

Une nouvelle détermination de l'altitude de l'Everest par le Népal et la Chine

■ Gavin SCHROCK - Khim Lal GAUTAM - Bernard FLACELIÈRE

Cet article est issu des publications

"Surveying the head of the Earth touching heaven"

de Gavin Schrock et de "Two hours on the summit" de Khim Lal Gautam, avec l'autorisation de Geospatial Media and Communications et des auteurs.

MOTS-CLÉS

Himalaya, géodésie, GNSS, GPR, gravimétrie

Introduction

Katmandou (annonce de presse) - Après plus d'une décennie de différends et de controverses, la Chine et le Népal se sont finalement mis d'accord sur l'altitude du mont Everest. Le plus haut sommet du monde, qui se trouve à la frontière du Népal avec le Tibet dans l'Himalaya, s'élève à 8 848,86 mètres, ont annoncé des responsables des deux pays le 8 décembre 2020 (figure 1). C'est moins d'un mètre que la détermination précédemment reconnue.

Pour raconter cette épopée humaine et technique, laissons parler Gavin Schrock, rédacteur chroniqueur et géomètre topographe basé à Seattle, État de Washington (USA) qui a interviewé

plusieurs protagonistes et Khim Lal Gautam, chef de l'expédition népalaise de mesure de l'altitude de l'Everest en 2019, ingénieur géomètre topographe au service de la topographie du gouvernement du Népal¹. Bernard Flacelière, rédacteur en chef de XYZ coordonne la version française et parle de la mission oubliée de 1992. Incidemment, il se gausse de l'annonce de presse, reprise par tous les médias francophones, voire mondiaux, annonçant que "l'Everest gagne 86 centimètres pour culminer à 8 848,86 mètres", sachant que la mesure indienne de 1955 annonçait 8 848 mètres, arrondie au mètre près, la mesure chinoise de 2005 à 8 844,43 mètres pour le roc et 8 848 mètres pour la glace et celles de 1992, respectivement à 8 846,10 mètres et 8 848,65 mètres.

Le lecteur intéressé par des détails très pointus sur les techniques d'observation et de traitement des données restera cependant sur sa faim. Suite à sa demande de renseignements, Gavin a confié à Bernard Flacelière : "C'était un vrai combat pour obtenir de fins détails techniques de l'une ou l'autre équipe,

¹ Chief Survey Officer at Survey Department, Government of Nepal.

cependant toutes les deux détenaient bien sous la main la plupart de ces détails. Mon travail quotidien a consisté à effectuer des levés géodésiques et, je pense que j'ai posé les bonnes questions, mais j'ai rencontré un mur de pierre. J'ai aussi reçu des informations sous NDA (non-disclosure agreement ou accord de confidentialité) et j'ai dû accepter de ne rien publier. Le silence était-il dû aux délicates négociations de coopération entre les deux pays ? Pas certain."

Nous attendons avec impatience une publication scientifique sur les deux campagnes, viendra-t-elle si le résultat est issu d'un simple accord diplomatique ?

Mesurer la tête de la Terre qui touche le ciel

Gavin Schrock

Le relevé népalais de 2019 sur le mont Everest, utilisant des équipements et des techniques avancés, a donné l'altitude la plus précise à ce jour du sommet le plus élevé et le plus célèbre du monde.

À l'heure actuelle, nous avons probablement tous entendu dire que le mont Everest a une nouvelle altitude officielle, annoncée conjointement le 8 décembre 2020 par le Népal et la Chine. Les deux pays ont coordonné les résultats de leurs relevés respectifs de 2019 et 2020 de cette montagne emblématique pour convenir de la nouvelle altitude, soit 8 848,86 mètres (hauteur au-dessus du niveau de la mer), soit plus haut d'un peu moins d'un mètre que l'altitude rapportée précédemment. Les différences pourraient être attribuables à la tectonique, aux caractéristiques des stations de référence et aux différences dans la définition du sommet : est-ce le



Figure 1. Annonce conjointe sino-népalaise du 8 décembre 2020.



sommet du rocher sous la glace ou le sommet de la glace ? Mais, plus vraisemblablement, ce sont les méthodes et technologies modernes de topographie utilisées dans ces relevés.

Ce dont nous n'entendons pas beaucoup parler dans les nombreuses nouvelles accompagnant l'annonce, ce sont les précisions sur le relevé topographique, les professionnels impliqués, les défis auxquels ils ont été confrontés en matière de mesure dans des conditions aussi extrêmes et les nouvelles technologies utilisées.

Ici, nous plongeons dans le côté géodésique et géospatial de cette entreprise et incluons un compte rendu de première main de l'ascension et des travaux du chef de mission de l'équipe du *Survey Department* népalais.

À 3 h 00 le 22 mai 2019, au sommet

L'équipe du *Survey Department* du gouvernement du Népal a atteint le sommet du mont Everest. L'obscurité, le vent, les températures brutalement basses, l'épuisement et les approvisionnements limités en oxygène ont amoindri les chances de terminer le levé GNSS et les mesures connexes dans la fenêtre horaire limitée. Pourtant l'équipe, le chef de la mission Khim Lal Gautam, l'ingénieur géomètre topographe Rabin Karki, le chef Sherpa Tshiring Jangbu et deux Sherpas supplémentaires, a mené à bien sa mission, ce qui témoigne de la ténacité des géomètres, du soutien des Sherpas et de la robustesse de leurs instruments.

Mais, l'altitude n'avait-elle pas été déterminée plusieurs fois auparavant ? Il y a eu des dizaines de mesures depuis 1852 lorsque, lors de l'observation du grand réseau trigonométrique de l'Inde, le *Peak XV* (comme on l'appelait à l'époque) a été identifié comme la plus haute montagne du monde. La recherche d'une altitude plus précise a nécessité des relevés avec un raffinement d'instruments et de méthodes allant du levé trigonométrique au GPS au début des années 1990 et plus tard au GNSS. Mais pourquoi mesu-

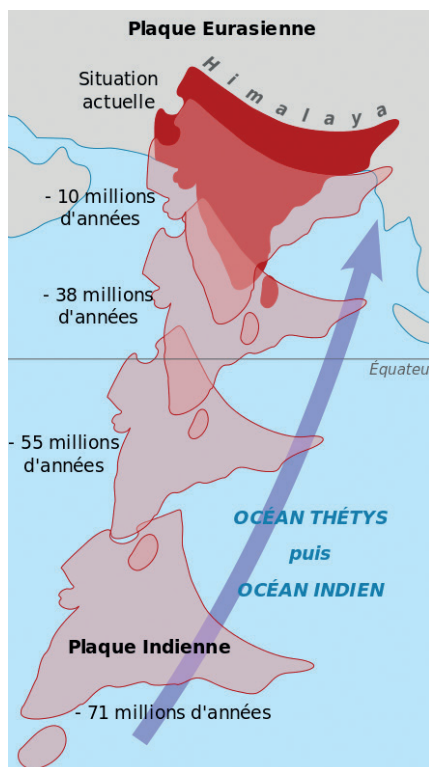


Figure 2. Déplacement du sous-continent indien vers le reste de l'Asie.

rer à nouveau ? Pourquoi engager d'énormes ressources et mettre les géomètres en danger ?

C'est le destin, une catastrophe naturelle, qui a servi de catalyseur à la nouvelle détermination. Cette catastrophe, ainsi que d'autres facteurs du levé géodésique de la région, fournissent le contexte dans la décision de mener à bien de nouvelles mesures sur ce sommet.

Un séisme est-il nécessaire pour justifier la géodésie ?

En avril 2015, au plus fort de la saison touristique de trekking, le Népal a subi un tremblement de terre mortel de magnitude 7,8 qui a occasionné des décès, des blessés et des dégâts importants. Les activités de reconstruction se poursuivent encore, le pays a fait d'énormes progrès pour restaurer ce qui a été endommagé, jusqu'à dynamiser la croissance nationale. Des questions post-séisme se sont posées sur les effets possibles sur la géologie de la région et sur l'altitude du mont Everest. NDLR : voir en figure 2 le déplacement du sous-continent indien

vers le reste de l'Asie jusqu'à la collision des deux masses continentales qui donna naissance à plusieurs chaînes de montagnes, dont l'Himalaya.

La chaîne de montagnes a ressenti l'impact du tremblement de terre qui a notamment causé une avalanche mortelle (vallée du Langtang).

Comprendre les effets du tremblement de terre a certainement été l'un des moteurs du récent projet de mesure de l'altitude de Sagarmāthā (Everest) entrepris par le *Survey Department* du Népal, mais pas le seul. D'autres technologies n'ont pas détecté de changements de hauteur significatifs sur cette montagne, bien qu'il y ait un déplacement horizontal dû à la tectonique. L'InSAR (interférométrie à ouverture synthétique) par satellite, comme cette étude de l'USGS, montre qu'il y a peu de mouvement vertical, bien qu'il en existe un horizontal. Par conséquent, la nouvelle altitude était probablement due principalement aux améliorations des méthodes, aux nouvelles technologies et aux éléments de référence géodésiques modernisés. Le fait que le Népal souhaite depuis longtemps une compréhension plus large de la dynamique géophysique de la région et une modernisation de l'infrastructure géodésique régionale de référence constitue une raison plus convaincante.

Il y a aussi une question de fierté nationale : l'Himalaya est l'une des plus jeunes et des plus dynamiques des grandes chaînes de montagnes du monde. S'élevant du point de collision des plaques tectoniques indo-australienne et eurasiennne, l'Himalaya s'étend sur une superficie presque aussi grande que la France. Le Népal abrite non seulement l'emblématique Everest, mais aussi sept autres des quatorze huit mille du monde. Les sommets majestueux sont une source de fierté nationale, d'identité et d'activité économique pour le Népal. Pourtant, l'histoire a vu aussi les étrangers mettre l'accent sur la montagne la plus célèbre de cette chaîne. Ce projet montrait également, pour la première fois, que le gouvernement népalais pouvait faire déterminer l'altitude par son administration. Toutes les mesures précédentes procédaient d'expéditions

de pays étrangers. Avec ce relevé, le Népal cherche à devenir la première autorité en matière de géodésie sur son territoire national.

Des désaccords sur le toit du monde

Le titre officiel de la mission, un projet de géodésie à multiples facettes s'étendant sur plus de deux ans, est "Mesure de la hauteur de Sagarmāthā". La montagne porte en effet de nombreux noms : *Peak XV*, puis Everest, pour Sir George Everest (1790-1866), le géomètre topographe général des Indes britanniques (1830-1843) et auteur du *Great Trigonometrical Survey*. Il a exprimé des réserves sur le fait que le pic porte son nom qui a été donné par son successeur Sir Andrew Scott Waugh en 1865. N'oublions pas Radhanath Sikdar (1813-1870), mathématicien indien qui a calculé l'altitude du *Peak XV* en 1856, tous leurs portraits sont en *figure 3*.

Mais il existe également d'autres noms locaux, tels que le népalais Sagarmāthā et le tibétain Zhūmùlāngmā avec sa transcription européenne Qomolangma, la "Déesse mère de la Terre" utilisée par les Chinois. Alors que le mot Sagarmāthā, signifiant à peu près "la tête de la Terre touchant le ciel", existait déjà en sanscrit et en népalais, il n'a été suggéré comme nom népalais pour le sommet que dans un essai de 1930 par Baburam Acharya, un historien et érudit népalais. Le nom ne s'est pas répandu immédiatement ; il y a eu d'abord un refus et l'auteur a failli être mis au ban pour sa suggestion. Depuis lors, cependant, le nom a gagné une plus large acceptation.

S'il existe un désaccord sur le nom,

il en va de même pour l'altitude officielle. Le *Great Trigonometric Survey* l'a établie à 8840 mètres. Avec des relevés ultérieurs, à partir d'un levé indien de 1955 et conforté par un levé chinois de 1975, l'altitude officielle s'est affinée, puis largement acceptée à 8 848 mètres. Mais il y a une autre controverse : mesurez-vous le point le plus élevé de la montagne, au sommet de la glace et de la neige, qui peut varier de plusieurs mètres selon la saison, ou le rocher sous-jacent. L'avènement du radar à pénétration de sol (*Ground Penetrating Radar* ou GPR), suffisamment léger pour être transporté jusqu'au sommet, a permis de mesurer les deux. La récente mission népalaise comprenait également des mesures GPR au sommet.

Avec les nouvelles technologies, imagerie par satellite, lasers et GNSS, il devrait y avoir encore plus de consensus sur l'altitude, mais cela n'a pas été le cas. Mesurer l'altitude de l'Everest est beaucoup plus complexe que la plupart des gens ne l'imaginent. Pour toute tentative de la détermination d'une "hauteur au-dessus du niveau de la mer", les géodésiens et les topographes ont besoin d'un modèle de gravité raffiné et d'une infrastructure de référence géodésique. La mission géodésique népalaise de la région a été conçue pour fournir ce cadre général.

Le réseau géodésique

La capacité à obtenir une altitude de haute précision, ou une hauteur au-dessus du "niveau de la mer", est sujette à un certain nombre de dépendances : quelle est la définition du "niveau de la mer" de référence ? La



Figure 4. Mesure gravimétrique.

mesure a-t-elle été effectuée par rapport à un repère local avec une valeur publiée ? Dans l'affirmative, comment cette valeur a-t-elle été établie et avec quelle mesure du "niveau de la mer" ? Le GNSS est à bien des égards la méthode la plus pratique à utiliser pour ces levés, mais il ne donnera qu'une valeur de hauteur ellipsoïdale. Un modèle de différence de géoïde précis doit être appliqué pour obtenir une altitude orthométrique. Mais cela conduit à d'autres questions : les mesures de gravité (*figure 4*) ont-elles été référencées aux réseaux géodésiques établis afin de développer le modèle de conversion au géoïde ?

Les défis ne s'arrêtent pas là. Même avec un modèle de géoïde raffiné, l'utilisation d'observations GNSS seules (par exemple, sans correction en temps réel ou post-traitement des données de la station de base) ne donnerait pas une haute précision. Pour permettre le post-traitement, les stations de référence doivent être exprimées dans le même système géodésique de référence que le réseau ayant servi à établir le modèle de corrections au géoïde. Ces dépendances géodésiques combinées ne plaident pas pour une solution de levé rapide. Reconnaisant pleinement ces réalités, le *Survey Department* du Népal s'est lancé dans l'une des études géodésiques de pointe et des plus complètes jamais entreprises dans la région.

"Nous avons établi un réseau de 298 points géodésiques autour de la zone de la montagne et avons effectué des mesures de gravité et GNSS sur chacun d'eux", a déclaré Susheel Dangol, le coordinateur et chef de la topographie pour la mesure de la hauteur de Sagarmāthā. "Les niveaux numériques Trimble DiNi et le nivellement trigonométrique avec les stations totales ont été utilisés pour établir des

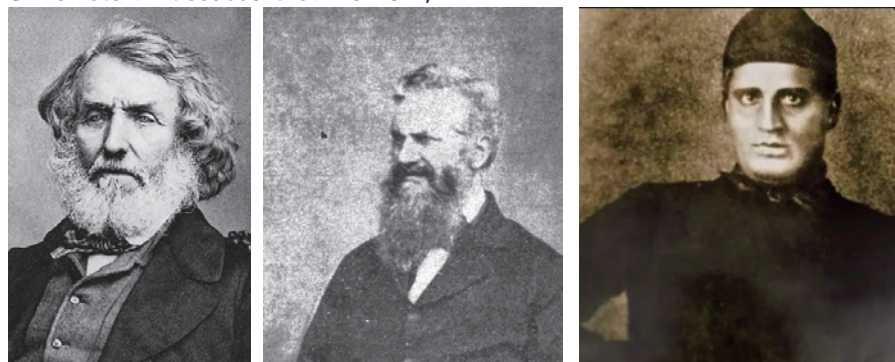


Figure 3. Sir George Everest, Sir Andrew Scott Waugh, Radhanath Sikdar.



Figure 5. Observation du réseau géodésique avec hélicoptère.



altitudes précises sur un sous-ensemble de ces bornes pour servir de points principaux. Et nous avons fait des observations GNSS sur chacun pour obtenir les positions horizontales".

Afin de fournir des données de base pour les observations GNSS sur le réseau de référence et par la suite le relevé du pic, huit stations de référence temporaires ont été installées sur et autour du massif. La plupart de ces stations de référence ont été installées à des altitudes comprises entre 5 000 et 6 000 mètres, plusieurs par hélicoptère (figure 5). Ce réseau était contraint par de longues sessions statiques et par l'adaptation à un RGP² national. Le RGP du Népal a été créé en coopération avec la communauté scientifique internationale pour étudier la tectonique des plaques de la région ; cette entreprise géodésique de grande envergure a été échelonnée sur plusieurs années et son coût final est estimé à près de 1,3 million de dollars (USD).

En tant qu'agence nationale de cartographie, le *Survey Department* du Népal effectue des levés géodésiques, d'ingénierie et cadastraux. Pour répondre aux besoins de mensuration, il utilise un important stock d'instruments modernes. Cependant, selon Dangol, pour s'assurer de la disponibilité du dernier équipement avec le plus de capacités et bien adapté à l'environnement difficile, les fabricants d'instruments de topographie ont

2 Réseau GNSS permanent ou CORS
Continuous Operating Remote Station.

contribué au projet.

"Trimble India nous a apporté un récepteur de base Net R9, deux R10 (rovers) pour l'étude du sommet, trois stations totales S9 que nous avons utilisées pour mesurer nos lignes de base pour le réseau de référence et une licence de TBC (Trimble Business Center Software) pour notre post-traitement GNSS", a déclaré Dangol. "Une équipe de Trimble New Zealand est également venue nous aider à mettre en place les nouveaux instruments". Les récepteurs Trimble ont été au sommet à de nombreuses reprises, y compris dans l'expédition américaine du mont Everest en 1998 et l'expédition de 1999 de la National Geographic Society des États-Unis.

La fenêtre d'observation

Avec les stations de références établies recueillant des données pour le post-traitement, l'équipe était prête à affronter le sommet. Les grimpeurs étaient bien acclimatés, ayant effectué des ascensions d'entraînement à haute altitude et, pour Gautam, ce serait sa deuxième ascension du sommet, mais sa première avec des tâches de topographie en supplément. En plus du matériel d'escalade et des réserves d'oxygène, plus de quarante et un kg de matériel de topographie devaient être transportés à travers des camps successifs jusqu'au col Sud, le dernier camp avant la tentative vers le sommet.

Pour tenter d'assurer des conditions optimales au sommet pour les mesures GNSS et GPR, l'équipe a choisi le mois de mai. Et si aucune condition sur cette montagne impitoyable ne pouvait être qualifiée de favorable, la fenêtre d'avril à mai était le meilleur pari. Malheureusement, avril-mai est également le sommet de la saison d'escalade, ce qui peut entraîner de véritables embouteillages à des points clés le long des itinéraires les plus fréquentés, comme l'étroit *Hillary Step*³ juste en dessous du sommet.

Les géomètres topographes ont choisi le même itinéraire emprunté par Sir Edmund Hillary et Tensing Norgay lors de leur ascension historique en 1953 : l'itinéraire du col Sud, qui est toujours le plus pratiqué depuis le Népal. L'équipe devait négocier les traîtresses cascades de glace du Khumbu et la Combe Ouest, puis remonter la face du Lhotse jusqu'au col Sud où ils ont installé leur camp avant l'assaut final vers le sommet. C'est un endroit qui convient pour un dernier camp et un point de stockage pour le matériel et les fournitures d'oxygène transportés et déposés sur la montagne par les Sherpas. C'est aussi l'un des endroits les plus dangereux de la planète.

Le col Sud est le début de ce que l'on appelle la zone de la mort, où les risques ne viennent pas seulement du vent violent et du froid, à cette altitude, certaines fonctions corporelles sont compromises. L'oxygène supplémentaire est considéré comme un impératif pour les grimpeurs, le sommeil est presque impossible, la digestion s'arrête presque et le corps se nourrit souvent de réserves plutôt que d'essayer de digérer les aliments.

Au camp du col Sud, ils ont essayé de se reposer, ce qui est difficile à cette altitude même pour les grimpeurs les plus expérimentés. Les deux géomètres et trois de leurs quatre Sherpas sont alors partis pour le sommet beaucoup plus tôt que la plupart des groupes d'ascensionnistes. Il s'agissait d'éviter la foule au sommet et de se donner du temps pour effectuer les tâches de

³ Le ressaut Hillary est une paroi rocheuse presque verticale d'une hauteur d'environ 12 m située à 8 790 m.



mesures. Arrivés au sommet à 3 heures du matin, ils y sont restés près de deux heures, beaucoup plus longtemps que la plupart des personnes qui ont atteint le sommet. Lisez le récit de première main du chef de mission, Khim Lal Gautam, dans la partie *“Deux heures sur le sommet”* qui suit dans cet article.

L'un des deux récepteurs Trimble R10 a été installé sur un mini-trépied avec une fixation à dégagement rapide. Le R10 avait été préconfiguré pour commencer à enregistrer des observations statiques à la mise sous tension. Cela a été une chance, car un contrôleur de données n'aurait pas été pratique : retirer des gants épais ou utiliser des gants suffisamment fins pour faire fonctionner le clavier d'un contrôleur peut être dangereux. Dans l'état actuel des choses, des gants plus légers étaient nécessaires pour faire fonctionner un contrôleur de données connecté par un câble au récepteur GPR, ce qui a malheureusement contribué aux gelures subies par certains membres de l'équipe.

Pendant que le R10 a enregistré la session statique pendant 1 heure et 16 minutes, les topographes ont effectué les nécessaires observations GPR pour déterminer le point le plus élevé du sol solide sous la glace et la calotte de neige. *“Ils ont fait un modèle avec le GPR, d'est en ouest et du nord au sud”*, a déclaré Dangol. *“La zone du sommet est d'environ cinq à six mètres d'un côté à l'autre. Nous n'avons eu aucune difficulté avec le GNSS ou le GPR : les instruments étaient portés vers le haut dans des sacs isothermes et nous*

n'avons pas eu à charger de batteries. Il y avait une batterie complètement chargée dans le R10 et nous avions des pièces de rechange.”

Dangol et les topographes se sont dits satisfaits du récepteur GNSS, l'ont trouvé léger et compact et n'ont eu aucun problème pendant la montée et les nombreuses séances d'entraînement et de test. La fiabilité était la clé, car il n'y avait pas de plan B au sommet. Le R10 pèse un peu plus de un kg et fonctionne à des températures de -40°C à +65°C, de bonnes performances pour les températures moyennes attendues au sommet de l'Everest au mois de mai de -26°C. Mais il faisait probablement beaucoup plus froid vers les 3 heures du matin (figure 6).

Enregistrement des données

Il y avait peu de temps pour les photos, car les réserves d'oxygène étaient faibles. Elles étaient si basses que pendant la descente, qui peut être la partie la plus périlleuse de l'ascension, l'un des membres de l'équipe a manqué d'oxygène et était en danger de mort. Une bouteille d'oxygène empruntée à une autre équipe de Sherpas lui a sauvé la vie. Gautam a également subi des dommages permanents dus aux gelures. Sinon, l'équipe est revenue en toute sécurité et avec les données souhaitées : l'équipement avait fonctionné parfaitement.

Les données statiques collectées par le R10 au sommet et les huit stations

de référence fonctionnant simultanément comprennent des observations de quatre constellations : GPS, GLONASS, Galileo et Beidou. Les données ont été traitées dans le logiciel TBC dans les bureaux principaux du *Survey Department* du Népal. L'utilisation de plusieurs constellations garantit une géométrie optimale et est un plus pour des temps d'observation relativement courts. Il s'est avéré que les soixante-seize minutes d'observation étaient plus que suffisantes.

L'annonce de presse

Lors d'un événement virtuel conjoint le 8 décembre 2020, des représentants de la Chine et du Népal ont appuyé simultanément sur les boutons et la nouvelle altitude est apparue à l'écran : 8 848,86 mètres.

L'annonce a été longue à venir, car il a fallu dix-huit mois de travaux aux Népalais et plus de six mois aux Chinois. Chaque équipe a pris le temps d'analyser soigneusement ses propres données. Une grande partie du retard était probablement due à la nature de l'accord de coopération entre ces deux pays.

Chaque équipe devait conserver son autonomie sur ses propres observations et les calculer séparément. Il y avait des éléments similaires : à la fois des récepteurs GNSS et GPR déployés au sommet et tous deux ont utilisé des réseaux de stations de référence GNSS pour caler les calculs. Au-delà de cela, cependant, il y avait des différences. Les travaux du Népal faisaient partie d'une mise à jour régionale de leur réseau de référence géodésique. Mais on en sait moins (publiquement) sur les éléments plus larges des relevés chinois. Il est peu probable que les données d'observation indépendantes aient été traitées ensemble et calculées comme une solution unique. Mais les techniques auraient été comparées et des discussions auraient eu lieu sur la manière de rendre compte des résultats dans une référence commune. Arriver à un accord sur une valeur de l'altitude aurait pris un certain temps, mais certainement plus de temps encore en raison de la planification des détails et de la communication pour l'annonce conjointe.



Figure 6. Khim Lal Gautam (à gauche), Rabin Karki (au milieu) et Tshiring Jangbu Sherpa au sommet.



La décision d'annoncer conjointement est venue d'une sensibilisation diplomatique. En octobre 2019, le président chinois Xi s'est rendu au Népal et, alors qu'il était là pour discuter d'autres questions, le sujet de l'altitude de l'Everest a été abordé. La Chine avait planifié ses propres relevés sur le sommet et les deux pays sont convenus d'attendre, puis de faire une annonce commune sur les résultats des deux opérations. NDLR : L'équipe topographique chinoise qui comportait, entre autres cinquante-trois géomètres-topographes, était au sommet le 27 mai 2020 (figure 7). Y aurait-il eu des mesures optoélectroniques sur les rétro-rélecteurs ?

Dangol exprime avec satisfaction les performances de l'équipe du sommet et de toute l'équipe impliquée dans ce projet géodésique de grande envergure. "Il y a eu une coordination splendide entre tous nos personnels", a déclaré Dangol. *"Nous avons une équipe très laborieuse, qui a dû effectuer des travaux dans des conditions difficiles et pas seulement l'observation au sommet. Une grande partie du travail de terrain pour le levé géodésique, au sens régional le plus large, s'est également déroulée principalement à haute altitude et par mauvais temps. Le projet était une question de fierté nationale pour le Népal et une entreprise prestigieuse pour le gouvernement népalais. Je suis très fier que nous ayons pu le mener à bien. C'est une équipe formidable".* Le



©Tashi Tsering/Xinhua via AP

Figure 7. Topographe chinois au sommet du Qomolangma.



© Khim Lal Gautam

Figure 8. L'équipe du sommet, deux géomètres topographes du Survey Department du Népal et trois Sherpas.

fait qu'ils soient véritablement maîtres de leurs propres montagnes à bien des égards fait partie de l'identité nationale des Népalais. Et maintenant, la maîtrise des levés à la plus haute altitude sur leur terre peut être ajoutée à leur fierté nationale.

Deux heures au sommet Khim Lal Gautam

Ceci est un compte rendu de première main de ce que l'équipe d'observation du sommet du mont Everest du Népal a vécu, du 20 au 21 mai 2019, au col Sud et des relevés topographiques au sommet qui ont suivi. Voici les défis et les difficultés rencontrés par l'équipe des topographes et Sherpas (figure 8) et la manière dont elle les a abordés.

Au col Sud

Lorsque notre équipe topographique est arrivée au col Sud le 20 mai, nous avons dû faire face à des circonstances imprévues. Des problèmes météorologiques et des turbulences dus au vent étaient présents. L'approvisionnement limité en oxygène nous inquiétait. En effet, il n'y avait pas assez de bouteilles d'oxygène stockées au col Sud pour nous, en raison de la négligence de la société d'exploitation de l'expédition qui avait la responsabilité de gérer l'oxygène et d'autres équipements.

Conscient de la situation difficile, le Sherpa principal de l'équipe, Tshiring, m'a dit que la mission était presque impossible, m'a demandé de descendre au camp 2 et de ne remonter plus haut que lorsque suffisamment d'oxygène pourrait être approvisionné. Ayant déjà eu une expérience au sommet du mont Everest, je savais que la mission échouerait si nous descendions. Je me suis rendu compte que si l'équipe, qui avait maintenant atteint environ 8 000 mètres, descendait vers le camp 2 (6 500 mètres), elle ne serait pas en mesure de remonter à cause d'un manque d'énergie et ainsi la mission échouerait complètement.

J'ai été confronté à un grand dilemme : risquer nos vies ou abandonner cette mission. J'avais le cœur brisé à l'idée d'abandonner cette mission. En tant que chef d'équipe, je devais prendre la décision finale. Devenu trop sentimental, je me suis allongé sur le sol enneigé et j'ai pleuré d'émotion. J'ai dit à Tshiring : *"Non ! Je ne peux pas abandonner cette mission historique à ce moment final"*.

Dans une situation aussi difficile, j'ai décidé d'emprunter de l'oxygène supplémentaire et j'ai persuadé tout le monde de rester cette nuit-là au col Sud.

En fait, l'équipe chargée des mesures a pris un risque extrêmement élevé dans la zone de la mort en passant la nuit le



Figure 9. Vérification du récepteur GNSS au camp de base.

20 mai, ce qui représentait en soi une situation dangereuse et potentiellement mortelle. Quand j'y pense maintenant, j'ai pris une décision très audacieuse à ce moment-là.

L'expérience des expéditions précédentes m'a également aidé à prendre de sages décisions, même dans cette situation difficile. J'avais déjà connu une ascension réussie au sommet du mont Everest en 2011 dans le cadre de la *"Première expédition des fonctionnaires du Népal sur le mont Everest – 2011"* et je suis donc devenu le premier fonctionnaire et géomètre topographe à se tenir au sommet. Beaucoup de mes amis et Sherpas bien connus étaient également au col Sud le 20 mai et ils m'ont beaucoup aidé dans cette situation délicate.

Le matin du 21 mai, nous avons pu gérer la bouteille d'oxygène supplémentaire nécessaire au col Sud, avec l'aide d'autres Sherpas. Vers 14 heures le même jour, j'ai décidé de commencer notre dernière montée du col Sud vers le sommet. Je savais qu'il fallait généralement de dix à quinze heures aux grimpeurs pour atteindre le sommet du mont Everest depuis le col Sud en fonction de la rapidité des grimpeurs.

Il y avait deux raisons principales à la décision de partir pour le sommet si tôt dans la journée. La raison principale était que je ne voulais pas que les activités de mesure soient perturbées par la foule attendue de grimpeurs au sommet. Deuxièmement, j'avais passé en revue certaines publications pertinentes au camp de base concernant

le temps d'observation pour obtenir des données GNSS de bonne qualité (figure 9). J'ai donc décidé d'obtenir des données de positionnement précis avec le moins d'erreurs possible en enregistrant des observations de nuit. Cela réduit considérablement les erreurs causées par la lumière du soleil (c'est-à-dire que les effets ionosphériques sont minimes si les observations GNSS sont effectuées la nuit).

Nous avons quitté le col Sud vers 14 h 00 et sommes arrivés au sommet vers 3 h 00 le lendemain, après environ treize heures de difficile escalade. Nous avons pris le risque, non seulement pour le plaisir de mener à bien une mission historique, mais aussi pour assurer la qualité de l'acquisition des données.

Au sommet

Évidemment, le sommet de l'Everest ne pouvait pas être exempt de grimpeurs, car c'était la saison d'escalade favorable de l'année. S'il y avait eu trop de monde sur le sommet, notre travail technique aurait certainement été perturbé. De ce fait, nous avons planifié le sommet pour la nuit, car la foule serait beaucoup moins dense que pendant le jour. Pendant la journée, la persistance de fortes turbulences du vent et de l'éblouissement de la neige est également un phénomène inquiétant.

Il y avait quatre Sherpas dans mon équipe : un guide international de montagne Tshiring Janbu Sherpa, ainsi que Lakpa Sherpa, Dorji Sherpa et Pem

Ngima Sherpa. Tshiring et Pem Ngima avaient déjà fait deux fois le sommet ; les deux autres Sherpas étaient complètement nouveaux sur le mont Everest. Pem Ngima Sherpa, qui nous a accompagnés jusqu'au Col Sud, est tombé malade après une nuit de sommeil et n'a pas pu monter. Nous devions donc également transporter l'équipement et les fournitures qu'il devait, lui, transporter. Monter vers le sommet, avec ce poids supplémentaire, dans une telle topographie et avec les conditions difficiles, était encore plus épuisant. Cependant, nous avons avancé.

Lorsque nous avons atteint le sommet de l'Everest, il n'y avait au départ aucun autre grimpeur. Les premiers qui sont arrivés ensuite étaient deux grimpeurs polonais. Quarante-cinq minutes après l'installation de l'antenne GNSS, nous avons vu une grande foule de grimpeurs s'approcher. Conscients que la foule pouvait nuire à la qualité des données, nous avons restreint le flux des grimpeurs en entourant la zone de travail avec des cordes et en les persuadant qu'il s'agissait d'une mission historique et comment leur aide serait bénéfique à la mission de détermination d'altitude du gouvernement du Népal. Travailler au sommet de l'Everest est une tâche difficile, les conditions étaient rudes depuis le tout début, mais heureusement, elles ne se sont pas détériorées au cours de nos travaux.

J'ai spécialement conçu le trépied pour travailler sur l'Everest. Contrairement à





celui fourni par le fabricant, ce trépied-là était léger et court, permettant une plus grande stabilité au vent. Une vis métallique spéciale conçue localement, longue de 30 cm, nous permet de le fixer dans la neige tassée du sommet. Grâce à ma précédente ascension réussie, j'ai pu concevoir ce trépied, car j'étais conscient de la topographie et des conditions rencontrées sur place.

Bien sûr, tenir le trépied au sommet de l'Everest était un grand défi, car il y a parfois des vents forts. De plus, la direction de ces vents violents était également aléatoire, parfois du nord et parfois du sud. Pour stabiliser le trépied lors de vents aussi forts, nous nous sommes couchés sur la neige et en avons tenu fermement le pied. Quand il n'y avait pas de vent, nous nous allongions toujours dans une position d'attente, mais sans toucher le trépied. J'étais tout à fait conscient de l'effet néfaste sur le positionnement qui se serait produit, dans le cas d'un léger déplacement. Pour la première moitié de la mesure, j'étais couché avec un Sherpa et, pour la seconde moitié, j'ai demandé à deux Sherpas de le faire.

Pendant que le GNSS R10 collectait des données, nous avons effectué les observations du radar de pénétration du sol (GPR) pour déterminer la profondeur de la neige et de la glace sur le sommet à ce moment-là (cela peut varier selon les saisons). Il s'agissait de fournir les altitudes résultantes du sommet de la glace et de la neige et de la roche sous-jacente. La configuration des observations GPR permettrait de déterminer le point le plus élevé de la base rocheuse. Le GPR était un SIR 4000 de *Geophysical Survey Systems Inc.* (GSSI), fourni par la *National Geographic Society* des États-Unis. Nous avons scanné la surface autour du sommet, une zone d'environ quinze à vingt mètres carrés, avec le GPR pendant environ dix minutes, sans déranger l'antenne GNSS.

Une fois que nous avons atteint le sommet de l'Everest, nous étions tellement excités que nous ne nous sommes même pas souciés de l'approvisionnement en oxygène et des conditions difficiles et avons continué à travailler pendant près de deux heures. Contrairement à d'autres grimpeurs

dont le motif est de gravir le mont Everest, de prendre quelques photos et de descendre le plus vite possible en lieu sûr, nous, faisant partie de cette mission historique, n'avions pas de tels privilèges.

Nous avons dû y rester pour l'installation de l'équipement et collecter les données brutes d'observation le plus longtemps possible pour en assurer la qualité. En raison du froid extrême, nous n'avons pas pu enlever nos gros gants de montagne. Cela nous a beaucoup ennuyé, car il était extrêmement difficile de faire fonctionner les boutons et les vis de l'équipement avec des gants aussi épais. Par conséquent, nous avons pris un risque en enlevant les grosses moufles et en continuant à travailler avec des gants en laine polaire, ce qui a entraîné un engourdissement et une cyanose dans nos doigts, mais nous avons continué notre travail.

Après avoir travaillé pendant environ deux heures, la foule de grimpeurs à l'approche du sommet a grossi et il nous a été difficile de la dissuader de s'approcher de la zone de travail. En raison de cette situation, nous avons décidé de descendre. Après tout, nous avons déjà eu des observations d'une durée de près d'une heure et demie, ce qui, à notre avis, serait suffisant pour un traitement ultérieur. De plus, nous avions un stock limité d'oxygène restant.

La descente vers le col Sud

Malgré tous les défis auxquels nous avons été confrontés, nous avons poursuivi notre travail et heureusement, rien de grave ne s'est produit, à part l'engourdissement et nos doigts cyanosés. Cependant, en descendant vers le col Sud, je suis devenu inconscient à environ 8 200 mètres d'altitude et je me suis couché sur la glace bleue près du col Sud. Je suis resté inconscient pendant environ deux heures et je ne me suis réveillé qu'après qu'un grimpeur inconnu m'ait donné un coup de pied par derrière, peut-être qu'il pensait que j'étais déjà mort. Après m'être réveillé, je me suis retrouvé seul. Alors que nous étions dans la descente et à proximité du camp, Tshiring (le chef Sherpa) a peut-être conclu que, comme nous

étions dans une zone moins risquée, j'étais simplement à la traîne et que je viendrais au col Sud par moi-même. Cette longue inconscience m'a coûté pour toujours une partie du bout de mon orteil gauche, à cause des gelures. Normalement, lorsqu'un grimpeur perd connaissance et que l'assistance n'est pas à la hauteur, il est difficile de se réveiller. Heureusement, je me suis réveillé. Je sens que c'était le miracle de ma vie.

De plus, en raison des conditions météorologiques, nous, les géomètres topographes et les Sherpas, avons passé un total de trois nuits (20, 21 et 22 mai 2019) dans la zone de la mort. Normalement, les grimpeurs ne passent qu'une nuit dans cette zone de la mort (au-dessus de 7 500 mètres). Cependant, nous avons réussi à rentrer sains et saufs.

C'était en effet un événement historique et une question de fierté que, en tant que chef de file de cette grande mission, je représente des professionnels de la topographie partout dans le monde. C'était à bien des égards une première pour une équipe spéciale de topographes, atteignant le sommet du monde, avec l'équipement technique et les appareils pour mesurer son altitude. Par coïncidence, je suis devenu le seul topographe fonctionnaire népalais à ce jour à avoir escaladé avec succès le mont Everest à deux reprises. Je suis



© Khim Lal Gautam

Figure 10. Khim Lal Gautam au pied de l'Everest.

également devenu le premier topographe à établir une station GNSS à la plus haute altitude du monde. Cela prouve, je crois, que les professionnels de la topographie collectant des données géospatiales dans les pires conditions incitent leurs collègues à s'efforcer d'atteindre la réussite professionnelle.

La plus grande fierté pour moi est que le *Survey Department* du Népal m'a confié ce travail historique, important et stimulant. Et moi, en tant que chef d'équipe (figure 10), j'ai mené à bien la mission et remis les données au *Survey Department*.

Nous avons relevé tous les défis et avons réussi à obtenir des mesures fiables sur le sommet, ce qui n'a été possible que grâce à la passion du métier. Si nous n'avions pas eu cette passion professionnelle, nous n'aurions pas rassemblé assez de courage pour risquer notre vie pour escalader le mont Everest, effectuer des observations et revenir en toute sécurité.

La mesure oubliée de 1992

Bernard Flacelière

Les mesures de l'altitude du sommet de l'Everest, après celles du XIX^e siècle, peuvent être résumées ainsi [Bradford, W. (1995)] :

- en 1954, un relevé indien obtient 8 848 m, calculé par B. L. Gulatee (directeur du *Geodetic and Research Branch of the Survey of India*) par visées zénithales au théodolite ;
- en 1975, une expédition chinoise obtient également par visées zénithales au théodolite depuis neuf points au Tibet, 8 848,13 m pour le rocher et, avec une épaisseur de glace de 0,93 m, la surface est à 8 849,06 m ;
- en 1987, une expédition italienne obtient 8 872 m, c'est le contrôle Everest – K2, on en parle ci-après ;
- en 1998, l'*American Everest Expedition*, conduite par Wally Berg et sponsorisée par le *Boston's Museum of Science* et partiellement par *The National Geographic Society*, a ancré un récepteur GPS dans le substratum rocheux (le Barry Bishop Ledge) et est arrivé à 8 810 m, le sommet lui-même étant estimé à 8 830 m ;

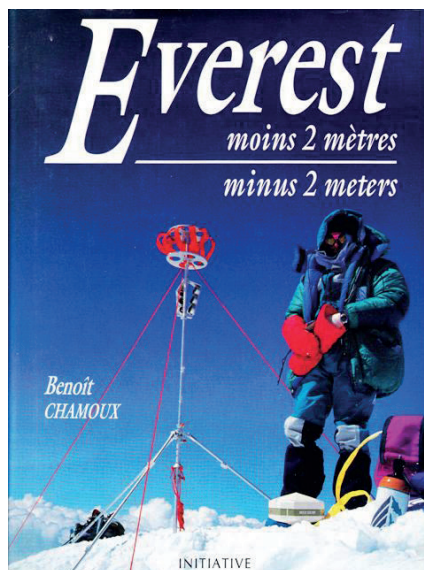


Figure 11. Everest moins 2 mètres par Benoît Chamoux.

- en 1999, une équipe de la *National Geographic Society*, dirigée par Bradford Washburn et utilisant aussi la technologie GPS, a obtenu une altitude de 8 850 m avec une tolérance de ± 2 m ;
- le 9 octobre 2005, après plusieurs mois de mesures et de calculs, l'Académie chinoise des sciences et le Bureau d'État de géodésie et de cartographie ont annoncé l'altitude de l'Everest à 8 844,43 m avec une tolérance de $\pm 0,21$ m, mesurée au rocher avec une profondeur de neige-glace de 3,5 m soit 8 847,9 m arrondie à 8 848 m ;
- en 2019 depuis le Népal et en 2020 depuis la Chine, deux campagnes successives et une annonce commune le 8 décembre 2020 sont l'objet de cet article.

Il se peut que d'autres campagnes aient été lancées et des mesures effectuées, je m'en remets donc aux lecteurs pour compléter ci-besoin le tableau.

Il manque donc la mission scientifique depuis le Népal de l'automne 1992 menée par l'Italie et, conjointement, celle de la Chine sur le versant Nord [Chamoux, B. (1993)], couverture de l'ouvrage en figure 11. Benoît Chamoux était guide de haute montagne (1961 France, 1995 Kangchenjunga, Népal). Complétons dès à présent les résultats, 8 846,10 m pour le rocher de 8 848,65 m pour la surface et racontons cette aventure dont XYZ avait déjà publié un aperçu à [Leica SARL. (1993)].

Le K2 est-il plus haut que l'Everest ?

En mars 1987, le Dr George Wallerstein, professeur d'astronomie à l'Université de Washington à Seattle, a annoncé qu'en utilisant un "nouvel outil impliquant des satellites", il avait déterminé que le K2 (situé au Karakorum, Pakistan) était onze mètres plus haut que l'Everest. Vite reprise par la presse dans le monde entier, cette affirmation fit alors bondir Ardito Desio. Du haut de ses 92 ans, l'éminent professeur de géologie qui dirigea en 1954 la première ascension du K2 n'en croyait pas ses oreilles. Le doute était permis, il fallait vérifier. Agostino da Polenza organisa des expéditions comparatives vers l'Everest et le K2 (rapidement et en un seul mois) en août 1987, ils ont utilisé le système satellite GPS pour établir leurs positions initiales au Tibet et au Pakistan et les procédures classiques de triangulation pour obtenir les altitudes des deux sommets. Les résultats donnèrent 8 872 m pour l'Everest contre 8 816 m pour le K2, résultats corrects quand on pense aux modèles de géoïde de l'époque (Rapp 1981-1982) et aux trois heures de couverture GPS journalière à plus de cinq satellites. Mais au passage les deux montagnes avaient grandi. Et dans les esprits le doute était semé. L'idée de mesurer l'Everest était donc bien dans l'air à Milan, à Paris, en Californie sans doute où l'altitude du K2 annoncée par la presse américaine avait été reléguée au rang... d'erreur de mesure !

Le projet EV-K2

Venait de naître le projet qui devait occuper Ardito Desio jusqu'à l'âge de ses cent ans. Son nom EV-K2, d'EV comme Everest et K2 comme le second sommet du monde. Principalement axé sur les sciences de la terre (géologie, géodésie, géodynamique), EV-K2 prit rapidement la forme d'un comité scientifique qui devint pluridisciplinaire. Fort du soutien du CNR (Conseil national de la recherche italien), le projet élargissait son champ d'action à cinq domaines. Aux sciences de la terre s'ajoutaient les sciences de l'environnement, les sciences biologiques et médicales, les sciences humaines et la recherche



technologique. Dans l'imagination fertile d'Agostino da Polenza et de quelques autres, était née l'idée d'un laboratoire scientifique d'altitude qui pourrait servir de centre de recherche et d'accueil au cœur de l'Himalaya.

Une pyramide sur le toit du Monde

L'installation de la pyramide laboratoire EV-K2 était prévue sur le versant tibétain de l'Everest. L'actualité du 4 juin 1989 (place Tien An Men) en a décidé autrement. La magnifique structure de verre et d'aluminium haute de huit mètres sera construite l'année suivante dans les pâturages népalais de Lobuche, à 5 050 m d'altitude, près d'un petit lac au pied des glaciers de l'Everest. Elle s'y trouve toujours (figure 12), l'image récente montre l'addition d'un nouveau bâtiment.

Le programme de la mesure

Deux méthodes ont été choisies. La première, par triangulation, nécessite l'installation au sommet du toit du monde d'un trépied construit sur mesure et supportant des prismes. Ceux-ci, inclinés à 12° de la verticale forment un angle de 75° correspondant à la direction moyenne de trois points d'observation de chaque côté de la montagne. Visant les prismes au sommet avec théodolites et distancemètres, l'équipe de scientifiques chinois du professeur Chen doit ainsi mesurer



Figure 12. Pyramide EV-K2.

les distances et les angles depuis trois points géodésiques de référence situés à plus de 10 km côté tibétain de l'Everest. De l'autre côté de la montagne, au Népal, l'équipe EV-K2 du professeur Poretti effectuera les visées avec des instruments de mesure angulaires et de distances, dont un Mekometer Kern ME 5000, qui projettera un rayon laser vers le sommet. La seconde méthode choisie consiste à mettre en œuvre au sommet de l'Everest un système GPS, qui enregistrera les données envoyées par satellite en conjonction avec les stations de référence, deux au Népal et deux au Tibet. Voir en figure 13 le schéma du réseau géodésique. Les travaux effectués peuvent être résumés ainsi, voir le personnel et matériel à la table 1 :

- nivellement géométrique, trigonométrique et géodésique réciproque simultané sur 100 km au Népal, rattachement au nivellement indien, golfe du Bengale ;

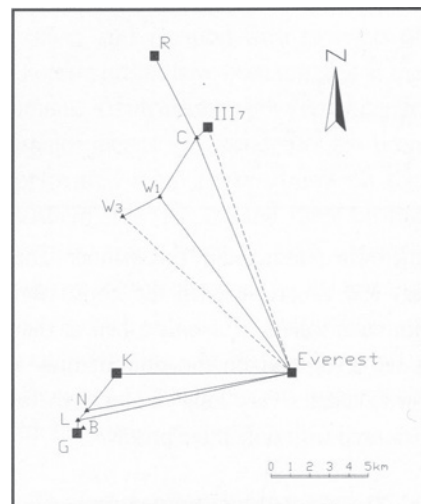


Figure 13. Le réseau géodésique de mesure de l'altitude.

- le réseau chinois est rattaché au *Yellow Sea Level* (niveau de la mer Jaune) ;
- de Lukla à la Pyramide soixante-trois mesures gravimétriques, altitudes rattachées au nivellement ou interpolées au baromètre anéroïde, mesures entre Lukla – Katmandou et Inde obtenues en 1983, 1986 et 1989 ;
- nivellement astro-géodésique sur quatre points, points astronomiques et points isolés GPS ;
- mesures météorologiques, par ballons-sondes et mesures au sommet et à la pyramide ;
- mesures de distances zénithales à la station totale ;
- mesures GPS ;
- établissement des positions et hauteur ellipsoïdale de référence par système DORIS ;
- métrologie du sommet, positions respectives de l'antenne GPS et du

Type de mesure	Observations	Instruments	Observateurs	Institutions
Trigonométriques	Distances	Kern ME 5000 Wild DI 3000 Wild T 3000	A. Beinat G. De Min G. De Min	Université d'Udine Totem Milan Totem Milan
	Angles			
Satellite	GPS	Wild System 200	A. Beinat G. Poretti M. Lansman	Université d'Udine, Université de Trieste IGN Paris,
	DORIS	CLS Argos		
Géophysique	Déviati on vertic ale, Gravimé trie	Wild T 1600 Trimble GPS Lacoste Romberg G	A. Caporali F. Palmieri	Université de Padoue <i>Free lance</i>
Météorologie	Pressi on et tempé rature	Microsen seurs Ballons sondes	A. Beinat G. Poretti	Université d'Udine Université de Trieste
Métrologie	Photogram métrie	OMI	D. Visintini	Université d'Udine

Table 1. Mesure, méthodes, équipement et personnel.

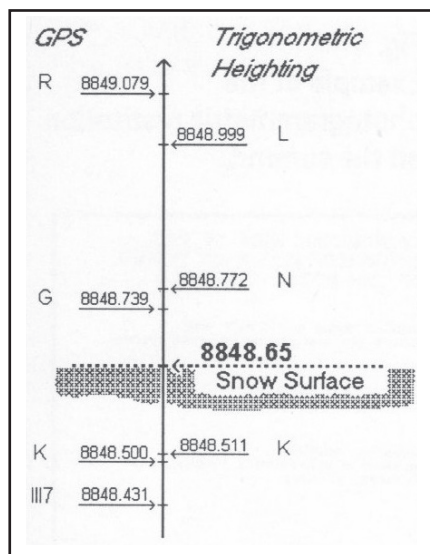


Figure 14. Les différentes altitudes obtenues.

mat-cible visé portant prismes rétro-rélecteurs par photogrammétrie.

Les résultats

Les résultats sont exposés en figure 14. Les résultats issus des vecteurs GPS sont montrés à gauche, depuis les stations chinoises R et III7, puis depuis K et G au Népal. Ceux issus des mesures zénithales sont à droite, avec L, N et K du Népal. Il n'y a pas dans l'ouvrage cité de résultats trigonométriques disponibles depuis la Chine.

Les données trigonométriques et GPS ont été traitées séparément ; en utilisant la déviation de la verticale, les données trigonométriques sont comparables aux données ellipsoïdales. Pour les deux jeux d'altitude, il a été calculé une moyenne pondérée pour chacune. Enfin, comme il était difficile de trouver un rapport de poids entre les deux types de mesure, il a été simplement effectué une moyenne (figure 14) soit 8 848,65 m. La séparation entre l'ellipsoïde et le géoïde dans la région de l'Everest a été calculée par le NBSM⁴ lors de mesures en 1975.

L'épaisseur de la neige a été mesurée avec une perche de sondage à 2,55 m. L'altitude au niveau de la roche est par conséquent de 8 846,10 m.

Nous pouvons conclure en dévoilant que le titre de l'ouvrage de Benoît Chamoux, "Everest moins 2 mètres minus 2 meters", trop pessimiste, est inexact.

⁴ Nepal Bureau of Standards and Metrology

Car si le sommet de l'Everest semblait avoir baissé de deux mètres c'est qu'il s'agissait de la mesure du rocher et non de la surface. Un auteur des années 2020 aurait avantageusement titré "Everest plus 65 centimètres". ●

Contacts

Gavin SCHROCK, rédacteur chroniqueur et géomètre topographe,
schrockg@gmail.com

Kihm LAL GAUTAM, ingénieur géomètre topographe au service de la topographie du gouvernement du Népal,
gautamkhimlal@gmail.com

Bernard FLACELIÈRE, rédacteur en chef de XYZ,
bernard.flaceliere@orange.fr

Bibliographie

Bradford, W. (1995), "Two Memoranda, A Brief History of Mount Everest's Altitude and The Configuration of the Summit of Mount Everest", disponible à : <http://publications.americanalpineclub.org/articles/12199511300/Two-Memoranda-A-Brief-History-of-Mount-Everests-Altitude-and-The-Configuration-of-the-Summit-of-Mount-Everest>, (accédé le 18 janvier 2021)

Chamoux, B. (1993), "Everest moins 2 mètres minus 2 meters", Éditions Initiative, France

Leica SARL. (1993), "Une première topographique sur l'Everest", in Association française de topographie, AFT (Ed.), Revue XYZ, Vol. 55, 3^e trimestre 1993, pp. 26-28

ABSTRACT

After more than a decade of dispute and controversy, China and Nepal have finally agreed on the altitude of Mount Everest. The highest peak in the world, which lies on Nepal's border with Tibet in the Himalayas, stands at 8,848.86 meters, officials from the two countries announced on December 8, 2020. To relate this human and technique epic, open our columns to Gavin Schrock, consulting editor and land surveyor who interviewed several protagonists and to Khim Lal Gautam, leader of the Nepalese expedition in 2019. Bernard Flacelière, editor-in-chief of XYZ recalls here the forgotten mission of 1992.

Lexique GNSS pour le positionnement

Commission GEOPOS
Groupe de travail GNSS



COMMANDEZ LE "LEXIQUE GNSS POUR LE POSITIONNEMENT" AU PRIX DE 10,00 €

21 x 29,7 cm, 32 pages - frais de port inclus (France)

M/Mme Nom : _____

Prénom : _____

Société ou organisme : _____

Adresse : _____

Code postal :

Ville : _____

Tél. :

Fax :

Courriel : _____

Date : _____

Signature _____

Bulletin de commande à retourner accompagné d'un chèque à l'Association francophone de topographie
73, avenue de Paris - 94165 SAINT-MANDÉ
Cedex - Tél. : +33 (0) 1 43 98 84 80

Achat également sur Internet : www.aftopo.org
Téléchargement gratuit en format PDF.