



Présentation du GPS



= Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de [REDACTED]

Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de [REDACTED]

■■■ Plan de la Présentation

► Le GPS

- **L'historique et la théorie du GPS**
- Les produits *****
- Présentation du message de Navigation
- L'architecture d'un récepteur GPS
- Fonctionnement d'un récepteur GPS
- Présentation du logiciel MAYA
- Les aspects sécurité et chiffre
- La documentation

= Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de [REDACTED]

Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de [REDACTED]

■■■ Plan de la Présentation

► L'historique et la théorie du GPS

- Les origines des systèmes de navigation
- Les qualités du GPS
- L'historique du GPS
- La théorie du GPS
- L'utilisation du GPS
- Les systèmes complémentaires du GPS
- Le futur du GPS

= Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de [REDACTED]

Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de [REDACTED]

■■■ Les origines des systèmes de Navigation

► La navigation astronomique représente le premier système de navigation:



- Les premiers navigateurs utilisaient les objets célestes tels que le Soleil, la Lune et les étoiles pour se localiser et pour naviguer en vue d'explorer notre planète
- Au XVIII^{ème} siècle, le sextant, la boussole et l'almanach des astres associés avec une horloge, améliorèrent significativement la précision de localisation

Au XX^{ème} siècle, l'arrivée de la radionavigation a bouleversée la navigation:

- Elle consiste à se guider à l'aide de mesures sur les signaux radioélectriques
- Cela augmente considérablement les performances de navigation

► Aujourd'hui, les systèmes de Navigation par satellites sont utilisés par tout le monde et partout dans le monde

■■■ Les qualités du GPS (1/2)

► Le système GPS offre des potentialités très importantes:

- Une navigation tridimensionnelle
- Un temps précis
- Une couverture mondiale et permanente
- Des précisions de localisation centimétriques à décamétriques
- Un nombre d'utilisateurs illimité
- Un coût du service très faible

► Le système GPS est un excellent complément aux senseurs inertIELS

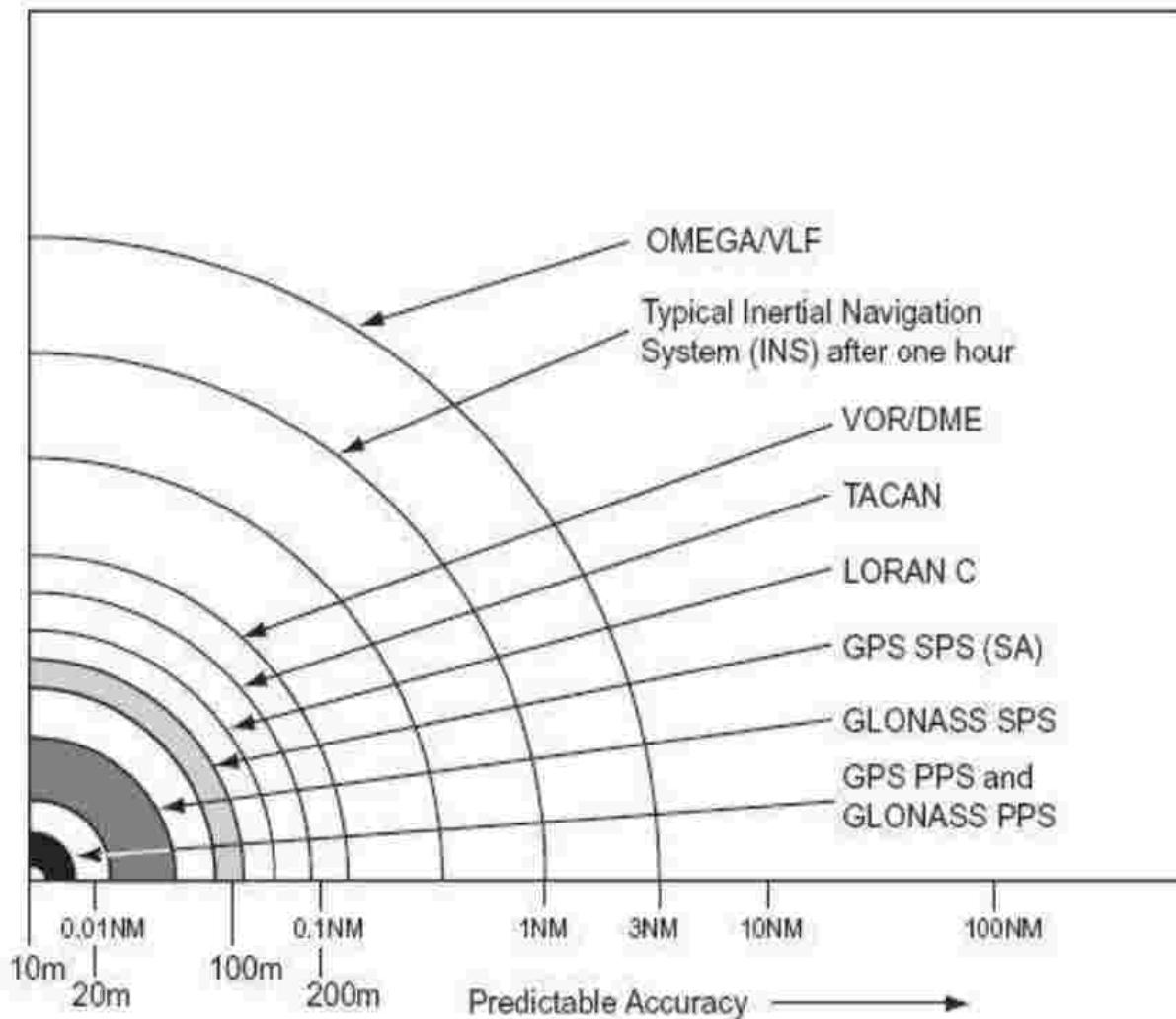
- Aucune dérive sur le long terme
 - Recalage possible par le GPS
 - Couplage très prometteur

= Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de [REDACTED]

Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de [REDACTED]

■■■ Les qualités du GPS (2/2)

Comparatif des performances des systèmes GNSS



= Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de [REDACTED]

Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de [REDACTED]

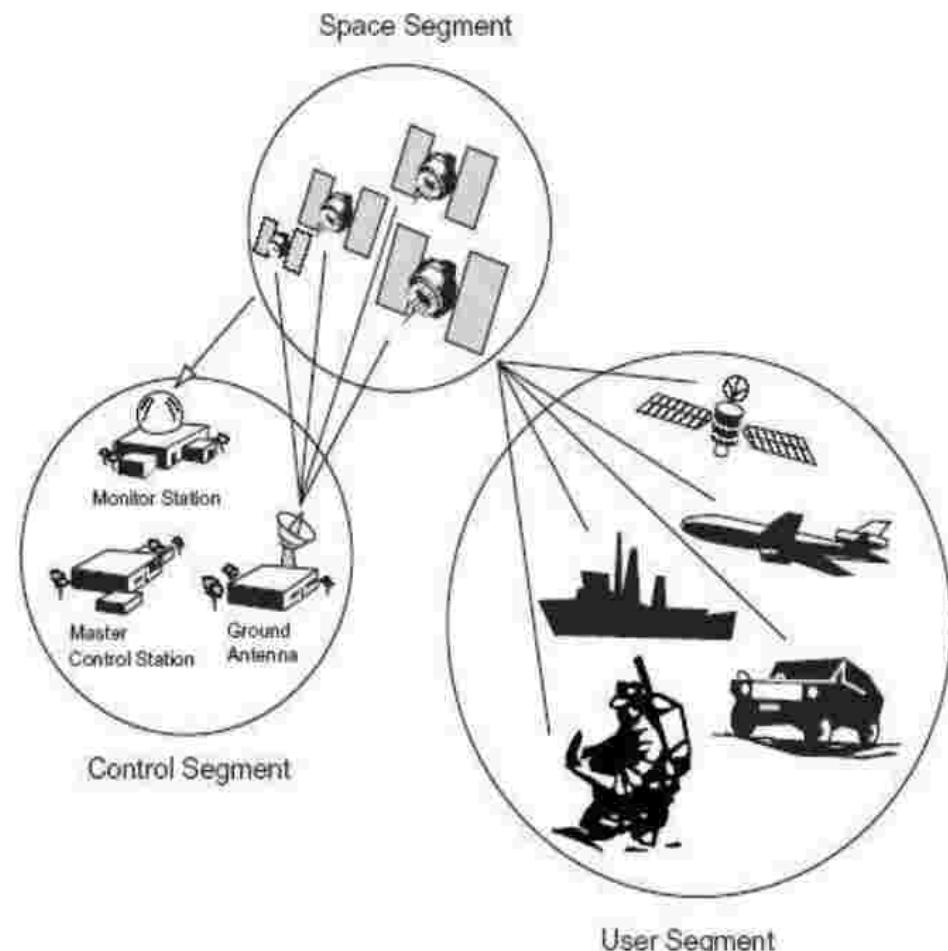
L'historique du GPS

- En 1964, le premier réseau « TRANSIT » constitué de 5 satellites est activé aux USA
- En 1973, le Department of Defence (DoD) groupa les programmes de l'US Navy et de l'US Air Force pour constituer le programme NAVSTAR-GPS
 - La phase I, qui se déroula de 1973 à 1979, permit de valider le concept avec quatre satellites temporairement visibles aux USA
 - La phase II (1979 - 1985) permit de développer et de tester le système. Plus de dix satellites furent lancés. Leur durée de vie estimée à cinq ans fut supérieure à 8 ans. Ces satellites faisaient partie du Bloc I
 - La phase III débuta en 1985. ROCKWELL INTERNATIONAL emporta le marché des 28 satellites de seconde génération (Bloc II) de durée de vie de sept ans et demi
- Aujourd'hui, 32 satellites sont en orbite, mais seulement 28 sont généralement utilisés

■■■ La théorie du GPS (1/11)

► Le GPS comporte 3 segments:

- **Le segment spatial est constitué d'une constellation de satellites diffusant des signaux radioélectriques.**
- **Le segment de contrôle est composé d'une station maître et de stations de surveillance, le rôle de ce segment est de gérer le segment spatial.**
- **Le segment utilisateur est formé par des récepteurs GPS, ceux-ci captent les signaux émis par les satellites.**



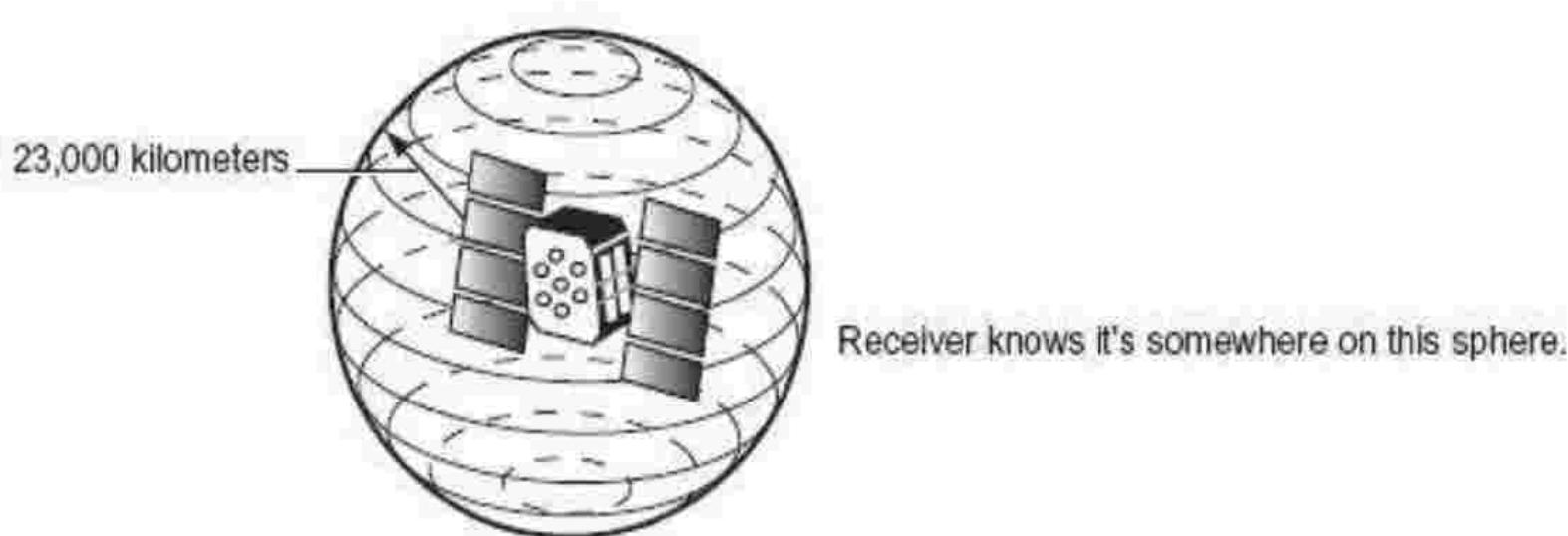
■■■■ La théorie du GPS (2/11)

► Principe du positionnement

- Tous les satellites ont des horloges exactement synchronisées
- Tous les satellites connaissent leur position exacte
- Chaque satellite émet sa position et un signal horaire
- Les signaux arrivent au récepteur avec un délai proportionnel à la distance
- Le récepteur calcule la distance à chaque satellite et en déduit sa position

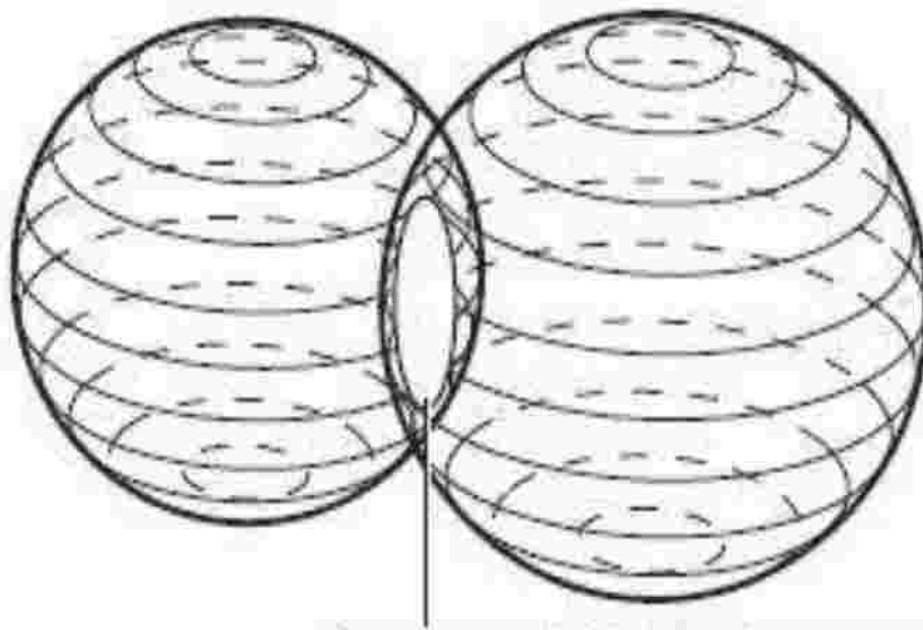
■■■■ La théorie du GPS (3/11)

- Chaque mesure représente le rayon R d'une sphère centrée sur un satellite particulier. Le récepteur GPS est sur cette sphère :



■■■ La théorie du GPS (4/11)

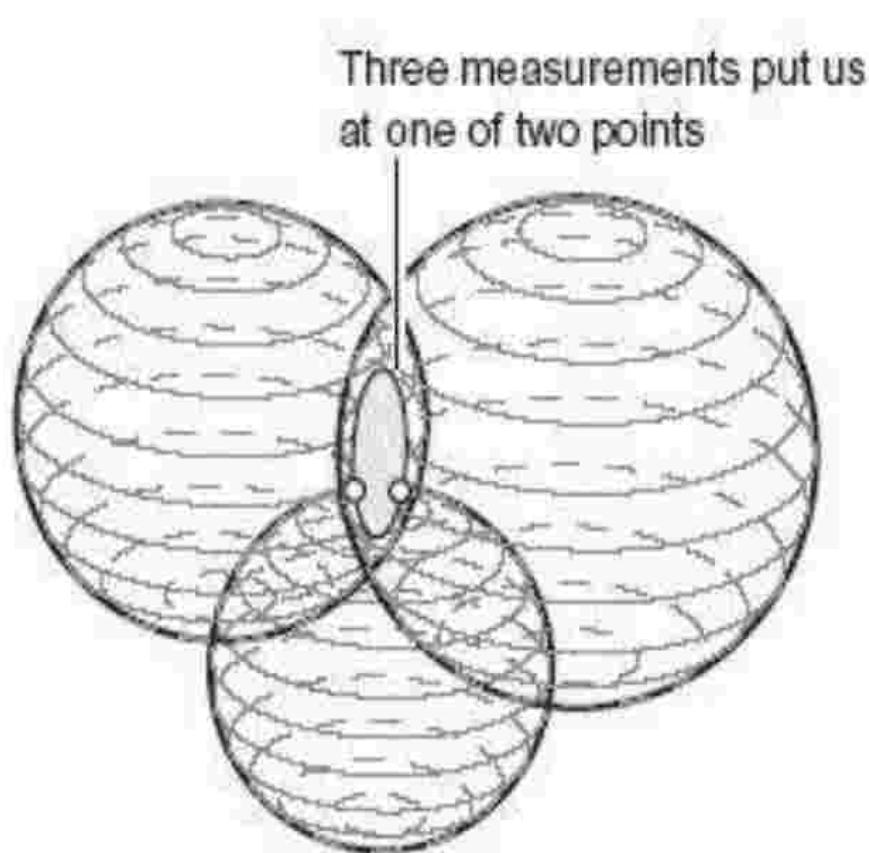
- Avec deux mesures, la position du récepteur est sur le cercle formé par l'intersection de deux sphères :



Two measurements put us somewhere
on this circle.

■■■ La théorie du GPS (5/11)

- Une troisième mesure simultanée réduit l'intersection à deux points, dont un est très éloigné dans l'espace et est aisément isolé :



■■■■ La théorie du GPS (6/11)

- ▶ Malheureusement, si tous les satellites sont « synchronisés », les récepteurs, eux, ne le sont pas:

Rappel: 1 mètre équivaut à 3ns

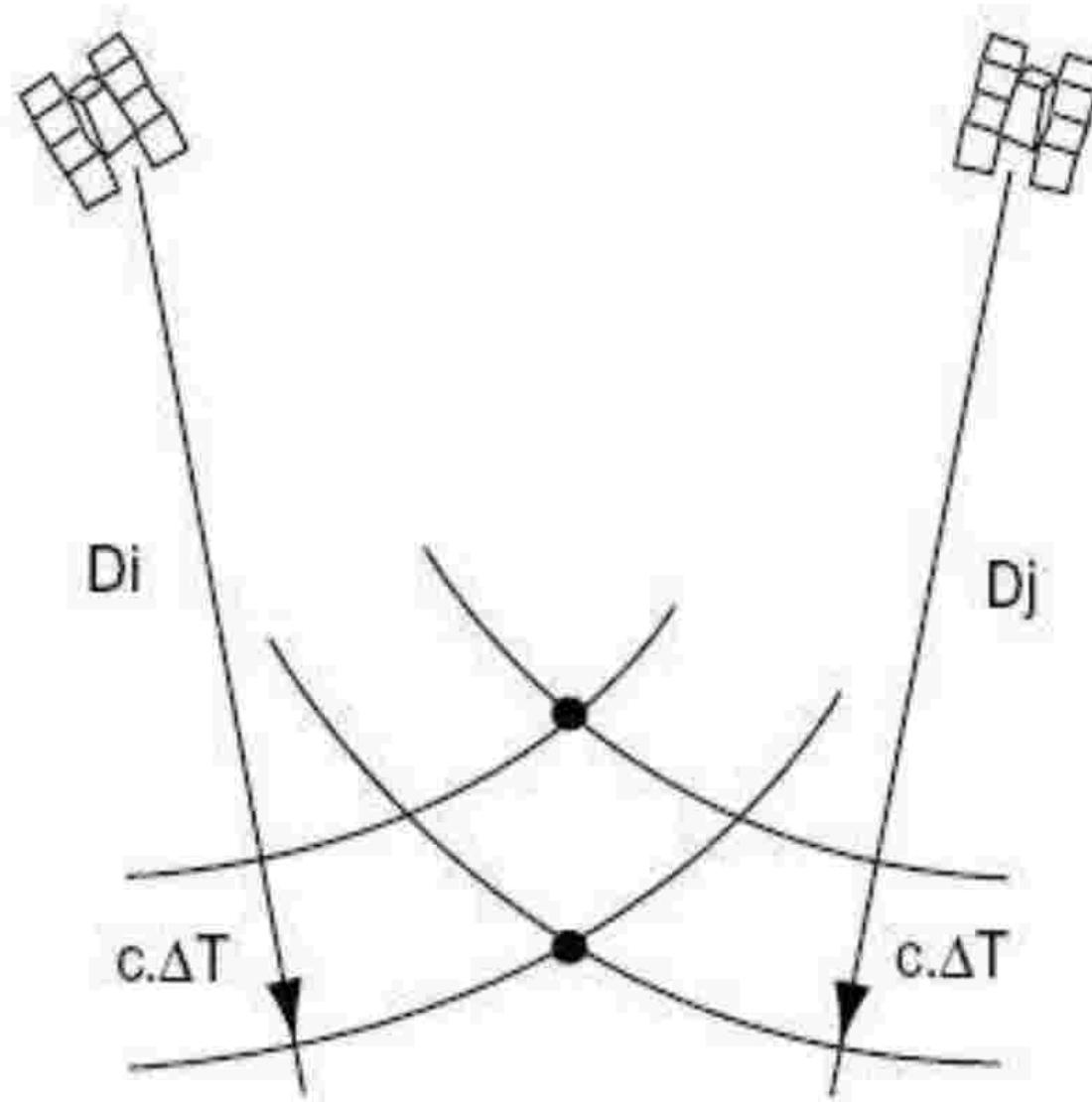
- ▶ On considère donc que le décalage entre le temps GPS et le temps du récepteur comme une inconnue supplémentaire et on mesure des « Pseudo-distances »

Pseudo-Distance = Distance + Équivalent distance asynchronisme

- ▶ On parle alors de Biais d'horloge ΔT

Pseudo-Distance = Distance + $c.\Delta T$ avec $c = 299792458 \text{ m/s}$

■■■ La théorie du GPS (7/11)



Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de [REDACTED]

Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de [REDACTED]

■■■■ La théorie du GPS (8/11)

- Il existe donc une quatrième inconnue en trois dimensions: le Temps
 - 4 satellites sont nécessaires pour trouver la solution PVT
- Les paramètres à déterminer sont, suivant le repère : la longitude, la latitude, l'altitude et le biais d'horloge
- Les calculs s'effectuent dans un repère cartésien dans lequel les inconnues sont X, Y, Z et ΔT.

$$(2.1) \quad D_1 = \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2} + c.\Delta T$$

$$D_2 = \sqrt{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2} + c.\Delta T$$

$$D_3 = \sqrt{(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2} + c.\Delta T$$

$$D_4 = \sqrt{(x - x_4)^2 + (y - y_4)^2 + (z - z_4)^2} + c.\Delta T$$

■■■■ La théorie du GPS (9/11)

► Le signal GPS se compose de 2 codes distincts:

- Le code civil : C/A (2 MHz de largeur de bande)
- Le code militaire : P (P(Y) ou Y) (20 MHz de largeur de bande)

► Le signal GPS propose 2 services distincts:

- Le service normal: SPS pour le code civil
- Le service précis : PPS pour le code militaire

► Le signal GPS est diffusé sur 2 fréquences:

- L1 (1575,42 MHz): porteuse des codes C/A et P(Y)
- L2 (1227,6 MHz): porteuse uniquement du code P(Y)

► Les puissances des signaux GPS (niveau min):

- C/A sur L1 : -160 dBW (-130 dBm)
- P(Y) sur L1 : -163 dBW (-133 dBm)
- P(Y) sur L2 : -166 dBW (-136 dBm)

■■■ La théorie du GPS (10/11)

► Précision du GPS

Service Code	SPS Avec SA	PPS
C/A	Horizontale: 100m Verticale: 159m 3D: 174m	-
P(Y)	-	Horizontale: 21m Verticale: 34m 3D: 37m

■■■■ La théorie du GPS (11/11)

- ▶ Pour éviter que le GPS civil soit utilisé à des fins militaires, le DoD a introduit un bruit parasite sur les mesures fournies par les satellites au récepteur GPS : on parle alors de SA (Selective Availability)
 - Le décodage de la SA permet d'accéder au service PPS
- ▶ Par ailleurs, pour éviter un accès facile au code P militaire, le DoD crypte ce code par une clé de chiffrement accessible uniquement aux utilisateurs autorisés : ce cryptage correspond à l'AS (Anti-Spoofing). Le code P ainsi crypté est nommé P(Y) ou Y
 - L'utilisation de l'algorithme AS avec les clés de chiffrement permet d'accéder au code P(Y)
- ▶ En résumé:
 - Le code C/A en service SPS est le service accessible à tous
 - Le code P(Y) en service PPS est le service accessible uniquement aux utilisateurs autorisés (militaires)

Domaine d'utilisation du GPS

► La navigation

- Terrestre : véhicules
- Aérienne : avion ou munitions guidées
- Maritime : bateaux, approches des côtes
- Pédestre : randonnées

► Les services de secours

- Localisation précise d'une balise

► La mesure de position statique

- Mesure d'une position de référence (géodésie, cartographie)

► La mesure d'un temps précis

- Accès à un temps précis pour des besoins de datation ou de synchronisation

= Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de [REDACTED]

Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de [REDACTED]

■■■ Les systèmes complémentaires du GPS (1/7)

► Les systèmes différentiels:

- DGPS
- Exemple de DGPS: LAAS

► Les systèmes SBAS : Satellite Based Augmentation Systems

- WAAS (Amérique du Nord)
- EGNOS (Europe)
- MSAS (Japon)
- BEIDOU (Chine)

= Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de [REDACTED]

Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de [REDACTED]

Les systèmes complémentaires du GPS (2/7)

DGPS : Differential Global Positioning System (1/2)

► Le besoin:

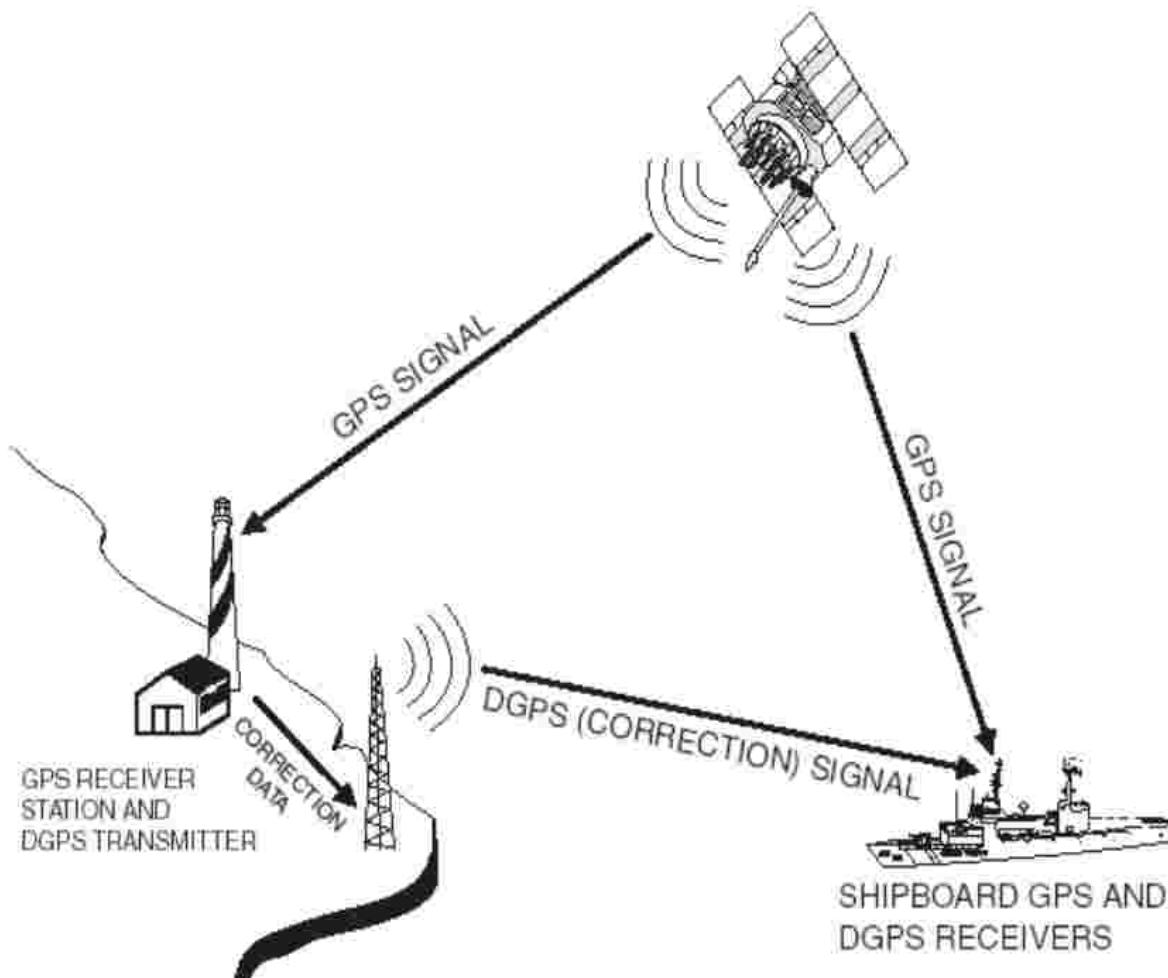
- Comment faire une mesure précise avec l'influence de la SA
- Application: la géodésie (mesure de cartographie)

► Le principe de base:

- Les satellites sont très éloignés de la terre (20 000km), donc les erreurs systématiques vues au même instant par des récepteurs proches seront semblables
- En installant 1 (voire N) récepteur(s) sur 1 (N) point(s) connu(s), on pourra observer les erreurs et les modéliser, puis les utiliser pour corriger les mesures faites par d'autres récepteurs dans la zone de validité
- On obtient ainsi une amélioration notable de la précision

Les systèmes complémentaires du GPS (3/7)

DGPS : Differential Global Positioning System (2/2)



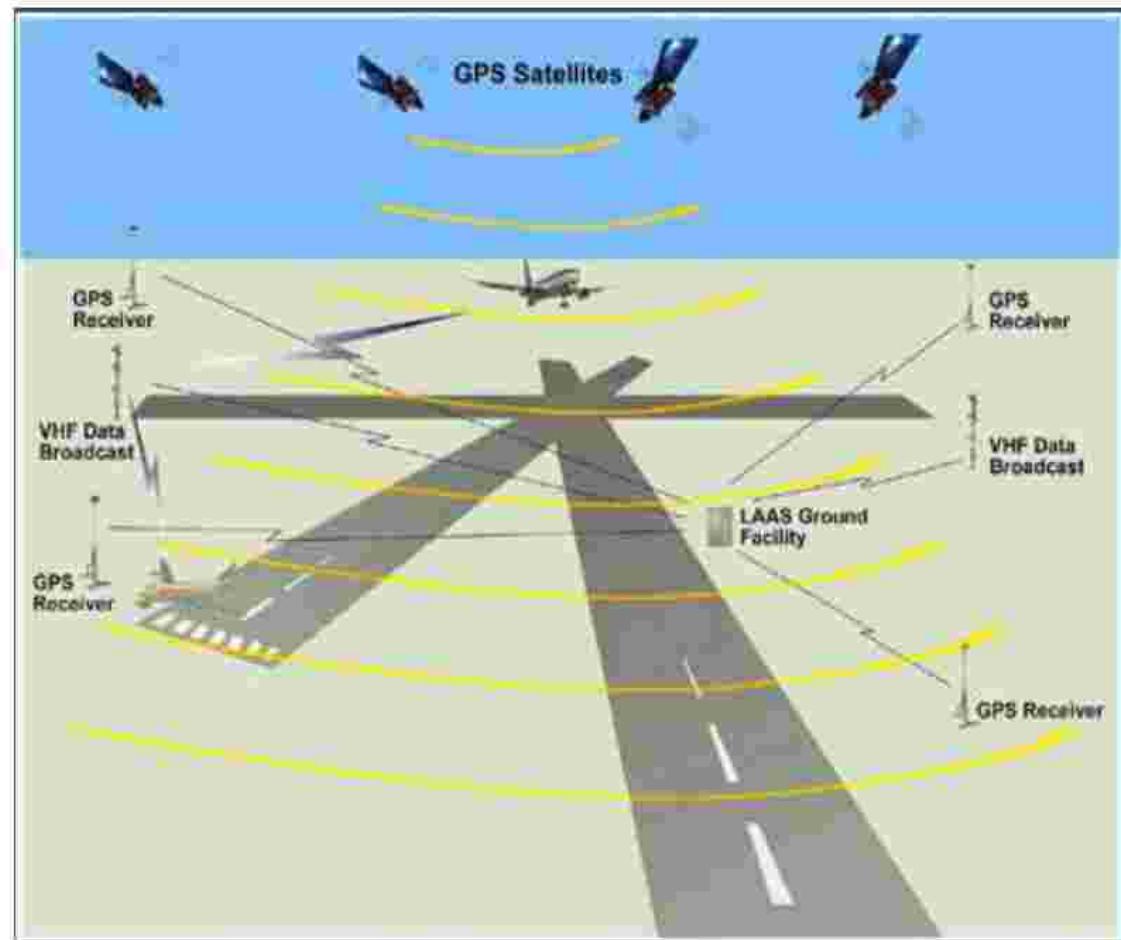
Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de

Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de

Les systèmes complémentaires du GPS (4/7)

LAAS : Local Area Augmentation System

- ▶ Système d'augmentation de la précision du GPS autour des aéroports
- ▶ Le principe :
 - Émission de corrections dans la bande VHF
- ▶ La portée:
 - 20 à 30 miles



Les systèmes complémentaires du GPS (5/7)

WAAS : Wide Area Augmentation System

► Uniquement disponible dans la zone Amérique du Nord

► Le principe :

- Les stations au sol reçoivent le signal GPS
- Application des corrections sur le signal
- Émission vers les satellites WAAS
- Diffusion par les satellites WAAS d'un signal GPS corrigé

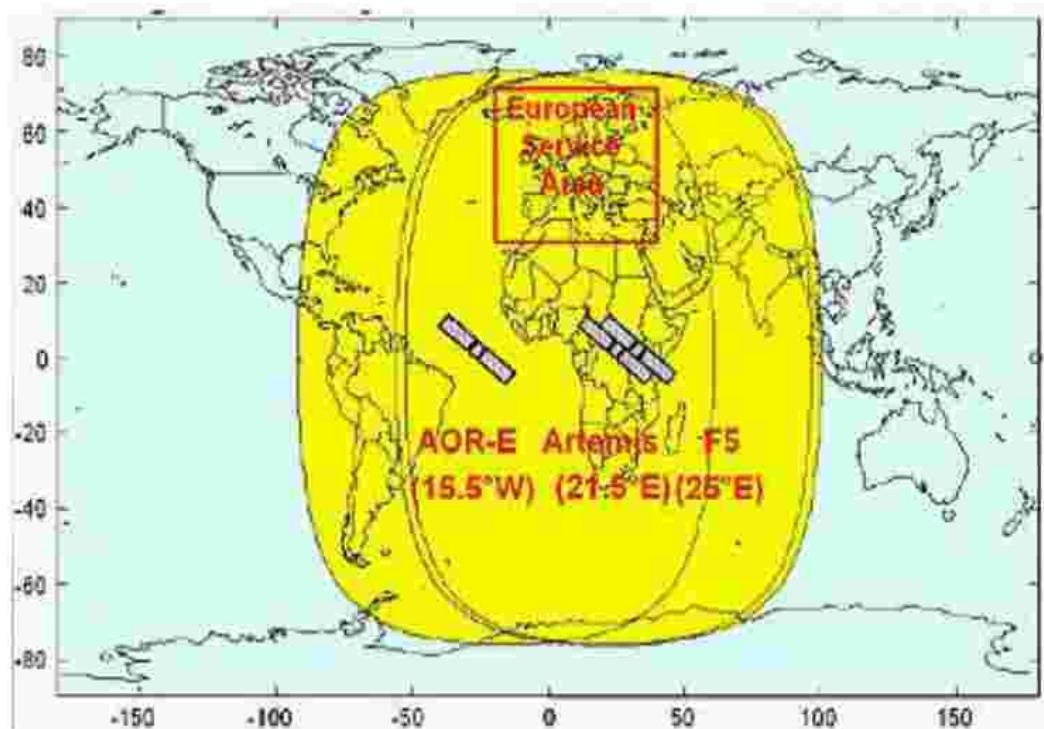


Les systèmes complémentaires du GPS (6/7)

EGNOS : Euro Geostationary Navigation Overlay Service

► C'est le système équivalent au WAAS (Amérique du nord) pour l'Europe

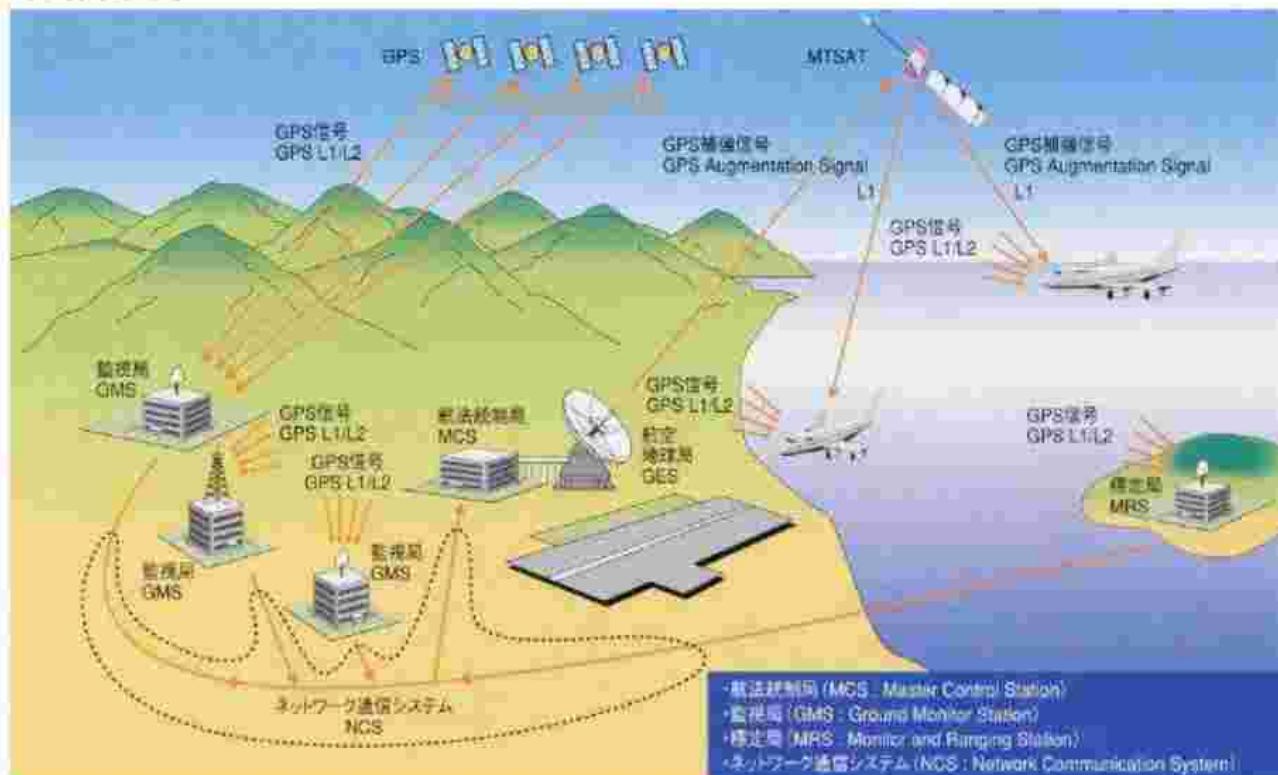
- À base de 3 satellites géostationnaires
- Compatible de Galileo



Les systèmes complémentaires du GPS (7/7)

MSAS : Multi-Functional Satellite Augmentation System

- C'est le système équivalent au WAAS (Amérique du nord) pour le Japon
 - Une constellation de satellites géostationnaires diffuse des corrections



Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de

Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de

■■■■ Le futur de la Radio-Navigation

► Le futur de la Radio-Navigation

- GPS
- GLONASS
- GALILEO

= Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de [REDACTED]

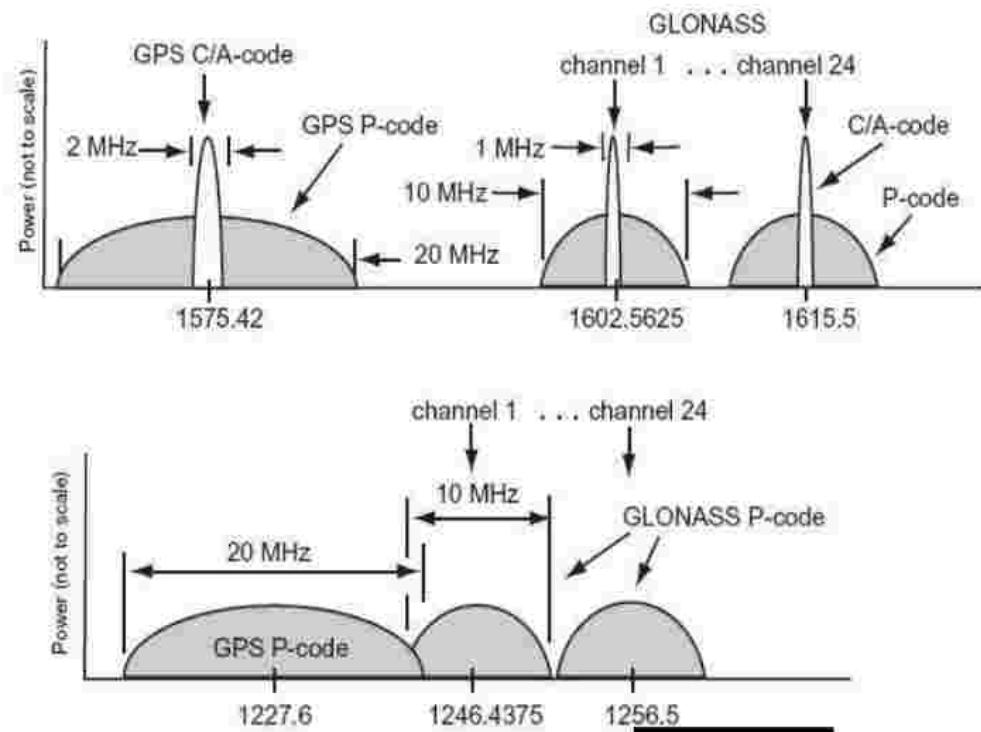
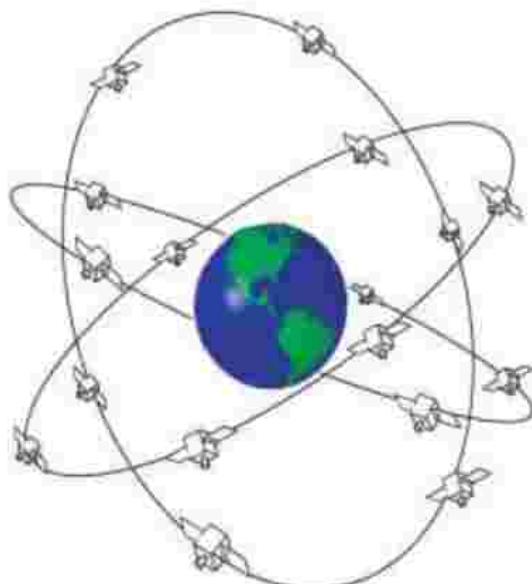
Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de [REDACTED]

■■■ Le futur de la Radio-Navigation: GPS

- ▶ La définition des signaux GPS n'a pas évolué pendant 30 ans
- ▶ Pour contrer GALILEO, le DoD a décidé de
 - De supprimer la SA (depuis le 1er Mai 2000)
 - De moderniser le signal GPS avec
 - Le code L2C : nouveau code civil sur la voie L2
 - Le code M : nouveau code militaire disponible sur L1 et L2
 - La fréquence L5 : pour l'aviation civile

■■■ Le futur de la Radio-Navigation: GLONASS

- Le système GLONASS (GLObal NAVigation Satellite System) est le système de positionnement par satellite développé par l'URSS dans les années 80
- C'est une constellation composée de 24 satellites



= Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de [REDACTED]

Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de [REDACTED]

■■■ Le futur de la Radio-Navigation: GALILEO

► Le nouveau système de positionnement par satellites développé par l'Europe

- Concurrent direct du GPS (mais interopérabilité)
- Couverture mondiale
- Différents services
 - Open Service (OS) : accès gratuit
 - Commercial Service (CS) : accès payant
 - Safety Of Life (SOL) : accès payant crypté (ex: aviation civile)
 - Public Regulated Service (PRS) : accès protégé par cryptage (pour les services gouvernementaux)

► En cours de développement

- Le premier satellite GIOVE-A a été lancé le 28 décembre 2005
- Mise en service en 2010-2012

= Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de [REDACTED]

Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de [REDACTED]

Le Futur de la Radionavigation: GNSS

Spectre des signaux GNSS avant modernisation :

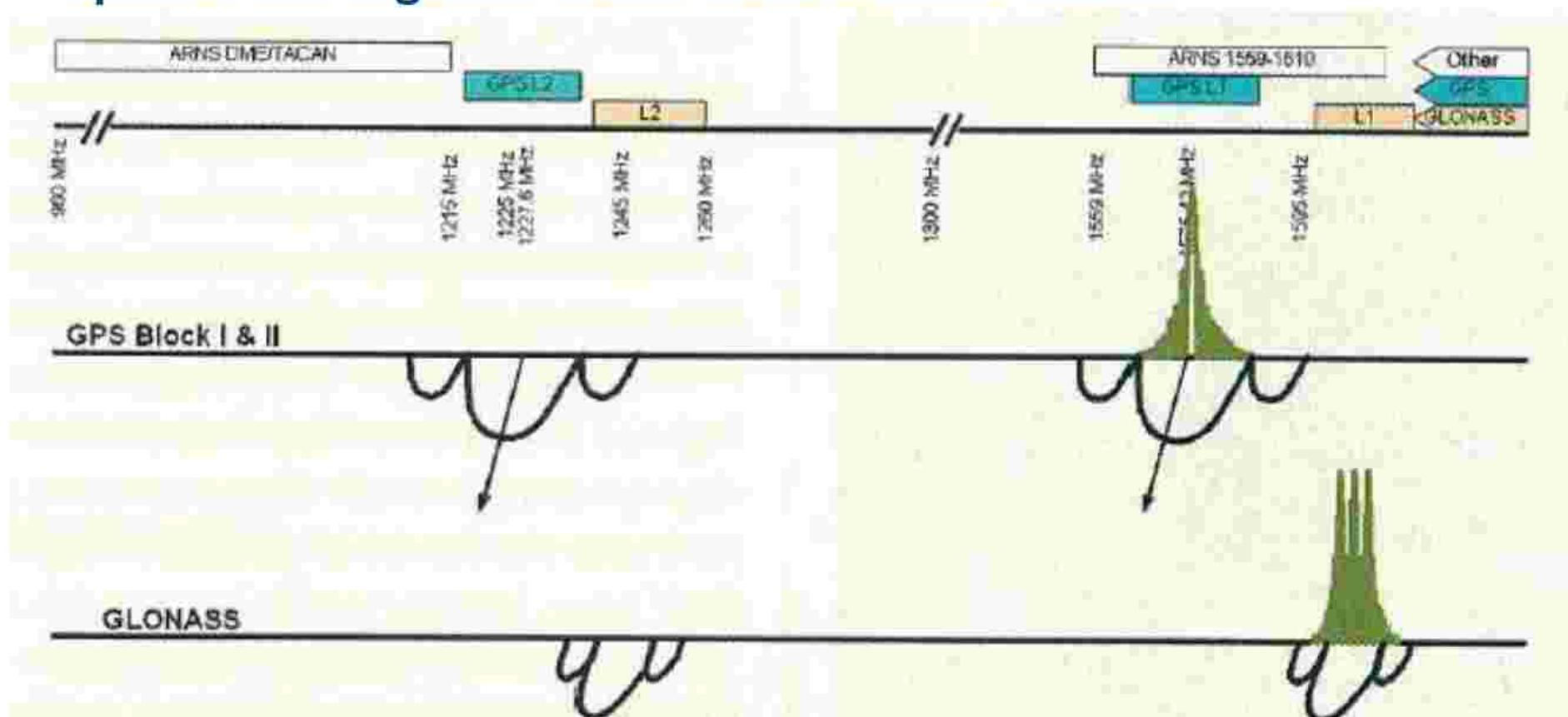


FIGURE 1 GNSS Signals, 1978-2003

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de

Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de

Le Futur de la Radionavigation: GNSS

- Le Futur proche :

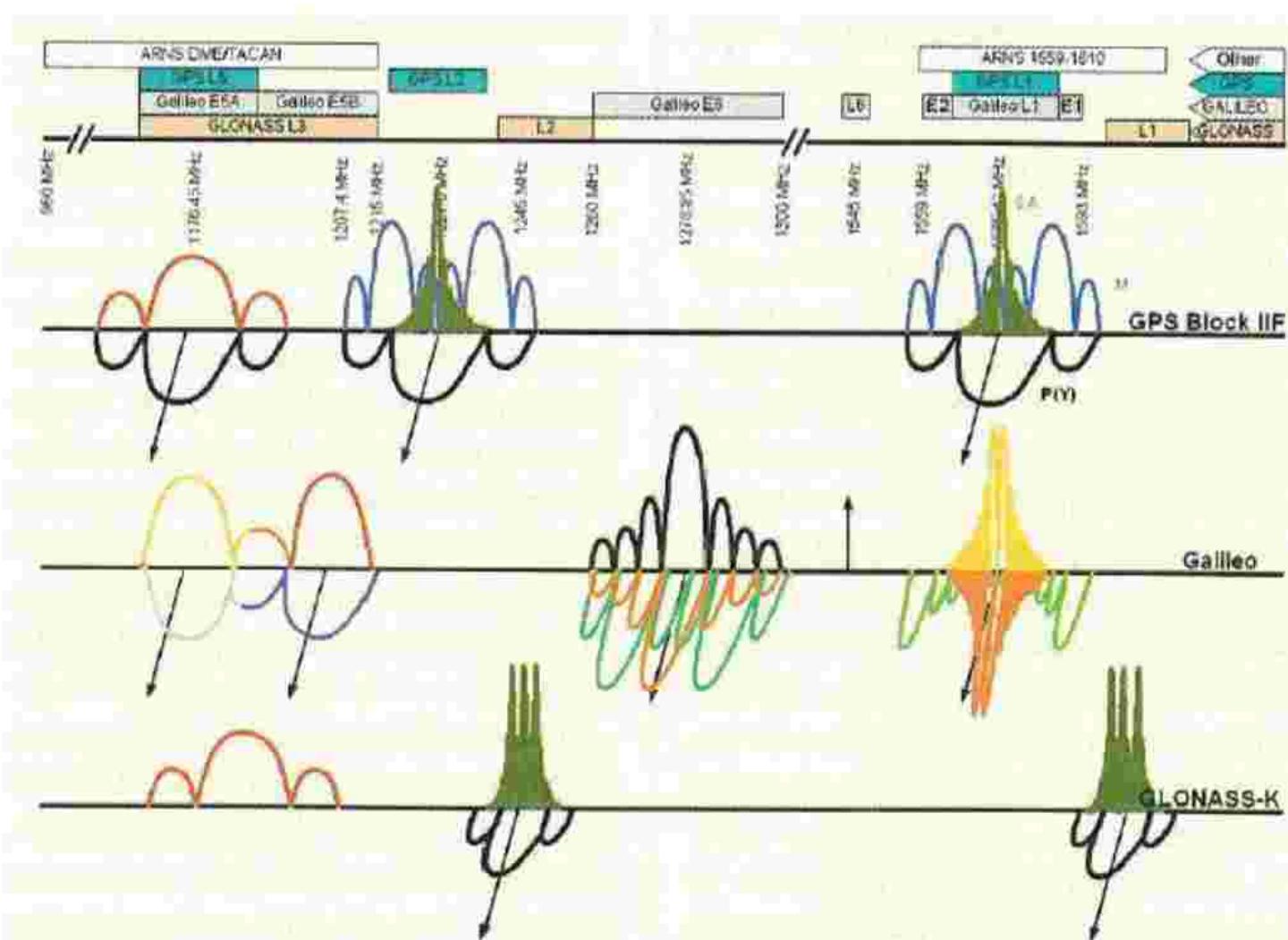


FIGURE 2 Current and Planned GNSS Signals

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de

Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de

■■■ Plan de la Présentation

► Le GPS

- L'historique et la théorie du GPS
- Les produits *****
- Présentation du message de Navigation
- L'architecture d'un récepteur GPS
- Fonctionnement d'un récepteur GPS
- Présentation du logiciel MAYA
- Les aspects sécurité et chiffre
- La documentation

= Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de [REDACTED]

Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de [REDACTED]

■■■ Les produits CoeurA (1/3)

- ▶ A la fin des années 80, ***** décide d'intégrer des récepteurs GPS dans les centrales inertielles
 - La présence d'un récepteur GPS en interne permet d'améliorer l'ensemble des performances du système de navigation
- ▶ La réalisation d'un récepteur GPS ne pouvait s'effectuer que par l'intermédiaire d'un coopérant américain
 - Le choix de ***** s'est porté sur la société ASHTECH qui développait à cette époque des récepteurs C/A (GPS civil)
- ▶ Cette coopération a permis à ***** de développer des nouveaux produits à base de récepteurs GPS civil développés par ASHTECH:
 - Le premier récepteur GPS pour la RATP
 - Les récepteurs GPS SENSOR 2

■■■■ Les produits CoeurA (2/3)

- Vers le début des années 90, à la demande de l'état français, ***** a développé son propre récepteur GPS C/A (civil) pour préparer le CoeurA utilisé actuellement. Ce développement a ensuite abouti aux premiers récepteurs GPS P(Y) (militaire):
 - Le récepteur GPS P(Y) pour la Marine Danoise
 - Le récepteur GPS P(Y) intégré dans la centrale inertIELLE du Mirage F1
- A ce jour, l'architecture CoeurA est encore utilisée dans plusieurs systèmes *****:
 - SIGMA 30 (terrestre)
 - SIGMA 40 (marine)
 - SIGMA 92P (avionique).

Les produits CoeurA (3/3)



Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de [REDACTED]

Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation

■■■ Les produits CoeurB (1/2)

- ▶ Dans les années 90, plusieurs besoins apparaissent:
 - Modification du cœur cryptographique (nouveaux composants)
 - Besoin d'une architecture NAV/GPS intégré
 - Création du CoeurB
- ▶ 1998, les premiers systèmes à GPS CoeurB :
 - Le système de navigation inertie de l'hélicoptère NH90
 - Le récepteur GPS Stand Alone pour la Marine Française
- ▶ Depuis, plusieurs systèmes se sont équipés du GPS CoeurB:
 - La centrale inertie du RAFALE
 - Le récepteur GPS PCN90 du Super Étandard
 - La munition AASM
 - Les systèmes génériques SIGMA95, SIGMA50 et Saphir 60-I
 - ...
- ▶ La dernière évolution du CoeurB correspond à une migration vers une architecture 3,3V

= Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de [REDACTED]

Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de [REDACTED]

■■■ Les produits CoeurB (2/2)



Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de [REDACTED]

Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de [REDACTED]

■■■ Plan de la Présentation

► Le GPS

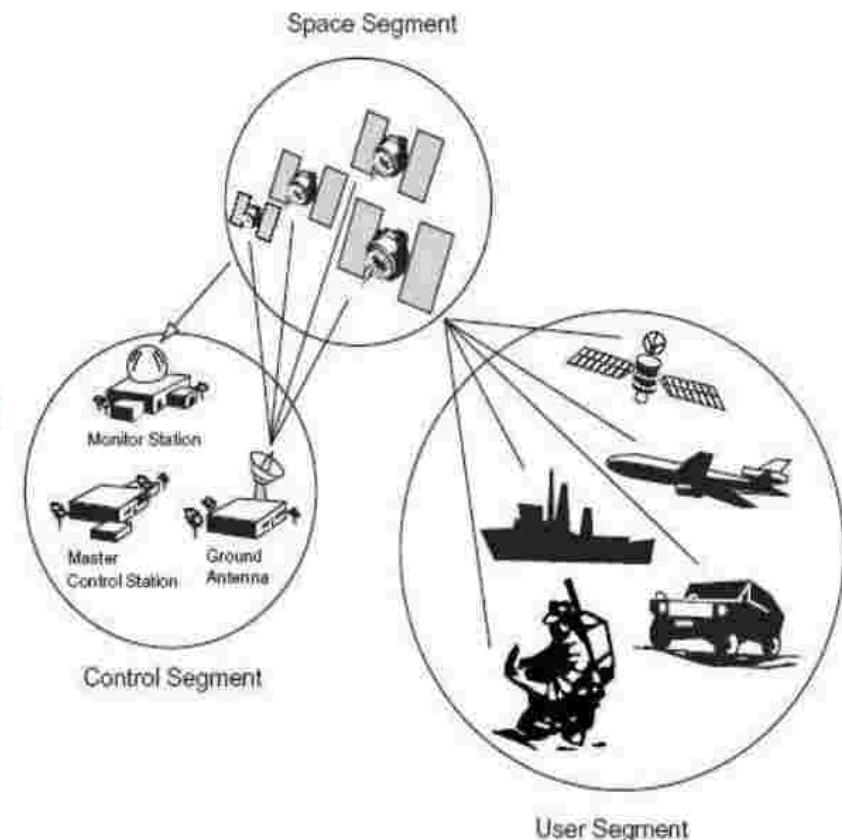
- L'historique et la théorie du GPS
- Les produits *****
- **Présentation du message de Navigation**
- L'architecture d'un récepteur GPS
- Fonctionnement d'un récepteur GPS
- Présentation du logiciel MAYA
- Les aspects sécurité et chiffre
- La documentation

= Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de [REDACTED]

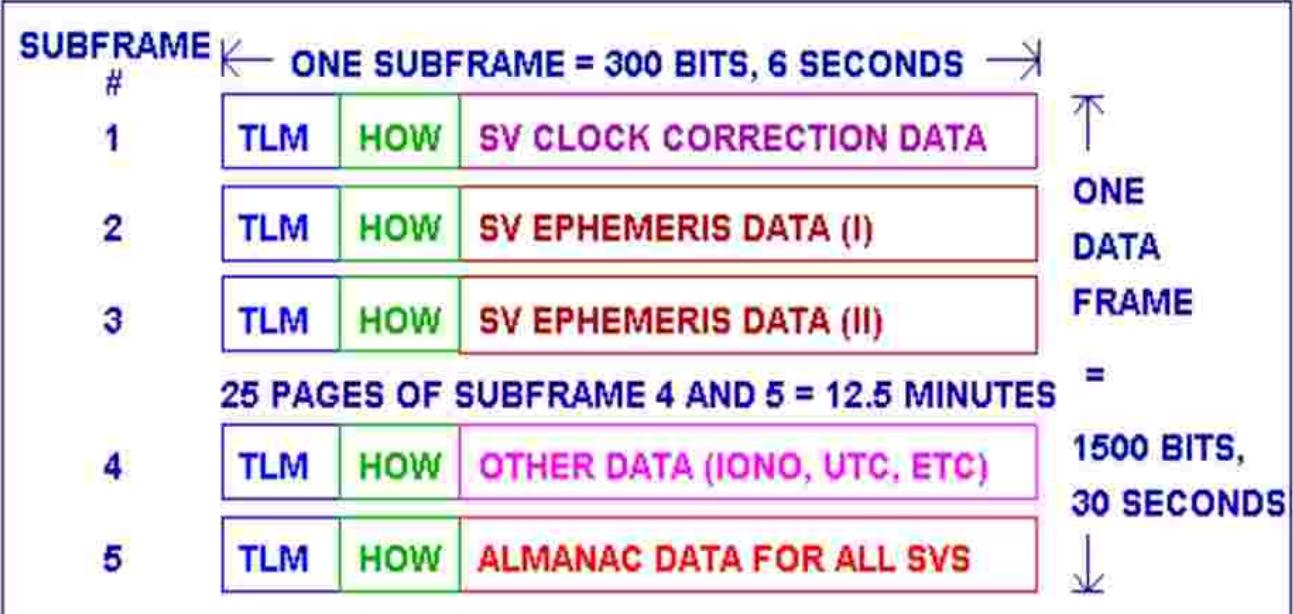
Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de [REDACTED]

■■■ Le message de Navigation

- ▶ Calculer une position GPS, c'est utiliser le segment utilisateur
- ▶ Chaque satellite émet son propre message de navigation
- ▶ Ce message contient les différentes informations nécessaires à l'élaboration d'une position et à la recherche des satellites
- ▶ Le message de navigation est constitué de 5 sous-trames constituées elles-même de 25 pages de données
- ▶ Sa période est 12 minutes 30s



Le message de Navigation

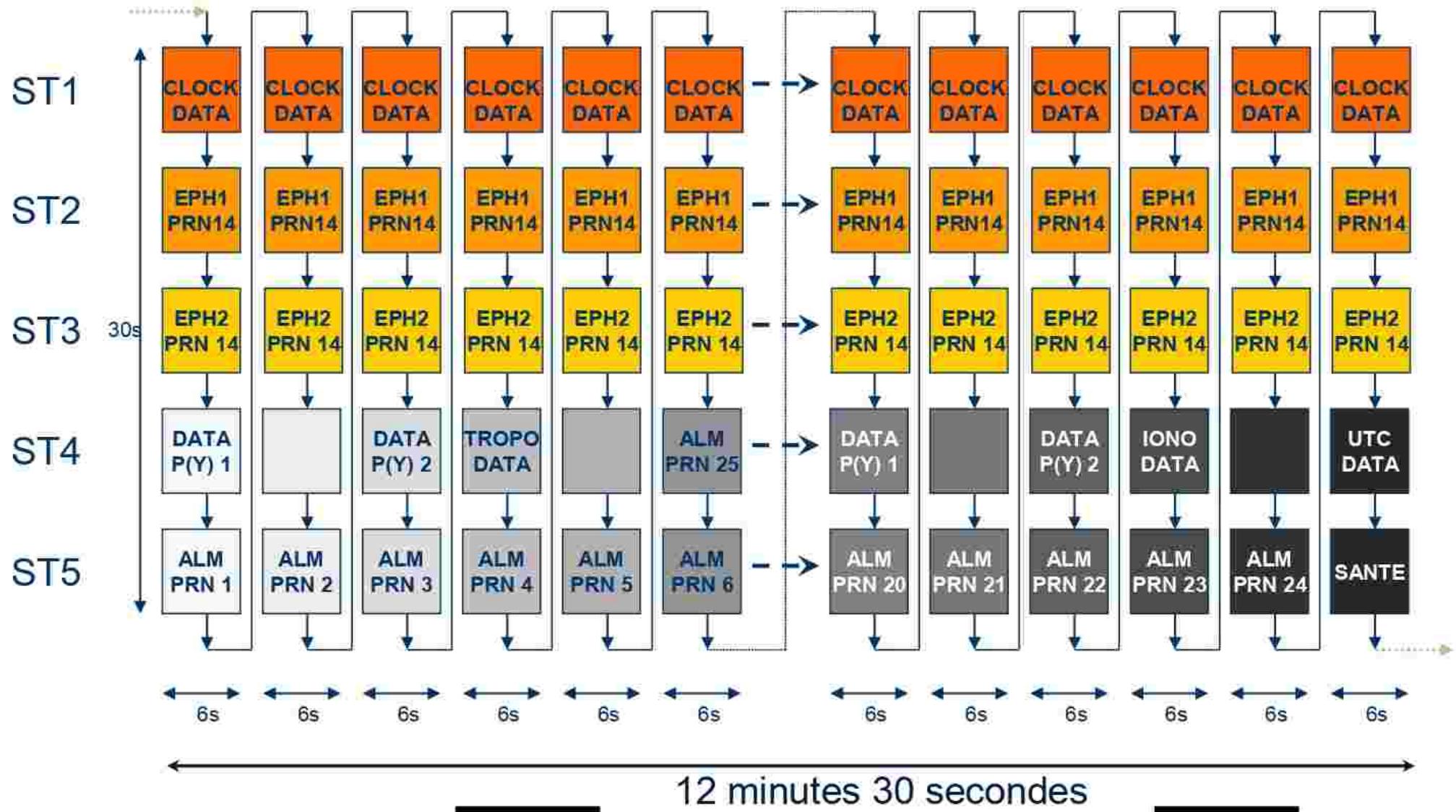


GPS NAVIGATION DATA FORMAT

PHDAI

= Ce docu

Le message de Navigation



Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de [REDACTED]

Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de [REDACTED]

■■■ La sous trame 1

- ▶ **La sous trame 1 est constituée de 1 page**
- ▶ **La sous trame 1 contient**
 - les informations de temps et de numéro de semaine GPS
 - La santé des satellites
 - Les paramètres de corrections d'horloge
 - Les données pour le passage en PPS
- ▶ **Chaque satellite émet sur son message de NAV ses propres informations de temps**

■■■ Les sous trames 2 & 3

- ▶ **Les sous trames 2 & 3 sont constituées chacune d'une page**
- ▶ **L'ensemble de ces 2 sous trames (ST2 & ST3) contient l'éphéméride du satellite émettant le message de navigation**

- ▶ **Chaque satellite émet sur son message de NAV son propre éphéméride (sa position).**

■■■■ La sous trame 4

- **La sous trame 4 est constituée de 25 pages**
- **La sous trame 4 contient**
 - L'almanach des satellites 25 à 32
 - Les paramètres de corrections d'erreurs ionosphériques et de temps UTC
 - Les différents indicateurs de configuration des satellites (FLAG)
 - Les données pour le passage en P(Y)
- **La sous trame 4 est commune à tous les messages de NAV émis par tous les satellites**

= Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de [REDACTED]

Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de [REDACTED]

■■■ La sous trame 5

- ▶ **La sous trame 5 est constituée de 25 pages**
- ▶ **La sous trame 5 contient**
 - L'almanach des satellites 1 à 24
 - Des informations de temps et de numéro de semaine
- ▶ **La sous trame 5 est commune à tous les messages de NAV émis par tous les satellites**

PAUSE



■■■ Plan de la Présentation

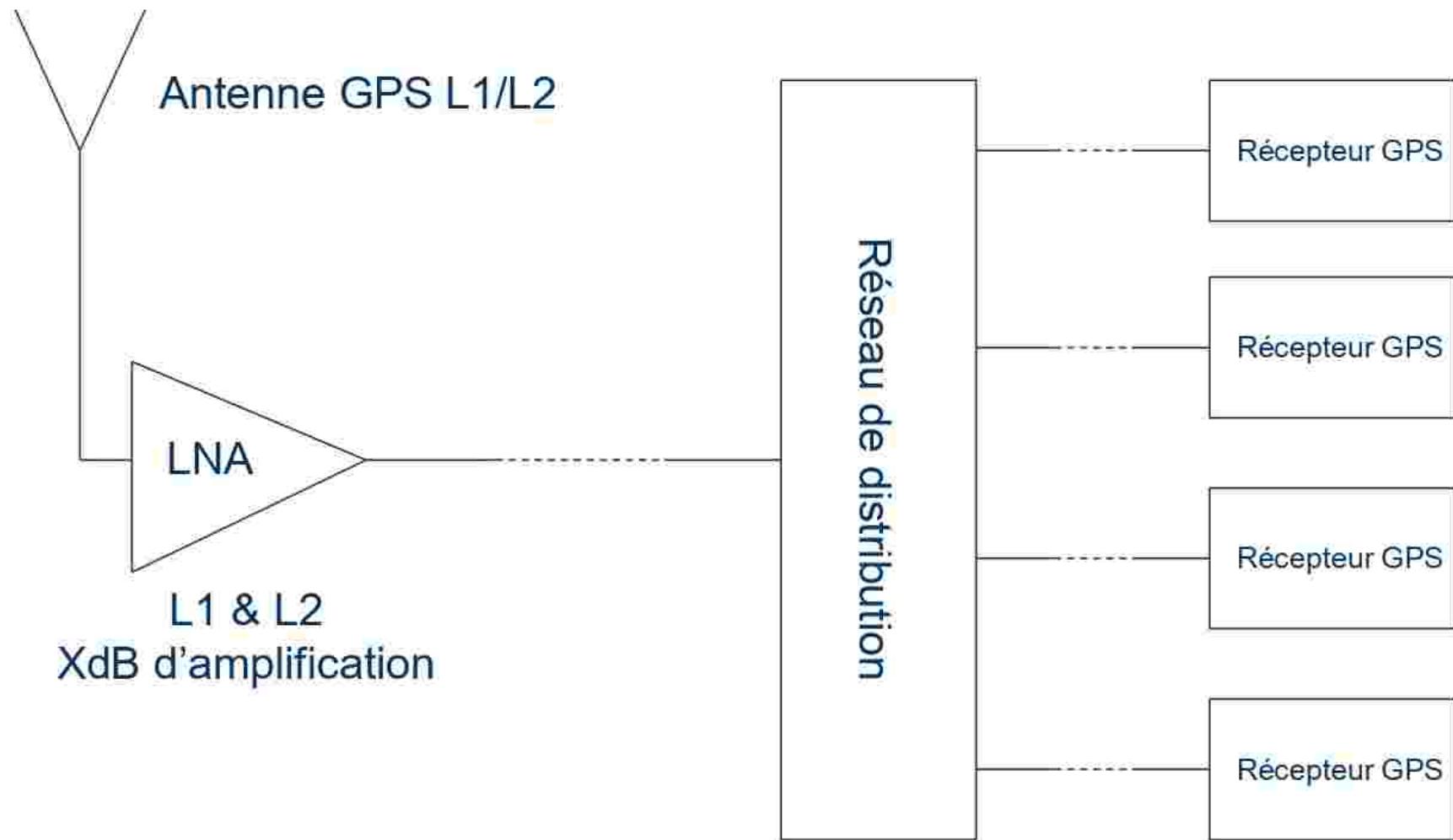
► Le GPS

- L'historique et la théorie du GPS
- Les produits *****
- Présentation du message de Navigation
- **L'architecture d'un récepteur GPS**
- Fonctionnement d'un récepteur GPS
- Présentation du logiciel MAYA
- Les aspects sécurité et chiffre
- La documentation

= Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de [REDACTED]

Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de [REDACTED]

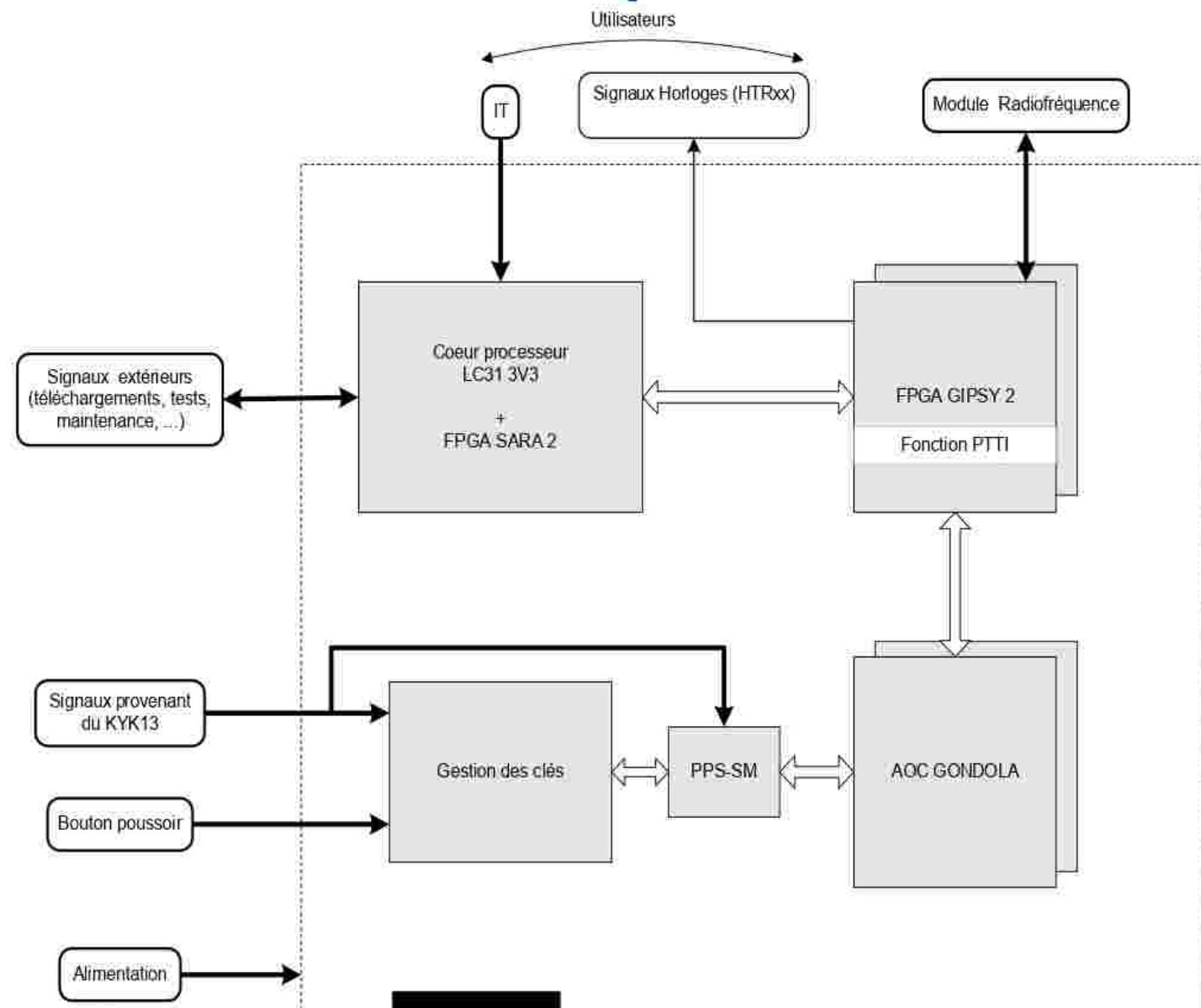
■■■ Chaîne de réception GPS



= Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de [REDACTED]

Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de [REDACTED]

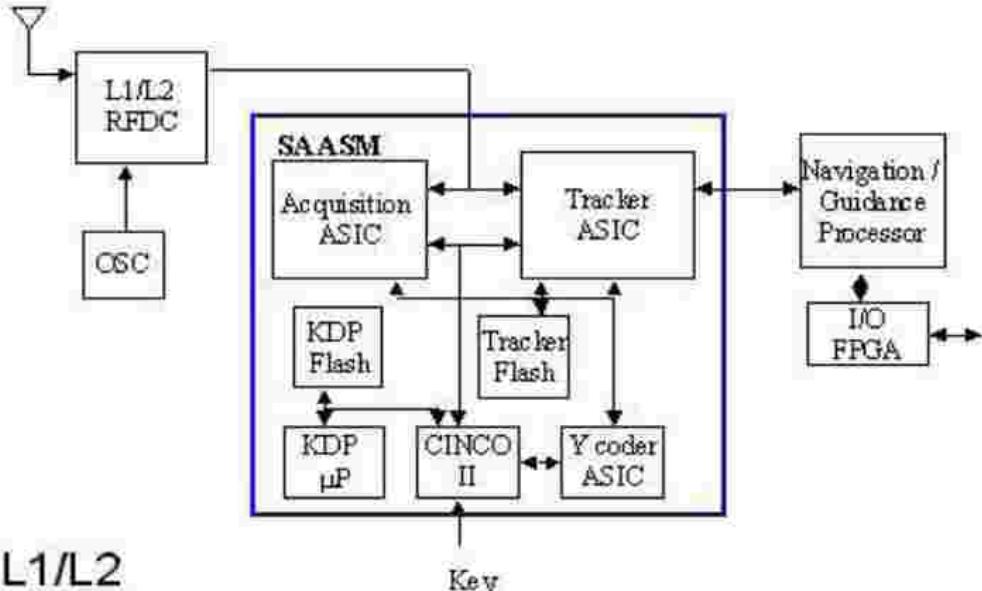
Architecture d'un récepteur GPS PPS-SM/AOC



Architecture d'un récepteur GPS SAASM

WHAT CAN SAASM DO ?

SAASM PHYSICAL ALLOCATION



L1/L2
12 Channel
Fast Direct Y
Gun Hardened
1.575" square x .125" BGA



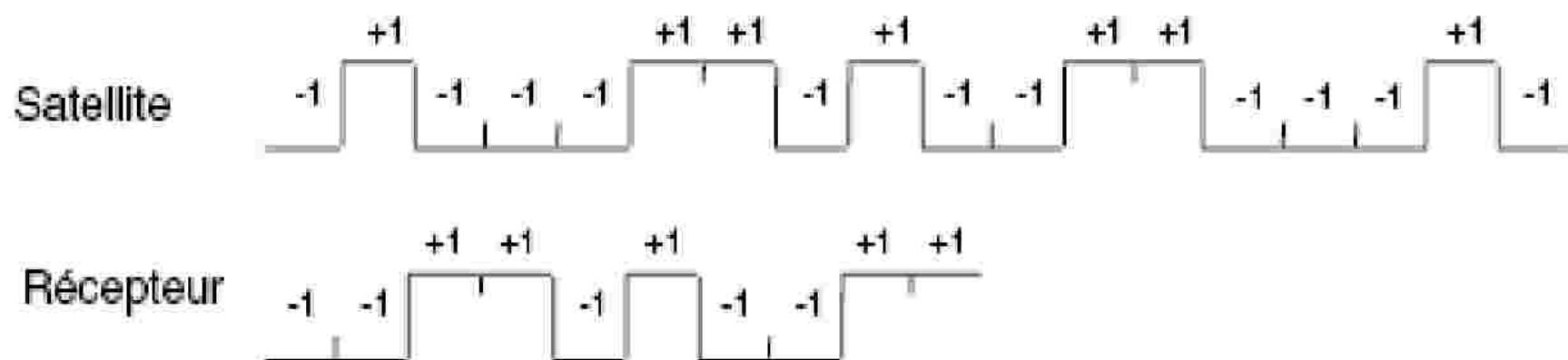
12 CHANNEL SAASM MCM

■■■■■ Principe général de fonctionnement (1)

- ▶ L'accès au satellite se fait par la sélection de son code (technique CDMA)
 - Les codes C/A et P ont été choisis en fonction de leur propriété d'inter corrélation
- ▶ Cela permet à un récepteur GPS d'effectuer des mesures sur les signaux reçus d'un satellite sans être perturbé par la réception simultanée sur les fréquences L1 et L2 des autres satellites visibles
- ▶ Un récepteur souhaitant s'accrocher sur un satellite doit générer un code identique au code reçu dans un canal de traitement. Puis le récepteur doit effectuer le produit des deux codes et intégrer le résultat sur un certain temps pour extraire le signal du bruit et pour éliminer les signaux des autres satellites GPS

■■■■■ Principe général de fonctionnement (2)

- Par décalage successif de sa réplique, le récepteur cherche un maximum obtenu lorsque les deux codes sont en phase
- Le maximum trouvé, un verrouillage sur le signal est réalisé par des boucles de poursuite du code et de la porteuse
- Celles-ci effectueront les mesures nécessaires pour élaborer les pseudo-distances et les fréquences Doppler des satellites



■■■ Plan de la Présentation

► Le GPS

- L'historique et la théorie du GPS
- Les produits *****
- Présentation du message de Navigation
- L'architecture d'un récepteur GPS
- **Fonctionnement d'un récepteur GPS**
- Présentation du logiciel MAYA
- Les aspects sécurité et chiffre
- La documentation

= Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de [REDACTED]

Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de [REDACTED]

■■■■■ présentation

- ▶ Les différents états du GPS
- ▶ Les différentes étapes
 - L'initialisation
 - L'accrochage du 1er satellite
 - L'accrochage des 4 premiers satellites
 - La poursuite des satellites
- ▶ Le couplage, l'aide et l'hybridation GPS
- ▶ Le DOP

= Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de [REDACTED]

Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de [REDACTED]

■■■ Les différents états du GPS

► Par conception, les états du GPS sont définis comme suit

- L'état 1 qui représente l'état d'acquisition C/A
- L'état 2 qui représente l'état d'acquisition Y direct
- L'état 3 qui représente l'état de poursuite en code
- L'état 4 qui représente l'état de poursuite en fréquence
- L'état 5 qui représente l'état de poursuite en phase
- L'état 6 est non utilisé
- L'état 7 qui représente l'état de réacquisition

■■■ Les différentes étapes du GPS: l'initialisation

- ▶ L'initialisation du récepteur s'effectue à la fin des autotests
- ▶ En fonction des conditions de démarrage mémorisé, le récepteur élabore sa stratégie d'acquisition
 - Démarrage à froid (**Temps invalide => toutes les informations mémorisées sont invalidées**)
 - Le récepteur recherche tous les satellites selon une liste préétablie
 - Démarrage normal (**Temps et position valide, utilisation de l'almanach mémorisé**)
 - Le récepteur calcule la prédiction de visibilité des satellites en fonction de l'almanach et recherche les satellites les plus visibles
 - Démarrage à chaud (**Temps et position valide, utilisation des éphémérides mémorisés**)
 - Le récepteur calcule la prédiction de visibilité des satellites en fonction des éphémérides et recherche les satellites les plus visibles

■■■ Les différentes étapes du GPS : l'accrochage du premier satellite

- ▶ A la suite de l'accrochage du premier satellite, le récepteur va décoder l'éphéméride de ce satellite
 - ▶ Ensuite, il décode (ou il recalcule) le temps GPS
 - ▶ Puis, il continue à décoder les autres informations du message de navigation
-
- ▶ Pendant ce temps, les autres canaux du récepteur cherchent à accrocher un autre satellite

■■■ Les différentes étapes du GPS : l'accrochage du 4ième satellite

- ▶ A la suite de l'accrochage du 4ième satellite, le récepteur dispose des informations pour effectuer son premier calcul de position
- ▶ Il élabore donc
 - ▶ La position du récepteur
 - ▶ La vitesse du récepteur
 - ▶ Les indicateurs associés
 - ▶ Les positions des différents satellites accrochés
- ▶ Pendant ce temps, les autres canaux du récepteur cherchent à accrocher un autre satellite

■■■ Les différentes étapes du GPS : la poursuite des satellites

- Lorsque le récepteur a calculé sa première position, il continue
 - De décoder les données contenues dans le message de navigation
 - L'almanach permet de rafraîchir la liste de visibilité des satellites
 - Les modèles de corrections d'erreur permettent d'améliorer la position et le temps
 - Les données des ST1 et ST4 permettent la passage en P(Y) PPS
 - De rechercher les satellites visibles sur les autres canaux

■■■ Les corrections d'erreur

► Pour améliorer le calcul de position, le récepteur doit s'affranchir de certaines erreurs

- L'erreur d'éphémérides (peu modélisée)
- L'erreur d'horloge (peu modélisée)
- L'erreur troposphérique (modélisée)
- L'erreur ionosphérique (modélisée)

► Pour corriger l'erreur ionosphérique:

- Le récepteur peut utiliser un modèle de correction d'erreur interne
- Le récepteur peut utiliser le modèle de correction d'erreur transmis par les satellites sur le message de navigation
- En code P(Y), le récepteur peut utiliser les corrections bifréquences
 - Un canal du récepteur est dédié à l'accrochage sur L2 des satellites utilisés dans le calcul de position

■■■ Le couplage Inertie/GPS

- **Le couplage Inertie/GPS, c'est l'utilisation croisée des mesures des capteurs pour améliorer la performance de la Navigation**
- **Les mesures GPS (pseudo-distances) sont utilisées dans le filtre de Kalman pour améliorer la position du système de Navigation:**
 - on parle alors d'**hybridation GPS**
- **Les informations de vitesse mesurées par l'inertie sont utilisées par le GPS pour améliorer la poursuite des satellites (spécialement en environnement brouillé):**
 - on parle alors d'**aide inertie**

||||| DOP (1/3)

► Modèle d'erreur linéaire

$$\Delta PD_i = A_i \Delta P$$

$$A_i = [\alpha_i \quad \beta_i \quad \gamma_i \quad 1]$$

$$\Delta P = [\Delta X \quad \Delta Y \quad \Delta Z \quad \Delta T]$$

► Dilution Of Precision (DOP)

- Impact d'une erreur de pseudo-distance sur la performance de positionnement

$$\left. \begin{array}{l} \Delta PD_i = b_i \\ E(b_i b_i^T) = uere \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \Delta P_{opt} = (A^T A)^{-1} A^T \Delta PD \\ E(\Delta P \Delta P^T) = (A^T A)^{-1} * uere \end{array} \right.$$

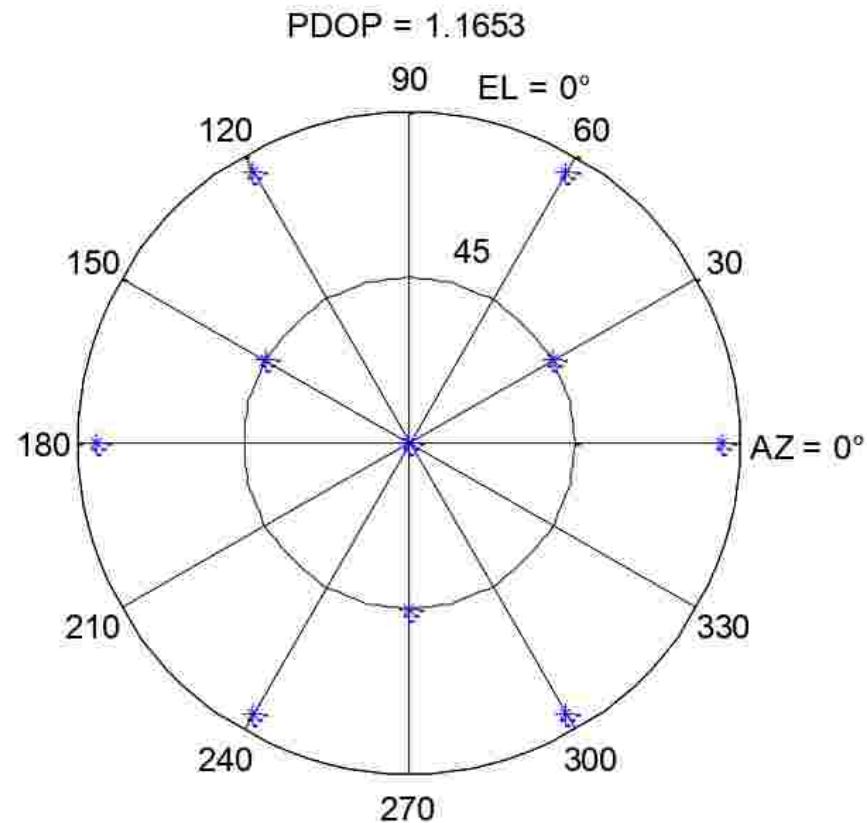
$$diag(E(\Delta P \Delta P^T)) \stackrel{\Delta}{=} (XDOP^2 \quad YDOP^2 \quad VDOP^2 \quad TDOP^2) * uere$$

||||| DOP (2/3)

- ▶ **PDOP :**
$$PDOP \stackrel{\Delta}{=} \sqrt{XDOP^2 + YDOP^2 + VDOP^2}$$
 - **Indicateur géométrique de précision du positionnement GPS**
 - Caractérise la qualité de la constellation visible
 - Une bonne constellation est constituée de satellites répartis dans tout le ciel visible
 - PDOP
 - ▼ Typique ~1.5
 - ▼ Bon : < 2
 - ▼ Moyen : entre 2 et 6
 - ▼ Mauvais : > 6

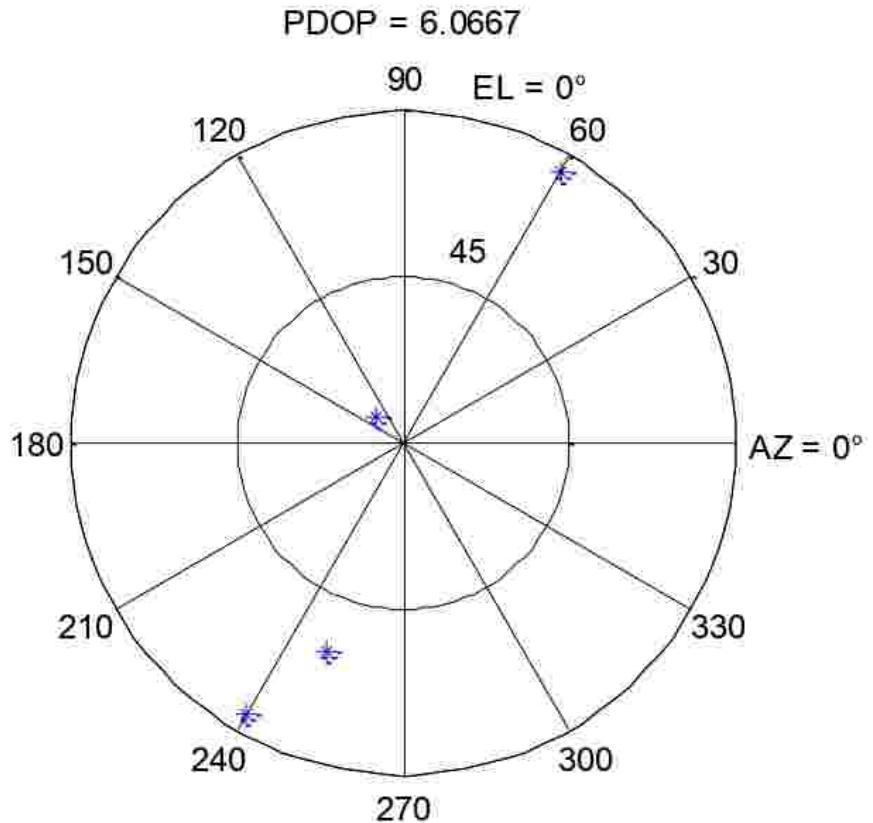
DOP (3/3)

Exemples :



nombreux satellites bien répartis

=> BON



satellites peu nombreux et alignés

=> MAUVAIS

■■■ Plan de la Présentation

► Le GPS

- L'historique et la théorie du GPS
- Les produits *****
- Présentation du message de Navigation
- L'architecture d'un récepteur GPS
- Fonctionnement d'un récepteur GPS
- **Présentation du logiciel MAYA**
- Les aspects sécurité et chiffre
- La documentation

= Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de [REDACTED]

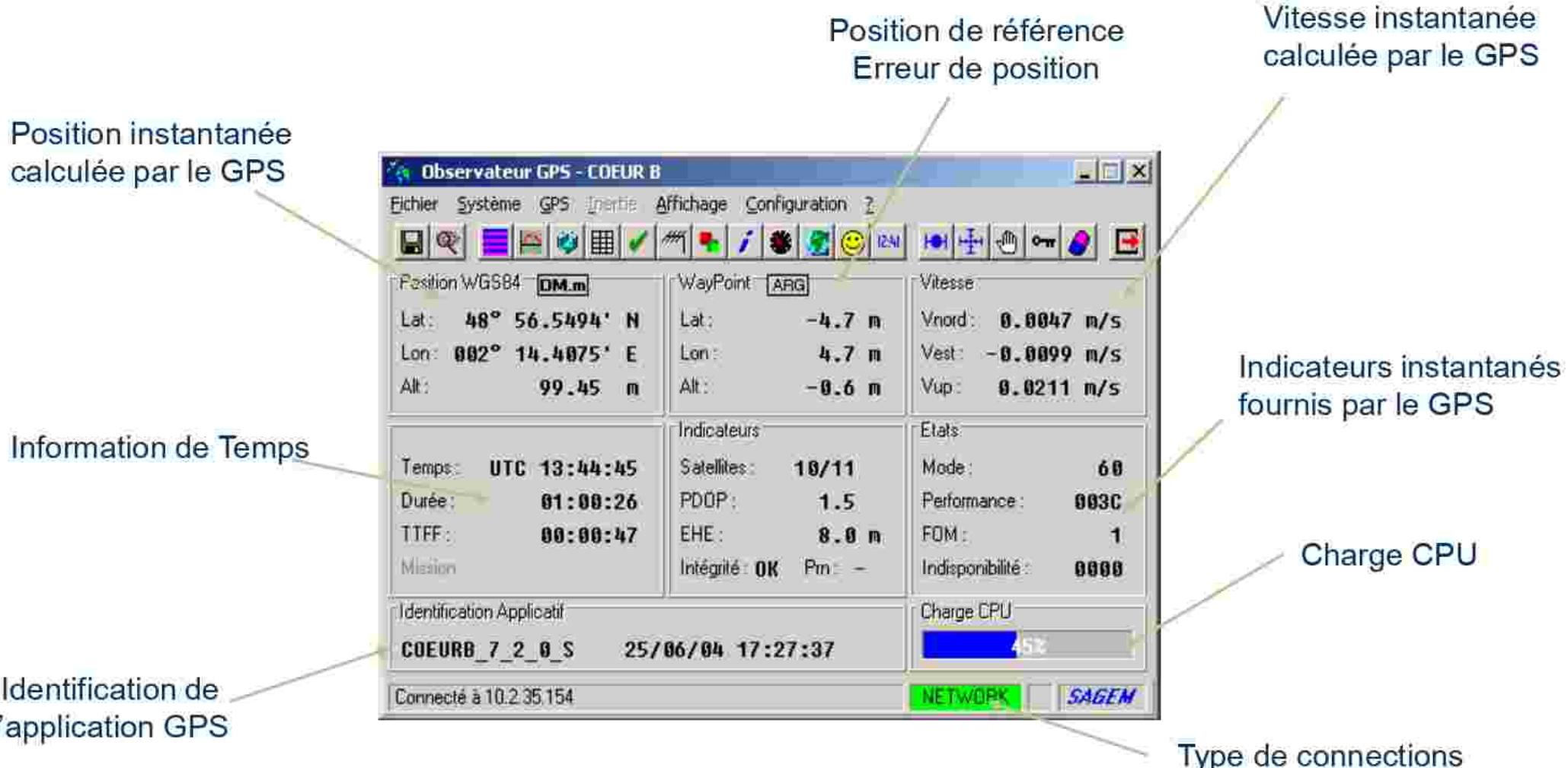
Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de [REDACTED]

MAYA_2 : Présentation

- ▶ MAYA_2 est un observateur de données GPS
- ▶ Il se base sur la norme de messages NMEA
- ▶ Il est capable de lire les informations émises par un récepteur sur une liaison RS (232/422) jusqu'à 38400bds
- ▶ Il est utilisé pour la visualisation des données GPS en temps réel ainsi qu'en rejet (dans le cas d'un enregistrement)

MAYA_2 : La fenêtre principale

► Utilisation du message NAV



= Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de [REDACTED]

Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de [REDACTED]

MAYA_2 : La fenêtre Informations Canaux GPS

Utilisation du message CAN

Informations canaux GPS										
Canal	Code	Porteuse	Service	Mesure	PRN	C/I No [dB/Hz]	Etat	Doppler [Hz]	Elevation [°]	Azimut [°]
1	C/A	L1	SPS	DIF	6 *	41.6	55	-3681	18	199
2	C/A	L1	SPS	DIF	5 *	47.5	55	438	81	44
3	C/A	L1	SPS	ABS	18	0.0	1	2796		
4	C/A	L1	SPS	DIF	14 *	48.9	55	-1174	41	295
5	C/A	L1	SPS	DIF	9 *	47.6	55	2767	44	124
6	C/A	L1	SPS	ABS	7	34.9				
7	C/A	L1	SPS	DIF	4 *	41.3				
8										
9										
10	C/A	L1	SPS	DIF	23 *	40.2				
11	C/A	L1	SPS	DIF	30 *	50.2				
12	C/A	L1	SPS	DIF	22	39.1				
13										
14										
15										
16	C/A	L1	SPS	DIF	24 *	38.7				
17										
18										

Fenêtre "Informations canaux GPS" affichant deux listes de canaux GPS.

La fenêtre principale (en haut) affiche les canaux 1 à 9 :

Canal	Code	Porteuse	Service	Mesure	PRN	C/I No [dB/Hz]	Count	Doppler [Hz]	Elevation [°]	Azimut [°]	UERE [m]
1	C/A		SPS	ABS	9	42.0	48	-4081	10	248	3
2	C/A		SPS	ABS	28			-3307			
3	C/A		SPS	ABS	20			-1207			
4	C/A		SPS	ABS	26	50.0	59	-1907	62	308	2
5	C/A		SPS	ABS	8	46.0	48	2298	33	60	3
6	C/A		SPS	ABS	29	47.0	46	-1479	74	319	2
7	C/A		SPS	ABS	23	49.0	55	-998	59	271	2
8	C/A		SPS	ABS	10	48.0	120	2375	42	189	2
9	C/A		SPS	ABS	32			443			

La fenêtre secondaire (en bas) affiche les canaux 1 à 12 :

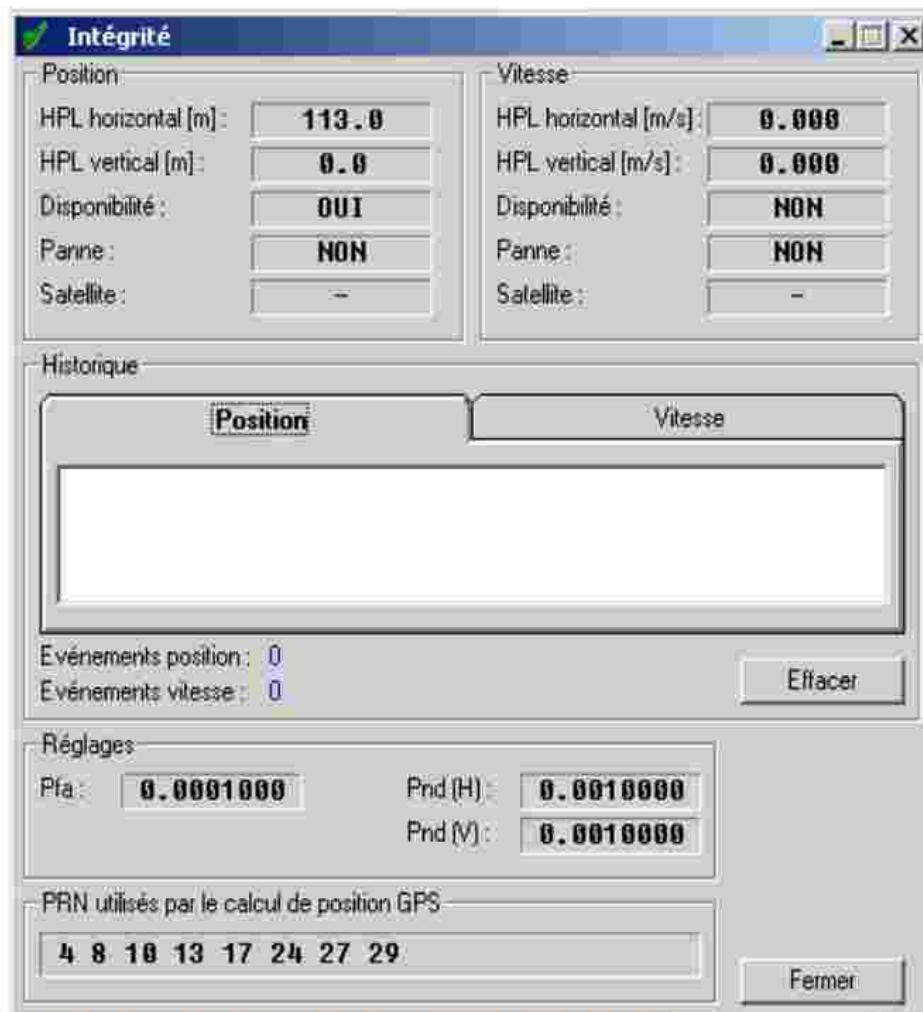
Canal	Code	Porteuse	Service	Mesure	PRN	C/I No [dB/Hz]	Etat	Doppler [Hz]	Elevation [°]	Azimut [°]	UERE [m]
1	C/A	L1	SPS	ABS	30	39.6	55	2214	-1	-1	0
2	YL2	L2	PPS	ABS	29	31.9	55	434	72	302	4
3	YL1	L1	PPS	ABS	29 *	34.5	55	-557	72	302	4
4	YL1	L1	PPS	ABS	3 *	34.7	55	501	39	78	12
5	YL1	L1	PPS	ABS	10 *	34.5	55	1222	25	286	4
6	YL1	L1	PPS	ABS	14 *	34.5	55	-3091	10	317	4
7	YL1	L1	PPS	ABS	24 *	34.3	55	-1960	50	225	4
8	YL1	L1	PPS	ABS	23 *	34.9	55	-3074	16	229	4
9	C/A	L1	SPS	ABS	25	0.0	1	3305			
10	C/A	L1	SPS	ABS	6	0.0	1	4422			
11	YL1	L1	SPS	ABS	30	34.4	55	2214	-1	-1	0
12	C/A	L1	SPS	ABS	27	0.0	1	-751			

Bouton "Fermer" est visible dans la fenêtre secondaire.

MAYA_2 : La fenêtre Intégrité

► Utilisation du message INT

La fenêtre Intégrité affiche les caractéristiques et les évènements RAIM observés par le logiciel GPS CoeurB



= Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de

Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de

MAYA_2 : Décodage satellites

► Utilisation du message INT

Le logiciel MAYA permet de visualiser les informations d'almanach, d'éphémérides, de ST1 et de ST4 ainsi que la disponibilité des modèles d'erreur utilisés par le logiciel GPS CoeurB



MAYA_2 : La fenêtre Crypto

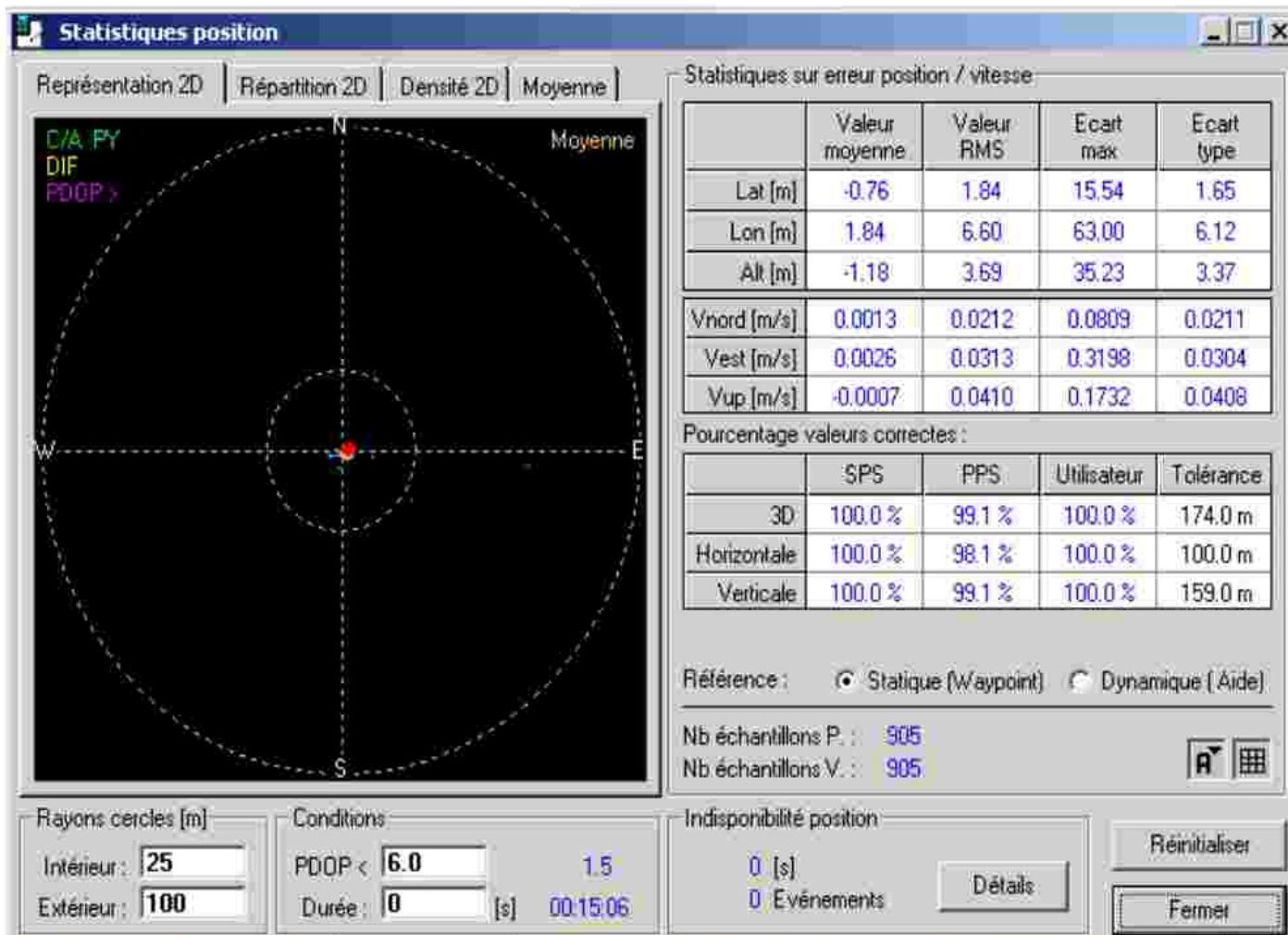
► Utilisation du message CRY

La fenêtre Crypto permet d'afficher les informations de statut du composant PPS-SM fournit par le logiciel CoeurB

Crypto GPS	
PPS-SM ok	PPS nominal
Dialogue PPS-SM	Code Y disponible
Durée mission	ss-trames PPS-SM ok.
Clés non effacées	Effacement clés correct
Clés chargées	Parité clé KYK13 ok.
Clés non expirées	X ss-frame 4 -> PPS-SM
Clés valides	Mot d'état PPS valide

MAYA_2 : La fenêtre Statistique

► Utilisation du message NAV

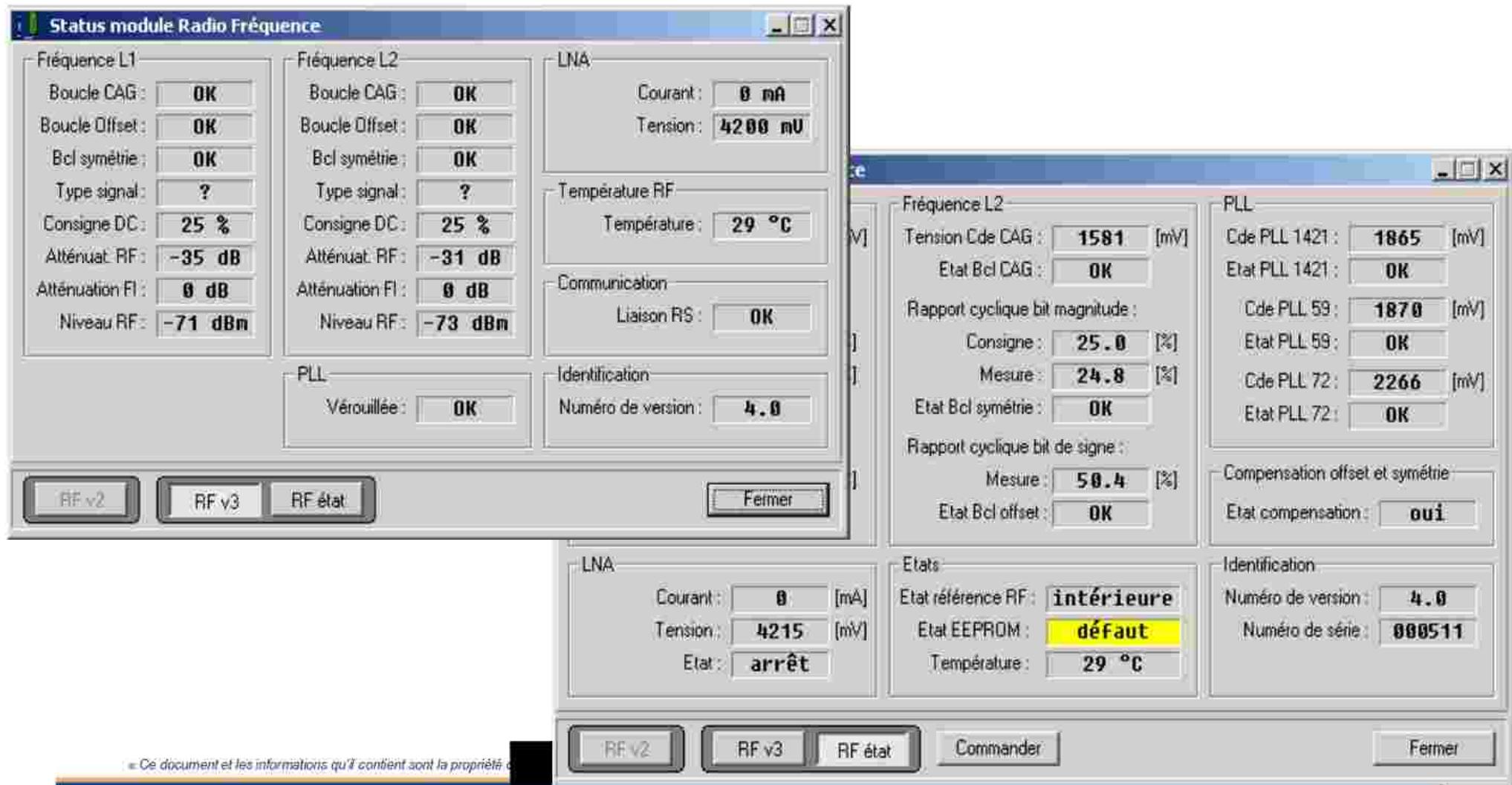


= Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de [REDACTED]

Il ne doivent pas être copiés ni communiqués à d'autres sans l'autorisation préalable et écrite de [REDACTED]

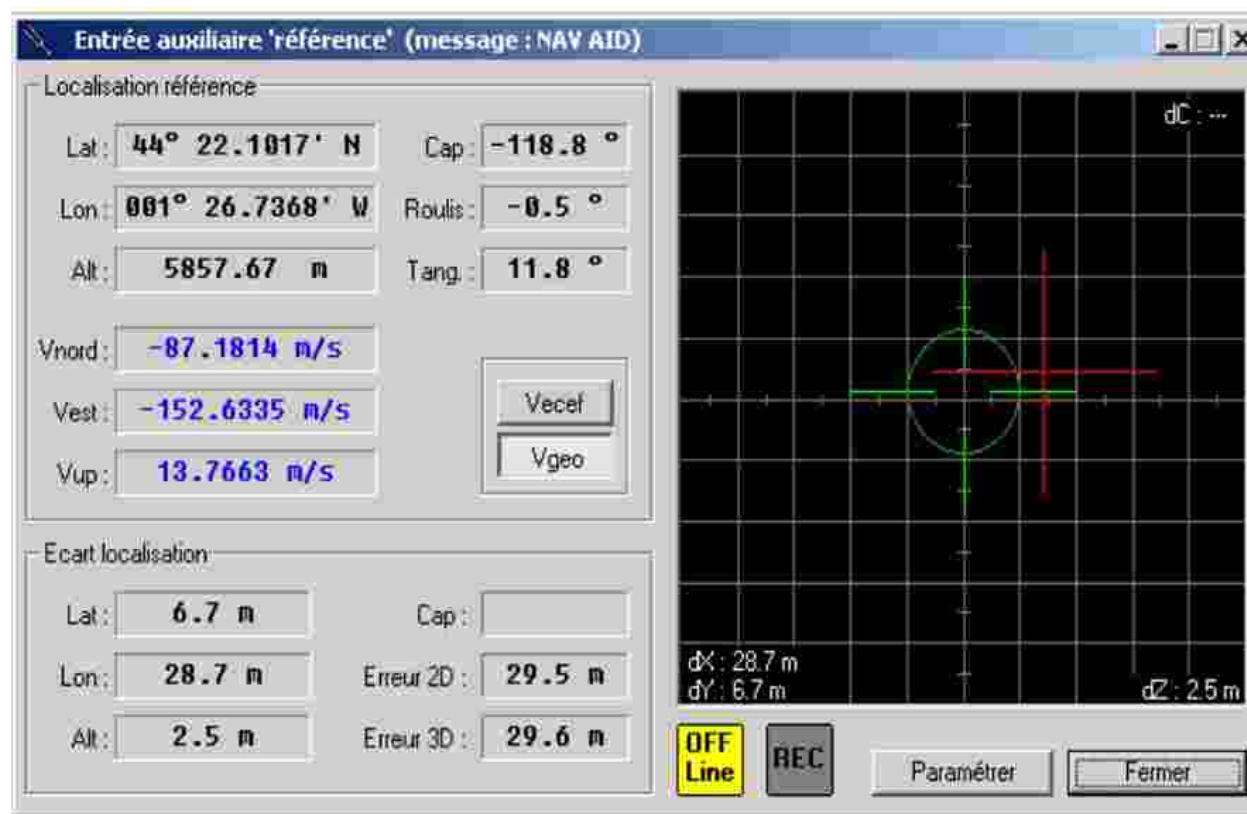
MAYA_2 : La fenêtre module RF

► Utilisation du message RFF (du module RF V3-3)



MAYA_2 : La fenêtre Entrée Auxiliaire

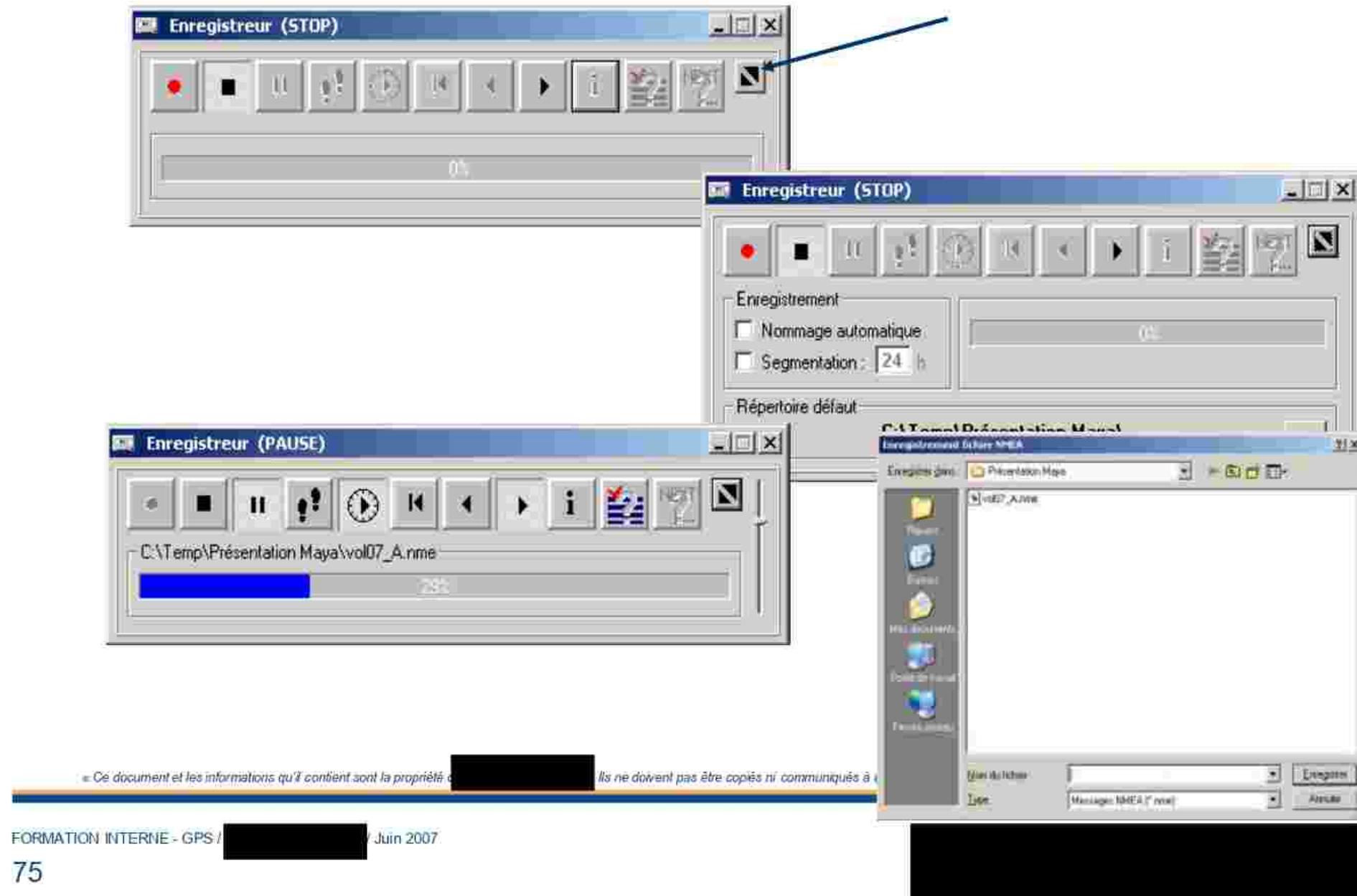
► Utilisation du message NAV



= Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de [REDACTED]

Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de [REDACTED]

MAYA_2 : La console d'enregistrement



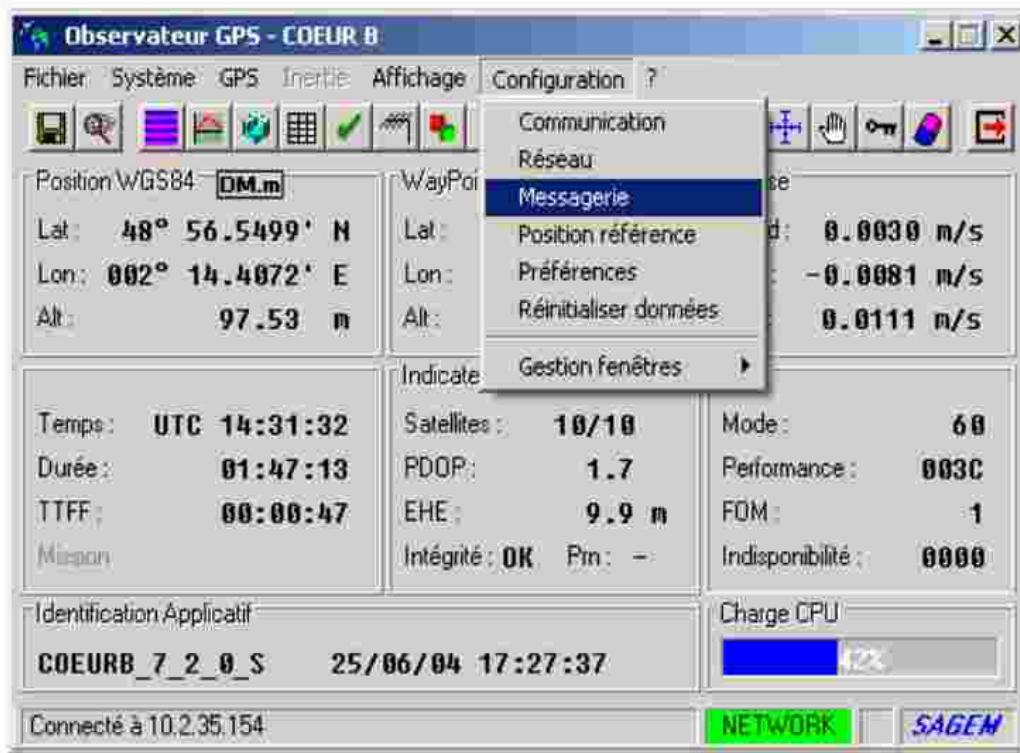
■■■■■ MAYA_2 : La console d'enregistrement

► Exemple: le vol N°7 du RAFALE

= Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de [REDACTED]

Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de [REDACTED]

MAYA_2 : Sélection des messages NMEA



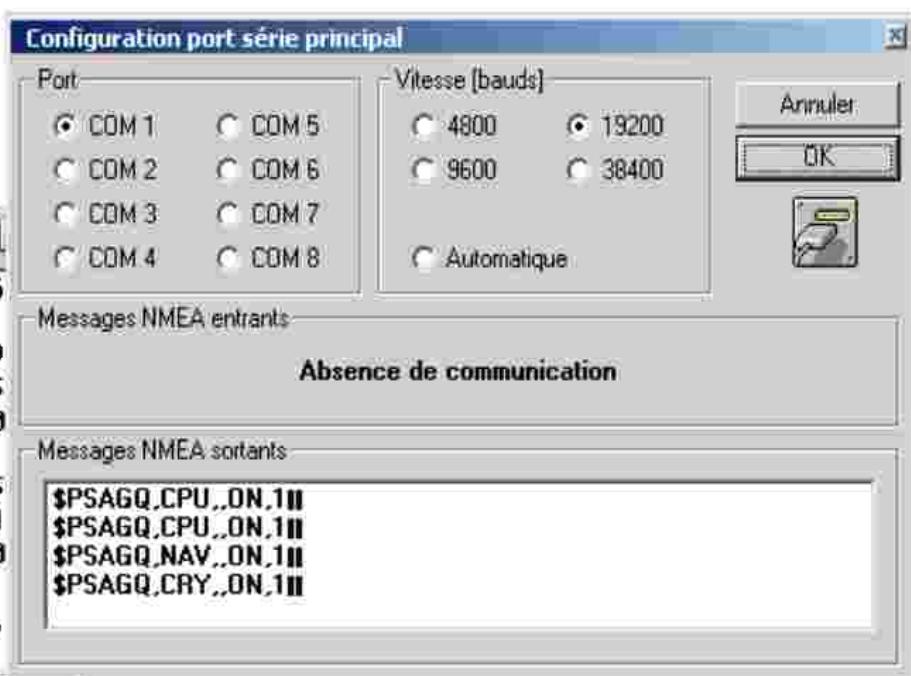
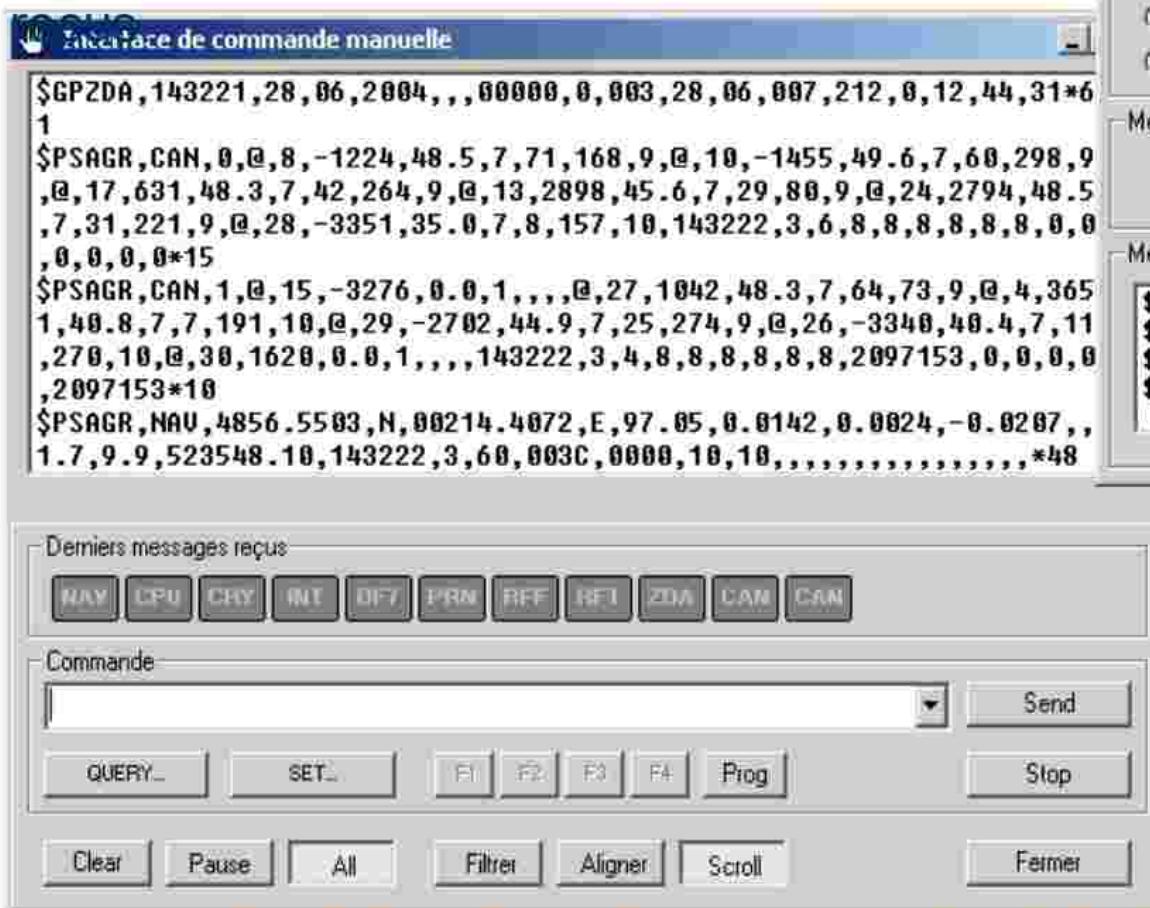
La sélection des messages NMEA configure MAYA de manière à demander à chaque démarrage les messages choisis par l'utilisateur.



= Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de [REDACTED] Ils ne doivent pas être copiés ni

MAYA_2 : interface manuelle (E/S)

La fenêtre d'Interface de commande permet à un utilisateur d'émettre un message vers le logiciel GPS et de visualiser les messages

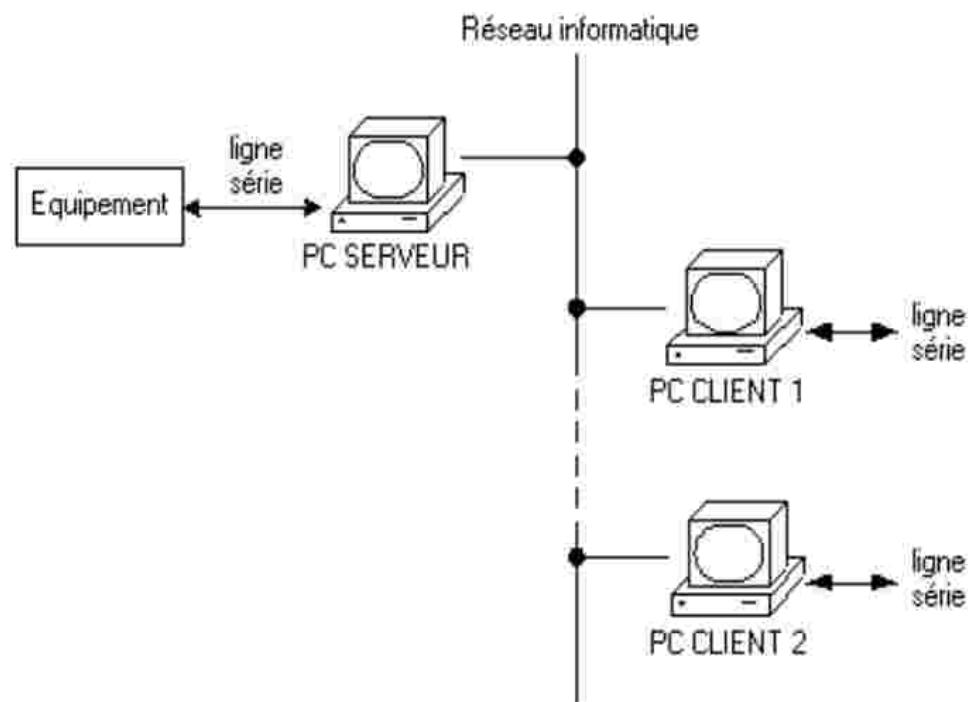


La fenêtre de Configuration permet de visualiser les messages émis par MAYA

MAYA_2 : Interface réseau

- ▶ Le logiciel MAYA dispose d'une interface réseau
 - Elle permet une connection à distance entre 2 PCs
 - Elle autorise la configuration à distance du logiciel GPS connecté à MAYA

- ▶ L'interface réseau se base sur une connection du type Client/Serveur



MAYA_2 : Interface réseau

Communication réseau

Mode

Local	<input checked="" type="checkbox"/>
Serveur	<input type="checkbox"/>
Client	<input type="checkbox"/>

Machine locale

Ad IP : 134.2.201.140

Nom : p1136919

Fermer

Communication réseau

Mode

Local	<input type="checkbox"/>
Serveur	<input checked="" type="checkbox"/>
Client	<input type="checkbox"/>

Machine locale

Ad IP : 134.2.201.140

Nom : p1136919

Fermer

Serveur

Autoriser mode serveur par défaut

Autoriser les connexions clients par password :

Accepter les messages NMEA type SET

Accepter les messages NMEA type QUERY

Nombre de clients connectés : **0** Limiter le nombre de clients à : **9**

Liste clients connectés :

Propriétés :

Communication réseau

Mode

Local	<input type="checkbox"/>
Serveur	<input type="checkbox"/>
Client	<input checked="" type="checkbox"/>

Machine locale

Ad IP : 134.2.201.140

Nom : p1136919

Client

Adresse machine :

Type Serveur :

Password :

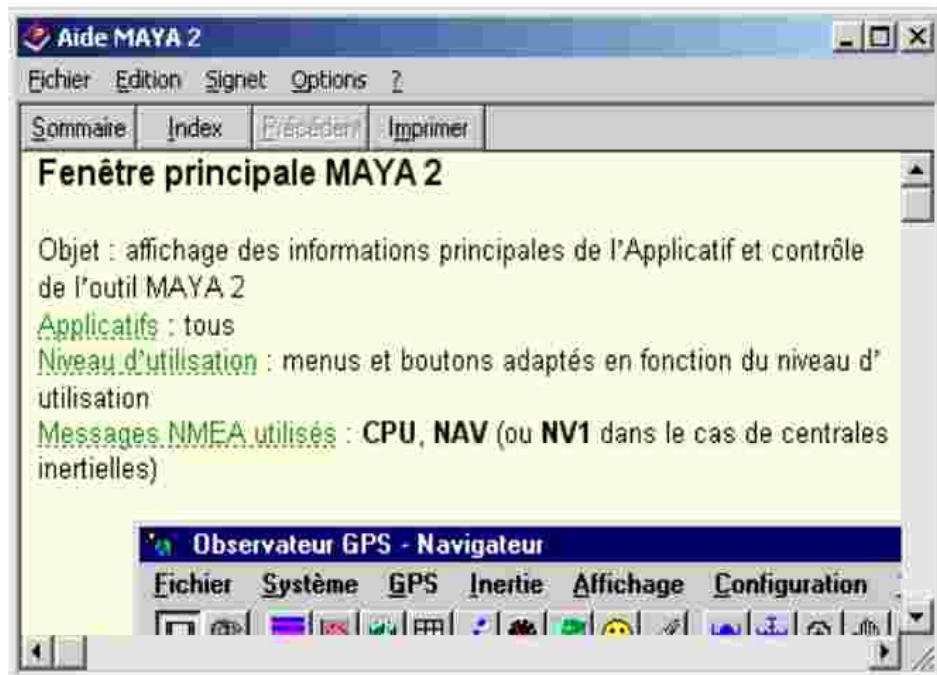
Journal :

```
... Connexion : 10.2.35.154 à 16:36:50
001 MAYA 2 - v6.5.3 - © SAGEM - BW 2003, log : OK
003 NMEA configuration QUERY : OK, SET : OK
```

MAYA_2 : L'aide en ligne

► Le logiciel MAYA dispose d'une aide en ligne

- Il suffit de pointer la fenêtre avec la souris et d'appuyer sur la touche F1
- L'aide est aussi disponible par le menu ?

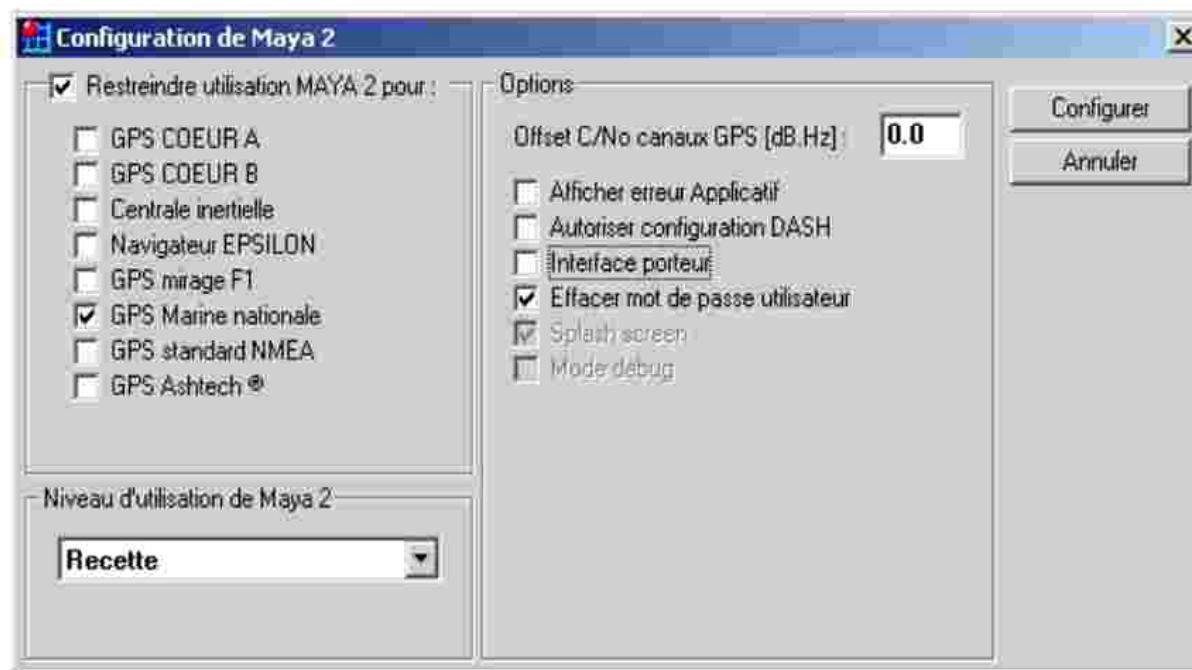


Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de [REDACTED]

Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de [REDACTED]

MAYA_2 : La clé MAYA

- Le logiciel MAYA dispose de plusieurs niveaux d'utilisation et peut être restreint à certains utilisateurs



■■■ Plan de la Présentation

► Le GPS

- L'historique et la théorie du GPS
- Les produits *****
- Présentation du message de Navigation
- L'architecture d'un récepteur GPS
- Fonctionnement d'un récepteur GPS
- Présentation du logiciel MAYA
- **Les aspects sécurité et chiffre**
- La documentation

= Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de [REDACTED]

Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de [REDACTED]

► Le développement et l'utilisation d'un récepteur GPS P(Y) nécessite un niveau de sécurité élevé

- **Le matériel est classifié ACSSI-S avant certification (niveau Secret Défense Chiffre)**
 - Lorsque le système est certifié (conforme au guide de sécurité CZE 93-69), le système peut devenir ACSSI-S non classifié
- **Les clés GPS sont classifiées ACSSI-S:**
 - La manipulation d'un chargeur de clé nécessite une habilitation CD avec un agrément chiffre

Chiffre – un peu de vocabulaire

► La cryptographie est une des disciplines de la cryptologie s'attachant à protéger des messages (assurant confidentialité, authenticité et intégrité) en s'aidant souvent de secrets ou clés

- **chiffrement** : transformation à l'aide d'une clé de chiffrement d'un message en clair en un message incompréhensible si on ne dispose pas d'une clé de déchiffrement (en anglais *encryption*)
- **chiffre** : anciennement code secret, par extension l'algorithme utilisé pour le chiffrement ;
- **cryptogramme** : message chiffré
- **décrypter** : retrouver le message clair correspondant à un message chiffré sans posséder la clé de déchiffrement (terme que ne possèdent pas les anglophones, qui eux « cassent » des codes secrets)
- **cryptographie** : étymologiquement « écriture secrète », devenue par extension l'étude de cet art (donc aujourd'hui la science visant à créer des cryptogrammes, c'est-à-dire à chiffrer)
- **cryptanalyse** : science analysant les cryptogrammes en vue de les décrypter
- **cryptologie** : science regroupant la cryptographie et la cryptanalyse.

► Il apparaît donc que mis au regard du couple chiffrer/déchiffrer et du sens du mot « décrypter », le terme « crypter » n'a pas de raison d'être (l'Académie française précise que le mot est à bannir et celui-ci ne figure pas dans son dictionnaire), en tout cas pas dans le sens où on le trouve en général utilisé.

■■■ Chiffre - application au GPS

- Le GPS dispose de 2 codes: le C/A et le P
- Le code P étant réservé aux militaires, le DoD a décidé de chiffrer le code P pour le rendre inutilisable au personnel non autorisés
 - On parle alors de code P(Y) ou Y
- Pour accéder au code P(Y), le récepteur GPS doit disposer
 - De composants spécifiques (AOC et PPS-MS, ou SAASM)
 - De clés valides
 - De données chiffrées issues du message de Navigation (ST1 / ST4)

■■■ Chiffre – les clés de chiffrement pour le GPS

► Il existe 2 types de clés de chiffrement utilisées dans le GPS:

- Les clés rouges: le terme rouge signifie que la clé est visible en claire
 - On parle d'ACSSI-S: elles sont classifiées SECRET DEFENSE
- Les clés noires: le terme noir signifie que la clé est cryptée et nécessite l'utilisation d'une deuxième clé noire pour la déchiffrer
 - on parle d'ACSSI: elles sont classifiées NC, DR, CD ou SD

► Selon le besoin, plusieurs types de clés sont disponibles:

- Les Clés Opérationnelles
- Les Clés de Simulation
- Les Clés de Maintenance

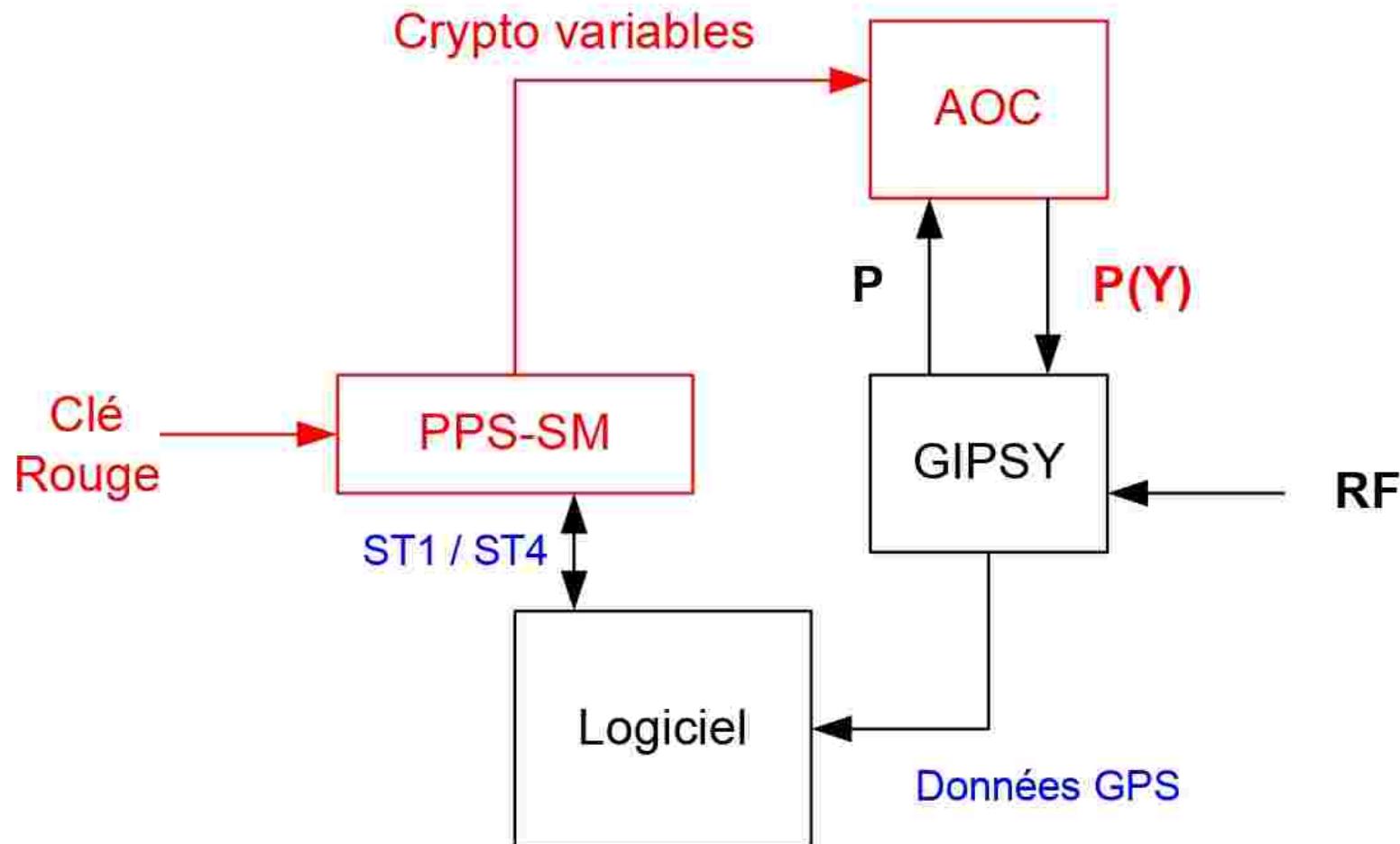
► Plusieurs durées de validité existent selon le besoin

- Hebdomadaire: BCVw
- Mensuelle: BCVm
- Annuelle: RGUV5

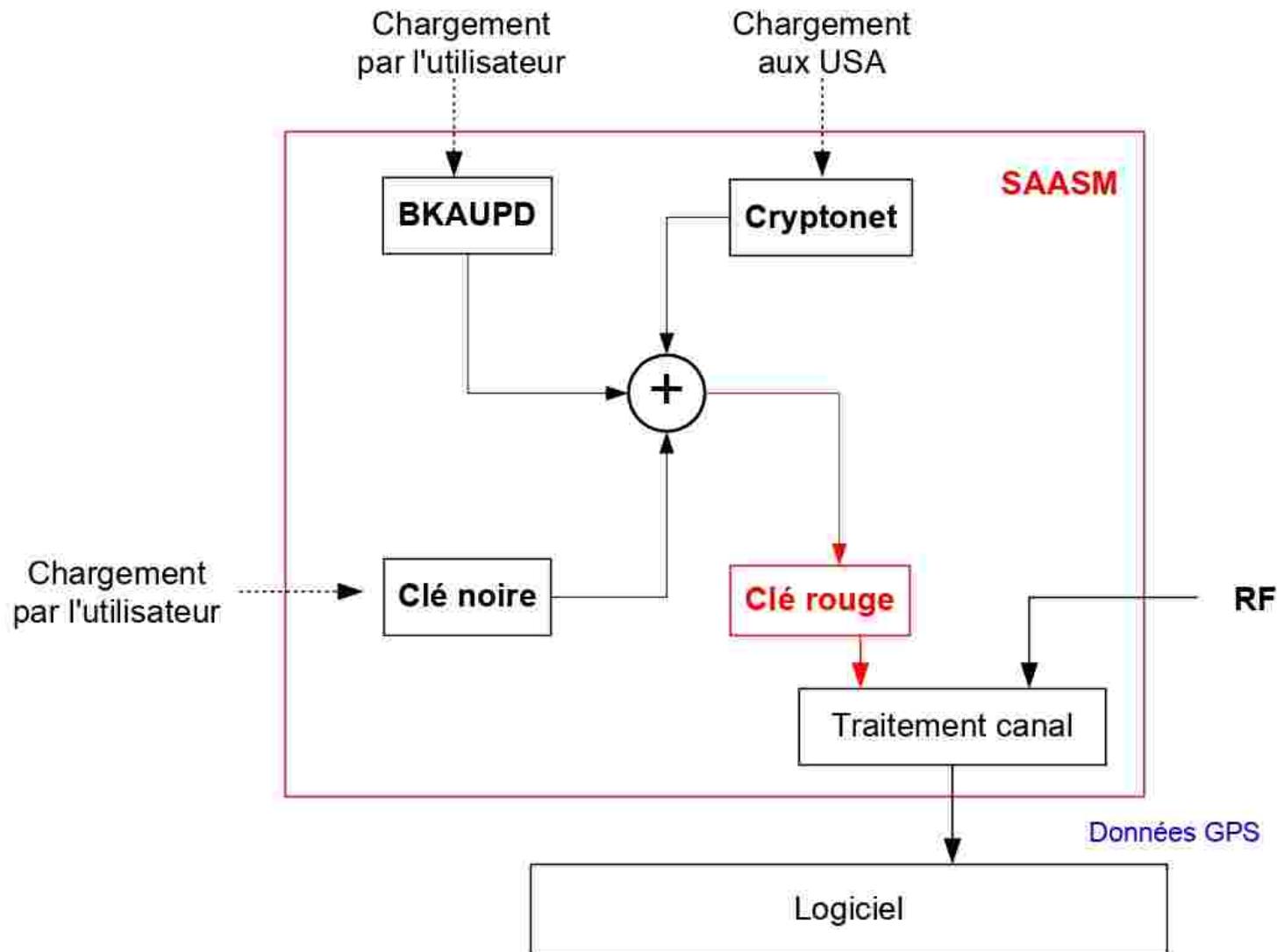
= Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de [REDACTED]

Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de [REDACTED]

■■■ Chiffre – Utilisation des clés rouges



Chiffre – Utilisation des clés noires



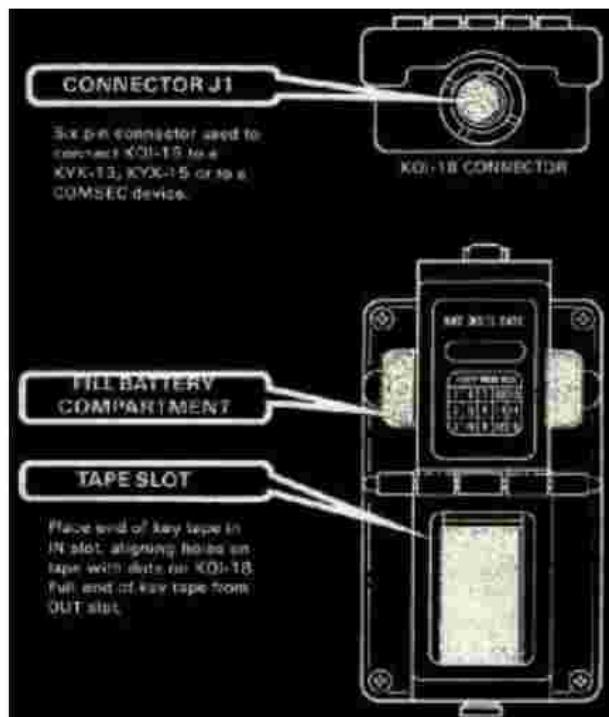
= Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de [REDACTED]. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de [REDACTED]

■ Chiffre – chargeurs de clés GPS



KYK-13

KOI-18



DTD AN/CYZ-10

= Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de

Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de

■■■ Plan de la Présentation

► Le GPS

- L'historique et la théorie du GPS
- Les produits *****
- Présentation du message de Navigation
- L'architecture d'un récepteur GPS
- Fonctionnement d'un récepteur GPS
- Présentation du logiciel MAYA
- Les aspects sécurité et chiffre
- **La documentation**

= Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de [REDACTED]

Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de [REDACTED]

■■■ Site Web & Documentation

► Pour avoir des informations concernant le GPS et MAYA

- Le site web consacré au GPS:

http://www.arg.*****/~gps/

► La documentation sur le GPS

- Introduction au GPS de Staebler disponible
 - Sur le site web du GPS dans la rubrique théorie
 - Prochainement sur Kiosque ARG: SK-0000131430-01
- Les supports de formation sont disponibles
 - Sur le site web du GPS dans la rubrique théorie
 - Sur kiosque ARG

■■■ Normes et documents de référence

- ▶ **ICD 200 (NAVSTAR GPS Space Segment/ Navigation User Interfaces)**
- ▶ **Stanag 4294 (GPS system characteristics)**
- ▶ **GRAM 95 (Guideline for the GPS Receiver Application Module)**
- ▶ **CZE 93-69 (guide de sécurité du GPS P(Y))**
- ▶ **SAASM Handbook**

= Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de [REDACTED]

Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de [REDACTED]



FIN