

Hic sunt leones.

Historique anecdotique mais utilitaire de la géodésie et de la cartographie du Congo à l'intention des rustres et des mécréants*.

J. Lavreau

*donc plutôt les géologues que les géodésiens

Résumé

Les caractéristiques des cartes, systèmes de référence et formules de transformation en usage au Congo sont présentées à travers une revue historique de leur confection, permettant leur utilisation dans un contexte actuel.

Samenvatting

Kaartenkenmerken, referentiesystemen en transformatieformules in gebruik in Congo worden voorgesteld aan de hand van een historisch overzicht van hun makelij, waardoor ze in een actuele context gebruikt kunnen worden.

Abstract

Map features, reference systems and transformation formulas used in Congo are presented through a historical review of their making, allowing their use in a current context.

Préambule

Ce texte n'est pas exhaustif : on lira Gilliard (1953) et Meex (1997) pour un exposé plus détaillé sur le travail cartographique et géodésique réalisé au Congo entre ca. 1890 et les années '60.

Par ailleurs, on doit se rappeler que la mesure de la longitude a posé un problème jusqu'à une époque relativement récente : basée sur une mesure du temps, elle est très sensible à une erreur de chronomètre (une seconde en temps donne lieu à 15 arcsec -secondes d'arc ; l'utilisation d'un signal radio n'améliore les choses que s'il est proche: sur 6000km -de l'Europe à l'Afrique centrale- le voyage dure 0.02 secondes, donnant lieu (en l'absence de correction) à une erreur de 0.3 arcsec, soit 10m -c'est également vrai pour les GPS opérant avec une base).

Cette imprécision a eu des conséquences. En commentaire de sa « Carte de l'Etat Indépendant du Congo » au 1/2.000.000^e publiée en 1901, A.-J. Wauters précise que sa carte est basée sur les déterminations astronomiques les plus fiables et que les mesures effectuées par H.M. Stanley, plutôt expéditives et dès lors trop approximatives, n'ont pas été utilisées (Wauters, 1901).

Tout cela semble relever de l'astrologie, mais il faut se rappeler que le mètre dérive de la « toise du Pérou », qu'à peine adopté par la Convention, il a été abrogé par Napoléon –qui a réinstauré l'esclavage par la même occasion- et que l'adoption d'un « mètre international » ne date que de 1896 après un demi-siècle de péripéties et, enfin, que le pied constitue toujours non seulement un moyen de locomotion et une expression de jouissance , mais également une mesure aussi répandue qu'inconstante (voir Zakiewicz, 2005)! C'est dans ce contexte que les explorateurs ont œuvré, ce qui explique pourquoi, quelques décennies après l'adoption "définitive" du mètre, J. Maury précisera le rapport pied/mètre utilisé pour exprimer la dimension de l'ellipsoïde de Clarke 1880, qualifié de « modifié » suite à ces aléas, favorisé lors de l'établissement du cadre géodésique de l'est du Congo (Maury, 1930).

Introduction

Ayant constaté, au cours de sa mission de 1898, d'une part, que des sites d'importance stratégique primordiale étaient affectés d'erreurs de positionnement géographique importantes (re. aux mesures de Stanley, ci-dessus), ce qui pouvait amener à prendre des décisions politiques sur des bases inadéquates et, d'autre part, que les emplacements de postes administratifs, routes et ports étaient choisis au gré de la fantaisie d'administrateurs occasionnels, ce qui entraînait par la suite de multiples déménagements et travaux inutiles, Ch. Lemaire écrivait «... il faudrait, certes, que l'avenir mène à de meilleurs solutions ; et cela « pourra être » si la carte suffisamment détaillée, et surtout « exacte », du Congo est dressée par des géographes qui seuls sont capables de mener à bien cette tâche si importante [NB. Lemaire était un militaire]. Jamais on ne répétera assez que l'établissement d'une carte exacte, à grande échelle, est le premier élément, l'élément capital de la mise en valeur d'un pays quelconque ... (Lemaire, 1902) ». A noter, à titre pervers et néanmoins anecdotique, que le positionnement du site de Moliro par Ch. Lemaire n'était guère plus précis (ca. 1600m d'erreur en longitude) que celui des localités en cause affectées d'erreur dépassant, selon lui, la minute d'arc (> 1850m) !

A noter qu'avant que l'Etat Indépendant du Congo (E.I.C.) ne lui confie ces travaux plutôt pacifiques, Ch. Lemaire, commissaire de district de l'Equateur en 1890-93, avait virilement contribué aux exactions et autres horreurs de l'époque. Il note dans ses souvenirs : « Mon éducation africaine commença dans les coups de fusil et de canon, dans les incendies de village [une trentaine, une dizaine de morts chaque fois, de son propre aveu] à "mettre à la raison", en un mot dans l'abus et le surabus de la force avec tous ses excès (in Marchal, 1996, p336) ». Au moins, lors de sa mission au Katanga, déplorait-il que ses porteurs dussent passer la nuit à

grelotter sous la pluie ... sans qu'il ne fit rien pour remédier à cette situation (Lemaire, op. cit)!

« Dès 1885, l'Etat Indépendant du Congo avait créé un service topographique en Afrique centrale (...) Après la reprise du Congo par la Belgique, le ministère des Colonies créa, à Bruxelles, un service géodésique et cartographique. L'Ingénieur en chef J. Maury, qui avait participé à plusieurs missions géodésiques au Congo de 1903 à 1911, a dirigé ce service depuis sa fondation jusqu'en 1946 (...) Un Institut géographique du Congo belge a été créé en 1949 à Léopoldville ; il a repris la mission géodésique et cartographique du ministère des Colonies ; une « Section cartographie et cadastre » a cependant continué à fonctionner à Bruxelles [Elle se trouve actuellement au Ministère des Affaires étrangères]. Dans le domaine du Comité Spécial du Katanga (C.S.K.), c'est le service géographique et géologique du dit Comité qui procède aux levés géodésiques. Ce service fut créé en 1919 par H. Droogmans, président du C.S.K. (Letroye, 1954) ».

A noter que, de 1945 à 1947, la Direction du Service cartographique et géodésique était attachée au Quartier général de la Force publique et, de 1947 à 1949, elle dépendait directement du Gouvernement général de la Colonie (IGCB, 1953).

Les relations incestueuses entre l'E.I.C. en général et son service topographique en particulier avec l'Institut Cartographique Militaire de Belgique furent épinglées en 1905 au cours d'un débat au Parlement par H. Vandervelde qui s'étonnait que la solde entière et les indemnités de nourriture pour leurs chevaux continuaient à être payées aux officiers belges travaillant pour le compte de l'E.I.C. -pourtant état étranger dans les affaires duquel la Belgique ne pouvait pas s'immiscer (La réponse faite par le gouvernement aux parlementaires qui s'inquiétaient des trafics divers entre Belgique et Congo). Administrativement parlant, ils avaient été transférés du service actif à l'Institut Cartographique Militaire par lequel ils étaient envoyés en mission au Congo ou en Chine, ce qui leur garantissait une continuité dans la carrière. Voilà pour le statut des officiers dont il sera question en divers endroits.

Il aura donc fallu 50 ans pour que le pouvoir politique concrétise le souhait de Ch. Lemaire sous forme de la définition d'un objectif et de l'attribution de moyens administratifs sinon financiers : « Des documents cartographiques à valeur scientifique incontestable sont indispensables pour le développement économique du pays. Aucun programme d'exploitation ou d'équipement ne peut être établi avec précision sans la connaissance du terrain et de sa configuration (Plan Décennal pour le Développement économique et social du Congo belge, 1949, in Gilliard, 1953)».

On a compris que le moyen administratif était l'Institut géographique du Congo qui sera fondé en 1949 (victoire des « Congolais » qui avaient apprécié le goût de l'« indépendance » pendant l'occupation de la métropole). Mais quel était l'objectif ? Pas moins qu'une carte au 1/20.000^e avec courbes de niveau de 10 en 10m. Le

pays comprenant plus de 200 degrés carrés, cela représentait un effort de plus de 12.800 feuilles cartographiques de 70x70 cm² chacune. Un retour à la réalité s'opéra en 1951, et l'objectif fut redéfini avec une (!) carte au 1/500.000^e avec cotes des sommets marquants, après que quelques cartes à grande échelle aient été produites au Bas-Congo, au Kasai et dans le Nord-Est (où les premiers levés aériens ont eu lieu). Elle n'a jamais vu le jour.

A noter que, (déjà) sourds à ces discussions, les Katangais du C.S.K. poursuivirent leurs objectifs initiaux : établissement et complétion d'un réseau triangulé dense, cartographie multidisciplinaire de base régulière au 1/100.000^e et synthèse au 1/200.000^e, utilisation des photographies aériennes dès 1949, vols et restitution complète réalisés par l'Institut cartographique militaire de Bruxelles.

Malheureusement pour le C.S.K., les cartes régulières produites pendant les années '30 selon ces méthodes terrestres classiques (éléments géographiques extrapolés à partir d'un nombre restreint d'information et courbes de niveau dessinées à l'estime), seront bientôt obsolètes suite à l'utilisation des photographies aériennes, obligeant le C.S.K., autorité territoriale (cadastre, foresterie, mines), à baser sa gestion sur un référentiel spatial inexact.

La grande révolution en cartographie a, en effet, été l'utilisation systématique et à toutes les échelles de la photographie aérienne (dès 1937 en Belgique, 1949 au Congo, quoique dès 1931, le Ministère des Colonies indiquait comment les utiliser en cartographie (NN1, 1931). La mise en route a toutefois été retardée en Belgique par les circonstances et l'absence d'appareil de restitution. Le coûteux appareil, d'une marque allemande réputée, à peine installé en 1939, fut récupéré par ses installateurs et utilisé par les vainqueurs du moment ; après la guerre, il fit partie des compensations pour dommage de guerre et envoyé outre-Atlantique chez un des alliés. Au Congo, ce n'est qu'au terme d'une longue discussion concernant le coût et l'opportunité d'installer ces appareils fragiles en Afrique que les premières restitutions photogrammétriques eurent lieu, mais ce seront des restitutions « simplifiées » ou « expédiées » utilisant des appareils 2D en attendant que deviennent disponibles un ou plusieurs des appareils 3D de Bruxelles (Guilliard, 1953), ce qui ne fut jamais le cas. Les cartes établies au MRAC dans les années 1960 et 1970 sont également des restitutions simplifiées. Les cartes régulières du Rwanda terminées en 1973, au 1/50.000^e, ont été des restitutions complètes 3D, pratiquement les dernières cartes créées en suivant la filière analogique à l'Institut géographique national à Bruxelles.

La photographie aérienne comme base de la cartographie règnera en maître pendant 50 ans. L'imagerie satellitaire et le traitement numérique des données d'origine multiple sonneront le glas de cette forme de cartographie.

Situation en Belgique

Quelle était d'ailleurs la situation dans la métropole à cette époque ?

En 1831 le Gouvernement provisoire crée au sein du Ministère de la Guerre un « Dépôt de la Guerre et de la Topographie » ayant pour mission « ... l'établissement et la fourniture de cartes pour l'ensemble des opérations militaires ... ». En 1843, ce Dépôt fut chargé d'établir la carte topographique officielle du royaume, ce qui impliquait de fait des levés astronomiques, de triangulation, de nivellement ainsi que l'activité scientifique relative à ces disciplines. Le Dépôt devint ainsi par la force des choses un établissement scientifique dont l'activité s'étendait aux études internationales pour déterminer la forme et les dimensions de la Terre. L'Institut Cartographique Militaire fut créé en 1878, établissement « spécial » alliant les missions militaires et civiles (IGN/Dewinter, non daté).

« En 1830, La Belgique se retrouva sans cartes par le fait que les Hollandais les avaient emportées en même temps que les résultats de leurs travaux de triangulation. Seuls restaient disponibles les plans cadastraux d'époque napoléonienne (...) Le premier nivellement général du Royaume fut achevé en 1873, tandis que parallèlement à son achèvement fut menée à bien la première édition monochrome de la « Carte d'Etat- Major » au 1/40.000^e en 72 feuilles (1861-1883). Parallèlement se poursuivait la publication des 430 planchettes minutes au 1/20.000^e qui allaient donner naissance à la première carte de base quadrichrome du pays (1865-1880), dont trois éditions virent le jour entre 1865 et 1949 (De Smet, non daté) ». Notons que l'ellipsoïde utilisé était celui de Delambre (enfant du siècle des Lumières et de la révolution) et que la projection était celle de Bonne (équivalente, ce qui intéressait plus les statisticiens que les artilleurs). Le premier grand changement date également de 1949 avec l'adoption de l'ellipsoïde international de 1924, de la projection de Lambert (conforme), du méridien de Greenwich (au lieu de celui de Bruxelles, matérialisé dans le style Da Vinci Code dans le chœur de la cathédrale St Michel-et-Gudule) ... et des degrés sexagésimaux (au lieu des révolutionnaires grades centésimaux), outre l'adoption des échelles 1/25.000^e pour la carte de base puis 1/50.000^e , 1/100.000^e, etc. pour les cartes dérivées, le tout imposé par l'OTAN.

En 1950, une première compensation (en blocs) du réseau de triangulation a été exécutée. Pour l'orientation et la localisation du réseau, des observations astronomiques étaient utilisées. L'échelle était basée sur des "développements de bases invar". Très vite on constata que le réseau, dont la précision était suffisante pour une production cartographique à moyenne échelle (1:25 000; 1:50 000), n'était pas assez précis pour d'autres applications.

Entre 1955 et 1969, des observations supplémentaires (points astronomiques

complémentaires, mesures de distance) ont été exécutées. Pour fixer l'échelle, la partie belge (Kemmelberg -Baraque Michel) de la polygonale de précision MALVERN - GRASS a été utilisée. Une compensation globale selon la méthode des "moindres carrés" a été réalisée en 1972 (Site web IGNB).

Bref, la situation en colonie et en métropole montre de multiples parallèles. Ainsi, la « grande compensation » congolaise a eu lieu en 1968 (voir plus loin).

Le canevas astronomique.

« L'Etat Indépendant du Congo et, par la suite, le Ministère des Colonies ont envoyé de nombreuses missions chargées de reconnaissances géographiques au sens le plus général de ce terme. Toutes ces missions ont scrupuleusement levé leurs itinéraires que les cartographes ont reportés dans le cadre général constitué par les déterminations astronomiques faites par bon nombre d'entre elles. La précision des déterminations était fonction des moyens qu'il était possible de mettre en œuvre à l'époque où la T.S.F. était à ses débuts. Les principaux résultats en cette matière sont ceux des missions Delporte-Gillis (1890), Cabra et Lemaire (1898) ; des schémas cartographiques auxquels ils ont servi d'appui ont survécu jusqu'après la deuxième guerre mondiale (IGCB, 1958) ».

Dans un petit ouvrage publié en 1905, qu'il appelle lui-même vade me cum destiné à ses collègues explorateurs, A. Cabra (et, avant lui, A. Delporte, comme on le verra plus loin) décrit minutieusement les procédures à utiliser pour obtenir « rapidement les premiers éléments de la carte et de la topographie d'un pays ». Il termine son livre en plaidant pour l'utilisation du télégraphe pour la transmission de l'heure indispensable au calcul de la longitude (au lieu des multiples horloges et chronomètres) et de l'astrolabe de Claude et Driencourt (au lieu d'un théodolite) permettant une mise en place et une mesure plus rapide (5 minutes) et, croyait-il, plus précise (0,5 arcsec en latitude et 0,03 secondes/0.5 arcsec en longitude : l'optimisme était de rigueur en ce début de siècle, cf. Préambule).

Ces idées furent mises en pratique quelques années plus tard (1937 pour l'usage de la T.S.F.) par le Service cartographique du Ministère des Colonies:

« Vers 1912-1913, apparurent deux innovations d'origine française : l'astrolabe à prisme de Claude et Driancourt et la transmission de l'heure par T.S.F., qui permettaient d'accélérer les opérations relatives aux déterminations astronomiques et surtout d'améliorer leur précision en longitude.

En 1914, à l'initiative de S.M. le Roi Albert, une mission dotée de ces moyens nouveaux fut créée sous la direction du Colonel Stinglhamber en vue « d'établir par des méthodes absolues le canevas topographique pour la carte générale du Congo » ; mais la première guerre mondiale mit fin aux travaux à peine

commencés.

Après la guerre 1914-18, les moyens furent de plus en plus consacrés aux déterminations topographiques relatives, à cause principalement de la nécessité d'une précision supérieure aux 1-3 arcsec qu'offre le positionnement astronomique, dans certaines régions en cours de mise en valeur : Katanga, Nord-Est, Bas-Congo. Cependant, il fut encore recouru aux déterminations astronomiques à plusieurs occasions. C'est ainsi que nous notons entre les deux guerres, les déterminations astronomiques effectuées lors des travaux suivants :

- 1/ Prospections minières dans le Kasai, le Maniema, le Kivu, les Uele (points astronomiques Forminière) ;
- 2/ Etablissement de la carte magnétique du Congo belge (avec détermination des latitudes) – Mission Hermans (1934-38) ;
- 3/ Détermination des coordonnées géographiques et repérage de la direction du Nord vrai aux stations T.S.F. par la mission de repérage T.S.F. (Verlinden – Paternotte 1937-40).

Seuls les résultats de la mission de repérage T.S.F. présentent un intérêt cartographique parce que le repérage des stations et des azimuts a, en général, été assuré avec suffisamment de soins et que, de plus, les déterminations elles-mêmes sont assez précises : leur erreur moyenne quadratique (e.m.q.) est < 3 arcsec. Ces résultats concernent 18 stations réparties dans les 2/3 du territoire. Le repère d'une ces stations est aujourd'hui [1958] disparu.

De 1953 à 1955, des missions du Syndicat pour l'Etude géologique et minière de la cuvette congolaise ont déterminé 14 points astronomiques. La précision (e.m.) des déterminations est de 4 à 40 arcsec. Les résultats des travaux topographiques de ces missions ne sont pas exploitables pour la cartographie régulière (IGCB, 1958) ». Et toc pour les géologues!

La précision obtenue pour la latitude et la longitude est directement proportionnelle à celle des mesures astronomiques utilisées, donc des angles, et celle de l'heure locale (pour la longitude). Dans le meilleur des cas, une précision de 3 arcsec peut être obtenue sur une mesure. La moyenne de mesures multiples permet d'atteindre une précision de 1 arcsec. IGCB (1958) note que « l'éventualité toujours à craindre d'une déviation de la verticale rend superflue la recherche d'un résultat meilleur ». J. Maury s'en rendra compte lors de l'établissement de l'arc du 30^e méridien : des déviations de 20 arcsec furent constatées entre latitudes géodésique et astronomique dans la région du Ruwenzori et du graben (Maury, 1934).

Notons que la précision d'1 arcsec est adéquate pour établir des cartes régulières (i.e. dont la précision topographique est du même ordre que la résolution graphique, que l'on peut fixer à $1/10^e$ de mm) au $1/200.000^e$ (précision « régulière » : 20m).

« La mission Delporte-Gillis devait en ordre principal « déterminer les latitudes et longitudes d'un grand nombre de points à l'intérieur du continent de manière à recouvrir l'immense territoire d'un premier réseau géodésique qui devait servir de base dans la suite à la triangulation du pays » (A. Delporte in Letroye, 1954).

La mission Delporte-Gillis (interrompue par le décès de Delporte et la maladie de Gillis en 1891) détermina les coordonnées astronomiques de 35 stations le long du fleuve, de son embouchure à Stanleyville.

Les latitudes étaient déduites d'observations de hauteurs méridiennes d'étoiles, les longitudes par la méthode des culminations lunaires en quelques points et transport de l'heure par chronomètre aux autres. Les altitudes étaient fixées par baromètres et hypsomètres. Quelques années plus tard Cabra et Ch. Lemaire appliquèrent les mêmes méthodes. Ce dernier détermina les positions astronomiques de 195 stations du Katanga et de 135 dans l'Uele et le Bahr-el-Ghazal.

En 1914, Stinglhamber reprit les travaux avec un matériel nouveau (astrolabe de Claude et Driencourt et T.S.F.), mais la guerre mit fin à la mission (Letroye, 1954).

L'IGCB décrit avec détail les opérations de relèvement astronomique réalisées lors de la triangulation du Kasai en 1953. On y voit que, nonobstant l'utilisation d'un signal radio, l'obtention d'une précision meilleure que 3 arcsec en longitude reste un exploit (IGCB, 1953).

Le canevas astronomique ne sera achevé ni en extension, ni en densité. La cartographie du nord et nord-ouest du Congo (ouest du 28^e méridien) est toutefois exclusivement basée sur celui-ci, aussi fragmentaire qu'il soit.

Les GPS prendront le relais du positionnement astronomique et donneront naissance au canevas GPS en cours d'élaboration. Le passage de l'ancien canevas triangulé au nouveau canevas GPS constitue un des problèmes auxquels sont confrontés les utilisateurs des données géodésiques anciennes et de leurs produits cartographiques.

Le canevas triangulé.

Quoique son positionnement absolu soit, in fine, également basé sur des mesures astronomiques, le canevas triangulé sera la norme pour le travail géodésique de 1^{er} ordre (et en-deçà) du XX^e siècle en Afrique. Nécessitant des équipes nombreuses et des équipements lourds, le développement du réseau congolais, commencé dans les années 1920, resta inachevé en 1960, faute de moyens financiers. Les dernières calculs et révisions datent de 1962, la compensation de 1968 (Meex, 1962, 1968).

Dans l'urgence, on réalise des réseaux locaux pour délimiter les frontières. Ces réseaux furent subtilement intégrés dans les maillages ultérieurs. Les travaux dans

les pays voisins furent également opportunément utilisés. Le grand bond en avant fut, à cet égard, la participation des géodésiens de la colonie aux travaux de l'arc du 30^e méridien, développé au travers des colonies anglaises « du Cap au Caire ». Ce travail, de 1^r ordre (au sens géodésique), qui ne sera pas davantage achevé avant 1960, constitue l'ossature géodésique de l'Afrique pré-GPS. Il a donné lieu au datum « Arc 1950 » utilisé dans les régions d'Afrique situées dans son voisinage. Au Congo, il s'agit des régions orientales (Katanga, Kivu, Nord-Est et Kasai) qui lui ont été rattachées.

Dans le Bas-Congo, partout proche des frontières (Angola-Cabinda, République populaire du Congo) et comprenant en outre un domaine maritime, le développement du réseau a connu de multiples rebondissements.

Il en est de même dans la région des Grands Lacs où, « succédant au premier ajustement fait par M. J. Maury en 1934, un ajustement provisoire du canevas du Kivu-Maniema a été effectué en 1956 (Maury, 1956). Des modifications importantes furent apportées par la suite au canevas, telles la mesure de raccords à l'Arc du 30^e méridien, la réfection de la chaîne méridienne du Graben et la mesure de contrôles d'échelle et d'orientation dans la triangulation dite de la zone des Grands Lacs (Meex, 1968) ». Tous ces calculs et ajustements modifient évidemment non seulement le statut mais également la position (parfois de 20m) des points utilisés antérieurement pour l'établissement des cartes.

P. Meex a donné un historique du développement du réseau triangulé (Meex, 1997).

Géodésie et calculs

La cartographie n'existant qu'à l'état d'ébauche, la géodésie a longtemps constitué le référentiel du cadastre et de l'administration des mines (NN2, 1937).

« Les calculs ont d'abord été effectués sur l'ellipsoïde de Bessel. Le ministère des Colonies adopta ensuite l'ellipsoïde de Clarke « 1866 » et ultérieurement celui de Clarke « 1880 ». Quant aux triangulations du C.S.K., elles resteront calculées sur l'ellipsoïde de Clarke 1866. L'ensemble du réseau est sectionné en tronçons que l'on compense par la méthode des moindres carrés. Le calcul est généralement effectué en deux approximations successives (Letroye, 1954) ». Les « Tables de Delporte » sont établies à partir de l'ellipsoïde de Bessel (Delporte, 1889).

Les « Instructions concernant les Levés de Reconnaissance » du Ministère des Colonies, publiés en 1931 et réédités en 1946 et 1954 (version néerlandaise), contiennent deux tables des nœuds de la projection de Gauss calculés à partir des ellipsoïdes de Clarke 1866 ET 1880 (NN1, 1931).

Dans la pratique, les géodésiens « congolais » ont adopté une méthode originale palliant les incertitudes du positionnement absolu, simplifiant les calculs trigonométriques et évitant la géométrie sphéroïde. Il s'agit d'une technique dans laquelle mesures et calculs sont effectués « dans le plan de projection », donc en plan. La projection utilisée est celle de Gauss (Gauss-Krueger ou Mercator transverse), cylindrique conforme, appliquée sur des zones étroites (« faisceaux » méridiens de 1 degré, plus un demi-degré de part et d'autre donnant lieu à des zones communes avec les faisceaux voisins). Les travaux « plans » étant terminés, on peut passer aux coordonnées géographiques en utilisant les formules ad hoc (Pahaut, 1950, Coetz, 1954).

Th. Zakiewicz donne un intéressant historique de nombre de définitions, notamment celle des mètres et autres toises (Les ellipsoïdes de Clarke étaient donnés en pieds), et l'impact que cela a eu sur la géodésie africaine, pour aboutir à l'ellipsoïde de "Clarke 1880 modifié" : « It has been noticed that, even in our time, there is confusion around the world, as to which Clarke 1880 ellipsoid is in use: either the original 1880 figure (with values specified by Clarke himself), or its South African version: the "Modified Clarke 1880 ellipsoid". (To prevent any uncertainty in this regard, one should always refer to the ellipsoid parameters in use) (Zakiewicz, 2005) ».

A noter que les litiges frontaliers actuels entre Congo et Angola sont dus, outre à la mauvaise foi, au fait que certains tronçons de frontière ont été définis dans les traités par leur position géodésique (par exemple au long du 7^e parallèle sud), sans préciser le datum à utiliser (voir plus loin). Notez que les différences ne sont pas monstrueuses (20°E/7°S en UTM sur l'ellipsoïde de Bessel donne pour Y :

9226208m, et sur l'ellipsoïde de WGS84 des GPS : 9226134m. Le Congo « perd » tout de même 74m).

Les points fondamentaux et leur datum

Le datum géodésique (dimensions de l'ellipsoïde utilisé et position d'un point fondamental –où géoïde et ellipsoïde définissent la même verticale- et d'une direction fondamentale, orientant de facto l'ellipsoïde utilisé) est devenu une information indispensable depuis une quinzaine d'années car requise pour passer d'un système géodésique à un autre, en particulier vers WGS84, manœuvres impensables avant les calculateurs électroniques. Cela permet d'utiliser sans difficulté, grâce aux GIS, des cartes anciennes, notamment dans le cadre de leur actualisation. Nonobstant le fait que les régions de et à l'est du Congo dépendent du même réseau fondamental, on a intérêt à considérer les tronçons ou « blocs » comme relativement indépendants du fait de la transmission des erreurs dans les réseaux triangulés. Ces sous-ensembles donnent lieu a posteriori à des « datums locaux réels ou virtuels » (je n'ose pas écrire « data »).

Au terme de plusieurs « ajustements » (par rapport à d'autres références) et « compensations » (souvent avec introduction de nouveaux éléments), les « points fondamentaux historiques ont perdu leur signification ; ils sont cités ci-après dans ce sens. On trouvera en table 1 les valeurs utilisées au Congo.

Katanga

Le point fondamental historique de la triangulation du Katanga est le terme A de la base de Tshinsenda. La latitude en a été déterminée par observations astronomiques, tandis que sa longitude provient de l'arc du 30^e méridien (point Msengulu, qui devrait donc en toute rigueur être le point fondamental en lieu et place de Tshinsenda); elle a été transportée par la chaîne compensée (établie en 1911-1912 par la Commission de Délimitation Katanga-Rhodésie) joignant l'arc à ce point. L'origine « lointaine » des coordonnées est donc le point fondamental de l'arc du 30^e méridien, à savoir le site de Buffelsfontein en Afrique du Sud.

Tshinsenda A : $\varphi \equiv -12^{\circ}20'31''.568$ (.508 après 1951), $\lambda \equiv -28^{\circ}01'02''.971(.465)$

L'ellipsoïde de référence est celui de Clarke 1866, choisi « par erreur » à la place de celui de Clarke 1880, choix malheureux dont on paie encore les conséquences aujourd'hui, non pas en imprécision (seulement 14m de différence en latitude à 6°N) mais en incertitude (les φ , λ de Msengulu ont-ils été recalculés avant transport ? Non, à en juger par certains commentaires, cf. Kasaï ci-dessous). Le bilan de 1956 donne (IGCB, 1956) :

Msengulu : $\varphi \equiv -13^{\circ}14'01''.3298$, $\lambda \equiv -30^{\circ}32'44''.2058$ (Valeurs « Arc 50 »)
 $\varphi \equiv -13^{\circ}14'01''.2370$, $\lambda \equiv -30^{\circ}32'43''.676$ (Valeurs « Katanga »)

Kapemba I: $\varphi \equiv -8^{\circ}20'12''.2950$, $\lambda \equiv -30^{\circ}28'54''.9141$ (Valeurs « Arc 50 »)
 $\varphi \equiv -8^{\circ}20'12''.8200$, $\lambda \equiv -30^{\circ}28'55''.477$ (Valeurs « Katanga »)

Sur base de 4 points du réseau historique katangais dans la région de Lubumbashi, les paramètres de transformation du datum « Katanga » (mesuré sur l'ellipsoïde de Clarke 1866) vers le datum WGS84 ont été déterminés comme (Van Herrewegen et al., 2006) :

$\Delta x = -103.75 \pm 0.52$, $\Delta y = -9.614 \pm 0.59$ m, $\Delta z = -255.95 \pm 1.47$ m.

Dont la validité est, en principe, limitée à Lubumbashi et ses environs immédiats, mais qui semble adéquat à 100 – 200km de là (levés GPS inédits).

Le Congo oriental (plus Rwanda et Burundi)

Le point fondamental historique est celui de Igurua (en Uganda), commun à l'arc du 30^e et à la triangulation faite par la Commission anglo-allemande 1902-1906 au long du 1^r parallèle sud (Maury, 1934).

Point Igurua : $\varphi \equiv -0^{\circ}57'18.173''$ *, $\lambda \equiv -30^{\circ}21'52.756''$ **

* après correction pour déviation de la verticale de +1.452''

** transposée depuis Zanzibar.

Les coordonnées astronomiques de ce point ont été obtenues après quelques péripéties et il est clair que le résultat finalement adopté n'est pas des plus satisfaisants et ne présage rien de bon pour l'avenir!

L'IGCB donne en 1956 :

Igurua : $\varphi \equiv 0^{\circ}57'12''.2135$, $\lambda \equiv -30^{\circ}21'57''.0353$ (Valeurs « Arc 50 »)
 $\varphi \equiv 0^{\circ}57'18''.137^*$, $\lambda \equiv -30^{\circ}21'52''.756$ (Valeurs « Congo oriental »)

*Maury donne .173, IGCB, probablement dyslexique, .137.

Ces valeurs ont été réajustées ultérieurement. Dans son ajustement de 1968, P. Meex (1968) banalise le point et utilise les valeurs de l'Arc pour ce qui est devenu le point C26/52 « Igurua » du canevas de l'est.

Pour ce qui est des paramètres de transformation, la NGA propose en 1991 pour le Burundi (« Arc50-Burundi »), sur base de 3 points:

$\Delta x = -153 \pm 20$ m, $\Delta y = -5 \pm 20$ m, $\Delta z = -292 \pm 20$ m

Quoique données pour peu précises, l'utilisation de ces valeurs au Kivu (notamment les cartes IGC au 1/5.000^e de Bukavu de 1954, ainsi que des travaux GPS inédits du projet MRAC « Géologie urbaine Bukavu »), et au Rwanda (travaux GPS inédits, projet BEGO) a donné des résultats satisfaisants.

A noter que, dans les pays de l'Arc 50, les valeurs suivantes sont données par la NGA :

$\Delta x = -138 \pm 3m,$	$\Delta y = -105 \pm 5m,$	$\Delta z = -289 \pm 3m$	(Botswana)
-136.0 0.4	-105.5 0.4	-291.1 0.4	(id. in Mugnier, 2004)
-125 3	-125 3	-295 8	(Lesotho)
-161 9	-73 9	-317 8	(Malawi)
-134 15	-105 15	-295 15	(Swaziland)
-169 25	-19 25	-278 25	(Zaire)
-147 21	-74 21	-283 27	(Zambia)*
-152 0.4	-60 0.4	-297 0.4	(Zambia)**
-142 5	-96 8	-293 11	(Zimbabwe)
-143 20	-90 33	-294 20	(Moyenne de ces 6 pays)
-136 3	-108 6	-292 6	(Afrique du Sud)

Le recalcul effectué ultérieurement a donné lieu à un Arc 60 en Afrique de l'Est :

-157 4	-2 3	-299 3	(Kenya)
-175 6	-23 9	-303 10	(Tanzania)
-160 20	-6 20	-302 20	(Moyenne de ces 2 pays)

NB : l'Uganda reste indéfini, mais d'aucuns le rattachent au même Arc 60.

* Valeurs NGA calculées sur 5 points.

** à compléter par des paramètres de rotation $R_x = -12''$, $R_y = 1''$, $R_z = 8''$ (Mugnier, 2004)

Plus au nord (Sudan, Ethiopie), les datums ne sont plus explicitement rattachés à l'Arc 50.

La valeur attribuée pour la transformation du datum Arc 50-Burundi vers WGS84 est donc clairement du même acabit que celle de l'Arc 60. On peut noter que si les valeurs de Δx et Δz sont du même ordre, celles de Δy s'ordonnent en deux groupes avec des valeurs soit faibles (-2 à -23) soit élevées (-74 à -125) correspondant aux pays situés respectivement à l'est (Katanga compris) et sud/centre de la région. Le twist à l'est n'est probablement pas dû aux effets du rift, mais plus probablement à l'utilisation « imposée » (NB. Dans le calcul, pas pour des motifs politiques) d'un point inapproprié (Kicherere)(voir Zakiewicz, 2005).

Le Bas-Congo

Les multiples réseaux établis au Bas-Congo, de la côte atlantique aux environs de Kinshasa ont été remplacés par un réseau unique que J. Maury a établi au départ de deux bases principales et calculé sur l'ellipsoïde de Clarke 1880: Yella (en Angola) et Ndolo (près de Kinshasa).

Le point fondamental historique serait donc :

Yella (terme est) : $\varphi \equiv -6^{\circ}00'53.139''$, $\lambda \equiv -12^{\circ}58'29.286''$,

pour lequel C. Mugnier propose les paramètres de transformation vers WGS84 (Mugnier, 2001):

$\Delta x = -93.28 \pm 5\text{m}$, $\Delta y = -164.11 \pm 5\text{m}$, $\Delta z = -169.02 \pm 5\text{m}$

C. Mugnier note que les graticules congolais Gauss-Krueger des faisceaux 13, 14 et 16 sont basés sur ce point fondamental.

Sur base de 4 points dans les environs de Kinshasa, les paramètres de transformation (mesurés sur l'ellipsoïde de Clarke 1880) vers le datum WGS84 ont été déterminés comme (Van Herrewegen et al., 2006) :

$\Delta x = -91.1 \pm 0.1\text{m}$, $\Delta y = -128.70 \pm 0.55\text{m}$, $\Delta z = -148.81 \pm 0.16\text{m}$

dont la validité est, en principe, limitée à Kinshasa et ses environs immédiats, mais qui semble adéquat au-delà (levés GPS inédits), comme l'indique la similitude avec les paramètres de transformation Yella.

La NGA donne pour les pays voisins :

$\Delta x = -74 \pm 25\text{m}$	$\Delta y = -130 \pm 25\text{m}$	$\Delta z = +42 \pm 25\text{m}$	(Mporolako, Gabon)*
-148 25	+51 25	-291 25	(Pointe noire, Congo)
-48.81	-343.58	-228.32	(Camacupa48, Angola,

Mugnier (2001). La valeur du datum dit "Angola" est très proche).

Dans la région des bassins pétroliers :

-42.01	-332.21	-229.75	(id, calcul Conoco)
-50.9	-347.6	-231	(id, calcul Topnav)

* calcul sur 1 point seulement, ce qui peut être à l'origine de cette valeur « discordante ».

Le Kasai

Le point fondamental historique est le terme NW de la base de Gandajika et les coordonnées admises celles fournies par le C.S.K. calculées sur l'ellipsoïde de

Clarke 1866 et non recalculées sur celui de Clarke 1880, « la différence entre les résultats n'étant que de 1'' en latitude et 0.25'' en longitude aux latitudes équatoriales (IGCB, 1954) ». Elles proviennent donc in fine du transport des coordonnées du point Msengulu de l'arc du 30^e méridien (cf. Katanga ci-dessus) et se rattache donc au réseau de l'est.

Gandajika NW : $\varphi \equiv -6^{\circ}45'01.057''$, $\lambda \equiv -23^{\circ}57'03.038''$ (IGCB, 1954, ann. 5 p1 et IGCB, 1955, ann. 1, p2)

A noter qu'on trouve ailleurs pour le même point les coordonnées astronomiques et géodésiques:

$\lambda_{astro} = -23^{\circ}58'41.2''$ et $\lambda_{geod} = -23^{\circ}58'39.14''$ (IGCB, 1954 p 11 donne 21°, mais cela doit être une coquille), tandis que la compensation de P. Meex donne :

$\varphi_{geod} = -6^{\circ}45'01.0136''$, $\lambda_{geod} = -23^{\circ}57'02.3548''$ (Meex, 1962, p23).

A noter que pour le point 54/167 (terme W de la base de Kamukamu) on trouve:

$\varphi_{astro} = -5^{\circ}57'40.9''$, $\lambda_{astro} = -20^{\circ}15'07.6''$ et
 $\varphi_{geod} = -5^{\circ}57'40.956''$, $\lambda_{geod} = -20^{\circ}15'09.174''$,

soit une différence respective de 0.09'' et de 1.56'', considérées comme trop peu importantes pour nécessiter une correction (IGCB, 1955).

Une compensation ultérieure (Meex, 1962) donne pour le même point:

$\varphi_{geod} = -5^{\circ}57'40.8568''$, $\lambda_{geod} = -20^{\circ}15'08.8949''$.

Il n'a pas été calculé de paramètres de transformation pour un datum local éventuel vers WGS84. Etant donné que le point fondamental est *in fine* Tshinsenda-Msengulu, les paramètres donnés pour Lubumbashi devraient être acceptables faute de mieux (nonobstant le problème d'ellipsoïde).

La Cuvette et le Nord-ouest

Eu égard au fait que la cartographie a été basée uniquement sur des points astronomiques, on se trouve confronté au problème de la précision (1 – 3 arcsec) et au fait que les mesures sont liées au géoïde et non à un ellipsoïde.

Les projections cartographiques.

« ... la projection de Mercator a été utilisée pour les premiers travaux (calculs selon les tables de Delporte) de l'E.I.C. (Letroye, 1954) ».

La carte au 1/100.000^e en 15 feuilles du Bas-Congo de H. Droogmans (par ailleurs Secrétaire-Général du Département des Finances de l'E.I.C.) est en effet une « Mercator » établie au départ de l'ellipsoïde de Bessel pour laquelle il explique que les X sont calculés au long de l'Equateur, le zéro étant au 20^e méridien est de Greenwich et les Y au long d'un méridien, le zéro étant à l'Equateur (Droogmans, 1901). Les valeurs utilisées pour X et Y ont été calculées par A. Delporte (par ailleurs professeur de mathématiques, astronomie et géodésie à l'Ecole de guerre, qui a préféré l'Afrique –où il allait mourir en 1891- au confort de sa chaire) et reprises dans les « Tables de Delporte » (Delporte, 1889) mentionnées dans divers documents. On trouve ces informations dans l'introduction de la notice de la série de cartes, mais pas sur les cartes elles-mêmes.

La mention de la nature et des paramètres de projection relevaient apparemment du secret d'état, car d'autres cartes n'en disent pas davantage. Une tradition qui s'est maintenue longtemps : les cartes au 1/2.000.000^e des années '50, et même la carte géologique de Lepersonne en 1974, restent muettes à cet égard.

Un petit jeu entre cartographes et géologues ? Lorsque j'ai été envoyé au Colloque de géologie africaine à Leeds en 1976 pour y présenter la carte en question, je m'étais informé auprès du cartographe de la maison, E. Ghion, pour obtenir ces informations susceptibles d'intéresser les collègues africanistes. J'ai reçu une réponse du style « c'est très compliqué (comprenez « trop compliqué pour un géologue »), mais cela se rapproche d'une projection de Claude », dont je n'avais évidemment jamais entendu parler et c'est toujours le cas (Peut-être était-ce Claude Ptolémée ?). Heureusement, il n'y a pas eu de question au colloque!

Pour les cartes générales de la Colonie (1/1.000.000^e ou 1/2.000.000^e, ainsi que les cartes « de territoire » au 1/200.000^e, y compris celles produites >1953), il a été fait usage de la projection polyconique, enfant du XIX^e siècle (calculs suivant les tables du Coast and Geodetic Survey, reprises dans NN1(1931).

On pourrait croire que ce choix d'une projection ni conforme ni équivalente est celui d'un général octogénaire, héros d'une défaite antérieure. Nullement, les instructions officielles de l'USGS données en 1928 et répétées en 1964 recommandent son utilisation dans les régions de faible latitude, pour des surfaces de moins d'un degré carré, à cause de la facilité de sa construction géométrique.

« (...) in actual practice on projections of small quadrangles, the parallels are not drawn as arc of circles, but their intersection with the meridians are

plotted from the computed x and y values, and the sections of the parallels between adjacent meridians are drawn as straight lines. In polyconic projections of quadrangles of 1° or smaller, meridians may be drawn as straight lines (...) (Beaman, 1928, in Snyder, 1987) ».

Des arguments identiques ont été utilisés par A. Delporte pour justifier l'utilisation de la projection de Mercator!

Toujours est-il que c'est apparemment cette propriété de la projection polyconique qui a donné lieu, pendant les années '20 et '30, à une « projection rectilinéaire de campagne », recommandée par le Ministère des Colonies (NN1, 1931) en vue de l'élaboration de cartes rudimentaires et schémas topographiques au 1/200.000^e de faible étendue (idéalement < 40'). Parallèles et méridiens y sont assimilés à des lignes droites, mais la figure est trapézoïdale ; sa confection nécessite l'emploi de tables fournies par le Ministère des Colonies (NN1, 1931). On peut supposer que le positionnement s'effectue en (φ , λ) (les utilisateurs étaient donc des maîtres en règle de trois) et que les cartes sont « calées » à l'aide de deux points astronomiques.

Un certain nombre de cartes au 1/100.000^e du C.S.K. ont, semble-t-il, été établies selon ce principe (région de Dilolo notamment).

A partir des années '30, la projection cylindrique conforme de Gauss (= Gauss-Krueger = Mercator transverse), en fuseaux étroits, a été employée à la fois en géodésie (calculs « dans le plan de la projection ») et en cartographie pour les échelles supérieures au 1/200.000^e jusqu'aux cartes cadastrales (1/20.000^e jusqu'à 1/2.000^e). Les fuseaux ont 2 degrés d'amplitude ; deux fuseaux voisins ont une bande de recouvrement ; les méridiens pairs sont centraux ; les parallèles centraux et les fausses origines varient selon la zone cartographiée (au Katanga : méridien pair/9°S, $X_0=200.000$, $Y_0=500.000$); le facteur d'échelle est 0.9999 (0.9995 dans certaines régions, 1.0 dans d'autres, pour les travaux anciens < 1949).

L'Institut géographique du Congo a utilisé la projection UTM à partir de ca. 1950 pour les cartes régulières par degré carré au 1/200.000^e, par quart de degré carré au 1/100.000^e et 1/16 de degré carré au 1/50.000^e, ainsi que les stéréominutes (= résultat de la restitution simplifiée au 1/50.000 des photographies aériennes).

Pour la carte générale du Katanga et les cartes au 1/200.000^e par degré carré, le C.S.K. a adopté la projection conique conforme de Lambert à deux parallèles fondamentaux (6°30' S et 11°30'S), méridien central 26°E (départ des coordonnées XY : 26°E, 9°S, $X_0=500.000$, $Y_0=500.000$). Pour les cartes C.S.K. à plus grande échelle et les cartes cadastrales, il a été fait usage de la projection de Gauss (« Gauss Katanga »), paramétrée comme ci-dessus ; les cartes de l'Union minière sont dans le même cas.

On trouvera en table 2 les paramètres de projection utilisés au Congo.

Références.

NN1, 1931. Instructions concernant les levés de reconnaissance. Ministère des Colonies, Service cartographique. Inst. Cartogr. militaire, Bruxelles. 150 pp et planches. Rééditions en 1946 et 1954.

NN2, 1937. Note concernant le réseau géodésique et son rôle dans l'établissement des plans cadastraux et miniers. Inst. Cartogr. Militaire, Bruxelles, 10 pp

CABRA A., 1905. Manuel d'astronomie, de géodésie et de cartographie pratiques à l'usage des officiers et des explorateurs de l'Etat Indépendant du Congo et des colonies. Imp. F. Vanbuggenhout, Bruxelles. 186pp.

COETZ G., 1954. Quelques particularités des méthodes de calcul en usage à l'Institut géographique du Congo. Inst. Géogr. Congo belge (Géodésie et Topographie), 23pp.

DE SMET J., non daté. La cartographie officielle en Belgique. Inst. Géogr. Nat. Belgique, inédit. 13pp + cartes.

DELPORTE A., 1889. Astronomie et Cartographie pratiques à l'usage des explorateurs de l'Afrique. A. Manceaux, Bruxelles, 131pp.

DROOGMANS H., 1901. Notices sur le Bas-Congo. Imprimerie Vanbuggenhout, Bruxelles, 301pp.

GILLIARD A., 1953. Cartographie congolaise. Inst. Roy. Col. Belge, Sect. Sc. Tech. Mémoires in-8°, IX, 1, pp 1-59.

IGCB, 1953. Triangulation du Kasai. Inst. Géogr. Congo belge, 24 pp + annexes + cartes.

IGCB, 1954. Triangulation du Kasai. Inst. Géogr. Congo belge, 24 pp + annexes + cartes.

IGCB, 1955. Canevas général triangulé dans l'est de la colonie, 1^e partie, triangulation du nord-est, planimétrie. Inst. Géogr. Congo belge (Géodésie et Topographie), 100 pp + cartes.

IGCB, 1958. Déterminations astronomiques à but cartographique. Résultats 1938-1940, 1952-1957. Inst. Géogr. Congo belge (Géodésie et Topographie), 83 pp + 1 carte.

IGCB, 1956. Aperçu sur le canevas planimétrique général du Congo belge. Inst. Géogr. Congo belge (Géodésie et Topographie), 17pp + carte.

IGCB, 1962. Déterminations astronomiques à but cartographique. Résultats 1958-1960. Inst. Géogr. Congo belge (Géodésie et Topographie), 39 pp + 1 carte.

MARCHAL J., 1996. L'Etat libre du Congo : paradis perdu. Ed. Paula Belling., 396+429pp.

LEMAIRE Ch., 1906. Note sur la Cartographie astronomique au Congo. Soc. Belge des Ingénieurs et des Industriels. Imp. Lesigne, Bruxelles. 30pp

LETROYE A., 1954. Notice de la carte géodésique du Congo belge et de Ruanda-Urundi. Inst. Roy. Col. Belge, Atlas général du Congo, 8pp + carte.

MEEX P., 1962. L'Arc congolais du 6^e parallèle sud. Du Lac Tanganika à l'Océan Atlantique, compensation et résultats. Inst. Géogr. Congo belge (Géodésie et Topographie), 45pp + cartes.

MEEX P., 1968. Le canevas planimétrique du Kivu-Maniema. Rép. Dem. Congo, Off. nat. Rech. et développ., Sec. Sc. nat., 140pp + cartes.

MEEX P., 1997. Historique du réseau triangulé au Congo belge/Zaire. Bull. Séances Acad. r. sci. Outre-Mer, Bruxelles, 43, 193-215.

MAURY, J., 1930. Triangulation du Katanga. Inst. Roy. Col. Belge, Sect. Sc. Tech. Mémoires in-4°, I, 1, pp 1-139.

MAURY, J., 1934. Triangulation du Congo oriental. Inst. Roy. Col. Belge, Sect. Sc. Tech. Mémoires in-4°, I, 3, pp 1-177.

MAURY, J., 1939. Triangulation du Bas-Congo. Inst. Roy. Col. Belge, Sect. Sc. Tech. Mémoires in-4°, II, 5, pp 1-41.

MUGNIER, C.J. (div.). Angola, Burundi, Congo R.D., Congo R.P., Kenya. <http://www.asprs.org/Grids-Datums.html>

NGA. <http://earth-info.nga.mil/GandG/publications/tm8358.1/tr83581b.html#ZZ20>

PAHAUT R., 1950. Notes sur l'emploi géodésique des projections conformes ; sur la projection conforme de Gauss utilisée au Congo. Inst. roy. col. belge, Sect. Sc. Tech. Mémoires in-4°, V, 21, pp 1-130.

PAUWEN L., 1942. Le problème de la cartographie coloniale par les méthodes de la photogrammétrie aérienne. Ciel et Terre, LVIII^e année, 9-10. pp 257-281. SNYDER J. P., 1987. Map projections – A working manual. U.S.GS. Prof. Paper 1395, 383pp

WAUTERS A.-J., 1901. Commentaires relatifs à sa Carte de l'Etat Indépendant du Congo. Mouvement géographique, 1901.

ZAKIEWICZ Th., 2005. The Cape geodetic standards and their impact on Africa. Meeting "From Pharaohs to Geoinformatics", Cairo, Egypt, April 16-21, 2005. 19 pp. (En annexe)

Table 1. Ellipsoïdes et datums utilisés au Congo et à l'entour.

Ellipsoïdes	a	b	1/f	Source
Clarke 1866	6378206,4	6356583,8	294,9786982	(1)
Clarke 1866 Katanga*	6378206,4	6355583,8	294,98	(2)
Clarke 1880	6378249,1	6356514,9	293,464671	(1)
Clarke 1880 RGS	6378249,145	6356514,87	293,465	(4)
Clarke 1880 IGNF	6378249,2	6356515	293,4660213	(4)
Clarke 1880 SGA	6378249,2	6356515	293,4660213	(4)
Clarke 1880 Modified ou Arc	6378249,145	6356514,966	293,4663023	(5)
Clarke 1880 Kivu, BC**	6378249,144	6356514,869	293,465	(3)
GRS80 ~ WGS84	6378137	6356752,314	298,2572221	(4)
Sphère (e.g.)	6370997	6370997	s.o.	(6)
Bessel (1841)	6377397,15	6356079	299,1528	(12)
Delambre	6376989	6356324,745	308,6	(7)
Hayford (1909) = Int. (1924)	6378388	6356911,946	297	(1)

En gras: valeurs utilisées pour le calcul de b ou de 1/f.

* Erreur (coquille?) sur b.

** a=20926202' x 0,3047972m

Datums (Transfo. -> WGS84)	dX	dY	dZ Ellipsoïde	Source
Arc 50 Cape	-136	-108	-292 Cl1880m	(4)
Arc 50 Mean solution	-143	-90	-294 Cl1880m	(4)
Arc 50 Burundi	-153	-5	-292 Cl1880m	(4)
Arc 50 Zaire	-169	-19	-278 Cl1880m	(4)
Arc 60 Mean Kenya-Tanzania	-160	-6	-302 Cl1880m	(8)
IGC Lubumbashi	-103,75	-9,614	-255,95 Cl1866	(11)
Congo (+NW Angola) Yella	-93,28	-164,11	-169,02 Cl1880m	(9)
IGC Kinshasa	-91,1	-128,7	-148,81 Cl1880m	(11)
RPCongo Pointe Noire (1948)	-148	51	-291 Cl1880m	(10)
Clarke 1880 centré	0	0	0 Cl1880m	
WGS84	0	0	0 GRS80	

(1) Snyder, 1987.

(2) Maury, 1930, p22

(3) Maury, 1934, p25

(4) <http://earth-info.nga.mil/GandG/publications/tm8358.1/tr83581b.html#ZZ20>

(5) Zakiewich, 2005.

(6) PCIGeomatics ... Ellipsoids.txt

(7) http://nl.wikipedia.org/wiki/Jean-Baptiste_Joseph_Delambre

(8) Mugnier (Kenya)

(9) Mugnier (Angola)

(10) Mugnier (Congo RP)

(11) Van den Herrewegen, 2006)

(12) Droogmans, 1901, III.

Table 2. Utilisation géodésique et cartographique.

Utilisation	Projection	Mérid. Centr.	1r parall./origine	2e par.	Xo/1000	Yo/1000	Fact. éch.	Ellips.	Datum conv	Rem.
Géodésie										
Travaux IGCB	GK	P(air)	0		500	10000	0,9999	B	D (Ouest) ou C (Est)	Gauss-Krueger ou Mercator transverse Lambert conique conforme
Travaux CSK	LCC	26	-6,5/9	-11,5	500	500	s.o.	A	F	Gauss Katanga
Travaux CSK	GK	P	-9		200	500	1	A B	F	
Travaux CFL/MGL	GK	P	0		220	565	1	(B1)		Système Maury
Cartographie										
Nationale actuelle (500k-2500k)	MER	s.o.	5	-5	s.o.	s.o.	s.o.	I		Mercator Cartes et stéréominutes au 50k, réductions au 100k et 200k, agrandissements au 20k.
Régulière (50k-200k)(>1949)	UTM							I		Cartes "officielles" de la Colonie, 2000k et ses réductions à 3000k et 5000k (Atlas général)
Nationale (<1952)	PC	22	0		s.o.	s.o.	s.o.	A		Plate carrée
Schémas	Geo	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.		
Régionale										
Provinces (>1952)	MER		5	-5	s.o.	s.o.	s.o.	B		
Territoires (>1952)	PC	P	0		s.o.	s.o.	s.o.	B		La "projection linéaire de campagne" n'est en réalité pas une projection ("plate trapézoïdale")
Travaux de reconnaissance (<1940)	LC	M(édian)	M		0	0	1	B B		
Cadastrale (<1940)	GK	P	0		220	565	1	(B1)		Système Maury Assemblage "mécanique" des photos.
Photomosaïques non contrôlées IGCB	Sans									
Bas-Congo										
Matadi-océan (F13)	GK	13	-2,5		220	700	1	B	D	"F13H" in Maury 1939
Matadi-Ngungu (F14)(25K, 50K)	GK	14	0		500	10000	0,9999	B	D	
Kinshasa (F16) (20K)	GK	16	0		500	10000	0,9999	B	E	
Régulières (25K, 50K, 100K, 200K)	UTM 33	15	0		500	10000	0,9996	B	D	
Katanga										
Cadastre (CSK) et UMHK (10K, 20K)	GK	P	-9		200	500	1	A	F	Système Maury

Régulières CSK (100K, 200K)	LCC		26	-6,5/9	-11,5	500	500	s.o.	A	F	
Photoplans CSK (20K ...)	GK	P		-9		200	500	1	A	F	Système Maury
Photomosaïques CSK	LCC		26	-6,5	-11,5	500	500	s.o.	A	F	
Cadastre (<100K) (ancien: <1940)	SM	P		0		220	565	1	B (B1)		Xo et Yo à la médiane de la zone.
Kivu & NE											
Kivu, Maniema, Haut-Congo (50K, 200K)	UTM 35		27	0		500	10000	0,9996	B	C	
Haut-Congo (25K, 50K, 200K)	UTM 36		33	0		500	10000	0,9996	B	G ou C	
CNKi (500K)	PC		27,5	0	s.o.	s.o.	s.o.		B (B1)		
CFL-MGL (20K, 50K)	GK	P		0		220	565	1	B (B1)		Système Maury Lim sup et inf de zone, Xo et Yo à la médiane de la zone.
Cadastre (<100K) (ancien: <1940)	SM	M		Ls	Li	220	565	s.o.	B		
Cuvette & NW											
Régulières (25K, 50K, 100K, 200K)	UTM 35		27	0		500	10000	0,9996	B	C	
Régulières (25K, 50K, 100K, 200K)	UTM 34		21	0		500	10000	0,9996	B	H	
Kasaï											
Divers	GK	P		0		500	10000	0,9999	B	C1	Facteur d'échelle présumé
Régulières (25K, 50K, 100K, 200K)	UTM 34/35		21/27	0		500	10000	0,9996	B	C1	
Burundi											
Planim. (50K, 100K) (MRAC)	UTM 35/36		27/33	0		500	10000	0,9996	B	C	
Planim. (250K)(MRAC)	GK		30	0		500	10000	0,9999	B	C	
Topogr. (50K)(IGNF)	GK		30	0		500	10000	0,9999	B	C	
Rwanda											
Planim. (50K, 100K) (MRAC)	UTM 35/36		27/33	0		500	10000	0,9996	B	C	
Planim. (250K)(MRAC)	GK		30	0		500	10000	0,9999	B	C	
Topogr. (50K)(IGNB)	GK		30	0		500	10000	0,9999	B	C	
Topogr. (25K)(Géotechnique)	GK		30	0		500	(10)000	0,9999	B	C	Extension: 23 feuilles couvrant le Rwanda au SW de 30E/2S

The Cape Geodetic Standards and Their Impact on Africa

Tomasz ZAKIEWICZ, South Africa

Key words: standards, length measure, metre, Cape foot, 30th Meridian, Ellipsoid

SUMMARY

The Cape Geodetic Standards consist of two ten-foot iron bars, brought from England in 1839, and used by Sir Thomas Maclear, during the years 1841/42, for the verification of Lacaille's Arc of 1752. Forty years later, when Sir David Gill, having commenced the Geodetic Survey of South Africa, initiated the measurement of the Arc of the 30th Meridian, the "Cape Bar A" was still in existence and kept as a standard reference. In 1886, in Paris, the bar was standardized in terms of the international metre. However, due to the implications with the legal and international metres, it appeared later, that the results of the geodetic triangulation were computed not in English feet but in terms of the fictitious unit now called the South African Geodetic foot. This caused the reference ellipsoid to be renamed to the Modified Clarke 1880 ellipsoid. Later, as a consequence of an extension of the Cape Datum, the 1950 ARC Datum was established, giving a uniform framework of triangulation from the Cape to the Equator. Until the present, some countries, along the 30th Meridian, use the 1950 ARC Datum, thus, the Modified 1880 Clarke ellipsoid, or, its revision, the Arc 1960.

The paper gives an outline of the development of the English and metric systems, which have, without doubt, influenced the establishment of the "commercial" Cape units, used for everyday purposes, and, also, of the unit of the Geodetic Survey of South Africa. The paper describes the reference geodetic standards of this Great Survey, and produces a brief summary of the history of the measurement and computation of the Arc of the 30th Meridian. It will also focus on the Cape Datum, as well as on the 1950 Arc Datum and their influence on Africa.

WSHS 3 – Arc of the 30th Meridian Tomasz Zakiewicz WSHS 3.2 The Cape Geodetic Standards and Their Impact on Africa

From Pharaohs to Geoinformatics FIG Working Week 2005 and GSDI-8 Cairo, Egypt April 16-21, 2005

1. STANDARD UNITS OF LENGTH MEASURE

Measurement means the determination of any extent in terms of a suitable unit. Usually, it is not so significant how long a particular unit is, but it is crucial that it means the same for everybody. Therefore, measurements must be standard and all units must be accordingly related.

1.1 An outline of ancient standards of length measurement

Distance measurement was presumably expressed initially by means of paces, stone's throw, days taken to travel, etc. Pictures in Egyptian tombs, 5000 years old, show priests with wooden rods, about three metres long. Already around 1700BC, Babylonians used the length of a human foot as a unit of measurement. The Greek units of length were derived from the Egyptian and Babylonian units, which in turn were adopted by the Romans, whose measures, during the Roman Empire, originated the European systems of measurement.

1.2 Development of the English and metric systems

Two systems of measures, widely used and recognized, are the English (or Imperial) and metric. The fundamental length units of these systems are yards and metres, respectively. In England and France measures developed in rather different ways.

In the 1100's a foot of modern length, the "foot of St. Paul", was inscribed on the base of a column of St. Paul's Church in London. From 1300, at least, to the present day there appears to be little or no change in the length of the foot. Henry I (1068-1135) ordered the construction of 3-foot standards, which were called "yards", thus establishing that unit for the first time in England.

In 1824, the English Parliament legalised a new standard yard, constructed in 1758. The same law, the Act of 1824, defined relation of the metre to the English foot (Hendrikz, 1944) as: 1 Metre = 39.37079 English inches = 3.280899167 English feet Hence, 1 English foot = 0.3047945 Metre (the "Legal metre")

In France, the metric system was adopted in the 1790's, during Napoleon's time. In 1799 the metre was required by law to be used in the Paris region. At first the new metre, as a measure of length, proved confusing so Napoleon finally was forced to abandon the metric system. However, in 1837, France again went back to the metre, hoping to make it global unit.

The metre was intended to be one ten-millionth part of the distance from the North Pole to the Equator, when measured on a straight line running along the surface of the earth through Paris. It was soon found that, not only was the determination of this natural standard an extremely laborious undertaking, but the accuracy attainable was less than that possible in the comparison of material standards. Here, it must be stressed that, initially, the metre did not physically exist in a form of any bar. The "Toise of Peru" remained the national material standard in France. It was an iron bar, reconstructed from an old "Toise" standard for the measurement of the Peruvian arc in the 1730s. The law defined the length of metre, that is its relation to the "Toise of Peru", hence the adoption of the name "French Legal metre" (McCaw, 1932).

In about 1795, the French Academy of Science instructed Borda, the Guardian of Standards, to make a physical standard. Borda made two: the platinum "Metre of the Archives", and, the so called, "Module", of the length of two "Toises of Peru", being one of four "Rules", which he produced. [8] It was Borda's "Module" that was regarded as the French standard of length, not the "Metre of the Archives". Subsequently, the duplicates of the "Module" were issued to the European countries. Thus, up to 1880, the whole of Europe, except England, where a copy of the "Metre of the Archives" was kept, referred its linear standards to the "Toise of Peru".

In 1866, Colonel Clarke determined the relation of the "Toise" to the "Imperial Standard Yard", from various copies used in Europe. He arrived at the length of the metre: 1 Legal metre = 39.370432 British inches = 3.28086933 British feet Hence, 1 British foot = 0.3047972654 Legal metre.

In 1875, the International Bureau of Weights and Measures was established in Paris, and it was decided to adopt an "International metre" (McCaw, 1932). In about 1883, the sample of the metre was prepared and issued, having caused a great implication to the geodetic community in Europe, as the standard of the "International metre" was produced from the "Metre of the Archives", and not from the Borda's "Module", then in use in Europe. Definitely, *"the difference between these metres has affected the whole civilized world"*.

In 1896, Benoit and Chaney compared the new “International metre” with the British yard, and determined the relation: 1 International metre = 39.370113 inches = 3.28084275 British feet. Hence, 1 British foot = 0.3047997348 International metre.

Therefore, comparing Clarke’s and Benoit’s values, it is obvious that the “Legal metre”, determined from the “Toises”, was longer than the “International metre” in a ratio of 1.0000081: there is difference of 8 microns between these two metres.

It is to be underlined that, the history of the metre, and the metric system, with its “Legal” and “International” metres, is not as simple as it might look from the above summary – it is, in fact, very confusing. As was once observed: “*To understand thoroughly the true relations between the old standards is beyond the reach of human endeavour. To gain considerable knowledge in regard to them, the principal standards themselves must be described*” (McCaw, 1932).

1.3 Early measuring system in South Africa and an Old Dutch unit of measure

The history of the Cape Colony, thus of South Africa, goes back to 1652, when Jan van Riebeeck arrived at the Cape and the Dutch East India Company settled there. The Dutch pioneers brought their own measures, then in use in Holland. The “Rhymland rood”, comprising twelve “Rhymland feet”, remained the official unit of length in the Cape for two centuries, until 1859, when a new unit of length, the “Cape foot”, was instituted.

During the 18th century the standard of the Rhymland measure was generally regarded as the length of an iron bar, placed in a vertical position in the wall of the Courthouse at Leiden, Holland. It was deemed to be a true copy of the “Rhymland rood”, used by Willebrord Snellius for his famous survey of the triangulation chain in the 1620’s. In 1808, resolution of the King of Holland defined relation of Snellius’ rod to the “Old French Legal metre” as being: 1 Metre = 3.1852560866 Rhymland feet. Hence, 1 Rhymland rood (consisting of 12 Rhymland feet) = 3.767358 Legal metre (Hendrikz, 1944)

Thus, by comparing the ratio of the British Act of 1824 and that proclaimed in Holland in 1808, it brings, that the true Rhymland foot is equal to 1.030 British feet.

1.4 Establishment of the “Cape foot”

Between 1685 and 1800, ten Government Surveyors performed surveys in the Cape and Stellenbosch districts. In 1800, Thibault succeeded Wernich, and the latter Leiste. Their time of office overlapped and their rods were equal. However, although there was continuity in surveyors’ standard, there was no official standard. This situation led to significant discrepancies in surveys. Only in 1813, the Chief Justice of the Court brought this problem to the attention of the Governor Cradock, advising him of the differences, between old units of measure used in Cape Town, before and after 1800. The Court dictated that “*an additional of four inches to the sixty-feet measure of Mr. Thibault, was the difference, and that this difference should be observed at every resurvey of old-granted erven in Cape Town*”.

No further action occurred until, in 1844, the Surveyor-General Michell instructed his Deputy to investigate the state of the land measure of the Cape Colony. Hertzog’s findings and his proposals were partially repeated, in 1858, by the Commission, appointed by the Governor Sir George Grey “*for the purpose of ascertaining and fixing the unit of land measure in the Colony of the Cape of Good Hope*” (Report of the Commissioners, 1859).

Thibault’s two rods, each 6-foot long (intended to be a total of one “Rhymland rood”), regarded as the only standards for reference in the Cape Colony, were subjected to precise checking, at the

Astronomical Observatory. The five-member working group, under leadership of Sir Thomas Maclear, confirmed what Hertzog exposed in 1844: Although the “true Rhymland foot” was equal to 1.030 British feet, this ratio looked different in the Cape: 1 Rhymland (Cape) foot = 1.033 English feet,

Finally, in 1859, the recommendations of the Commission were lawfully declared by the Act No 9, which established the “Cape foot” - a unique, and truly South African entity, used, except Natal, in the whole country. Since then, the ratio: 1 Cape foot = 1.033 British feet was binding on all surveys, and was the legal relation between the “Cape foot” and the “British foot”. This ratio was in use for a period of over 60 years, and, in 1922 was slightly modernized, in terms of the International metre, by the “Weight and Measures Act”, No. 32.

The following table (Zakiewicz, 2004) summarises the Units of Length, as discussed above.

LEGAL METRES 1824	LEGAL METRES 1866	INT. METRES 1896	INCHES	ENG. FEET	CAPE FEET	CAPE ROODS
1	1.0000091	1.0000172	39.370 79	3.280 899 17	3.176 0884	0.264 6740
0.9999909	1	1.0000081	39.370 43	3.280 869 33	3.176 0591	0.264 6716
0.9999828	0.9999919	1	39.370 11	3.280 842 75	3.176 0339	0.264 6695
0.304 7945	0.304 7973	0.304 7997	12	1	0.968 0542	0.080 6712
0.314 8527	0.314 8556	0.314 8581	12.396	1.033	1	0.083
3.778 2326	3.778 2669	3.778 2972	148.752	12.396	12	1

2. GEODETIC STANDARDS AT THE CAPE

2.1 Sketch of the Geodetic Survey and of the Arc of the 30th Meridian

The achievement in determining ellipsoids from various arcs, and from Struve’s in particular, has, without doubt, influenced the imagination of its promoter, Sir David Gill (1843-1914). Gill’s idea was to extend a chain of triangles from the Cape to Egypt, and even further north to the Arctic Ocean. When connected with Struve’s arc, the whole arc would terminate at the North Cape, and would then have amplitude of 105° (Gill, 1896). Gill visualised this project as very important for practical as well as for scientific purposes. Soon after his appointment, as Her Majesty’s Astronomer at the Royal Observatory at the Cape of Good Hope, in 1879, Gill designed the gridiron network of trigonometrical chains to cover the then four states of South Africa. Gill intended that the chain of a triangulation, along the 30th degree of longitude, would constitute the backbone of the African Arc. To begin with the Arc took Gill a lot of effort and three years of correspondence with many governments and institutions.

In 1883 (Gill, 1896), the Geodetic Survey of South Africa, thus, the measurement of the 30th Meridian Arc, commenced, thanks to Sir David Gill, its promoter, inspirer and scientific adviser. Nine years later, in 1892, the survey of the Cape Colony and Natal, under Captain Morris, was completed. The continuous triangles were of sides averaging 50-80 km in length, with the longest line 160 km, across the Karoo. Sir Thomas Maclear’s arc, of 1841-48, 4°37’ in length, and its Zwartland base were incorporated into the scheme. Three new baselines were measured, with five iron bars (3.05m long); at Pietermaritzburg (3.3km), Port Elizabeth (5.2km) and Kimberley (4.5km).

A chain of triangulation through the Orange River Colony was still required to complete the scheme, but Gill's effort in this direction failed. To continue with an extension of the Arc further north, Gill managed to get the interest of Cecil Rhodes in this project. Between 1897 and 1901, Alexander Simms executed the triangulation of Southern Rhodesia (now Zimbabwe). Two bases, the Inseza, near Bulawayo, and Gwibi, near Salisbury (now Harare), were measured. Due to various difficulties, Simms's party was disbanded after the four years of fieldwork, during which a distance of about 4° of the Arc, almost to the Zambezi River, was measured (Gill, 1905).

Between 1902 and 1906 (Gill, 1908), Col. Morris carried out the geodetic survey of the Transvaal and Orange River Colony. Five extra baselines were established: at Belfast (19.0km), Ottoshoop (17.4km), Wepener (21.7km), Kroonstad (19.8km) and Houts River (34.0km). They were measured with the nickel-steel brass and "invar" Jäderin wires, 25m long. The steel bars, the same as previously used during the Cape-Natal Survey, were employed to measure ground standard bases (146.3m long), which were erected at every baseline, to serve as a check for the Jäderin wires, and were measured both with the wires and the steel bars.

Finally, the South African network formed a gridiron system of triangles arranged in eight circuits. From 1906 to 1907, Captain Gordon surveyed a gap of 2 degrees in the Arc, between Simms's chain in Southern Rhodesia and the newly completed triangulation in the Transvaal. The Transvaal triangulation was joined at points Pont and Dogola, and Simms's chain was connected at Standaus and Wedza. In the meantime, thanks to Gill's further effort, funds were obtained to continue Simms's chain northwards. Between 1903 and 1906, Dr Rubin carried out this work (Gill, 1933). The large difficulties, experienced by Rubin's party, were similar to that of Simms's: problems with haze and light, strong winds, lack of roads, transport and labour. In spite of these problems, Rubin managed to extend the chain of triangulation for almost 800 km; from Manyangau, in Southern Rhodesia, to Mpange, in Northern Rhodesia (now Zambia).

When Sir David Gill retired, in 1907, the Geodetic Survey of South Africa was completed, and the Arc of the 30th Meridian extended from the Cape to the southern shores of Lake Tanganyika.

Between 1908 and 1909, a section of 2 degrees in amplitude was measured in Uganda: from the Semliki baseline, at latitude 1° North, across the Equator, to latitude 1° South (Thomas, 1938). The work on the southern portion of the Arc was resumed only in 1931 (Hotine, 1934), when Major Hotine, picked up Rubin's points in Northern Rhodesia and, in 1933, brought the triangulation, through Tanganyika (now Tanzania), up to Urundi (now Burundi). Later, the Tanganyika's Survey Division continued the survey of the 400 km of the Arc (Rowe, 1938), between Kigoma and Uganda, across Urundi and Ruanda (now Rwanda). Since 1937, the Arc extended from the Cape to the Equator.

The northern segment of the African Arc began in Egypt. In 1907, the geodetic triangulation, along the Nile Valley, commenced near Cairo, and in the following years was extended southwards to Wadi Halfa. Six baselines were measured in Egypt: near the Helwan Observatory, Beni Suleiman, Assiut, Luxor, Aswan and Adindan (Union of Geodesy, 1928). In 1930, the Egyptian portion of the Arc of the 30th meridian was already completed. In the 1930's, the geodetic network was extended from Cairo to the western boundary of Egypt (Ministry of Finance, Egypt). Due to the economic crisis and poverty of Sudan, the survey of the Arc across this territory started only in 1935 (Wakefield, 1950). From Wadi Halfa, the chain followed the Nile Valley as far as Debba, where the first baseline, the Amentego base was measured. South of Debba, the Quleit baseline was chosen, and measured with specially designed apparatus, which had electrically illuminated gear for working at night, when the strong wind stopped. The Abu Qarn base was selected at the southern end of the chain, and was measured in 1952 (Munsey, 1959). In 1953, the US Air Force joined the African Arc with the European triangulation, by an electronic trilateration carried out through the Mediterranean Sea, from Greece. There was also an alternate connection, of the African and European geodetic networks, through the Middle East. The entire African Arc was now completed, except the 1000 km gap between the Abu Qarn base, in Sudan, and the Semliki base, in Uganda. From 1952 to 1954, the United States Army Map Service closed this difficult gap. The Luluba, Kwidok and Ayod baselines were then measured (Mills, 1955). On the night of 27 January 1954, Sir David Gill's dream of having a continuous meridian Arc, extending from the Cape to Cairo, and probably even to the North Cape, became a reality (Zakiewicz, 1997).

2.2 The Standard of the Geodetic Survey

In 1752, Abbe de Lacaille performed the first measurement of an arc of the meridian in the Southern Hemisphere, at the Cape. Lacaille's base (12.6 km long) was surveyed by means of four iron tipped wooden rods, compared with the iron standard rod, which he brought from France (Smith, 2001). In 1841-1848, Sir Thomas Maclear undertook the verification and extension of Lacaille's arc, and proved that, contrary to Lacaille's result, both hemispheres were equal in shape, as Newton had predicted (Maclear, 1866).

When Maclear started the verification survey, he did not have any standard of length at his disposal, because, as already noted, no such standard was in existence in the Cape Colony at that time. In 1838, authority was given in England, on the recommendation of Sir George Airy, Astronomer Royal, for the construction of "*two iron 10-feet bars, similar in size and general arrangement to those used by Colonel Colby, for reference in his measure of the base near Lough Foyle, in Ireland*". The bars were produced by Messrs Troughton & Simms and compared with the Astronomical Society's standard. They were sent to Maclear in July 1839.

Quoting Maclear's words (Maclear, 1866): "*These bars being alike, a description of one will serve for both. Bar B is wrought iron,*

122.22 inches long, 1.46 inch broad, and 2.6 inches deep, supported at one-fourth and three-fourth of its length on brass rollers, secured to the bottom of its wooden enclosing box, and prevented from moving longitudinally by a pin attached to the box, which enters a small hole

in the centre of the under surface of the bar. At each end, about 2 inches in length and 1.3 inches in depth, are cut away, leaving surfaces which are supposed to coincide with the neutral axis of the bar: into each of these surfaces a gold pin is inserted, to carry the punctures or dots, meant to define the length of ten feet of the British Imperial Standard. A spirit level, in length about 9.5 inches, is attached to the middle of the upper surface of the bar by adjusting screws....At each end, about two inches of the bar, projects through a hole in the case, for the purpose of exposing the dots to the microscopes. A brass ring surrounds the hole, to which a cylindrical brass cap screws on when the bar is not in use."

In 1840-41, during the measurement of the 13km long Zwarland base, the "Standard Bar B" was used, in the field, for comparison with the Colby compensation bars, lent by the British authorities. ("Bar A" was left at the Observatory). In 1842, the "Standard Bar B" and the compensation bars were returned to England. Then, Bar B was calibrated against the British standards.

Sir Gill commenced the "Geodetic Survey" forty years after Maclear's measurements. "Cape Bar A" was still kept at the Cape Observatory as a standard reference. Gills provides another description of the "Cape Standard Bar A" (Gill, 1896): *"This standard, which was used by Sir T. Maclear, is a rectangular iron bar 64.5 millimetres deep and 38 millimetres broad. For a distance of 50 millimetres from its extremities it is cut down to half its height, exposing two plane rectangular surfaces coincident with the neutral axis of the bar. In the centre of each of these surfaces is embedded a circular surface of gold and upon each circular surface is a small dot."*

Hence, during Maclear's survey, the length of the standard bar was deemed to be the distance between two dots in small surrounded round surfaces of gold. However, Gill was not satisfied with the accuracy he obtained, while comparing the "Standard Bar A" with the bars of the newly acquired Troughton and Simms base-measuring apparatus. He was of the opinion that the centres of two dots of the bar, between which the original standard was defined, were difficult to recognise. Therefore, in 1884, he brought the bar to England and requested *"Messrs. Troughton and Simms to engrave a fine line beside each dot; the distance between the centres of these lines represents the present standard"* (Gill, 1896).

In August and October 1886, Benoit performed standardisation work, at the International Bureau at Sevres, near Paris, and produced results in the "International metres". Hendrikz's findings proved that there was no difference, between the provisional, of 1883, and final, of 1888 (Rüther, 1977), version of the prototype of the "International metre", and, hence, that the "Cape Standard Bar A" was standardised in terms of the "real" International metre.

To conclude, it must be observed, with great satisfaction, that, at present, the 167 years old "Cape Standard Bar A", the monument of the Geodetic Survey of South Africa, is still in a good condition, and is preserved, for viewing, in the museum of the Chief Directorate: Surveys & Mapping, Mowbray.

2.3 Unit of length of the Geodetic Survey

As described above, the “Cape Bar A” was standardised in terms of the “International metre”. Thus, in turn, all the lengths of the base measuring bars and, consequently, all the geodetic baselines, were expressed in terms of this unit. In order to reduce his results, and define them in English units, Gill used Clarke’s 1866 ratio, the only metre-foot ratio available at that time. However, because Clarke’s relation connected the British foot with the ”legal metre”, instead of the ”international metre”, the metric lengths of the Cape standards could not be converted to British feet. This confusion caused the introduction of the untrue unit (McCaw, 1939), named the “South African Geodetic foot” (S.A.G. foot). Therefore, all results, which were published in feet, in the Report on the Geodetic Survey of South Africa, were expressed in S.A.G. feet (Hendrikz, 1944).

The following ratio connects the “South African Geodetic foot” with the “International metre”: 1 S.A.G. foot = 1 Int. metre : 3.28086933 (*Clarke*) = 0.3047972654 International metre

Another relations can be stated: 1 British foot = 3.28086933 S.A.G. feet : 3.28084275 (*Benoit*) = 1.00000810158 S.A.G. feet 1 S.A.G. foot = 0.99999189849 British feet

At the commencement of the Geodetic Survey, Gill adopted “Clarke 1880 ellipsoid”. Because all the results of the Geodetic Survey of South Africa, including baselines, were published in the “South African Geodetic feet”, it was necessary to re-define, and rename the ellipsoid (Hendrikz, 1944). As a result, the ellipsoid became the “Modified Clarke 1880 ellipsoid”, with parameters:

a = 20926202 S.A.G. feet = 6378249.145326 International metres b = 20854895 S.A.G. feet = 6356514.966721 International metres

INT. METRES	ENG. FEET	S.A.G FEET
1	3.280 842 75	3.280 869 33
0.304 799 734 8	1	1.000 008 101 58
0.304 797 2654	0.999 991 898 49	1

The following table summarises the Geodetic Measure:

2.3.1 Reflection on the Introduction of the Geodetic Survey Unit

A chronological summary of the previous statements (Zakiewicz, 2004): 1795 - Material metre was produced (“Module” & “Metre of the Archives”) 1824 -English Parliament Act defined the ratio of the Legal metre to the English foot

1866 - Clarke found the ratio of the Legal metre to English foot (from Toise standards) 1880 - Clarke determined the parameters of his new ellipsoid 1883 - Sample of the “International metre” was produced 1883 - Geodetic Survey commenced 1886 - “Cape Bar A” was standardised by Benoit, in terms of the “International metre” 1896 - Benoit found the ratio between the “International metre” and the “English foot”

At the time of Gill, the “Cape foot”, related to the “English foot”, was a legal unit of measure, used beyond the Cape Colony as well. The “Clarke 1880 ellipsoid”, adopted by Gill at the commencement of the Geodetic Survey, was defined in “English feet”. Thus, due to circumstances, and the above facts, it seems to be justified that Gill intended to use the “English foot”, instead of the “metre”, as a unit of measure for presentation of the results of the Geodetic Survey. Yet, Gill had no option but to use Clarke’s ratio for converting “metres” to “English feet”. Of course, he could wait until a new, and accurate ratio, between the “International metre” and the “English foot” had been defined, maybe by himself – if he had had more time, and funds, or, by Benoit – if had been prepared to start his work earlier. One must bear in mind that Gill was committed to the issue of the outcome of the Geodetic Survey as soon as possible, so there was not much time left for the experiments. As a consequence, a new unit, the “S.A.G. foot” was launched.

While it is inappropriate to “blame” Gill for the “inadvertent” use of Clarke’s ratio for the reduction of the results, on the other hand, one can think that all the inconvenience caused by the introduction of an extra unit to the Geodetic Survey could have been avoided if Gill would have determined the relation of the “International metre” to the “English foot” himself

– especially, since such a possibility existed. It is certainly of interest to note that, in the 1940s, D.R. Hendrikz, from the Trigonometrical Survey Office, Mowbray, calculated the ratio, between the “International metre” and the “English foot” based, entirely, on the data delivered from the “Cape Standard Bar A” (Hendrikz, 1950). As described before, this standard bar had two sets of marks. In 1839 and in 1844, Sir George Airy determined the original distance, defined by two dots, and later, in 1886, Benoit measured the distance, in terms of the “International metre”, between lines engraved at Gill’s request.

Hendrikz measured the small distances, of about 0.2 mm, flanked by the dots and the lines, by means of the precise pillar micrometer microscope. He wrote: “... *two sets of sixty independent readings were made of ‘e’, the distance between the line and dot at the east end of the bar, and of ‘w’ the corresponding distance at the west end...The smallness of the probable error of the measurement would seem to confirm our contention that Gill was not strictly justified in stating that accurate readings to the dots cannot be made easily*”.

Hendrikz used the statistics of the previous Airy’s and Benoit’s measurements. He applied the difference (0.043mm) to Gill’s standard:

Cape Bar A (lines) =	3.04800832 Int. metres at 62°F
and obtained:	
Cape Bar A (dots) =	3.0479653 Int. metres at 62°F

Finally, Hendrikz arrived at the ratio: 1 International metre = 3.2808451 British feet, which is very close to Benoit's of 1896 (1 International metre = 3.28084275 British feet) and almost identical to Sears of 1928 (1 International metre = 3.28084558 British feet). Thus, according to his finding, the "Legal metre" is 7.4 microns longer than the "International metre", as compared to 8.1 microns from Benoit's value, and 7.2 microns from Sears.

Without doubt, Gill, scientific adviser to the Geodetic Survey, and man of genius, could have done this determination as well. If this would have happened, the somewhat confusing history of the South African measurement system would have been less complicated.

3. ADJUSTMENT OF THE ARC FOR PRACTICAL PURPOSES

3.1 The origin of the South African geodetic system

The geodetic station Buffelsfontein, situated near Port Elizabeth, was adopted as the initial point of the geodetic system - the Cape Datum. The geographical co-ordinates of Buffelsfontein were derived indirectly from the astronomical observations carried out in Port Elizabeth, during the geodetic survey of the Cape Colony. The adopted geodetic latitude of Buffelsfontein ($33^{\circ}59'32",000$ S) was the mean astronomical latitude, derived from many nearby situated astronomical stations (Gill, 1896). The centre of the Cape Transit instrument of the Royal Observatory in Cape Town is the origin of all longitudes of the system. The adopted geodetic longitude of Buffelsfontein ($25^{\circ}30'44",622$ E) was transferred from the Observatory in Cape Town. The difference of geodetic longitude, between the Cape Observatory and Buffelsfontein, was computed from the triangulation chain using the elements of the "Modified Clarke 1880 ellipsoid".

Thus, the Cape Datum defined by the parameters of the Modified Clarke 1880 ellipsoid and the initial point of the datum, Buffelsfontein, became the origin of the geodetic survey in South Africa, hence, also, the origin of the Arc of the 30th Meridian.

3.2 Local adjustments up to 1950

3.2.1 In South Africa:

The main network of the geodetic triangulation established under the direction of Gill was adjusted at the Cape Observatory. The geographical co-ordinates of the station Buffelsfontein were adopted as the origin for the computation of latitudes and longitudes of all other beacons. Maclear's triangles, which were incorporated into the geodetic circuits, were corrected and recomputed using Clarke's parameters, instead of Airy's. The adjusted values of the stations of the Cape Colony and Natal (Gill, 1986) served as a base for the adjustment of the Transvaal and Orange River Colony surveys (Gill, 1908). The stations of the two quadrilateral chains were held fixed, and only co-ordinates of the stations of the loose chains (Hanover-Kimberley and King Williams-Newcastle) were affected by the adjustment. The four baselines controlled the system originally and another five were measured during the Transvaal and Orange River Colony surveys. A number of astronomical observations were

also made. These values, however, were not used in the adjustment of the triangulation. They provided an indication of the differences of the geodetic and astronomical positions. The whole of the adjusted triangulation was geometrically harmonious, and the computed lengths of the baselines, corresponded to their measured lengths.

3.2.2 North of South Africa:

The origin of Simms's survey in Southern Rhodesia depended on the astronomical determination of the station at Salisbury (Gill, 1905). Thus, this triangulation was entirely isolated, at that time, from the rest of the geodetic survey in South Africa. Gordon connected Simms's chain with the Transvaal system. The results, based on the side Dogola-Pont, showed a difference of 8",87 in the orientation of the two systems. The latitude and longitude differences, at the common points (Standaus and Wedza), were very small (3",5 and 0",6 respectively). Gordon's connection made it possible to reduce Simms's system, together with Dr Rubin's work, to that of the geodetic survey of South Africa (Gill, 1933). Hence, the triangulation system from the Cape to Lake Tanganyika became homogeneous.

In 1946, Simms's chain and the Simms/Rubin connection were strengthened. Then, in the same year, two geodetic circuits in Southern Rhodesia were finally adjusted (Bradford, 1952). A new datum, called the Circuit Datum was instituted. The computation was based on two fixed sides, common with the South African triangulation, namely: Dogola-Pont and Dowe-Madimba. (Its co-ordinates became available after the adjustment of the Northern Transvaal geodetic network was completed in 1942). From that time, all local origin systems in Southern Rhodesia (Simms's Datum and Union Datum) were abandoned. All co-ordinates were superseded by Circuit Datum values. The triangulation in South Africa and Southern Rhodesia became uniform again.

The Uganda section of the Arc had been adjusted in Uganda. The section in Tanganyika, between latitudes 5° S and 1° S, had never been computed (Rainsford, 1955).

3.2.3 Northern Section of the Arc (Egypt, Sudan)

The origin of the Egyptian chain was the transit of Venus station on the Moqattam Hill near Cairo. For latitude, the mean discrepancy, between the astronomical and geodetic latitudes of the first eight stations, south of Cairo, was made zero. For longitude, the result obtained, in 1874, at the transit of Venus station, was adopted (it appeared later to be in error of -3",45). The Egyptian chain, between Cairo and Adindan, was adjusted in blocks. Laplace azimuths were only used for the southern section, between Aswan and Adindan. Geographical positions were computed on the Helmert ellipsoid 1906 and later recomputed on Hayford 1909 ellipsoid (Munsey, 1959).

In accordance with the recommendation of the Colonial Survey Committee, to have all African surveys based on the same ellipsoid, the Sudan portion of the Arc was computed on the "Modified 1880 Clarke ellipsoid". One of the Adindan base terminals was chosen as the origin of the Sudan part of the Arc. Its geographical co-ordinates were computed on the

Hayford 1909 figure of the earth. The longitude was corrected by the already mentioned +3",45.

3.3 1950 Arc Datum

Before the Second World War, the Arc still consisted of the two portions. The northern section of the Arc extended from Egypt southwards to latitude 10° N, in Sudan. The southern part was from the Cape to Uganda. Due to a growing numbers of surveys in the developing territories, the necessity of basing them on a rigidly adjusted framework became an urgent matter. It was, therefore, decided to adjust the Arc in two portions, one to the north and one to the south of the Equator. Already in 1937, this task was allocated to the War Office in England. As a result of an extensive correspondence with the Trigonometrical Survey Office, Mowbray, (Chief Directorate: S&M), the War Office agreed to maintain the geodetic triangulation in South Africa as fixed, so that final adjustment could not have any effect upon cadastral, topographical and engineering surveys already done in South Africa.

It was only in 1949, when the computation of the southern portion of the Arc commenced, under the direction of H F Rainsford, of the newly formed Directorate of Colonial Surveys. Prior to that, Rainsford recomputed the main triangulation in Uganda. The adjustment of the Arc was completed in December 1951. It was based on the fixed line Manyangau to Tondongwe. The junction points with the Southern Rhodesia circuits were also held fixed. In this computation, the lengths of all measured bases (Luangwa, Kate, Kasulu) were fixed, as well as the azimuth of the Uganda Arc at Kicherere (observed in 1908). All other astronomical azimuths were ignored. The 445 angles were adjusted and 98 points were fixed, on a 2000 km long chain. The misclosure on the astronomical azimuth of the line Kicherere to Karamrani was 13",95 (Rainsford, 1955).

The adjustment, carried out on the "Modified Clarke 1880 ellipsoid", established the datum known as the 1950 ARC Datum. It was done for practical purposes, to give a uniform framework of triangulation from the Cape to the Equator, to which other adjacent triangulations could be tied.

4. CONCLUSION

Due to the implications with the Legal and International metres, the metric lengths of the Cape standards were converted to a fictitious unit now termed the "South African Geodetic foot", what, subsequently, caused the reference ellipsoid to be renamed to the "Modified Clarke 1880 ellipsoid". Although all this complications could have been avoided, if Gill would have determined the relation of the International metre to the English foot himself, but, on the other hand, thanks to such circumstances, South Africa obtained, not only a superb triangulation network but also, a unique geodetic unit, which nowhere else in the world could be met.

Later extension of the Cape Datum, along the 30th Meridian, up to the Equator, established the 1950 ARC Datum, thus, also resulting in the "spread" of the "Modified Clarke 1880

ellipsoid” over the African continent. It has been noticed that, even in our time, there is confusion around the world, as to which Clarke 1880 ellipsoid is in use: either the original 1880 figure (with values specified by Clarke himself), or its South African version: the “Modified Clarke 1880 ellipsoid”. (To prevent any uncertainty in this regard, one should always refer to the ellipsoid parameters in use).

Until now, there are several African countries, which have their co-ordinate system based on the 1950 ARC Datum, and its “Modified Clarke 1880 ellipsoid”: Botswana, Burundi, Democratic Republic of Congo, Lesotho, Malawi, Swaziland, Zambia, Zimbabwe (NIMA, 1997). The Sudan portion of the Arc, while being on the Adindan Datum (NIMA, 1997), was also computed on the “Modified Clarke 1880 ellipsoid”. In Kenya and Tanzania, the 1960 Arc Datum – revision of the 1950 Arc Datum – is in force (NIMA, 1997).

The adjustment of the 30th Meridian Arc, for scientific purposes, related all the Arc data to the European Datum (Chovitz, 1956). The computation, completed in 1957, established the Extended European Datum (Corps of Engineers, US AMS). It also showed that, though the European Datum was not a suitable datum for the entire African continent, it could be adopted successfully in some countries, as it was then the case in Egypt (NIMA, 1997).

The 1950 Arc Datum was regarded as the first step to a common geodetic datum for Africa. Satellite geodesy led to the development of the global geodetic reference systems and its latest version: the well-known WGS84. In South Africa the geodetic network, based on the Cape Datum, served well for a century, and was superseded, on 1 January 1999, by the Hartebeesthoek94 Datum, based on the World Geodetic System 1984 ellipsoid. The AFREF project has been already initiated in order to unify all the geodetic datums in Africa and to create a uniform co-ordinate system, positioned on the International Reference Frame (ITRF). It is well advanced, especially for the Sub-Saharan region, comprising of the Southern African Development Community (SADC) countries and Madagascar. However, until the long desired aim, to implement a common, geocentric datum, has been finally achieved, the “remains” of the Cape geodetic standards will still be visible in the Africa.

NOTE

This paper should be regarded as a short version of the author’s two previous papers, listed in the “References”.

REFERENCES

Bradford, J.E.S., Gauld, A.C., (1952): The Geodetic Triangulation and Trigonometrical Survey of Southern Rhodesia 1897 - 1952, Salisbury. Chief Directorate: Surveys and Mapping: Correspondence Files, GD 9 Vol. 1, GI/5 Vol. 1. Chovitz, B., Fischer, I., (1956): A New Determination of the Figure of the Earth from Arcs. Transactions, American Geophysical Union, 37(5), October 1956, pp 534 - 545. Corps of Engineers, US Army Map Service: African Arc of the 30th Meridian Adjustment 1957, Washington.

Gill, David., (1896): Report on the Geodetic Survey of South Africa, Vol. 1, Cape Town. Gill, Sir David., (1905): Geodetic Survey of South Africa, Vol. 3, Cape Town. Gill, Sir David., (1908): Geodetic Survey of South Africa, Vol. 5, London. Gill, Sir David., Rubin, Dr. T., (1933): Geodetic Survey of South Africa, Vol. 6, London. Hendrikz, D.R., (1944): Special Publication No. 2, South African Units of Length and Area, Department of Lands. Hendrikz, D.R., (1950): The Cape Bar" A" and the Metre-Foot Relation, ESR, Vol. 10(75). Hotine, M., (1934): The Lay-out of the East African Arc, ESR, 2(12), pp 357 - 367. Hotine, M., (1934): The East African Arc, Empire Survey Review, 2(14), pp 472 - 484. Maclear, Sir Thomas., (1866): Verification and Extension of La Caille's Arc of Meridian. McCaw, G.T., (1932): Standards of Length in Question, Empire Survey Review, Vol. 1(6). McCaw, G.T., (1939): The Two Metres: The Story of an African Foot, ESR, Vol. 5(32). Mills, D.L., (1955): The African Arc of the 30th Meridian: Completion of the Triangulation. Commonwealth Survey Officers' Conference, Paper No. 19, Cambridge. Ministry of Finance, Egypt: Reports on the Work of the Survey Department in 1907, 1908, 1909, 1910, 1911, 1912, Cairo. Ministry of Finance, Egypt: Reports on the Work of the Survey of Egypt 1927-28, 1928-29, 1929-30, 1930-31, 1931-32, 1932-33, Cairo. Munsey, D.F., (1959): First and Second Order Triangulation 1943-52, Sudan Survey Department, Records, Vol. 1, London. National Imagery and Mapping Agency NIMA, (1997): Department of Defense World Geodetic System 1984, Its Definition and Relationships with Local Geodetic Systems, Technical Report TR8350.2. Rainsford, H.F. (1955): The African Arc of the 30th Meridian. Conference of Commonwealth Survey Officers 1951, Report of Proceedings, Paper No. 6, London, pp 49 - 59. Report of the Commissioners, (1859): Unit of Land Measure Within the Colony and of Providing for its Uniform Adoption in Future, Cape Town. Rowe, H.P., (1938): Annual Report 1937 of the Survey Division, Tanganyika Territory Department of Lands and Mines, Dar Es Salaam. Rüther, H., (1977): A Note on the S. African Units of Length and Their Relation to the Metre, The S.A. Survey Journal, Vol.16, No. 96. Smith, J.R., (2001): LaCaille- French Astronomer and Geodesist, Consas, Cape Town. Thomas, H.B., Spencer, A.E., (1938): A History of Uganda Land and Surveys. Government Press, Uganda. Union of Geodesy and Geophysics., (1928): Summary of the Progress of Geodesy in Egypt 1924 - 1927, Report presented at Prague in 1927, Cairo. Wakefield, R.C., and Munsey, D.F., (1950): The Arc of the Thirtieth Meridian Between the Egyptian Frontier and Latitude 13°45', 1935-1940. Sudan Survey Department, Vol. 1. Zakiewicz, T., (1997): The African Arc of the 30th Meridian, Paper presented at Consas. Zakiewicz, T., (2004): Units of Length Measure and Geodetic Standards at the Cape 1812 1913, History of Surveying and Land Tenure: Collected Papers, Vol.2, The Institute of Professional Land Surveyors and Geomaticians of the Western Cape.

BIOGRAPHICAL NOTES

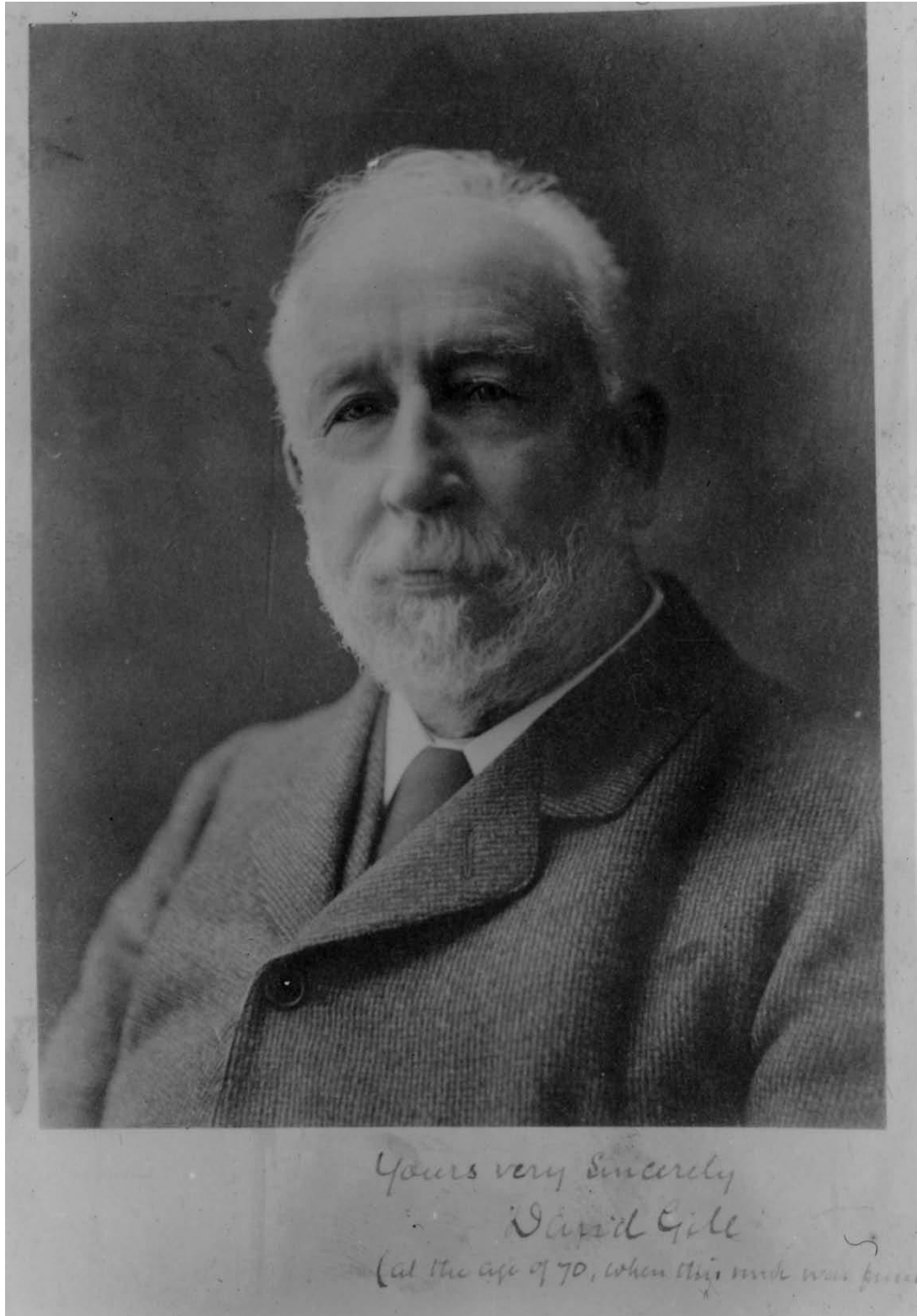
Tomasz Zakiewcz, born in Warsaw, Poland, graduated from the Faculty of Geodesy and Cartography, of the Technical University in Warsaw, in 1971. In 1975, after three years with the government enterprise in Warsaw, he went to Libya, where he worked for six years in the “Polish Consulting Engineers – Polservice Company”, engaged on various engineering, topographical and cadastral surveys. In 1982 he emigrated to South Africa, and, in 1987, was registered, with the South African Council for Professional and Technical Surveyors (PLATO), as a Professional Land Surveyor. He is a public servant, with 23 years of service. Previously with the Departments of Water Affairs (Dam Deflection Division) and Development Aid, in January 1990 he joined the Chief Directorate: Surveys and Mapping, Mowbray, a component of the Department of Land Affairs, where he holds a position of the Deputy Chief Land Surveyor, in the Directorate of Spatial Information and Professional Support. Besides the technical aspect of his daily activities, he has keen interest on the history of surveying in Africa, particularly in South Africa. He has presented two papers on the topics connected to the Geodetic Survey in South Africa, one of them being “The African Arc of the 30th Meridian” (Consas 97).

CONTACTS

Mr. Tomasz Zakiewicz The Chief Directorate of Surveys and Mapping, Department of Land Affairs
Van der Steer Building Rhodes Avenue Private Bag X10 7705 Mowbray SOUTH AFRICA Tel.
+27 (0) 21 658 4300 Fax +27 (0) 21 689 1351 Email: tzakiewicz@sli.wcape.gov.za Web site:
<http://w3sli.wcape.gov.za>

WSHS 3 – Arc of the 30th Meridian Tomasz Zakiewicz WSHS 3.2 The Cape Geodetic Standards and Their Impact on Africa

From Pharaohs to Geoinformatics FIG Working Week 2005 and GSDI-8 Cairo, Egypt April 16-21, 2005



From Pharaohs to Geoinformatics FIG Working Week 2005 and GSDI-8 Cairo, Egypt April 16-21, 2005

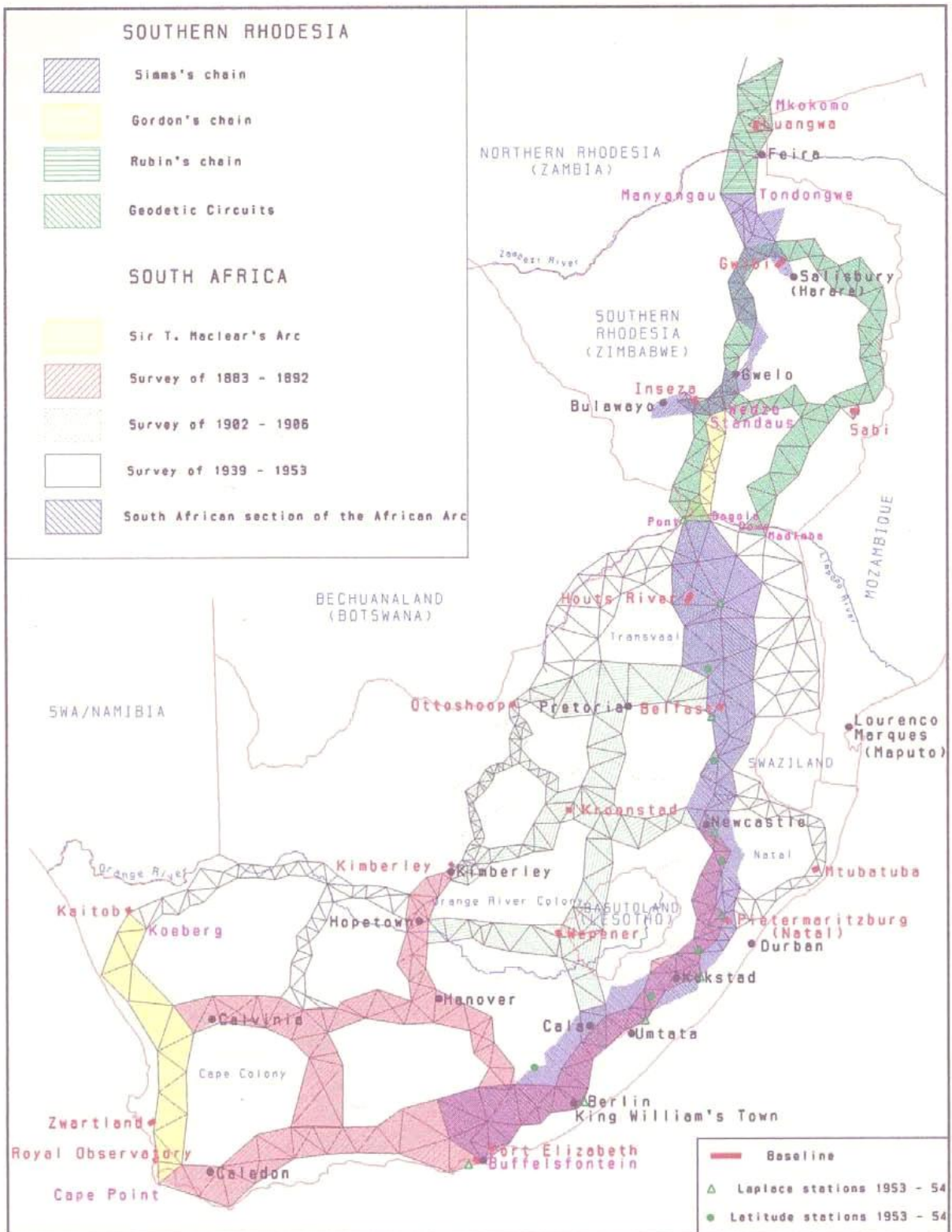


Figure 2. Geodetic Triangulation in Southern Africa

From Pharaohs to Geoinformatics FIG Working Week 2005 and GSDI-8 Cairo, Egypt April 16-21, 2005

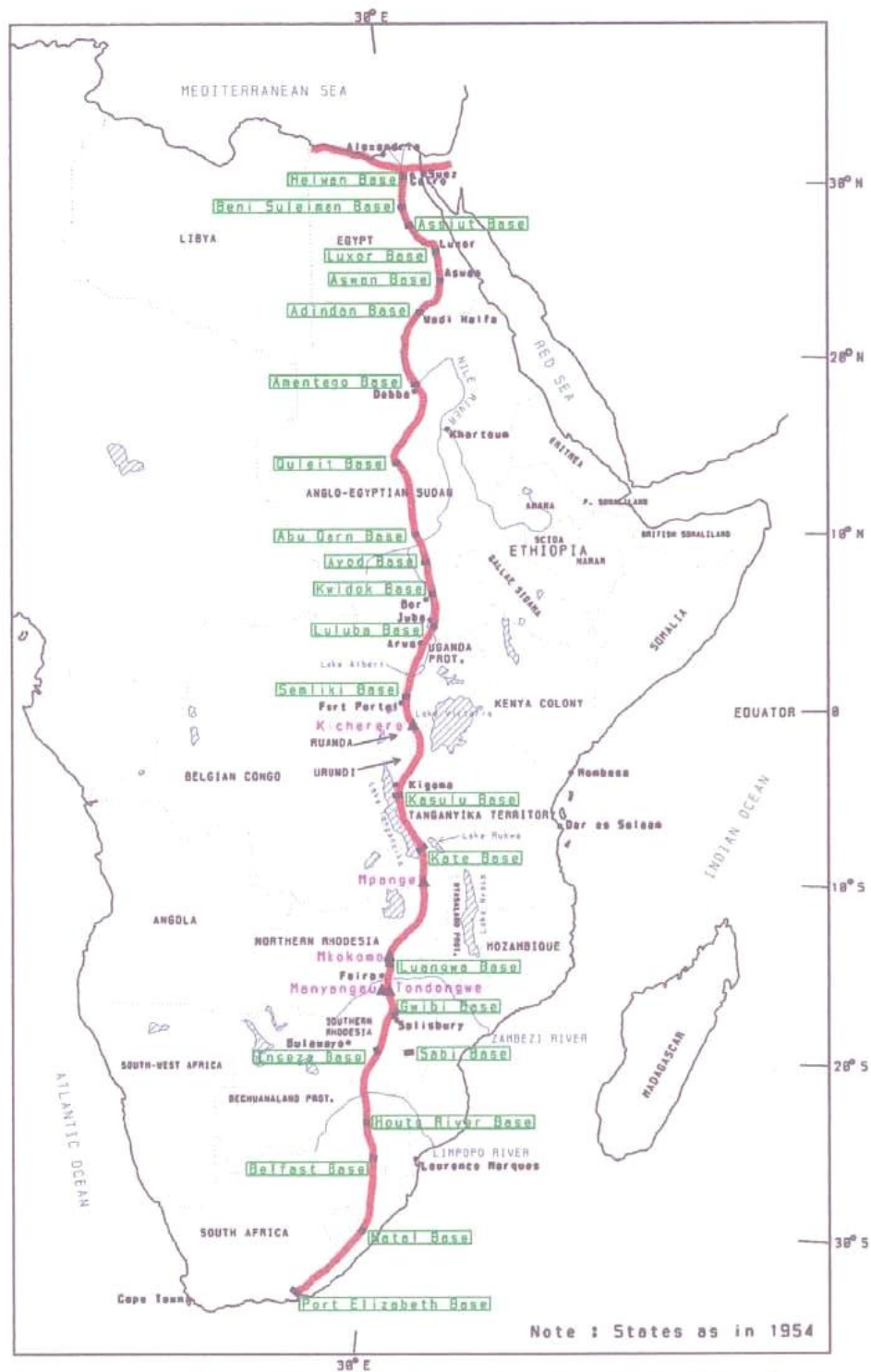


Figure 3. The African Arc of the 30th Meridian (1883 - 1954)

Approx. Scale 1:35 000 000
 1cm = 350km

From Pharaohs to Geoinformatics FIG Working Week 2005 and GSDI-8 Cairo, Egypt April 16-21, 2005