

III - ARCHITECTURE

Les premières parties de cet article publiées dans les n° 510 et 511 de Toute l'Electronique décrivaient tous les systèmes importants d'aide à la navigation encore en exploitation. Une part plus importante étant faite aux systèmes à satellite tel le TRANSIT et bien entendu le NAVSTAR GPS. Ce dernier est le sujet principal de l'article ci-après où l'auteur décrit en détail l'architecture du récepteur GPS.

Un récepteur GPS comporte :

- L'antenne, associée à un préamplificateur.
- Le convertisseur de fréquence.
- Le ou les canaux de traitement du signal.
- L'horloge locale.
- L'unité de gestion et de calcul.
- Les interfaces d'entrée/sortie.

Dans les pages qui suivent nous avons examiné l'architecture type d'un récepteur GPS.

Nous nous intéresserons plus particulièrement à la conception des récepteurs à usage civil, notablement plus simples.

Le lecteur se souviendra toutefois que la plus grande complexité des équipements militaires résulte principalement de la multiplication de certaines fonctions.

Cependant les principes restent les mêmes.

Dans les récepteurs destinés aux applications Temps/Fréquence la fonction Localisation passe au second plan.

Néanmoins ces récepteurs ne diffèrent des récepteurs destinés à la navigation que par le logiciel de leur unité de calcul.

Antenne

Les porteuses L1 et L2 sont émises sous forme d'une onde à polarisation circulaire à droite.

Elles sont avantageusement captées par une antenne hélicoïdale comme celle de la figure 23.

Ces antennes doivent avoir un diagramme hémisphérique afin de pouvoir recevoir les satellites à faible élévation aussi bien que ceux qui se trouvent au zénith.

Elles sont presque toujours associées à un préamplificateur qui est un des points délicats de l'équipement.

- Ce préamplificateur doit à la fois :
- fonctionner en haute fréquence
 - avoir un faible facteur de bruit
 - avoir une large bande (spectre étalé oblige)
 - résister aux surcharges. La bande L est en effet très utilisée.

Installation

L'antenne doit nécessairement être placée en un lieu bien dégagé. Même le feuillage des arbres constitue un sérieux obstacle pour les ondes de la bande L.

La longueur de câble peut poser quelques problèmes d'atténuation.

positionnement par satellite

DU RECEPTEUR GPS

L'antenne des fig. 23 et 24 peut tolérer jusqu'à 30 m de câble, ce qui est suffisant dans la plupart des cas.

En revanche les antennes GPS, très petites, ne posent généralement aucun problème de tenue aux intempéries.

On peut donner à leur carénage une forme aérodynamique pour l'utilisation à bord d'avion.

Trajets multiples

Dans un système basé sur la mesure du temps de propagation d'un signal on doit particulièrement craindre les trajets multiples, c'est-à-dire les chemins variés (et de longueurs différentes) que peut emprunter l'onde par suite de réflexions.

Chacun sait que le sens de polarisation d'une onde polarisée circulairement s'inverse par réflexion sur un obstacle conducteur.

Ainsi l'antenne hélicoïdale prévue pour une polarisation à droite donne une forte réjection pour les ondes polarisées à gauche.

Dans le cas d'une réflexion sur la mer, l'onde revient verticalement en abordant l'antenne par dessous, c'est-à-dire avec une polarisation correcte.

Il n'y a alors aucune réjection.

Dans ce cas, on compte sur le plan de masse de l'antenne pour éliminer l'onde indésirable.

Dans certains récepteurs, le calculateur ne prend en compte que l'onde ayant eu le plus faible temps de propagation, ce qui élimine de facto toutes les réflexions.

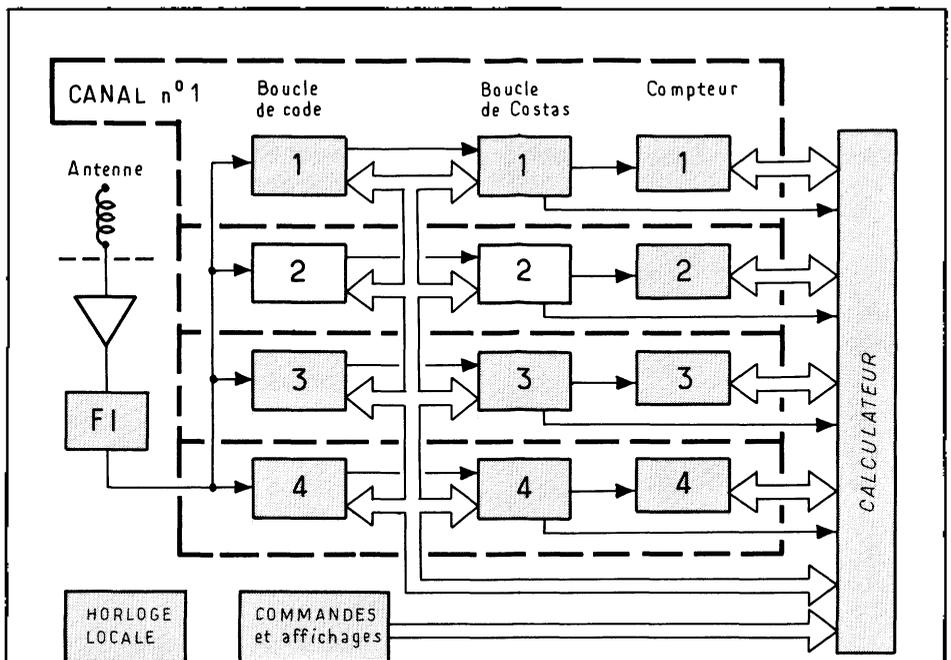


Fig. 21: Récepteur GPS multicanal. Cette figure représente un récepteur à 4 canaux. Le lecteur l'extrapolera de lui-même vers l'architecture des récepteurs à 2 et à 5 canaux.

Les 4 signaux issus des 4 satellites sont traités simultanément, ce qui fait gagner beaucoup de temps mais alourdit le matériel.

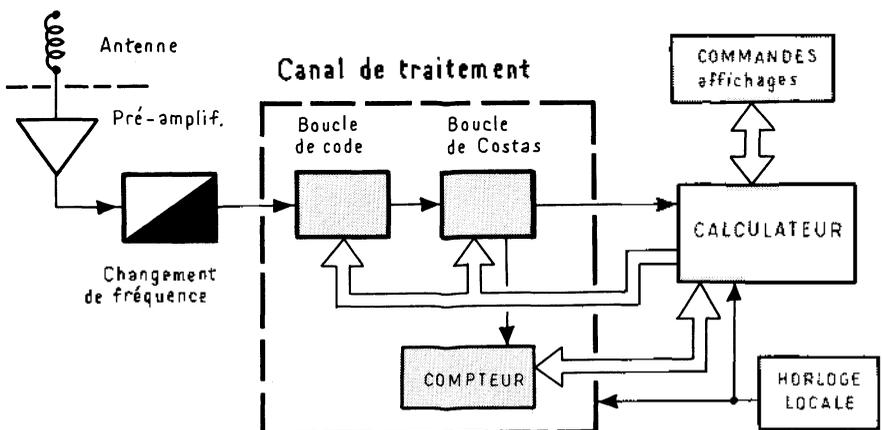


Fig. 22: Récepteur GPS monocanal.

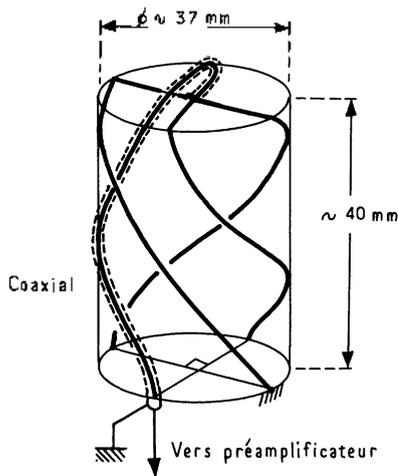


Fig. 23: Antenne du récepteur FTS 8400. Une demi spire en coaxial rigide alimente par le sommet de l'antenne deux demi spires en quadrature spatiale. La quatrième spire est raccordée à la masse du coaxial.

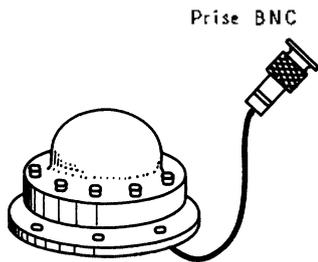


Fig. 24: l'antenne du récepteur FTS 8400
 $\varnothing = 18$ cm
 $h = 15$ cm.
 Le préamplificateur est dans la base.

Antenne auto-captive

Certains récepteurs militaires sont équipés d'antennes complexes combinant les signaux fournis par plusieurs capteurs de manière à créer des réjections dans certaines directions.

Cette ségrégation directionnelle permet aux antennes auto-adaptatives d'éliminer ou atténuer les émissions de brouillage.

Antennes paraboliques

Dans les cas de brouillages très intenses on peut utiliser des antennes paraboliques.

Le diagramme d'une telle antenne, très étroit, procure une excellente réjection des émissions indésirables.

Du fait qu'il soit nécessaire de mettre en œuvre simultanément 4 ou 5

antennes montées sur un mécanisme de poursuite automatique, cette solution encombrante et coûteuse ne peut être envisagée que sur de grosses unités navales.

Convertisseur

Le signal issu du préamplificateur d'antenne est ramené à une fréquence plus basse, nettement plus facile à traiter. Ce changement de fréquence s'effectue généralement en deux étages.

La fréquence finale est toujours un multiple ou sous-multiple de la fréquence d'horloge (10,23 MHz) afin de conserver la cohérence des signaux.

Ces étages de changement de fréquence sont toujours associés à un dispositif de commande automatique de gain (CAG).

Canal de traitement

Le canal de traitement du signal comprend plusieurs étages.

- la boucle de code dont le rôle est de supprimer la modulation par le code d'étalement en sélectionnant l'émission d'un seul satellite.

- la boucle de Porteuse qui non seulement extrait les don-

nées de la porteuse sortant de la boucle de code, mais récupère une porteuse pure débarrassée de toute modulation.

C'est pour cette raison qu'on l'appelle parfois boucle de récupération de porteuse.

- le compteur Doppler qui mesure la fréquence de la porteuse récupérée afin de déterminer le vecteur vitesse de l'utilisateur.

Boucle de code

La boucle de code est formée d'un corrélateur qui compare le code reçu avec le code généré localement.

Selon le type de récepteur, il peut s'agir du code C/A ou du code C/A et du code P, successivement.

Code C/A

Code de précision réduite (C/A = Coarse Acquisition) le code C/A est un code de Gold (voir annexe) généré par deux registres à décalage à réaction linéaire configurés selon le schéma de la fig. 25.

C'est l'unité de gestion et de calcul qui génère l'assignation de code.

Il peut en effet y avoir 37 codes C/A qui diffèrent entre eux par un déphasage et correspondent aux différents satellites. Ce nombre de 37 prévoit d'éventuels remplacements.

Le code C/A est une séquence pseudo-aléatoire à 1023 moments.

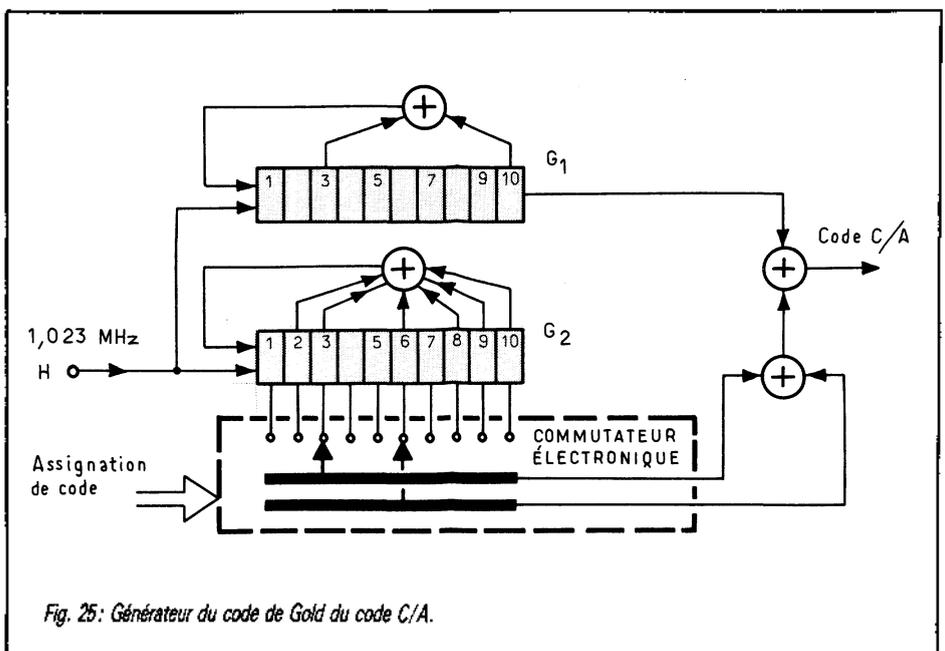


Fig. 25: Générateur du code de Gold du code C/A.

Il est généré à partir d'une fréquence d'horloge à 1,023 MHz.

La durée d'un cycle du code, appelée époque C/A est de 1 ms exactement.

Code P

Le code P ou code précis est une séquence pseudo-aléatoire, 10 fois plus rapide que le code C/A, permettant en théorie d'obtenir une corrélation 10 fois plus précise.

Il existe aussi 37 codes P qui diffèrent entre eux par la phase. Le code est généré par un circuit très complexe [3] dont la fig. 26 ne donne qu'un aperçu très simplifié.

Le générateur de code P pourrait produire une séquence dont la longueur atteindrait plus de 37 semaines.

En réalité il subit un « Reset » chaque samedi à minuit.

Principe de la boucle de code

La porteuse incidente porte deux modulations : la modulation par le code et la modulation par les données.

Le rôle de la boucle de code est d'éliminer la modulation par le code (SPA) tout en conservant la modulation des données.

Pour atteindre ce but on contre-module (en quelque sorte on remodule à l'envers) la porteuse avec un code formé d'une séquence pseudo-aléatoire identique à celle qu'on désire éliminer. Voir fig. 27.

Il est bien évident que ce code généré localement doit être non seulement strictement identique à celui que porte l'émission que l'on désire sélectionner mais également être le plus précisément possible en phase avec lui.

Cette mise en phase précise ne peut être obtenue et surtout conservée à l'aide du corrélateur de la fig. 27.

Il faut faire appel à une boucle asservie comme celle de la fig. 28.

Fonctionnement

a) Recherche

Tant que le détecteur D2 ne décèle pas un pic de corrélation, le VCXO est en fonctionnement libre (boucle ouverte).

Sa fréquence est légèrement décalée (par ex. de 10^{-4}) par rapport à sa fréquence en boucle fermée, si

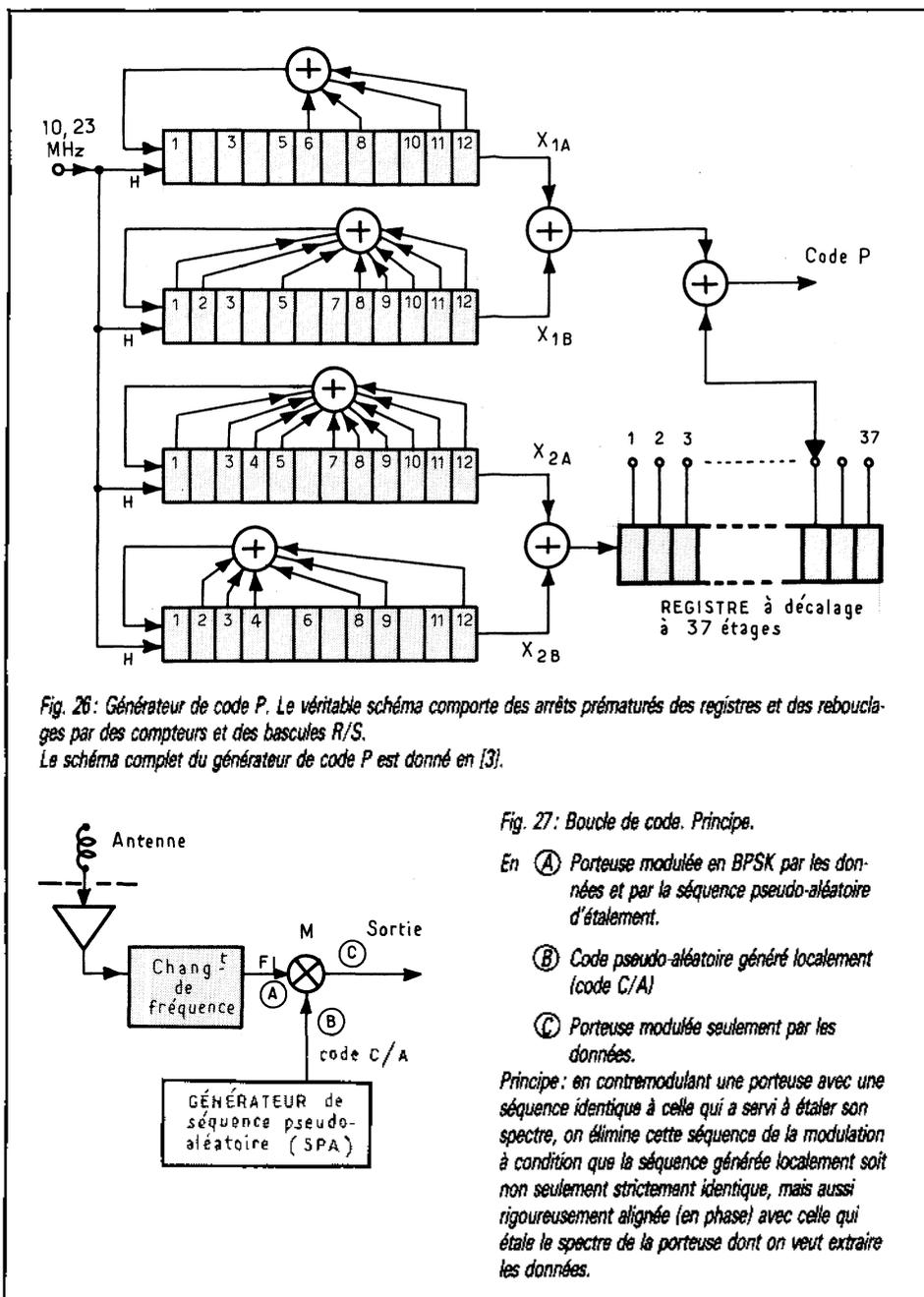


Fig. 26 : Générateur de code P. Le véritable schéma comporte des arrêts prématurés des registres et des rebouclages par des compteurs et des bascules R/S. Le schéma complet du générateur de code P est donné en [3].

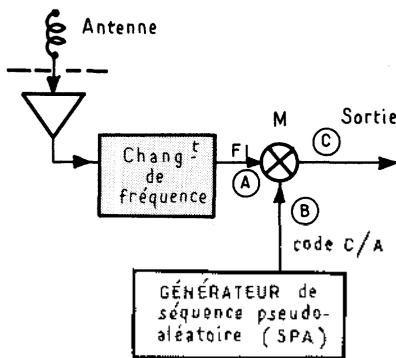


Fig. 27 : Boucle de code. Principe.

En (A) Porteuse modulée en BPSK par les données et par la séquence pseudo-aléatoire d'étalement.

(B) Code pseudo-aléatoire généré localement (code C/A)

(C) Porteuse modulée seulement par les données.

Principe : en contre-modulant une porteuse avec une séquence identique à celle qui a servi à étaler son spectre, on élimine cette séquence de la modulation à condition que la séquence générée localement soit non seulement strictement identique, mais aussi rigoureusement alignée (en phase) avec celle qui étale le spectre de la porteuse dont on veut extraire les données.

bien que la séquence pseudo-aléatoire qui sort du générateur G est affectée d'un glissement - on dit une précession - par rapport aux séquences qui modulent la porteuse reçue.

Ce lent défilement fait qu'il faut quelques dizaines de secondes pour que toutes les phases possibles de la séquence locale soient comparées sur toute la longueur du code à toutes les phases de la séquence incidente en stationnant sur chacune pendant quelques ms.

Lorsque la séquence choisie (dans le générateur local) vient à produire une corrélation avec l'une des séquences incidentes simultanément présentes à l'entrée de M2 le détecteur D2 génère un pic qui fait basculer la logi-

que de décision d'accrochage - ce qui ferme l'interrupteur I. Jusque là, le fonctionnement était en mode recherche.

b) Poursuite

La fermeture de l'interrupteur I correspond à la fermeture de la boucle et fait passer le système en mode « poursuite ».

L'autocorrélateur différentiel entre alors en fonction.

Il est formé de deux circuits de corrélation alimentés l'un par une séquence légèrement en avance et l'autre par une séquence légèrement en retard par rapport à la séquence vraie.

La comparaison de la réponse du corrélateur avancé avec celle du corrélateur retardé fournit, grâce à un amplificateur différentiel, un signal de commande VCXO. Voir fig. 29. Cette disposition permet de centrer l'autocorrélation de la séquence ponctuelle à mieux que 1/100 de moment et de la maintenir centrée pendant toute la durée nécessaire à l'acquisition des données.

Boucle de porteuse

Il existe deux circuits capables de démoduler une porteuse modulée en BPSK ou DPSK en fournissant à la fois les données numériques contenues dans la modulation et une porteuse pure reconstituée, en phase avec la porteuse incidente.

Ces circuits sont connus sous le nom de Boucle de COSTAS fig. 30 et boucle à ELEVATION au CARRE, fig. 31.

Ce sont des boucles à verrouillage de phase un peu compliquées, au sujet desquelles on trouve assez peu de littérature [10]. L'une et l'autre conviennent aux applications GPS.

SPILKER [11] précise toutefois que la boucle COSTAS est souvent préférée à la boucle à élévation au carré parce que ses circuits sont moins sensibles à un glissement de fréquence centrale (effet Doppler)

Aide Doppler

Afin d'accélérer l'acquisition de la porteuse, le VCO de la boucle porteuse peut être prépositionné à une fréquence qui tient compte d'une prévision d'effet Doppler.

Ce dernier peut être déterminé par le calculateur à partir des données de l'almanach.

Mesure de pseudodistance

La précision du positionnement et du transfert d'heure dépend directement de la précision de mesure de la pseudo-distance.

La distance entre satellites et utilisateur peut varier entre 20 160 km pour un satellite au zénith et 25 978 km pour un satellite à 5° au-dessus de l'horizon.

Converties en temps de propagation, ces distances deviennent respectivement 67,2 ms et 86,6 ms.

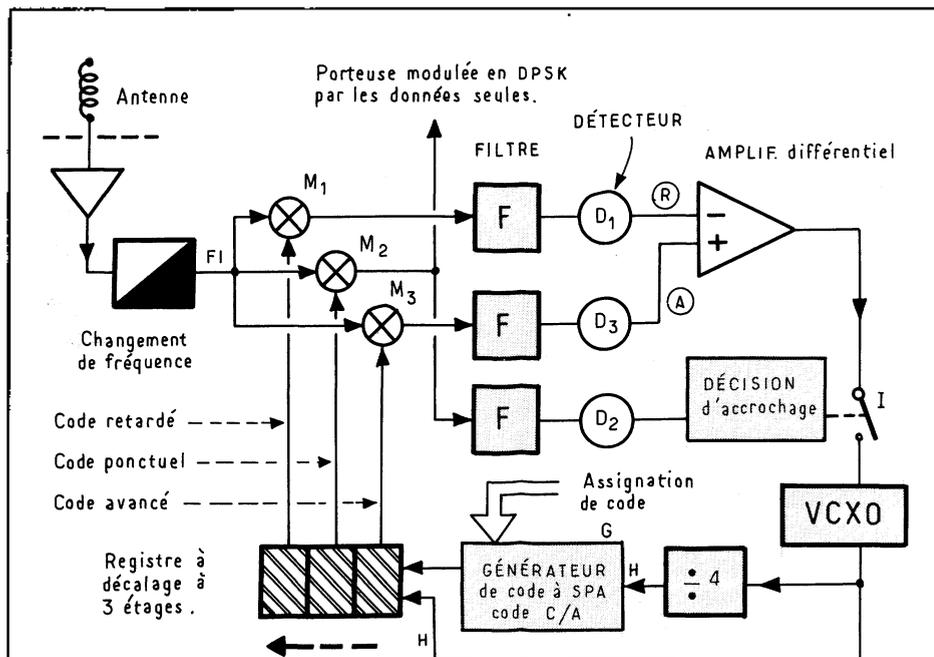
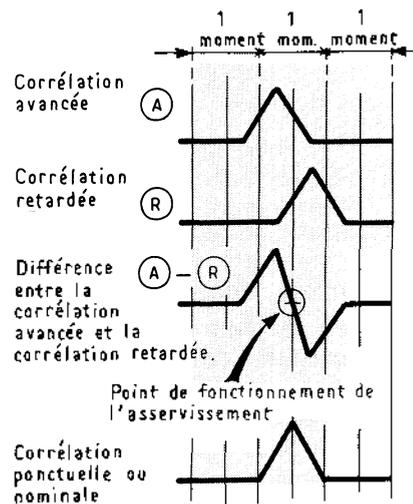


Fig. 28 : Boucle de code asservie. Le code présenté sur M_1 est retardé de 1/4 de moment sur le code ponctuel. Le code présenté sur M_3 est avancé de 1/4 de moment sur le code ponctuel. La corrélation opérée par M_1 , recouvre d'un 1/2 moment celle opérée par M_3 , la différence entre les signaux produits par D_1 et D_3 constitue le signal d'erreur qui agit sur le VCXO. Les filtres F sont à bande étroite (500 Hz) car après le corrélateur M le signal n'est plus en spectre étalé. Le corrélateur concentre l'information dans une bande étroite alors que les bruits restent à leur position spectrale d'origine.

Fig. 29 : Principe de l'asservissement de la boucle de code. Le point de fonctionnement est automatiquement centré sur le passage à zéro du signal différentiel. Il correspond exactement au sommet de la corrélation ponctuelle. Un tel système permet de centrer la corrélation ponctuelle (ou nominale) à mieux que 1/100 de moment, c'est-à-dire à 10 ns près sur le code C/A.



La différence entre ces deux temps : 19,4 ms est un peu inférieure à la période de l'horloge des données (20 ms).

Elles correspondent à la dynamique de mesure nécessaire.

L'horloge des données est un signal carré ou impulsionnel qui, au niveau du satellite, règle la cadence de production des bits du signal de données. (message de navigation). C'est le signal « H » de la fig. 16.

L'horloge des données est obtenue en divisant par 204 600 la fréquence

de l'horloge de référence à 10,23 MHz.

Il est aisé de générer une « horloge des données » par division de fréquence de l'horloge locale du récepteur.

De même on peut reconstituer une « horloge des données » transmise par le satellite en comptant simplement 20 époques du code C/A local. Il s'agit, en d'autres termes, de diviser par 20 la fréquence de répétition du code C/A généré dans la boucle de code, lequel est — lorsque la bou-

cle est verrouillée — parfaitement en phase avec le code reçu.

Un intervalloètre précis mesure l'intervalle de temps entre les fronts de ces deux signaux.

En pratique, cette opération n'est pas aussi simple qu'elle paraît : L'horloge des données incidente est affectée d'un effet Doppler qui l'anime d'une précession de 60 ns par bit (dans le cas le plus défavorable) par rapport à l'autre et qu'il faut compenser.

La phase initiale de ces deux « horloges » doit également être définie.

Vernier

Des techniques de comptage (ou mesure de période) au niveau du VCXO de commande du générateur de code peuvent améliorer la résolution de la mesure de pseudo-distance.

Ces systèmes constituent un vernier dont la résolution, sinon la précision, peut atteindre quelques dizaines de nanosecondes.

Phase de la porteuse

La cohérence des signaux GPS permet même d'exploiter la phase de la porteuse L1 à 1575,42 MHz.

En dépit de sérieux problèmes d'ambiguïté, des résultats spectaculaires auraient été obtenus [5 p. 18] ou la résolution aurait atteint 0,6 nanoseconde, soit 18 cm.

Mesures Doppler

C'est dans le but de déterminer les mouvements de l'utilisateur que la fréquence de la porteuse récupérée dans la boucle de porteuse est mesurée par un compteur.

L'objectif est de définir le vecteur vitesse de l'utilisateur en déterminant son argument et ses cosinus directs dans le référentiel terrestre.

Or, la mesure Doppler ne fournit que la somme des projections des vecteurs vitesse du satellite et de l'utilisateur sur l'axe satellite-utilisateur.

D'autre part l'effet Doppler dû au déplacement à 100 km/h d'un récepteur est de 138 Hz au maximum, sur la porteuse L1, ce qui représente seulement 3 % de l'effet Doppler total si l'on considère que l'effet Doppler du satellite peut atteindre 4 600 Hz.

Le comptage Doppler doit donc être très précis, ce qui confirme la néces-

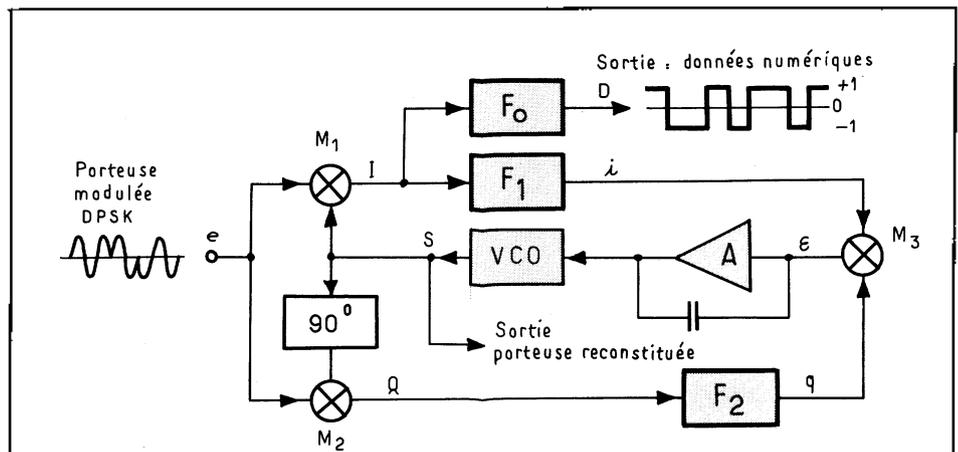


Fig. 30: Boucle de Costas Signal d'entrée: $e = \sqrt{2} A \cos(\omega_c t + \theta_p)$ [Voir note 1]

Le VCO produit un signal: $S = \sqrt{2} \cos(\omega_c t + \theta_r)$

Ce qui produit à la sortie du multiplicateur M_1 : $I = e \times S = A \cos(2\omega_c t + \theta_p + \theta_r) + A \cos(\theta_p - \theta_r)$ où $\theta_p - \theta_r = \varphi = \text{erreur de phase du système}$.

Or, comme dans toute boucle à verrouillage de phase $\varphi \neq 0$ d'où $\cos(\theta_p - \theta_r) \neq 1$

Le terme en $2\omega_c t$ est supprimé par les filtres passe bas F_1 et F_0 . En D on trouve $A = \text{signal numérique}$ et $i = A \cos(\theta_p - \theta_r) = A \cos \varphi$

Un même raisonnement montre que la branche inférieure (dite en quadrature)

donne $q = A \sin(\theta_p - \theta_r) = A \sin \varphi$ enfin $\epsilon = A^2 \sin \varphi \cos \varphi = \frac{A^2}{2} \sin 2\varphi$ donc: $\epsilon = \frac{1}{2} \sin 2\varphi$ [voir note 1]

Note 1: A est la modulation PSK. Un saut de phase de 180° est équivalent à un changement de signe de l'amplitude. A ne peut avoir que deux valeurs discrètes +1 et -1 donc $A^2 = 1$.

sité de disposer de l'horloge performante dont il est question au paragraphe suivant. Il est également nécessaire de connaître avec la même précision l'effet Doppler du satellite, que l'on retranche à l'effet total pour chaque satellite.

L'effet Doppler de chaque satellite peut être aisément déterminé par le calculateur à partir des éphémérides du message de navigation.

Dès lors le vecteur vitesse de l'utilisateur est parfaitement défini par ses projections sur 4 axes qui sont les droites reliant chaque satellite à l'utilisateur et qui constituent un système de coordonnées quelconques mais connues.

Le problème se réduit ensuite à un simple changement d'axes de coordonnées. Voir fig. 32.

Horloge locale

L'algorithme de détermination de la position tient compte de l'erreur ou biais de l'horloge locale.

Il n'est pas nécessaire qu'elle soit extrêmement stable mais cela ne signifie pas qu'elle puisse être quelconque.

La pseudo distance étant mesurée par un intervalloètre, sa précision

est liée à la précision de la référence sans laquelle ce type de mesure est impossible.

Or cette référence est précisément l'horloge interne. Il en est de même des mesures Doppler.

A titre d'exemple le récepteur FTS 8400, dont nous reparlerons, ne possède pas de référence interne.

La source à laquelle il faut le raccorder doit être précise à $\pm 10^{-8}$.

Unité de gestion et de calcul

Généralement cette fonction est confiée à un et parfois deux microprocesseurs incorporés.

Ce calculateur a une tâche relativement lourde.

Il doit :

- Gérer les canaux
- Commander les séquences de poursuite
- Acquérir les données et les stocker
- Calculer le GDOP et choisir les satellites
- Calculer les pseudo distances et le point
- Remettre l'horloge à l'heure
- Calculer l'effet Doppler

- Calculer les trajectoires apparentes des satellites
- Calculer les prévisions Doppler
- Calculer la compensation troposphérique
- Calculer la compensation ionosphérique
- Gérer les entrées/sorties

Correction ionosphérique

Retard ionosphérique

L'ionosphère est une couche de l'atmosphère terrestre dont l'air est ionisé. L'ionosphère commence à une altitude de l'ordre de 50.000 m (variable selon le jour, la nuit, le lieu et les saisons) et s'étend jusqu'aux limites de l'atmosphère.

Les ondes électromagnétiques qui pénètrent cette couche sont réfractées et cette réfraction varie selon la fréquence, fig. 32.

Le chemin d'une onde allant d'un émetteur S à un récepteur U est d'autant plus long que la fréquence est basse. Cela se traduit par un retard de propagation de groupe du signal par rapport au temps de propagation qu'il aurait eu dans un milieu homogène, suivant le trajet rectiligne SU.

Pour les fréquences du système GPS, ce retard de propagation dû à la traversée de l'ionosphère est inversement proportionnel au carré de la fréquence.

Sa valeur est de plusieurs dizaines de nanosecondes. On doit se souvenir que 30 ns représentent 10 m d'erreur sur la pseudodistance.

Rôle des 2 fréquences

Cette relation entre la fréquence et le retard permet de calculer celui-ci quand on dispose de deux signaux synchronisés sur deux fréquences différentes.

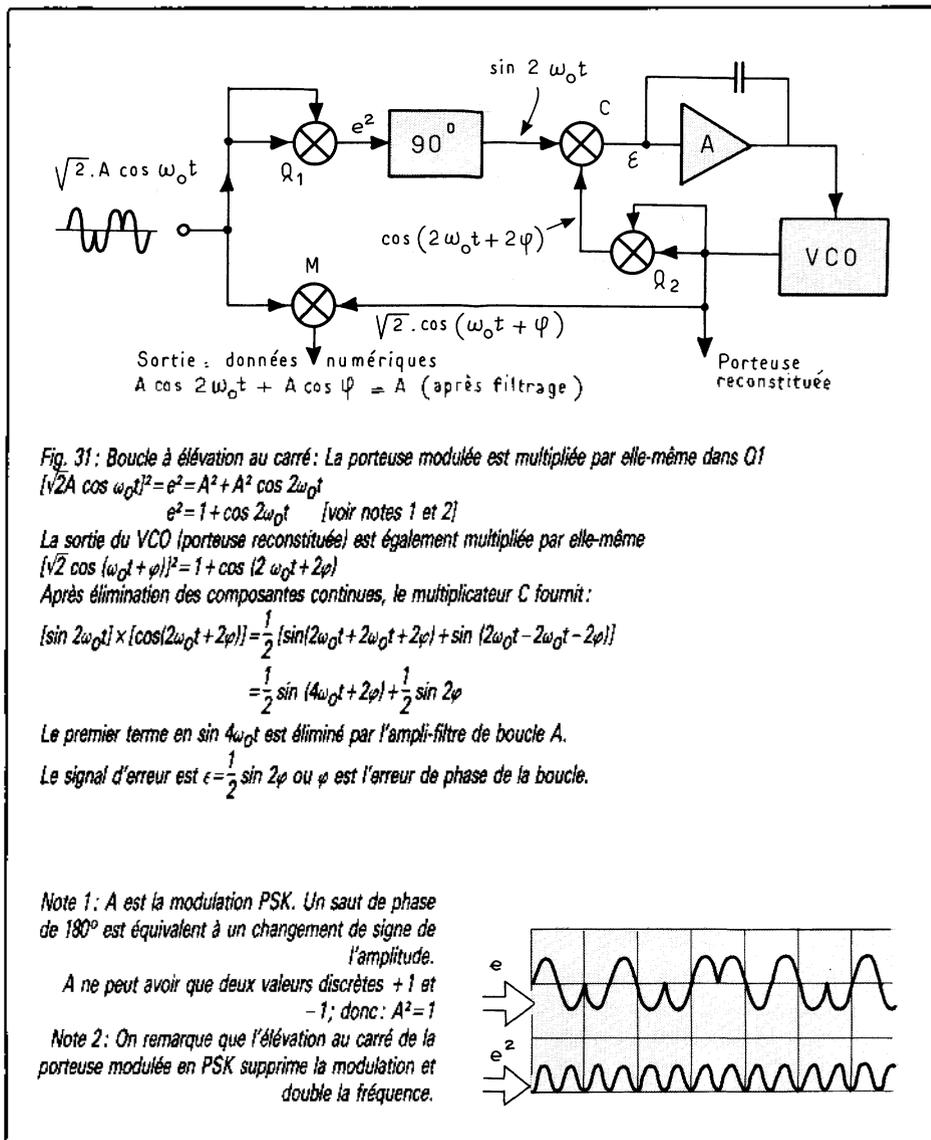
Si $\Delta\tau$ est le retard différentiel mesuré à la réception entre les modulations des deux porteuses L1 et L2, on montre que :

$$\tau_{GDL1} = 1,5336 \Delta\tau$$

où τ_{GDL1} est le retard de propagation de groupe sur la fréquence L1.

Récepteurs monofréquence

Dans un statut nominal, la porteuse L2 ne sera modulée que par le code P. Elle sera donc inaccessible aux utilisateurs civils.



La correction ionosphérique ne pouvant plus être calculée par la méthode précédente, les récepteurs monofréquence utilisent un modèle mathématique qui permet d'évaluer la correction à partir des données ionosphériques contenues dans la sous-trame 4 du message de navigation.

Il existe un modèle standard [3] qui fournit une valeur de correction dont la marge d'erreur est de l'ordre de 50 %. Ceci n'est pas particulièrement performant, aussi certains constructeurs ont-ils cherché à établir des modèles différents.

Celui du récepteur FTS 8400 est décrit en [8].

Prévisions de trajectoires

Tous les récepteurs GPS sont capables de prévoir la trajectoire réelle ou

apparente de n'importe quel satellite. Il est possible de déterminer l'heure du lever, du coucher, avec l'azimut correspondant, la hauteur et l'azimut du satellite à sa culmination ainsi que plusieurs valeurs intermédiaires du trio : Hauteur/Azimut/heure.

Ces données sont tirées des éphémérides lorsqu'elles sont disponibles dans la mémoire de l'appareil. Sinon elles sont établies à partir de l'almanach.

Les récepteurs spécialisés dans le Temps-Fréquence impriment des courbes de visibilité des satellites qui sont très utiles dans le cas d'utilisation en « vue commune », c'est-à-dire lorsque deux utilisateurs éloignés décident de comparer simultanément leurs échelles de temps propres à celle d'un seul satellite.

* FTS : Frequency and Time Systems est plus connu pour ses horloges au césium, dont CEPE assure aussi la commercialisation.

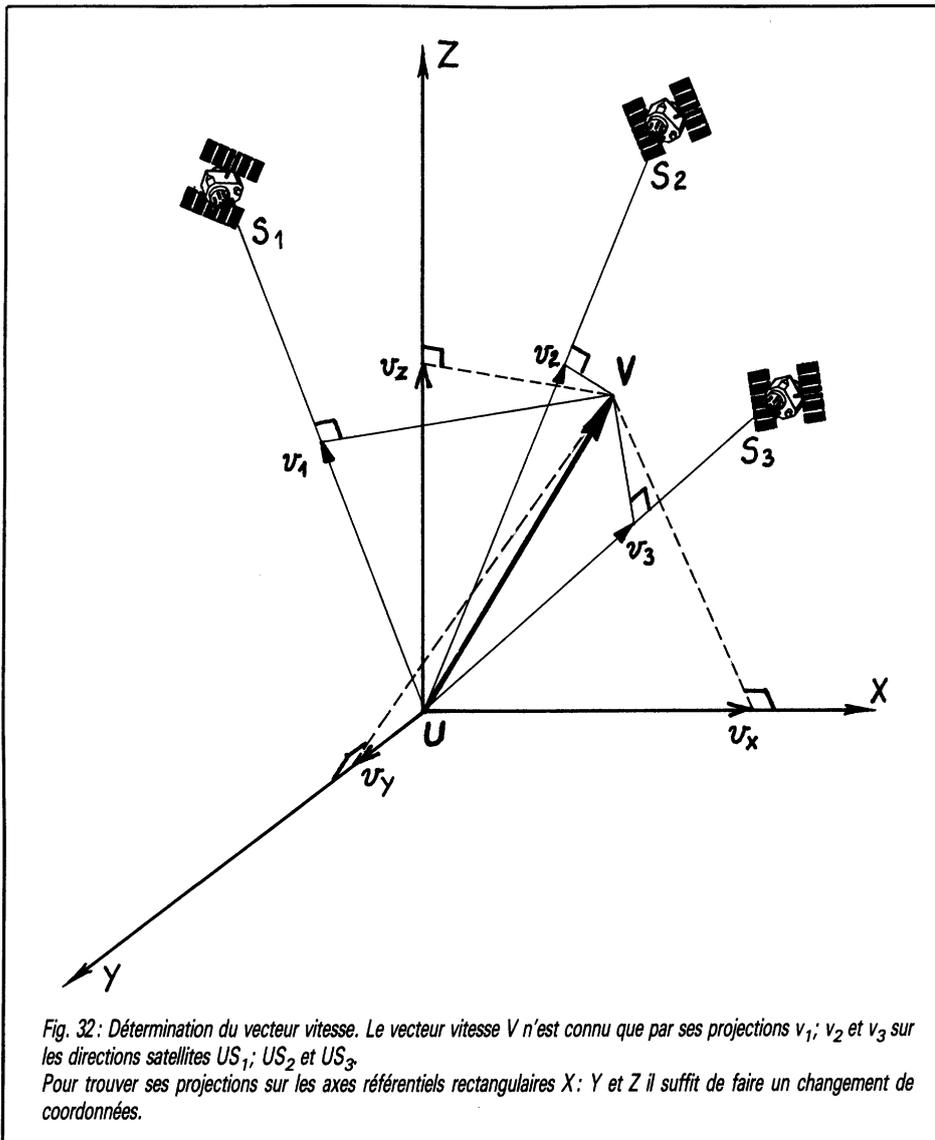


Fig. 32: Détermination du vecteur vitesse. Le vecteur vitesse V n'est connu que par ses projections v_1 , v_2 et v_3 sur les directions satellites US_1 , US_2 et US_3 . Pour trouver ses projections sur les axes référentiels rectangulaires X , Y et Z il suffit de faire un changement de coordonnées.

Position française face au GPS

Jusqu'en 1981 le Consortium Français Navstar étudia la faisabilité d'un récepteur GPS à vocation militaire. Les participants à cette étude étaient Thomson, Crouzet et CSEE. Cette étude aboutit à la réalisation d'un prototype qui fonctionne encore mais elle n'a pas été poursuivie parce que les coûts de développement furent jugés prohibitifs.

Dès lors les militaires français se tournèrent vers des produits existants d'origine américaine et chargèrent les sociétés françaises TRT et LMT Radio professionnelle de conclure un accord avec la Société MAGNAVOX qui a déjà développé plusieurs types de récepteurs NAVSTAR-GPS. Cet accord prévoit une collaboration de ces 3 sociétés

dans l'étude et la fabrication d'un nouveau récepteur.

De son côté, CEPE, une filiale Thomson, leader national dans le domaine Temps/Fréquence décidait de prendre des accords avec FTS*, lequel s'était déjà assuré la collaboration de Trimble Navigation, un spécialiste réputé dans le domaine du GPS. Il s'agissait d'un récepteur spécialisé dans les applications civiles Temps/Fréquence et particulièrement adapté aux utilisations en vue commune, mode de fonctionnement apprécié des laboratoires qui participent à l'élaboration des échelles de temps nationale et internationales.

Enfin, on ne saurait passer sous silence Sercel et LCT.

SERCEL, société française filiale de la Cie Générale de Géophysique développa son propre récepteur GPS dont un exemplaire fut commandé par l'Institut Géographique National

pour des applications géosésiques - [2] Article de G. BONIN.

LCT réalisa un récepteur GPS qui comme celui de SERCEL utilise le code C/A seul.

Ce récepteur fut testé par LRBA en 1984.

[2] Article de JL. DORNSTETTER et A. SALOMON.

Le récepteur FTS 8400

Le récepteur commercialisé par CEPE sous la désignation FTS 8400 est un récepteur optimisé pour les applications dans le domaine Temps/Fréquence.

Ce récepteur calcule sa position comme tous les récepteurs GPS mais sa particularité la plus remarquable réside dans son processeur Temps/Fréquence. Celui-ci est capable de générer, à partir d'un étalon extérieur des impulsions top secondes et top minute synchronisées sur l'échelle de temps GPS ou UTC (au choix).

Il est muni d'un intervalloètre à haute résolution qui permet de mesurer le décalage existant entre une échelle de temps locale et l'échelle de temps GPS ou UTC.

De même il est capable de comparer la fréquence de sa source de référence (externe) aux étalons du système GPS par l'intermédiaire des satellites, à quelques 10^{-12} .

Conception

L'originalité du récepteur FTS 8400 est sa conception et sa technologie numérique. Voir fig. 35.

On passe en effet très tôt de l'analogique au numérique.

Après le préamplificateur d'antenne, deux changements de fréquence successifs ramènent la fréquence de 1515,42 MHz à 5,115 MHz. Cette fréquence est suffisamment basse pour être traitée numériquement sans difficultés.

A partir du convertisseur A/N la circuiterie est entièrement numérique. La structure de l'appareil (schéma : fig. 35) montre en dépit de sa technologie numérique une grande analogie avec un récepteur conventionnel.

On reconnaît aisément la boucle de code avec ses 3 corrélateurs ou le

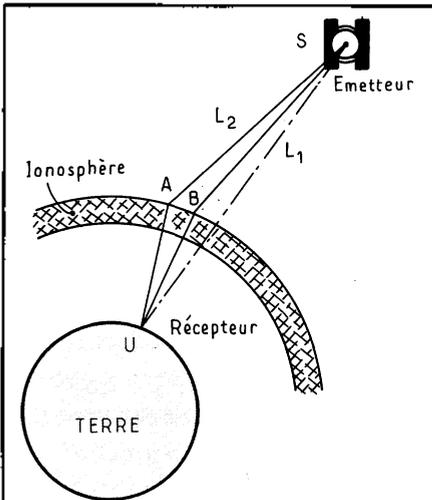


Fig. 33: Retard ionosphérique. En raison de la réfraction dans l'ionosphère, une onde suit un chemin d'autant plus long que sa fréquence est basse.

comparateur de Φ du code qui joue ici le rôle de l'amplificateur différentiel de la fig. 28.

La boucle de COSTAS est formée du NCO (oscillateur à commande numérique) et des deux comparateurs de phase porteuse. Naturellement, dans les deux boucles, les signaux d'erreur sont élaborés et traités numériquement par le calculateur.

Performances

Le cahier des charges du système prévoyait une précision de localisation de ± 15 mètres pour les utilisateurs ayant accès au code P c'est-à-dire les militaires et assimilés.

La précision obtenue par les utilisateurs civils à travers le code C/A devrait être dix fois moindre, c'est-à-dire de ± 150 mètres.

Signalons que la sélection des utilisateurs ne s'effectue pas par l'intermédiaire du code P proprement dit mais par un chiffrement des signaux.

Les récepteurs autorisés à accéder au code P doivent non seulement être munis du module SA (Selective Availability) mais également connaître le « chiffre ».

Ce chiffre peut être changé, notamment toutes les semaines.

Les essais du système sur la constellation réduite actuelle ont montré que sa précision dépassait largement les prévisions.

Ainsi le récepteur civil FTS 8400 (CEPE) qui exploite le seul code C/A atteint en positionnement horizontal une précision absolue de l'ordre de 30 mètres et une répétabilité de ± 5 mètres.



Fig. 34: Récepteur GPS FTS 8400. Un récepteur civil monocanal de conception originale.

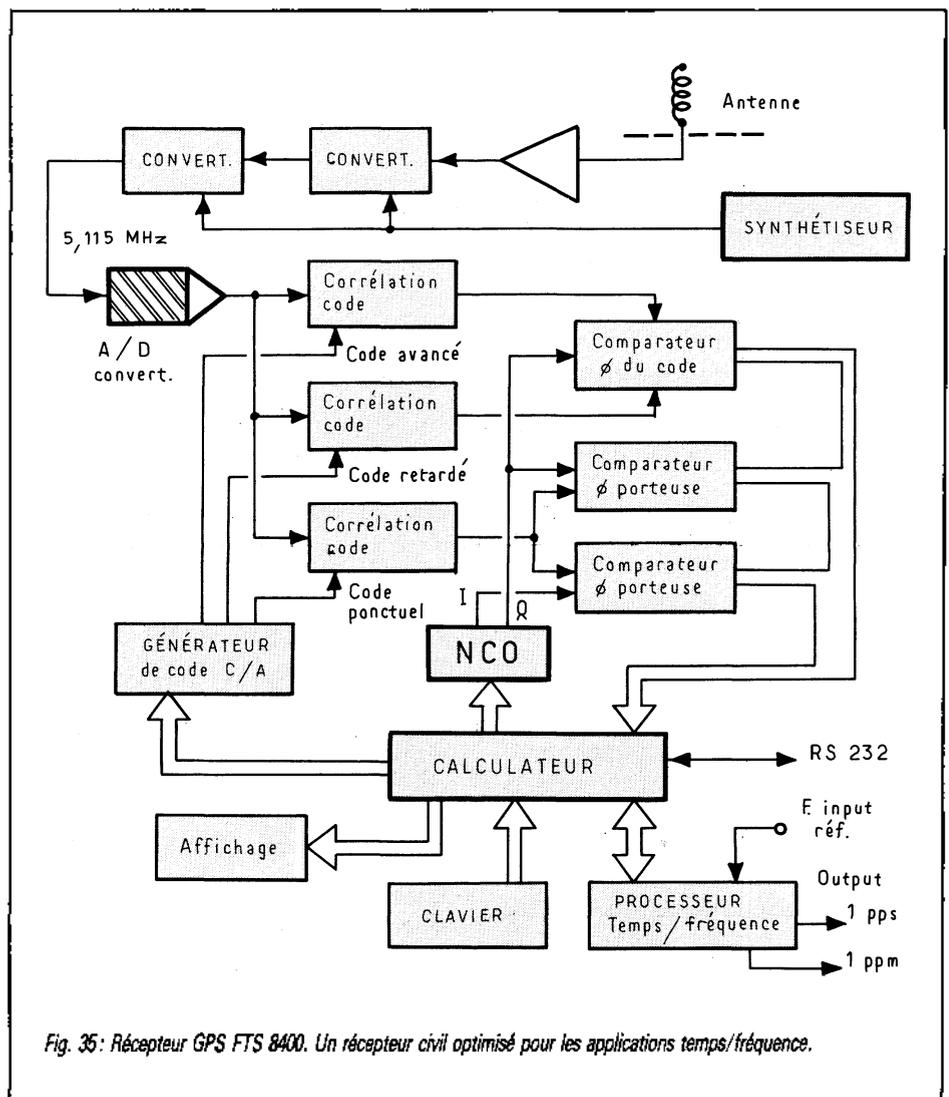


Fig. 35: Récepteur GPS FTS 8400. Un récepteur civil optimisé pour les applications temps/fréquence.

Le même récepteur FTS 8400, employé en différentiel, atteint aisément une précision de l'ordre du mètre.

Même si les résultats d'essais d'évaluation du matériel militaire ne sont pas publiés, tout porte à croire que le rapport entre les performances réelles et les performances escomptées soit du même ordre de grandeur que celui qu'on a observé sur les matériels civils.

La question de pose de savoir si le Département de la Défense U.S. acceptera de laisser « certaines » puissances étrangères profiter militairement d'un système civil trop performant.

Aussi parle t'on beaucoup d'une éventuelle dégradation du code C/A. Aucune décision n'a encore été prise dans ce sens.

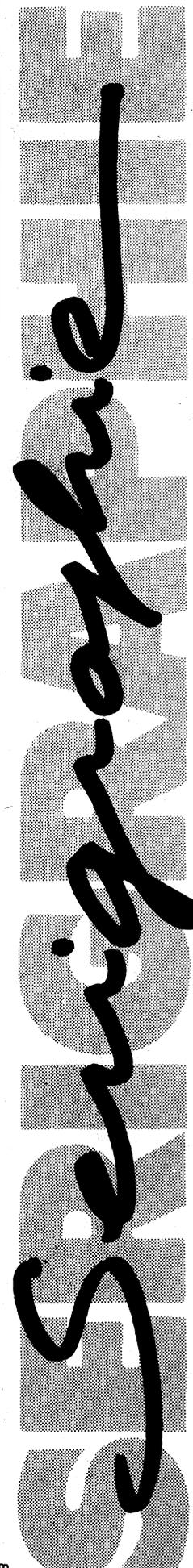
Espérons que cette dégradation, si elle est mise en œuvre, sera intelligente. On peut en effet la concevoir afin qu'elle dégrade la précision du positionnement absolu sans affecter la précision des fonctions Temps/Fréquence, ni celle du positionnement différentiel, éventuellement moyenné sur une longue période de temps.

D. MUNIER
Ingénieur à la CEPE

BIBLIOGRAPHIE

- [1] SPILKER - GPS Signal Structure and Performance Navigation - US Institute of Navigation vol 25 summer 1978.
- [2] NAVIGATION - Revue de l'Institut Français de Navigation N° 129 Spécial GPS Janvier 1985.
- [3] OTAN - Accord de Standardisation STANAG 4294 31 Juillet 1984.
- [4] CONSORTIUM FRANÇAIS NAVSTAR - Etude générale - Rapport final Mars 1981.
- [5] N. RANDRIANANDRAINA/RAMAMISON - Mémoire de géodésie spatiale - IGN. 1983.
- [6] I.A. de CHEZELLES - Le Système NAVSTAR LRBA 1979.
- [7] P. FOMBONNE - Radionavigation Radiolocalisation Masson 1983.
- [8] Javad M. Ashjaee - Improving the accuracy of C/A code US INSTITUTE of NAVIGATION - 1985.
- [9] SONNENBERG - Radar and electronic navigation Newnes - Butterworths 1978.
- [10] BLANCHARD - Technique des boucles d'asservissement de Phase - Ecole sup. d'Electricité.
- [11] SPILKER J. - Digital communication by satellites Prentice Hall Inc. 1977.
- [12] HOLMES - Coherent Spread Spectrum Systems Wiley 1982.
- [13] GOLD R. - Optimal Binary sequences for spread Spectrum Multiplexing IEEE Trans 1967.
- [14] GOLD R. - Properties of Binary Encoding Sequences Rob. GOLD Associates July 1975.
- [15] DIXON R.C. - Spread Spectrum Systems Wiley 1976.
- [16] PETERSON W.W. - Error Correcting Codes MIT 1972.

SEB



POUR CHAQUE
DOMAINE, UN
PROGRAMME DE POINTE

TISSUS - FILMS
ÉMULSIONS
ENCRES - MACHINES

LE SPÉCIALISTE
DE TOUTE LA
SÉRIGRAPHIE

tripette & renaud

39, rue Jean-Jacques-Rousseau
75001 Paris - Tél. : 233.21.45