

RESEAU DE GRAVIMETRIE ABSOLUE ALGERIEN

Par Dr. Olivier Francis
19, rue Josy Welter
L-7256 Walferdange
Grand-duché de Luxembourg

مقدمة:

ما ميز سنة 2001 هو استفادة الجزائر من شبكة لقياس الجاذبية المطلقة ذات الرتبة صفر، و يعتبر هذا الإنجاز الأول من نوعه على مستوى القارة الإفريقية. بالفعل، إلى حد الآن لم تكن هنالك شبكة يمثل هذه الضخامة و الدقة (برتبة بضعة ميكروقال، أي برتبة 10^{-8} م/ثا²). خلال هذا التقرير، لن نتطرق إلى أهمية إنجاز شبكة قياس الجاذبية المطلقة، فهو قبل كل شيء تقرير فني، الهدف منه هو توضيح و شرح كيف يمكننا قياس جاذبية النقل و وصف مجمل المعالجات التي يقوم بها الملاحظين للحصول على قيم نهائية لجاذبية النقل (*notée g*).

تمت معالجة كل الملاحظات بواسطة برنامج تمت برمجته من طرف شركة " ميكرو - ج سولوشن إ.ف.س " (صانعة جهاز قياس الجاذبية المطلقة) كل المعالجات تمت وفق الاتفاقيات الدولية المتعلقة بهذا المجال. للعلم هي نفس البرامج المستعملة خلال حملات المقارنة الخاصة بجهاز قياس الجاذبية المطلقة ب (BIPM) بباريس. الفصل الأول هو عبارة عن وصف و جيز لسير حمليتي القياس المطلق لجاذبية النقل بالجزائر. و يجد القارئ في الفصل الثاني النتائج النهائية المجمة في جدول واحد، أما الفصل الموالي فهو عبارة عن وصف لجهاز قياس الجاذبية المطلقة. الفصل الرابع يتضمن بروتوكول القياسات، أما الفصل الخامس فيعالج مجمل التصحيحات التي تمت على المعطيات الخام. الفصل الأخير يتضمن بعض التفاصيل الخاصة بالمحطات، كذلك البطاقات الوصفية، الفنية و البيانية.

INTRODUCTION :

Au cours de cette année 2001, l'Algérie s'est doté d'un réseau gravimétrique absolu d'ordre zéro. C'est une première sur le continent africain. En effet, jusqu'à présent, il n'y a jamais eu un réseau à la fois de cette ampleur et d'une telle précision (de l'ordre de quelques microgals, c'est-à-dire de l'ordre de 10^{-8} m/s²).

Dans ce rapport, nous ne traitons pas de l'intérêt que représente la réalisation d'un réseau de gravimétrie absolue.

Ce rapport est avant tout un rapport technique. Il a pour but d'expliquer comment on mesure la pesanteur et de décrire l'ensemble des traitements que subissent les observations pour obtenir les valeurs finales de la pesanteur (notée "g").

Toutes les observations ont été traitées avec le software fourni par la compagnie Micro-g Solutions Inc. (Fabriquant du gravimètre absolu utilisé). Tous les traitements suivent à la lettre les conventions internationales en usage dans le domaine. A titre d'information, ce sont les mêmes programmes qui sont utilisés lors des campagnes d'intercomparaison de gravimètres absolus au BIPM à Paris.

Le premier chapitre décrit succinctement le déroulement des deux campagnes de mesures absolues de la pesanteur en Algérie. Dans le second chapitre, le lecteur trouvera les résultats finaux condensés en une seule table. Une description du gravimètre absolu est donnée dans le chapitre suivant. Le protocole de mesures est exposé dans le chapitre 4. Le chapitre 5 traite de toutes les corrections qui ont été appliquées aux données brutes. Enfin, le sixième et dernier chapitre contient des commentaires sur les stations ainsi que les fiches signalétiques, techniques et autres graphiques.

INTRODUCTION:

During this year 2001, Algeria endowed itself of absolute gravimetry network of zero order. It is a first on the African continent. Indeed, until now, there was ever at a time a network of this ampleness and such a precision (of the order of some microgals, that is the order of 10^{-8} m/s²).

In this report, we don't treat the interest that represents the realization of an absolute gravimetry network. This report is above all a technical report. It has for goal to explain how we measure the weight and to describe the whole of treatments that undergoes observations to get the final values of the weight (noted g).

All observations have been dealt with the software provided by the company Microphone-g Solution Inc. (Manufacturing the used absolute gravimeter). All treatments follow precisely the international conventions in use in the domain. For information, they are the same programs that are used at the time of absolute gravimeters inter comparison campaigns to the BIPM in Paris.

The first chapter described succinctly the progress of the two campaigns of absolute measures of the gravity in Algeria. In the second chapter, the reader will find final results condensed in only one table. A description of the absolute gravimeter is given in the following chapter. The protocol of measures is exposed in the chapter 4. The chapter 5 been deals with all corrections that have been applied to the raw data. Finally, the sixth and last chapter contains commentaries on stations as well as technical descriptive cards, and other diagrams.

1. Campagnes de mesures

Les mesures furent étalées sur deux périodes. La première du 2 au 13 mars fut marquée par un certain nombre d'avatars liés au retard de l'arrivée du matériel à Alger et, ensuite, à des problèmes avec l'ordinateur du gravimètre. Seule la station de Tamanrasset fut réalisée durant cette première campagne. La seconde campagne se déroula du 6 au 30 avril. Celle-ci fut un succès complet. Douze sites furent occupés dont la station fondamentale d'Alger au CRAAG où des mesures furent effectuées à deux reprises. Nous avons aussi établi une seconde station à Alger afin de fournir une base d'étalonnage pour les gravimètres à ressort. La grande différence de g entre les deux stations d'Alger et la précision du microgal fait de cette base d'étalonnage un outil précieux et unique sur tout le continent africain. La Figure 1 montre la répartition géographique des stations de gravimétrie absolue du réseau d'ordre zéro algérien.

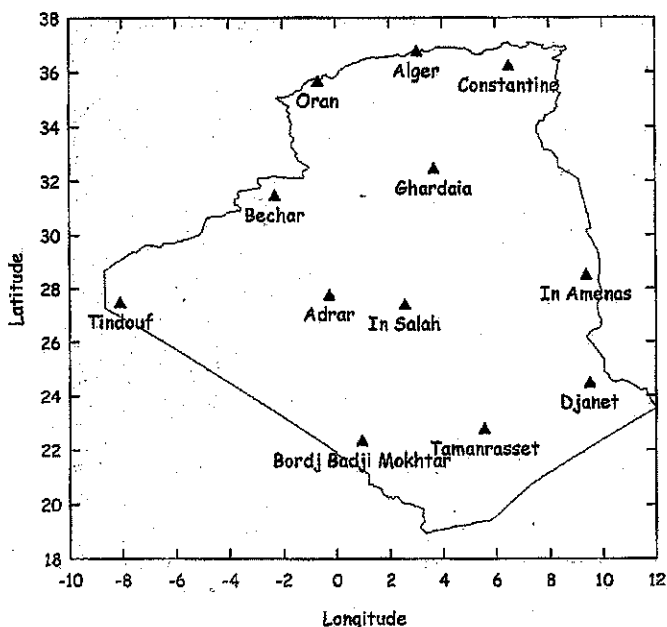


Figure 1. Répartition géographique des stations du réseau de gravimétrie absolue d'ordre zéro algérien.

2. Description du gravimètre absolu FG5

Le gravimètre absolu utilisé lors de cette campagne est le FG5-111 de la National Science Fondation des Etats-Unis. Ce gravimètre, basé à Boulder, est sous la responsabilité du Professeur Roger Bilham de l'Université de Colorado à Boulder (USA). Les gravimètres absolus FG5 sont construits par la firme Micro-g Solutions Inc. à Boulder. C'est l'unique compagnie au monde qui commercialise ce type d'instrument

Le gravimètre absolu FG5 est un instrument à la fois très précis et exact et transportable qui mesure la pesanteur (c'est-à-dire l'effet conjugué de l'accélération de la pesanteur et de l'accélération centrifuge due à la rotation de la Terre).

Le principe de fonctionnement du FG5 est relativement simple. Grâce à un système mécanique, une masse test est soumise à une chute libre sur une distance de 20 cm dans une chambre sous vide. Un interféromètre laser permet de mesurer très exactement la position de la masse test en accélération due à la pesanteur durant sa chute libre. De la mesure de la trajectoire de la masse test, on peut calculer directement l'accélération de l'objet.

Durant la chute libre de la masse test, l'interféromètre laser produit des franges d'interférence optiques. Ces franges sont comptées en fonction de l'écoulement du temps. Le temps est lui mesuré avec une horloge atomique. Les mesures de base ou "brutes" sont donc un couple de valeurs comportant le temps et la position de la masse test. La valeur mesurée de g (la pesanteur) est obtenue en ajustant une parabole sur la trajectoire (graphe de la position en fonction du temps). Cette méthode pour mesurer g est absolue, car sa détermination, purement métrologique, est en relation directe avec les étalons de mesures du temps et de distance. L'étalon de distance est donné par un laser helium-néon (HeNe) faisant partie intégrante de l'interféromètre. Tandis que l'étalon de temps est assuré par une horloge atomique rubidium.

Pour une description plus détaillée du gravimètre, nous prions le lecteur de consulter le mode d'emploi du gravimètre dont une copie est disponible à l'INCT.



Figure 2. Le gravimètre absolu FG5-111 à la station de Tamanrasset

3. Protocole de mesures

L'assemblage du gravimètre FG5 prend entre 30 et 60 minutes suivant les circonstances. Il faut compter deux heures avant que l'électronique n'atteigne sa température de fonctionnement optimale. Une fois les différents réglages terminés, les mesures peuvent commencer. Le gravimètre est alors piloté par ordinateur. La séquence de mesures est programmée par l'opérateur.

En général, l'intervalle de temps entre deux mesures consécutives est de 10 secondes. On effectue 100 mesures qui forment un set. La moyenne et l'écart type pour chaque set sont immédiatement calculés et affichés à l'écran. Il faut de l'ordre de 17 minutes pour obtenir un set de 100 mesures avec un temps d'échantillonnage de 10 secondes. Afin de ne pas user inutilement les parties mécaniques du gravimètre, le set suivant est programmé pour ne démarrer qu'une heure après le set précédent. Durant la campagne de mesures en Algérie, nous avons choisi d'espacer les sets entre eux d'une demi-heure seulement et parfois 20 minutes afin de d'augmenter le nombre de données. Dans quelques rares stations, une fois que le nombre de données obtenues fut suffisant, nous sommes passé à un set par heure.

La valeur finale de la pesanteur est calculée en prenant la moyenne arithmétique de toutes les données tandis que la précision est donnée par l'écart type des valeurs par set (la valeur d'un set est la moyenne de 100 mesures consécutives).

En théorie, la précision sur la moyenne de n mesures est l'écart type de toutes les mesures divisées par racine carrée de n . Dans le cas des mesures absolues, l'écart type des mesures sont de l'ordre de 5 à 15 microgal suivant les stations. Cela signifie qu'après 100 mesures (environ 17 minutes d'observations), on atteint déjà une précision de l'ordre de 0.5 à 1.5 microgal. Ceci ne correspond pas à la réalité. Car la théorie n'est applicable que si la distribution des mesures est une fonction de Gauss. Bien que cela n'ait pas encore été prouvé de manière rigoureuse, les erreurs de mesures instrumentales du FG5 suivent très vraisemblablement une distribution Gaussienne. Cependant, la pesanteur en un point donné n'est pas constante. En effet, elle varie en fonction du temps sous l'effet des marées terrestres, océaniques, de la pression atmosphérique, ... en résumé sous l'effet des variations des paramètres environnementaux. Il faut donc appliquer un certain nombre de corrections dites géophysiques aux observations brutes afin d'éliminer la partie variable dans le temps de la pesanteur. Or, la distribution des erreurs des corrections géophysiques n'est pas Gaussienne. Par exemple, une erreur sur l'amplitude des marées engendre une distribution bimodale des erreurs en raison de la périodicité des marées. C'est pourquoi, on préfère choisir comme estimation de la précision des mesures absolues de la pesanteur l'écart type d'un ensemble de sets. L'erreur ainsi estimée est toujours plus grande que l'erreur calculée en prenant l'écart type de l'ensemble des données divisé par la racine carré du nombre total d'observations. Cette méthode a l'avantage d'être plus réaliste.

En général, après quelques heures d'observations, on obtient déjà une valeur moyenne de la pesanteur très stable (c'est-à-dire qui ne variera que très peu si l'on continue les observations). Par contre, il est toujours préférable de mesurer entre 10 et 24 heures afin de contrôler si l'ensemble des corrections géophysiques sont bien adaptées. Ce qui fournit aussi une meilleure estimation de la précision réelle sur la détermination de la pesanteur.

4. Traitement des données.

En fonctionnement, le FG5 effectue une mesure toutes les 10 secondes. La chute libre se fait sur une distance de l'ordre de 20 cm et dure environ 0.175 secondes. Durant la chute libre, en moyenne 400.000 franges d'interférence sont générées dont 700 sont enregistrées sur le disque dur de l'ordinateur. Ce nombre est un compromis entre la précision désirée et surtout les moyens informatiques disponibles aujourd'hui ne permettent pas encore de stocker l'ensemble des 400.000 franges pour un grand nombre de mesures.

A chaque chute libre (c'est-à-dire pour chaque mesure individuelle), l'équation du mouvement est inversée et l'ensemble des corrections décrites ci-après est appliqué.

4.1 Equation du mouvement

La valeur mesurée de la pesanteur est calculée pour la position initiale de chaque chute. Ceci doit être précisé, car la chute libre se fait sur 20 cm. La pesanteur varie donc d'environ 60 microgal entre la position en début et fin de chute en raison du gradient vertical de la pesanteur à la surface de la Terre. Etant donné que le FG5 a une précision de l'ordre du microgal, nous ne pouvons plus considérer g comme constant. Il faut tenir compte du gradient vertical et l'équation du mouvement modifiée devient l'équation d'une trajectoire parabolique avec un terme cubique et quadratique dans le temps (on suppose γ le gradient vertical de la pesanteur connu)

$$x_i = x_0 + v_0 \left(t_i + \frac{\gamma}{6} t_i^3 \right) + \frac{g_0}{2} \left(t_i^2 + \frac{\gamma}{12} t_i^4 \right)$$

(t_i, x_i) sont les 700 observations de temps et position durant la chute libre.

x_0 (position initiale), v_0 (vitesse initiale) et g_0 (valeur de la pesanteur à la position initiale) sont les trois paramètres estimés. Des 700 franges d'interférence, seules les franges 30 à 630 sont réellement utilisées pour calculer la trajectoire de la masse test. Les premières franges sont éliminées car elles sont perturbées lors de la mise en mouvement de la masse test. Tandis que les dernières franges sont prises lors de la phase de décélération de la masse test et sont dès lors inutilisables.

Une fois la valeur de la pesanteur estimée à la position initiale, il ne reste plus qu'à appliquer les corrections géophysiques. Nous verrons que la correction instrumentale est appliquée en aval de la résolution de l'équation du mouvement.

Deux remarques importantes:

1- Connaissant la valeur du gradient vertical, on peut transférer la valeur de la pesanteur de la position initiale qui se trouve à environ 1.30 m du sol en appliquant un terme correctif qui est simplement: la valeur du gradient vertical de la pesanteur multipliée par la différence de hauteur.

2- Pour cette première campagne, nous ne disposons pas encore, au moment de la rédaction de ce rapport, des valeurs observées du gradient vertical. Celles-ci s'obtiennent en mesurant la différence de g entre le sol et 1.30 m au point où les mesures absolues ont été effectuées. **Nous avons donc utilisé une valeur standard de -3.0 microgal/cm et donné les valeurs absolues de la pesanteur à 1.30 m du sol.** Une fois que le gradient vertical de g aura été mesuré en chaque station, nous fournirons les résultats définitifs avec ces nouveaux paramètres.

4.2 Correction instrumentale (ou correction relativiste)

La position de la masse test en chute libre est mesurée par un interféromètre laser. En raison de la vitesse finie de la vitesse de la lumière et du type d'interféromètre utilisé, il faut introduire une correction relativiste. Celle-ci provient du fait que la lumière met un certain temps pour parcourir la distance variable entre la base de l'interféromètre et la masse test en chute libre. Chaque temps correspondant à une position x est retardé par un temps $-x/c$ où c est la vitesse de la lumière. Lorsque l'on résout l'équation du mouvement, on introduit le temps corrigé de ce retard. L'amplitude de la correction est de l'ordre de 11 microgal.

4.3 Corrections géophysiques

4.3.1 Marées terrestres

Les mouvements relatifs de la Lune et du Soleil par rapport à la Terre provoquent une variation de l'amplitude et de la direction de la pesanteur à la surface de la Terre (Melchior, 1983). Cette variation temporelle de la pesanteur est directement reliée aux positions de la Lune et du Soleil. Il faut considérer trois effets:

1. l'attraction directe des deux astres;
2. la déformation élastique de la Terre;
3. la redistribution de masse à l'intérieur de la Terre.

Nous utilisons pour calculer l'effet gravimétrique des marées terrestres la sous-routine fournie par Micro-g Solutions Inc. Cette sous-routine calcule la position de Lune et du Soleil à partir de formules analytiques. Le potentiel générateur des marées est ensuite déduit. Un facteur gravimétrique de 1.6 est alors utilisé comme fonction de transfert entre le potentiel générateur des marées et l'effet gravimétrique. La précision est de l'ordre du microgal (limite de précision du FG5). Une copie du code FORTRAN (gravtide.for) est fournie sur le CD-Rom. On y trouvera la liste des nombreux auteurs du code ainsi que les diverses modifications qui y ont été apportées.

4.3.2 Surcharge océanique

Le flux et reflux des marées océaniques exercent une charge périodique sur le fond des océans. Cette charge provoque un signal gravimétrique de mêmes périodicités que les marées terrestres. L'amplitude est de l'ordre de 1 à 15 microgal dépendant de la distance entre les océans et la station considérée.

Les effets de surcharge océanique sont calculés suivant la méthode décrite dans le papier de Farrell (1972). Ces effets ont été calculés avec nos propres programmes à partir des fonctions de Green pour le modèle de Terre PREM et les cartes de marée océanique de Schwiderski (1980) (voir Francis et Mazegga, 1990). On obtient les amplitudes et les phases pour les 8 ondes diurnes et semi-diurnes principales. Les ondes longues périodes n'ont pas été considérées. En effet, la précision des modèles de marée océanique pour les longues périodes est insuffisante.

Les amplitudes et phases des effets de surcharge océanique sont incluses dans la fiche technique de chaque station. Nous fournissons aussi les fichiers sur le CD-Rom qui sont compatibles avec le software permettant de rejouer les données (leur extension est *.loa).

4.3.3 Pression atmosphérique

Les variations de la pression atmosphérique sont dues à la redistribution permanente des masses dans l'atmosphère. On doit donc considérer une correction gravimétrique pour les effets d'attraction directe et de flexion de la croûte terrestre. En gravimétrie absolue, il est convenu d'utiliser la formule suivante pour corriger des effets de la pression atmosphérique :

$$C_p = A (P_o - P_n)$$

Avec :

C_p = correction de la pression atmosphérique (microgal)
 A = facteur d'admittance de la pression atmosphérique. La valeur dépend de chaque station et est comprise entre 0.30 et 0.42 microgal/mbar. Nous utilisons la valeur de 0.3 microgal/mbar suivant les recommandations de l'Association Internationale de Géodésie (Résolution N°8, 1983).

P_o = pression atmosphérique mesurée (mbar)

P_n = pression nominale au site qui se calcule suivant :

$$P_n = 1013.25 * (1 - 0.0065 \frac{h_m}{288.15})^{5.2559}$$

Avec:

P_n = pression nominale (mbar)

h_m = altitude par rapport au niveau de la mer (m)

4.3.4 Mouvement du pôle

Le pôle de rotation de la Terre n'est pas fixe. Il décrit un mouvement circulaire à la surface de la Terre d'une amplitude d'une vingtaine de mètres et de périodes principalement journalières, annuelles et de 430 jours (Période de Chandler).

En raison de ce mouvement, la latitude d'un point à la surface de la Terre varie en fonction de la position du pôle. Cela entraîne une modification de l'accélération centrifuge et donc de la pesanteur.

Les corrections ne dépassent pas en général plus de ± 5 microgals (dépendant de la latitude du point considéré).

La position du pôle est déterminée pour chaque jour par l'IERS (International Earth Rotation Service) par technique spatiale. Les valeurs sont en libre accès sur le site Web de l'IERS. La Table 2 reprend les valeurs des positions x et y du pôle pour la période des campagnes de mesures absolues en Algérie. La formule de correction (Wahr, 1985) est donnée par :

$$\delta g = -1.164 \omega^2 a^2 \sin \varphi \cos \varphi (x \cos \lambda - y \sin \lambda)$$

avec:

δg = correction pour le mouvement du pôle (microgal)

ω = vitesse angulaire de la rotation de la Terre (radian/seconde)

a = rayon équatorial de l'ellipsoïde de référence (m)

φ = latitude de la station

λ = longitude de la station

x,y = coordonnées du pôle suivant la convention de l'IERS (radian)

5. Fiches techniques et graphiques

5.1 Description

Pour chaque station, un dossier complet est fourni dans la suite de ce rapport. Il comprend :

- Une page de garde avec une photo de la station (sauf pour les stations d'Adrar et de Djanet pour lesquelles nous ne disposons pas de photos).
- Une fiche technique telle qu'elle a été établie par l'Institut National de Cartographie et de Télédétection.
- Une fiche signalétique complète en anglais sur les mesures absolues. On y trouve toutes les coordonnées de la station, tous les paramètres des corrections appliquées ainsi que le résultat final. Pour toutes les stations, une fiche est fournie pour l'ensemble de tous les sets observés. Lorsque nous avons jugé bon d'éliminer un ou plusieurs sets, une seconde fiche est fournie avec les résultats pour les sets retenus. Ce sont les résultats de cette dernière fiche, qui sont considérés comme résultats définitifs.
- Une table avec la valeur de la pesanteur set par set ainsi que la valeur finale et l'ensemble des paramètres utilisés pour traiter les données. Les fiches techniques sont établies à partir des informations contenues dans cette table.
- Un ensemble de deux graphes. Le premier montre la dispersion des valeurs de g set par set par rapport à la valeur moyenne. Le second graphe montre l'évolution de la précision de la détermination de la pesanteur en fonction de la durée des observations.
- Un second ensemble de deux graphes: l'un pour la température, l'autre pour la pression.
- Un troisième ensemble de deux paragraphes: l'un avec la lecture du voltage du signal 1f du laser permettant de déterminer la longueur d'onde du laser, l'autre graphe donne la position du superspring. Les valeurs optimales de la position du superspring sont comprises entre -50 et +50 millivolts. Des valeurs comprises entre -150 et +150 millivolts restent acceptables.
- Une copie de la fiche d'observation établie durant les mesures.

Table 2. Paramètres de la rotation de la Terre fournis par l'IERS

INTERNATIONAL EARTH ROTATION SERVICE EARTH ROTATION PARAMETERS EOP (IERS) C 04							
FORMAT (2X,A4,I3,2X,I5,2F9.6,F10.7,2X,F10.7,2X,2F9.5)							

Date	MJD	x	y	UT1-UTC	LOD	dPsi	dEpsilon
	"	"	s	s	"	"	
(0h UTC)							
YEAR ==> 2001							
MAR 10	51978	.033353	485302	.0451304	.0015789	-.05143	-.00390
MAR 11	51979	.035554	485400	.0435498	.0016147	-.05130	-.00378
MAR 12	51980	.037984	485474	.0419402	.0015715	-.05114	-.00383
MAR 13	51981	.040873	485678	.0404353	.0013701	-.05100	-.00394
MAR 14	51982	.043923	486221	.0392124	.0010626	-.05091	-.00418
MAR 15	51983	.046453	486416	.0383075	.0008077	-.05075	-.00452
MAR 16	51984	.048652	486614	.0375842	.0006535	-.05063	-.00484
MAR 17	51985	.050981	487061	.0369823	.0005376	-.05041	-.00511
MAR 18	51986	.053542	487401	.0364889	.0004495	-.05034	-.00521
MAR 19	51987	.056314	487772	.0360633	.0004170	-.05020	-.00525
MAR 20	51988	.059065	488383	.0356371	.0004471	-.05017	-.00514
MAR 21	51989	.061641	488875	.0351550	.0005253	-.05009	-.00500
MAR 22	51990	.064428	489132	.0345774	.0006477	-.05008	-.00476
MAR 23	51991	.067308	489508	.0338565	.0007458	-.05011	-.00464
MAR 24	51992	.070228	490042	.0330897	.0008373	-.05015	-.00449
MAR 25	51993	.073325	490491	.0321929	.0009847	-.05022	-.00449
MAR 26	51994	.076386	490853	.0311375	.0010984	-.05024	-.00456
MAR 27	51995	.079229	491041	.0300162	.0011086	-.05025	-.00478
MAR 28	51996	.081734	491081	.0289394	.0010442	-.05021	-.00503
MAR 29	51997	.084076	491074	.0279415	.0009456	-.05009	-.00527
MAR 30	51998	.086359	490816	.0270525	.0008310	-.04993	-.00557
MAR 31	51999	.088549	490353	.0262726	.0007380	-.04979	-.00572
APR 1	52000	.090658	489730	.0255580	.0006841	-.04962	-.00580
APR 2	52001	.092715	489164	.0248769	.0006755	-.04961	-.00582
APR 3	52002	.094777	488816	.0241767	.0007529	-.04953	-.00579
APR 4	52003	.097061	488221	.0233465	.0009428	-.04960	-.00565
APR 5	52004	.099236	487335	.0222820	.0011710	-.04974	-.00541
APR 6	52005	.101608	486686	.0210161	.0013475	-.04992	-.00522
APR 7	52006	.104310	486443	.0196172	.0014587	-.05008	-.00508
APR 8	52007	.106633	486234	.0181380	.0014706	-.05024	-.00501
APR 9	52008	.108447	485666	.0167122	.0013322	-.05043	-.00510
APR 10	52009	.110447	484775	.0154966	.0010832	-.05039	-.00523
APR 11	52010	.113019	483882	.0145521	.0008316	-.05029	-.00558
APR 12	52011	.115915	483195	.0138257	.0006252	-.05002	-.00581
APR 13	52012	.118582	482746	.0132850	.0004322	-.04962	-.00609
APR 14	52013	.120995	481973	.0129406	.0002977	-.04926	-.00632
APR 15	52014	.123683	481063	.0126682	.0002937	-.04890	-.00638
APR 16	52015	.126573	480196	.0123335	.0003975	-.04863	-.00638
APR 17	52016	.129568	479315	.0118573	.0005519	-.04850	-.00614
APR 18	52017	.132847	478607	.0112187	.0007103	-.04853	-.00580
APR 19	52018	.136300	478059	.0104314	.0008434	-.04862	-.00547
APR 20	52019	.139472	477586	.0095330	.0009380	-.04884	-.00490
APR 21	52020	.142289	476887	.0085630	.0010036	-.04910	-.00428
APR 22	52021	.144919	476063	.0075403	.0010170	-.04935	-.00383
APR 23	52022	.147395	475382	.0065491	.0009526	-.04960	-.00394
APR 24	52023	.149312	474669	.0056572	.0008597	-.04971	-.00478
APR 25	52024	.151086	473657	.0048482	.0008005	-.04975	-.00572
APR 26	52025	.153355	472363	.0040655	.0007391	-.04963	-.00654
APR 27	52026	.155747	470968	.0033663	.0006101	-.04940	-.00691
APR 28	52027	.157797	469496	.0028281	.0005369	-.04893	-.00701
APR 29	52028	.159635	467920	.0022662	.0006172	-.04840	-.00695
APR 30	52029	.161469	466126	.0015646	.0007766	-.04787	-.00684

5.2 Commentaires sur chaque station

En chaque station, le point de mesure au sol (donné par la trace du point d'impact du faisceau laser de l'interféromètre) a été soigneusement repéré par l'équipe de l'INCT qui nous a assisté tout au long de la campagne de mesures.

Ci-après, nous commentons le déroulement des mesures ainsi que les résultats obtenus station par station dans l'ordre chronologique d'occupation.

Tamanrasset

La station est située dans l'enceinte du CRAAG. Elle est spacieuse. On y a atteint une précision de 1.9 microgal avec une série de 20 heures d'observations. On observe une variation de la température de plus de 5 degrés Celsius. Les mesures furent arrêtées à la suite d'une coupure de courant. Aucun set d'observation n'a été rejeté.

Alger

La station est située dans une cave d'un bâtiment sur le site du CRAAG à Alger. La station offre une très grande stabilité en température. La première session de mesure s'étend sur 40 heures. Les sets 24 et 41 ont été éliminés sur base du graphe qui donne l'évolution de la précision (écart type) en fonction de la durée des observations. En effet, l'écart type doit progressivement diminuer en fonction de la durée des observations. Si on observe un saut vers le haut de la courbe, on peut suspecter que le set correspondant est anormal. L'élimination de ces deux sets d'observations n'affecte que très peu la valeur moyenne de g. On augmente légèrement la précision de g de 2.2 à 2.1 microgal.

La deuxième session de mesures (une semaine plus tard) n'a duré que deux heures et demi. On constate l'accord presque parfait entre les valeurs de g. Ceci est une démonstration de la stabilité du gravimètre FG5.

A la station de Bologhine, nous n'avons observé qu'une heure et quarante minutes. Les résultats sont excellents.

Ghardaia

C'est une belle station de dimension idéale. Les variations de la température furent très importantes près de 8 degrés Celsius. Nous avons dû utiliser la climatisation. La verticalité de l'instrument est restée très stable durant les 24 heures d'observations. Des arrêts intempestifs de l'alimentation électrique sont à l'origine des sets manquants. Aucun set de mesure n'a dû être éliminé. A station exceptionnelle, précision exceptionnelle de 1.1 microgal.

In Amenas

Deux inconvénients majeurs à cette station: un vent fort et des températures élevées approchant les 30 degrés Celsius. Nous n'avons pas pu descendre la température dans le local et ce malgré l'utilisation de la climatisation. Nous avons réussi à observer 3 sets avant qu'une panne électronique ne survienne due aux températures élevées. La valeur moyenne est certainement proche de la valeur qui aurait été obtenue avec plus de sets (voir la cohérence des valeurs des sets pour les autres stations). Par contre, la précision de 1 microgal sur 3 sets de mesures n'est pas significative. Une précision plus réaliste peut être estimée en doublant voir triplant ce chiffre.

In Salah

Pour cette station, nous avons utilisé le groupe électrogène et la climatisation. La température fut assez élevée (de 20 à 27 degrés Celsius). Les observations ont duré 14 heures. Nous avons éliminé les sets 15, 18, 19 et 20. Cela a peu affecté la valeur moyenne mais améliore la précision de 1.9 à 0.7 microgal. La valeur anormale du 15^{ème} set correspond à une variation brusque de la température dans le local. Tandis que les sets 18 à 20 correspondent à une variation de la verticalité de l'instrument.

Oran

La station est située au sommet d'une colline dominant la ville d'Oran. Au début des mesures, le ciel était couvert, il faisait froid et le vent était violent. Le temps s'est progressivement amélioré. Ceci explique pourquoi les barres d'erreur sont plus grandes en début de la session d'observations. Un set de mesures aberrant a été éliminé. L'absence de mesures en milieu de session fut causée par une déficience dans l'alimentation électrique au moment de l'allumage de l'éclairage public en début de soirée. Nous avons alors décidé d'utiliser le groupe électrogène. La série complète comporte 19 heures d'observation. La moins bonne précision (2.9 microgal) est vraisemblablement due à l'emplacement de la station qui est exposée au vent et plus sensible aux effets de surcharge océanique en raison de sa proximité de la mer.

Bechar

Le soleil était au rendez-vous à la station de Béchar ainsi qu'un vent assez violent le premier jour des observations. Le groupe électrogène fut utilisé. La température dans le local fut maintenue autour des 23 degrés Celsius grâce à la climatisation. On notera une quantité de poussière assez importante dans la station. Le premier groupe de 6 sets a été éliminé. Les valeurs plus basses sont plus que vraisemblablement dues à un mauvais ajustement de la verticalité du gravimètre qui fut rectifiée à partir du 7^{ème} set.

Tindouf

Le groupe électrogène et la climatisation furent tous deux indispensables. Les températures, comprises entre 22 et 28 degrés Celsius, furent élevées. La station est très poussiéreuse. Nous avons éliminé les trois premiers sets en raison de la perte de verticalité du gravimètre. Celle-ci fut réajustée à partir du 4^{ème} set. La précision atteinte après 15 heures d'observations est de 2 microgal.

Bordj Badji Mokhtar

Lors de l'occupation de la station, il a fait très chaud. Nous avons dû attendre le soir tard avant de pouvoir commencer les mesures (la climatisation ne parvenant pas à faire descendre la température suffisamment dans le local).

Le groupe électrogène fut utilisé. Notons aussi une quantité importante de poussière dans le local.

La détérioration des observations au milieu de la session de mesure fut causée par une interférence entre la climatisation et le laser du gravimètre absolu.

Nous avons dû arrêter la climatisation après 5 heures de mesures. Ceci explique l'augmentation brusque de la température en cours de session ainsi que la nette diminution des erreurs sur les sets et l'amélioration de la qualité des mesures en fin de session. Un set seulement de mesures a été éliminé.

On obtient une précision finale très bonne de 1.6 microgal avec 9 heures d'observations

Adrar

Malgré les températures élevées et la poussière, les mesures en cette station sont très bonnes. Nous n'avons éliminé aucun set d'observations. La climatisation ainsi que le groupe électrogène furent utilisés.

Djanet

Au contraire de la station d'Adrar, la station de Djânet a posé beaucoup de problèmes. Il y a fait très chaud au point qu'il a fallu installer un climatiseur plus puissant fourni par les autorités locales. Cependant, nous avons dû arrêter la climatisation en raison des interférences avec les mesures gravimétriques causées par les vibrations du climatiseur. En raison de toutes ces perturbations, les 3 derniers sets d'observations ont dû être rejetés. Nous obtenons une valeur finale avec 7 sets d'une précision très acceptables de 1.6 microgal.

Constantine

La station de Constantine est bien située à même le rocher. Le local est propre, spacieux et offre une bonne stabilité en température. Les mesures de g sont excellentes. Sur les 9 heures d'observation, seulement un set doit être rejeté dû à une perturbation non identifiée. La précision finale de 1.1 microgal est un résultat excellent.

Conclusions

Dans ce rapport technique, nous donnons les résultats du premier réseau de gravimétrie absolue d'ordre zéro de l'Algérie. Nous avons réalisé les mesures de la pesanteur en douze sites algériens (plus un site supplémentaire à Alger). Les précisions sur la détermination de g obtenues sont en moyenne de l'ordre de 1.5 microgal pour une durée d'occupation moyenne de plus de 14 heures. Ces résultats sont excellents et avec une précision conforme aux normes en vigueur en gravimétrie absolue.

Toutes les observations brutes sont fournies sur Le CD-Rom en annexe ainsi que le logiciel nécessaire pour retraiter les mesures. Tout le traitement des données (y compris toutes les corrections appliquées ainsi que les paramètres utilisés) est décrit dans le présent rapport.

En conclusion, nous tenons à exprimer notre reconnaissance à tous les acteurs algériens qui nous ont aidé et encouragé tout au long des deux campagnes de mesures. Nous avons partagé ensemble un moment que l'on peut qualifier d'historique : l'établissement du premier réseau de gravimétrie absolue d'ordre zéro d'une précision du microgal sur le continent africain.