

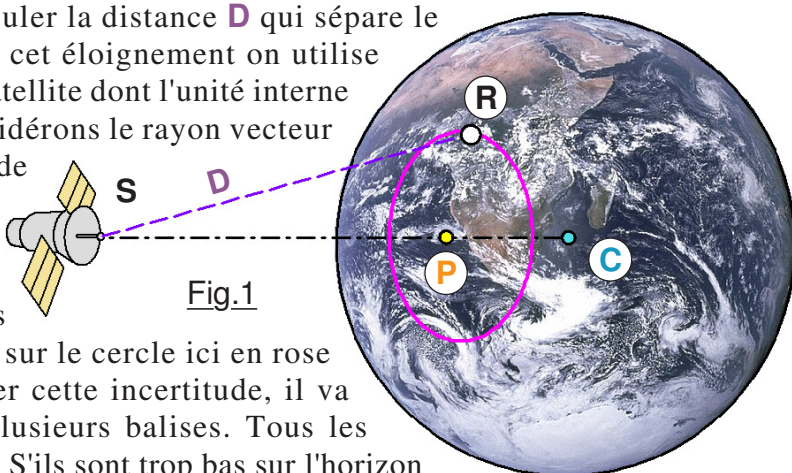
Principes de base de fonctionnement du GPS

Par Nulentout achevé le vendredi 17 Janvier 2025.

Rassurez-vous, il n'est pas question ici de se "cogner" toute la théorie du fonctionnement du positionnement global par satellite, ce qui nous obligerait à passer en revue la théorie de la relativité, le fonctionnement des horloges atomiques, la mesure du temps qui s'écoule entre des référentiels qui bougent les uns par rapport aux autres et j'en oublie volontairement une kyrielle d'autres autant ésotériques. On va se contenter ici de quelques notions ultra simplifiées pour comprendre et justifier certains détails abordés durant le développement de ce petit projet.

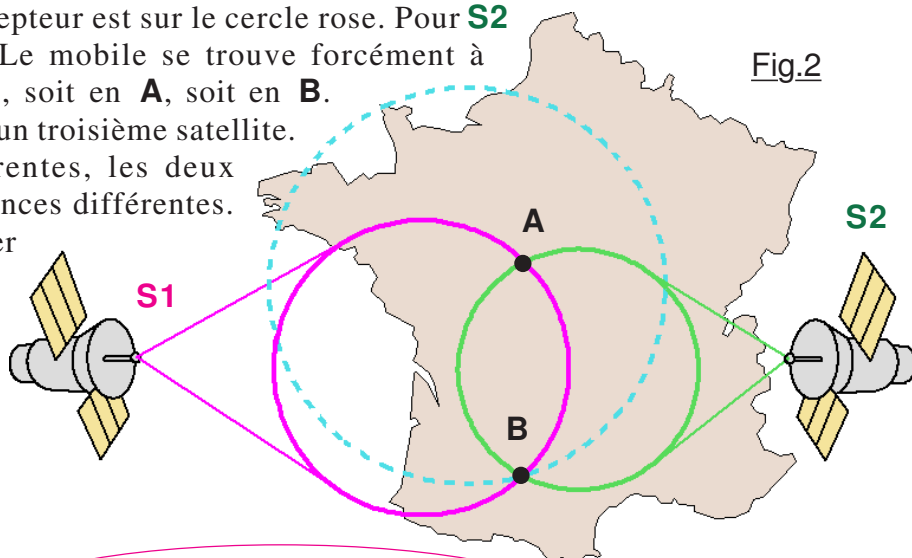
➤ Positionnement par mesure du temps.

C'est le fondement sur lequel repose l'intégralité du GPS. Considérons la Fig.1 sur laquelle **S** est l'un des satellites de la noria d'unités qui en permanence circule autour de la Terre assez haut pour orbiter loin de l'atmosphère et être visible depuis pratiquement tout un hémisphère. Le principe de positionnement consiste à calculer la distance **D** qui sépare le récepteur **R** du satellite **S**. Pour connaître cet éloignement on utilise un TOP horaire ultra précis envoyé par le satellite dont l'unité interne est pilotée par une horloge atomique. Considérons le rayon vecteur qui part du satellite et qui joint le centre de la Terre **C**. Le rayon terrestre titillant les 6378 km on peut "facilement" en déduire en quel endroit de la surface **P** ce rayon perce la surface terrestre. On peut alors affirmer que le récepteur GPS **R** se trouve sur le cercle ici en rose centré sur **P** et passant par **R**. Pour affiner cette incertitude, il va falloir "triangler", c'est à dire utiliser plusieurs balises. Tous les satellites en visibilité ne sont pas utilisables. S'ils sont trop bas sur l'horizon la détermination du point **P** devient aléatoire raison pour laquelle on tient compte de leur élévation.



➤ Géo-localisation sur deux cercles.

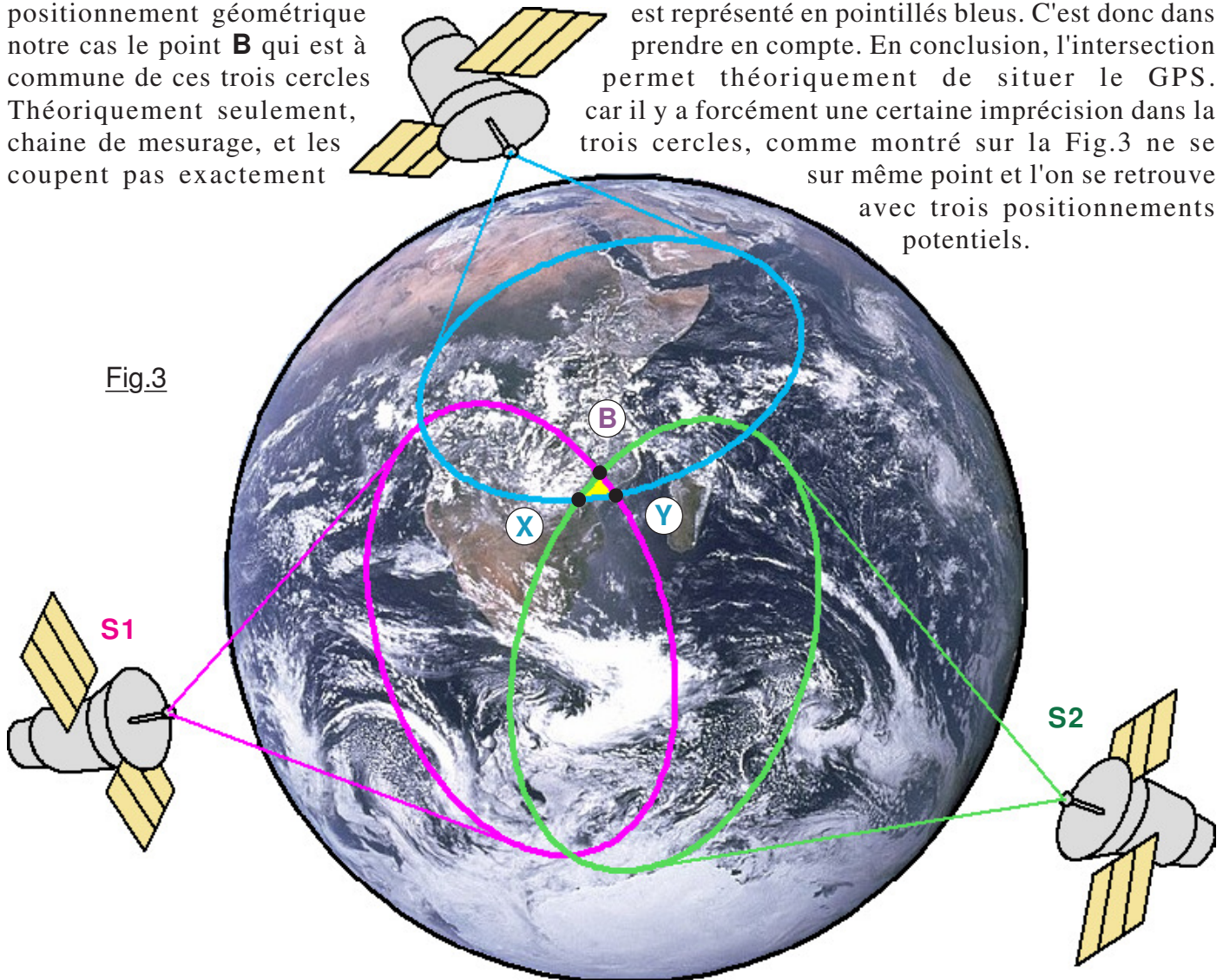
Supposons que cette fois on va prendre en compte deux satellites. Étant sur des orbites différentes, ils sont éloignés l'un de l'autre et l'on peut déterminer pour chacun un cercle sur la Terre sur lequel se trouve **R**. Pour **S1** le récepteur est sur le cercle rose. Pour **S2** l'antenne est sur le cercle vert. Le mobile se trouve forcément à l'intersection de ces deux cercles, soit en **A**, soit en **B**. Pour lever l'incertitude, il suffit d'un troisième satellite. Circulant sur des orbites différentes, les deux balises sont forcément à des distances différentes. De ce fait, vous pouvez remarquer sur la Fig.2 que les deux cercles n'ont pas le même diamètre.



Ben Mòa môa quand je veux savoir où je suis je me contente de regarder les panneaux routier, c'est quand même bien plus simple !

➤ Géo-localisation avec trois cercles.

P our déterminer lequel des deux points correspond à la position du mobile, on utilise un troisième satellite bien placé dans l'espace. Par exemple sur la Fig.2 son cercle de positionnement géométrique est représenté en pointillés bleus. C'est donc dans notre cas le point **B** qui est à prendre en compte. En conclusion, l'intersection commune de ces trois cercles permet théoriquement de situer le GPS. Théoriquement seulement, car il y a forcément une certaine imprécision dans la chaîne de mesurage, et les trois cercles, comme montré sur la Fig.3 ne se coupent pas exactement sur même point et l'on se retrouve avec trois positionnements potentiels.



➤ La quadrature du cercle !

D ans l'illustration de ce propos en Fig.3 le cercle vert et le cercle rose se coupent en **B** ce qui a éliminé la sélection du point **A**. L'intersection du cercle bleu avec le cercle vert se trouve en **X**. Enfin, l'intersection du cercle bleu avec le cercle rose est déterminée en **Y**. On peut donc affirmer que le mobile se trouve dans la zone du triangle curviligne **B, Y, X** colorié ici en jaune. (NON, ce n'est pas le triangle des Bermudes !) On pourrait imaginer que pour simplifier les traitements informatiques on opte pour considérer que le GPS se trouve au centre de gravité de ce triangle. Il se trouve que ce n'est pas assez précis pour les applications actuelles. (Un avion de ligne doit connaître sa position à 10m d'erreur maximum par exemple.) Aussi, pour affiner la position on va utiliser au moins un satellite de plus. Du coup, un GPS ne commence à communiquer ses résultats que s'il a au moins quatre satellites en visibilité et bien positionnés. Plus il peut "brasser" des balises, meilleure est sa précision. En fonction des facteurs plus ou moins favorables qui dérivent de la position dans l'espace du satellite, de sa distance, du nombre d'unités prises en compte, le système détermine le **DOP** (*Dilution of Position*) qui signale la dilution horizontale ou verticale, et ainsi caractérise la qualité du positionnement. Cette information est précisée dans la trame de type **GGA** et la trame de type **GSA**. Pour résumer, la **DOP**, dilution de précision, est une information directement dépendante des effets de la géométrie des satellites qui influence la précision du calcul du positionnement.

➤ La trame de préambule : GSV.

Il n'est pas inutile de chercher à faire concurrence aux innombrables documents qui sur l'internet traitent de ce sujet. Il n'est donc pas question dans ce document de décortiquer le contenu de chaque trame. Ce chapitre est ouvert uniquement pour préciser le nombre maximal de satellites bien placés que pourra utiliser un GPS grand public. La trame **GSV** la plus complète que l'on puisse recevoir sur un récepteur de localisation géographique prend la forme suivante :

GSV,3,1,12,05,12,191,17,10,09,328,27,12,20,208,25,13,53,121,33*7F

- **3** : Nombre de trames de type **GSV** dans le groupe des données transmises.
- **1** : Trame n°1 sur les 3 réceptionnées. (*Il peut y en avoir moins.*)
- **12** : Nombre de satellites actuellement visibles.

Puis suivent les attributs des satellites mentionnés dans la trame, leur nombre maximal étant de quatre. Il peut y en avoir moins en fonction du nombre de satellite en configuration "fiable".

- **05** : Référence d'identification du premier satellite précisé dans la trame.
- **12** : Elévation en degrés du premier satellite. (*Angle en hauteur par rapport à l'horizon local.*)
- **191** : Azimut en degrés du premier satellite. (*Angle par rapport au nord géographique local.*)
- **17** : Intensité du signal du premier satellite. (*Plus elle est grande meilleure est la fiabilité.*)

Dans cet exemple, cette séquence se répète pour 4 satellites utilisables dans la trame. Si le nombre de satellites exploitables est suffisant, on peut avoir jusqu'à trois trames de type **GSV** dans un groupe de données. C'est la raison pour laquelle un GPS public ne peut utiliser que 12 satellites au maximum. Si la configuration est défavorable, l'ensemble de ses données peut être incomplet.

```
$GPGLL,4427.33042,N,00131.31598,E,085744.00,A,A*65
$GPRMC,085745.00,A,4427.33041,N,00131.31596,E,0.166,,170125,,,A*71
$GPVTG,,T,,M,0.166,N,0.307,K,A*26
$GPGGA,085745.00,4427.33041,N,00131.31596,E,1,08,0.97,167.7,M,48.1,M,,*50
$GPGSA,A,3,15,24,14,23,10,12,13,17,,,,,1.79,0.97,1.50*07
$GPGSV,3,1,12,05,12,191,17,10,09,328,27,12,20,208,25,13,53,121,33*7F
$GPGSV,3,2,12,14,28,049,32,15,79,214,38,17,26,083,22,19,21,116,*7A
$GPGSV,3,3,12,22,48,058,27,23,34,293,27,24,52,284,34,30,02,081,*75
```

Fig.4

Considérons la Fig.4 qui est relative au groupe de données le plus "riche" que l'on puisse recevoir sur un GPS public. Comme **12** satellites sont en visibilité, pour lister leurs attributs il faut donc **3** trames de type **GSV**. On remarque que le satellite référencé **05** n'est qu'à **12°** au dessus de l'horizon local. Du coup l'intensité du signal n'est que de **17**. Les satellites n°19 et n°30 étant en configuration défavorable l'intensité de réception du signal n'est pas mentionnée. Leurs informations ne seront donc pas prises en compte dans les traitements de géo-localisation.

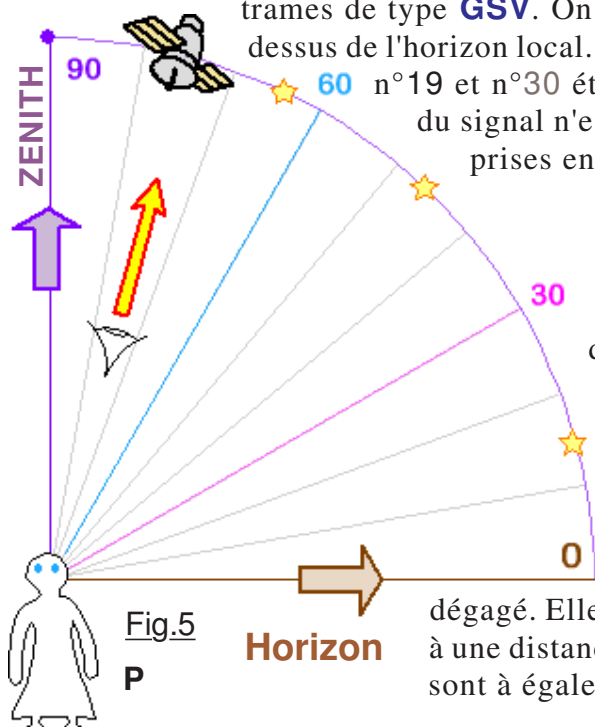
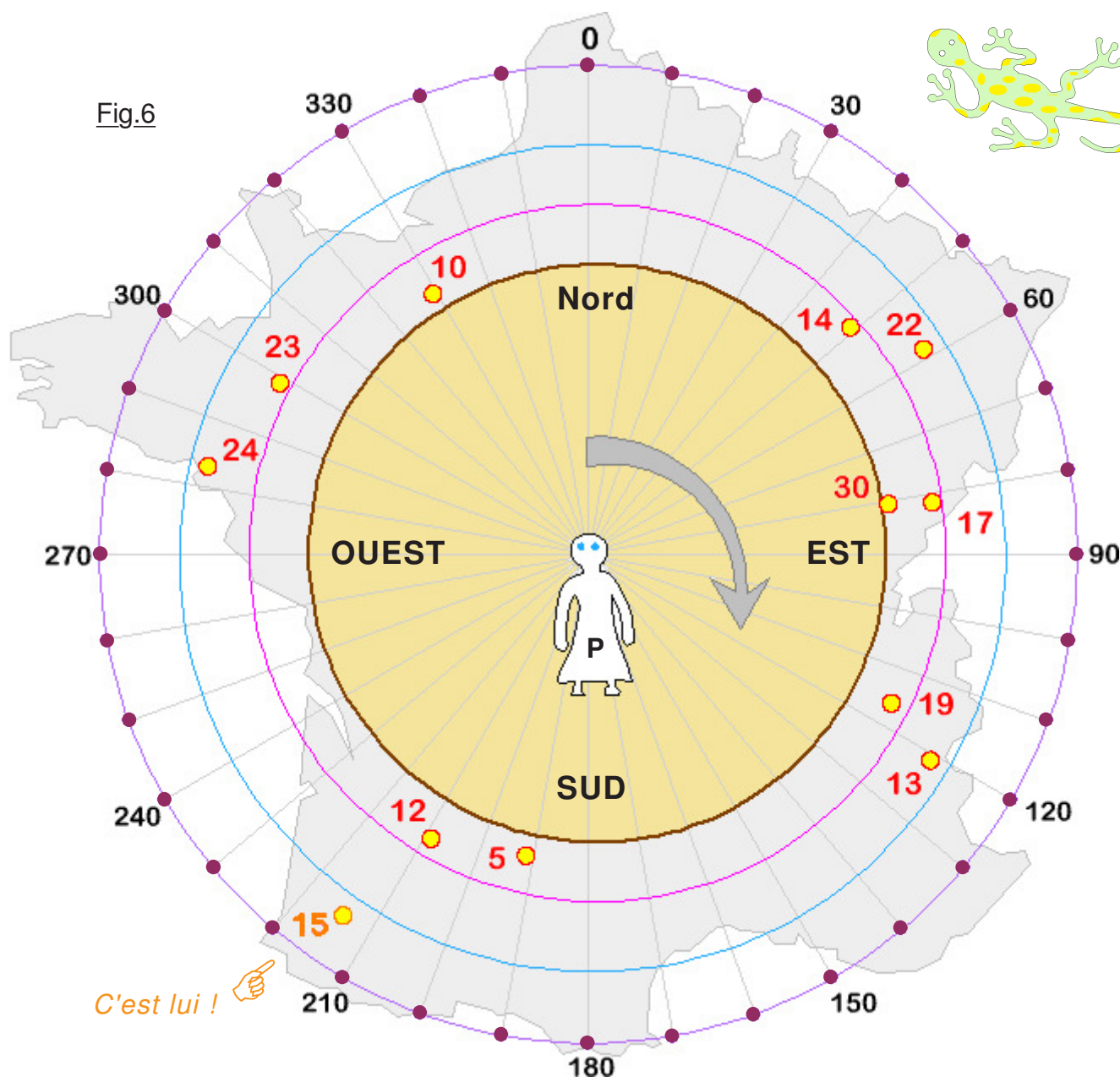


Fig.5
P

➤ Représentation des informations GSV.

Dans le contexte "découverte" de nos activités ludiques, on peut se permettre de consacrer un peu de temps pour imaginer ces données chiffrées noyées dans les lignes de caractères d'un groupe de données GPS. Sur la Fig.5 on envisage le cas d'une personne **P** vivant en France métropolitaine. (*Toute ressemblance entre une personne réelle et cette représentation en **P** serait purement fortuite !*) Quand elle regarde devant elle, elle observe son horizon local. Il fait nuit et le ciel est dégagé. Elle peut observer des centaines d'étoiles. Comme toutes sont à une distance "infinie", mentalement nous avons l'impression qu'elles sont à égales distances, c'est du coup ce que l'on nomme

par convention la sphère céleste. Pour admirer les étoiles, **P** regarde de plus en plus haut. Vers $67,5^\circ$ de hauteur, si elle regarde vers le Nord elle observerait l'étoile polaire. Puis levant le nez de plus en plus haut, lorsque ses vertèbres cervicales sont en butées elle pointe son regard à la verticale du lieu considéré. Par définition elle pointe le **ZÉNITH**. Et puis, tournant autour d'un axe vertical et regardant plus bas, elle voit à une **élévation de 79°** une petite étoile qui se déplace. Initialement dans la direction qui a pour **azimut 214°** ce petit point lumineux n'est pas autre chose que le satellite GPS qui dans la liste de la Fig.4 est référencé **$n^\circ 15$** .



Sur la Fig.5 on a représenté ce qui se passe dans un plan vertical. Sur la Fig.6 qui est constituée d'une représentation polaire, c'est comme si pour le disque marron qui représente l'horizon local pour la personne **P** on regardait de dessus. Les cercles à l'extérieur de la limite marron correspondent au rabattement de la sphère céleste avec en rose l'élévation de $+30^\circ$, en bleu clair celle de $+60^\circ$ et en violet l'élévation de $+90^\circ$. Les rayons gris clair représentent les méridiens en fonction de leur **AZIMUT**. L'angle augmente de 0 vers 360° en tournant dans le sens de la grande flèche curviligne grise. On a "étalé à plat" la sphère céleste créant ainsi une distorsion de surface. Dans la réalité, tous les petits points violets correspondant à une élévation de 90° constituent pour **P** le **ZÉNITH**. Dans la pratique ils ne constituent donc qu'un seul et unique point ! Noter au passage que pour des raisons de mise-en page, j'ai placé la personne **P** au centre de la France, mais la position des divers satellites est issue des données de la Fig.4, la position réelle du GPS qui les a enregistré se trouvant au point **B** sur la Fig.2 de la page 1 de ce document.