

# Le nouveau réseau gravimétrique de la Mitidja et ses environs

A. Abtout<sup>1,\*</sup>, N. Foudil Bey<sup>1</sup>, F. Boukercha<sup>1</sup>, B. Bouyahiaoui<sup>1</sup> et M. Idres<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centre de Recherche en Astronomie, Astrophysique et Géophysique (CRAAG), BP 63, Route de l'Observatoire, Bouzaréah 16340, Alger, Algérie.

<sup>2</sup> Faculté des Sciences de la Terre, Géographie et Aménagement de Territoire, USTHB

\* Corresponding author: a.abtout@craag.dz

**ملخص :** على مدى القرون الماضية، تعرضت منطقة الجزائر العاصمة (شمال وسط الجزائر) لعدة زلازل كبيرة، متنسبية في أضرار جسيمة للعاصمة وغيرها من المدن الهامة في حوض المتيجة. تبقى الشقق الناشطة والتي تولد هذا النشاط العالي مجهولة. تعتبر طريقة قياس الجاذبية أحد المفاتيح لدراسة الهياكل نيوتكتونية ومعرفة سياقاتها الجيوديناميكية. أدى غياب محطات الجاذبية المحلية في هذه المنطقة أولاً إلى إنشاء شبكة من المحطات القاعدية في حوض المتيجة.

تتكون شبكة الجاذبية المنشأة من ستة وعشرين محطة متصلة بشبكة الجاذبية ترتيب صفر. وذلك عن طريق قياسات الجاذبية النسبية. تحتوي شبكة الجاذبية المنشأة على 31 خلية ذات أشكال هندسية مثلثة ومربعة و57 رابطاً. يتم توفير أوصاف تصميم الشبكة ومحطات الجاذبية. دقة تحديد قيم الجاذبية تقارب  $12 \mu\text{Gal}$ .

تم تعويض شبكة الجاذبية باستخدام طريقتين: الطريقة اليدوية وطريقة المعاملات المساعدة.

**الكلمات المفتاحية :** شبكة الجاذبية، الجاذبية النسبية، الطريقة اليدوية، طريقة المعاملات المساعدة، الجزائر العاصمة.

**Résumé :** Au cours des derniers siècles, la région d'Alger (centre-nord de l'Algérie) a connu plusieurs séismes majeurs, causant d'énormes dégâts à la capitale et à d'autres villes importantes du bassin de Mitidja. Jusqu'à présent, on en sait peu sur les failles actives qui génèrent cette forte activité. La méthode gravimétrique constitue l'une des clés pour étudier les structures néotectoniques et leurs contextes géodynamiques. L'absence de stations de base gravimétriques locales dans cette zone nous a d'abord amenés à établir un réseau de stations de base dans le bassin de Mitidja.

Le réseau gravimétrique établi se compose de vingt-six stations connectées au réseau gravimétrique d'ordre zéro au moyen de mesures gravimétriques relatives. Ce réseau gravimétrique contient 31 mailles de géométrie triangulaire et carré et de 57 liaisons. Les descriptions de la conception du réseau et des stations gravimétriques sont fournies. La précision de la détermination des valeurs de gravité est d'environ  $12 \mu\text{Gal}$ . Le réseau gravimétrique a été compensé par l'utilisation de deux méthodes : la méthode d'engrenage et la méthode des coefficients auxiliaires.

**Mots clés :** Réseau gravimétrique, gravité relative, la méthode d'engrenage, la méthode des coefficients auxiliaires, Alger.

**Abstract :** Over the past few centuries, the region of Algiers (Algeria's north-central region) has experienced several major earth quakes causing enormous damage to the capital and other major cities in the Mitidja Basin. So far, little is known about the active flaws that generate this strong activity. The gravimetric method is one of the keys to studying neotectonic structures and their geodynamic contexts. The absence of local gravimetric base stations in this area led us to establish a network of base stations in the Mitidja basin.

The established gravimetric network consists of twenty-six stations connected to the zero-order gravimetric network by means of relative gravimetric measurements. This gravimetric network contains 31 triangular geometry loops and 57 links. Descriptions of the network design and gravimetric stations are provided. The accuracy of determining gravity values at individual stations is about of  $12 \mu\text{Gal}$ . The gravimetric network was compensated by the use of two methods : the ginning method and the auxiliary coefficients method.

**Key words :** Gravimetric network, relative gravity, ginning method, auxiliary coefficients method, Algiers.

## 1. Introduction

La région de la plaine de la Mitidja (partie centrale du nord de l'Algérie) englobe plusieurs grandes villes dont Alger : Capital de l'Algérie. Elle est le siège d'une forte concentration humaine et d'une importante activité socio-économique. Elle se présente comme une vaste dépression, allongée de direction Est Ouest sur environ 100 km de longueur et 20 km de largeur. C'est un bassin sédimentaire du type intra montagneux d'âge mio-plio-quadernaire, (Aymé, 1955; Djediat., 1997; Guemache., 2010; Maouche, 2010). Il est limité par deux grandes structures de direction E-W. Vers le sud, par les reliefs de l'Atlas de Blida dont l'altitude avoisine les 1500 m (Bonneton, 1977). Au Nord, par le pli anticlinal du Sahel, avec une altitude de l'ordre de 250 m et les massifs d'Alger et du Chenoua.

Au cours des derniers siècles cette région a connu plusieurs séismes majeurs causant d'énormes dégâts tant humains que matériel, (Mokrane et al., 1994 ; Harbiet al., 2004 ; Maouche et al., 2004 ; Sebaï and Bernard, 2008). Le dernier en date ; le séisme de Zemmouri-Boumerdes, (23 mai 2003,  $M=6.7$ ), (Yellès-Chaouche et al., 2003 ; Ayadi et al., 2008 ; Ouyedet al., 2011) est d'une telle ampleur qu'il a suscité la nécessité de comprendre les phénomènes tectoniques à l'origine de celui-ci. La géophysique, plus particulièrement la gravimétrie, est la méthode la plus indiquée pour apporter des contraintes sur la structure et les accidents tectoniques profonds de cette entité géologique. C'est dans ce contexte que nous avons initié l'étude gravimétrique de cette région (Abtout et al., 1999). La gravimétrie est une méthode qui consiste à l'aide d'observation des variations de pesanteur à déterminer la densité des formations géologiques en profondeur tout en soulignant dans ce cas, les variations brusques de densité, synonyme de failles ou d'accidents tectoniques.

Les mesures de prospection gravimétrique sont réalisées à l'aide de gravimètres relatifs, elles nécessitent donc un rattachement à des mesures absolues aux alentours de la région à prospector. Plusieurs réseaux de bases gravimétriques ont été établis en Algérie. On peut citer les travaux de Lagrula (1951, 1959), qui a établi plusieurs réseaux de mesures relatives à travers l'Algérie dans le cadre d'un réseau unifié mondiale. Ces réseaux ont été réalisés avec des gravimètres relatifs et de faibles précisions, dues à la qualité des instruments de l'époque de mesure et rattaché au réseau international de Postdam (B.G.I., 1977 ; 1978). En 1983, Idres dans le cadre de son magister, a réalisé un réseau de bases gravimétriques d'ordre 1 pour le nord de l'Algérie. Ce réseau est composé de 74 stations de références et de 5 stations auxiliaires est mesuré par des gravimètres relatifs et rattaché au réseau international IGSN71. La précision estimée est de l'ordre du mGal (Idres, 1983). Il a fallu attendre 2001 pour que l'INCT (Institut National de Cartographie et Télédétection) dote l'Algérie d'un réseau de mesures absolues de hautes précisions d'ordre 0. Ce ré-

seau est composé de douze bases gravimétriques et une base d'étalonnage des gravimètres, réparties sur tout le territoire algérien (Olivier, 2002). Depuis, l'INCT a entamé l'établissement d'un réseau d'ordre 2, qui sera l'ossature des réseaux locaux. En l'absence en Algérie de réseaux gravimétriques locaux, toute étude gravimétrique nécessite au préalable l'installation d'un réseau gravimétrique pour rattacher et transformer nos futures mesures relatives en valeurs absolues. C'est ce qui nous a amené à établir un réseau gravimétrique local étendue à tout le bassin de la Mitidja. Ce réseau, objet de ce travail est le premier en Algérie à être rattaché à des mesures gravimétriques absolues.

Le réseau est composé de 26 bases réparties sur toute la plaine de la Mitidja. Il s'étale de Larbaa à l'Ouest, jusqu'à Dellys à l'Est. Le réseau a été rattaché aux valeurs absolues directement via la base absolue de Bouzareah. Les mesures gravimétriques ont été réalisées à l'aide d'un gravimètre terrestre Scintrex CG3 et le réseau a été compensé par deux méthodes ; « coefficients auxiliaires » et « engrenages ».

## 2. Construction du réseau et acquisition des mesures

((La géométrie du réseau est un paramètre important pour assurer des repères de qualité pour tous les travaux futurs concernant les études gravimétriques dans le bassin de la Mitidja. Le réseau est construit sous forme d'un monobloc compact, constitué de stations reliées gravimétriquement entre elles par des liaisons et elles même organisé en mailles fermées de géométrie principalement triangulaires. Les stations sont distribuées régulièrement sur le terrain avec une équidistance moyenne de 20 kilomètres (Fig. 1). Cette distance est suffisante pour un retour rapide à la base de fermeture pour pouvoir considérer l'hypothèse d'une dérive linéaire du gravimètre. Cette configuration permet d'évaluer la qualité des mesures et de minimiser l'erreur sur le calcul de la différence de gravité entre deux stations.

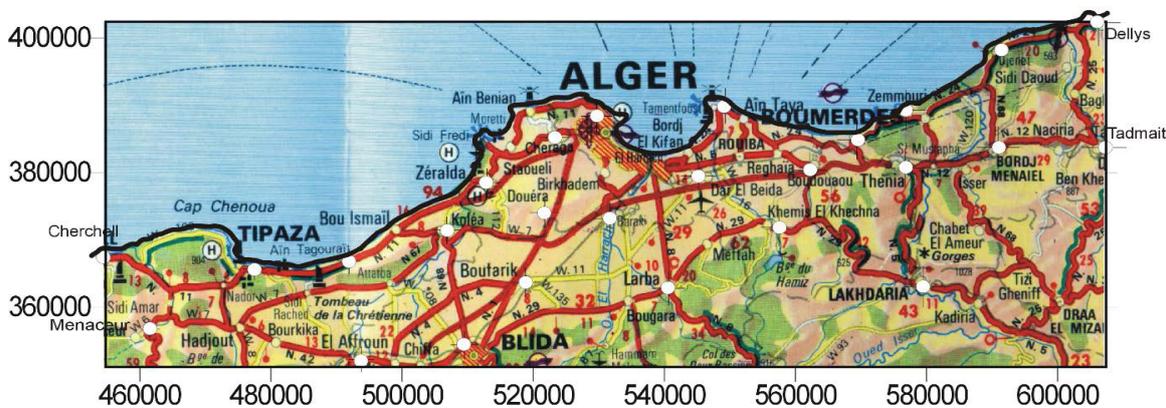


Fig. 1 Répartitions des bases gravimétriques sur une carte routière (cercle blanc représente l'emplacement des bases).

L'emplacement des stations a été choisi dans des lieux facilement accessibles, sécurisés et facilement identifiables tel que les édifices publics, mosquées etc... Dans le cas de l'inexistence d'emplacement pérenne, nous avons construit des dalles de béton ancrées dans le sol, de dimension 40\*40\*50 cm et dans laquelle est implantée une tige inoxydable en son centre. Toutes les stations sont repérées par leurs coordonnées géographiques, une description

détaillée de leurs accès et par des photos ; proches et lointaines. En figure 2 est présenté, l'exemple de la station de Boufarik de numéro 24, de coordonnées (36.5736 ; 2.9105), située en plein centre-ville, devant la stèle des Martyres qui se trouve au Nord du centre culturel des sourds et muets et à l'ouest de la mairie (le gravimètre est placé entre les deux dalles en direction du centre culturel). Le réseau en finale est composé de 26 bases.



Fig. 2 Description par Photo de la station de base de Boufarik (à gauche, photo vue lointaine ; à droite photo vue proche).

La campagne de mesures gravimétriques a été réalisée par le gravimètre Scintrex CG3 et les coordonnées topographiques ont été déterminées par le GPS de navigation Garmin. Le protocole de mesure consiste, avant de commencer à lancer la mesure à stationner le gravimètre sur une des stations pendant 5 minutes, pour stabiliser l'instrument, qui peut être source d'erreur (Abtout et al., 2015). La valeur de gravité retenue est la moyenne de quatre séries de lectures successives du gravimètre et chaque série est elle-même la moyenne de 60 lectures, prises à un intervalle d'une seconde chacune. Dans l'ensemble, la différence des lectures entre les valeurs des différentes séries n'a pas dépassé les 5  $\mu$ Gal. Hormis quelques cas isolés (fortes perturbations extérieures), qui nous a contraints à augmenter le nombre de mesures.

La détermination de la différence de gravité entre deux stations successives est obtenue par la différence de leurs lectures. Le protocole de mesure utilisé consiste à suivre un cheminement de la forme A-B-C-A-C-B-A, ou A-B et une liaison entre deux stations A et B et A-B-C est une maille triangulaire (Bouyahiaoui et al., 2011). Les mailles sont reliées les unes aux autres et forment un réseau. La liaison entre chacune des deux boucles successives est assurée par une station de référence commune. Le réseau ainsi installé est rattaché à une base du réseau gravimétrique d'ordre zéro, qui fera partie intégrante de ce réseau. Dans notre cas, le réseau a été rattaché à la base gravimétrique absolue d'Alger, située à Bouzareah, au niveau du siège du CRAAG. Le choix de cette base est lié à sa position centrale dans notre région d'étude.

La valeur de la gravité en une station donnée est basée

sur la lecture du gravimètre corrigée de sa composante variable. Les deux corrections significatives du point de vue précision sont le terme de marée terrestre (effet de l'attraction des astres) et la dérive instrumentale. Le terme de marée terrestre ou correction luni-solaire, est calculée en introduisant le temps de mesure et les coordonnées géographiques de la zone d'étude en se basant sur la formule de Longman (1959). La dérive de gravimètre, résidus de lecture en une station à des époques différentes, est considérée comme linéaire, si les mesures entre les stations sont prises dans la même journée. Ceci, permet de la répartir proportionnellement sur toutes les lectures de l'appareil en fonction du temps d'observation. Cette dérive instrumentale est obtenue par l'équation.

$$D = (L_{A2} - L_{A1}) / (t2 - t1)$$

D: la dérive instrumentale (en  $\mu$ Gal/h),

$L_{A2}$  : la mesure à la station A, corrigée de la luni-solaire au moment = t2 (en  $\mu$ Gal),

$L_{A1}$  : la mesure à la station A, corrigée de la luni-solaire au moment = t1 (en  $\mu$ Gal).

La détermination de la dérive instrumentale d'une maille triangulaire A-B-C, consiste à prendre une première lecture à la station A à l'instant t1, puis une deuxième lecture à la station B à l'instant t2 et une troisième à la station C à l'instant t3. Ensuite, retourner à la station A pour effectuer une lecture au temps t4. La différence entre les deux lectures à la station A est la dérive du gravimètre dans l'intervalle de temps (t4-t1), considérée comme linéaire elle est distribuée sur les lectures aux stations B et C proportionnellement aux temps d'observation. Une fois la correction de dérive instrumentale est appliquée aux lectures,

on calcule la différence de gravité entre deux stations successives. Pour chaque liaison, nous déterminons six valeurs de gravité différentielles "delta G". La différence de gravité finale calculée représente une moyenne de "delta G" entre deux stations successives. Une fois que les valeurs de différence de gravité entre les stations relatives du réseau gravimétrique ont été calculées, nous déterminons l'écart de fermeture pour chaque triangle par la somme vectorielle de la différence de gravité de chaque liaison.

Un contrôle de l'écart de fermeture de la maille est effectué avant d'entamer une maille adjacente. Le même procédé est utilisé pour la détermination des liaisons de celle-ci. Une moyenne est alors calculée et attribuée à la liaison commune aux deux mailles. Cette opération se poursuivra jusqu'à la couverture totale du réseau.

Le réseau est composé de 26 stations reliées par 57 liaisons regroupées en 30 mailles triangulaires et une maille carrée (Fig.3).

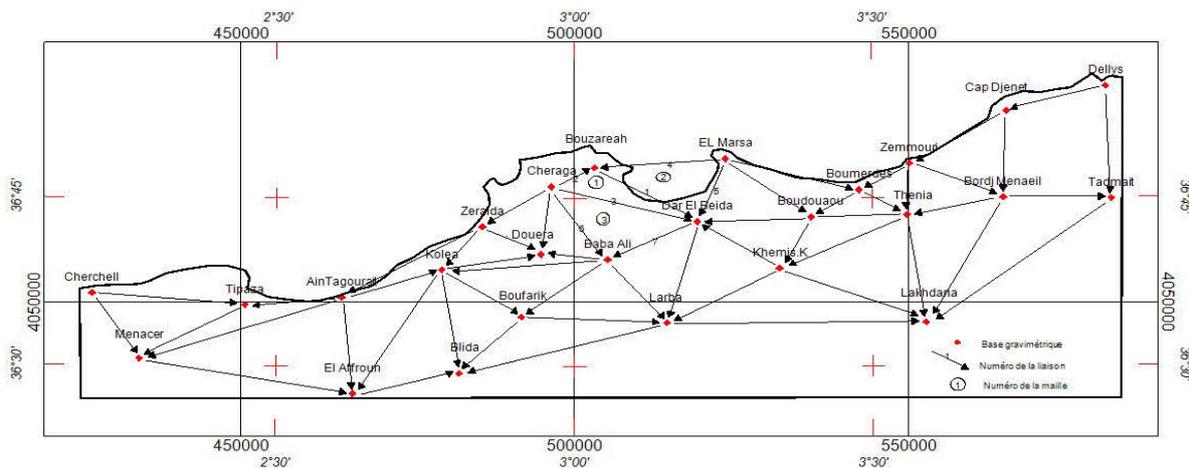


Fig. 3 Géométrie du réseau gravimétrique de la Mitidja.

### 3. Compensation du réseau gravimétrique

Théoriquement, l'écart de fermeture devrait être nul, mais en pratique il reste toujours un résidu dû aux différentes erreurs parasites des mesures. Par conséquent, le réseau de bases gravimétriques établi nécessite une compensation. Cette opération permet de minimiser les erreurs, en distribuant de façon proportionnelle cet écart sur les différentes liaisons et ainsi éviter d'avoir plusieurs valeurs de pesanteur à la même station (Idressand Aifa, 1995). Plusieurs méthodes de compensation ont été développées, chacune à ses avantages et ses inconvénients.

Les méthodes basées sur les moindres carrés sont diverses et variées (Poitevin, 1979). Elles ont l'avantage d'être faciles à transcrire en langage informatique et permettent un calcul rapide dans le cas de la compensation de grands réseaux gravimétriques composés de plusieurs stations gravimétriques, mesurés à partir de plusieurs gravimètres et s'appuyant sur plusieurs bases de référence. Toutes ces méthodes automatiques divisent les écarts obtenus de manière uniforme. Cette redistribution des écarts ne tient pas compte des erreurs accidentelles sur le terrain. Les méthodes manuelles ont l'inconvénient d'une mise en œuvre fastidieuse mais ont l'avantage de prendre en compte les observations de terrain de l'opérateur. Cette méthode est plus recommandée pour la compensation des petits

réseaux. Dans notre cas, nous avons appliqué une méthode automatique ; la méthode des coefficients auxiliaires et une méthode manuelle ; la méthode d'engrenage.

#### 3.1 Méthode de « Engrenage »

Cette méthode, dite manuelle, est basée sur la distribution des écarts de fermeture sur chaque liaison, la somme algébrique de ces liaisons devant être nulle. Ainsi, l'écart de fermeture de chacune des mailles adjacentes change du fait que l'on ait modifié l'une des liaisons. Puis l'opération est répétée jusqu'à ce que le réseau soit compensé. L'opérateur veille à ce que la valeur ajoutée à chaque liaison ne dépasse pas 10  $\mu\text{Gal}$  et une distribution préférentielle des écarts de fermeture doit être adoptée sur chaque liaison en fonction des observations sur le terrain de l'opérateur et de son expérience (Yaghoub, 2010 ; Koleret al., 2012 ; Idreset al., 2013). Pour chaque maille, nous avons pris une moyenne d'ajustement. Cette moyenne représente l'écart de fermeture réparti sur trois liaisons. Ensuite, nous ajoutons cette valeur moyenne à partir des valeurs de différence de gravité calculées.

#### 3.2 Méthode des Coefficients Auxiliaires

Cette méthode numérique est réalisée en deux tapes (IdresM.et al, 2013). La détermination d'un coefficient « L »

correspondant à chaque maille en résolvant le système linéaire (AX=B) établi par la relation (1) :

$$F_{\mu} = P_{\lambda\mu} L_{\mu} - \sum N_{\mu\lambda} L_{\lambda} \dots \dots \dots (1)$$

$F_{\mu}$ ,  $P_{\lambda\mu}$  et  $L_{\mu}$  représentent l'écart de fermeture, le nombre de liaison et le coefficient auxiliaire de la maille ( $\mu$ ).

$N_{\mu\lambda}$  et  $L_{\lambda}$  représentent le nombre de côté commun des mailles ( $\lambda$ ) et ( $\mu$ ) ; et le coefficient auxiliaire du maille ( $\lambda$ ).

Ensuite, on calcule la correction ( $C_k$ ) à restituer à chaque liaison en utilisant la relation suivante (2) :

$$C_k = - \sum_{\lambda} L_{\lambda} \varepsilon_{k\lambda} \dots \dots \dots (2)$$

Avec :

$\varepsilon_{k\lambda} = -1$  si le côté k est traversé dans le sens négatif,

$\varepsilon_{k\lambda} = 0$  si le côté k n'appartient pas à la maille,

$\varepsilon_{k\lambda} = +1$  si le côté k est traversé dans le sens positive.

Dans notre cas, la différence des valeurs de compensation entre les deux méthodes n'est pas significative. Le tableau 1 présente les résultats de la compensation de quelques liaisons par les deux méthodes (voir Fig.3 pour la position des liaisons).

**Tab 1.** Valeur des liaisons avant et après compensation par les deux méthodes.

Liaison	Valeurs brutes (mGal)	Liaisons corrigées par la méthode	
		des engrenages (mGal)	des coefficients auxiliaires (mGal)
1	7,171	7,171	7,172
2	25,440	25,440	25,438
3	32,620	32,611	32,610
4	48,147	48,134	48,144
5	44,573	44,564	44,561
6	18,198	18,204	18,206
7	62,771	62,768	62,766
8	4,607	4,610	4,612
9	58,153	58,158	58,154
10	11,956	11,953	11,952
11	0,703	0,703	0,704
12	55,320	55,305	55,316

#### 4. Calcul de la valeur de la gravité

La valeur finale de 'Delta G' d'une liaison donnée est obtenue en ajoutant au 'Delta G' initial, la valeur de la distribution de l'écart de fermeture assignée cetteliasion. Une fois ses valeurs déterminées, il est calculé de proche

en proche, la valeur de gravité aux différentes stations du réseau à partir de la valeur absolue de la valeur de la gravité de la station de Bouzaréah. Dans le tableau 2 sont présentés quelques exemples de valeurs de g au niveau des bases gravimétriques.

**Tabl 2.** Exemple de valeur de la gravité au niveau des stations de base ( $\lambda, \Phi$  Longitude et latitude de la station).

Numéro de la liaison	Nom de la Base	Coordonnées Géographiques	
		Degré(°)	g (mGal)
2	Dar ElBeida	$\phi = 36,71605$	979893,35
		$\lambda = 3,20581$	
3	Chéraga	$\phi = 36,76791$	979925,96
		$\lambda = 2,96048$	
4	Boudouaou	$\phi = 36,7223$	979907,27
		$\lambda = 3,39596$	
5	EL Marsa	$\phi = 36,80953$	979948,65
		$\lambda = 3,25283$	
7	Thenia	$\phi = 36,72554$	979904,87
		$\lambda = 3,55725$	
8	Zéralda	$\phi = 36,707937$	979921,35
		$\lambda = 2,84475$	
9	Koléa	$\phi = 36,64394$	979872,25
		$\lambda = 2,77650$	

10	Douéra	$\phi = 36,6671$ $\lambda = 2,94356$	979863,19
11	Baba Ali	$\phi = 36,65926$ $\lambda = 3,05486$	979881,39
24	Boufarik	$\phi = 36,57369$ $\lambda = 2,91057$	979856,31

## 5. Estimation de l'erreur

L'analyse des rapports de l'écart de fermeture de chaque maille sur le nombre de ses liaisons indique la qualité des mesures. L'erreur quadratique moyenne est donnée par la relation (3) :

$$E = F/\sqrt{N} \dots\dots\dots (3)$$

F : fermeture de la maille en mGal.

N : nombre de côtés de la maille.

Dans le cas du réseau de bases gravimétrique de la Mitidja, nous disposons de 31 mailles dont les écarts de fermeture sont compris entre 0 et 0.021 mGal. Donc finalement pour donner une erreur unique pour tout le réseau de bases nous avons pris F égal à la valeur la plus élevée (0.021 mGal) et N égal à 3. Ce qui déduit que l'incr le réseau de bases est de  $\pm 0,012$  mGal.

## 6. Conclusion

La plaine de la Mitidja vient d'être dotée d'un réseau de bases de référence qui permettra de réaliser des couvertures gravimétriques de la région et de suivre l'évolution temporelle de la gravité dans la région, par la reprise des mesures à des époques différentes.

Ce réseau de bases gravimétriques est constitué de 26 stations relatives pérennes, reparti de façon régulière avec une couverture totale sur toute la plaine de la Mitidja. Les mesures ont été réalisées à l'aide d'un gravimètre terrestre Scintrex CG3. Le post-traitement des données a été effectué en prenant en compte toutes les réductions nécessaires pour les valeurs de gravité mesurées (corrections luni-solaire et dérive instrumentale).

Deux méthodes ont été utilisées pour la compensation du réseau de bases (ajustement des valeurs), la première subjective (manuelle) et la seconde objective (par moindre carrés). Le résultat de la première a été pris en considération pour la détermination de la pesanteur en chaque base.

La pesanteur en chaque base a été déterminée par liaison directe ou indirecte avec la station de Bouzaréah ; sa

précision est de 0,012mGal.

Pour chaque base établie, nous disposons de leurs coordonnées et d'un schéma avec vue de loin et de près, d'une description et de photos pour aider à retrouver chaque base.

## Références Bibliographiques

- Abtout, A. 1999. Gravimetric study of the Algiers seismic zone, XXII General Assembly of IUGG, Birmingham, UK.
- Abtout, A., Boukerbout, H., Bouyahiaoui, B., & Gibert, D., 2014. Gravimetric evidences of active faults and underground structure of the Cheliff seismogenic basin (Algeria). *Journal of African Earth Sciences*, 99, 363–373.
- Ayadi, A., Dorbath, C., Ousadou, F., Maouche, S., Chikh, M., Bounif, M., Meghraoui, M., 2008. Zemmouri earthquake rupture zone (Mw 6.8, Algeria): Aftershocks sequence relocation and 3D velocity model. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 113.
- Aymé, A. 1955. Contribution à l'étude de la plaine de la Mitidja occidentale et de sa bordure atlasique. *Bull. serv. Carte d'Algérie* N° 8 1955.
- Bonneton, J. R. 1977. Géologie de la zone de contact entre Mitidja et Atlas de Blida au Sud d'Alger. Th. Doctorat 3<sup>ème</sup> cycle. Univ. Pierre et Marie Curie, Paris.
- Bureau Gravimétrique International B.G.I., 1977 ; 1978. Transformation du système ORSTOM en IGSN1971 à partir des résultats publiés dans le catalogue : « Etablissement de l'IGN71 ». Cf (4), Univ. P. et M. Curie, Paris (France).
- Bouyahiaoui, B., Djeddi, M., Abtout, A., Boukerbout, H., et Akacem, N., 2011. Etude de la croûte archéenne du môle In Ouzal (Hoggar Occidentale) par la méthode gravimétrique : identification des sources par la transformée en ondelettes continues. *Bulletin du Service Géologique National* Vol. 22, n°2, pp. 259 - 274, 17 fig.

- Djediat, Y., 1997. Etude géologique et géotechnique de la Mitidja Nord Orientale, Thèse de magister, U.S.T.H.B.
- Guemache, M. 2010. Evolution géodynamique des bassins sismogènes de l'Algérois (Algérie) Approche pluridisciplinaire (Méthodes Géologiques et Géophysiques). Thèse Doctorat, FSTGAT USTHB, 294 pages.
- Harbi, A., Maouche, S., Benouar, D., Panza, G.F. And Benhallou, H. 2004. Seismicity and tectonics structures in the site of Algiers and its surroundings: A step towards microzonation. *Pure Appl. Geophys.*, 161, pp. 949-967.
- Idres, M., 1983. Réseau de bases de référence et cartes des anomalies de Bouguer et isostatique de l'Algérie du Nord ; Etude gravimétrique du massif d'Alger. Thèse de Magister, USTHB, Alger (Algérie), 75p.
- Idres, M. and Aïfa, T., 1995. Some parameters to improve gravity network accuracy: application to new reference base station network of North Algeria. *Bulletin de Service Géologique de l'Algérie*, 6, 79-94.
- Idres, M., Bourmatte, A., Ouyed, M., and Boughacha, M. S., 2013. Quelques procédures pouvant améliorer la qualité d'un réseau gravimétrique, *Bulletin des Sciences Géographiques*, 28, 45-50.
- Koler, B., Medved, K; Kuhar, M., 2012. The new fundamental gravimetric network of Slovenia. *Acta Geod. Geoph. Hung.*, Vol. 47(3), pp. 271-286. DOI: 10.1556/AGeod.47.2012.3.1.
- Lagrula, J., 1951. Etude gravimétrique de l'Algérie-Tunisie. *Bull. Serv. Carte Géol., Algérie*, 4, 2, 114p.
- Lagrula, J., 1959. Nouvelles études gravimétriques, première partie, stations de référence de l'Algérie et du Sahara. *Publ. Serv. Carte Géol., Algérie, Nouvelle série*, 25, travaux collaborateurs.
- Longman, I. M, 1959. Formulas for computing the tidal acceleration due to the moon and the sun. *Journal of Geophysical Research*, vol. 64, n°. 12, 235 1-2355.
- Maouche, 2010. Tectonique active et géodynamique le long de l'Atlas Tellien Etude des soulèvements côtiers. These de doctorats usthb, 315.
- Maouche, S., A., Harbi ; H., Haddoum., 2004. Sismotectonique dans l'Algérois et zones limitrophes. *Mém. Serv. Géol. Alg.* n° 12 pp. 81 -92, Mokrane, A., Ait Messaoud, A., Sebai, A., Ayadi, A., and Bezzeghoud, M., 1994. Les séismes en Algérie de 1365 à 1992. Publication du Centre de Recherche en Astronomie, Astrophysique et Géophysique ESS, C.R.A.A.G, Alger-Bouzaréah, 277 pp.
- Olivier, F., 2002. Réseau de gravimétrie absolue algérien. *Bulletin des Sciences Géographiques*, 09, 3-9.
- Ouyed, M., Idres, M., Bourmatte, A., Boughacha, M.S., Samai, S., Yelles, A., Haned, A., Aidi, C., 2011. Attempt to identify seismic sources in the eastern Mitidja basin using gravity data and aftershock sequence of the Boumerdes (May 21, 2003; Algeria) earthquake. *Journal of Seismology* 15, 173-189.
- Poitevin C. 1979. Le nouveau réseau gravimétrique belge. *Ciel et Terre, Bull. Soc. Roy Belge Ast. Geod. Phys. Du Globe* : 95 (1).
- Sebaï, A., Bernard, P., 2008. Contribution à la connaissance de la sismicité d'Alger et de ses alentours au XVIII<sup>e</sup> siècle, extraite des archives françaises. *Comptes Rendus Geoscience* 340, 495-512.
- Yaghoub, H., 2010. Etablissement des nouveaux réseaux multi-observations géodésiques et gravimétriques et détermination du géoïde en Iran. Thèse de doctorat, université de Montpellier II, 193 p.
- Yelles-Chaouche, K., Djellit, H., Hamdache, M., 2003. The Boumerdes-Algiers (Algeria) earthquake of May 21<sup>st</sup>, 2003 (Mw = 6.8). *CSEM/EMSC Newsl.* 20, 3.