

Zeitschrift:	Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural
Herausgeber:	Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)
Band:	98 (2000)
Heft:	11
Artikel:	Nivellement de puits par la méthode GPS au Niger
Autor:	Favre, C.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-235691

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 23.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Nivellement de puits par la méthode GPS au Niger

Pour le Niger, la gestion des ressources en eau représente une priorité nationale. Cette gestion nécessite en particulier l'information sur le niveau piézométrique des nappes phréatiques. Dans cette optique, la méthode GPS a permis de déterminer l'altitude d'une vingtaine de puits avec une précision décimétrique. Après une brève description de l'environnement de travail, cet article donne un aperçu des travaux topométriques effectués et des résultats obtenus. Il souligne enfin les difficultés pratiques rencontrées.

Der Umgang mit den Wasserressourcen ist im Niger von nationaler Wichtigkeit. Von Bedeutung ist insbesondere die Kenntnis der Höhe des Grundwasserspiegels. Zu diesem Zweck wurden die Höhen von ca. 20 Brunnen mit GPS mit Dezimetergenauigkeit bestimmt. Dieser Bericht gibt nach einer kurzen Beschreibung des Umfelds der Arbeit einen Überblick über die Vermessungsarbeiten und die erzielten Resultate. Zudem werden die angetroffenen praktischen Schwierigkeiten aufgezeigt.

Per il Niger, la questione delle risorse idriche rappresenta una priorità nazionale. Questa problematica necessita in particolare di informazioni sul livello piezometrico delle falde fatiche. In quest'ottica il metodo GPS ha permesso di determinare l'altitudine di una ventina di pozzi con una precisione al decimetro. Dopo una breve descrizione delle condizioni di lavoro, questo articolo presenta un riassunto dei lavori topometrici effettuati e dei risultati ottenuti, sottolineando infine le difficoltà pratiche riscontrate.

C. Favre

La République du Niger

Situation, population et climat

De relief peu contrasté, la République du Niger couvre une superficie égale à deux fois celle de la France, pour une population légèrement supérieure à celle de la Suisse. Si, dans son ensemble, la densité moyenne de population est relativement faible, près des trois quarts de celle-ci se concentre au sud de l'axe Niamey-Zinder. Les deux tiers du territoire sont désertiques, le climat est de type tropical aride avec une pluviométrie annuelle moyenne comprise entre moins de 100 mm dans sa partie nord et près de 800 mm dans le sud.

Economie et agriculture

En raison du boom de l'énergie nucléaire, la croissance économique a été relativement forte au cours des années sep-

tante. Toutefois, sous l'effet conjugué de la sécheresse et de l'effondrement des cours de l'uranium et de l'arachide, la situation économique est devenue très difficile au début des années nonante. Le PIB du Niger par habitant est aujourd'hui inférieur à 200\$, ce qui le classe parmi les pays les plus pauvres de la planète. A l'heure actuelle, l'économie nigérienne est dominée par le secteur agricole. Les principales cultures vivrières sont le mil, le sorgho, le niébé et, dans une moindre mesure, le riz, le maïs et le manioc.

Plans de développement

Dans le cadre des plans de développement économique et social, le gouvernement de la République du Niger donne la priorité à la recherche de l'autosuffisance alimentaire, à la lutte contre la désertification et à la restauration de l'environnement. Plusieurs projets de développement ont été mis en place, notamment en ce qui concerne l'agriculture, l'élevage, le reboisement et l'exploitation des eaux sou-



Fig. 1: La République du Niger.

terraines. Une grande partie du territoire étant désertique, ce sont les régions du sud-ouest qui sont essentiellement concernées par ces projets.

Contexte du travail

Les différents travaux présentés dans cet article s'inscrivent précisément dans un projet de développement, financé en partie par le Fonds National Suisse de la Recherche Scientifique et réunissant différents partenaires et instituts de l'Université de Berne, de l'ETH de Zürich et de l'EAUAG. Il a pour titre «Grundwässer als Ressourcen und als Archive für Umweltveränderungen». Parmi les différents travaux de recherche gravitant autour de ce projet, l'un de ceux-ci est actuellement conduit par le Professeur W. Kinzelbach, de l'institut d'hydromécanique et d'économie des eaux (IHW) de l'ETHZ [1]. Ce projet vise une meilleure gestion des ressources en eau souterraine. Dans ce but, la connaissance du niveau piézométrique de la nappe phréatique représente une information indispensable pour calibrer le modèle d'écoulement de l'eau souterraine.

Le territoire ayant fait l'objet des investigations présentées dans cet article a constitué une sorte de zone-pilote, permettant de tester l'efficacité de la méthode utilisée et de l'améliorer. Ce territoire a été défini à une centaine de kilomètres au nord-est de Niamey et il couvre une superficie de près de 5000 km².

Après toute une série de discussions et de réflexions, les exigences de précision ont été fixées à une vingtaine de centimètres pour l'altimétrie et à quelques mètres pour la planimétrie. Ce choix est lié à l'étendue du territoire choisi. Dans ce cas en effet, la dynamique de l'écoulement est uniquement influencée par la composante altimétrique, la composante planimétrique ayant une influence négligeable.

Bases géodésiques

L'Institut Géographique National du Niger (IGNN) dispose de 2 réseaux de points fixes, définis dans des datum géodésiques différents. Par chance, la zone-pilote est entièrement couverte par l'un de ceux-ci. Le réseau en question a été établi en 1992-1993 dans le cadre d'un projet de collaboration avec l'Agence Japonaise de Coopération Internationale [2]. Le but était alors de dresser une carte topographique au 1:50 000 de la région de Djermé Ganda et des Dallols. Un telle carte revêt une importance de tout premier ordre, car elle constitue le support indispensable à la planification de nombreux autres projets de développement.

Le réseau en question comprend 38 points fixes et il couvre une superficie à peu près équivalente à celle de la Suisse. Tous les points ont été mesurés par la méthode GPS, à l'aide de 4 récepteurs mono-fréquence et durant des sessions de 3 heures. Le datum local a alors été défini au moyen de l'ellipsoïde de Clarke 1880 et de trois paramètres de translation par rapport à WGS84. En parallèle, l'altitude de la plupart des points fixes a été déterminée par nivelllement géométrique. Pour les points restants, l'altitude usuelle a été calculée par interpolation de l'ondulation du géoïde, cette dernière étant connue pour les points mesurés avec les deux méthodes. Il en résulte que la précision planimétrique et altimétrique de ce réseau est de quelques centimètres.

Sur le terrain, les points fixes sont matérialisés par des piliers préfabriqués en tubes PVC de 15 cm de diamètre pour une longueur de 60 cm. Ces tubes sont rem-



Fig. 2: Récepteur GPS sur un point fixe.

plis de béton et posés sur une fondation du même matériau, de 30 cm de côté et de 20 cm de profondeur. La position exacte de chaque point est signalée par une tige en fer au sommet de la borne, cette dernière dépassant le niveau du sol d'une vingtaine de centimètres.

Stratégie des mesures

Quelle que soit la méthode de mesures utilisée, il s'agit, dans une premier temps, de déterminer l'altitude d'un point sur le rebord du puits. Le niveau de l'eau dans les puits est ensuite déterminé à l'aide d'une sonde lumineuse. En fait, il faudrait systématiquement faire cette mesure de profondeur le matin, avant même que les gens aient commencé à puiser de l'eau, car c'est à ce moment-là que le niveau hydrique dans le puits correspond à celui de la nappe.

Méthodes à disposition

Afin de déterminer l'altitude et la position d'un point sur le rebord d'un puits, il s'agit avant tout de trouver une méthode simple et aussi efficace que possible.

Une première solution serait de se baser sur la carte au 1:50 000 de 1992-1993. Cependant, même si certains points y sont cotés avec une précision métrique, les al-

titudes indiquées ne font pas référence à des objets clairement définis sur le terrain. De même, l'utilisation des courbes de niveau est impossible, car elles résultent le plus souvent d'interpolations sur plusieurs kilomètres. Dans tous les cas, cette méthode permettrait au plus d'atteindre une précision métrique.

Un deuxième procédé consisterait à utiliser les méthodes traditionnelles de levé ou de polygonation, basées sur l'utilisation de stations totales ou éventuellement des niveaux. Toutefois, la zone d'étude se caractérise par de vastes terres plates, avec des plateaux surélevés de quelques dizaines de mètres pour seul relief. Même si cette zone n'a que très peu de végétation, elle ne présente pas la visibilité nécessaire. En définitive, de telles méthodes s'avèreraient très peu productives. Une troisième solution serait le nivelllement barométrique différentiel. Pourtant, malgré l'originalité et la très grande flexibilité de cette méthode, un travail réalisé à l'EPFL [3] avec des baromètres de Thommen indique que ce procédé ne permet pas d'atteindre une précision suffisante non plus.

En fin de compte, le seul procédé pouvant assurer l'efficacité, la flexibilité, la précision et la fiabilité nécessaires repose sur la méthode GPS. Au vu de la mor-

phologie de la zone d'étude et de sa faible densité de végétation, une telle méthode ne devrait pas rencontrer de difficultés. Enfin, la planification des observations indique que sans obstructions et avec une élévation minimale de 15°, la constellation GPS permet d'effectuer des mesures de bonne précision, avec un bon GDOP et au moins 6 satellites le plus souvent.

Stratégie des mesures

La plupart des mesures ont été effectuées avec deux stations de référence pour un seul récepteur itinérant. Une première équipe s'est chargée de la mise en place des récepteurs de référence sur les points fixes, alors qu'une seconde équipe s'est occupée des mesures aux puits. Les deux équipes ont utilisé un véhicule tout-terrain pour leurs déplacements. Cette manière de procéder se justifie par la particularité du travail à exécuter.

En effet, si l'accès aux points fixes est relativement aisé (la plupart de ceux-ci sont placés le long de grands axes de communication), l'accès aux puits est nettement plus compliqué, car il s'agit, le plus souvent, d'emprunter des sentiers en sable ou en terre. Cette progression est donc très lente, si bien qu'il serait impensable de se rendre une deuxième fois sur chaque puits. Le seul moyen d'assurer une fiabilité et une efficacité minimales des mesures consiste donc à utiliser deux stations de référence.

Pour cette stratégie, il n'est plus possible de parler de mesures parfaitement indépendantes, puisque la constellation GPS est la même pour les deux vecteurs de base. Par contre, il est possible de supprimer certaines sources d'erreur en travaillant de façon systématique. Par exemple, une erreur sur une hauteur d'antenne n'est plus possible en utilisant des cannes de longueur constante plutôt que des trépieds. En outre, il n'y a pas de problème pour l'identification des points, car les puits sont choisis arbitrairement et aussi bien répartis que possible sur la zone d'étude. Dans le but d'utiliser les mêmes puits dans des études ultérieures, ceux-ci ont systématiquement été signalisés sur leurs rebord par un trou rempli de mastic. Cet ar-

tifice permet d'obtenir une signalisation durable.

Matériel utilisé

La première idée a été d'utiliser des récepteurs de poche bon marché, de type Garmin, permettant d'enregistrer la position de navigation en coordonnées WGS84 ou dans un système local. Un travail de semestre réalisé sur ce sujet [4] à geomETH (geodätische Messtechnik ETH-Zürich) a toutefois démontré que l'utilisation de ces récepteurs en mode différentiel ne permet pas d'atteindre la précision souhaitée. Un récepteur GPS de poche s'est toutefois avéré très utile pour s'orienter sur le terrain.

Aussi, après de mûres réflexions, ce sont les trois récepteurs bi-fréquences SR530 (Leica) de geomETH qui ont été utilisés. Quant au calcul des lignes de base, il s'est effectué avec le logiciel SKI-Pro. Cette décision n'a pas été prise sans hésitation, car transférer et mettre en oeuvre ce type d'instrumentation dans un pays tel que le Niger engendre un certain nombre de difficultés.

En parallèle, un ordinateur de terrain de type pencomputer a été utilisé pour sauvegarder les mesures, de même que pour vérifier la qualité de celles-ci. Cet ordinateur, s'est avéré particulièrement adapté à des conditions de terrain souvent difficiles. En dernier lieu, il a fallu disposer d'un moyen de communication efficace entre les deux équipes de terrain. Le Niger n'étant pas équipé d'un réseau de téléphonie mobile suffisamment développé et l'emploi de radios nécessitant une longue procédure administrative, c'est un système de téléphonie via satellite (Iridium) qui a finalement été utilisé. Les appareils nécessaires ont été gracieusement mis à disposition par Swisscom.

Précautions particulières

Les récepteurs GPS sont généralement assez sensibles à une température excessive. Comme la plupart des pays de l'hémisphère nord, le Niger connaît une période plus fraîche entre novembre et février. Toutefois, durant cette période, la température ne descend que rarement en

dessous de 30°C! Par conséquent, il est primordial de protéger les récepteurs de la chaleur, surtout du rayonnement solaire direct, ce dernier étant capable de les chauffer à l'extrême et de provoquer leur dysfonctionnement.

Résultats

Travail effectué

La campagne de terrain a eu lieu à la mi-janvier de cette année. La description détaillée des étapes de travail est disponible sur Internet dans les nouveautés de la page d'accueil de geomETH, à l'adresse www.geometh.ethz.ch. Ce carnet de route indique qu'une vingtaine de puits ont été nivélés par la méthode GPS en 5 jours de travail effectif, ce qui représente une moyenne journalière de 4 puits. Ceux-ci sont répartis de façon assez homogène entre 2°02" et 2°52" en longitude et 14°05" et 14° 35" en latitude.

Au total, 7 points fixes ont été utilisés pour y placer les stations de référence. Le procédé de mesures choisi a permis de calculer les lignes de bases entre deux stations de référence avec une précision de quelques centimètres, car celles-ci ont été mesurées pendant plusieurs heures et elles ne dépassent pas 35 km. Les observations ont été planifiées de façon qu'il soit possible de relier tous les points fixes par une ligne polygonale, ce qui permet ensuite de calculer une transformation locale.

Fiabilité

Dans un premier temps, les vecteurs de la ligne polygonale ont été calculés à partir du point fixe JN-09. Une fois les points de la polygonale calculés, ceux-ci ont été définis comme référence pour déterminer les coordonnées des puits. Bien que ne constituant pas un réseau à proprement parler, l'ensemble des mesures présente une fiabilité satisfaisante, se traduisant globalement par l'écart entre les coordonnées des puits, calculées à partir de deux stations de référence sur un même côté de la polygonale. Une fiabilité minimale a également été assurée pour les points JN-11, JN-17 et JN-18, qui ont tout

trois ont été mesurés au cours d'une même session.

Transformation locale

Tous les points ayant été calculés en coordonnées WGS84 et sur la base du seul point fixe JN-09, il a ensuite fallu calculer une transformation locale pour intégrer au mieux l'ensemble des mesures dans le système des coordonnées locales. En principe, le calcul de la transformation devrait se faire avec les altitudes ellipsoïdiques des points fixes et il faudrait ensuite seulement tenir compte de l'ondulation du géoïde pour obtenir l'altitude usuelle. Cependant, les travaux effectués en 1992–1993 par [2] montrent que le géoïde a un comportement très régulier sur la zone considérée et qu'il ne présente aucune anomalie. Par conséquent, la transformation a été calculée directement sur la base de l'altitude usuelle des points fixes. Après transformation, les altitudes obtenues n'ont donc plus besoin d'être corrigées. La transformation ayant été choisie est du type Helmert-3D. Les résidus pour chacun des points fixes sont, après transformation, en moyenne inférieures au décimètre.

Coordonnées des puits

La plupart des puits ont été déterminés à partir de 2 stations de références et avec des vecteurs de base supérieurs à 10 kilomètres. Les coordonnées de chaque puits ont donc pu être déterminées à double et le logiciel en a alors calculé une moyenne pondérée. A l'opposé, très peu de puits ont été déterminés à l'aide d'une seule station de référence. Dans ce cas, les vecteurs ont toujours été relativement courts (inférieur à 5 km) et les observations largement surabondantes (entre 20 et 30 minutes). Il a alors été possible d'assurer un minimum de fiabilité aux résultats obtenus en pratiquant du «windowing». Il s'agit là uniquement de vérifier les calculs, sous l'hypothèse qu'il n'y a pas d'autre source d'erreurs. Le résultat des calculs montre que tous les points ont été déterminés avec une précision altimétrique et planimétrique meilleure que le décimètre.

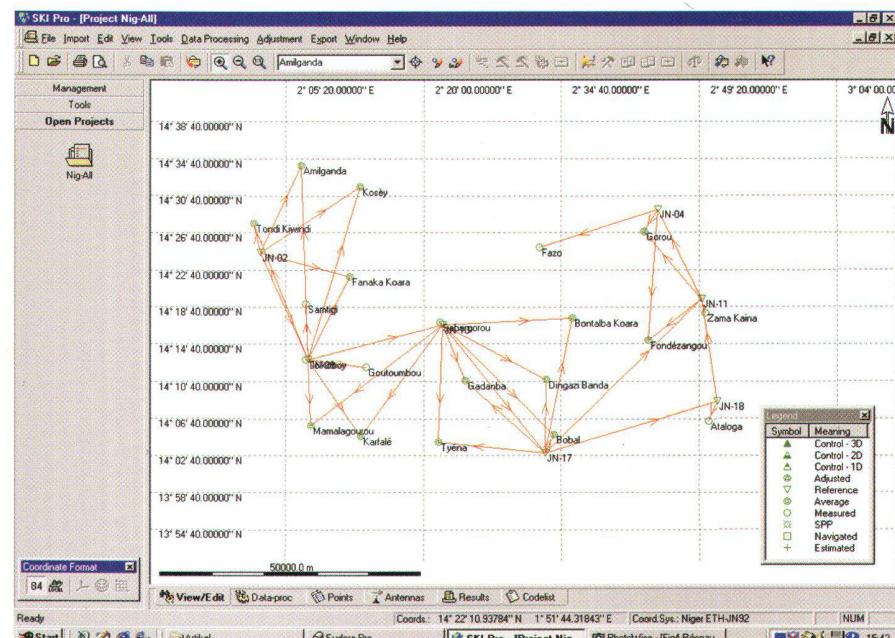


Fig. 3: Canevas des points fixes et des puits nivelés.

Difficultés pratiques

En marge des aspects topométriques, les aspects pratiques d'un tel travail présentent un intérêt certain, car les difficultés rencontrées ne sont pas forcément celles auxquelles on pourrait s'attendre.

Santé et alimentation

Si une telle campagne nécessite des précautions classiques telles que vaccins ou mesures prophylactiques contre la malaria, il s'agit également de s'informer sur des risques plus spécifiques tels que la bilharziose. Au vu de l'hygiène souvent défectueuse dans les climats chauds, il faut en outre prendre des précautions adéquates quant à l'alimentation. Une attention toute particulière doit être portée à l'eau, car il est difficile de trouver de l'eau «en bouteille» en dehors des grandes villes.

Petit matériel

Il s'avère également souvent difficile, voire impossible, de trouver du petit matériel tel que piles, spray, scotch, etc. en dehors des grands centres régionaux. Il est donc indispensable d'emporter une réserve suffisante lorsque les travaux de terrain sont planifiés sur plusieurs jours. De façon ana-

logue, se procurer du gasoil, de l'huile moteur ou un équipement de secours, de même que trouver l'électricité nécessaire pour recharger les batteries des instruments relève également de l'exploit en dehors des centres urbains. Il s'agit donc là aussi de prendre les précautions qui s'imposent (jerricanes, générateur, etc.).

Transfert du matériel

L'importation du matériel a posé toute une série de problèmes. Ainsi a-t-il fallu plus d'une journée pour réunir les documents nécessaires et pour régler les formalités douanières avant d'être parfaitement en règle et de pouvoir disposer de l'équipement. Le fait d'avoir eu un partenaire sur place et d'avoir travaillé en collaboration avec l'Université de Niamey a assurément facilité et accéléré les procédures administratives. A l'opposé, le renvoi du matériel en Suisse s'est fait sans aucune difficulté.

Contact avec la population locale

Aspect également très important, la communication avec la population locale ne va pas non plus sans susciter quelques difficultés. Dans la brousse nigérienne, la majorité des gens ne parlent pas le français. Par conséquent, demander son che-

min ou expliquer aux villageois le but des mesures effectuées sur leurs puits pourraient créer quelques problèmes. Dans ce contexte, les chauffeurs ont joué un rôle primordial en temps qu'interprètes.

Facteurs imprévisibles

Il faut enfin compter sur toute une série de problèmes imprévisibles et qui entraînent le bon déroulement du travail. La campagne de terrain effectuée à la mi-janvier a permis d'en dégager quelques uns.

A cause des très fortes intempéries de la saison pluvieuse, l'état des voies de communication peut changer très rapidement. Une reconnaissance préalable de plusieurs jours avec des photos aériennes récentes à l'appui constituerait les éléments de base garantissant une efficacité optimale. En dehors des grands axes de communication, la progression devient très lente et, même pour un chauffeur averti, la brousse réserve parfois de très mauvaises surprises. Les obstacles sont nombreux et une crevaison est très probable. Par conséquent, une conduite prudente est indispensable: en cas d'accident, les secours sont quasi inexistant. Par ailleurs, les indications de la population locale et le récepteur GPS de poche ne suffisent pas toujours pour emprunter le bon itinéraire, car la plupart des gens se déplacent à pied et en ligne droite entre les villages. De plus, ces derniers «migrant» parfois au gré d'événements climatiques importants tels que sécheresse ou pluies torrentielles. Aussi, la carte au 1:200 000 de 1961 n'est-elle plus d'actualité et il peut arriver que des villages distants de plusieurs kilomètres portent le même nom!

Enfin, expérience faite, un point fixe peut disparaître sous une couche de terre et devenir introuvable, même avec son croquis de repérage, car certains objets définissant son emplacement (maisons) ont disparu.

Conclusion

Le travail présenté dans cet article permet avant tout de se confronter aux réalités

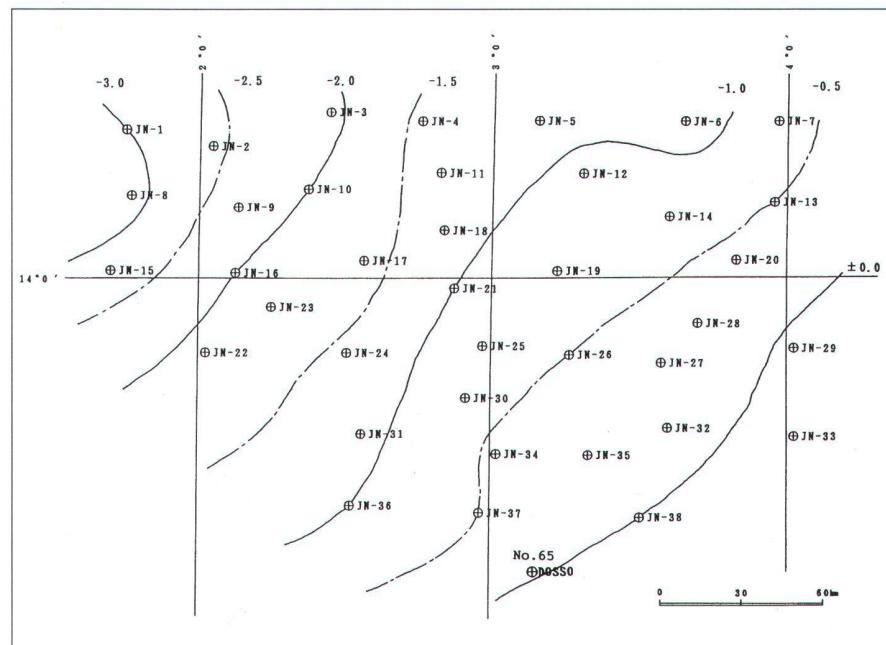


Fig. 4: Ondulation du géoïde en [m].

des contrastes économique, politique ou culturel de régions peu connues. Même si les conditions de travail se sont avérées très difficiles, voire extrêmes, la découverte d'une autre culture et d'un mode de vie différent ont constitué un enrichissement personnel important.

En parallèle, l'approche du mandat proposé et le contexte de travail se sont fondamentalement différenciés des us et coutumes auxquels l'ingénieur est habitué en Europe. Les exemples du paragraphe précédent montrent que certaines composantes du projet ne peuvent être maîtrisées de A à Z. Une planification rigoureuse et productive de l'intégralité des travaux est de surcroît quasiment impossible pour toute la durée des opérations. Il convient donc de prévoir suffisamment de temps pour l'exécution des différentes phases du projet. Une telle planification se doit également d'être aussi flexible que possible, constamment modulable en fonction de l'avancement du travail. Dans tous les cas, une reconnaissance préalable du terrain paraît indispensable avant même de commencer les mesures.

En définitive, dans un pareil contexte, rien ne saurait remplacer l'expérience. S'il fallait à nouveau mettre sur pied une telle campagne de mesures, il serait sans dou-

te possible d'atteindre un rendement nettement supérieur en modifiant quelques détails organisationnels.

Littérature:

- [1] Alberich, C. (2000): Die Ermittlung der räumlichen Verteilung der Grundwasserneubildung für eine bessere Abschätzung der verfügbaren Grundwasserressourcen. Thèse de doctorat en cours à l'IHW de l'ETH Zürich.
- [2] Agence Japonaise de Coopération Internationale (1993): Rapport de l'étude pour la réalisation de la carte topographique des régions du Djerma Ganda et des Dallols en République du Niger.
- [3] Perrin, O. (1999): Intégration de mesures satellitaires et barométriques pour la localisation 3D. MPG 6/99, pp. 320–323.
- [4] Andreas, Ch. (1999): DGPS-Genauigkeit mittels zwei Garmin-Empfängern. VTB, IGP, ETH Zürich, unveröffentlicht.

Cyril Favre
dipl. Ing. EPFL
Prom. JJ Rousseau 5
CH-1400 Yverdon-les-Bains
e-mail: cyril_favre@hotmail.com