

# Nouvelle précision des G.P.S.

Paul COURBON

Ingénieur I.G.N., géomètre-expert

## Positionnement des cavités

Tout spéléologue digne du nom met un point d'honneur à topographier une cavité qu'il vient de découvrir et d'explorer. Les éléments ainsi déterminés permettront, sinon la publication d'un article, au moins l'insertion dans un atlas existant ou dans un fichier départemental.

L'avènement de l'informatique a aidé à l'élaboration de plusieurs fichiers départementaux, tels ceux du Var ou des Alpes-Maritimes. L'informatique facilite aussi la mise à jour de ces fichiers.

Jean-Pierre Lucot m'ayant fourni le fichier où il avait répertorié les cavités du Var sur cédérom, j'ai voulu retrouver plusieurs grottes et gouffres de Cabasse et Gonfaron, qui figuraient sur ce fichier avec leurs coordonnées Lambert. La plupart des cavités avaient été explorées dans les années 50 ou 60. À cette époque, il n'y avait pas de formation topographique, et, les personnes sachant lire une carte ou y mesurer des coordonnées étaient encore moins nombreuses qu'aujourd'hui. Ma désillusion fut grande. J'ai passé quatre dimanches à rechercher des cavités. Certaines étaient dans des collines envahies par la végétation où un positionnement précis aurait été nécessaire pour les retrouver. Sur dix cavités cherchées, je n'en ai retrouvé que deux. Une seule avait de bonnes coordonnées, l'autre avait été placée à 500 m près ! Le positionnement d'une cavité sur la carte est aussi important que sa topographie.

Aujourd'hui, les choses ont changé, le G.P.S. a fait son entrée. Encore, faut-il savoir s'en servir correctement pour reporter les points mesurés sur la carte et savoir quelle précision on peut espérer.

## Rappel

Peut-on dire que le G.P.S. soit l'enfant de l'ambitieux programme américain de la guerre des étoiles ? Depuis déjà un certain nombre d'années, on avait eu l'idée de se servir des satellites pour se positionner sur terre. L'Institut géographique national, entre autres, s'était attaqué au problème de la géodésie spatiale à partir de 1970. Mais, la technique débutante, le nombre restreint de satellites, leur basse altitude, des moyens de calcul qui n'étaient pas ceux actuels, avaient rendu cette gestation laborieuse. Malgré les moyens énormes mis en place, la précision était de l'ordre de cinq mètres, puis elle devint métrique, ce qui était incompatible avec une géodésie de précision, mais permettait de mieux orienter un réseau national. C'est ce qui avait été fait lors de l'élaboration de la géodésie jordanienne à laquelle j'avais participé en 1983.

Le G.P.S. (Global Positioning System) démarra en 1978 avec le lancement d'un premier satellite. Les programmes de calcul ont été faits en 1980. Ils avaient été conçus pour 1024 semaines, ce qui créa des problèmes d'actualisation en août 1999. Ces problèmes furent résolus avec ceux dus au passage au troisième millénaire.

Au départ, ce programme avait été conçu dans un but de navigation, avec une précision absolue de 20 m, dans un système de référence mondial et une précision horaire d'une micro-seconde.

Cependant, il fallut attendre 1985 pour que les onze satellites de la première tranche soient lancés et que le système devienne opérationnel. Mais au départ, ce nombre restreint de satellites, des moyens informatiques et électroniques qui n'étaient pas les moyens actuels, rendaient les observations



## G.P.S. bi-fréquence Leica

Un trépied de géomètre, centré sur les points à déterminer, comporte : un capteur (au sommet du trépied et un contrôleur tenu à la main) qui permet de programmer et commander les mesures.

■ **Temps réel** : les deux G.P.S. sont reliés par radio. Un G.P.S. fixe est placé sur un point de coordonnées connues que l'on affiche. Un G.P.S. mobile nécessite une initialisation de quelques minutes avant d'afficher les coordonnées du point à déterminer. Une fois l'initialisation faite, les coordonnées sont affichées au fur et à mesure, puis se déplacent avec une précision centimétrique.

Les liaisons radios en haute fréquence ne peuvent pas se faire en terrain accidenté.

■ **Post-traitement** : les G.P.S. ne sont pas reliés. Un G.P.S. fixe, placé où on le veut, enregistre en continu.

Le G.P.S. mobile doit rester sur les points à déterminer, entre cinq et quinze minutes, suivant la distance entre les deux appareils. Il faudra prendre un ou deux points connus pour caler le réseau.

Au retour au bureau, on décharge les contrôleurs sur ordinateur, un logiciel adapté permet de faire les calculs qui durent entre 20 mn et une heure, suivant le travail effectué.



longues et laborieuses. Le nombre insuffisant de satellites rendait de nombreuses périodes inobservables pour les déterminations de précision.

À partir de 1989 et jusqu'en 1993, une série de vingt-huit satellites fut lancée. Le système fut déclaré pleinement opérationnel en février 1994.

## Le G.P.S. différentiel

Le G.P.S. ayant été créé à des fins militaires, l'armée américaine vit d'un œil méfiant son utilisation par les civils. Aussi, généra-t-elle des altérations sur les signaux émis, de manière à limiter la précision. Mais, la parade vint très vite avec un procédé différentiel. C'est-à-dire qu'on imagina de travailler avec deux G.P.S., un GPS fixe qui permettait d'enregistrer toutes les variations en un point et un autre G.P.S. qui se déplaçait sur les points à déterminer. Les altérations étant les mêmes sur les deux G.P.S., une parfaite synchronisation permettait de les annuler par différence. En se calant sur un ou plusieurs points connus, on obtint ainsi rapidement des précisions centimétriques qui rendaient caduques les altérations générées par les militaires ! Il fallut attendre presque quinze ans pour que l'armée américaine se rende à l'évidence et supprime ces altérations devenues inutiles.

Cependant, ces altérations n'étant pas les seules causes d'imprécision, le procédé différentiel est toujours employé pour toutes les mesures précises. Avec un G.P.S. bi-fréquence différentiel, on obtient maintenant couramment des précisions de l'ordre de 5 mm + 1 mm/km. Lors de reprises de mesures, un an ou deux après, il m'est souvent arrivé de retomber à un centimètre près sur des points situés à 10 km. D'ailleurs, des mesures d'une précision inférieure au centimètre ont été effectuées pour mesurer le déplacement des plaques terrestres et cela sur plusieurs centaines de kilomètres. Cela s'est fait par exemple entre la France et l'Espagne pour étudier les variations de la chaîne des Pyrénées. Mais dans ce cas, les temps de mesure sont beaucoup plus longs et les calculs demandent l'emploi de logiciels spéciaux.

Comme on s'en doute, la précision coûte cher. La paire d'un bon G.P.S. bi-fréquence vaut plus de 300 000 F (45 000 euros). Ce prix pose des problèmes, même aux professionnels.

## Les petits G.P.S.

Maintenant, le G.P.S. s'est généralisé, démocratisé pourrais-je dire. Les promeneurs, excursionnistes et autres peuvent en acquérir sur le marché à moins de 2 000 F (ou 300 euros si cet article paraît en 2002) ! N'importe qui, sans connaissance spéciale, peut se positionner sur une carte. Le marin n'a plus besoin de son sextant, et dans le désert, les concurrents du Paris-Dakar n'ont plus le droit de se perdre !

Le G.P.S. a apporté un progrès énorme, mais il a fait perdre la part d'incertitude et l'acquis d'expérience qui sont le sel de l'aventure...

Fin 1992, avant une expédition en Nouvelle-Guinée, on m'avait prêté une de ces petites merveilles récemment apparues sur le marché. J'étais allé la tester sur une dizaine de points I.G.N. J'avais eu des écarts compris entre 50 et 250 m.

Mais, il y eut des progrès. Quelques années plus tard, en employant un G.P.S. en poste fixe et un autre itinérant, on pouvait annoncer 25 à 30 m de précision en essayant de bien caler les temps d'observation.

Début 2000, j'eus encore l'occasion d'utiliser un tel appareil. En restant à un endroit fixe, on pouvait constater les altérations créées par les militaires. En un quart d'heure, les coordonnées variaient de près de 100 m, allant et venant autour d'une position moyenne.

## La fin des messages d'erreur

En 2001, l'armée américaine cessait d'émettre les messages d'erreur qui altéraient les signaux. J'ai voulu alors voir quelle en était la conséquence sur les petits G.P.S. En compagnie de Jean-Pierre Lucot, j'ai fait 37 mesures, sur deux points I.G.N. et sur des points que j'avais préalablement mesurés avec un G.P.S. bifréquence Leica, de précision centimétrique. Par rapport à ce que j'avais vu précédemment, j'ai été stupéfait, j'ai obtenu une précision que je n'aurais jamais osé imaginer.

## Tests de mai et juin 2001

Nous avons procédé en deux temps, de manière à bien faire apparaître, d'une part l'écart-type qui caractérise la

précision et, d'autre part, les défauts de calage sur les différents référentiels employés en topographie.

## L'écart-type

L'écart-type caractérise la précision d'une mesure. Il est issu de la théorie des probabilités et défini dans l'étude de la courbe de Gauss.

Faisons  $n$  mesures  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$  d'une quantité  $A$ .

Soit  $A_m$  la moyenne de ces mesures.

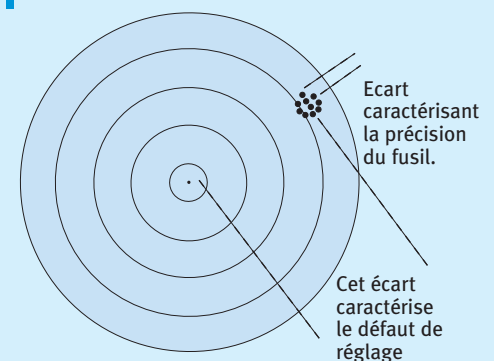
Formons les  $n$  différences :  $e_1 = (A_1 - A_m)$ ,  $e_2 = (A_2 - A_m)$ ,  $e_3 = (A_3 - A_m)$ , etc. qui définissent l'écart de chaque mesure par rapport à la moyenne des mesures ( $A_m$ ). C'est à partir de ces écarts que l'on va rechercher une définition de la précision. La précision est exprimée par l'écart-type, appelé autrefois erreur moyenne quadratique et nommé par les Anglais "standard deviation". D'une manière mathématique, il a pour expression :

$$\text{Ecart-type} = \sqrt{\frac{(e_1^2 + e_2^2 + e_3^2 + \dots + e_n^2)}{n - 1}}$$

## L'étalonnage

Une mesure peut être précise parce qu'elle fait partie d'une série où il y a peu d'écarts entre les différentes mesures. Mais, cette mesure peut-être éloignée de la valeur vraie, parce qu'il y a un défaut de réglage ou d'étalonnage de l'appareil. La façon la plus facile de le faire comprendre est l'exemple du tir au fusil sur une cible.

### Exemple du fusil



Après réglage de la ligne de mire, toutes les balles seront proches du centre de la cible.



Visons une cible lointaine et coinçons le fusil dans un dispositif qui l'empêche de bouger. Tirons plusieurs coups. La distance étant lointaine et le fusil n'étant pas un instrument parfait, il n'y aura pas un trou unique, mais plusieurs trous regroupés dans un très petit espace. Mais cet espace n'est pas centré sur la cible, il va se trouver par exemple à 10 cm au nord-est du centre.

Le regroupement des tirs dans un petit espace prouve que le fusil est précis. Cette précision sera calculée à partir de l'écart de chaque impact par rapport au point moyen.

Le fait que le point moyen des impacts soit éloigné du centre de la cible prouve que la ligne de mire du fusil est mal réglée. Il suffira de faire le réglage adéquat (étalonnage) pour ramener le centre des points d'impacts sur le centre de la cible. Le fusil étant bien réglé, on pourra alors utiliser au mieux sa précision.

### Premier test

Il a été effectué pour déterminer directement l'écart-type. Nous avons mesuré vingt points, situés dans un rayon de cent mètres ; d'abord avec le G.P.S. bi-fréquence Leica, ce qui nous donnait une figure cohérente où les vingt points avaient une précision de 1 cm les uns par rapport aux autres. Nous avons calé cette figure sur les coordonnées du point 1 donné par le petit G.P.S. de poche. Nous étions ainsi dans le même système, calés d'une manière identique. Les écarts sur le point 1 étaient donc de 0. Les écarts sur les autres points entre la mesure G.P.S. de poche et la mesure Leica étaient liés directement à la précision du G.P.S. de poche. Nous en avons déduit directement les écarts-types, donc la précision du G.P.S. de poche.

Le G.P.S. de poche et le G.P.S. Leica de précision centimétrique ayant des coordonnées identiques sur le point de départ, nous obtenons des écarts utilisables directement pour le calcul de la précision (écart-type). L'écart en Z devrait être supérieur aux écarts en X et Y. Il est sans doute meilleur parce que notre zone de travail est restreinte.

### Deuxième test

Il était destiné à confirmer les mesures précédentes, mais surtout à contrôler que les calages du G.P.S. de poche sur les référentiels terrestres étaient

### Mesures du 20 mai 2001 – Secteur “Tête du Cade”

N° Point	G.P.S. de poche			G.P.S. / Leica.bifréquence			Ecart absolu		
	x (m)	Y (m)	z (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	Δ.X (m)	Δ.Y (m)	Δ.Z (m)
1	731258	4790779	517	731258.0	4790779.0	517.0	0.0	0.0	0.0
2	731248	4790775	517	731249.3	4790778.5	516.2	1.3	3.5	0.8
3	731253	4790785	517	731250.6	4790787.9	516.6	2.4	2.9	0.4
4	731249	4790783	517	731247.1	4790784.0	516.3	1.9	1.0	0.7
5	731244	4790793	517	731239.3	4790292.5	515.9	1.1	1.9	0.8
6	731240	4790793	517	731239.3	4790792.5	515.9	0.7	0.5	1.1
7	731239	4790806	517	731236.6	4790807.0	516.4	2.4	1.0	0.6
8	731234	4790800	517	731234.2	4790803.5	516.1	0.2	3.5	0.9
9	731218	4790808	516	731217.8	4790809.0	515.2	0.2	1.0	0.8
10	731214	4790803	516	731214.9	4790805.2	514.9	0.9	2.2	1.1
11	731210	4790817	516	731212.6	4790817.4	515.2	2.6	0.4	0.8
12	731211	4790815	516	731208.1	4790814.1	514.8	2.9	0.9	1.2
13	731204	4790824	516	731202.7	4790824.2	514.7	1.3	0.2	1.3
14	731199	4790822	516	731197.3	4790819.4	514.3	1.7	2.6	1.7
15	731196	4790831	515	731195.0	4790829.6	514.4	1.0	1.4	0.6
16	731195	4790830	515	731194.1	4790828.3	514.2	0.9	1.7	0.8
17	731181	4790840	514	731181.1	4790837.7	513.8	0.1	2.3	0.2
18	731178	4790836	514	731178.1	4790836.4	513.6	0.1	0.4	0.4
19	731172	4790845	513	731172.0	4790842.4	513.4	0.0	2.6	0.4
20	731170	4790840	513	731170.5	4790837.3	513.2	0.5	2.7	0.2
<b>Ecart moyen</b>							<b>1.1</b>	<b>1.6</b>	<b>0.7</b>
<b>Ecart-type</b>							<b>± 1.5</b>	<b>± 2.1</b>	<b>± 0.9</b>

### Mesures du 9 juin 2001 dans la région du Luc

Point	Heure	Précision affichée	ΔX	ΔY	ΔZ
RN67 bis	15 h 30	4 m	+4.6	+5.6	+13.5
	18 h 16	5 m	+3.6	+4.6	+11.5
Réservoir	15 h 50	5 m	+0.4	+3.6	+9.5
Le Cannet	17 h 58	5 m	+4.5	+7.0	+14.0
RN/rd17	16 h 01	5 m	+1.5	+6.0	+10.0
Pont Argens	16 h 06	5 m	+2.2	+3.9	+8.2
	18 h 01	4 m	+1.2	+3.9	+15.2
S.14 Pêch.	16 h 16	4 m	+3.3	+1.2	+7.2
S.14 Pêch.	16 h 27	4 m	+0.6	+3.7	+9.2
Lac Carcés	16 h 38	4/5 m	-0.6	+4.1	+15.6
Dumez	16 h 44	4 m	+0.4	+3.9	+8.7
RN citerne	16 h 58	4 m	+1.9	+5.8	+9.5
Bne Autor.	17 h 05	4 m	+0.5	+5.1	+9.4
Le Luc VII	17 h 28	7 m	+0.7	+6.1	+14.5
PTT Lauves	17 h 40	7 m	-1.3	+3.1	+25.3
	17 h 44	4 m	+2.7	+4.1	+14.3
RN Lauves	17 h 48	5 m	+1.3	+0.9	+12.2
<b>Ecart moyen par rapport à la position vraie</b>			<b>+ 1.6</b>	<b>+ 4.3</b>	<b>+ 11.4</b>
<b>Ecart-type par rapport à la moyenne</b>			<b>± 1.4</b>	<b>± 1.7</b>	<b>± 2.4</b>

bons (étalonnage). Nous avons mesuré avec le G.P.S. de poche deux points géodésiques I.G.N. et d'autres points de précision centimétrique précédemment déterminés au G.P.S. Leica bi-fréquence. Ces points étaient assez éloignés les uns des autres, certaines distances dépassant dix kilomètres.

De plus, nous avons repris certains points trois heures après pour s'assurer que les coordonnées n'avaient pas varié sensiblement avec le temps.

L'écart en Z de 17 h 40 à PTT Lauves est hors tolérance. Nous l'avons supprimé.

Les écarts-types en X et Y confirment ceux trouvés précédemment.

Ceux en Z sont plus conformes à la réalité que précédemment

En Z, l'écart moyen par rapport à la position vraie, signifie que le G.P.S. utilisé n'est pas réglé pour la zone de travail. Il a été réglé pour une zone où la hauteur de géoïde par rapport à l'ellipsoïde est de 38 m, alors que dans notre



zone de travail, il est 49 m. Il faudra abaisser les Z trouvés de 11 m.

Les abscisses X sont bien calées, l'écart moyen de 1,6 m étant peu significatif.

Les ordonnées Y seront à abaisser de 4 m.

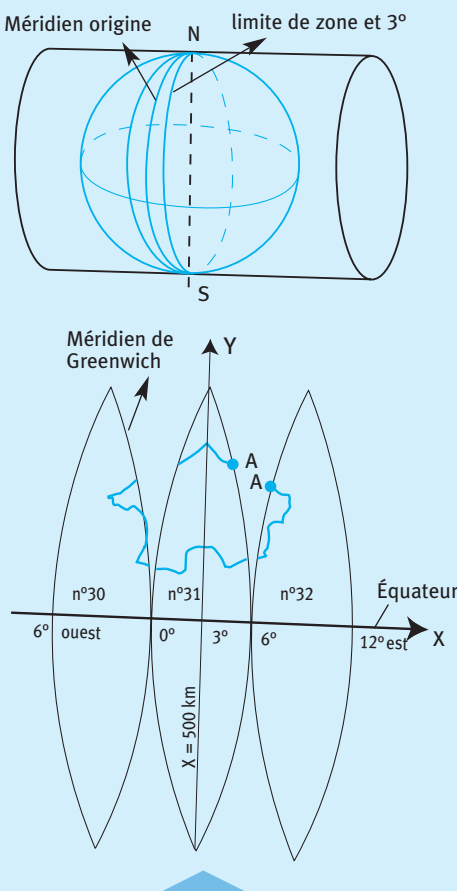
**Quand on regarde les résultats au bas du tableau, la précision en altitude sera de l'ordre de 2,4 m. L'écart moyen de 11,5 m correspond à l'erreur d'étalement dont nous avons donné précédemment une image avec la cible.**

### Corrections à apporter

Il suffit d'inclure dans une séance de travail un contrôle sur un ou deux points connus. Une borne I.G.N., par exemple, que l'on prendra en début et en fin de travail. On pourra ainsi en déduire une correction en X, Y et surtout Z.

### Représentation UTM

L'ellipsoïde est représenté sur un cylindre tangent suivant un méridien, on limite la zone de représentation à 6° d'ouest en est pour limiter les déformations.



La France est représentée sur 3 fuseaux. Entre les zones, il y a un hiatus en X. L'X d'un point A à cheval sur 2 fuseaux n'est pas le même dans le fuseau 31 et dans le 32.

### Analyse des résultats

Ils sont excellents pour des appareils de ce type. La précision graphique de report sur les cartes est de l'ordre de 2/10 de mm. Pour une carte I.G.N. 1/25 000, 2/10 mm correspondent à 5 m sur le terrain. Cela veut dire que nous sommes largement dans les normes.

### Les différents types de projection et les ellipsoïdes

La plus grosse difficulté dans l'emploi du G.P.S. est de se familiariser avec tous les systèmes de référence employés dans le monde. Au XIX<sup>e</sup> siècle, mis à part le système métrique introduit par les scientifiques français au moment de la Révolution, il n'y avait aucun système universel. Chacun travaillait dans son coin. C'est ainsi que sont apparues, appelées à tort projection, les représentations Lambert, UTM, Bessel, Bonne, etc. Mais, comme le kilogramme perdue pour le poids, le terme projection perdue pour la représentation !

### Le géoïde et l'ellipsoïde

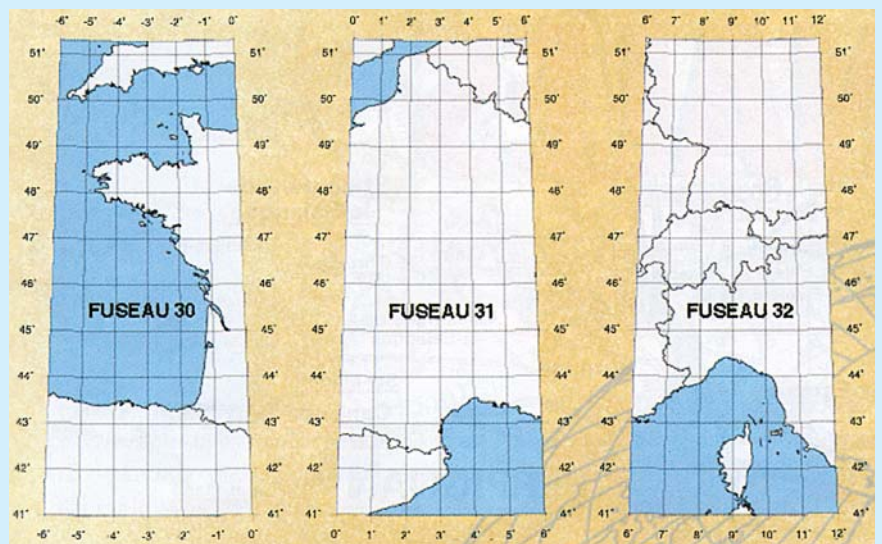
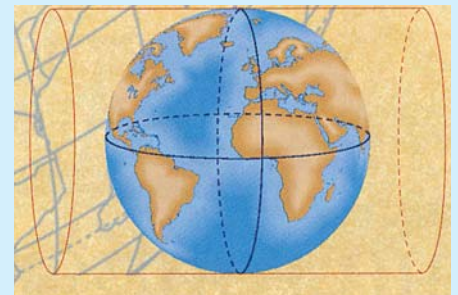
La terre est un solide physique irrégulier. Pour la cartographie, on avait défini le géoïde qui est le solide obtenu en prolongeant les mers au-dessous de continents. Lié à la gravité, ce solide physique est lui aussi irrégulier. Or, il est nécessaire de définir un modèle mathématique pour pouvoir faire tous les calculs de transformation qui aboutissent au plan. Le modèle mathématique le plus proche du géoïde est l'ellipsoïde. Là aussi, en fonction des travaux réalisés par

les scientifiques, plusieurs ellipsoïdes furent adoptés. Les uns s'adaptent bien à une région, les autres à une autre région. En France, l'ellipsoïde associé à la représentation Lambert est celui de Clarke (1880).

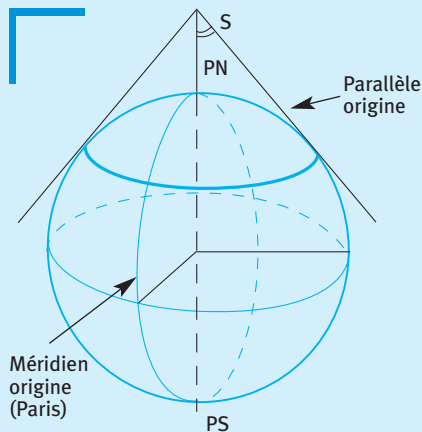
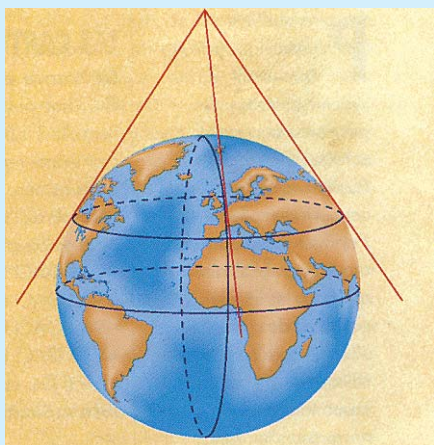
L'apparition des satellites et le calcul de leur trajectoire ont permis de mieux définir la forme exacte de la terre, donc d'adopter un nouvel ellipsoïde plus adapté. L'ellipsoïde GRS 1980 est associé au nouveau système Lambert 93 que nous verrons ultérieurement.

### La représentation U.T.M.

Le seul système universel est le système U.T.M. qui est la représentation de la terre sur un cylindre tangent à l'ellipsoïde suivant un méridien. C'est le plus utilisé. Pour limiter les déformations inévitables quand on passe d'une surface courbe au plan de la carte, on limite la représentation à 3° de part et d'autre du méridien central, soit une plage totale de 6°. Il y a donc 60 zones U.T.M. pour représenter toute la terre. La France, dont la longitude va de 5° ouest par rapport à Greenwich, jusqu'à 8° est, se trouve à cheval sur trois zones : 30, 31 et 32. Ce qui pose des problèmes quand on passe d'une zone à l'autre, car il n'y a pas de continuité dans les coordonnées.



## Représentation LAMBERT



L'ellipsoïde est représenté sur un cône tangent suivant un parallèle. Le parallèle a la même longueur sur l'ellipsoïde et sur le cône développé (plan). Mais plus on s'éloigne du parallèle, plus la déformation est grande, d'où 3 zones en France.

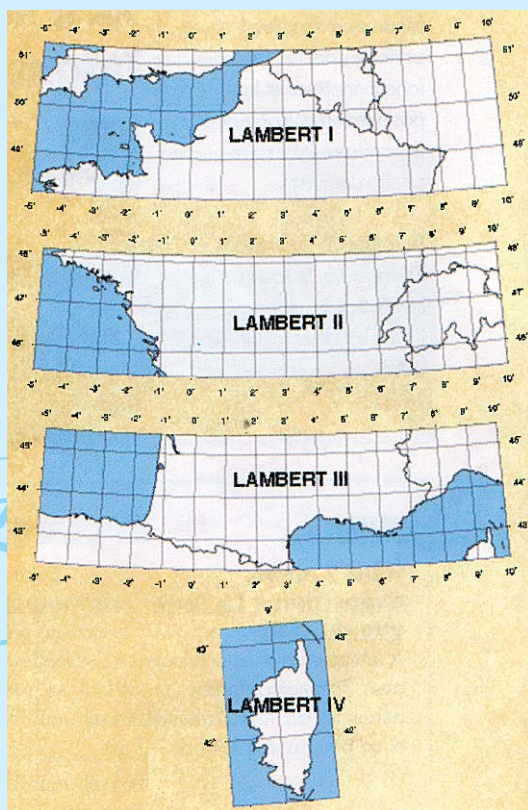
### La représentation Lambert

La France, que j'estime être un pays universaliste, a ici failli en n'adoptant pas le système U.T.M., mais le système Lambert a été, lui aussi adopté au Texas ! Dans les anciennes colonies, l'I.G.N. a fait abandonner ce système. Ainsi, l'Algérie, entre autres, est passée du système Lambert au système U.T.M.

Le système Lambert est la représentation sur un cône tangent à l'ellipsoïde suivant un parallèle. Pour limiter les déformations, on a partagé la France en trois zones pour le continent, plus une quatrième pour la Corse. La déformation maximale est de 12 cm/km en limite de zone. Mais, cela génère le problème de manque de continuité de coordonnées quand on passe d'une zone à l'autre.

Cependant, pour les Systèmes d'information géographique (S.I.G.) ou les banques de données couvrant la France entière, il devenait nécessaire de n'avoir qu'une zone. C'est ainsi qu'a été créée la zone Lambert II étendue qui couvre toute la France continentale. Le problème est qu'on a en bordure de zone une altération linéaire de l'ordre de 2 m/km.

Depuis 2001, le nouveau système légal français est le système Lambert 93 (1993) qui ne comporte qu'une seule zone pour la France continentale, avec évidemment, de grosses altérations linéaires en limite, mais beaucoup plus pratique pour les systèmes d'information géographique. Cependant, avec tous les fichiers, répertoires, banques de données et cartes existantes, il n'est pas facile de passer du jour au lendemain d'un système à un autre. Le système actuel à quatre zones a encore de belles années de transition devant lui. Le problème est encore plus ardu que celui du passage du franc à l'euro !



### Les coordonnées trirectangulaires

Dans les levés topographiques terrestres, le troisième élément des coordonnées est l'altitude Z. Élément indispensable pour voir le sens d'écoulement de l'eau, associée si étroitement à notre vie. Cette altitude Z, liée au niveau de la mer, liée à la bulle du niveau, se rattache au géoïde. Nous avons donc un système de coordonnées bâtard, utilisant deux références différentes.

L'apparition des satellites qui tournaient autour du point théorique qu'est le centre de gravité de la terre, demandait un système de calcul qui ait ce centre de gravité pour origine. C'est ainsi que fut

adopté un système de coordonnées trirectangulaires, ayant une origine proche du centre de gravité de la terre, pour axe OZ l'axe des pôles, l'axe OX étant contenu dans le plan du méridien de Greenwich.

Le système WGS 84 dans lequel évoluent les satellites, nous donne au départ des coordonnées trirectangulaires XYZ ayant pour origine le centre de la terre. Quand on voit afficher un Z de 4 645 363 m, pour nous terriens, habitués à un Z par rapport à la mer, cela ne veut rien dire ! Il faut donc transformer ces coordonnées dans un système plus conforme à la surface terrestre sur laquelle nous vivons. Mais, là encore se pose un dernier problème. Pour faire nos calculs de transformation, il nous faut un modèle mathématique qui est l'ellipsoïde. Or, en France, la hauteur entre l'ellipsoïde et le géoïde varie entre 35 et 50 m suivant les endroits. Les logiciels de calcul devront donc comporter un modèle de géoïde pour pouvoir passer de la hauteur ellipsoïdique à l'altitude.

Cela explique pourquoi, dans notre expérience, nous avons eu un écart moyen de 11 m par rapport à l'altitude. Dans les petits G.P.S., il n'y a pas de modèle de géoïde. Seule une moyenne pour la France a été introduite. Dans le Var où nous avons 50 m de différence entre l'ellipsoïde et le géoïde, les calculs n'avaient pris en compte que 39 m. C'est le côté le plus difficile à assimiler dans l'emploi du G.P.S. Tous ces référentiels différents sont là pour nous compliquer la vie !

### Les cartes I.G.N.

Après les mesures, reste le report sur la carte, document graphique indispensable. Sur toutes les cartes I.G.N. sont tracés les petits croisillons kilométriques (tous les 4 cm) qui permettent de reporter un point d'après ses coordonnées Lambert classiques. Les coordonnées Lambert 1993 ne figurent pas encore.

En bordure de carte, figurent en bleu les amorces des coordonnées U.T.M. Mais, il faudra une grande règle pour les joindre et le report des points sera moins précis.

**Un conseil, le système légal français et celui des systèmes d'information géographique étant le Lambert, achetez de préférence un G.P.S. permettant d'obtenir directement des coordonnées Lambert. Sinon, il vous faudra un logiciel pour la transformation des coordonnées U.T.M. en Lambert.**