

# Ajustement global d'un réseau géodésique classique étendu.

## Application à un réseau test du réseau primordial Algérien

■ Bachir GOURINE

*Par le passé, la compensation du réseau géodésique classique national se faisait par petits blocs et par fuseau suivant la projection UTM. Cela a engendré une propagation d'erreurs entre les blocs et des altérations linéaires au niveau des zones de jonction entre les fuseaux de la projection UTM. Cet article présente la démarche de traitement et calcul du réseau géodésique classique national Algérien, par un ajustement global (utilisant le programme CHABAKA) suivant un fuseau étendu (utilisant le programme TRANMERCAGE). L'application a concerné un réseau échantillon du réseau géodésique primordial de l'Algérie (réalisé par l'IGN, en 1955). Les résultats obtenus sont illustrés et discutés.*

### MOTS-CLÉS

Ajustement global,  
Fuseau étendu,  
CHABAKA,  
TRANMERCAGE,  
Nord Sahara 1959

### Introduction

En règle générale, les réseaux géodésiques sont indispensables pour toute application utilisant des données localisées. Quelle que soit la technique d'observation utilisée (terrestre ou spatiale), le but recherché est de réaliser un canevas de points d'appuis homogène et précis qui servira de base pour toutes les études à caractère utilitaire et scientifique (cartographie, géodynamique, surveillance d'infrastructures...).

Les systèmes géodésiques locaux, limités aux territoires nationaux, issus des observations terrestres (angles et distances) et astronomiques (orientations) sont caractérisés par :

- un point fondamental, point origine à partir duquel le réseau est observé et ajusté,
- un ellipsoïde qui soit le plus possible confondu localement avec le géoïde,
- une projection cartographique et un méridien origine.

La réalisation de tels systèmes est basée sur un modèle d'estimation des positions de l'ensemble des points du réseau.

Si un de ces éléments est modifié, les coordonnées des points du réseau

le sont également : changement de système géodésique.

Le système géodésique actuellement utilisé en Algérie dénommé "Nord Sahara 1959 ou NS-59" a été réalisé par l'Institut Géographique National IGN (1959) et calculé sur l'ellipsoïde Clarke 1880 anglais. Ce système est issu d'un artifice de calcul basé sur deux différentes sources de données : un réseau géodésique (1<sup>er</sup> ordre et 1<sup>er</sup> ordre complémentaire) calculé dans le système ED50 (*European Datum 1950*) utilisant l'ellipsoïde international et un réseau astronomique. Pour concilier les deux canevas provenant de ces deux sources, un système de méridiens et parallèles a été établi sur l'ellipsoïde Clarke 1880 anglais tel que les discordances moyennes entre les coordonnées géographiques issues de la triangulation et de l'astronomie soient minimales. Le système de coordonnées résultant de cette approche a été appelé "système géodésique Nord Sahara 1959" qui est déduit du système ED50 par une simple transformation (translations en longitude et latitude) [Reyt, 1960].

La caractérisation d'un tel système géodésique (Nord Sahara) pose un

problème au niveau de la définition de l'origine (point fondamental mal défini ou sans réalité physique). En conséquence, la méconnaissance de la position et de l'orientation de l'ellipsoïde dans l'espace se répercute sur la qualité des résultats (réseau géodésique). D'autre part, les moyens de calculs utilisés lors de la réalisation du Nord Sahara 1959 étaient assez rudimentaires et les calculs d'ajustement ont été exécutés par petits blocs de quelques points s'appuyant les uns sur les autres. Pour un pays étendu comme l'Algérie, ce type d'ajustement peut altérer la précision et l'homogénéité du système Nord Sahara (problèmes d'échelle et d'orientation du réseau géodésique). D'autre part, l'utilisation de la projection UTM comme système cartographique du pays, pose le problème de limitation du champ d'application au-delà de 3° en longitude de part et d'autre du méridien central et d'existence des altérations importantes au niveau des zones de jonction entre les fuseaux. Dans ce contexte, le Centre des Techniques Spatiales (CTS) et l'Institut National de Cartographie et de Télédétection (INCT) ont engagé un projet de coopération sur la situation actuelle du réseau géodésique national NS-59 et sur les aspects fondamentaux liés à sa refonte. L'étape clé de ce projet est l'établissement d'une démarche d'ajustement global du réseau géodésique national en se basant sur l'extension de fuseau. Ci-après, une description de la démarche adoptée et une présentation des résultats de l'application sur un réseau test du réseau géodésique primordial algérien.

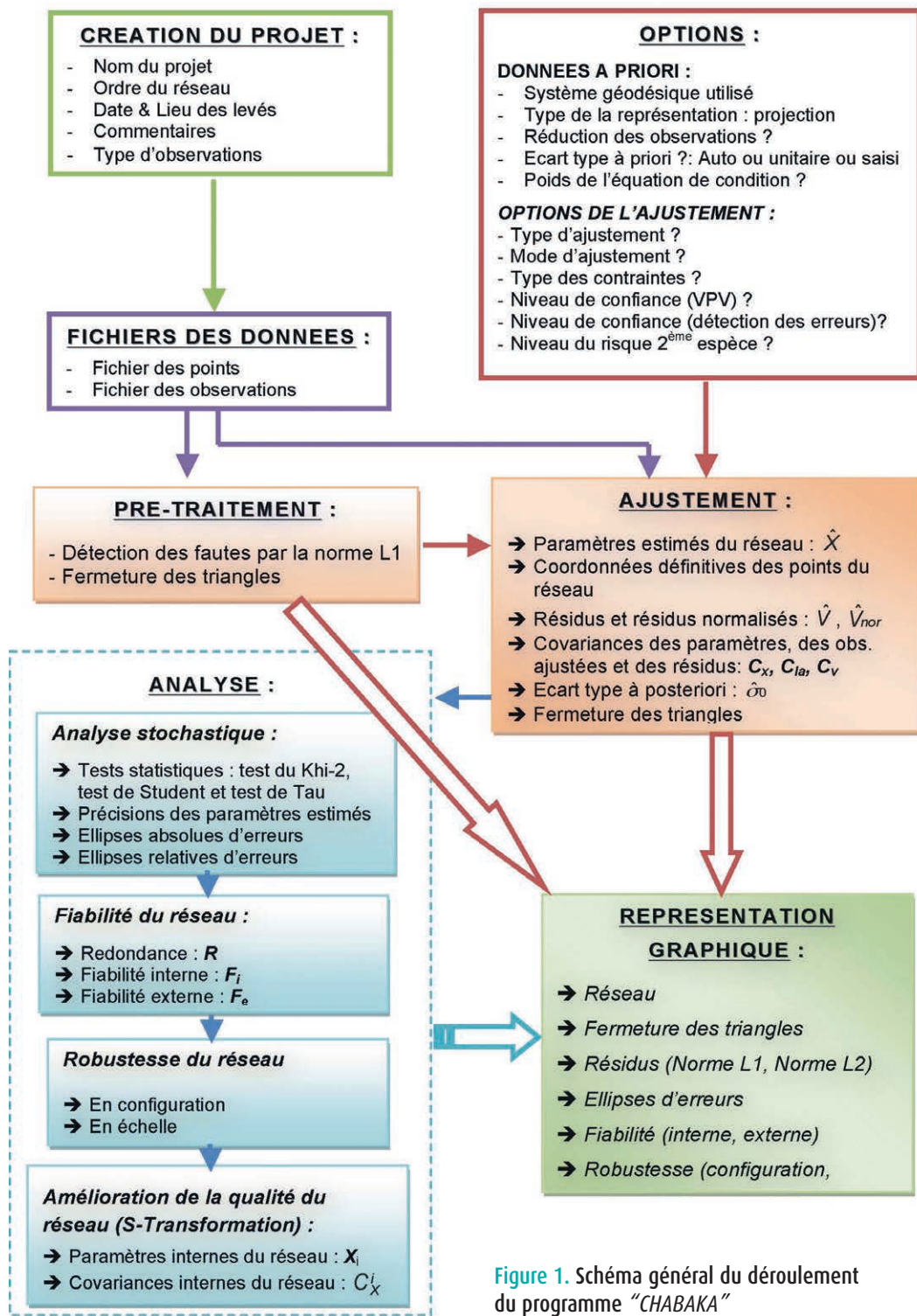


Figure 1. Schéma général du déroulement du programme "CHABAKA"

## Méthodologie

L'approche méthodologique de ce projet se base essentiellement sur le développement de l'ajustement global du réseau géodésique primordial national, par utilisation du fuseau étendu. Ci-après, une description succincte des programmes réalisés.

### ■ Ajustement Global par le programme CHABAKA

Le programme d'ajustement et

d'analyse des réseaux géodésiques dénommé "CHABAKA" شبكة (désignant "réseau" en arabe), établi au niveau du Département de Géodésie Spatiale du CTS (ex. CNTS), est un programme écrit en IDL (*Interactive Data Language*). Il a été réalisé dans le cadre du mémoire de Magister de M. GOURINE Bachir (2004), [Gourine, 2004]. La version actuelle de ce programme est basée uniquement sur le

traitement des observations géodésiques classiques (angles et distances) et astronomiques (azimut de Laplace) pour l'établissement des réseaux géodésiques bidimensionnels (2D). Cet outil a l'avantage, d'une part, d'intégrer une gamme de modèles d'ajustement de canevas géodésiques, afin d'élargir son champ d'application (réseaux géodésiques et cadastraux, auscultation d'ouvrages d'art et de sites industriels,

surveillance sismique, etc.) et d'autre part, de présenter un caractère évolutif (possibilité d'enrichissement du logiciel par d'autres modules de traitement selon l'application).

Les différentes fonctionnalités du programme "CHABAKA", sont définies comme suit :

- **Filtrage des observations géodésiques** : détection des fautes et des mesures aberrantes pour s'assurer de la qualité des observations (norme L1 et fermeture des triangles).
- **Ajustement du réseau géodésique** : estimation des paramètres géodésiques (coordonnées des stations) par la méthode des moindres carrés (norme L2). Dans cette étape, la définition du DATUM (origine, mise à l'échelle et orientation du réseau géodésique) repose sur la technique des contraintes : contraintes classiques ou réseau fixé, contraintes minimales, contraintes internes ou réseau libre, contraintes pondérées, contraintes mixtes (classiques et pondérées).
- **Outils d'analyse statistique du réseau géodésique estimé** : évaluation de la qualité des observations et des paramètres, et de la fiabilité du réseau.
- **Analyse de robustesse du réseau géodésique estimé** : évaluation des effets des erreurs d'observations sur le réseau en utilisant le concept de

tenseur de déformation [Gourine & Ghezali, 2006].

- **Amélioration de la qualité du réseau géodésique estimé** par application de la S-transformation sur les paramètres du réseau et leur matrice de variance covariance.

La *figure 1* illustre le déroulement de la chaîne de traitement et d'analyse des observations géodésiques "CHABAKA". Pour de plus amples détails sur l'aspect théorique de l'ajustement et le déroulement du programme CHABAKA, se référer au rapport technique n°1 du projet [Gourine, 2014].

### ■ Transformation en fuseau étendu par le programme TRANMERCAFE

Cette partie a fait l'objet d'un article, dans la revue XYZ n°155 [Gourine et al., 2018]. Généralement, l'inconvénient principal des formules classiques de la projection UTM réside, d'une part, dans le calcul des coordonnées chaque fois que l'on travaille sur un réseau qui s'étale sur plusieurs fuseaux, car on utilise autant de systèmes de coordonnées que de fuseaux et d'autre part, dans la limitation du champ d'application à 3° de part et d'autre du méridien central. La résolution de ce problème revient donc à unifier le système de coordonnées, par l'utilisation du fuseau étendu.

L'étude menée, dans ce cadre, a abouti

à la réalisation d'un programme dénommé TRANMERCAFE (TRANSverse MERCator – Fuseau Étendu) [Daouadi, 2015]. Ce dernier permet d'effectuer le passage direct des coordonnées géographiques en coordonnées projection de Mercator Transverse et inversement, exprimées dans un fuseau étendu basé sur trois méthodes d'extension : projection de Mercator Transverse de l'IGN (MT\_IGN), passage par la sphère de courbure moyenne (SCM) et la projection de Gauss-Krüger (GK).

Les résultats de cette étude ont montré que les méthodes d'extension de fuseau GK et MT\_IGN fournissent une précision largement suffisante de l'ordre de  $(10^{-6}\text{mm}$  et  $10^{-3}\text{mm}$ ), respectivement, entre passages direct et inverse. Par contre, la 3<sup>e</sup> approche, celle de SCM peut atteindre une précision décimétrique lorsqu'on s'éloigne du méridien central ( $\Delta \lambda \geq 18^\circ$ ). Enfin, l'approche de la projection de Gauss-Krüger (GK) a été choisie pour la transformation des coordonnées UTM du réseau géodésique primordial suivant le fuseau étendu.

### ■ Stratégie de traitement

La stratégie de traitement adoptée consiste aux points suivants :

- transformation en fuseau étendu du réseau géodésique par la méthode de Gauss Krüger (GK), en utilisant le programme TRANMERCAFE ;

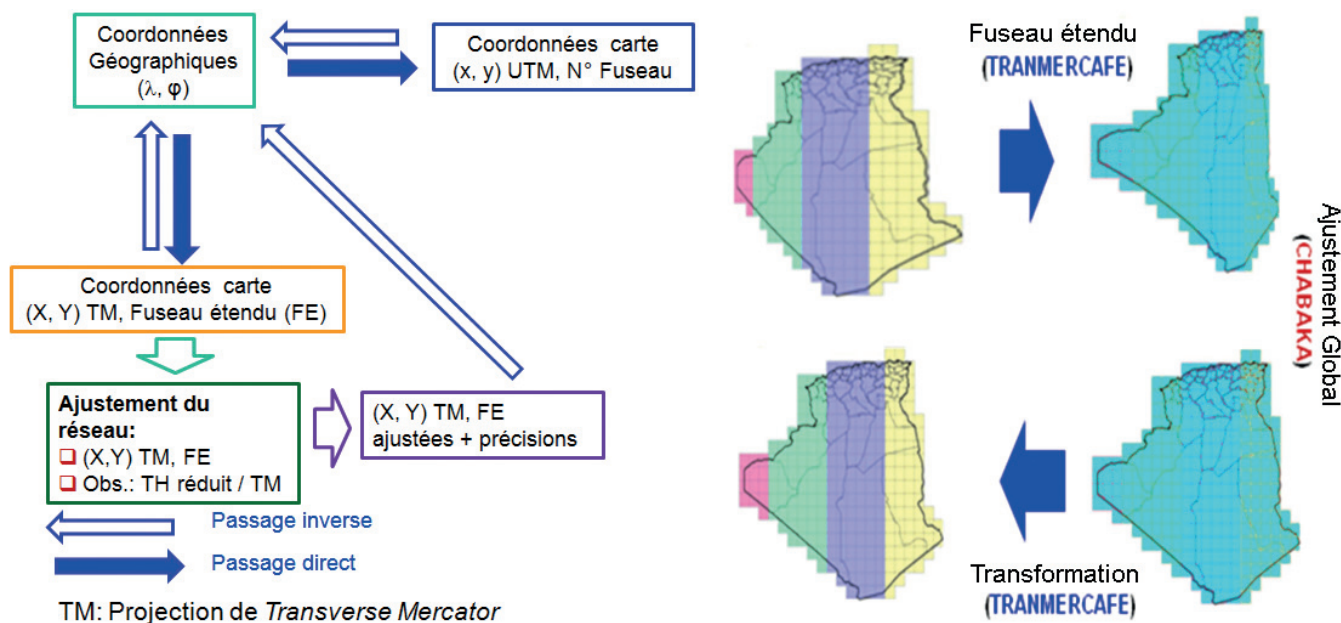


Figure 2. Démarche générale de l'ajustement global du réseau par l'utilisation du fuseau étendu



- ajustement du réseau, exprimé dans un fuseau étendu, par le programme CHABAKA. Les données d'entrée sont composées des coordonnées des points dans la projection choisie et des mesures des tours d'horizon observés et réduites ;
- conversion des coordonnées ajustées en coordonnées géographiques puis transformation en coordonnées UTM suivant le fuseau correspondant ;
- comparaison des coordonnées UTM ajustées et initiales.

En d'autres termes, la démarche entreprise pour l'ajustement global du réseau géodésique national consiste à effectuer la transformation des différents fuseaux en un fuseau étendu par le programme TRANMERCAFE puis à exécuter l'ajustement par le programme CHABAKA du réseau suivant le fuseau étendu et enfin, établir la transformation inverse des coordonnées ajustées vers leurs fuseaux UTM respectifs par le programme TRANMERCAFE (voir figure 2).

## Application

### ■ Réseau géodésique test

Les données géodésiques utilisées, lors des traitements, sont constituées du réseau géodésique primordial national (réalisé par l'IGN en 1955) composé de 239 points, et d'un groupe de mesures composé de plusieurs centaines de lectures azimutales, effectuées sur le parallèle Nord de ce réseau (figure 3). Ces données, qui ont servi à la validation du programme TRANMERCAFE, ont été fournies par l'Institut National de Cartographie et de Télédétection (INCT), en tant qu'organisme responsable des données géodésiques en Algérie.

Le réseau test contient 103 points de 1<sup>er</sup> ordre, dont 6 points d'appui, s'étalant sur une zone de 2° Ouest au 7° Est en longitude et de 34° au 37° Nord en latitude (figure 4). Il est contenu dans trois fuseaux UTM (30, 31 et 32). Les mesures effectuées dans ce réseau, principalement, sont des tours d'horizon (424 lectures angulaires) et un azimut de Laplace (M'sabiha-Taфраoui).

Les observations azimutales ont été exécutées au théodolite Wild T3 à 20 couples. La mesure de chaque direc-

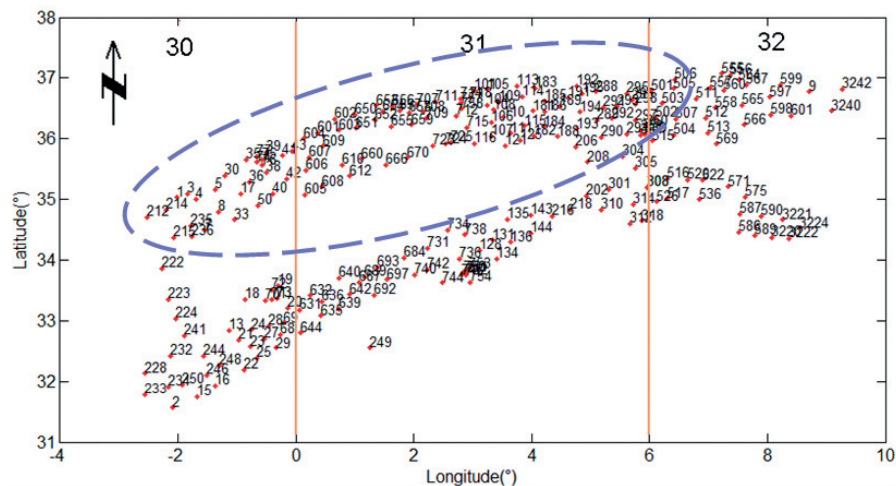


Figure 3. Réseau géodésique primordial national (en coordonnées géographiques). Le réseau test, utilisé dans l'ajustement global, est désigné par une ellipse.

tion est répartie sur 4 jours au moins. Chaque séance comprenant autant de cercles à gauche que de cercles à droite sur une même direction [INCT, 2007]. La précision du Wild T3 sur ces lectures azimutales est de 0.5 dmgr (ou 0.2'') [Barbier, 1969]. Généralement, la mise en station des théodolites a été faite suivant un centrage forcé sur les bornes du réseau de la triangulation en question, pour éviter l'erreur de centrage. La réduction à la corde  $dV$  de ces mesures a été effectuée, suivant la projection de Gauss-Krüger (GK), par la formule suivante :

$$dV = \frac{(y_B - y_A)}{2R^2 \sin(1'')} \cdot \frac{x}{3} \cdot \left( 1 - \frac{x^2}{3R^2} \right)$$

Avec :

$x/3$  : Abscisse qui correspond au tiers de la distance AB à partir de A.

R : Rayon de la sphère.

Avant de procéder à la compensation globale par CHABAKA du réseau test suivant le fuseau étendu, une phase de dépouillement de données géodésiques a été effectuée qui consistait aux tâches suivantes :

- élimination des fautes de transcription,
- vérification des tours d'horizon,
- identification des points sur la carte,
- les points, dont les coordonnées ne sont pas disponibles, ne sont pas considérés dans l'ajustement,
- élimination des mesures isolées,
- calcul des gisements de référence ( $V_0$ ) de chaque station,
- réduction à la corde ( $dV$ ) des lectures angulaires suivant la projection utilisée.

La figure 4 illustre la configuration du réseau test qui est représentée par la triangulation de 1<sup>er</sup> ordre. On remarque

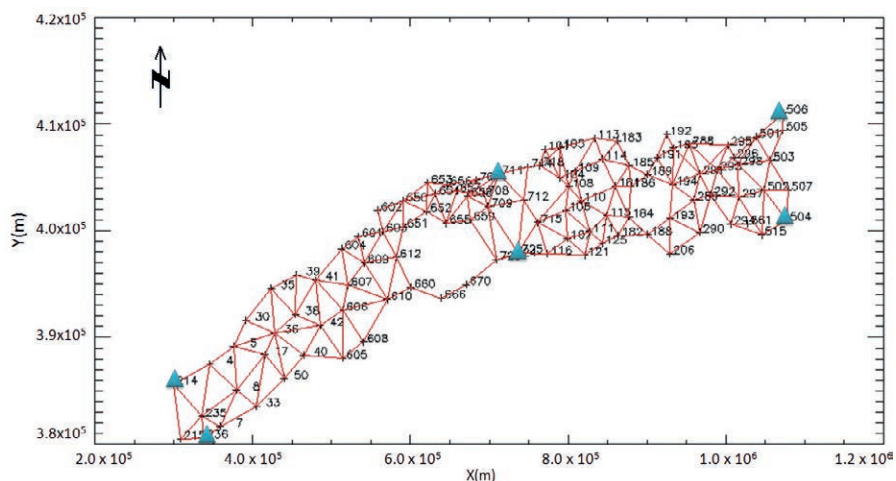


Figure 4. Triangulation du réseau test composé de 103 points de 1<sup>er</sup> ordre. Les points d'appui sont désignés par des triangles.

Nombre des paramètres	Nombre des observations	Nombre de degrés de liberté	Nombre des points fixes	Écart-type a priori	Seuils de probabilité
293	424 (+1 Azimut)	132	6 (236, 214, 504, 111, 506, 105)	8.0 dmgr	$\alpha= 5\%$ $\beta= 20\%$
Écart-type a posteriori $\sigma_0$		Test du Khi-2		Test de Student	
4.9 dmgr		Positif		Tolérance [-2, +2] dmgr : 11 observations suspectes	

Tableau 1. Résultats relatifs à l'ajustement du réseau.

Paramètres Caractéristiques	Précision planimétrique $\sigma_{2D}$ (m)	Ellipse d'erreur	
		Demi-grand axe a (m)	Demi-petit axe b (m)
Minimum	0.102	0.085	0.001
Moyenne	0.203	0.164	0.117
Maximum	0.334	0.302	0.216

Tableau 2. Statistiques de la qualité du réseau ajusté : précision et ellipse d'erreur absolue.

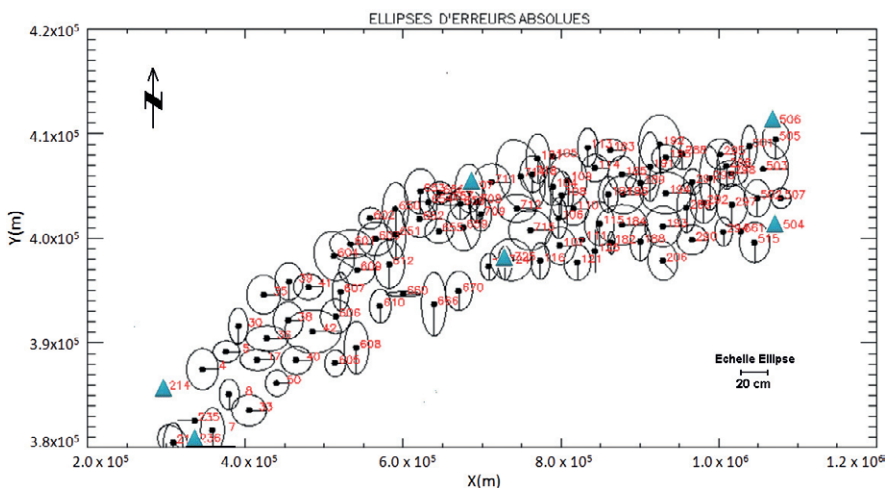


Figure 5. Les ellipses d'erreurs des points ajustés du réseau.

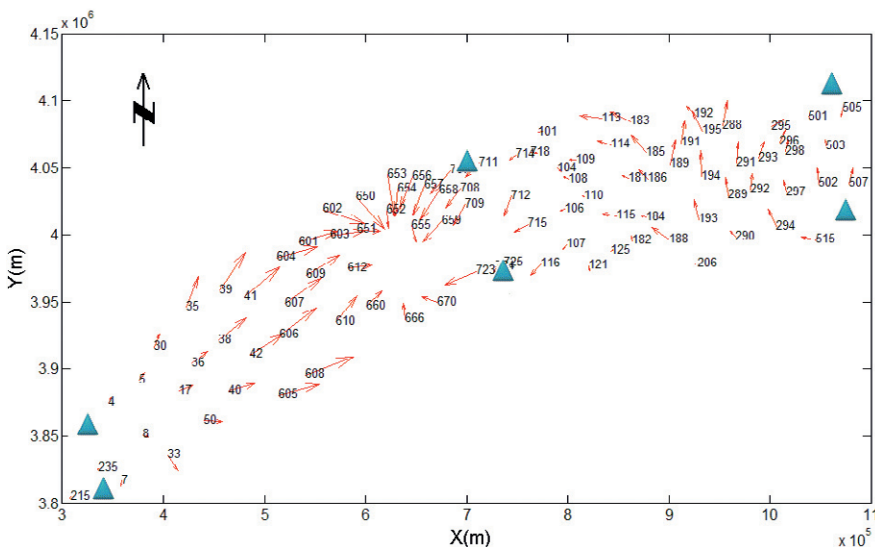


Figure 6. Différences de coordonnées UTM calculées et initiales en vecteurs de déplacements.

qu'il existe des trous dans cette triangulation, notamment, au milieu. Ceci est dû, principalement, à la non-disponibilité des données, soit des coordonnées des points, soit des tours d'horizons.

### Ajustement du réseau échantillon

Le tableau 1 illustre les données et les résultats relatifs à l'ajustement par le programme CHABAKA du réseau test. Les résidus des observations varient de -9.8 à 7.8 dmgr, avec un écart-type de 1.1 dmgr. L'ensemble de ces résidus suit la loi normale comme il est indiqué par le test de KHI-2. Suivant le test de Student, il existe 11 mesures suspectes qui sortent de l'intervalle de confiance [- 2, +2] dmgr. Ces mesures sont écartées lors du traitement de la compensation.

Les paramètres estimés des coordonnées des points du réseau sont fournis par l'ajustement en termes d'appoints en coordonnées de projection et en orientation  $V_0$ . La qualité de ces résultats est estimée à partir de la matrice variance covariance des inconnues. Les précisions sur les paramètres ajustés ainsi que les ellipses d'erreurs sont calculées. Le tableau 2 présente les statistiques de ces résultats. D'après ce tableau la précision estimée sur les coordonnées est de l'ordre de 20.3 cm en planimétrie. Compte tenu de la qualité exigée en géodésie classique (1<sup>er</sup> ordre) et l'envergure du réseau, ces précisions sont acceptables.

La figure 5 illustre les domaines d'erreurs de l'estimation des paramètres inconnus. Ces domaines sont représentés par des ellipses d'erreurs absolues pour les points du réseau. La dimension moyenne de ces ellipses est de l'ordre de 16 cm, ce qui est satisfaisant en géodésie classique.

Enfin, l'analyse de l'ajustement a montré que l'estimation du réseau test est d'une précision acceptable et que les ellipses d'erreurs restent globalement dans la tolérance exigée. Par conséquent, le réseau ajusté est jugé de bonne qualité et sera projeté suivant la projection UTM par fuseau.

### Projection du réseau test en UTM

Après l'obtention du réseau ajusté, exprimé dans un fuseau étendu suivant

