

# Communication Satellite

Eitan Altman

INRIA Sophia-Antipolis  
2004 route des Lucioles, BP 93  
06902 Sophia-Antipolis Cedex

URL:

<http://www-sop.inria.fr/mistral/personnel/Eitan.Altman/moi.html>

E-mail: `altman@sophia.inria.fr`

# OUTLINE

## I. Constellations pour les Services Satellites Mobiles (MSS)

## Le rôle des satellites dans les MSS:

- Remplacer les services terrestres dans des endroits sans infrastructure de services mobiles terrestres
- Servir pendant les périodes de surcharge (y compris celles causées par des pannes) dans des endroits avec infrastructure de services mobiles terrestres.

- Fréquences: en dessous de 3 GHz.  
Avantage supplémentaire de ces fréquences:  
Plus de flexibilité à contourner des obstacles physiques.
  
- L'antenne des terminaux mobiles a typiquement un gain très petit.  
Par conséquent, les satellites MSS ont des antennes beaucoup plus grandes que celles pour les FSS.

- Problèmes supplémentaires d'atténuation variant dans le temps, causée par des chemins multiples et par des blocages par des immeubles et autres obstacles physiques.

On résout ce problème en utilisant une marge supplémentaire de puissance de transmission supérieure à 30 dB.

Autre solution possible: multi chemin de transmission (par 2 satellites différents, à 2 fréquences différentes). Solution chère.

2 types de satellites MSS:

- GEO. On s'attend à ce que la prochaine génération des MSS GEO puisse offrir des connexions directes mobile-mobile, sans passer par une station terrestre.
  
- Non-GEO.  
Il y a des problèmes supplémentaires d'atténuation qui sont dûs à la mobilité des satellites, et il faut donc plus de marge de puissance.

## Iridium

### La constellation de satellites

- La première proposition de service MSS pour téléphone mobile (ou plus exactement portatif: tient dans la main).
- Conçu pour 77 satellites LEO.
- 66 satellites LEO en 6 orbites (11 satellites par orbite).
- 6 orbites séparées de  $31.6^\circ$  avec la même direction de rotation.

Espacement de  $22^\circ$  entre les orbites à contre-rotation.

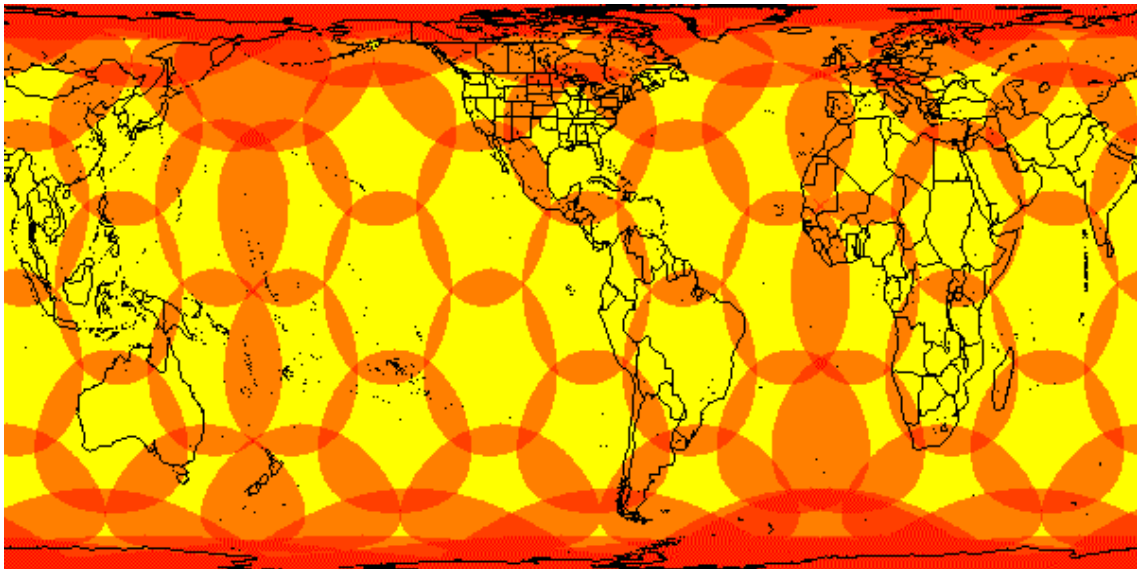
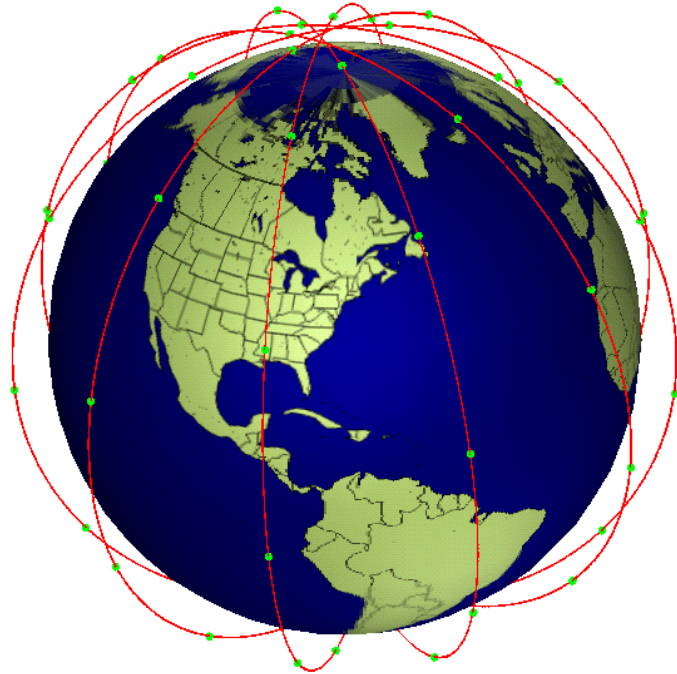
- Altitude de 780km.
  
- poids: 700kg
  
- Durée de vie: 6 ans.
  
- Vitesse: 24000km/h.  
(Concorde: 2253km/h).

Chaque satellite contourne la terre en 100 min.

- Opérationnel depuis novembre 1998.



## Iridium en images



Courtesy of SaVi

Utilisent les bandes Ka et L:

- La bande Ka: les liens avec les systèmes terrestres de contrôle.
- La bande L: les liens avec les mobiles terrestres.
  
- Ka - pour les LIS (liens entre satellites): dans la zone 22.55-23.55 GHz.

Chaque satellite utilise 4 LIS de 25Mb/s:

- un lien dans chaque direction dans la même orbite, et
- 2 entre orbites, un de chaque côté du satellite.

Utilisation de la bande Ka pour les liens avec les Gateways aux centres de téléphonie terrestres.

Les liens terrestres: Trois panneaux d'antennes:

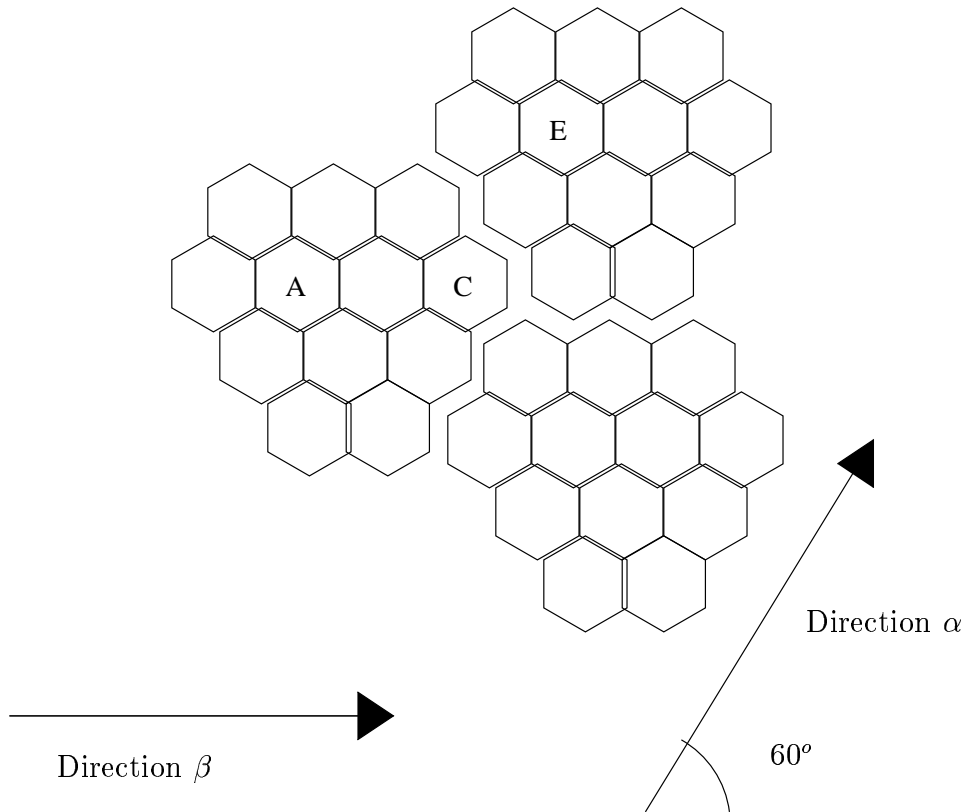
- une perpendiculaire à la direction du mouvement du satellite,
- 2 panneaux à  $120^\circ$  de chaque côté du premier panneau chacun.

Chaque panneau transmet 16 faisceaux (48 en tout).

On obtient  $66 \times 48 = 3168$  faisceaux dont 2150 suffisent pour un recouvrement global de la terre.

Les 1018 faisceaux redondants ne sont pas utilisés pour économiser de l'énergie.

12 faisceaux (de fréquences différentes) forment une configuration qui se répète.



La même fréquence est réutilisée dans chaque groupement de 12, mais pas au même endroit.

Pour savoir où se trouve la fréquence réutilisée, on va  $N$  unités dans la direction  $\beta$  puis  $M$  dans la direction  $\alpha$ , où  $N = M = 2$ .

Ex:  $A \rightarrow C \rightarrow E$ .

Pour  $N$  et  $M$  quelconques, on obtient des constellations de

$$M^2 + MN + N^2$$

faisceaux. On choisit  $M$  et  $N$  selon le rapport signal/bruit.

## Méthode d'accès

Combinaison de AMRF et AMRT:

Chaque fréquence est réutilisée 180 fois:

$$[2150 \text{ faisceaux}] : [12 \text{ faisceaux par configuration}] = 180.$$

Dans chaque faisceau on utilise l'AMRF: il y a 80 canaux (sous-fréquences) par faisceau.

AMRT dans chaque canal. Trames de 90ms. Dans chaque trame, 4 usagers peuvent utiliser 50 kb/s.

Dans chaque configuration il y a 960 canaux:

960 =

$$80\text{canaux}/\text{faisceau} \times 12\text{faisceaux}/\text{configuration}.$$

65 (=81.25%) des 80 canaux sont pour des voix FDX (bi-directionnels).

Une configuration de 12 faisceaux contient 960 canaux, utilisant 10.5 MHz; 780 parmi les 960 sont de voix FDX.

Les USA sont recouverts par 59 faisceaux, et donc par  $59 \times 80\text{can}/\text{faisc.} = 4720\text{canaux}$ , dont 3835 de voix FDX.

En tout on a  $65 \times 2150\text{canaux} = 139,750$  canaux de voix FDX sur le globe, d'un nombre total de

$80 \times 2150 = 172,000$  canaux.

## Iridium: Contrôle de la constellation

- Le contrôle de tous les satellites se fait par des stations terrestres SCF (System Control Facilities);
- Les fonctions:
  - On y contrôle les trajectoires dans les orbites,
  - Contrôle sous-systèmes de puissance et d'électricité
  - Administration du réseau de communication. Quand il y a une panne dans un nœud du réseau, les autres satellites sont informés et les appels reroutés.
- La communication entre le SCF et les satellites se fait par la bande Ka.



## Iridium: Les Gateways

- C'est l'interface entre le système Iridium et les réseaux extérieurs de télécommunications.
- Il permet la connexion avec le réseaux téléphonique public.
- Il permet l'établissement d'appels, la localisation d'appels et la tarification.

Le gateway a l'information sur la localisation des abonnés; il permet de router des appels entre deux abonnés IRIDIUM ou entre un abonné IRIDIUM et un téléphone public.

- Chaque Gateway a au moins 3 antennes:  
une pour chacun des 2 satellites qui recouvrent cette région, et  
une pour maintenance.  
Antennes de 3.3m de diamètre séparées de 32kms.
- Communication par la bande Ka.

## Iridium: L'unité de l'abonnement

Une variété d'unités:

- pour bateaux, voitures, unités terrestres;
- pagers (petits terminaux de messagerie)
- unités bi-modales: Iridium plus compatibilité avec le réseau mobile terrestre. Communication QPSK de voix (4.8kb/s) et données (2.4kb/s).

## Le numéro de l'abonné:

Chaque abonné a un "home Gateway".

Tout les informations sur l'abonné s'y retrouvent dans un HLR (Home Location Register).

On peut identifier un abonné par n'importe quel numéro parmi:

- MSISDN (Mobile Subscriber Integrated Services Digital Network Number) -  
le numéro permanent, en mémoire dans le home gateway. On l'utilise du monde extérieur pour atteindre l'abonné.
- TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identification)  
- Le numéro qui est utilisé en réalité sur le lien physique et qui est transmis. Il est changé périodiquement pour la confidentialité de l'abonné. Le numéro permanent n'est jamais mis sur le lien physique.

- IMSI (Iridium Mobile Subscriber Identity) -

Un numéro permanent qui permet l'identification de l'utilisateur (comme une carte de crédit qui est placée dans un téléphone Iridium).

Ce numéro contient des champs pour l'identification de la zone géographique de l'abonné (distinction plus fine que celle des gateways), plus le numéro d'abonné dans cette zone.

## Globalstar

Ref:

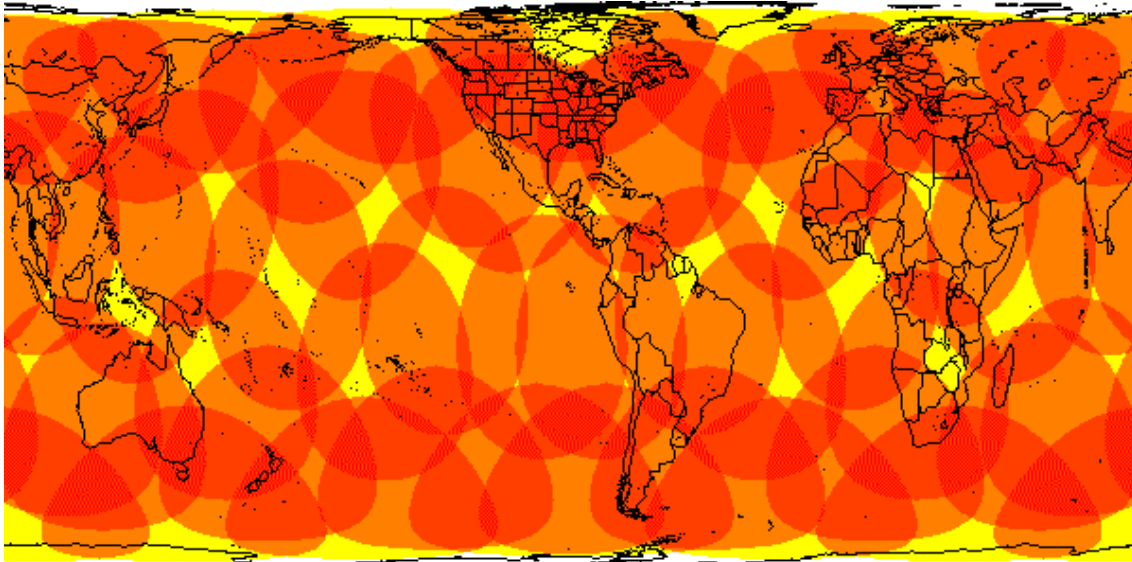
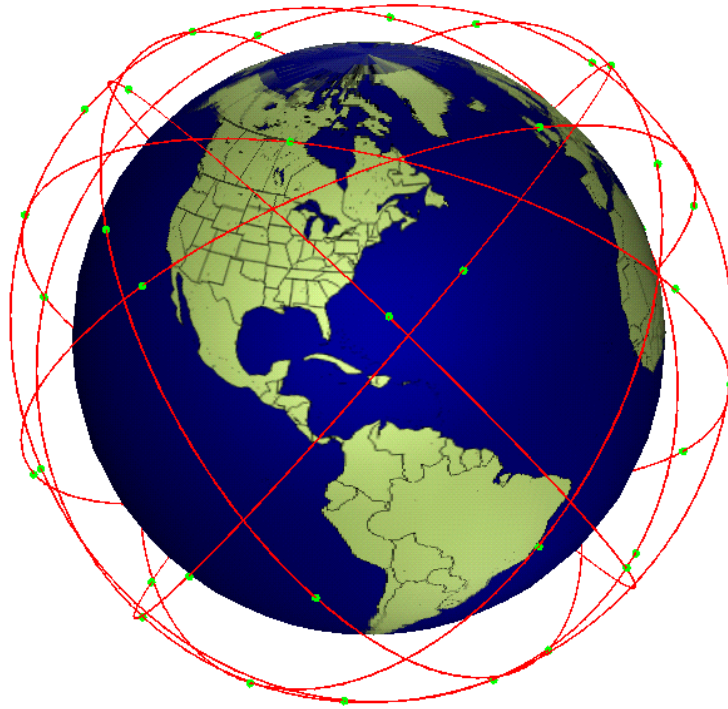
S. Ohmori, H. Wakana, S. Kawase, *Mobile Satellite Communications*, Artech House Publishers, Boston, London. 1998

Système simplifié par rapport à Iridium, avec des innovations.

Services: voix, *paging*, localisation.

Le lancement a commencé en Février 1998.

## Globalstar en images



Courtesy of SaVi

### La constellation

8 orbites de 6 satellites, inclinées à  $52^\circ$ , altitude 1414 km.

Pas de liens inter-satellites.

Chaque satellite fait le tour de la terre en 114 minutes.

Recouvrement jusqu'à  $70^\circ$  de latitude.

Dérive des satellites sur des orbites inclinées, occasionnée par le défaut de la rotondité parfaite de la Terre.

Les orbites dérivent de  $3^\circ$  par jour vers l'ouest.

### Les satellites

Durée de vie: 7,5 ans.

Poids: 450 Kg. Puissance: 1100 W.

Utilisent le service GPS pour maintenir les satellites sur les positions orbitales.

Chaque satellite a une capacité de 2148 liens.

Le débit de l'encodage de la voix varie entre 1200, 2400, 4800 et 9600 bits/sec selon le besoin:  
dans des instants de longs silences on utilise 1200 etc.



### Fréquence et accès

Terminaux → satellite: 1610 à 1626,5 MHz (bande L),  
Satellites → terminaux: 2483,5 – 2500 MHz (bande S),

Station-passerelles → satellites: 5091 – 5250 MHz (bande C)  
Satellites → station-passerelles: 6875 – 7055 MHz.

Les antennes de satellites envoient 16 faisceaux.

Les fréquences sont divisées en canaux de 1,23 MHz de largeur contenant de multiples circuits AMRC.

L'AMRC permet une meilleure utilisation spatiale, car l'atténuation des signaux d'un faisceau voisin doit être 2 à 3 dB pour AMRC, comparé à 18 dB ou plus pour AMRF et AMRT.

Des contrôleurs de gains à boucle-ouverte et à boucle-fermée sont implémentés aux station-passerelles et aux terminaux, permettant à tous les signaux d'arriver au récepteur avec la même puissance environ.

### Segment terrestre

Centaine de station-passerelles,

- Centre de Contrôle des Opérations Terrestres (GOCC: *Ground Operations Control Center*) par station-passerelle,
- deux Centre de Contrôle des Opérations Satellites (SOCC: *Satellite Operations Control Center*)
- Réseaux de données Globalstar (GDN: *Globalstar Data Network*).

**GOCC:** Responsabilité de

- planification et contrôle de l'utilisation des satellites par les station-passerelles
- coordination avec le SOCC
- ordonnancement des communications pour les station-passerelles
- contrôle de l'affectation des ressources satellites à chaque station-passerelle.

### SOCC (Centre de Contrôle des Opérations Satellites)

Gère la constellation:

suit les satellites,

contrôle les orbites,

fournit des services de télémétrie et commande pour la constellation.

Les satellites transmettent continuellement des données télémétriques aux SOCCs avec des rapports sur la situation à bord.

Les SOCC sont responsable des activités de lancement et déploiement des satellites.

### GDN (Réseaux de données Globalstar)

Les SOCCs et les GOCC restent en contact à travers le GDN. Représente le réseau qui garantit l'inter-communication des station-passerelles, des SOCCs et des GOCCs.

### Les stations passerelles

Le grand nombre est dû au fait qu'il n'y a pas de LIS. Toute l'intelligence est dans les station-passerelles.

Une station-passerelle possède 4 antennes de 5,5m de diamètre, reliée par des fibres optiques au GOCC, et la circuiterie pour les communications en AMRC.

### Segment utilisateur

Des récepteurs multi-canaux utilisent le procédé *path diversity*, breveté par Globalstar; on reçoit le même signal de plusieurs satellites, diminuant ainsi l'impacte d'obstacles et de bruits. On améliore la fiabilité.

Le système de redondance de couverture est utilisé pour les transferts: retransmission retardée de la même information sur une autre fréquence quand le signal devient faible.

Un satellite servira un utilisateur pendant environ 10 à 15 minutes. La couverture typique est composée de deux à quatre satellites à la fois.

Terminaux bi- et trois- modaux.

Les bi-modaux: réseaux Globalstar et GSM. Les trois-modaux: réseaux Globalstar, cellulaires IS-95, cellulaires AMPS.

### Les sociétés de services impliquées:

- AirTouch: une compagnie américaine importante de cellulaire,
- Dacom: un des 2 opérateurs cellulaires coréen,
- France Telecom,
- Vodaphone: opérateur britannique important de cellulaire.

### Les sociétés d'équipement impliquées:

Alcatel, Alenia (Italie), Daimler Aerospace (Allemagne), Hyundai (Corée), Loral Space and Communications (USA), Qualcomm (USA).



## Odyssey

Ref:

S. Ohmori, H. Wakana, S. Kawase, *Mobile Satellite Communications*, Artech House Publishers, Boston, London. 1998

<http://www.trw.com/seg/sats/ODY.html>

Objectifs: voix de bonne qualité, fax, *paging*.

Satellites de type *bent pipe*.

2.3 millions d'abonnés.

Opération prévue pour cette année.

Coût de 0,65 \$ la minute.

**Constellation:** Constellation de 12 MEO, 3 orbites inclinées de  $55^\circ$  à 10354km.

4 satellites dans chaque.

A cette altitude, un satellite voit le quart de la terre.

Donne une couverture “globale” (des zones peuplées).

Diamètre de l’empreinte du satellite: 800km. Par conséquence, typiquement il n’y aura pas de transferts (*handovers*).

Chaque satellite a une capacité de 2300 circuits de voix.

Etant donné que chaque région est visible par deux satellites, on obtient 4600 circuits/région.

### Fréquences et accès

Terminaux → satellite: 1610 à 1626,5 MHz (bande L),  
Satellites → terminaux: 2483,5 – 2500 M Hz (bande S),  
(Même que Globalstar)

Station-passerelles – satellites: bande Ka.

### Segment terrestre

- 7 stations terrestres, interconnectées par fibres. Forment un WAN.
- Des Gateways qui lient Odyssey aux services téléphoniques publics.
- Une station terrestre centrale pour contrôler l'opération, et une station de back-up.
- 4 antennes directives par station-passerelle de diamètre de 3m environ, espacées de 30 km.
- 3 antennes communiquent avec 3 satellites; la quatrième sert pour les périodes de fortes pluies, dont l'impacte est typiquement bien inférieur à 30km.

### Segment utilisateur

Terminaux bi-modaux.

Compatibilité avec le GSM par des gateway appartenant et opérés par Odyssey.

Durée de vie: 15 ans.

## Ecco

Sera mise en service par Constellation Communications Inc, entreprise nord-américaine, crée en 1991.

- Constellation de type *Bent Pype*, sans liens inter-satellites.
- Objectif: radio-téléphonie, messagerie.
- Compatibilité avec les liens terrestres.

Coût du portable ou du téléphone: 1500\$ US.

## Le segment spatial:

### ■ La constellation

- Première phase: 12 satellites en une seule orbite équatorielle (11 opérationnels, 1 de réserve).
- Chaque satellite couvre 46 degrés de latitude et 33 degrés de longitude.
- 2000km d'altitude
- Recouvrement des zones rurales: latitudes au sud de 23°.  
Recouvrement de plus de
  - 100 pays,
  - plus de 35% du surface de la masse terrestre,
  - plus de 40% de la population mondiale.

- Plus tard: le système va être redimensionné pour la mise en orbite de nouveaux satellites sur des orbites inclinées selon les besoins du marché.
- 1000 canaux de voix par satellite.
- Durée de vie des satellites: 5 ans.

■ **Fréquences et accès:**

L et S pour les transmissions aux usagers, (1610-1626.5 MHz sur le lien ascendant, 2483,5-2500 MHz sur le lien descendant).

Mode d'accès: ARMC (deux sens).

Stations-passerelles vers les satellites: 5091 - 5250 MHz

Sens inverse: 6924 - 7075 MHz.

ARMC dans les deux sens, avec diversité de chemins vers les stations-passerelles.



### Le segment terrestre:

- **Les stations-passerelles:** Pour connecter les sats. aux réseaux téléphoniques.

Une pour chaque région de diamètre de 5500km.

Sont responsable de

- l'authentification des utilisateurs,
- allocation de canaux,
- mise à jour de bases de données utilisateurs

3 antennes mobiles de 6 mètres de diamètre chacune:

- une pour suivre le sat montant,
- une pour suivre le sat descendant,
- une pour backup.

- **Centres de maintenance des satellites** (SMF – Satellite Maintenance Facility):

Deux centres: primaire et backup.

Pour les commandes du mouvement et la géométrie de la constellation,

contrôle l'état de chaque satellite (corrections nécessaires des orbites).

- **Centre de Communications de la Constellation**

(CCC - Constellation Communication Center)

Responsable de l'administration du réseau,

l'allocation des ressources (fréquences, puissance, codes, etc.) entre les stations passerelles,

l'information pour la tarification.

### Le segment utilisateur

Antenne non directive, puissance de moins de 1W.

En présence d'obstructions, la puissance de transmission augmente jusqu'à 5W.

**ICO**

Intermediate Circular Orbit.

Une petite constellation.

Pas de liens inter-satellites.

Début de lancement: 1999. Opération: 2000.

Objectifs: voix de bonne qualité, avec interopérabilité (mode cellulaires et satellites), transmission de données bidirectionnelle, Fax, *paging*,

### Le segment spatial:

10 satellites MEO, 10390 Km sur deux plans, inclinés de  $45^\circ$ , 5 satellites sur chacun.

Chaque plan aura un satellite de secours en plus.

L'emprunte change environs tous les 97 minutes.

En cours de construction par *Hughes Space and Communications International*.

Poids: 2600 Kg.

Puissance de plus de 8700 W par des panneaux solaires.

Les satellites ont un processeur embarqué.

Chaque satellite peut traiter 4500 appels téléphoniques simultanés.

### Fréquences:

Communication avec les terminaux des abonnés:

Transmission des terminaux au sat: – 1610 MHz à 1626.5 MHz

Transmission des sats aux terminaux – 2483.5 à 2500 MHz

Liens entre les satellites et les stations terrestres:

5 GHz et 7 GHz.

### Le segment terrestre:

- 12 stations terrestres SAN (Satellite Access Nodes) – réseau "ICONET".

5 antennes par SAN.

- Centre de Gestion du Réseau - NMC (*Network Management Center*).
- Centre de Contrôle des Satellites (SCC – *Satellite Control Center*)

Contrôle le mouvement, maintien des orbites.

Contrôle des réserves de puissance, température, utilisation de fréquence et les canaux dans les faisceaux.

### Le segment utilisateur

Terminaux de moins de 1500\$, 0.25W.

## Ellipso

Objectifs: transmission de la voix, de message courts, télécopies, paging.

Les orbites elliptiques permet une meilleure couverture des zones plus peuplées.

La superficie terrestre est plus importante au nord de  $40^\circ$  N qu'au sud de  $40^\circ$  S.

Nord de  $40^\circ$  N: Europe, Ex URSS, Canada, moitié des USA, partie du Japon.

Par conséquence, les orbites circulaires proposent trop de couverture sur des régions qui en ont moins besoin.



## La constellation

18 satellites

Pas de liens inter-satellites

Deux orbites elliptiques (Ellipso-Borealis) inclinées de 4 satellites chacun,

et une orbite équatoriale: Ellipso-Concordia (6-10 satellites)

Les orbites elliptiques:

- inclinaison de  $116,5^\circ$ ,
- une période de 3hs par satellite,
- apogée à 7846 Km et périogées à 520 Km.

16 franchissements de la ceinture Van Allen par jour.

Les orbites équatorielles:

8040 Km. Périodicité de 4.8 h.

### Les satellites

Légers (700 Kg) car ils sont du type *bent-pipe*.

2 grandes antennes planaires sur la face tournée vers la terre:  
- une pour la réception - une pour la transmission.

Vie de 5 ans.

### Fréquences et accès

Liens vers la terre: bandes S et C (2,5 MHz et 5MHz).

Accès AMRC.

Transmissions de 300 b/s à 9,6 Kb/s.

## Le segment terrestre

Compatibilité totale avec GSM.

Composé de Stations de

*Contrôle Terrestre (GCS – Gateway Control Station),*

L'interface du segment terrestre vers le segment spatial. Chaque GCS suit et utilise deux satellites.

Echange des infos sur les canaux de trafic avec ESO, et des infos sur le contrôle avec le RNCC le plus proche.

Détermine la position du terminal de l'abonné.

*Bureaux de Commutation Ellipso (ESO – Ellipso Switching Offices)*

Gère l'appartenances des abonnés, les placement d'appels et la connectivité du réseau.

Assure la communication temps-réel et les fonctions de routage pour le segment terrestre.

Des Esso de la même région sont interconnectés sous la supervision d'un RNCC.

## Centres Régionaux de Contrôle du Réseaux (*RNCC – Regional Network Control Center*)

Fonctions de planification et administration pour les bases de données utilisateurs,  
tarification,  
routage d'appels en déplacement,  
gestion des GCS,  
administration des ressources réseaux et satellites pour la région,  
maintenance et monitoring de la performance du système.  
Etablie des contacts avec les ESOs pour des questions de contrôle et état du système et pour le transfert de registres d'appels et d'information d'abonnés

### Centre de Coordination du Système Ellipso (SCC – *System Coordination Center*)

Questions globales: affectation et planification du système.  
Validation de toutes les transactions d'appels mondiaux. Pour cela, il garde une base de données consolidée de tous les abonnés, avec leurs état actuel, région actuelle, coordonnées de routage pour les abonnés en déplacement.

### Centres de Suivi, Télémétrie et Commande (TTCC – *Tracking, Telemetry and Command Centers*)

Au moins deux prévus. Contrôle le lancement, mise en orbite, bon fonctionnement.

## Les station-passerelles

Grâce à la grande couverture des satellites, on a besoin de moins de station-passerelles.

Des arguments de visibilité donnent une quinzaine de station-passerelles.

Fonctionnalités:

- Base de données utilisateurs pour vérification et validation des droits de connexion,
- Connexion des abonnés au GCS via les satellites,
- Sélection et maintenance du meilleur chemin mobile-satellite-Terre pour les appels,
- Configuration du chemin mobile-satellite-GCS pour la coordination des services liés à l'appel et la bonne réception radioo
- Interface avec le réseaux terrestre local
- Caocul de la position géographique de l'utilisateur à des fins de qualité de service et de maintenance des bases de données utilisateurs,
- Plannification du système allocation des ressources

### Le segment utilisateur

Terminaux portables similaires en format et mode d'opération aux téléphones portables cellulaires terrestres.

Terminaux pour les voitures, et terminaux fixes.

Quand les terminaux sont en mode actif, ils balayent continuellement un des canaux de signalisation qui fonctionnent par transmission de paquets.

L'information sur ce canal:

- l'état et la disponibilité du système,
- synchronisation

Les appels entrant et sortant sont traités par l'échange d'une série de paquets d'information entre le terminal et le GCS.

Une fois la communication acceptée, le GCS décide du code utilisé, et informe le terminal.

Par la suite, toutes les informations pour la gestion de l'appel sont échangées par des paquets envoyés sur le même canal que celui utilisé par l'appel, de façon transparente à l'utilisateur.

Des services basés sur des messages courts (e.g. *paging*) sont traités uniquement sur les canaux de signalisation.