مفاهيم وأسس الإرجاع الجغرافي للبيانات
géoréférencement

عبدوتي ولد عالي
أستاذ بقسم الجغرافيا

نظر لانتشار استخدام برمجيات نظم المعلومات الجغرافية وما تتيحه من إمكانيات كبيرة في مجال رسم الخرائط تعتمد عليها شريحة واسعة من المستخدمين فإن توضيح المفاهيم النظرية التي تتأسس عليها هذه البرامج أصبح ضرورة حتى يتم استخدامها عن وعي بخلفياتها وأسسها العلمية.

كما أن استخدام تقنية GPS تقتضي معرفة المفاهيم الأساسية المرتبطة بالإرجاع الجغرافي للبيانات حيث إن الاستخدام السيئ لجهاز GPS يمكن أن يؤدي إلى أخطاء خطيرة في عمليات التوقيع الجغرافي للكائنات وحساب الإحداثيات الخاصة بها.

وتشكل التساؤلات حول مفاهيم الإرجاع الجغرافي من أكثر التساؤلات شيوعا بين المستخدمين، ولهذا فإن هذه الورقة تعطي بعض الخلاصات الأساسية حول هذا الموضوع وتحيل إلى مراجع أساسية مرتبطة به.

ويعني **الإرجاع الجغرافي** للبيانات **géoréférencement** الإجراءات التي تسمح بتوقيع الكائنات والظواهر الجغرافية على سطح مستو سواء كان خريطة ورقية أو رقمية على شاشة مستوية، وذلك بشكل دقيق لا يحتمل التداخل -غير الطبيعي- عند حدوث تطابق بين طبقات متعددة لنفس الظاهرة أو لظواهر مختلفة.

ولتحقيق هذا الهدف نحتاج إلى نظام إحداثيات مرجعي un système de coordonnées de référence (CRS anglo-saxon) والذي يتم تحديده بمجموعة من العناصر :

1- **ألبسويد مرجعي ellipsoïde de référence**: وهو عبارة عن شكل رياضي مبسط للأرض يسمح بإجراء القياسات الجيوديسية انطلاقا من معادلة القطع الناقص (الأهليلج).
2- **داتوم datum** وهو يعني ملائمة هذا الألبسويد للمنطقة المستهدفة (دولة – اقليم - ...)

3- **مسقط projection** مصاحب للأبسويد والذي يسمح بالتمثيل الكارتوجرافي المستوي لسطح الأرض الكروي (للألبسويد).[1]

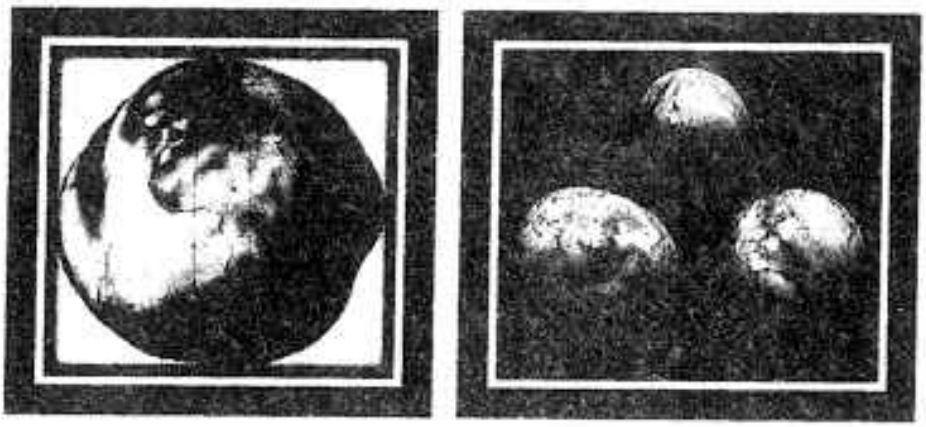
ونظرا لأن الكتابات حول المساقط متوفرة بشكل كاف فسنركز هنا على العنصرين الأولين وهما الألبسويد والداتوم:

أولا: الألبسويد ellipsoïde:

1-1 – لماذا الألبسويد

أدت قوة الطرد المركزية الناتجة عن دوران الأرض إلى انتفاخ للأرض عند دائرة خط الاستواء و تفلطحها عند القطبين (بنسبة تفلطح تقدر بـ 1 إلى 300) مما جعل الأرض على هيئة اهليلج (قطع ناقص - بيضاوي) أو ما يعرف بـ (البسويد الدوران)، ولهذا يتم تقريب سطح الأرض من خلال ألبسويدات مرجعية يسهل التعامل معها رياضيا وتقترب قدر الإمكان من الشكل الحقيقي للأرض. وبما أن سطح الأرض غير منتظم بسبب التضاريس (شكل رقم 1) فإن ذلك يطرح مشاكل في الحسابات الجيوديسية

شكل رقم (1) يبين عدم الانتظام في سطح الأرض



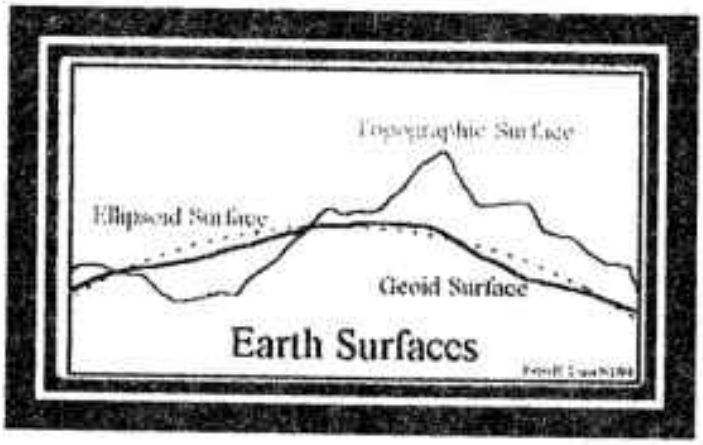
ملاحظة: الأشكال مبالغ فيها رأسيا نسبة إلى الأبعاد الحقيقية للأرض وذلك للحصول على تمثيل واضح لعدم الانتظام في سطح الأرض

ولتجاوز هذه التعقيدات كان من الضروري البحث عن سطح افتراضي يأخذ شكلا بيضاويا كبديل لذلك اختير مستوى سطح البحر باعتباره الأكثر شبها بسطح الأرض وهو ما يطلق عليه سطح الجيويد Geoid حيث

[1] Notions de base sur les systèmes de coordonnées et le géoréférencement, Support de cours Traitement d'images / SIG – U5BGEM – J-P CHEREL 2007-2008, P3

يتساوى جهد الجاذبية على هذ السطح ولكن سطح الجيويد غير منتظم هو الآخر بسبب تأثير التضاريس و اختلاف الكثافات و بسبب الظواهر البحرية (التيارات البحرية والمد والجزر...) ولا يتطابق مع شكل الألبسويد الدوراني مما يجعل قياسات الارتفاعات غير متطابقة تماما مع الألبسويد، لهذا تم افتراض سطح آخر وهو سطح الألبسويد Ellipsoid و هوسطح بيضاوي مستو ومنتظم اقرب ما يكون إلى شكل الجيويد يسمح باستخدام معادلة الشكل البيضاوي لاجراء الحسابات عليه، ولأن الألبسويد Ellipsoid هو سطح افتراضي يتم ربط الأرصاد المساحية بسطح البحر Geoid حيث أنه سطح حقيقي وبعد ذلك ومن خلال دراسة فرق الارتفاعات بين الجيويد و الألبسويد نحصل على إحداثيات النقاط ، وهكذا من خلال المقارنة بين السطوح الثلاثة الطوبوغرافي والجيويد والألبسويد نحصل على تحديد دقيق لكل نقطة (شكل رقم 2)

شكل رقم (2) يوضح السطوح الثلاثة الطوبوغرافي و الجيويد والألبسويد



Source: Office des publications officielles des Communautés européennes, Manuel des concepts relatifs aux systèmes d'information sur l'occupation et l'utilisation des sols, Luxembourg , 2001 ,p 91

الألبسويد إذن هو نموذج رياضي للأرض صالح لإجراء القياسات الجيوديسية ويتم تصميمه لكي يكون أقرب ما يمكن إلى الجيوئيد، وتوجد العديد من نماذج الألبسويد تختلف باختلاف المنطقة المستهدفة، حيث تقوم كل دولة

أو منطقة جغرافية باختيار ألبسويد خاص أقرب ما يكون إلى الجيوند على امتداد أراضيها الوطنية.

1-2- التعريف الرياضي للأليسويد:

يعرف الألبسويد بقيمتي المحورين الأساسيين له :

المحور الكبير (الأساسي) وهو نصف القطر الاستوائ للأرض = a

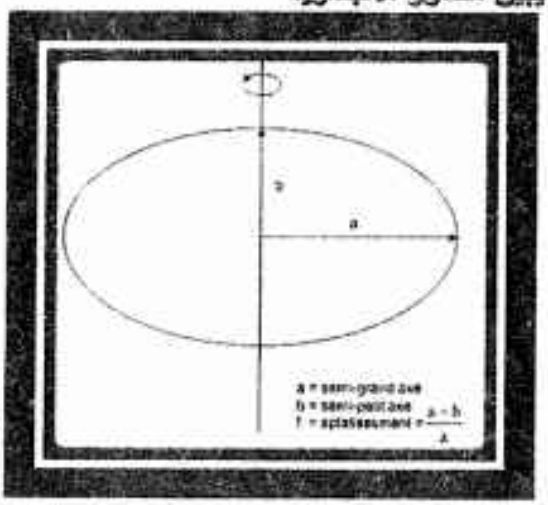
المحور الصغير (الثانوي) وهو نصف القطر القطبي للأرض b =

نسبة التفلطح = f ويتم حسابها من المعادلة التالية

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

وذلك كما في الشكل رقم (3)

الشكل رقم (3) يبين محاور الألبسويد



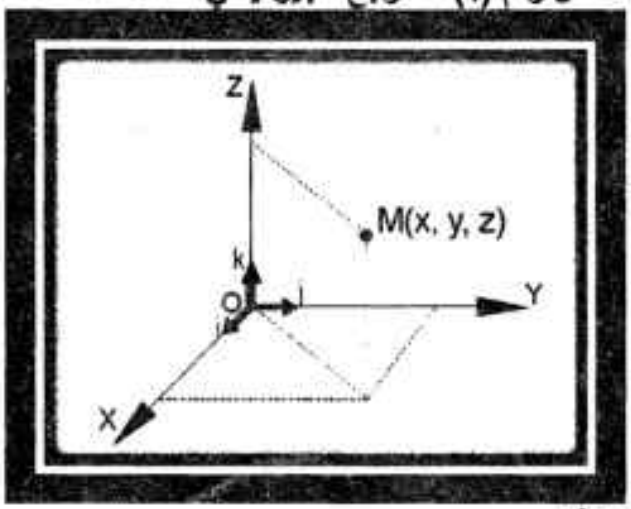
Source: François Cavayas, Cartographie mathématique, Université de Montréal, Montréal, 2009, Chapitres 2, P5

ثانيا: الداتوم Datum أو نظام الإرجاع الجيوديسي:

2-1- لماذا الداتوم

يعني الداتوم ملائمة الألبسويد للمنطقة المستهدفة (دولة – اقليم - ...) فلكي نحدد موقع كائن ما على الأرض يجب مسبقا تحديد مرجع جيوديسي يحتوي على نقطة مرجعية (O, i , j , k) كما في الشكل رقم (4)

الشكل رقم (4) المرجع الجيوديسي



حيث:

O : تمثل القرب من مركز الأرض (أقل من 500 متر بالنسبة للأنظمة الأرضية وأقل من 10 متر بالنسبة للأنظمة الفضائية)

$$\|\vec{i}\| = \|\vec{j}\| = \|\vec{k}\|$$

Oxy : تمثل القرب من دائرة خط الاستواء

Oxz : تمثل القرب من خط الطول المرجعي (جرينتش مثلا)

Oz :تمثل القرب من محور القطبين[1]

إن التحقيق الفعلي لهذا المرجع هو ما يسمى بنظام الإرجاع الجيوديسي (Datum) حيث تمثل كل نقطة على سطح الأرض بإحداثيات تسمى (احداثيات كارتيزية)

ويهدف نظام الإرجاع الجيوديسي(Datum) إلى توفير نقاط مرجعية ثابتة و(شواهد مساحية) معروفة الاحداثيات مسبقا والتي يمكن تحديد مواقعها باستخدام إحدى أدوات القياس التقليدية أو GPS أو باستخدام أدوات قياس الزوايا.

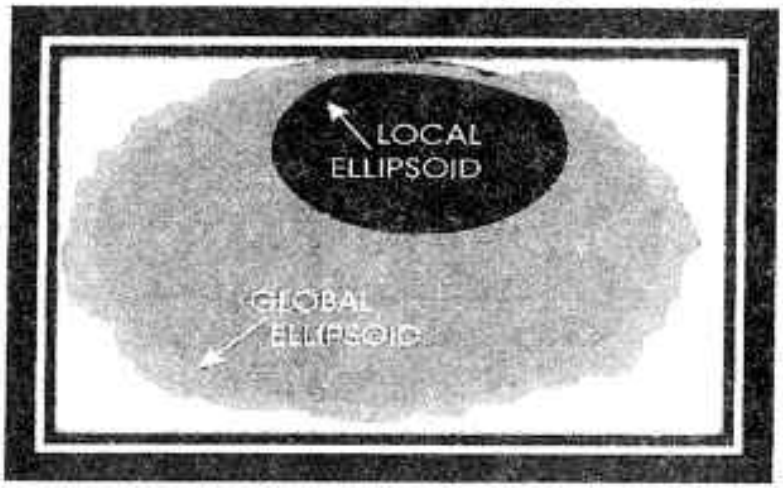
[1] Centre d'Études sur les réseaux les transports l'urbanisme et les constructions publiques Certu, Géoréférencement et RGF93 ; Fiche T1 - Notions de géoréférencement, Octobre 2008, p 1

2-2- أنواع الأنظمة الجيوديسية Datum

يوجد نوعان من الأنظمة الجيوديسية:

الأنظمة الأرضية (المحلية): وقد سميت بذلك لأنها أنجزت قبل تطور التقنيات الفضائية وتسمى أيضا الأنظمة المحلية حيث أنها أعدت لأغراض محلية مرتبطة بإقليم أو دولة معينة وليس لكل الكرة الأرضية، وهي أقل دقة من الأنظمة الفضائية كما لا يمكن تحيينها (تجديدها)، وقد حلت محلها الآن الأنظمة الفضائية (العالمية) التي تعتمد على التقنيات الفضائية التي تسمح بتغطية الكرة الأرضية بشكل كامل ويوضح الشكل رقم (5) ضرزرة تطابق الأنظمة الأرضية (المحلية) مع الجيونيد الخاص بالمنطقة أو الدولة المعنية قدر الإمكان.

الشكل رقم (5) يبين نموذجا للأنظمة الأرضية (المحلية) وكيف يتطابق مع الجيونيد الخاص بالمنطقة أو الدولة المعنية.



Source: EUROCONTROL and IfEN, WGS 84 IMPLEMENTATION MANUAL, 1998, Version 2.4, P66

ويتم بناء الأنظمة الأرضية انطلاقا من البسويد مرجعي خاص، ونقطة أساس مرجعية تم تحديدها فلكيا، إضافة إلى خط طول مرجعي. ويتم تحديد أي نقطة على سطح الأرض انطلاقا من إحداثيات ثنائية الأبعاد (خطوط طول ودوائر عرض)، ويمكن في هذه النوع من الأنظمة أن يبتعد مركز النظام عن مركز الكرة الأرضية بعدة مئات من الأمتار حتى يتفق بأقصى ما يمكن مع المنطقة المستهدفة، ومن أمثلة الأنظمة المحلية النظام الجيوديسي لأمريكا

الشمالية North American Datum NAD 1927 والنظام الجيوديسي الأوروبي (ED 1950) .

أما **الأنظمة الفضائية** فيتم إنشاؤها انطلاقا من ثابت أساسي فلكي و جيوديسي، وفي هذا النوع من الأنظمة يتم تحديد موقع أي نقطة انطلاقا من إحداثيات ثلاثية الأبعاد (خط الطول، دائرة العرض، و الارتفاع الأليسويدي)، ومن امثلة الأنظمة الفضائية النظام الجيوديسي لأمريكا الشمالية (NAD83) North American Datum 1983 والنظام الجيوديسي المرجعي (WGS84) Word System 1984 Geodetic ويوضح الشكل رقم (6) بعض المعطيات الخاصة بنماذج من الأنظمة الجيوديسية.

الشكل رقم (6) يوضح بعض المعطيات الخاصة بنماذج من الأنظمة الجيوديسية المحلية والفضائية

Datum, Système de référence	Ellipsoïde	Semi-axe majeur (Rayon équatorial) (m)	Semi-axe mineur (Rayon polaire) (m)	Aplatissement
Local				
North American Datum 1927 (NAD27)	Clarke 1866	6 378 206,4	6 356 583,8	1/294,9786982
Géocentrique				
North American Datum 1983 (NAD83)	Geodetic Reference System 1980 (GRS80)	6 378 137,0	6 356 752,3141	1/298,257222101
Word Geodetic System 1984 (WGS84)	WGS84	6 378 137,0	6 356 752,3142	1/298,257223563

Source: François Cavayas, Cartographie mathématique, Université de Montréal, 2009, Chapitres 2 , P5

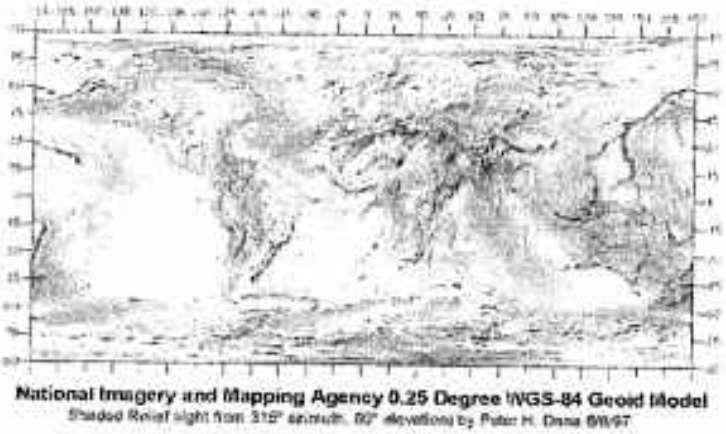
3-2 النظام الجيوديسي المرجعي (WGS84) Word Geodetic System

نظرا للحاجة إلى نظام مرجعي موحد على المستوى العالمي أطلقت وزارة الدفاع الأمريكية في الخمسينيات من القرن الماضي برنامجا لبناء نظام مرجعي عالمي (WGS60) Word Geodetic System 1960 وقد تم تطويره سنة 1964 و في بداية السبعينيات (WGS72) بعد سنوات من المجهودات الضخمة في مجال جمع البيانات الفضائية والمعلومات المتعلقة بالثقالة والقياسات الجيوديسية، واستمرت عملية التطوير ليحل النظام (WGS84) سنة 1984 محله والذي استخدم تجهيزات أكثر دقة وشبكات محطات تحكم أرضية أكثر وأوسع انتشارا جمعة بموجبها معلومات شديدة الدقة (انظر الشكل رقم 7)، ويعتبر نظام (WGS84) نظاما فضائيا نقطة الأصل فيه هي مركز كتلة الأرض بما فيها

المحيطات والغلاف الجوي، ويعتبر هذا النظام هو النظام الأساس لتقنية GPS.[1]

وتوجد أنظمة فضائية مشابهة ولكنها أقل انتشارا ولذلك فهي لم تعتمد كنظام مرجعي، مثل النظام الجيوديسي الروسي SGS 85 (GLONASS system) والنظام الأوروبي EUREF european frame based on 20 VLBI and 100 GPS stations.

شكل رقم (7) يوضح التضاريس لنموذج الجيونيد الخاص بالنظام المرجعي



WGS84 Source: Office des publications officielles des Communautés européennes, Manuel des concepts relatifs aux systèmes d'information sur l'occupation et l'utilisation des sols, Luxembourg , 2001 ,p 92

2-4- التحويلات بين أنظمة الإرجاع الجيوديسي

لإجراء العمليات الحسابية الجيوديسة الضرورية للتحويل من نظام إلى آخر أي من Datum إلى آخر فإنه يتم استخدام مركز النظام الجيوديسي Datum WGS84 كمرجع لبقية الأنظمة الجيوديسية، ولكي تتم حسابات التحويل بدقة نحتاج إلى معرفة العناصر التالية:

[1] Office des publications officielles des Communautés européennes. Manuel des concepts relatifs aux systèmes d'information sur l'occupation et l'utilisation des sols, Luxembourg , 2001 ,p 91

1- أبعاد الألبسويد
2- موقع الألبسويد للنظام الجيوديسي بالنسبة للنظام الجيوديسي WGS84 أي:

- مسافة الإزاحة بالمتر عن مركز الألبسويد على المحور X = (Dx)
- مسافة الإزاحة بالمتر عن مركز الألبسويد على المحور Y = (Dy)
- مسافة الإزاحة بالمتر عن مركز الألبسويد على المحور Z = (Dz)
- زاوية الدوران بالدرجات على المحور X المرجعي = (Rx)
- زاوية الدوران بالدرجات على المحور Y المرجعي = (Ry)
- زاوية الدوران بالدرجات على المحور Z المرجعي = (Rz)
- عامل المقياس (n+1) لنظام اتجاهات الألبسويد المرجعي
- عامل المقياس لـ D مثل : $|\vec{i1}|-|D+1|\vec{i2}|$

وإذا أخذنا النظام الجيودسي الفرنسي NTF كمثال نحصل على النتائج التالية :

1- الألبسويد هو= Clarke 1880 IGN و أبعاده هي :

المحور الكبير للألبسويد a = 6 378 249,2 m

التفلطح = 1 / 293,466 021

2- موقع مركز الألبسويد هو

Dx = - 168 m

Dy = - 60 m

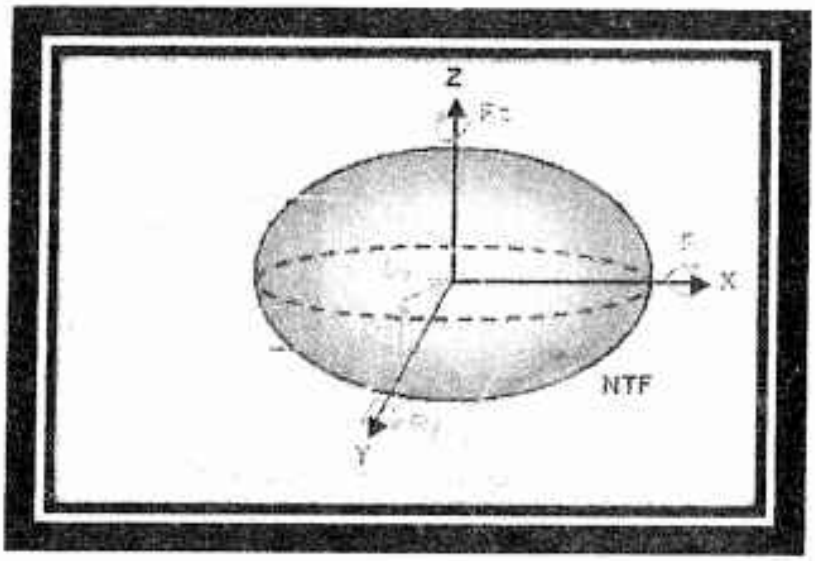
Dz = + 320 m

Rx = Ry = Rz = 0

D = 0

ويوضح الشكل رقم (8) ذلك:

شكل رقم (8) التحويل بين أنظمة الإرجاع الجيودسي



Source: Thierry Joliveau, Systèmes d'Information géographique, Université Jean Monnet. Saint-Etienne, 2008, P5