2002.

N. Kheloufi, 2004 : *Qualité des données et modélisation pour l'estimation des paramètres de passage entre les systèmes WGS84 et le Nord Sahara*. Mémoire de magister. CNTS ARZEW. Novembre 2004.

- J. J. Levallois, 1969 : *La géodésie bidimensionnelle*. Tome 2, Edition Eyrolles - Paris France.
- A. Reyt, 1960 : *Les principales étapes de la géodésie en Afrique du Nord et leur incidence cartographique*. éditeur : imprimerie IGN.
- P. Vanicek– E. J. Krakiwsky, 1986 : *Geodesy : The concepts*. Second edition ISBN: 0-444-87777-0 . Elsevier Science B.V P.O. Box 211, 1000 AE Amsterdam, The Netherlands.
- World Geodetic System, 1984 : *its definition and relationships with local geodetic systems*. NIMA [2000] Technical Report TR8350.2. Department of Defense.
- A. Zeggai, S.A. Benahmed Dahou, S. Kahlouche, A.N. Nabad, S. Touam, A. Ayouaz, 2001 : *Rattachement géodésique par GPS longue base du réseau cadastral de Béchar*. Actes du séminaire sur les nouvelles techniques cartographiques à grandes échelles. ALGER 27-28 juin 2001.
- A. Zeggai, S.A. Benahmed Dahou, S. Kahlouche, A.N. Nabad, S.Touam, 2001 : *Geodetic lines transformations, GPS Levelling and Nord-Sahara Datum. Comparison with Global Models*. Assemblée scientifique de l'Association Internationale de Géodésie - Symposium A: Fine Tuning Reference Frame Implementation - Budapest du 2 au 8 septembre 2001.
-