
L'Égypte et les projections cartographiques

De Bonaparte au GPS, 20 ans d'enquête

Nelly Martin

LE PRINTEMPS DES CARTES - MONTMORILLON - 4 MAI 2019

Une enquête sur la cartographie égyptienne... 1996-2018

- Menée par :
 - Nelly Martin, ingénieure d'études CNRS, Migrinter UMR 7301, Poitiers
 - Cécile Shaalan, ingénieure d'études CNRS, CEAlex USR 3134, Alexandrie
 - Pierre Brial, Géomètre-Expert, La Réunion
- Avec la contribution de l'ESGT (Ecole Supérieure des Géomètres et Topographes), Le Mans

Plan de la présentation

- Contexte de l'étude : les fouilles à Alexandrie
- De nombreuses cartes, de nombreux systèmes...
 - Une carte historique dressée lors de l'expédition en Égypte de Bonaparte
 - Les systèmes utilisés par le service de cartographie égyptien de 1898 à nos jours
 - Des cartes en français ou ... en russe !
- Le système GPS
 - Transformations nécessaires pour intégrer les mesures GPS au système national égyptien

Le Centre d'Études Alexandrines – USR 3134

Le CEAlex

- Créé en 1990
- Étudie l'histoire d'Alexandrie à travers tous les documents qui illustrent son destin exceptionnel
- Fouilles archéologiques terrestres et sous-marines, vestiges de surface, archives, cartes anciennes, textes d'auteurs antiques et récits de voyageurs alimentent l'ensemble de ces recherches.



CEAlex



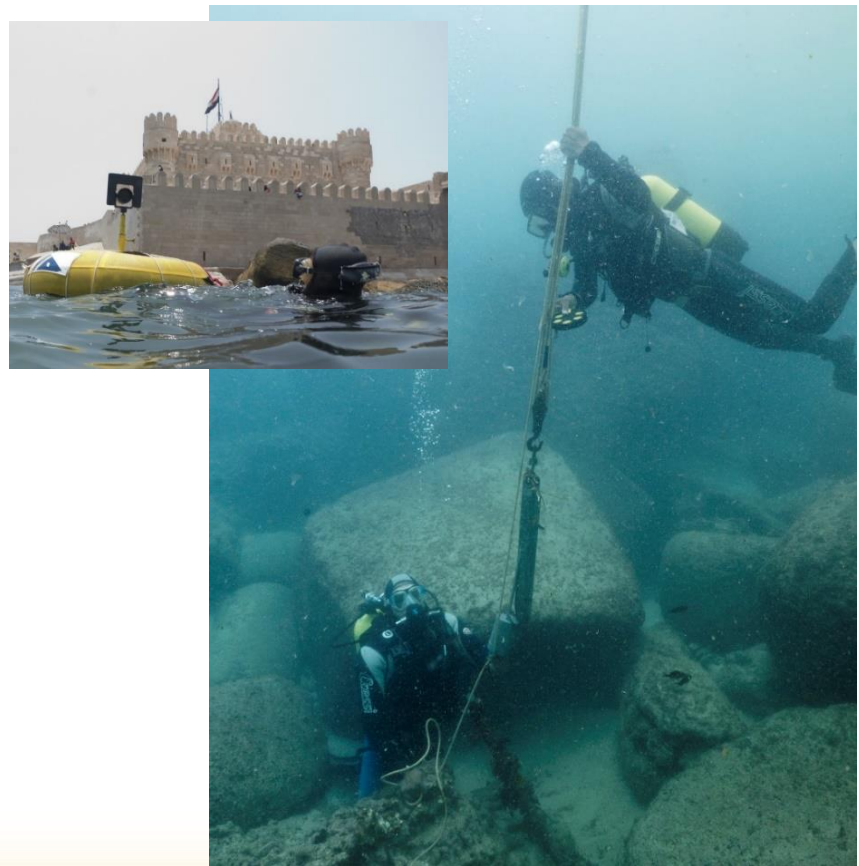
D'après carte MOM

Les fouilles archéologiques

- Terrestres
 - Ancien théâtre du Diana (1994-1997)



- Sous-marines
 - à l'Est du fort Qaitbay (depuis 1994)



La fouille de la Nécropole

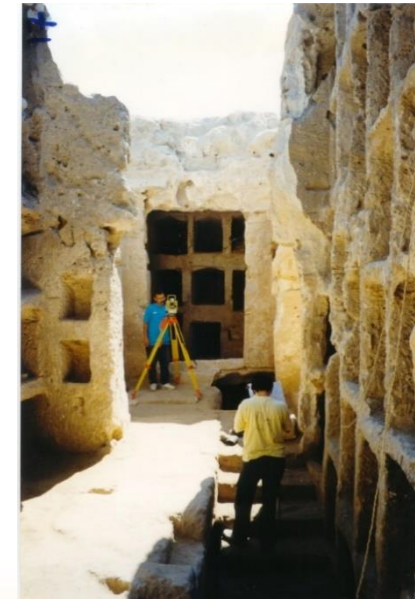
- Quartier périphérique de Gabbari (1997-2000)



Photo : S. Compoint

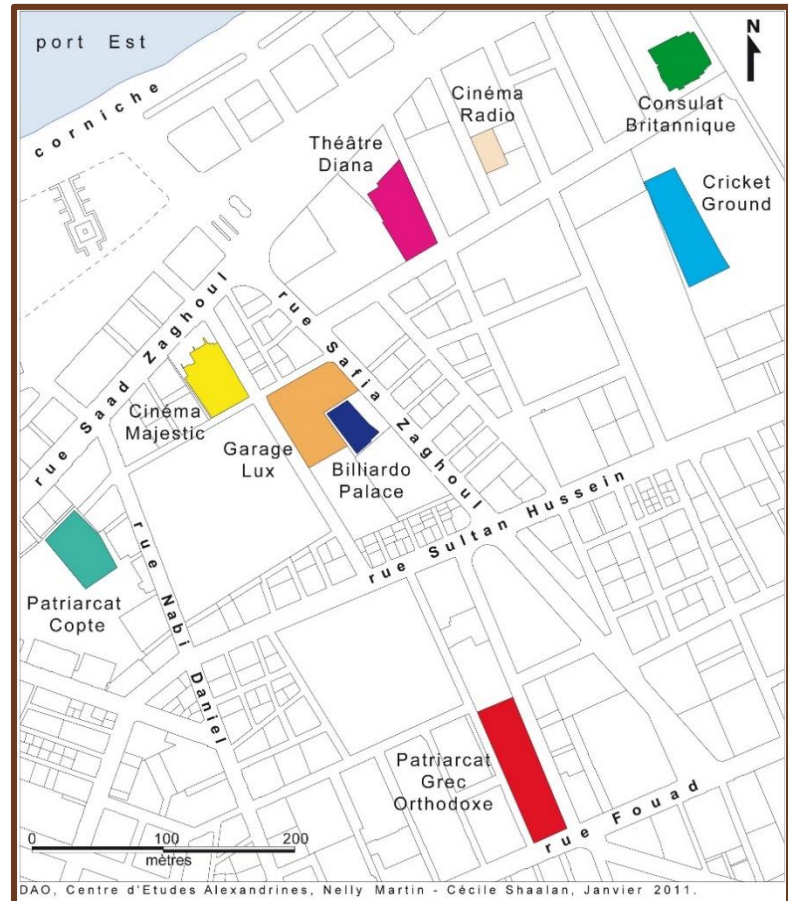
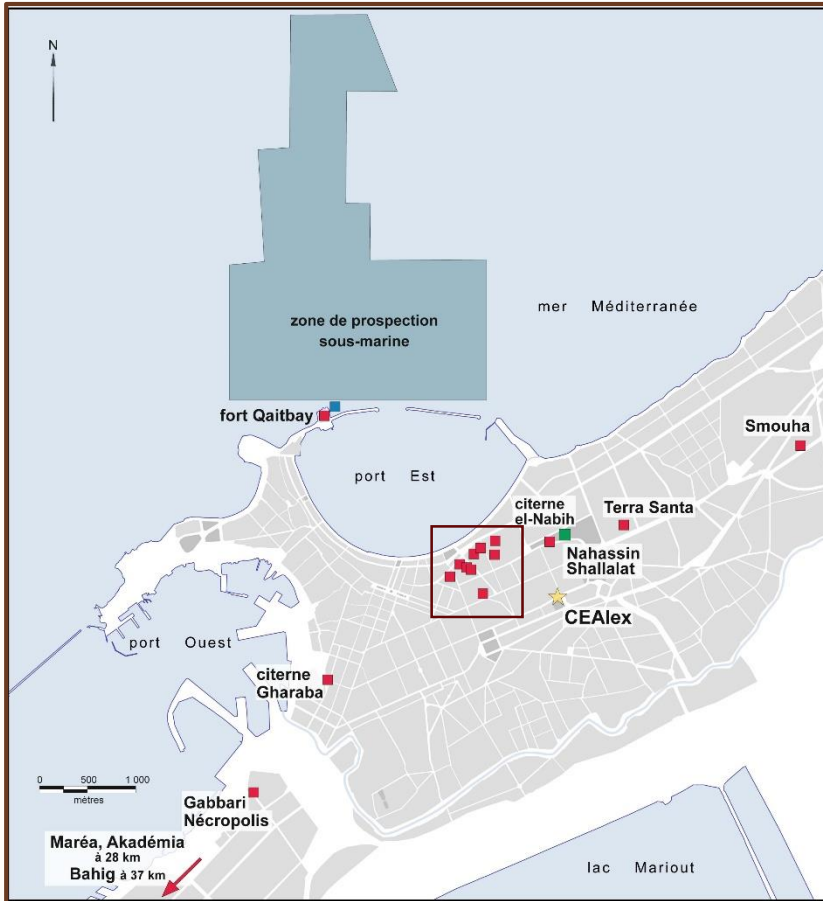


Plan des tombes souterraines



CEAlex

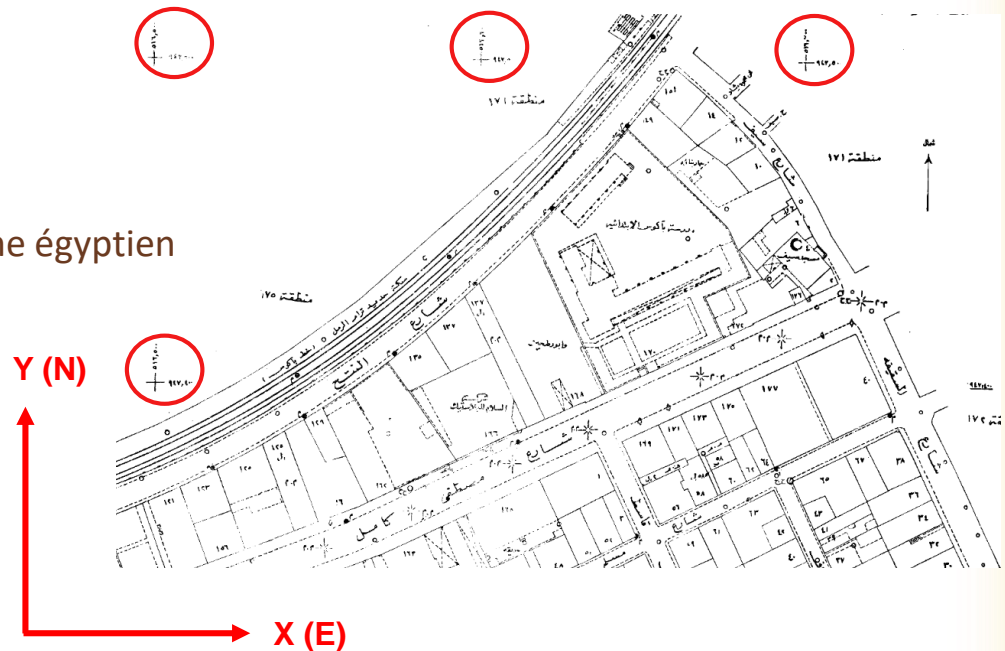
Géoréférencement des fouilles archéologiques, mais aussi plans, relevés, études, informations...



Numérisation du cadastre (1995-1998)

- Source : plan cadastral d'Alexandrie (1933-1950)
 - Echelles 1/500 et 1/1000
 - 850 planches
- Méthode : digitalisation
 - Bâti et parcelles
- Résultat
 - Plan géoréférencé dans le système égyptien

X = 514 800 m
Y = 943 600 m



31°E 30°N
Eo = 615 km
No = 810 km

Source « Cartographie de l'Égypte », J.-L. Arnaud (1989)



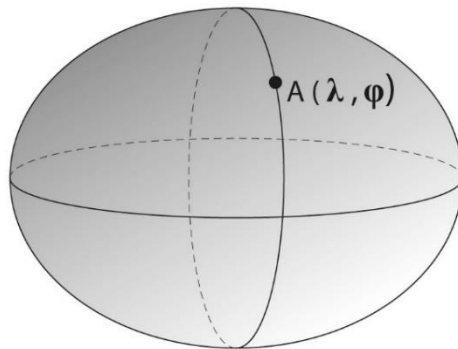
Systeme de projection cartographique

Coordonnées géographiques (degrés)

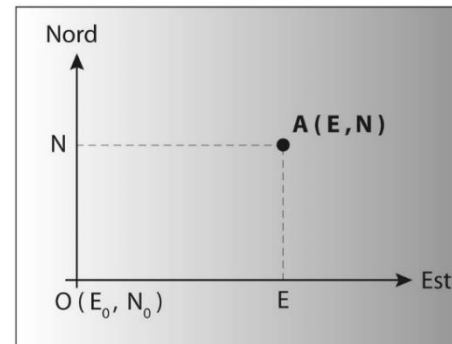
- Longitude
- Latitude

Coordonnées planes (mètres)

- X (E)
- Y (N)



ellipsoïde



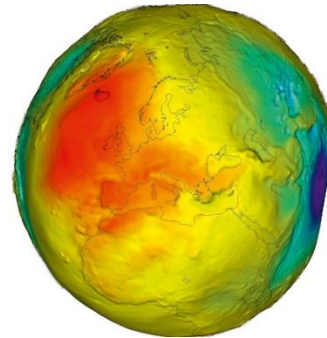
plan

Notions de géodésie

- Science qui étudie la forme et les dimensions de la Terre et son champ de pesanteur

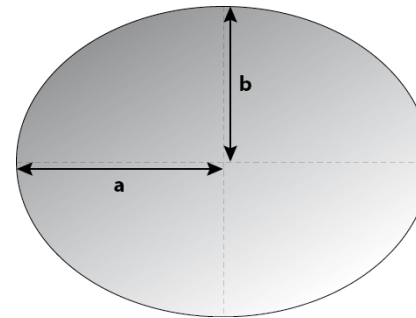
- **Géoïde**

- Niveau moyen des mers
- Référence pour les altitudes



- **Ellipsoïde de référence**

- Surface mathématique « sphère aplatie »
 - Surface de référence pour la géodésie
- Défini par ses paramètres :
 - demi grand-axe : a
 - aplatissement : $f = (a - b) / a$



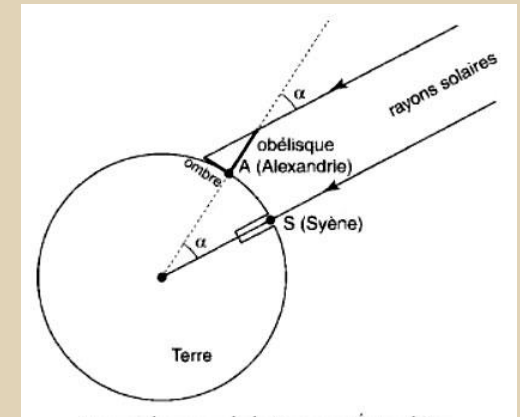
a : demi-grand axe

b : demi-petit axe

f : aplatissement

$$f = \frac{a - b}{a}$$

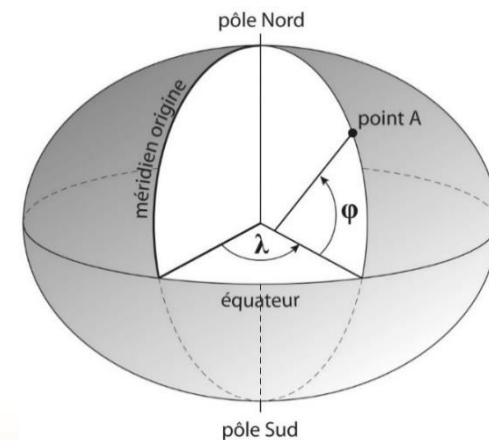
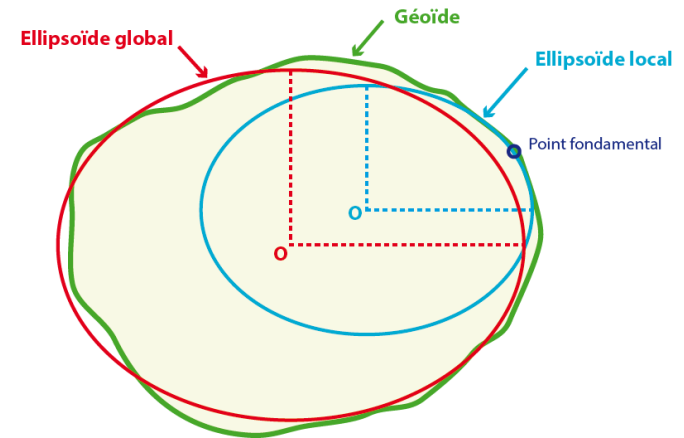
- Eratosthène (280-190 av. J.-C.)
- Circonférence terrestre (225 av. J.-C.)
 - Mesure des ombres portées à Syène (Assouan) et Alexandrie au solstice d'été
 - Mesure de la distance Syène - Alexandrie



Système géodésique (Datum)

Coordonnées géographiques : Longitude, Latitude (λ , ϕ)

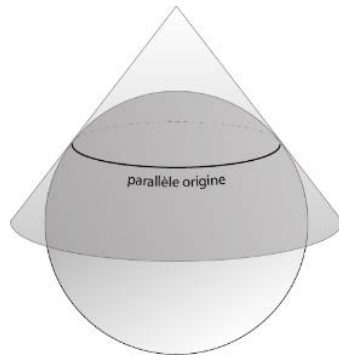
- Ellipsoïde de référence
 - Paramètres (a et f)
- Point fondamental
 - Point de tangence ellipsoïde/géoïde
 - Détermination astronomique
- Méridien d'origine
 - Zéro des longitudes



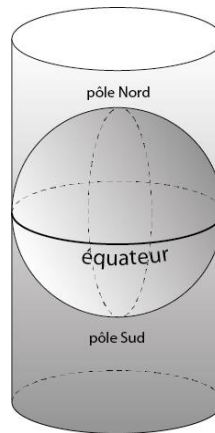
Projection cartographique

Coordonnées planes X (E) Y (N) en mètres

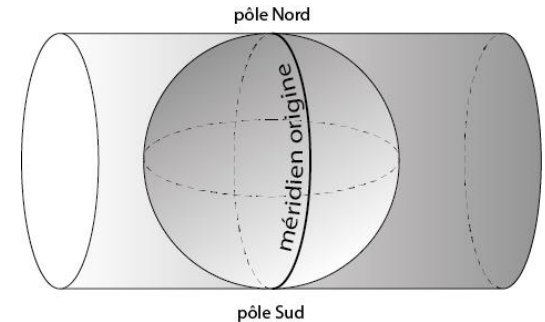
- Choix d'une surface de projection



Projection conique
ou de « Lambert »



Projection cylindrique
ou de « Mercator »



Projection cylindrique transverse
ou Mercator Transverse

Système de référence spatiale d'une carte = système géodésique + projection cartographique

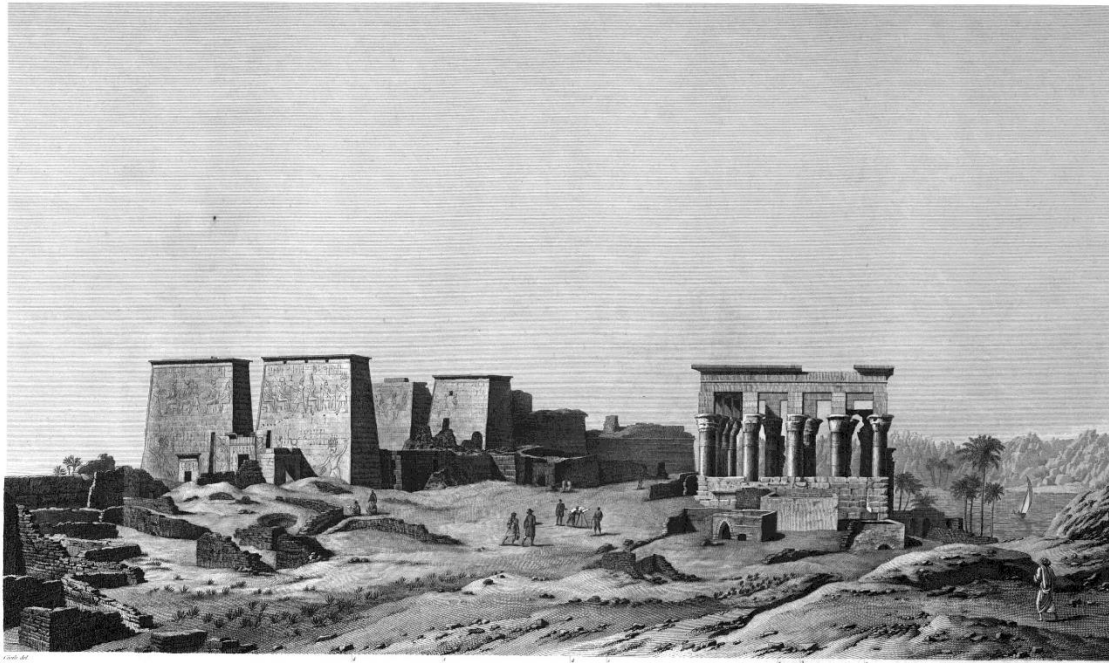
Expédition en Égypte de Bonaparte

- Commission des Sciences et des Arts (1798-1801)
- Description de l'Égypte, 23 volumes (1809)

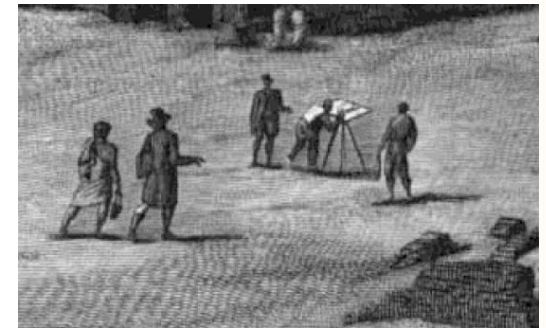
A. Vol. I.

ÎLE DE PHILÆ.

Pl. 25



VUE DE L'ÉDIFICE DE L'EST ET DE PLUSIEURS MONUMENS.



Mathématiciens

Astronomes

Ingénieurs géographes

Ingénieurs Ponts et chaussées

Ingénieurs du Génie maritime

Longitude et latitude mesurées au temple de Philae



RF
AN 7

-

BALZAC COQUEBERT CORABOEUF
CASTZ COUTELLE LACIRIERRE
PIPAULT LEPERE MECHAIN **NOUET**
LENOIR NECTOUX SGE NIS VINCENT
DUTERTRE SA...GNU

-

LONGITUDE DEPUIS PARIS : 30° 16' 22"
LATITUDE BOREALE : 24° 3' 45"

« Plan général des deux ports, de la ville moderne et de la ville des arabes »
Levé par les ingénieurs de l'Armée d'Orient (1798)
Echelle : 1 / 10 000



Système « Commission d'Égypte 1803 »

- Système géodésique

- Ellipsoïde : Commission des poids et mesures 1799

- $a = 6\,375\,738,7 \text{ m}$ $f = 1/334,29$

- Méridien d'origine : Paris

- $\lambda_{\text{Paris}} - \lambda_{\text{Greenwich}} = -2^{\circ} 20' 14,025''$

- Point fondamental

- Terrasse de la maison de l'Institut d'Égypte au Caire

- $\lambda = 28^{\circ} 58' 30'' \text{ E}$ $\phi = 30^{\circ} 02' 21'' \text{ N}$

- Projection cartographique

- Projection cylindrique transverse de Cassini

- Point origine des coordonnées planes : Grande pyramide de Giza

- $E_0 = 0 \text{ m}$ $N_0 = 0 \text{ m}$

- $\lambda_0 = 28^{\circ} 52' 02'' \text{ E}$ (méridien de Paris) $\phi_0 = 29^{\circ} 59' 06'' \text{ N}$

Coordonnées planes (E0, N0)

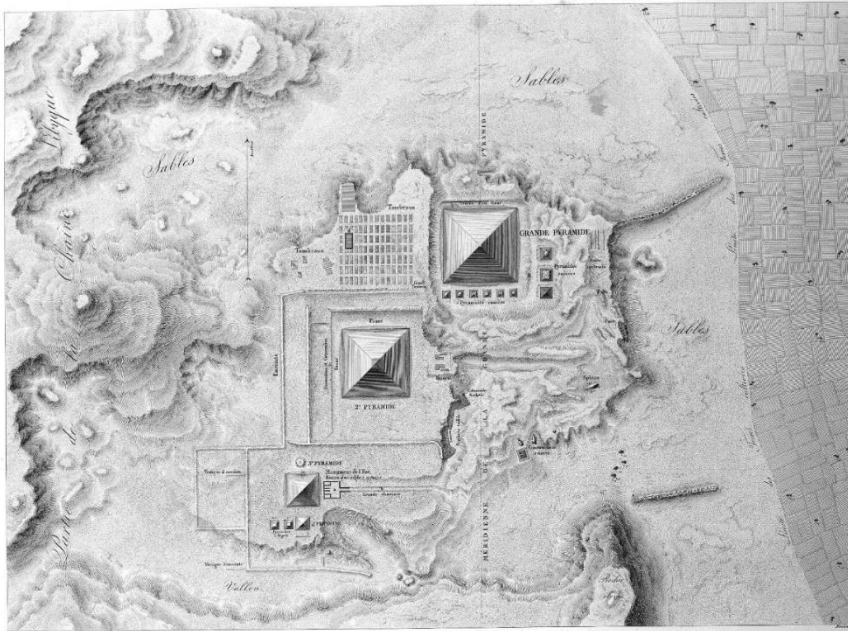
- Grande pyramide de Khéops (0, 0)



A Vol. V.

PYRAMIDES DE MEMPHIS.

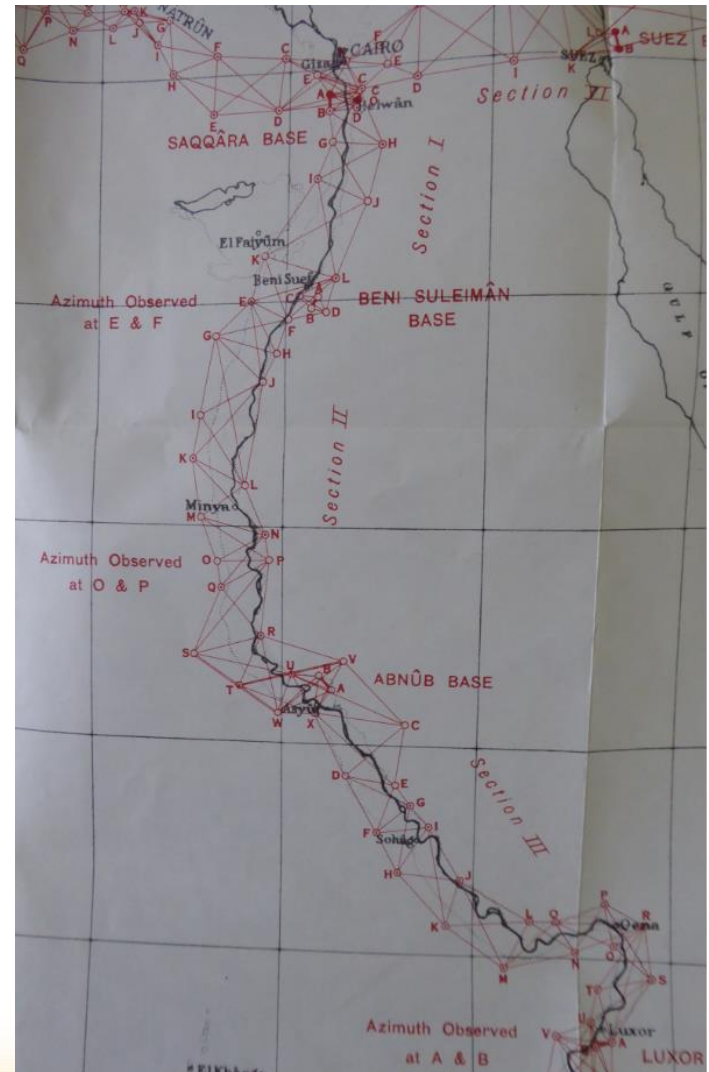
Pl. 6.



PLAN TOPOGRAPHIQUE DES PYRAMIDES ET DES ENVIRONS.

Naissance du système géodésique ÉGYPTE 1907 (code EPSG : 4229)

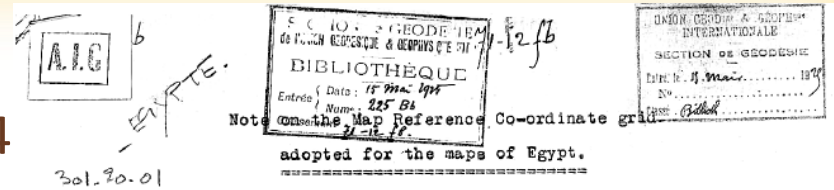
- Transit de Vénus, 1874
 - Expédition britannique
 - Collines du Moqqatam, près du Caire
 - Point astronomique établi sur la station « F1 »
- Création du « Survey Department » en 1898
 - Dir. Capitaine H.G. Lyons
- Canevas géodésique, 1907
 - Ellipsoïde d'Helmert 1906
 - Triangulation : 10 sections couvrant la vallée du Nil et la cote méditerranéenne (fin en 1945)
 - Calculs d'ajustement en 1951
 - 2^{ème} réseau géodésique désert Libyque et mer Rouge (1955-1968)



Projection cartographique

Note du « Survey of Egypt », 1924

- Projection de Gauss (Mercator Transverse)
 - Méridien central 31° E
 - « choisi de telle sorte qu'aucune terre cultivée ne soit distante de plus de 2° de ce méridien central »
- Point origine des coordonnées planes
 - (31°E 30°N)
 - Eo = 615 km
 - No = 810 km
 - « choisies arbitrairement de manière à ce que pratiquement tous les points en Égypte aient des coordonnées positives »



The Projection adopted for the general map of Egypt is the Gauss conformal projection. The central meridian chosen is the meridian of 31° E. Longitude.

No portion of the cultivation of Egypt is more than 2° away from the central meridian. The error in scale of the projection here is roughly one part in 2000 which gives an error of one in a thousand in areas. This is negligible.

The origin of co-ordinates is chosen arbitrarily as a point 810 kilometres south and 615 kilometres west of the point latitude 30° N, Longitude 31° E. By choosing this arbitrary origin in the South Western desert the map reference co-ordinate of practically every point in Egypt is positive both in X and Y.

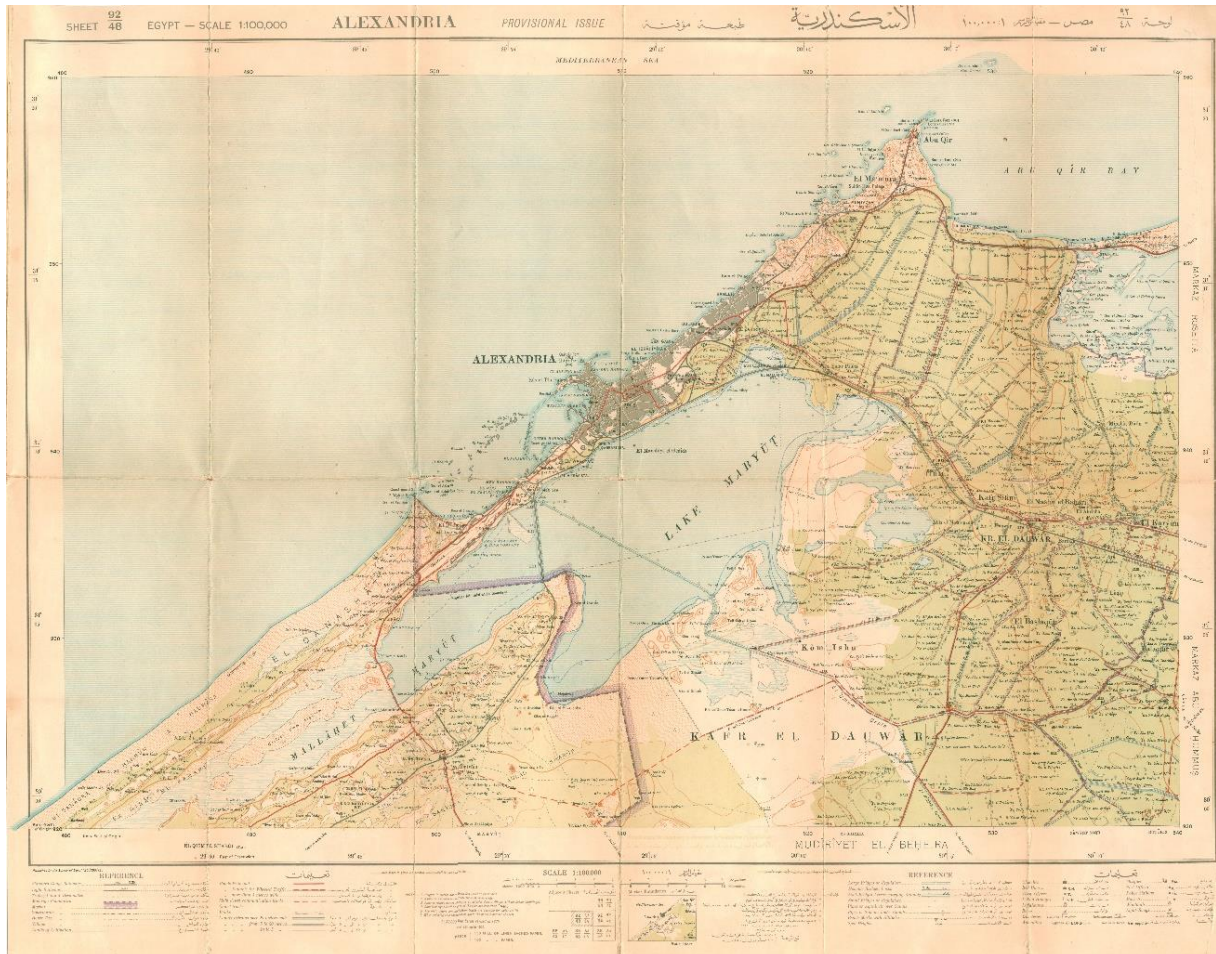
The normal series of maps are 1:5000, 1:25,000 and 1:100,000. Every sheet in each of these three series is a rectangle bounded by co-ordinate lines. The size of each sheet is 40 centimetres from South to North and 60 centimetres from West to East on the paper. The sizes of the sheets on the ground are thus:-

Series	Distance S. to N.	Distance W. to E.
1:5000	2 kilometres	3 kilometres
1:25,000	10 "	15 "
1:100,000	40 "	60 "

Numbering of sheets. The number of each sheet is derived from the map reference co-ordinate of its S.W. corner, the X (Northern) co-ordinate being written above the Eastern co-ordinate. Each of the 3 series of sheets

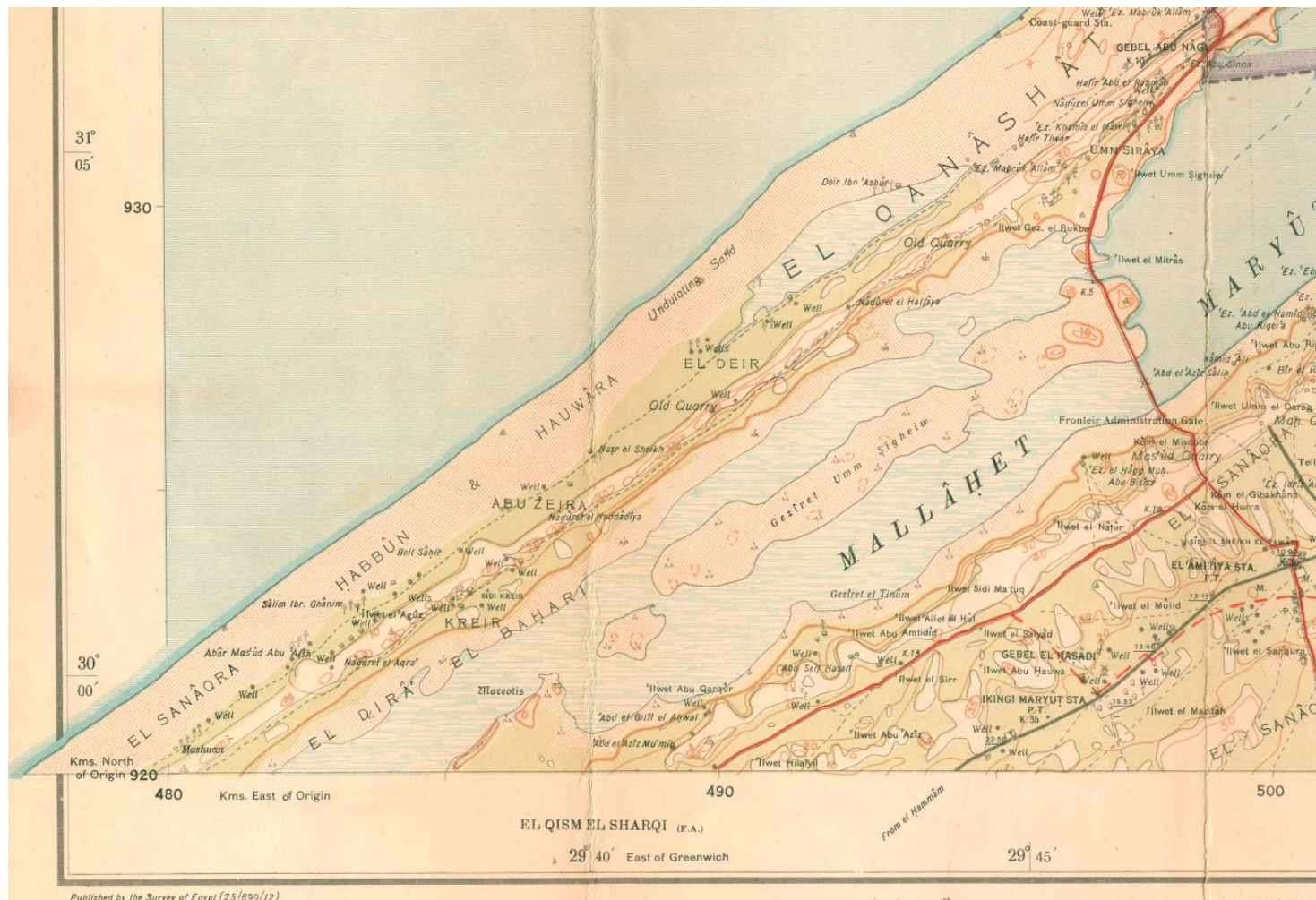
SoE24/332

Série 1/100 000 - Carte Alexandrie - 1925 avec quadrillage Mercator Transverse



Série 1/100 000

Carte Alexandrie avec quadrillage « kilo » 1925

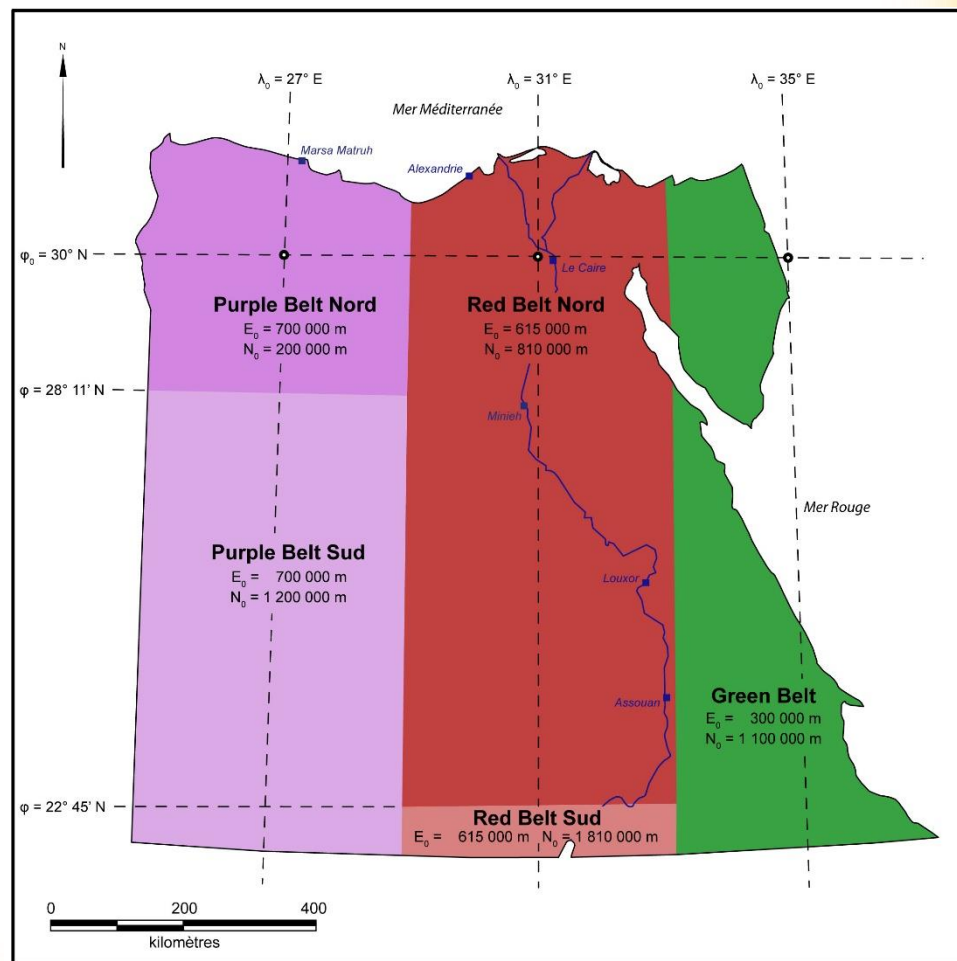


Système géodésique national égyptien « Égypte 1907 »

Projections Egyptian Transverse Mercator (ETM)

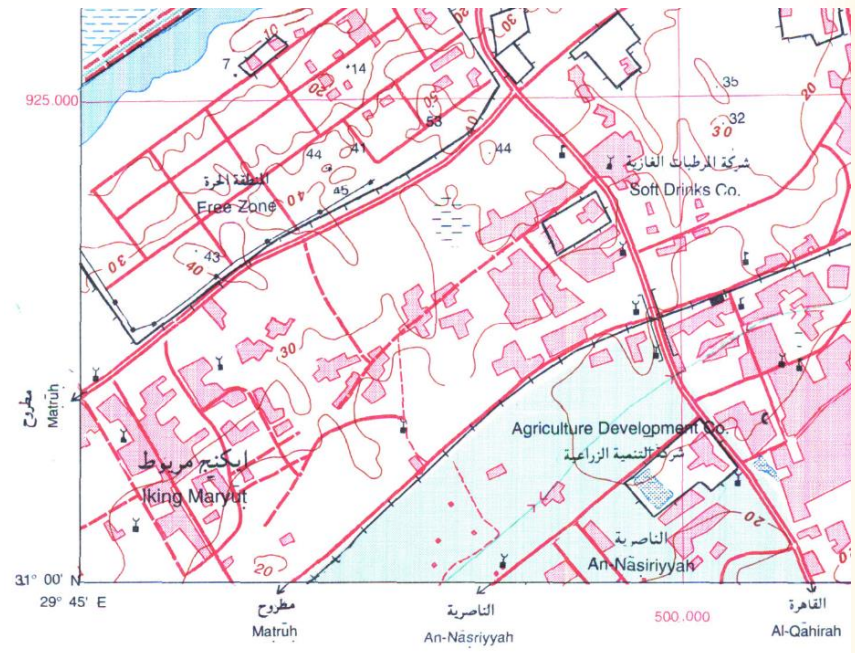
- Système géodésique « Égypte 1907 »
 - Code EPSG « 4229 »
 - Ellipsoïde : Helmert 1906
 - Méridien d'origine : Greenwich
 - Point fondamental : Station F1 (1874)
- Projections cartographiques
 - Projection : ETM

Zone	Point origine			
	λ_0	ϕ_0	E_0 (m)	N_0 (m)
Purple Belt Nord	27° E	30° N	700 000	200 000
Purple Belt Sud			700 000	1 200 000
Red Belt Nord	31° E	30° N	615 000	810 000
Red Belt Sud			615 000	1 810 000
Green Belt	35° E	30° N	300 000	1 100 000



Série 1/50 000 années 1980-1990

- Datum
 - National Geodetic Network Venus 1874
 - National Geodetic Network Az Zahrâ 1874
- Projections
 - « Red Belt » : Carroyage en rouge
 - « Green Belt » : Carroyage en vert
 - « Purple Belt » : Carroyage en magenta

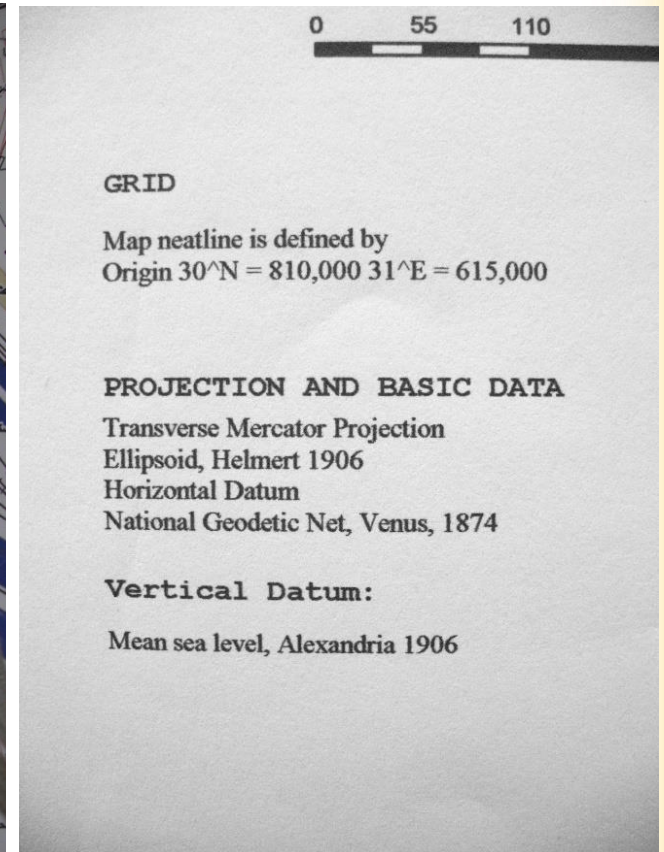


Carte NH35-P3b « ALEXANDRIE » (EGSA, 1997, 1/50 000)



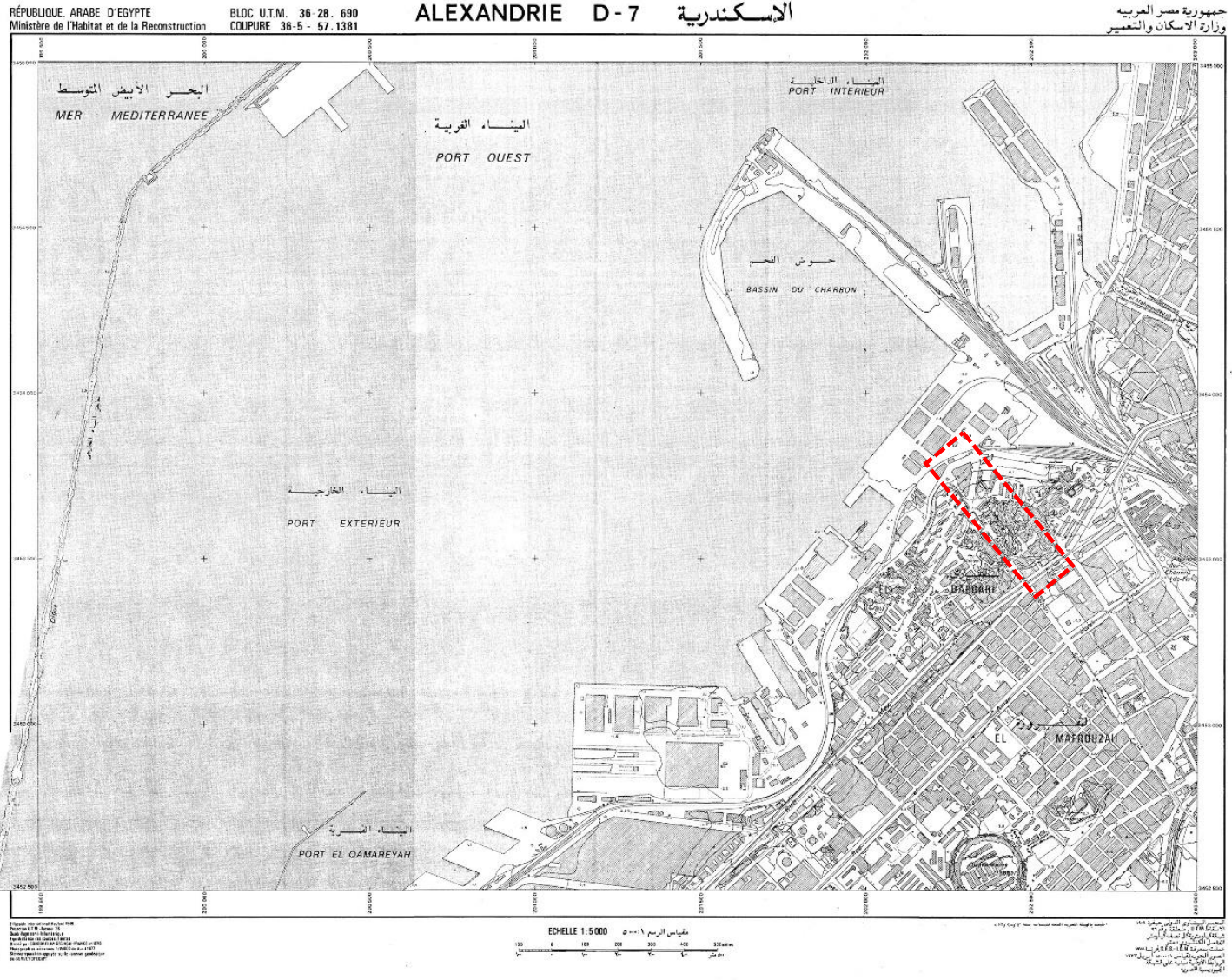
Carte NG36H1 « MARSALA AM » (EGSA, 1989, 1/50 000)

Série 1/5000 Alexandrie, années 2002-2004

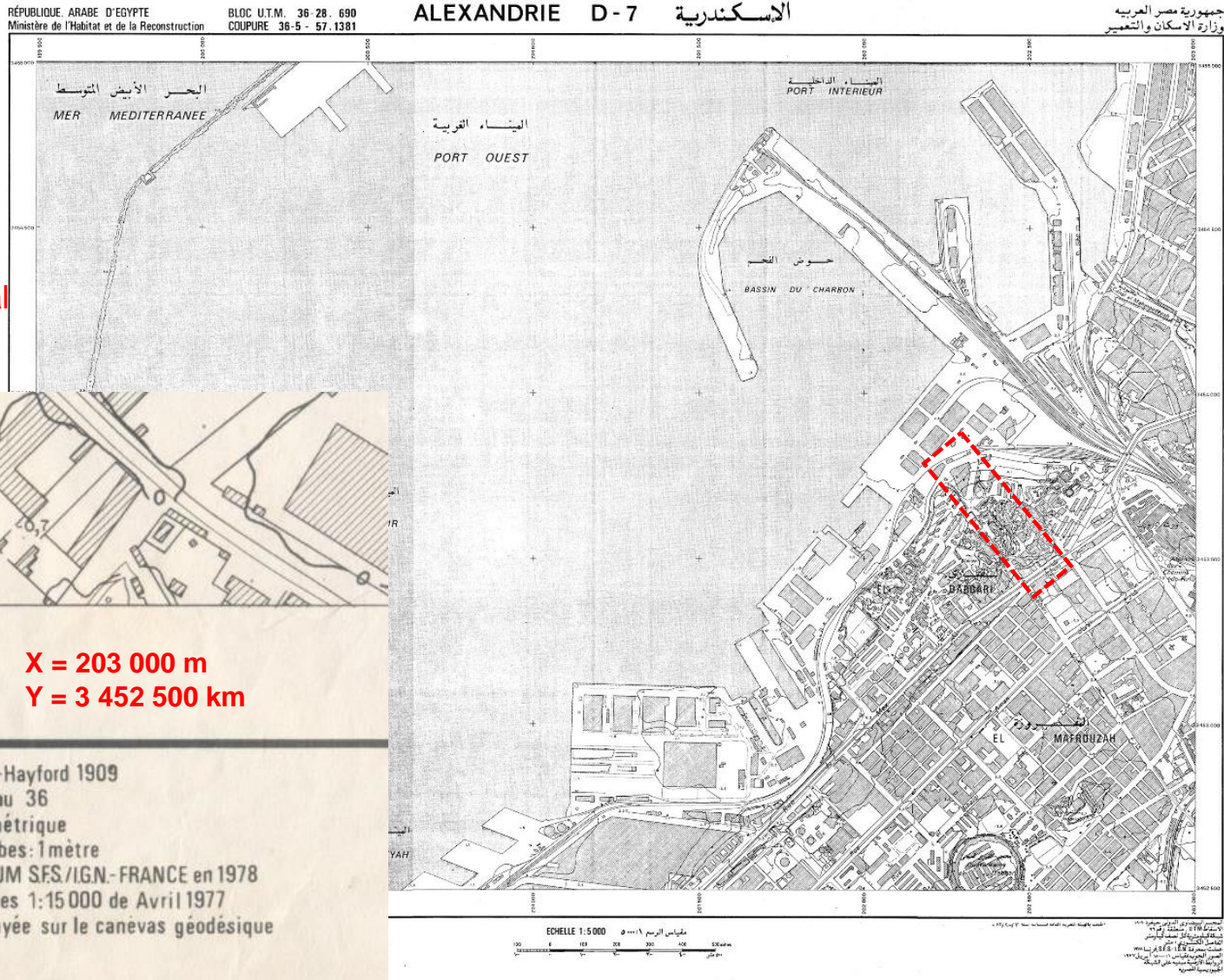


Carte Alexandrie, 1/5000, 2004 (source : Bibliotheca Alexandrina)

Plans consortium « SFS-IGN » 1/5000 (1977-1978)



Plans consortium « SFS-IGN » 1/5000 (1977-1978)



Point fondamental

Plans consortium « SFS-IGN » 1/5000 (1977-1978)

- Système géodésique Égypte 1933 (code EPSG : 4199)
 - Ellipsoïde : International 1924
 - $a = 6\,378\,388\text{ m}$; $f = 1/297$
 - Méridien d'origine : Greenwich
 - Point fondamental
 - Station F1 (Moqattam) corrigée de + 3,45'' en longitude
 - $\lambda = 31^\circ 16' 37,05''\text{ E}$ $\phi = 30^\circ 01' 42,86''\text{ N}$
- Projection cartographique
 - Projection : Universal Transverse Mercator (UTM)

Zone	Point origine			
	λ_0	ϕ_0	E_0 (m)	N_0 (m)
35 Nord	27° E	0° N	500 000 m	0 m
36 Nord	33° E			

RÉFÉRENTIEL GÉODÉSIQUE

Désignation : Old Egyptian 1930

Historique :

Vers 1933, à l'issue de nouvelles observations sur le pilier de l'Observatoire d'Helwan et le terme de la base de Saqqara, il a été décidé d'apporter une correction de $\Delta \lambda = + 3'' 45$ à la valeur de la longitude de 1874.

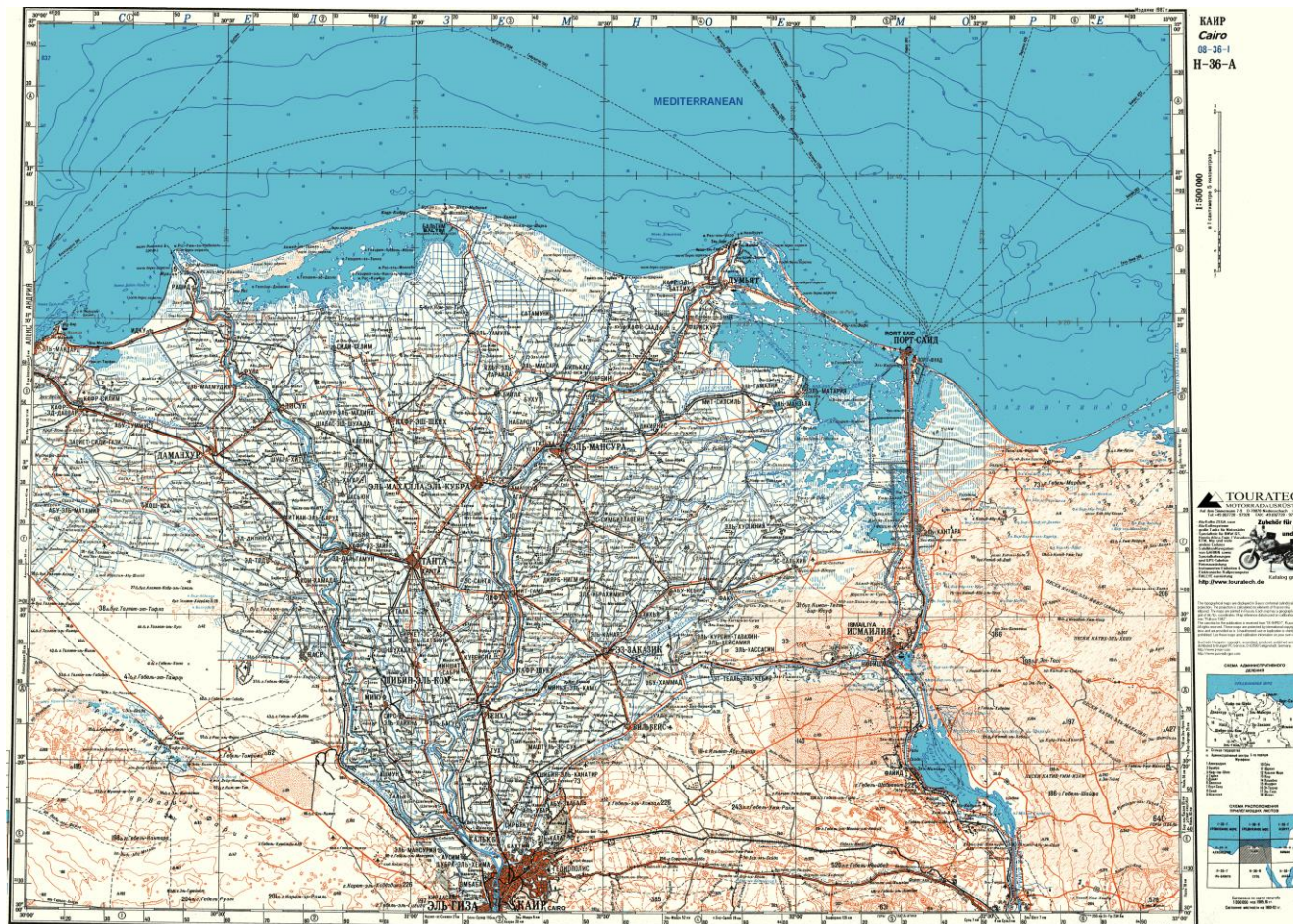
*d'où * $\lambda = 31^\circ 16' 37'' 05$ Est de Greenwich.*

Point fondamental :

Moqattam (1874) $\lambda = 31^\circ 16' 33'' 60^*$ Est de Greenwich
(Près du Caire)
 ancien réseau géodésique $\phi = 30^\circ 01' 42'' 86$ Nord

Fiche IGN, 1982

Cartes de l'ancienne Union soviétique 1970-1990



Carte 3230-h36an Cairo 1/500 000 (1987)

Application
ATLOGIS
Mot-clé :
« cartes
russes »
2 versions :
- gratuite
- payante

Système géodésique : PULKOVO 1942 code EPSG : 4284

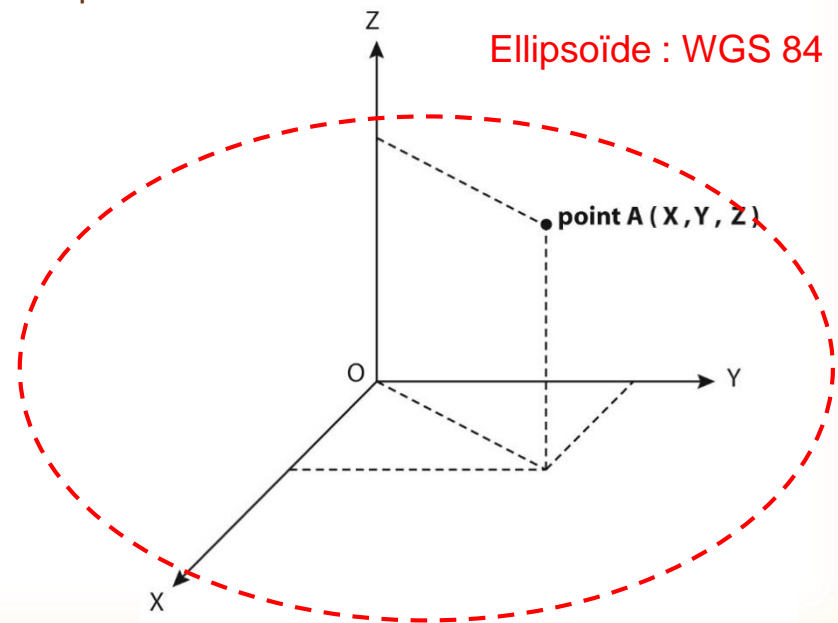
- Ellipsoïde : Krassowsky 1940
 - ($a = 6\,378\,245\text{ m}$; $f = 1/298,3$)
- Méridien origine : Greenwich
- Point fondamental : Observatoire de Pulkovo (Russie)
 - $\lambda = 30^\circ 19' 42,090''\text{ E}$ $\phi = 59^\circ 46' 18,550''\text{ N}$

Système géodésique		Pulkovo 1942 (code EPSG : 4284)						
Projection		Gauss-Krüger						
Zone	Code EPSG	Point origine				Facteur d'échelle (ppm)	Limites	
		λ_0	ϕ_0	E_0 (m)	N_0 (m)		Ouest	Est
5	28405	27° E	0° N	5 500 000	0	1.0	24° E	30° E
6	28406	33° E		6 500 000			30° E	36° E

Le GPS

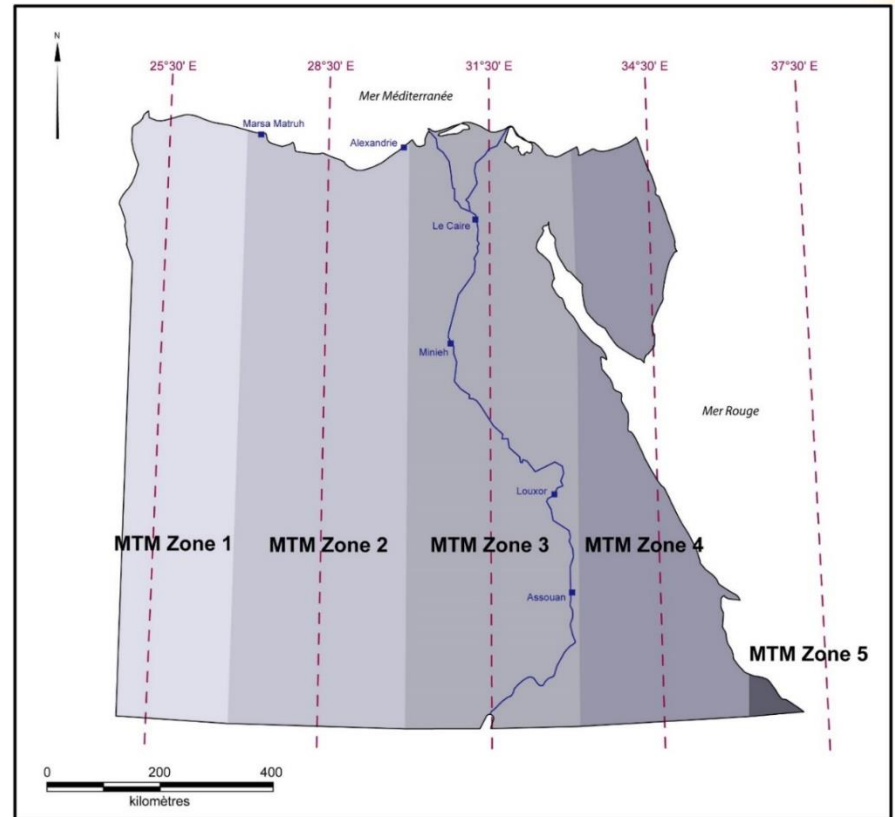
Global Positioning System

- Système géodésique : World Geodetic System 1984 (WGS 84)
 - Ellipsoïde de référence : WGS 84 (a f)
 - Méridien d'origine : Greenwich
- Coordonnées géographiques
 - Longitude, Latitude (hauteur au dessus de l'ellipsoïde)
- Coordonnées cartésiennes (X, Y, Z)



New Egyptian Datum (1995)

- Système géodésique : NED 1995
 - Réseau de 30 points mesurés par GPS (1995)
 - HARN (High Accuracy Reference Network)
 - Ellipsoïde de référence : WGS 84
 - Méridien d'origine : Greenwich
- Projections Mercator Transverse en 5 zones
 - Modified Transverse Mercator (MTM)



Spatiocartes années 2002-2003

Echelle 1/100 000

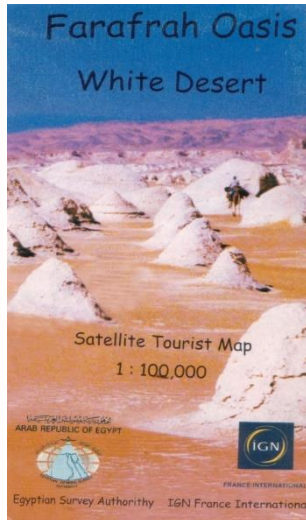
- Projet Survey of Egypt (EGSA) / IGN France International (I-FI)



Spatiocartes années 2002-2003

Echelle 1/100 000

- Projet EGSA / I-FI



Scale 1 : 100,000 (1cm = 1km) مقياس الرسم ١ : ١٠٠٠٠٠٠

Inner grid: Cartographic coordinates
Modified Transverse Mercator (MTM) Zone 2 (27°E - 30°E)
Central meridian at 28°30' E

Outer grid: Geographic coordinates (latitude / longitude)

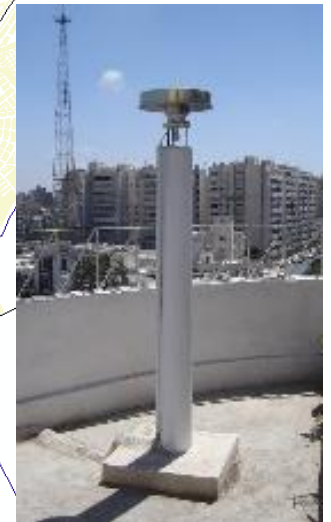
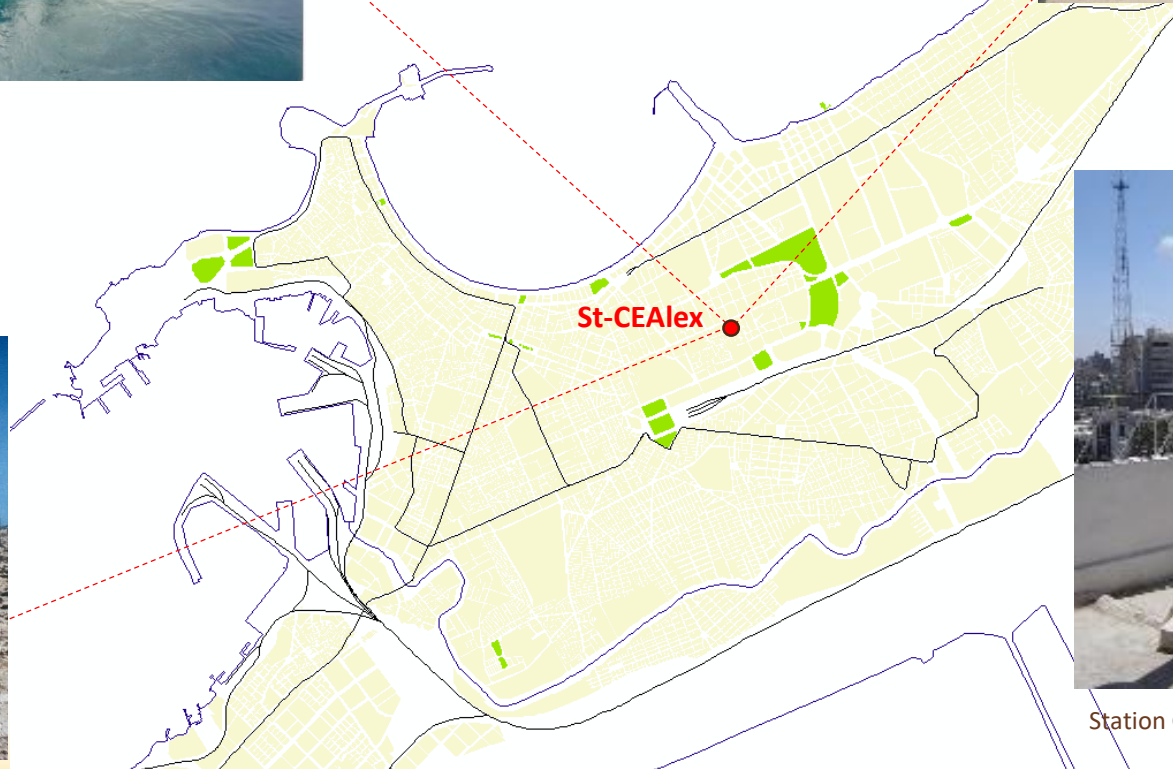
First edition 2003. Map produced by EGSA with technical assistance from IGN France International, and financial support from the French Food Aid Counterpart Funds (BLAFE).

الطبعة الاولى ٢٠٠٣ . انتجت الخريطة بمعرفة الهيئة المصرية العامة للمساحة بالتعاون مع المعهد الوطنى الجغرافى الفرنسى (IGN) وذلك من خلال حصيلة فائض بيع المعونات الغذائية الفرنسية .

Mesures GPS différentiel au CEAlex



- Point de référence (1999)
 - WGS 84
- Station permanente GPS (2002)



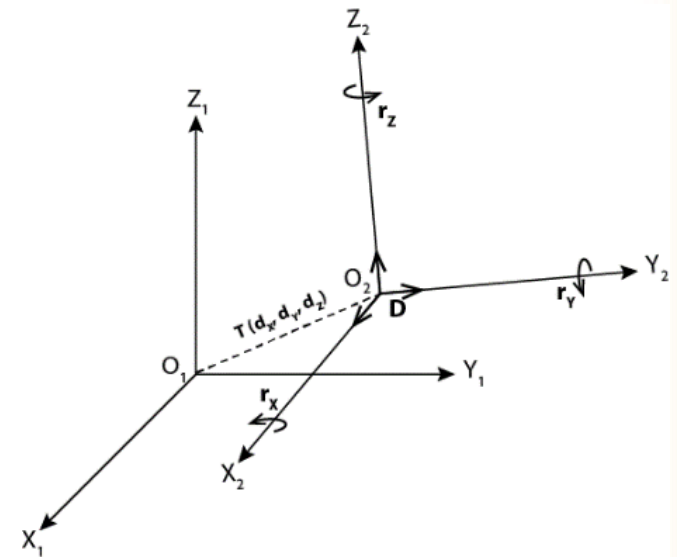
Station GPS permanente

Calcul d'une transformation (1999) GPS (WGS 84) vers « Égypte 1907 »

- Transformation d'Helmert



4. Situation des points d'appui mesurés par GPS dans la ville d'Alexandrie. © N. Martin/Cea.



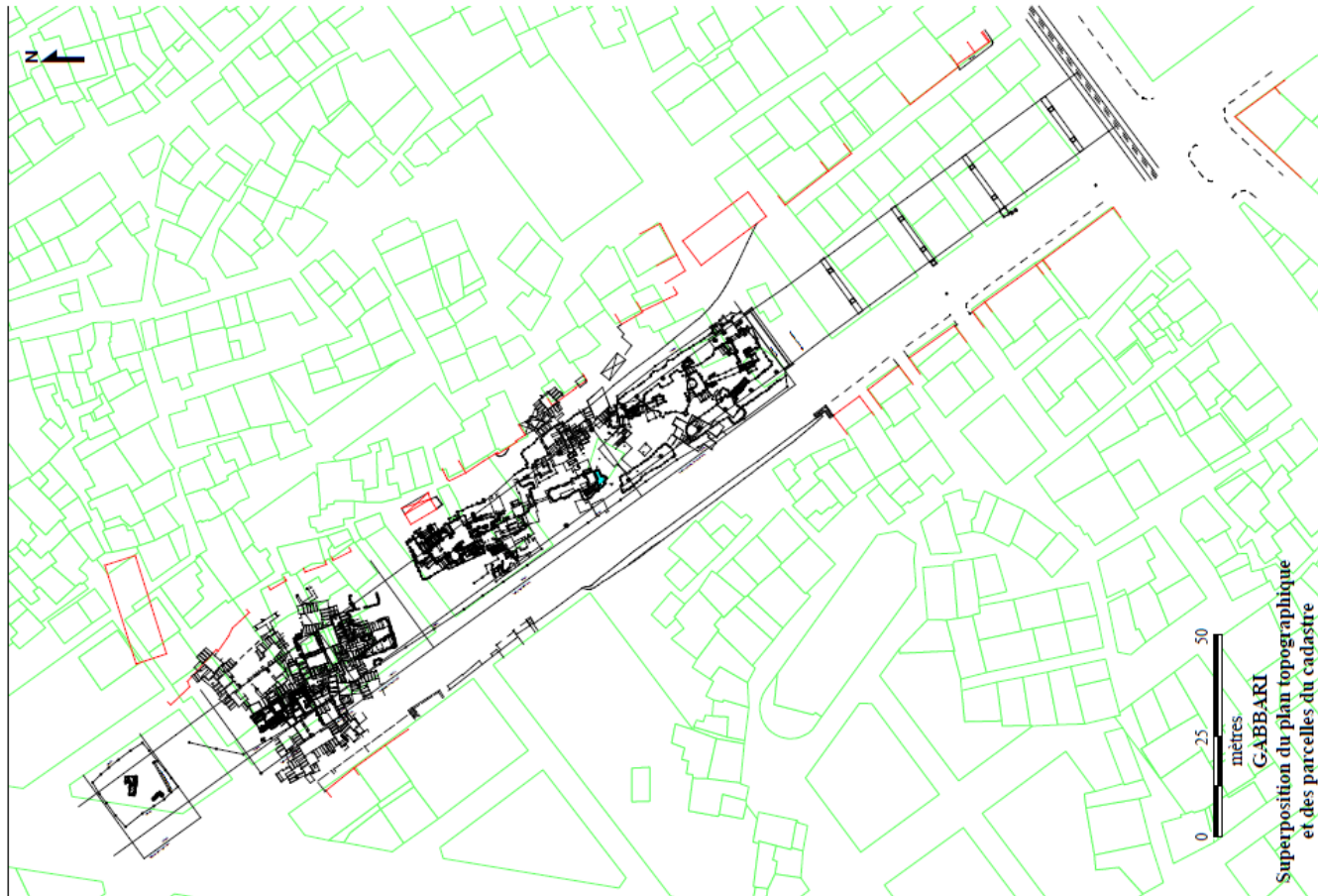
Transformation entre systèmes géodésiques

Paramètres calculés

Système de départ	Égypte 1907				
Système d'arrivée	ITRF, assimilé à WGS 84				
Paramètres de la transformation CEAlex 1999	d_x (m)	d_y (m)	d_z (m)	r_z (")	D (ppm)
	- 223,505	196,430	- 31,601	- 4,532 762	7,719 541

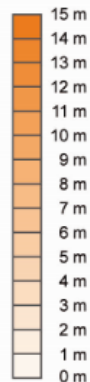
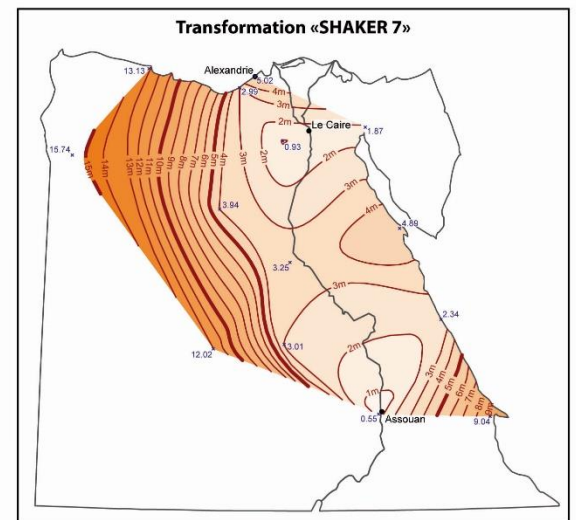
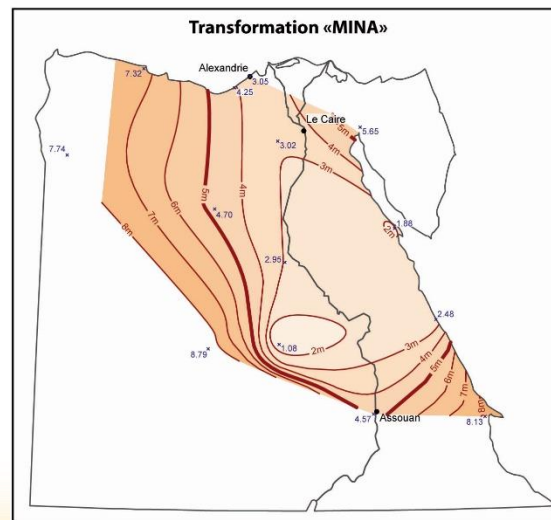
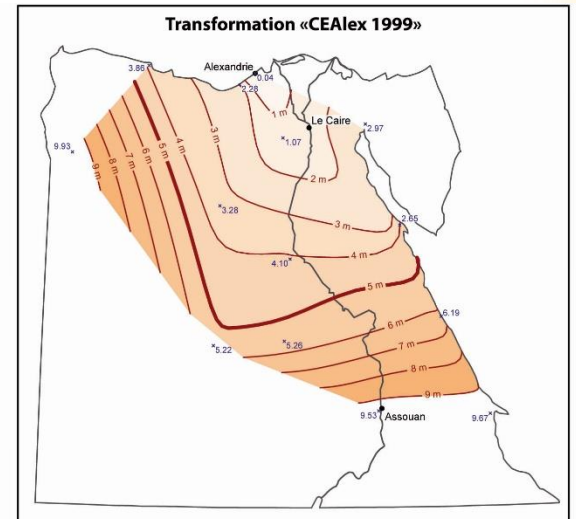
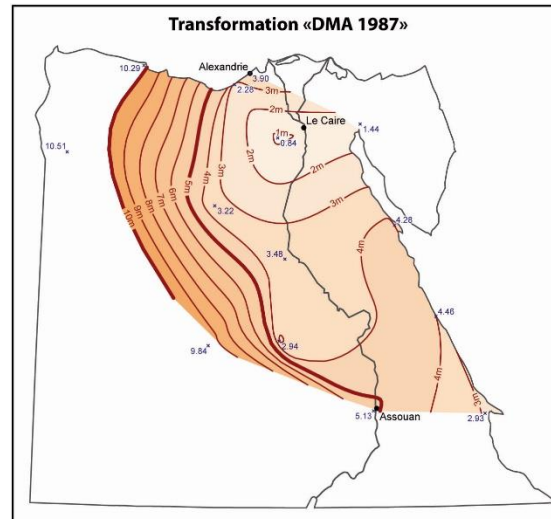
Fouilles de Gabbari

Superposition du relevé topographique au plan cadastral



Transformations « WGS 84 » vers « Égypte 1907 »

- DMA 1987
 - code EPSG : 1148
- CEALex 1999
- Mina 2006
 - code EPSG : 7697
- Shaker 2007-7



Conclusion

- 11 systèmes inventoriés
- Article à paraître aux éditions des Études Alexandrines

§	Système de référence	Ellipsoïde	Projection(s) associée(s)	Cartographie associée
2.1	Commission d'Égypte 1803 pas de code EPSG	Commission des poids et mesures 1799 pas de code EPSG	Transverse Cylindrique de Cassini	Cartes de la Description de l'Égypte
2.2	Égypte 1907 code EPSG 4229	Helmert 1906 code EPSG 7020	ETM	Production de l'EGSA - cadastre 1/500 et 1/1 000 (1933-1948) - 1/5 000 d'Alexandrie (1991) - 1/5 000 d'Alexandrie (2002-2004) - orthophotoplan 1/10 000 (1995) - série du 1/50 000 (1980-1990) - spatiocartes 1/50 000 (ca 2000) - spatiocarte EGSA/IGN « Greater Cairo » 1/70 000 (2002)
2.3	Adindan Datum code EPSG 4201	Clarke 1880 code EPSG 7012	Non étudiée	Soudan
2.4	Égypte 1933 code EPSG 4199	International 1924 code EPSG 7022	UTM	Plans SFS/IGN 1/5 000 et 1/10 000 (1978)
2.5	Pulkovo 1942 code EPSG 4284	Krassowsky 1940 code EPSG 7024	Gauss-Krüger zones 5 et 6	Cartes russes 1/200 000 et 1/500 000 (1970-1980)
2.6	European Datum 1950 code EPSG 4230	International 1924 code EPSG 7022	UTM	Cartes aéronautiques ONC/TPC (1/500 000) antérieures à 1990
			Mercator	Certaines cartes marines du SHOM antérieures à 1990
2.7	S.650 TL Network code EPSG 4706	Helmert 1906 code EPSG 7020	Red Belt	Non étudiée
2.8	WGS 72 code EPSG 4985	WGS 72 code EPSG 7043	UTM	Cartes géologiques The Egyptian General Petroleum Corporation/CONOCO, 1/500 000 (1986-1987)
			Mercator	Certaines cartes marines du SHOM
2.9	EGN 80 pas de code EPSG	Helmert 1906 code EPSG 7020	Non étudiée	Pas de cartographie connue
2.10	WGS 84 code EPSG 4979	WGS 84 code EPSG 7030	UTM	Cartes aéronautiques ONC/TPC (1/500 000) postérieures à 1990
			Mercator	Certaines cartes marines du SHOM ou du britannique Hydrographic Office
2.11	NED 95 pas de code EPSG	WGS 84 code EPSG 7030	MTM	Carte EGSA/IGN-FI, série « Satellite Tourist Map » 1/100 000 (2003)

Merci pour votre attention