

Le GPS

(Sunday, 06 February 2005) -

Topographie : découvrir le fonctionnement du GPS Source: Futura Sciences Par Jean-Michel Dominguez Géomètre - Topographe Les sciences géographiques et notamment la cartographie sont à l'origine du désir incessant de connaître notre position physique sur la planète. Les technologies actuelles nous proposent des systèmes électroniques informatisés et interfacés, comme les systèmes de positionnement par satellites que nous retrouvons dans les avions, les navires, certains véhicules automobiles, ou encore des systèmes portatifs pour les randonneurs. L'un d'entre eux, le GPS, est actuellement le système de positionnement par satellite de référence en France mais, comment certains utilisateurs arrivent-ils à obtenir une position géographique de précision centimétrique... ?

Le GPS est né aux Etats-Unis dans les années 60 et était d'abord destiné aux militaires. Cependant, il fut autorisé plus tard pour un usage civil. Les applications ont alors été diverses et plusieurs types de récepteurs GPS ont vu le jour. Ce système a bouleversé notre monde dans beaucoup de secteurs comme la navigation maritime, aérienne, la géodésie, la cartographie ainsi que tous les travaux topographiques les plus courants.

Bien que les récepteurs GPS soient des systèmes électroniques passifs, il faut avoir quelques connaissances pour les piloter à travers leurs logiciels embarqués. Les matériels, les systèmes de coordonnées et un peu de cartographie sont le minimum à connaître. Mais malgré tout, les récepteurs GPS ne vous fournissent au mieux qu'une précision de plusieurs dizaines de mètres. Alors les modes de positionnement ont évolué pour améliorer cette précision jusqu'à ce qu'elle devienne... centimétrique !

Couplé au réseau de points géodésiques implantés par l'IGN partout en France, des utilisateurs comme les géomètres, topographes et cartographes, parviennent à réaliser des cartes et plans extrêmement précis, encore faut-il interpréter les données et effectuer une multitude de calculs.

Néanmoins, actuellement tout le monde peut acheter un récepteur GPS car il existe une gamme pour chaque utilisation. Aidé d'une carte IGN, et avec une bonne initiation, il est possible de se repérer partout en France, et dans le reste du monde

Au Sommaire de cet article:

- 1 - Histoire du GPS (Global Positioning System)
- 2 - Les différentes applications
- 3 - Galiléo - Système européen de navigation par satellite
- 4 - Principe du fonctionnement du GPS
- 5 - Principe d'un calcul de coordonnées
- 6 - Combiner une carte IGN et un GPS
- 7 - Différents types de matériels [b] [/color]

1°) Histoire du GPS (Global Positioning System)

En 1968, le Pentagone imagine un système de localisation géographique composé d'une constellation de satellites en orbite autour de la Terre qui pourrait leur fournir la position d'un point sur la planète en temps réel et 24h sur 24. Le système NAV.S.T.A.R-G.P.S (navigation system time and ranging - Global Positioning System) a alors été conçu, financé et développé dès 1973 par le département de la Défense des Etats-Unis pour un usage strictement militaire. Le premier satellite a été lancé en 1978.

Le système a été déclaré opérationnel en 1995, comportant alors 28 satellites en orbite quasi-circulaires autour de la Terre formant un angle de 55° avec l'équateur et de 60° avec chacune des autres orbites à une altitude de 20200 Km, et un segment de contrôle. Depuis 1995, la constellation comporte 24 satellites « titulaires » et 4 satellites de réserves en cas de disfonctionnement, tous opérationnels et les performances du système sont stables. Ils ont une période de révolution de 1 jour sidéral (11 h 58 min). Ainsi, une constellation peut être observée 2 fois par jour et chaque jour 4 min plus tôt que le jour précédent.

Les satellites, dont la durée de vie moyenne est de 8,5 années, sont renouvelés et évoluent dans leur technologie. Actuellement la constellation de 28 satellites est composée de générations différentes (émettant tous les mêmes signaux) : 4 du bloc II (années 80), 18 du bloc IIA (1990-97), et 6 du bloc IIR (depuis 97).

La majorité des satellites du bloc I a été mis sur orbite par le lanceur américain Atlas. Ce lanceur est une fusée très éprouvée avec plusieurs centaines de lancement depuis 1962. La plupart des satellites expérimentaux du bloc I ont soit cessé d'émettre soit n'ont jamais fonctionné suite à des incidents au lancement.

Les satellites du bloc II ont été mis sur orbite par le lanceur américain DELTA II. Cette fusée fut à l'origine d'un missile balistique appelé missile THOR. Sa fabrication fut arrêtée en 1984, jusqu'à ce que le drame de Challenger en Janvier 1986 vienne tout remettre en question. La fusée DELTA ressuscita avec la suspension des vols de navettes et la remise en cause de sa fonction commerciale.

A - Le segment de contrôle :

Cinq stations au sol poursuivent les satellites en enregistrant en permanence tous les signaux. Le centre de calcul de Colorado Springs (Master Control Station) actualise les orbites et les almanachs (contiennent les éphémérides), synchronise les horloges, calcule les paramètres de modélisation ionosphérique, enregistre l'état de santé des satellites. Toutes ces informations sont régulièrement transmises aux satellites. Des tests récents (2002) évaluent la précision des orbites radiodiffusées au niveau 1 à 2m.

B - Histoire de la géodésie :

La géodésie est la science (directement lié au GPS) qui détermine la forme et les dimensions de la Terre dans l'espace à trois dimensions. A partir des Grecs et jusqu'à la fin du XVIIIème siècle, il est admis que la terre est sphérique. La réponse à la question de sa forme est donc simple, la seule inconnue réside en la longueur du rayon terrestre. La détermination de cette grandeur se pose alors comme l'activité propre des savants géodésiens.

Une seule technique dite "méthode des arcs", est employée; elle fut élaborée dans son principe par Eratosthène au III^e siècle av. J. C., et met en oeuvre des mesures de distances à la surface de la terre et des mesures astronomiques, c'est-à-dire des mesures de directions de la verticale. Le résultat d'Eratosthène est donc tout à fait remarquable : 3% d'erreur

En fait cette définition de la géodésie par son "objet" seul : la forme de la terre, méconnaît une réalité essentielle de toute science : ses implications sociales, politiques et religieuses. Dès l'origine, la géodésie a comporté des aspects autres que celui de la détermination d'une surface dont la connaissance pure n'était l'objectif que de quelques savants. Concrètement la surface terrestre n'est pas une sphère mais revêt une forme extrêmement complexe donnée par la nature ou modifiée par l'homme. La connaissance de cette surface là, de ses détails, non dans leur nature mais dans leur position et leurs grandeurs implique des aspects très nombreux de la vie des hommes, politiques, religieux, sociaux : lever l'impôt ou faire la guerre, penser le Monde pour les Eglises, les voyageurs et marchands.

Rappelons la mise à l'index des idées de Copernic en 1616 par l'Eglise catholique. Ces aspects affectent profondément le développement de la géodésie et de la cartographie. Newton introduit l'hypothèse que la Terre aurait plutôt la forme d'un ellipsoïde de révolution (sphère aplatie aux pôles). Elle a un tassement et un renflement de 11 Km au niveau des pôles et de l'équateur, par rapport à un rayon moyen de 6367 km.

La géodésie peut donc être caractérisée comme l'unité de deux objectifs : connaissance globale de la forme de la surface terrestre et connaissance concrète des particularités de la surface réelle. La synthèse, jusqu'à une époque très récente (milieu du XX^e siècle) a pris la forme de la détermination des coordonnées géométriques d'un certain nombre de points dits «points géodésiques» considérés comme appartenant à une surface mathématiquement parfaite, la sphère d'abord, l'ellipsoïde ensuite.

La détermination de la localisation de chaque élément particulier de la surface, à partir des points géodésiques étant assurée par une technique particulière : la topographie et la représentation de ces éléments sur une surface plane par la cartographie. Ainsi depuis l'antiquité grecque jusqu'au milieu du XX^e siècle, la géodésie a-t-elle eu pour tâche de déterminer une surface mathématique simple et de localiser des points sur cette surface ?

C'est en 1956 au cours d'un symposium réuni à Munich que le géodésien anglais Hotine, présente un aspect géodésique nouveau qui devient très rapidement la géodésie tridimensionnelle. Pour Hotine le problème de la géodésie doit être repensé, non dans l'espace à deux dimensions de la surface de l'ellipsoïde de référence, dimensions auxquelles on en ajoute une troisième tout à fait indépendante l'altitude, mais dans le cadre d'un système à trois dimensions défini par un trièdre rectangulaire de coordonnées, et par un certain nombre de trièdres auxiliaires locaux, rattachés à ce dernier.

2°) Les différentes applications

A - Les premières applications militaires :

Des essais de guidage de bombes ont eu lieu dans le désert de Yuma. Les bombes ont été larguées à une altitude de 10 000 pieds (environ 3 kilomètres). L'erreur maximale entre la déflagration et la cible initiale était en moyenne de 56

pieds (17 mètres).

L'application directe du GPS s'est trouvée dans l'utilisation des missiles de croisière. A priori, le système NAVSTAR n'était pas approprié au guidage de missiles intercontinentaux (ou de tout autre de missiles) en terrain ennemi sur des milliers de kilomètres. Cependant l'utilisation de la navigation par GPS a permis d'accroître les performances de certains missiles utilisés par le DoD (Department Of Defense).

© Esa

Les bombardiers utilisant le système NAVSTAR en déterminant la position de leurs cibles, pouvaient potentiellement détruire de 400 à 600% d'unités ennemies de plus qu'en utilisant les systèmes de localisation habituels. Le GPS s'est alors révélé être d'une importance majeure pour les USA.

B - Les applications civiles :

© Esa

Les constructeurs d'automobiles commencent à intégrer un récepteur GPS à certains véhicules, en général haut de gamme, interfacé avec un écran LCD qui vous propose une carte géographique interactive et la position de votre véhicule en temps réel. Un logiciel répertoriant une multitude d'adresses, pilote en complément le système, et fournit donc une trajectoire à suivre. Ici, c'est un GPS orienté trajectographie et donc, pas de coordonnées disponibles pour 2 raisons : manque de connaissances de l'utilisateur sur ce qu'est un jeu de coordonnées et inutilité pour lui.

Les navires, les avions sont depuis longtemps équipés du GPS et les navigations se font en fonction de ses indications. Les balises maritimes sont « le réseaux de points géodésiques » des mers et océans et émettent en continue leur position. Les avions utilisent le pilote automatique qui est en fait une prise en charge de l'appareil, couplée avec une trajectographie guidée par des positions GPS en temps réel.

Néanmoins, tous ces précédents cas ne donnent pour les meilleurs d'entre eux des positions à 100 m près, ceci étant dû à la qualité de l'électronique des récepteurs GPS embarqués et à leur façon d'être utilisé.

Les systèmes les plus précis sont sans aucun doute les GPS utilisés par les professionnels du génie civil, et plus particulièrement les géomètres et topographes qui travaillent avec des positionnements de précision centimétrique. Dans la recherche aussi (CNRS, CNES), on retrouve des applications de pointe du GPS comme des auscultations de la tectonique des plaques et ici, la précision est millimétrique.

Mais pour arriver à un tel niveau, ces utilisateurs du génie civil et de la recherche doivent maîtriser des modes opératoires bien particuliers. De plus, les logiciels qui pilotent ces récepteurs de pointe sont, a contrario de ceux qui équipent les GPS de nos automobiles, complètement interactifs et bien plus complets, et proposent des modes de positionnements spécifiques.

3°) Galiléo- Système européen de navigation par satellite

Un repère permanent dans l'espace et dans le temps. Galileo, premier système de navigation et de positionnement par satellite spécifiquement conçu à des fins civiles, est plus performant, plus avancé et plus sûr que le système GPS dont les États-Unis ont actuellement le monopole. L'ampleur des besoins futurs en matière de navigation et l'exigence de couverture mondiale ne peuvent être satisfaits par un système unique.

Connaître sa position exacte dans l'espace et dans le temps, autant d'informations qu'il sera nécessaire d'obtenir de plus en plus fréquemment avec une grande fiabilité. Ce sera possible avec le système de radionavigation par satellite Galiléo, initiative lancée par l'Union européenne et l'Agence spatiale européenne (ESA). Ce système mondial assurera une complémentarité avec le système actuel GPS.

La radio-navigation par satellite est une technologie de pointe. Elle résulte de l'émission, à partir de satellites, de signaux indiquant une heure d'une extrême précision. Ceci permet à chaque personne, grâce à un petit récepteur individuel bon marché, de connaître sa position ou celle de tout objet mobile ou immobile (véhicule, bateau, troupeau de bétail, ...) au mètre près.

Galiléo repose sur une constellation de trente satellites et des stations terrestres permettant de fournir des informations

concernant leur positionnement à des usagers de nombreux secteurs tels que le transport (localisation de véhicules, recherche d'itinéraire, contrôle de la vitesse, systèmes de guidage, etc.), les services sociaux (par exemple aide aux handicapés ou aux personnes âgées), la justice et les douanes (contrôles frontaliers), les travaux publics (systèmes d'information géographique), le sauvetage de personnes en détresse ou les loisirs (orientation en mer et en montagne, etc.).

Galiléo : un enjeu majeur sur les plans technologique, économique et politique

Comparable à d'autres grands projets européens comme Airbus ou Ariane, Galiléo représente une avancée technologique et une révolution sociétale équivalentes à celles engendrées récemment par le téléphone mobile. Il promet également le développement d'une nouvelle génération de services universels.

La place des systèmes de positionnement globaux par satellites est appelée à s'accroître considérablement dans la vie de tous les jours. Il en est du positionnement global par satellites comme de toutes les innovations techniques majeures : son impact réel sur la société et le développement industriel ne se révélera que progressivement, même si de nombreuses applications concrètes sont déjà possibles. Si personne ne conteste que l'avenir des systèmes de guidage passe par la radionavigation par satellites, des secteurs autres que celui des transports dépendent déjà, sans le savoir, de cette nouvelle technologie. Ainsi en est-il du secteur bancaire dans la détermination de l'heure exacte des transactions financières. Pour certains analystes, la radionavigation par satellite représente une invention aussi importante que celle de la montre : de même qu'aujourd'hui personne ne peut ignorer l'heure, personne à l'avenir ne pourra se passer de connaître l'endroit exact où il se trouve.

Un système à la fois concurrent et complémentaire avec le GPS américain

Il existe actuellement dans le monde deux réseaux de satellites de radionavigation, l'un américain (GPS), l'autre russe (Glonass). Tous deux ont été conçus dans une optique militaire. Le système russe n'ayant pas suscité de véritables applications civiles, Galiléo constitue la véritable alternative à l'instauration d'un monopole de fait au profit du GPS et de l'industrie américaine.

Galiléo présente plusieurs avantages par rapport au GPS

Il est conçu et élaboré sur une base civile tout en intégrant dûment les protections nécessaires en matière de sécurité. A la différence du GPS à vocation essentiellement militaire, Galiléo offre ainsi, pour certains des services proposés, les garanties juridiques de fonctionnement exigées par les sociétés modernes, en particulier en matière de responsabilité contractuelle.

Il est basé sur la même technologie que le GPS et offre un degré de précision similaire, voire supérieur en raison de la structure de la constellation de satellites et des systèmes terrestres de contrôle et de gestion prévus. Il possède une fiabilité supérieure car il comprend un « message d'intégrité » informant immédiatement l'utilisateur des erreurs qui apparaissent. De plus, à la différence du GPS, Galiléo sera reçu sans aléas dans les villes et dans les régions situées à des latitudes extrêmes.

Il constitue un véritable service public et offre à ce titre une garantie de continuité de services pour certaines applications. Au contraire, il existe au cours des dernières années plusieurs exemples d'indisponibilité involontaire ou intentionnelle des signaux GPS, parfois sans préavis.

Toutefois, GALILEO est également complémentaire du GPS dans la mesure où :

- L'utilisation harmonieuse des deux infrastructures (double source) apporte un réel avantage en termes de précision et en termes de sécurité en cas de défaillance de l'un des deux systèmes.
- L'existence de deux systèmes indépendants est bénéfique pour tous les utilisateurs qui pourront recevoir les signaux GPS et GALILEO sur un seul et même récepteur.

La maîtrise de la technologie de la constellation de satellites, cœur du système, conditionne celle des multiples applications industrielles que le positionnement par satellites rendra possible. L'Union européenne ne peut rester absente de ce qui apparaît d'ores et déjà comme l'un des principaux secteurs industriels du XXIème siècle et dépendre de systèmes ou de technologies élaborées hors d'Europe pour certaines applications vitales au fonctionnement de la société de demain.

3°) Principe de fonctionnement du GPS

A - La détermination d'une position par le GPS :

Les paramètres qui définissent la géodésie en un point M de la surface topographique sont ses coordonnées cartésiennes (X,Y,Z) ou ses coordonnées géographiques LONGITUDE et LATITUDE (cosinus directeurs de la verticale en ce point). Le but de la géodésie devient la description spatiale directe de la forme de la surface topographique, sans chercher à lui imposer a priori le support approché de l'ellipsoïde. A la description géométrique doit s'ajouter la description dynamique en chaque point, où l'on se propose alors de connaître le potentiel et la pesanteur, et l'on fait concourir tout l'ensemble en une synthèse générale.

Les mesures sur lesquelles se base la géodésie tridimensionnelle sont : les mesures angulaires azimutales habituelles, les mesures de distances zénithales, les mesures de pesanteur qui concourent simultanément avec les mesures de nivellement à définir, les mesures astronomiques de latitude, longitude et azimut. Ainsi la géodésie est-elle libérée de tout a priori. Elle admet la complexité de son objet, elle reconnaît qu'aucune loi simple ne pourra la représenter. A l'arrivée du GPS, la géodésie s'est transformée !

Le principe du positionnement GPS est très proche du principe de triangulation. La constellation a été conçue de telle manière que partout sur Terre, on puisse voir au moins 4 satellites à tous moments. Les récepteurs fonctionnent sur le principe de la télémétrie : On mesure la distance entre l'utilisateur et un certain nombre de satellites de positions connues.

On définit ainsi des sphères centrées sur des satellites et dont l'intersection donne la position. Le récepteur GPS est capable d'identifier le satellite qu'il utilise à l'aide du signal pseudo aléatoire émis par chaque satellite. Il charge, à l'aide de ce signal, les informations sur l'orbite et la position du satellite. Pour mesurer la distance qui sépare le satellite du GPS, on mesure le temps T mis par le signal pour aller de l'un vers l'autre. Le signal voyageant à la vitesse de la lumière, la distance recherchée est donnée par : $D = c.T$

La mesure de T nécessite une manipulation : le satellite et le récepteur émettent tous deux au même instant (instant réglé sur les horloges atomiques des satellites, 2 au Césium et 2 au Rubidium d'une précision de $10E-12$ sec) le code pseudo aléatoire (le récepteur en génère une réplique). Le récepteur retarde ensuite le début de cette émission jusqu'à ce que son signal se superpose avec celui provenant du satellite (jusqu'à ce qu'ils sont en phase). La valeur de ce retard est ainsi le temps mis par le signal pour se propager du satellite jusqu'à l'utilisateur.

Cependant, les militaires américains, après avoir dégradé intentionnellement le signal GPS pour les utilisateurs civils au moyen d'un code sur la porteuse du signal, appelé SA (Selective Availability), ont décidé depuis Mai 2000 de supprimer cette dégradation et d'offrir à tous les utilisateurs une précision théorique de 25 m en tous points du globe. A priori, il n'est donc pas possible, avec 1 récepteur GPS d'obtenir une meilleure précision.

Mais détrompez-vous, une technique bien particulière permet, avec un réseau de points géodésiques existant, d'obtenir bien mieux...

B - Les réseaux géodésiques :

L'IGN (Institut Géographique National) est le pôle français de la cartographie et de la géodésie. Basé en région parisienne, l'institut s'est occupé dans le passé de calculer et d'implanter un réseau appelé « NTF » sur tout le territoire national de points durs nommés « bornes IGN » et dont les coordonnées géographiques sont connues centimétriquement dans le système de coordonnées approprié.

Il s'agit de bornes cubiques en granit lourdement encreées dans le sol par un poids d'un mètre cube de béton. A certains endroits, ce sont des repères en bronze qui sont scellés dans un socle de béton. Ces points servent donc de base aux déterminations de coordonnées de tout autre point en France. Un réseau altimétrique également calculé par l'IGN vient compléter le réseau planimétrique des bornes.

Aujourd'hui, différents réseaux de points coexistent et chacun possède une application particulière. Le réseau de la NTF est exploitable pour les travaux topographiques traditionnels avec des appareils comme des théodolites (mesures d'angles) et des tachéomètres (mesures de distances). La précision relative (entre 2 bornes) est de 1cm/km (densité des points : 1pt/9km²). Mais la venue du GPS, système bien plus précis, a conduit l'IGN à créer un réseau dont la

précision intrinsèque est plus importante, pour le coupler aux travaux effectués par GPS. D'où la réalisation du RBF (Réseau de Base Français), d'une précision relative de 1mm/km, est associé à un système de coordonnées particulier et c'est avec ce couple que l'on peut au mieux exploiter la précision offerte par les GPS de pointe.

C - L'obtention du centimètre :

Pour leur différents travaux topographiques qui exigent une précision centimétrique de par leur incidence juridiques (délimitations de propriétés, projets routiers, contrôles d'ouvrages d'arts...etc.), les géomètres-topographes utilisent un mode de positionnement spécifique.

- Le mode de positionnement absolu avec ces récepteurs de pointe offre une position à 10 m près. Un récepteur, sur un point inconnu à déterminer, mesure la distance entre le satellite et lui-même. Il calcule le temps mis au signal pour lui parvenir et détermine le retard de phase entre ce dernier et le pseudo signal qu'il génère lui-même. Une position est fournie mais elle ne suffit pas pour ce genre de travaux.

- Le mode de positionnement différentiel : on utilise 2 récepteurs GPS, en combinaison. On observe les mêmes satellites en même temps. Le premier récepteur, que nous appellerons R1 est placé sur un point connu en coordonnées, d'un réseau géodésique. Rappelons que ces réseaux sont d'une précision relative entre bornes de quelques centimètres. Le second récepteur, R2, est sur un point inconnu à déterminer centimétriquement. Les deux GPS sont alors équipé de modules de transmissions radio ou GSM pour communiquer entre eux.

R1 compare les coordonnées qu'il reçoit des satellites et celle qu'un utilisateur lui a fournit au départ et qui correspondent au point connu où il se situe. Il en déduit des écarts qui sont en fait des corrections à appliquer pour être rattaché au réseau géodésique. Il les transmet à R2 qui reçoit ses propres coordonnées et comme il s'agit des mêmes satellites observés au même moment, R2 va appliquer ces écarts à ses coordonnées. Ce point est alors rattaché au réseau géodésique et sa position est donc connue au centimètre près.

Mais un autre facteur compte pour que le GPS fonctionne bien : la géométrie des satellites, le GDOP (Geometric Dispersion Of Position). Il faut non seulement qu'il y ait au moins 4 satellites visibles dans le ciel mais aussi qu'il soit bien répartis sur la voûte céleste, sans quoi, la précision est altérée.

Dans le second cas, le calcul sur l'intersection des sphères donnera un résultat de position plus précis que dans le premier cas.

4°) Principe de calcul de coordonnées

La position de points disposés à la surface terrestre et qui sont connues en coordonnées cartésiennes tridimensionnelles géocentriques ou géographiques, ne peut être représenté que sur un globe, ce qui est très encombrant et peu maniable sur le terrain. Aussi pour beaucoup d'opérations, il faut arriver à une représentation cartographique plane, permettant de travailler sur papier que l'on appelle projection plane.

Le passage de ces coordonnées fastidieuses à des coordonnées rectangulaires planes en 2 dimensions, suppose de ramener tout d'abord tous les points de la surface réelle terrestre sur un ellipsoïde de référence, et au final, de l'ellipsoïde à un plan.

Un système de projection est une correspondance ponctuelle biunivoque entre un point de l'ellipsoïde « M0 » (voir trièdre dans Détermination d'une position par GPS ci-avant) repéré par ses coordonnées géographiques (lat, long) et un point « m » du plan repéré par ses coordonnées cartésiennes planes (x, y), c'est donc un système d'équations mathématiques tel que :

$M_0 (\text{AE}, \text{ »}) \rightarrow m (x,y)$

L'ellipsoïde n'étant pas une surface développable sur le plan, il y aura nécessairement des déformation au niveau des distance, car toutes les projections déforment les longueurs.

Dans la pratique, on définit une surface développable autour de l'ellipsoïde (plan, cône, cylindre) et on détermine une transformation amenant le point de l'ellipsoïde sur cette surface : c'est le système de projection.

Il ne s'agit pas d'une projection au sens géométrique, mais au sens mathématique.

En fait, pour que l'altération des longueurs reste négligeable pour les travaux topographiques courants, la France est divisée en 4 zones du nord au sud qui ont chacune leur système de projection. La plus utilisée en France dans ces travaux est la projection LAMBERT. Il y a donc le LAMBERT I, LAMBERT II, LAMBERT III et le LAMBERT IV. Elles ont été instituées par le service géographique de l'armée le 10 Août 1920 et mise en application le 15 Mars 1922. Les cartes IGN au 1/25000 et 1/50000 les utilisent.

[center]img]http://www.futura-sciences.com/comprendre/d/images/504/gps_10.jpg[/img][[/center]

Tous les professionnels se réfèrent donc au réseau de bornes IGN, points géodésiques, dont leurs coordonnées sont exprimées dans ce système de projection LAMBERT. C'est ainsi que les cartes et plans sont tracés par les géomètres et topographes. La projection UTM (Universal Transverse Mercator) est aussi très connue et utilisée, mais plus par les cartographes.

Les récepteurs GPS les plus évolués, ceux pour les travaux topographiques, possèdent tous les transformations correspondant aux différents systèmes de projection. Ils calculent d'abord le point dans un système de coordonnées mondial, appelé WGS84, appliquent les paramètres de projection plane et fournissent un jeu de coordonnées dans le système approprié avec une projection LAMBERT ou UTM, par exemple.

On arrive donc à se retrouver sur une carte d'état major qui possède un quadrillage représentant les projections planes. Celles-ci étant exprimées en unités métriques, il est facile d'évaluer les distances sur le terrain. De plus, ses systèmes sont déterminés par un point origine O, un axe NORD (Y) et un axe EST (X). L'axe NORD est toujours exprimé comme méridien origine. En l'occurrence, le LAMBERT a pour méridien origine le méridien passant par Paris. L'UTM a pour méridien origine, le méridien de Greenwich. Ensuite, il y a le parallèle origine de l'axe EST. Pour l'UTM, c'est l'équateur et pour le LAMBERT, chaque zone a son parallèle origine (exprimé en Degrés au dessus de l'équateur):

LAMBERT I : 55°

LAMBERT II : 52°

LAMBERT III : 49°

LAMBERT IV : 46.85°

Néanmoins, les origines O du repère ne sont pas à X=0 et Y=0 car pour éviter dans certaines zones d'avoir un jeu de coordonnées négatives, on leur a donné des valeurs de départ. Par exemple, chaque zone LAMBERT à un origine O dont les coordonnées sont : X= 600 000 m et Y= 200 000 m. L'origine de l'UTM est (pour l'hémisphère nord) : X= 500 000 m et Y= 0 m (exceptionnel car pour l'hémisphère sud, Y= 10 000 000 m).

Tout cela pour dire que les coordonnées que vous lisez ne sont pas les distances cartésiennes directes du point à l'origine, il faut déduire la valeur de départ de l'origine.

°) Combiner une carte IGN et un GPS

Pour le grand public, des récepteurs GPS d'une précision de 50 m se trouve dans certains magasins de sport au rayon randonnée. En général, ces GPS fournissent des coordonnées géographiques dans le système mondial WGS84 et beaucoup d'entre eux proposent aussi des coordonnées dans le système de projection plane UTM. Ces 2 systèmes sont reportés sur les cartes d'état major : les cartes IGN. Les quadrillages sont tracés et vous aident, grâce à l'échelle, à estimer les distances réelles sur le terrain. D'autres systèmes de coordonnées sont présents sur les cartes, mais très peu utilisés. Mais attention, il s'agit dans tous les cas de distances horizontales donc, si vous vous situez en zone montagneuse, prenez garde !

Mais nous avons parlé jusqu'ici de position sur un plan, pas de l'altimétrie. L'altimétrie, est un vaste et autre sujet et elle est donnée, sur ces récepteurs GPS avec une précision de l'ordre de 50 m en moyenne selon la qualité du récepteur. Il peut être facilement d'une centaine de mètres en montagne.

Voici comment lire votre position sur une carte IGN avec les coordonnées fournies par votre récepteur GPS :

Sur la carte même, vous retrouvez un quadrillage bleu qui correspond à la projection UTM. Vous verrez aussi, en cherchant bien, des petits croisillons noirs qui correspondent à la projection LAMBERT suivant la zone où vous vous trouvez en France (rappelons que la France est découpée en 4 zones sur l'axe nord-sud afin de limiter les altérations de distances).

Sur le côté et le bas de la carte, vous trouverez 2 échelles de mesures ainsi que des amorces. En bas se trouve les

coordonnées de l'axe EST et à gauche l'axe NORD. Chacune des échelles et les amorces correspondent à un système de coordonnées, et donc des unités différentes :

A - amorces système WGS84 projection UTM, coordonnées planes en kilomètres par rapport au méridien de Greenwich

B - échelle de mesure système européen ED50, coordonnées géographiques en DMS (Degrés, Minutes, Secondes) par rapport au méridien de Greenwich

C - échelle de mesure système NTF, coordonnées géographiques en Grades ($100 \text{ Gr} = 90^\circ$) par rapport au méridien de Paris

D - amorces système NTF projection LAMBERT (ici zone III), coordonnées planes en kilomètres par rapport au méridien de Paris. Le premier chiffre indique la zone du LAMBERT, ex : Y= 3164 = LAMBERT III, 164 KM en Y (l'origine étant à Y= 200 Km, on est 36 Km au dessous du parallèle des 52°); pour le X, la zone n'est pas signifiée

E - amorces système NTF projection LAMBERT II étendu, coordonnées planes en kilomètres par rapport au méridien de Paris. Le parallèle origine est à 52° et il s'agit d'un LAMBERT regroupant les 4 zones pour les unifier, mais dont l'altération des distances aux pôles du pays sont importantes

F - le numéro de la carte suivant le plan général d'assemblage de l'IGN

Le récepteur GPS doit correctement être paramétré pour pouvoir être bien utilisé. Si vous voulez lire des coordonnées en UTM, assurez-vous que ce système est actif sur votre GPS et que c'est via celui-ci que les coordonnées sont affichées. Ces paramètres doivent être configurés dès le départ ou vous risquez de vous situer à un mauvais endroit sur votre carte.

6°) Les différents types de matériels

Inutile de vous dire que les récepteurs GPS de pointe, utilisés par les chercheurs, les géomètres-experts ou les topographes sont à des prix à hauteur de ce qu'ils arrivent à réaliser. Un récepteur avec le logiciel de traitement des données se situe au environ de 23.000 € et comme il sont au moins utilisés par 2 pour effectuer des observations en mode de positionnement différentiel, la note est au moins doublée.

Les meilleurs fabricants sont actuellement Thalès, Leica, et Trimble.

Pour le grand public, d'autres fabricants interviennent : Navman, Magellan, Lowrance, Garmin, Silva, Geonav, et Fortuna. Ces récepteurs sont en vente au rayon randonnée dans les magasins de sport ou les magasins spécialisés. Les prix démarrent à environ 200 € et peuvent monter jusqu'à 1300 €.

Leur prix sont fonction des différentes fonctions que proposent les logiciels embarqués et de leur capacité via l'électronique à bien capter les signaux radiodiffusés des satellites (influe sur la précision des coordonnées données).

7°) Pour en savoir plus

- Méthode exposée à la BNF dans la partie « Dossiers pédagogiques » du site « mesurer la Terre » :

<http://www.bnf.fr/web-bnf/expos/ciel/maths/pdf/mesurt2.pdf>

- Site de l'Union Européenne : Gliléo