



SYSTÈMES DE SURVEILLANCE DU CONTRÔLE DE TRAFIC AERIEN CIVIL

Présenté par P. LEFEVRE

Conférence Arts & Métiers, Paris, 2 Février 2015

Les systèmes de surveillance conventionnels (radars)

- ◆ Historique
- ◆ Radars primaire et secondaire
- ◆ Autres types de radar
- ◆ Notion de Surveillance coopérative et non coopérative

Nouvelles technologies de Surveillance aérienne civile

- ◆ ADS-B
- ◆ ADS-C
- ◆ Multilateration (WAM, MLAT)
- ◆ MSPSR

Utilisation des systèmes de surveillance dans le contrôle aérien

- ◆ Contrôles civil et militaire
- ◆ Exigences de la chaine de surveillance
- ◆ Fusion des données de surveillance et visualisation

Evolution de la surveillance

Conclusions et questions

Les systèmes de surveillance conventionnels (radars)

- ◆ Radars primaire et secondaire
- ◆ Historique
- ◆ Autres types de radar
- ◆ Notion de surveillance coopérative et non coopérative

Nouvelles technologies de Surveillance aérienne civile

- ◆ ADS-B
- ◆ ADS-C
- ◆ Multilateration (WAM, MLAT)
- ◆ MSPSR

Utilisation des systèmes de surveillance dans le contrôle aérien

- ◆ Contrôles civil et militaire
- ◆ Exigences de la chaine de surveillance
- ◆ Fusion des données de surveillance et visualisation

Evolution de la surveillance

Conclusions et questions

1884 : HR Hertz prouve expérimentalement que la lumière est une onde électromagnétique qui obéit à la théorie de Maxwell

1888 : HR Hertz montre que les ondes électromagnétiques sont réfléchies par les surfaces métalliques

1904 : Ch. Hülsmeier conçoit un appareil qui permet de détecter grossièrement l'azimut et la distance d'un navire



France : 1934 : Brevet pour un « appareil de détection » à ondes décimétriques.

- ◆ Antennes paraboliques indépendantes
- ◆ Détection précise des navires jusqu'à 10 ou 12 miles marins,.
- ◆ Monté sur le paquebot Normandie

URSS : 1934, Test positif d'un système radar

- ◆ Détecte à 600/700 mètres un avion volant à 150 mètres d'altitude
- ◆ Adaptation de ce concept au tir antiaérien.
- ◆ Juillet, radar RAPID testé à Leningrad

UK , 1935 : les britanniques développent un réseau intégré de stations de détection aérienne

Allemagne : 1935 :

- ◆ Localisation du croiseur léger Königsberg à 8 km de distance, compatible d'un tir canon.
- ◆ Suivi d'avions volant à 500 mètres d'altitude à 28 km de distance.
- ◆ Construction d'un réseau de radars terrestres (Freya) et marins (Seetakt)

USA : 1938 : Le radar CXAM est essayé sur l'USS New York

- ◆ Détecte un avion à 100 kilomètres de distance



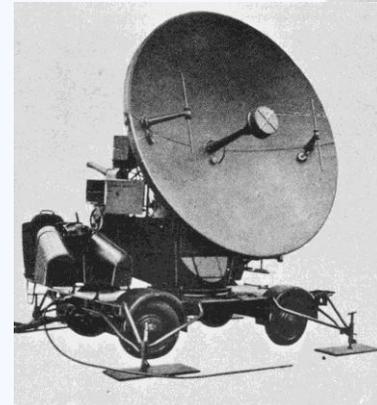
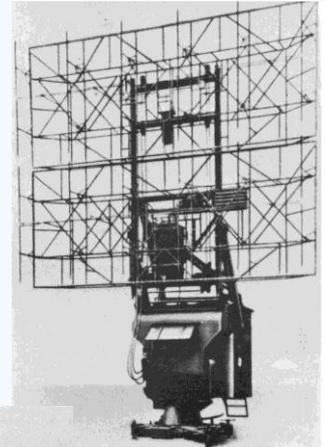
UK : système chain home, réseau de stations radar .

- ◆ Approches à très basse altitude, dans la zone de bruit venant des échos de sol.
- ◆ Déploiement d'une seconde ligne de détection le long de la côte, plus courte portée mais résolution plus grande à bas niveau.



Allemagne : Radars Freya et Seetakt à antenne orientable.

- ◆ Bien meilleure résolution, permettant la détection d'objets bien plus petits et réduction de l'encombrement des antennes.
- ◆ Fréquences plus élevées
- ◆ Coût de construction élevé , 8 Freya en service au début de la guerre
- ◆ Concept d'emploi de la Luftwaffe
 - L'attaque
 - pas de coordination des opérations



Astronautique : radiotélescopes (dès 1937)

Téledetection, géologie

- ◆ Radar à pénétration de sol

Météorologie

Aviation civile

- ◆ Le système international de contrôle aérien dépend d'un réseau de radars militaires et civils à travers le monde.
- ◆ Radars d'approche et de longue portée
- ◆ Deux types de radars de contrôle aérien :
 - le radar primaire, toutes cibles.
 - le radar secondaire pour les cibles coopératives.
 - Dès 1960 équipement obligatoire de transpondeurs

Militaires :

- ◆ **Défense aérienne (surveillance et engagement),**
- ◆ **Champ de bataille : radar de contre-batterie, surveillance sol**
- ◆ **Reconnaissance (radar SAR),**
- ◆ **Trajectographie**



RADAR = RAdio Detection And Ranging

Moyen électromagnétique actif de détection et de “mesure” de “cibles utiles”

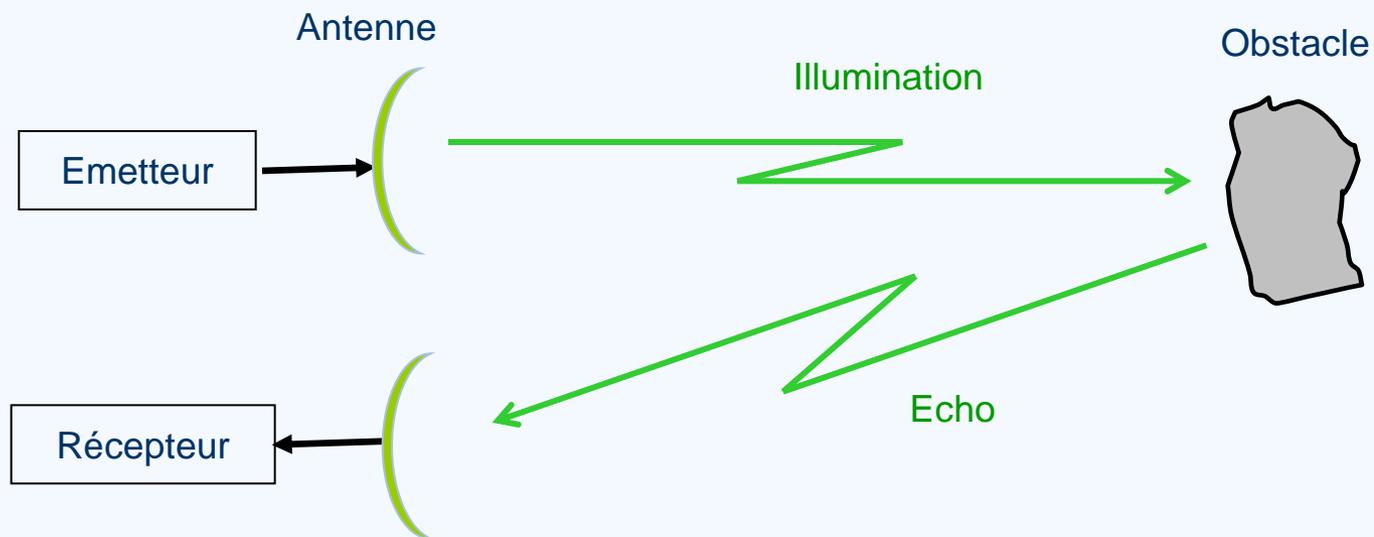
- “Mesure”
 - distance
 - azimuth et site
 - vitesse radiale
 - “signature ”

- “Cibles utiles”: dépendent des applications envisagées
 - cibles aériennes : aéronef, hélicoptère, drones, missiles, obus, ...
 - cibles terrestres : camions, voitures, tank, piétons ,
 - cibles de surface : navires, dinghy, périscope,

- **Assurer cette mission dans un environnement souvent difficile**
 - échos parasites fixes ou mobiles
 - fouillis de surface : sol, végétation, relief, constructions, mer, cotes
 - fouillis volumique : pluie, nuage
 - « cibles » indésirables

- **propagation**
 - atténuation dans l'atmosphère , la pluie , ...
 - réflexion sur la mer ou le sol (effet image)

- **brouillage**
 - naturel : interférences , compatibilité entre équipement
 - volontaire : actif (brouilleur), passif (paillette/chaff, ...)



- Détecter la présence de l'obstacle dans le bruit de réception
- Mesurer les paramètres de l'obstacle

- La mesure de la distance (D) est donnée par le temps de propagation aller et retour (Tp) après réflexion sur l'obstacle

$$D = c \times T_p / 2$$

- La mesure de la vitesse radiale (Vr) est donnée par l'effet Doppler-Fizeau (mesure du décalage entre la fréquence émise et la fréquence reçue : Δf)

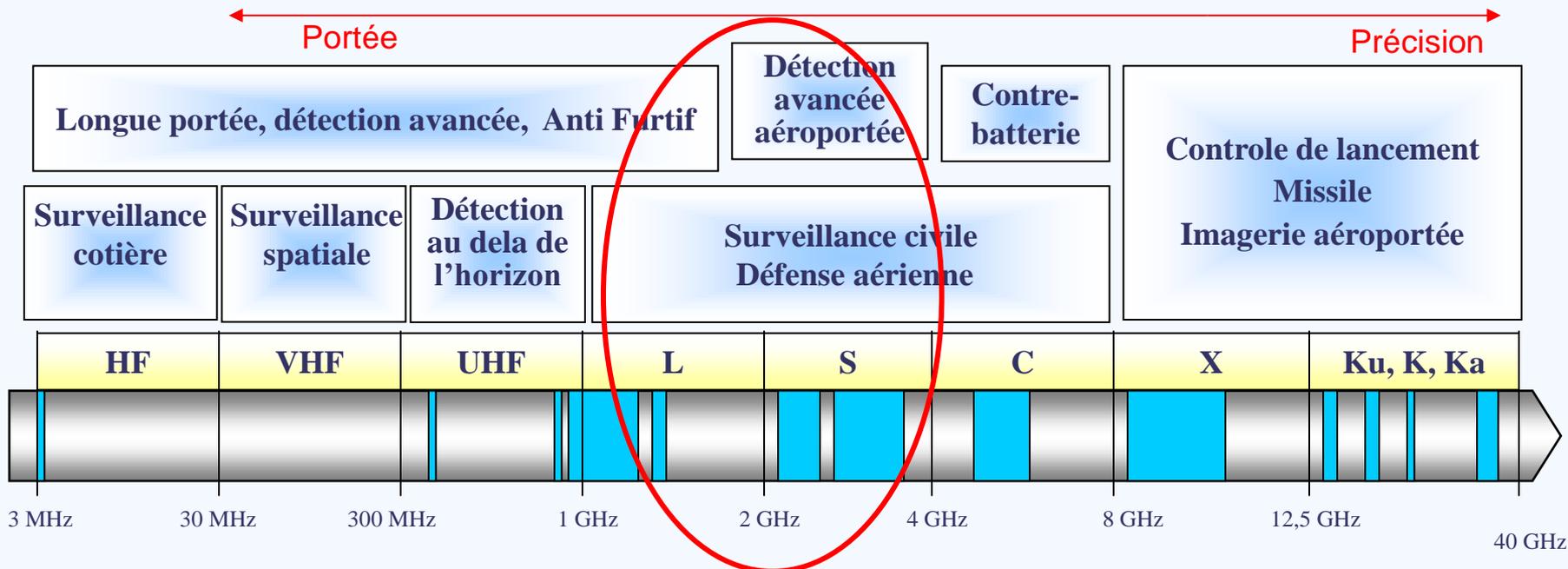
$$V_r = \lambda \Delta f / 2$$

- La mesure de la direction est donnée généralement soit par l'azimut de l'antenne soit par la recherche de la direction de pointage de l'antenne correspondant à la réception de l'écho maximal (dans le cas de plusieurs capteurs à la réception il existe d'autres méthodes)

Bandes de fréquence allouées aux radars

- UHF : 400 - 450 Mhz
- L : 1215 - 1370 Mhz
- S : 2700 - 3500 Mhz
- C : 5250 - 5850 Mhz
- X : 8500 - 10680 Mhz
- Ku : 15.7 - 17.7 Ghz
- Ka : 33.4 - 36 Ghz

Recommandation OTAN et OACI Pour
les radars de surveillance aérienne



Choix des bandes de fréquence RADAR selon les applications ?

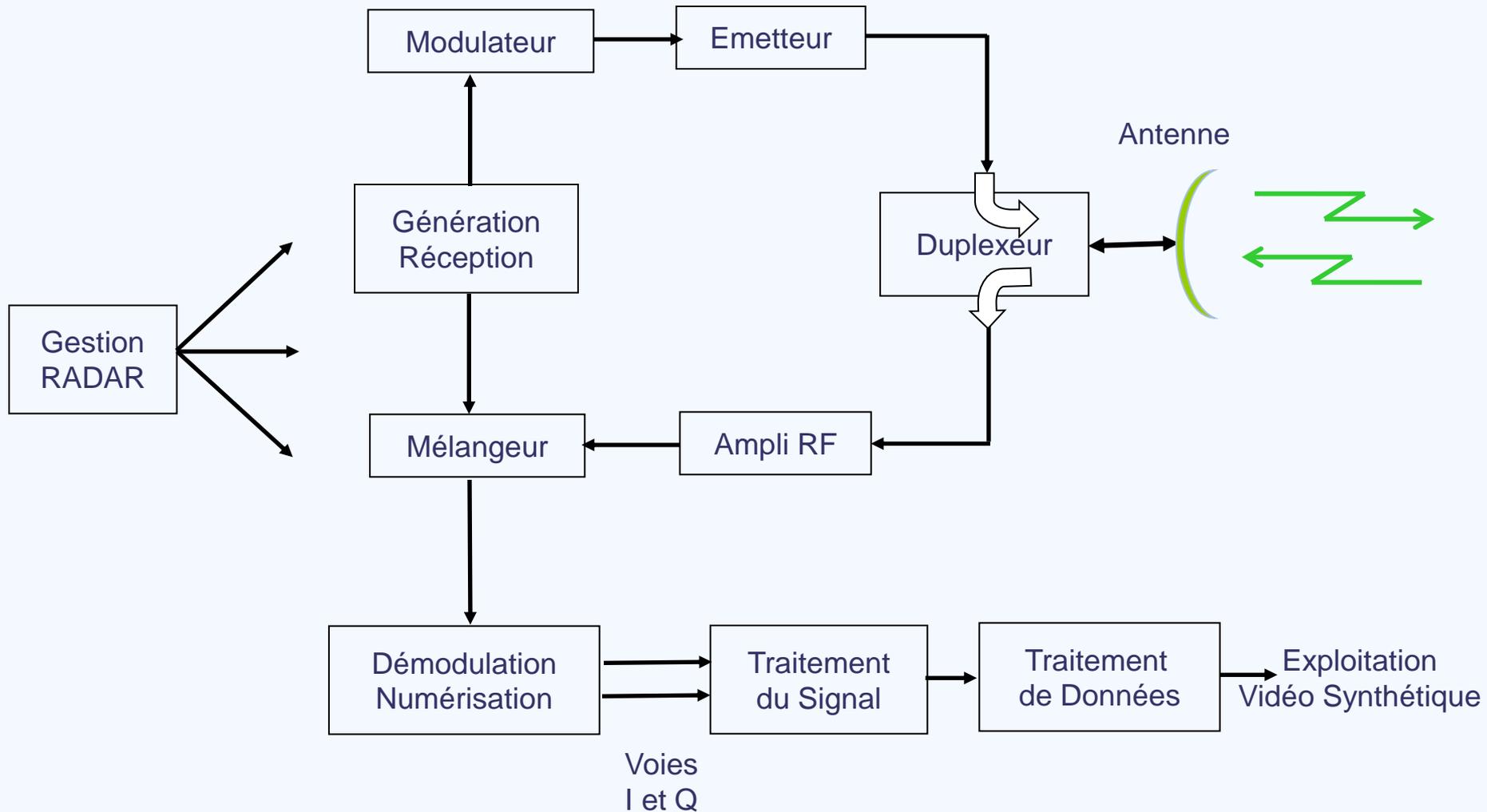
Deux règles simples

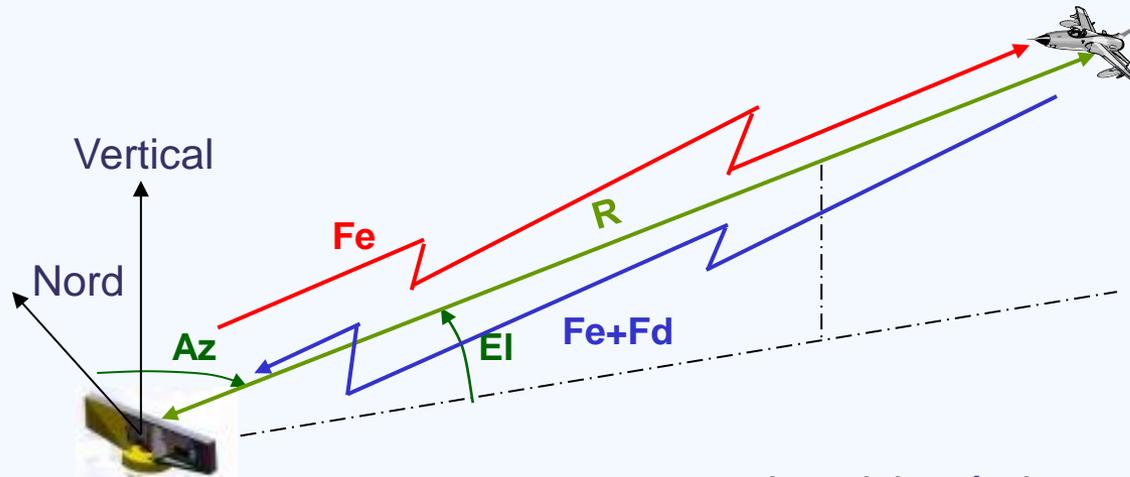
- **Les fréquences « basses » typiquement bande S et en dessous favorisent la longue portée**
 - atténuation de propagation moindre
 - puissance disponible technologiquement plus importante
- **Les fréquences « hautes » typiquement la bande X et au dessus favorisent la précision des mesures**
 - meilleure précision angulaire
 - meilleure discrimination

Mais certains compromis (par exemple de tacticité/mobilité) peuvent amener à des choix légèrement différents .

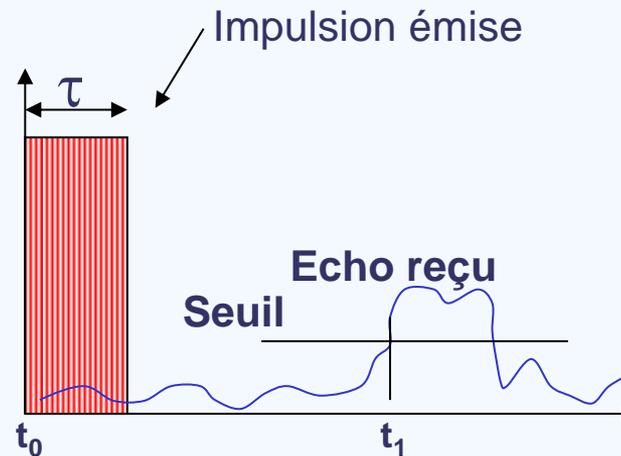
Différents modes de balayage spatial du faisceau d'antenne

- **Rotation mécanique en azimuth avec :**
 - mono faisceau fixe en site (faisceau émission et réception large en site)
 - balayage électronique en site (1D) (faisceau fin)
 - multi-faisceaux simultanés en site (émission élargie site)
 - balayage électronique site et gisement (2D) (faisceau fin)
 - multi-faisceaux (grappes) associés à du balayage électronique 2D (émission élargie site et gisement)
- **Antenne Fixe avec :**
 - balayage électronique 2D (faisceau émission fin)
 - multi-faisceaux simultanés (émission élargie site gisement)





Fe: Fréquence émise
 Fd: Fréquence Doppler
 R: Portée
 El: Elévation



$$R = \frac{c(t_1 - t_0)}{2} = \frac{c \cdot \Delta t}{2} \quad (C, \text{ vitesse de la lumière } 3 \cdot 10^8 \text{ m/sec})$$

$$R = \sqrt[4]{\frac{P_S \cdot G^2 \cdot \lambda^2 \cdot \sigma}{P_E \cdot (4\pi)^3}}$$

R: Portée de Détection

P_S : Puissance d'émission

G: Gain antenne

λ : Longueur d'onde

σ : Surface équivalente radar de la cible

P_E : Puissance réception minimale (ou sensibilité)

*L'élément le plus influent de cette équation est la **racine quatrième***

=> Pour doubler la portée théorique, il est nécessaire de multiplier la puissance émise par 16



Radar

Si le terrain entourant le site radar est plat, la couverture radar n'est plus assurée à partir du point tangent avec l'horizon.

Horizon

Perte de couverture liée à la rotondité de la terre

Approximation : rayon terrestre modifié : $R_e = 4/3 R_T = 8500 \text{ km}$

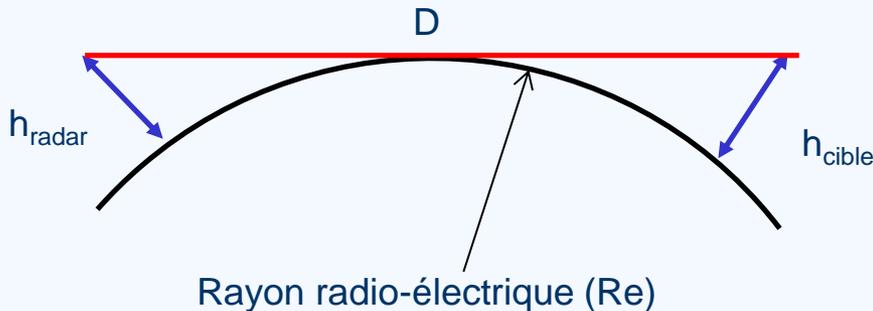


Radar

Perte de couverture liée à des masques (montagne par exemple)

Perte de couverture liée à la rotondité de la terre

Portée Radar



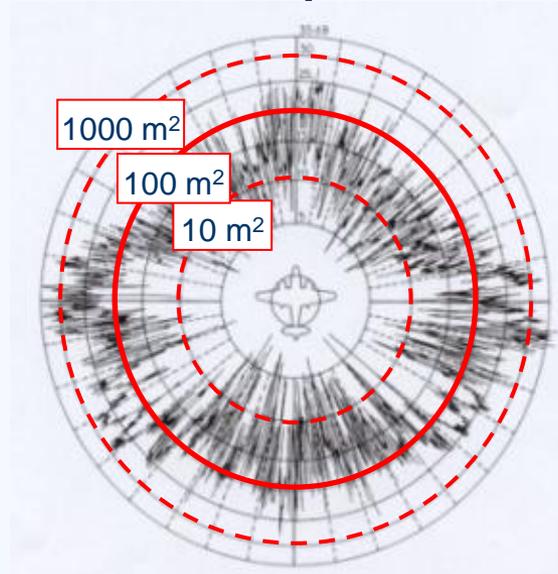
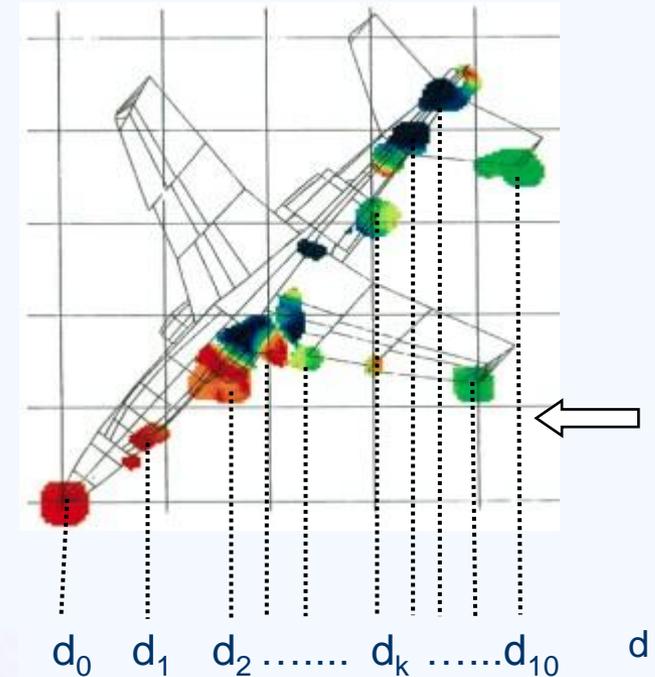
$$D_{(MN)} = 1.23x(\sqrt{hr(ft)} + \sqrt{hc(ft)})$$

La SER d'une cible dépend de sa présentation
et de la bande de fréquence du radar

Le comportement des cibles réelles peut être
décrit en les représentant par un ensemble
restreint de réflecteurs (points brillants)

La SER résulte de la combinaison des signaux
rétrodiffusés par ces points brillants

La SER est différente en mode bi-statique



σ (m²) : $\frac{\text{Energie supposée rayonnée de manière isotrope}}{\text{Densité d'énergie reçue du RADAR}}$

Valeurs typiques moyennes (en bande S) :

> 100 m ²	Navire
50 à 100 m ²	A/C large body (747, 380, C5A,..)
10 à 50 m ²	Moyen courrier (A320, 737)
2 à 10 m ²	Avion de chasse (gros)
1 à 2 m ²	Avion de chasse (petit)
1 m ²	Homme
0,1 m ²	Missile
0,1 m ²	Bombardier Furtif
0,01 m ²	Drone, Chasseur Furtif
0,001 m ²	Obus

B 52



PSR bande L



- ◆ Radar Primaire de Surveillance Non-Cooperative longue portée dit “En-Route”
- ◆ Bande L (1215-1370 Mhz), Etat solide
- ◆ Portée: jusqu’à 250 NM (400 Km)
- ◆ Autres caractéristiques:
 - Voie météo
 - Altimetrie

ASR



- ◆ Radar Primaire de Surveillance d’approche
- ◆ Bande S (2700-2900 Ghz), Etat solide
- ◆ Portée de 60 à 100 NM
- ◆ Autres caractéristiques:
 - Voie météo
 - Traitement 4G
 - Traitement Eolienne

PAR (Precision Approach radar)



- ◆ Radar Primaire d'approche de précision
- ◆ Bande X (9 à 9.2 Ghz), Etat solide
- ◆ Couverture : ± 15 Az, -1 à -14 El, jusqu'à 22 NM (40 Km) de port
- ◆ Fonctionnement : l'operateur radar informe par radio le pilote de la position de son aéronef par rapport à l'axe de piste et au plan de descente optimal.

SMR (Surface Movement radar)



- ◆ Radar Primaire de détection de mouvement surface aéroportuaire associé au A-SMGCS
- ◆ Bande X (9.1 à 9.5 Ghz) Etat solide
- ◆ Couverture : 360 , jusqu'à 5 NM et 300 m sol

Radar monostatique : Emetteur et récepteur d'un radar partage la même antenne.

Radar bistatique: Système radar où un récepteur secondaire reçoit la diffusion latérale les échos des cibles illuminées par un émetteur principal monostatique, lui-même situé à une distance de plusieurs kilomètres ou dizaines de kilomètres du récepteur secondaire.

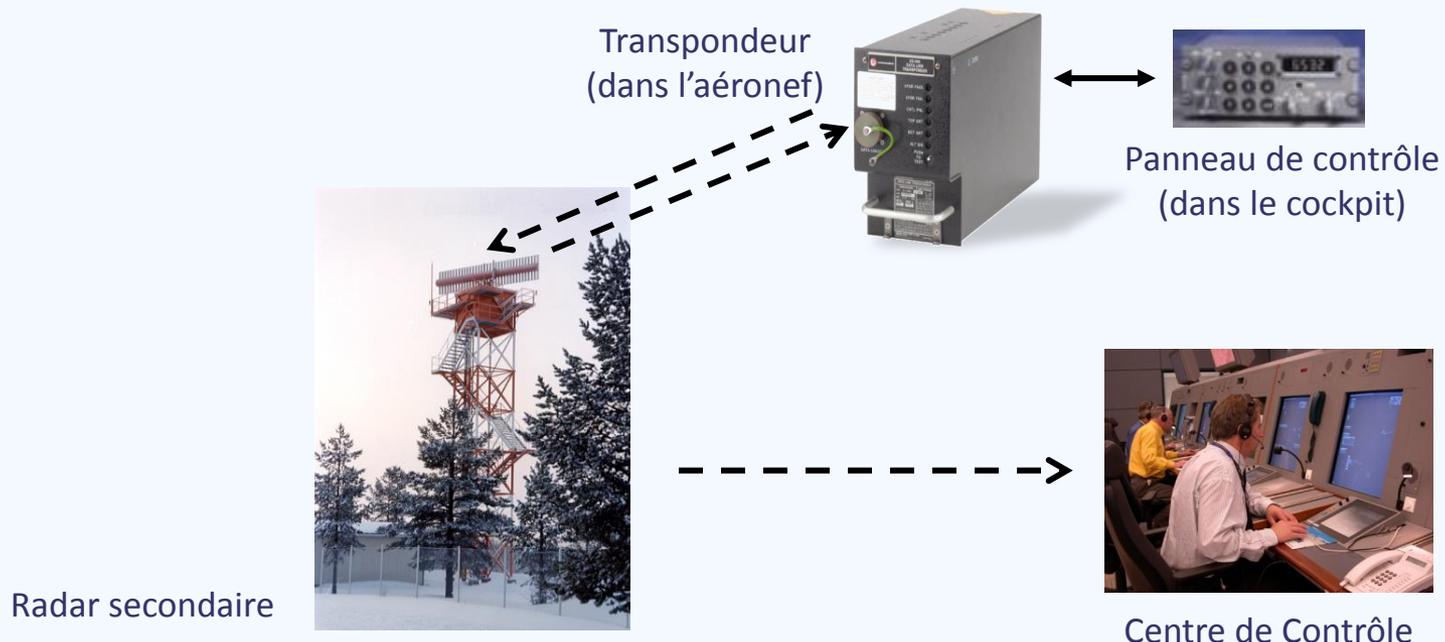
Intérêt :

- Faible coût à l'achat et à l'entretien (si on utilise l'émetteur d'un tiers);
- Pas d'autorisation d'utilisation d'une fréquence (si on utilise l'émetteur d'un tiers);
- Mise en œuvre secrète du récepteur dans les utilisations militaires;
- Bonne résistance aux contre-mesures électroniques car le type d'onde, la fréquence utilisée et la position du récepteur sont inconnus;
- Possibilité d'optimiser la surface équivalente radar (SER) résultante des effets géométriques de la cible.

Le radar secondaire est issu de l'IFF, (Identification Friend or Foe), développé par les Alliés pendant la Seconde Guerre mondiale permet, par interrogation radar, d'identifier les avions "amis" ou "ennemis"

Le radar secondaire (SSR) est composé de deux éléments : une station sol interrogatrice et un transpondeur embarqué dans l'avion. Le transpondeur répond aux interrogations de la station, la renseignant sur sa distance et son azimut.

Les transpondeurs Mode A/C fournissent l'identification (code Mode A) et l'altitude (code Mode C) de l'avion en réponse aux interrogations. Par conséquent, la station connaît la position (en trois dimensions) et l'identité des cibles.



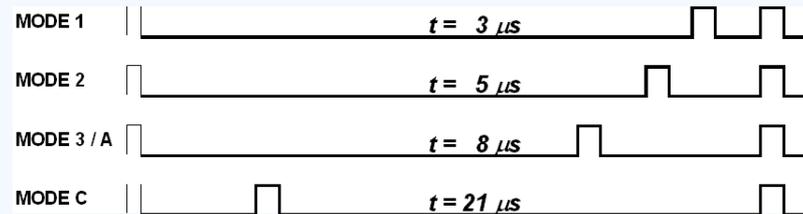
L'Interrogateur du radar secondaire génère des trains d'impulsions (Modes) modulés à destination des aéronefs.

Le transpondeur de l'aéronef détecte ces messages et répond par un train d'impulsions spécifiques (Réponses) contenant des impulsions constituant des mots de données (Codes)

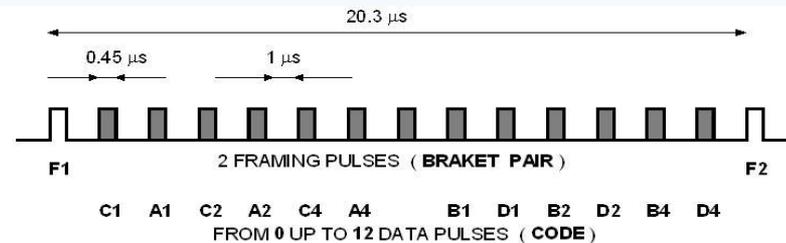
Le Récepteur du radar secondaire reçoit ces signaux avant extraction et pistage

Modes

- 3/A mode alpha : identification avion par un code unique à 4 chiffres (4096 combinaisons)
- C : Information de l'altitude de l'aéronef
- S : Adressage sélectif.
- Modes militaires d'identification ami/ennemi
 - 1 et 2 : identification militaire basique
 - Mode 4 crypté (club dominé par les USA), mode Secure
 - Mode 5 crypté



Interrogations radar secondaire



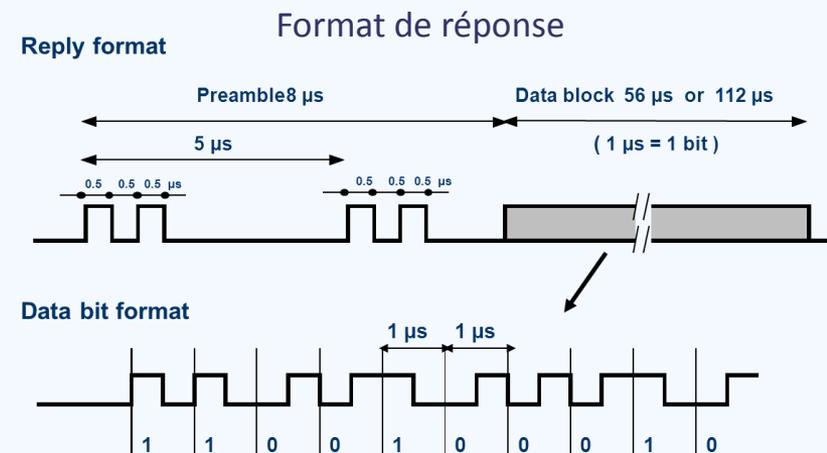
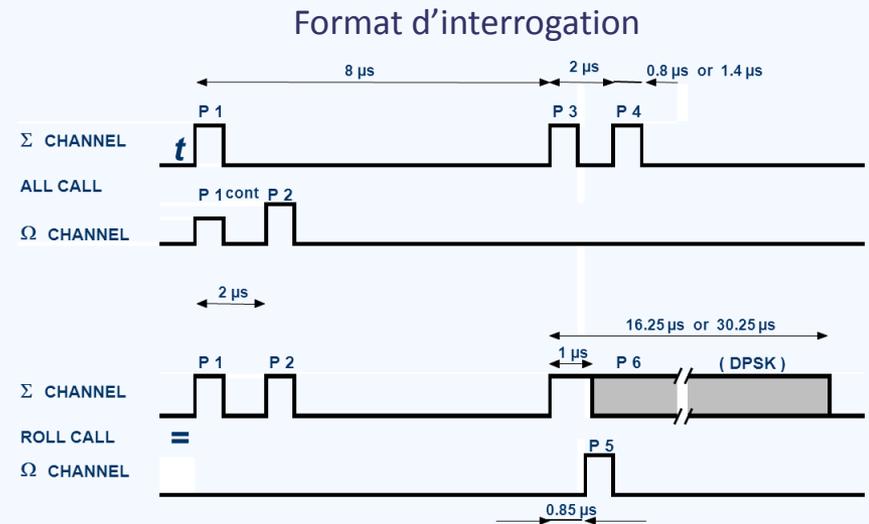
Réponses (Replies) du transpondeur

Le Mode S est une amélioration du Mode A/C.

Il en contient toutes les fonctions, mais permet également une interrogation sélective des cibles grâce à l'utilisation d'une adresse unique codée sur 24 bits, ainsi qu'une liaison de données bidirectionnelle permettant l'échange d'informations air/sol.

Il comporte deux modes :

- Le mode élémentaire (ELS)
- Le mode enrichi (EHS)



- **Le mode S élémentaire (ELS) c'est l'utilisation des informations Aircraft Identification (ACID) et du code 24 bits par le système pour la gestion des vols :**
 - Visualisation de l'ACID par les contrôleurs
 - Corrélation entre un Plan de Vol et une piste radar directement avec l'ACID (attribution d'un code 1000 à l'avion).

- **Le mode S enrichi (EHS) c'est L'enrichissement des applications de surveillance avec des paramètres bord**
 - **On distingue deux services de surveillance enrichie**
 - Le service CAP (Controller Access Parameter : ex SFL, Magnetic heading, indicated airspeed...)
 - Le service SAP (System Access Parameter)

Trois principes fondamentaux émergent

◆ Surveillance non coopérative Indépendante

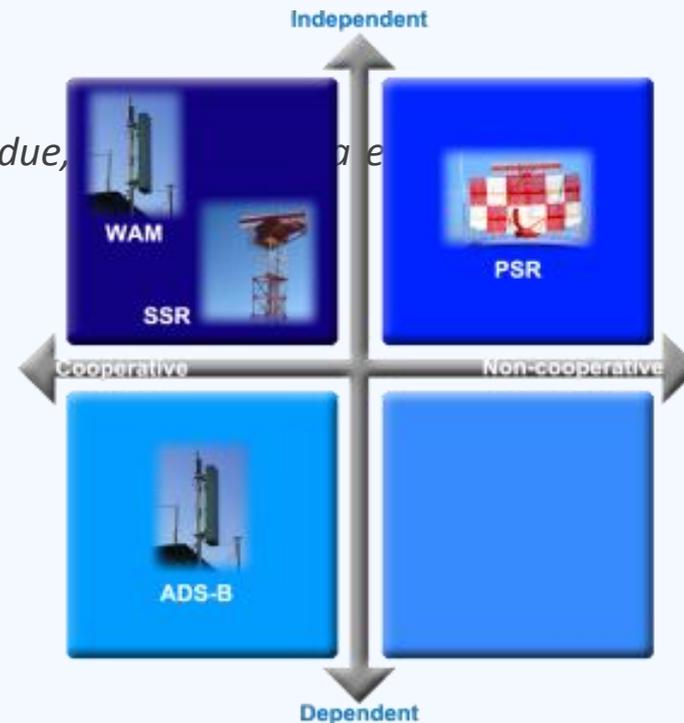
- Position aéronef calculée au sol, ne nécessite aucune avionique
- *Systèmes : Radar primaire (PSR), SMR (radar de détection de mouvement de Surface), MSPSR (PSR multistatique)*

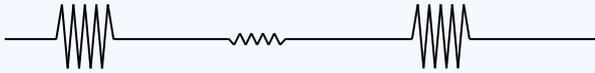
◆ Surveillance Coopérative Indépendante

- Position aéronef calculée au sol, aéronef équipé d'un transpondeur fournissant des informations
- Position de l'avion déterminée par les moyens sol
- *Systèmes : Radar secondaire (MSSR), Multilateration étendue, Multilateration à surface (MLAT)*

◆ Surveillance Coopérative Dépendante

- L'aéronef envoie sa position calculée à bord vers le sol via une liaison de donnée
- *Système : ADS-B et ADS-C*



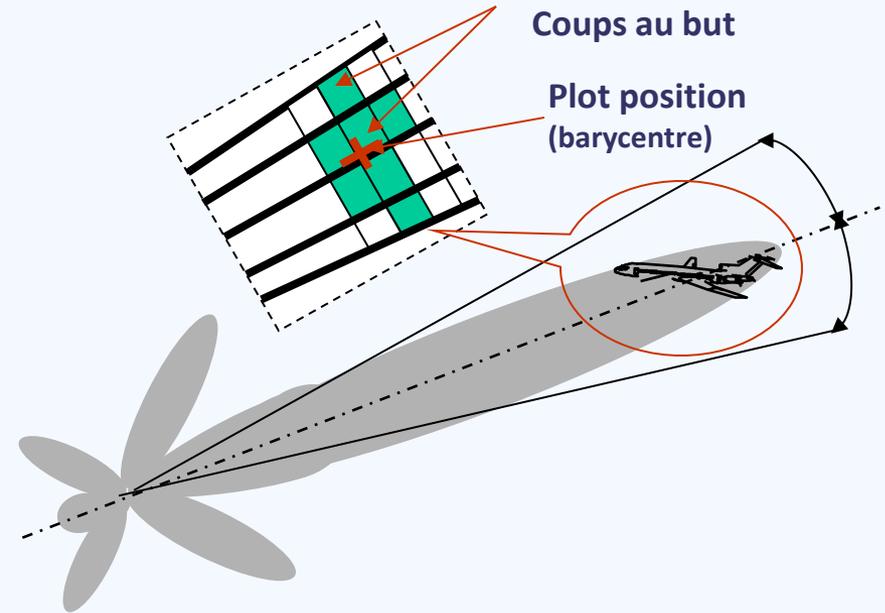
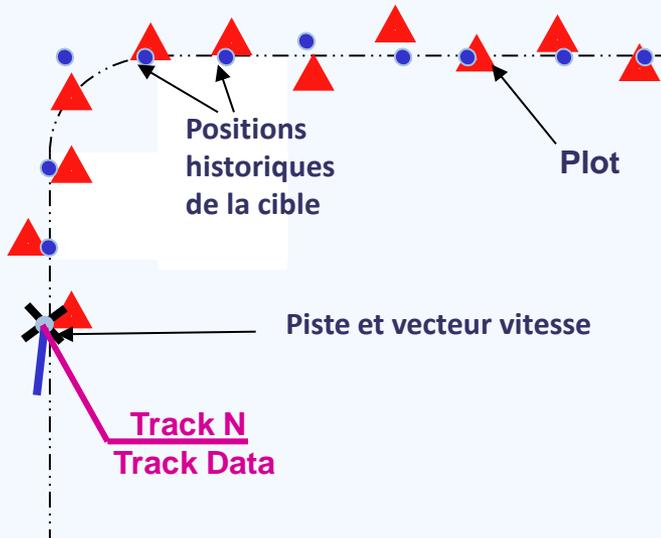


Echo élémentaire = une période radar

Plot : un tour d'antenne

Plot Data = position (range, azimuth, altitude)

Le Plot est issu des échos élémentaires (coups au but) perçus pendant l'illumination de la cible sur le tour d'antenne



Track (Piste) = trajectoire sur plusieurs tours d'antenne
Track data = position, cap, vitesse

Les systèmes de surveillance conventionnels (radars)

- ◆ Radars primaire et secondaire
- ◆ Historique
- ◆ Autres types de radar
- ◆ Notion de surveillance coopérative et non coopérative

Nouvelles technologies de Surveillance aérienne civile

- ◆ ADS-B
- ◆ ADS-C
- ◆ Multilateration (WAM, MLAT)
- ◆ MSPSR

Utilisation des systèmes de surveillance dans le contrôle aérien

- ◆ Contrôles civil et militaire
- ◆ Exigences de la chaine de surveillance
- ◆ Fusion des données de surveillance

Evolution de la surveillance

Conclusions et questions

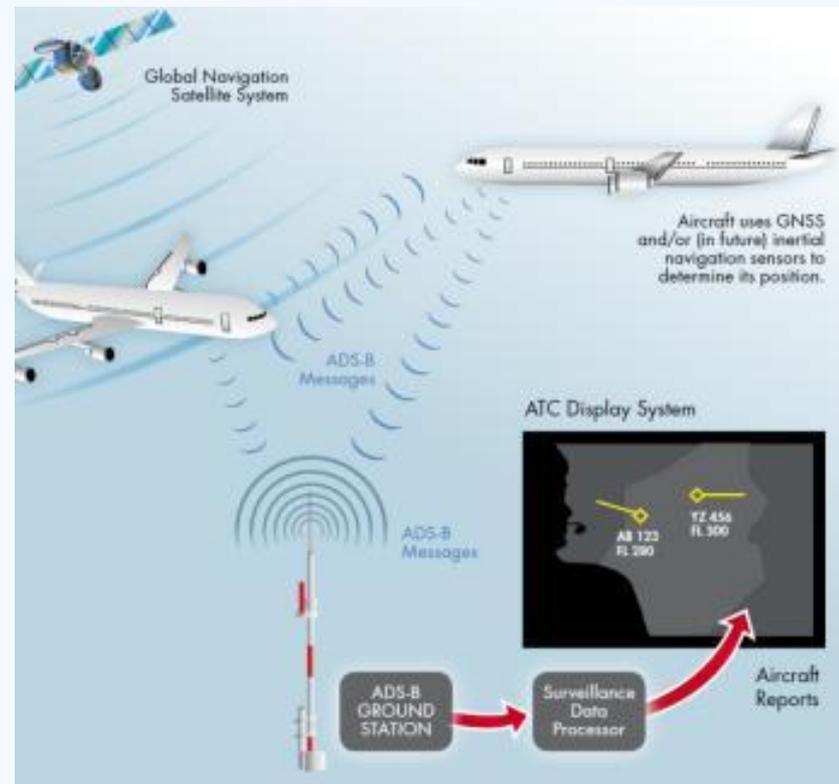
Chaque avion connaît sa position avec précision (GPS, Galileo) et la transmet via un moyen de bord (transpondeur, VHF)

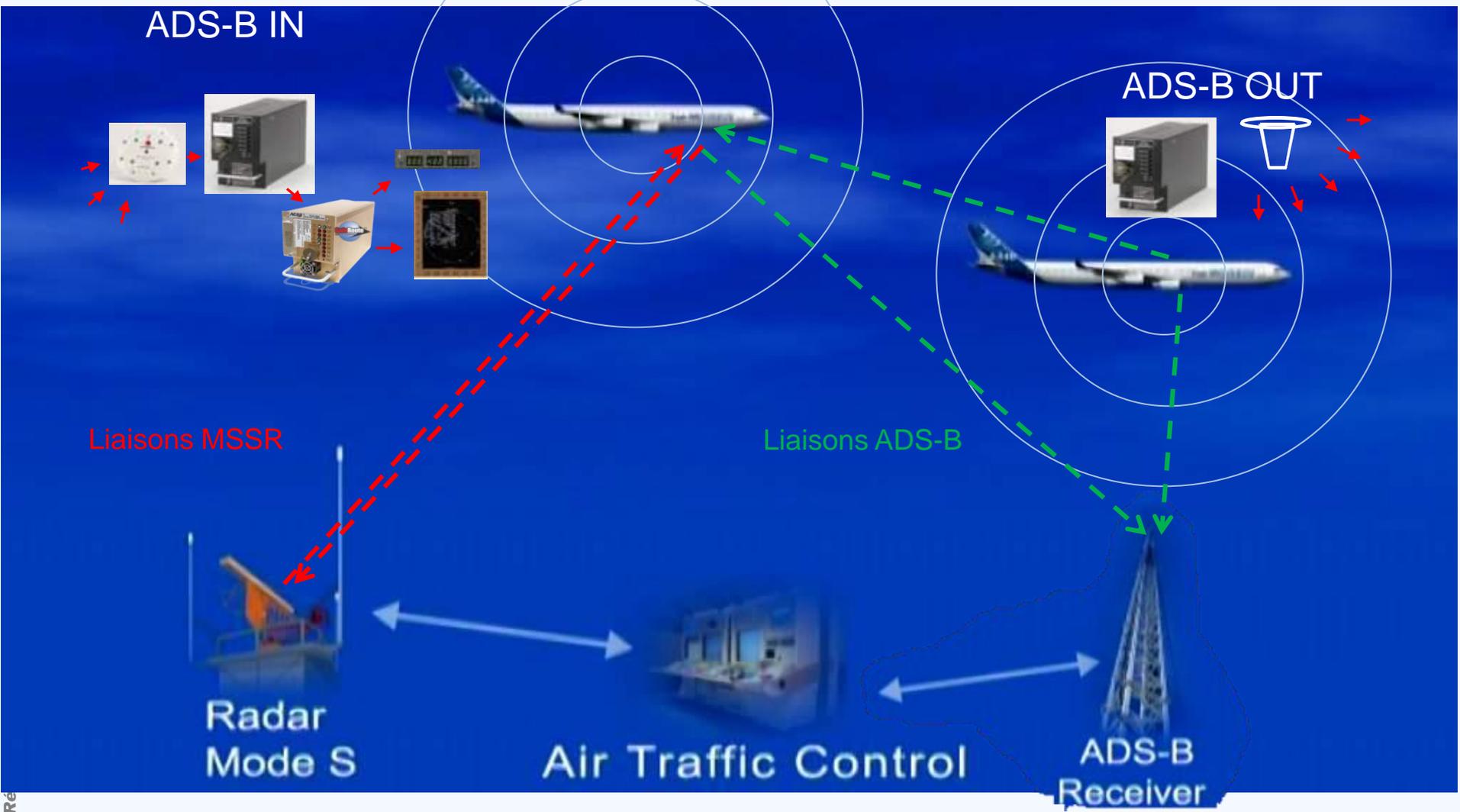
Il s'agit d'un moyen de surveillance

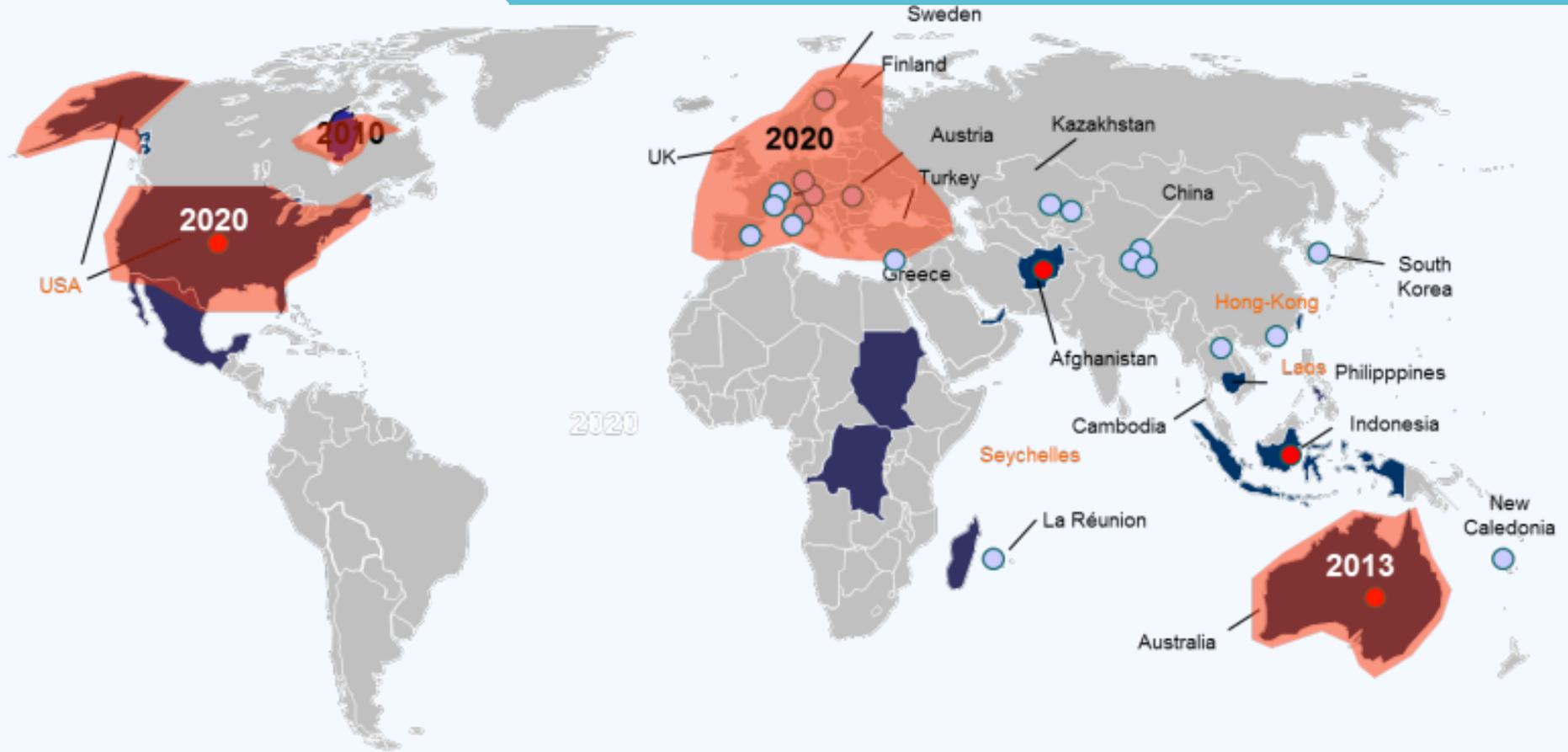
- Coopératif : l'avion se signale
- Dépendant : d'un moyen de bord.

ADS-B : Automatic Dependant Surveillance – Broadcast

- L'avion diffuse régulièrement sa position à tout récepteur ADS-B
 - Centre de contrôle Sol
 - Autre avion équipé d'une récepteur ADS-B
- Cadence de l'ordre de quelques secondes (approche, en route)

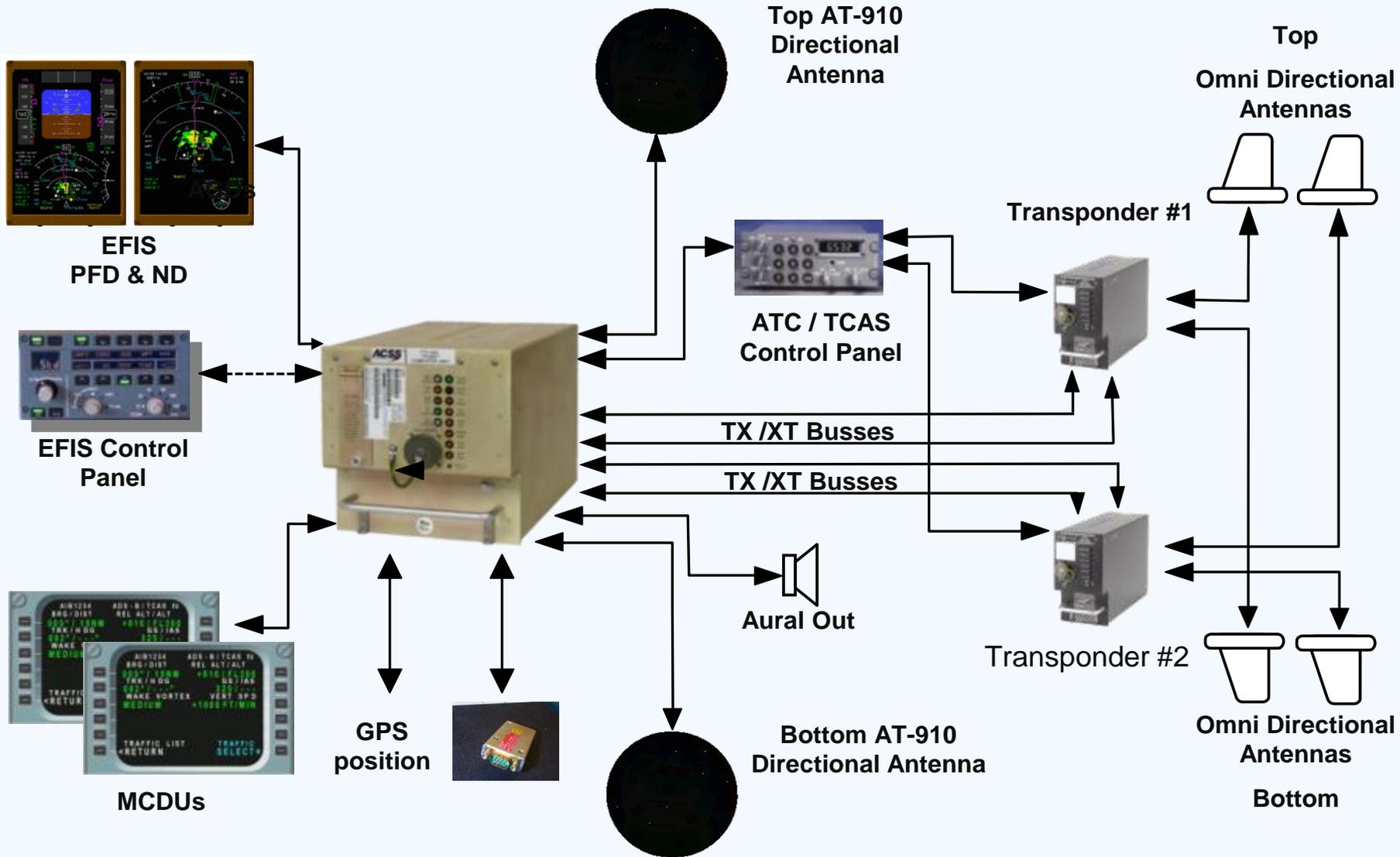






-  Region currently covered by ADS-B
-  Aircraft equipment mandates

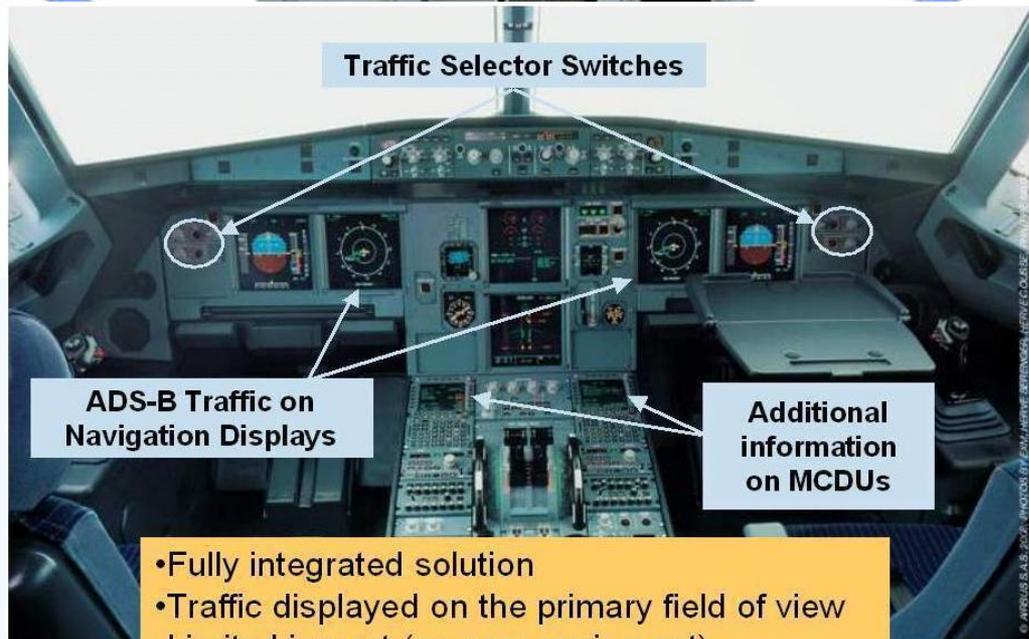
MSSR & ADS-B & ACAS avionics architecture



Traffic Selector in

A320 Family Cockpit

A330/A340 Cockpit



© AIRBUS S.A.S. 2009. PHOTOS BY GUY HERVE BERENSON, RETIÉ COURSE

By default

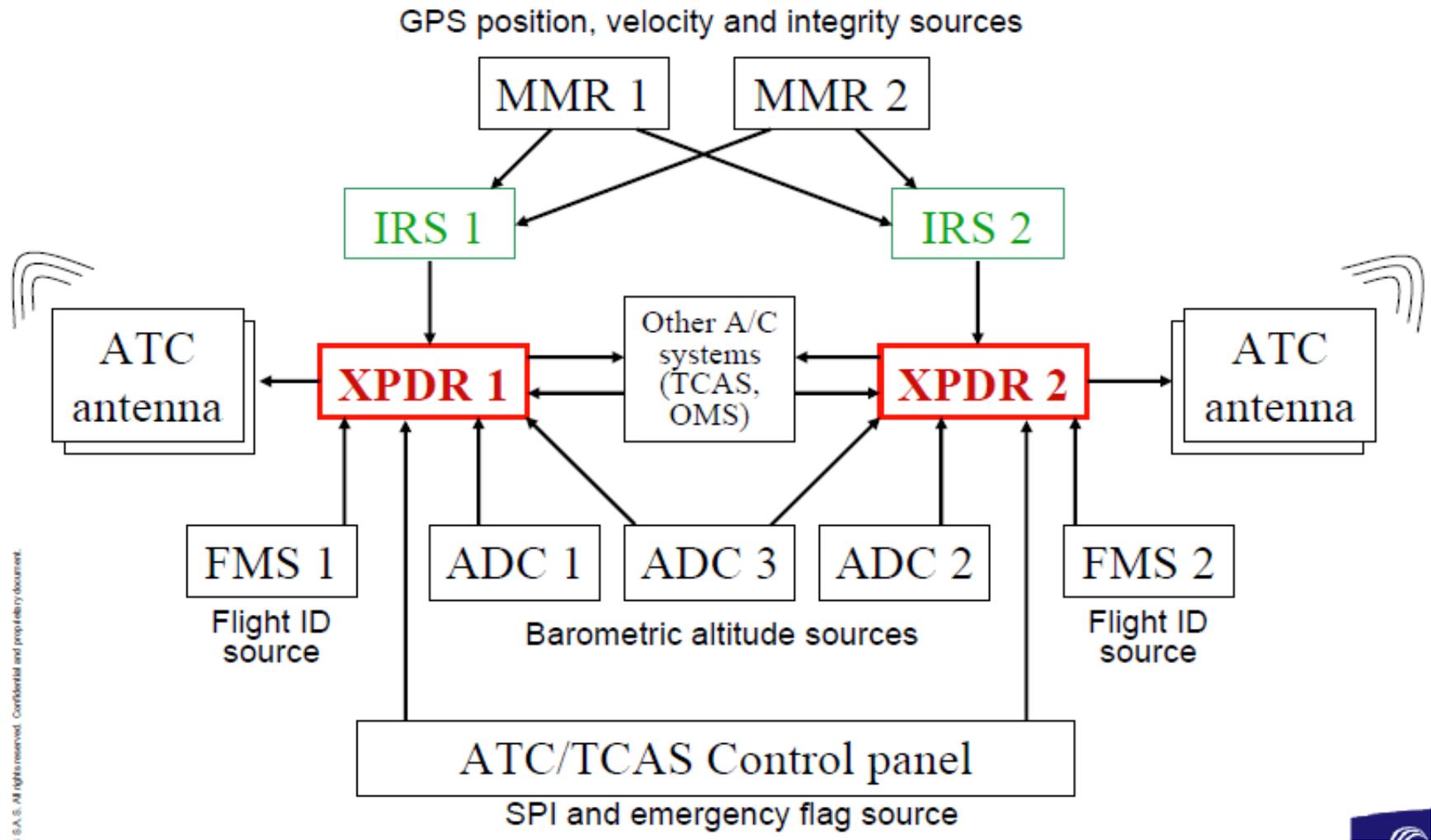
- Position
- Orientation
- Relative Altitude
- Vertical Tendency

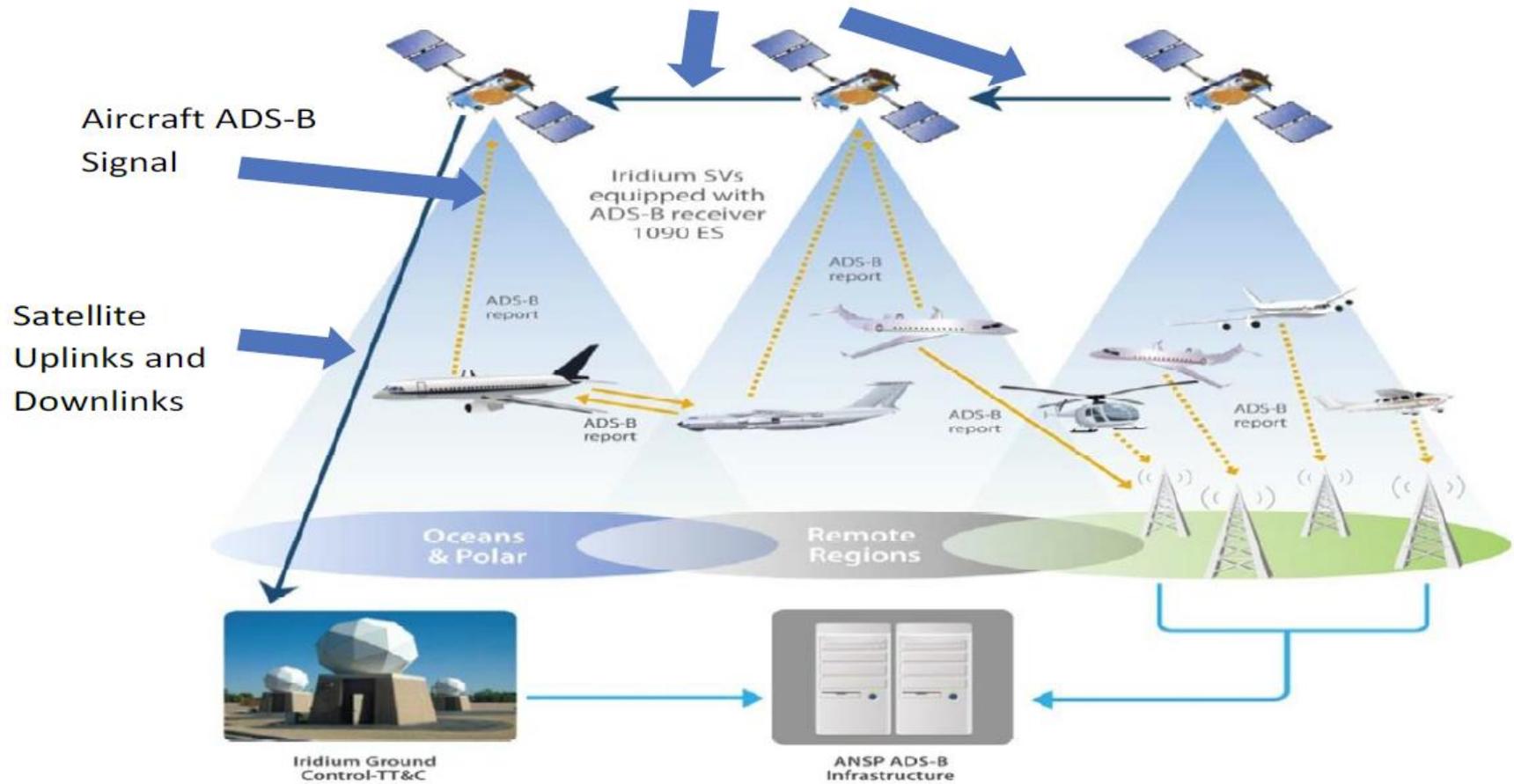
Using the traffic selector, one aircraft can be selected



- Default information +
- A/C ident
- Ground Speed
- Wake Vortex category







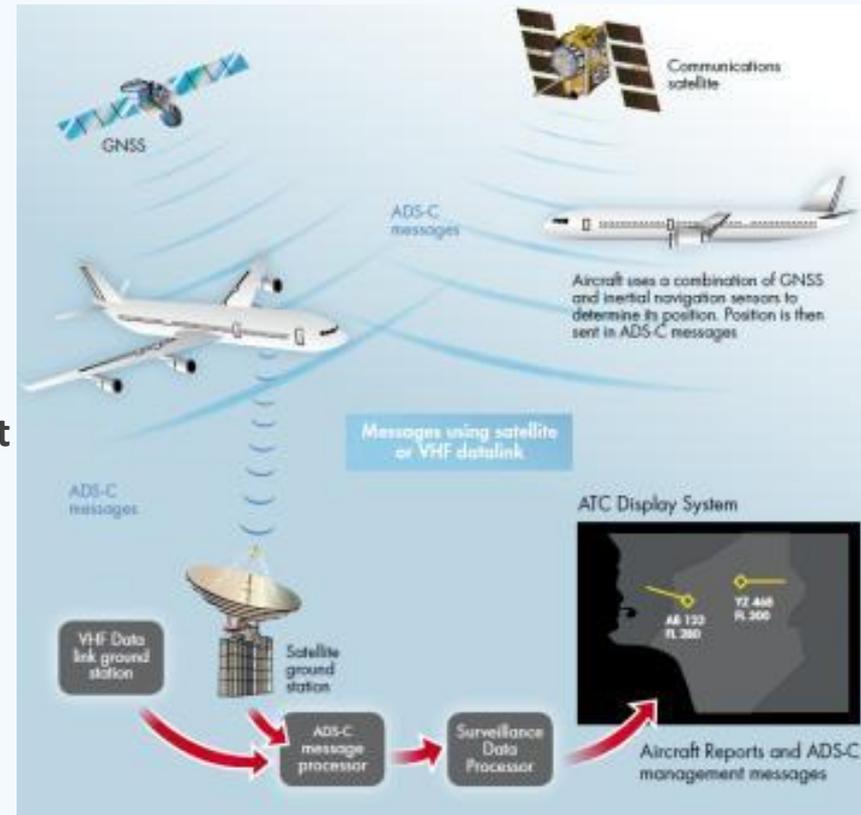
- Installation d'une charge utile ADS-B (récepteur ADS-B) sur la nouvelle constellation de satellites IRIDIUM
- Service disponible dès 2018 (principalement pour les zones océaniques ou désertiques)

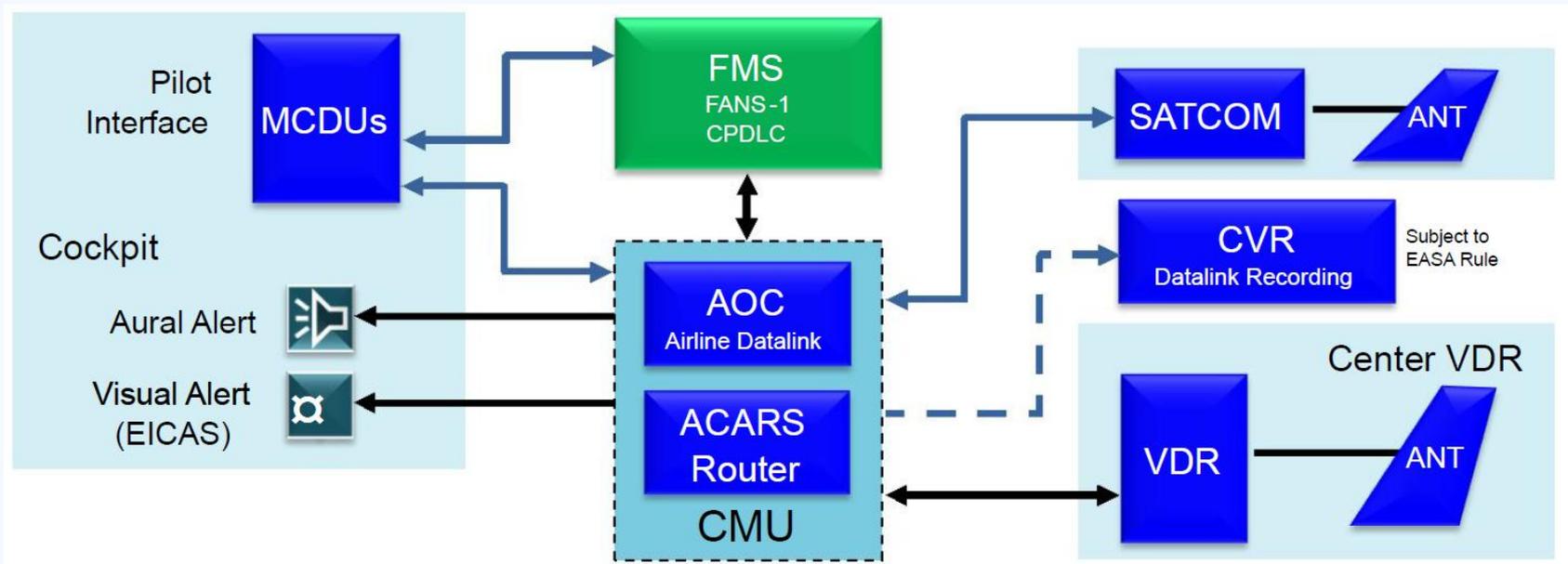
Moyen de surveillance

- Coopératif : l'avion se signale
- Dépendant : d'un moyen de bord.

ADS-C : Automatic Dependant Surveillance – Contract

- Etablissement d'un contrat entre une station sol et l'avion
- Diffusion selon les règles du contrat de la position par l'aéronef et données annexes
- Liaison de données
- Utilise des moyens satellites ou radio: cadence de l'ordre de la minute
- Surveillance des vols transocéaniques ou au-dessus de régions désertiques dépourvues de couverture radar ou ADS-B





Réseau distribué de stations sol (de 4 à n stations en fonction de la zone à couvrir) qui interrogent les transpondeurs avion ou écoutent de façon passive.

Multilateration (et non triangulation) pour déterminer la position précise de l'appareil dans l'espace.

Fiabilité accrue du fait de la multiplicité de données

Deux utilisations :

- WAM (Wide Area Multilateration) : multilateration étendue
- MLAT (Local Area Multilatération): multilateration pour la surveillance de surface des aéroports

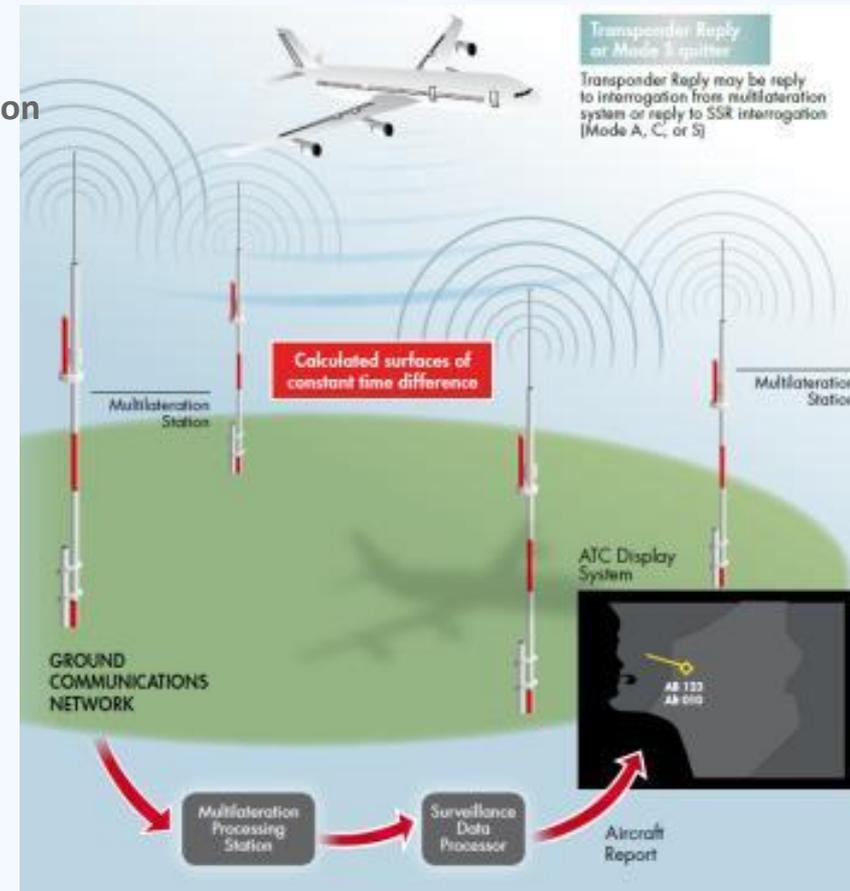
Adaptée aux terrains difficiles. Permet de s'affranchir du relief.

Peut être utilisée pour

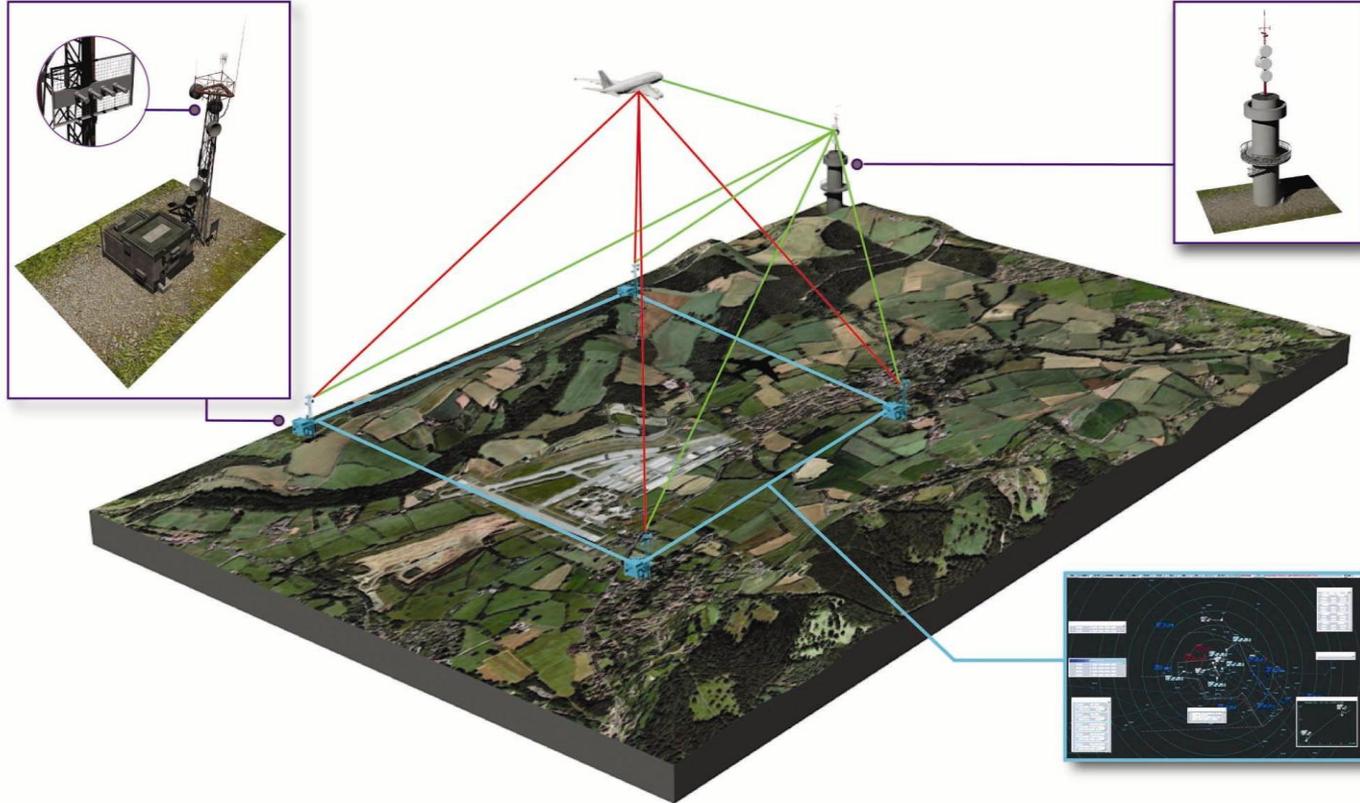
- Contrôle en route,
- Approche,
- Gap-filler
- Gestion des mouvements au sol (A-SMGCS).

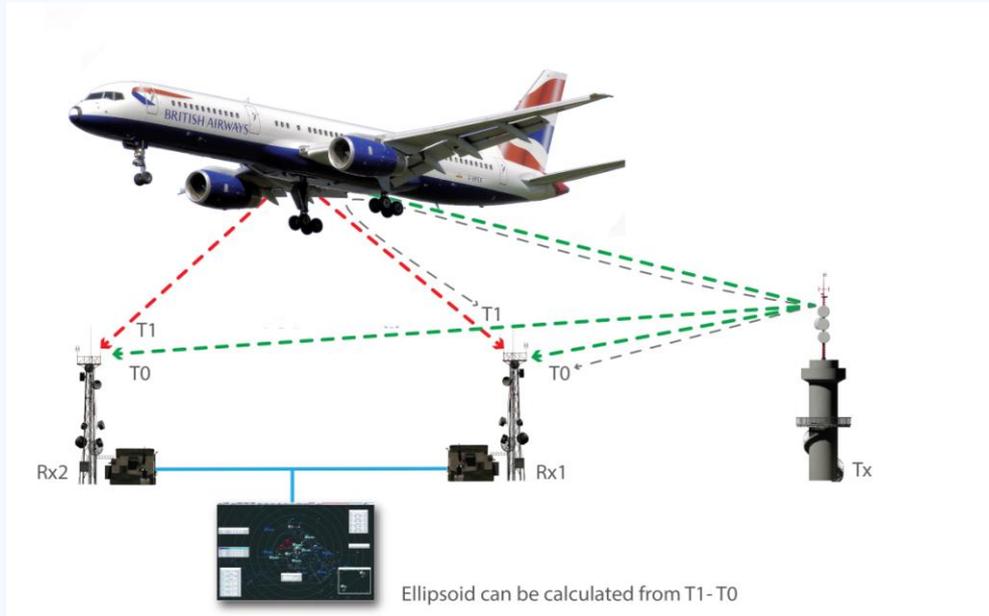
Taux de rafraîchissement adapté au trafic dense.

Economique pour les zones peu étendues (dans un rayon de 80 miles nautiques)



- Utilisation de l'énergie des émetteurs civils existants (télévision –DVBT-, radio –FM-) pour illuminer l'aéronef, comme avec un PSR,
- Un réseau de récepteurs dédiés récupère les ondes réfléchies et celle du trajet direct
- Fusion des données pour fournir la position en 3D de l'appareil.
- Plusieurs modes : passif, semi-passif, actif



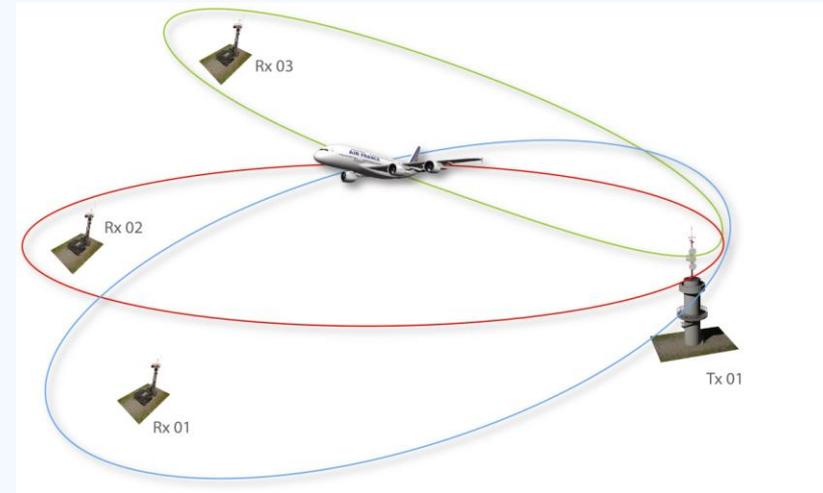


Intérêt du MSPSR

- Coût inférieur au PSR (mais volume plus limitée)
- Pas d'émission (en mode passif)
- Meilleure tenue aux Eoliennes
- Empreinte spectrale nulle (en mode passif)

Limitations du MSPSR

- Portée limitée (30 à 40 Nm)
- Plafond de couverture limitée (en mode passif)
- Pas d'information météo



Les systèmes de surveillance conventionnels (radars)

- ◆ Radars primaire et secondaire
- ◆ Historique
- ◆ Autres types de radar
- ◆ Notion de surveillance coopérative et non coopérative

Nouvelles technologies de Surveillance aérienne civile

- ◆ ADS-B
- ◆ ADS-C
- ◆ Multilateration (WAM, MLAT)
- ◆ MSPSR

Utilisation des systèmes de surveillance dans le contrôle aérien

- ◆ Contrôles civil et militaire
- ◆ Exigences de la chaine de surveillance
- ◆ Fusion des données de surveillance et visualisation

Evolution de la surveillance

Conclusions et questions

Civil : Contrôle aérien ou Contrôle de la circulation aérienne

- ◆ Prévenir les collisions (aéronef/aéronef et obstacle)
- ◆ Accélérer et ordonner la circulation aérienne

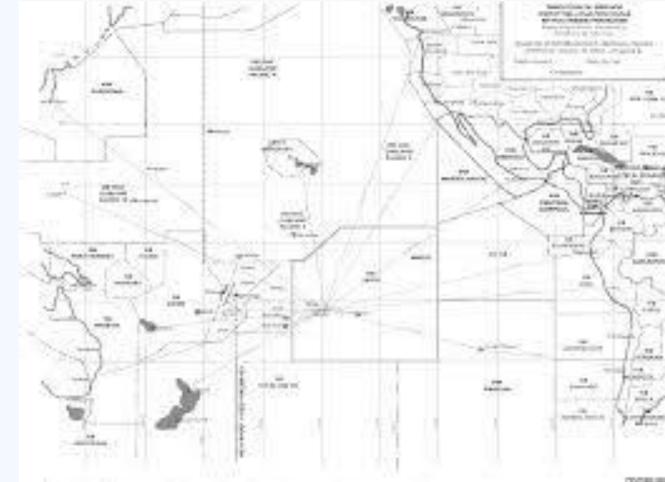
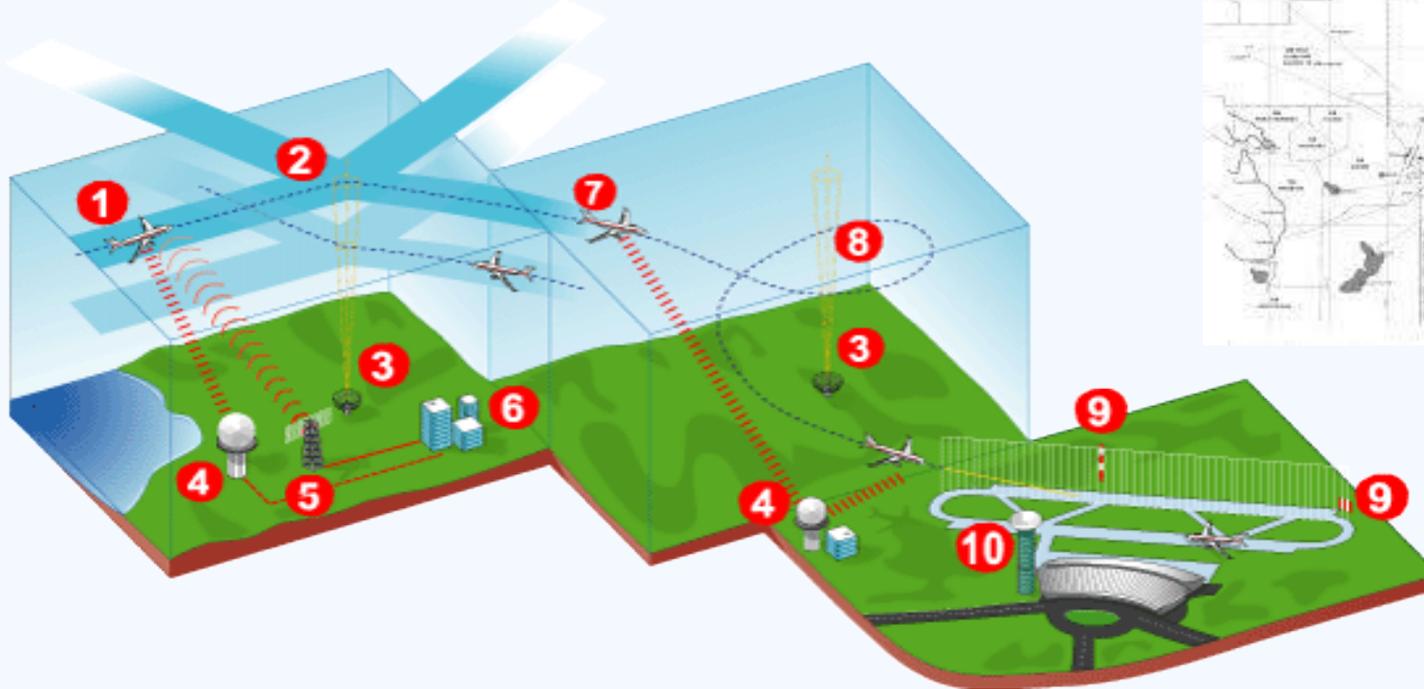


Militaire : Posture permanente de sûreté aérienne

- ◆ Faire respecter la souveraineté nationale dans l'espace aérien français et assurer la défense du territoire contre toute menace aérienne.
- ◆ suivi systématique des vols
- ◆ En cas d'écart, sur ordre du commandement de la défense aérienne et des opérations aériennes, intervention des moyens des armées placés en alerte.
- ◆ Mesures actives de sûreté aérienne (MASA)
 - font appel à des moyens actifs (intercepteurs ou armement sol-air),
 - permettent de rechercher l'identité d'un aéronef, d'observer son comportement, de lui faire appliquer une obligation, une restriction ou une interdiction, de l'avertir (tir de semonce), voire de le détruire.



FIR : Région d'information de vol



1 Avion entrant dans un secteur de contrôle,

2 Couloir aérien,

3 Balise radio,

4 Radar

5 Émetteur/récepteur radio

6 Centre en route de la navigation aérienne,

7 Avion entrant dans un secteur d'approche,

8 Circuit d'attente,

9 Balise pour l'atterrissage aux instruments (ILS),

10 Tour de contrôle et radar de contrôle au sol.

Contrôle en route : progression des avions évoluant en dehors des zones proches des aéroports : le long des routes aériennes.

◆ **En-route continental:**

- séparation aéronefs: de 10 Nm à 5 Nm
- Mise à jour des données < 5 à 8 sec
- Précision horizontale < 350 m

◆ **Océans et des espaces inhabités**

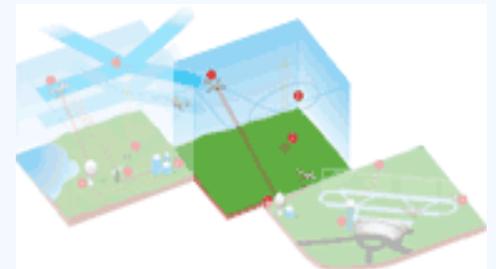
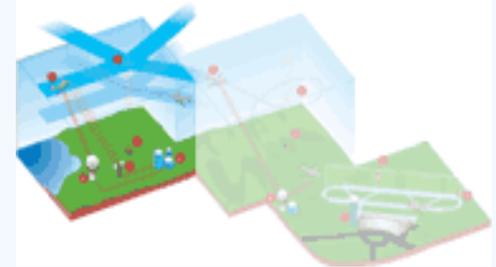
- Séparation : de 80 Nm à 30 Nm
- Fréquence de mise à jour de 30 sec à 15 min

Contrôle d'approche : phases d'approche et décollage

- Séparation : de 10 à 2,5 Nm
- Fréquence de mise à jour > de 6 à 1 sec
- Précision horizontale : < 210 m

Contrôle d'aérodrome (surface aéroportuaire)

- ◆ Surveillance électronique par SMR et MLAT (précision < 7.5m)
- ◆ Surveillance visuelle effectuée par la vigie de la tour



Exigences operationnelles et moyens de surveillance

	Densité de Trafic	Séparation (Précision)	Solutions actuelles	Futur ?
En-Route				
Espaces aériens supérieurs et inférieurs	haute	≤ 5 Nm (350m)	2 MSSR Mode-S + 1 PSR longue portée (Opt)	WAM => ADS-B 1 Mode-S MSSR + 1 PSR longue portée (Opt)
	Medium	5 to 30 NM (0,1 Nm)	1 MSSR	1 MSSR ou ADS-B
	Faible (continental)	30 Nm (0,1 Nm)	ADS-C/ADS-B	ADS-C / ADS-B
	faible (Oceanique)	30 to 80 Nm (0,1 Nm)	ADS-C	ADS-C / ADS-B (Sat)
Terminal				
	haute	3 NM (210m)	2 Mode-S MSSR + 1 PSR approche	1 MSSR /WAM + 1 PSR approche
	Medium	3 –10 NM (350 m)	1 MSSR 1 PSR (opt)	WAM 1 PSR (opt)
	faible	-		ADS-B

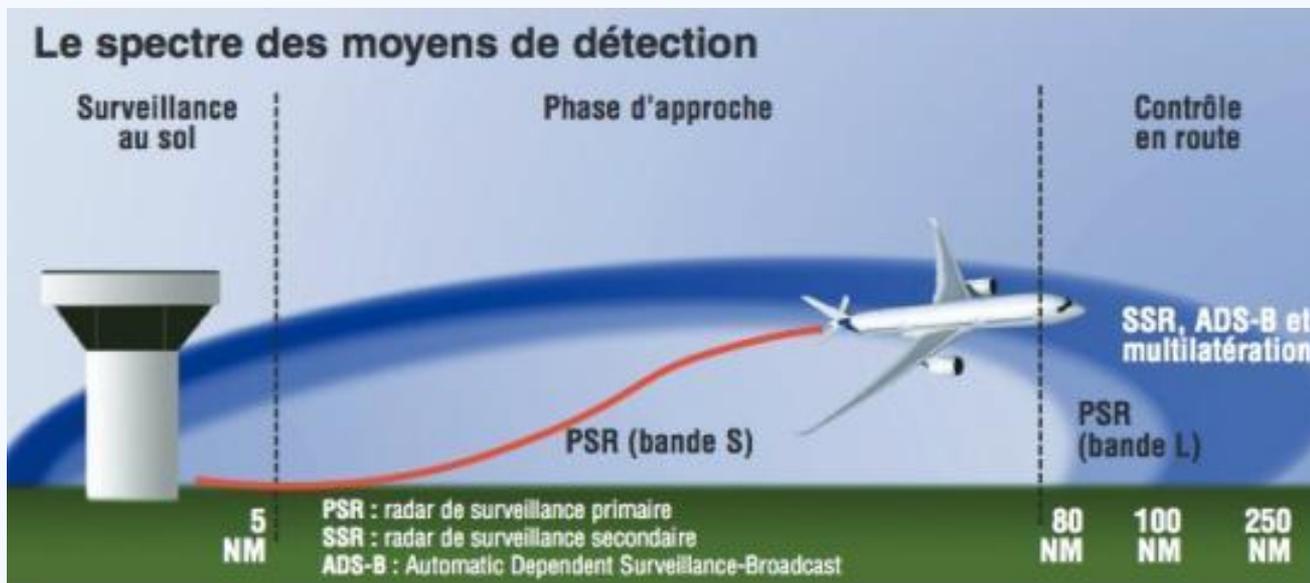
Peut varier en fonction des fournisseurs de services de navigation aérienne

Traffic Aérien civil

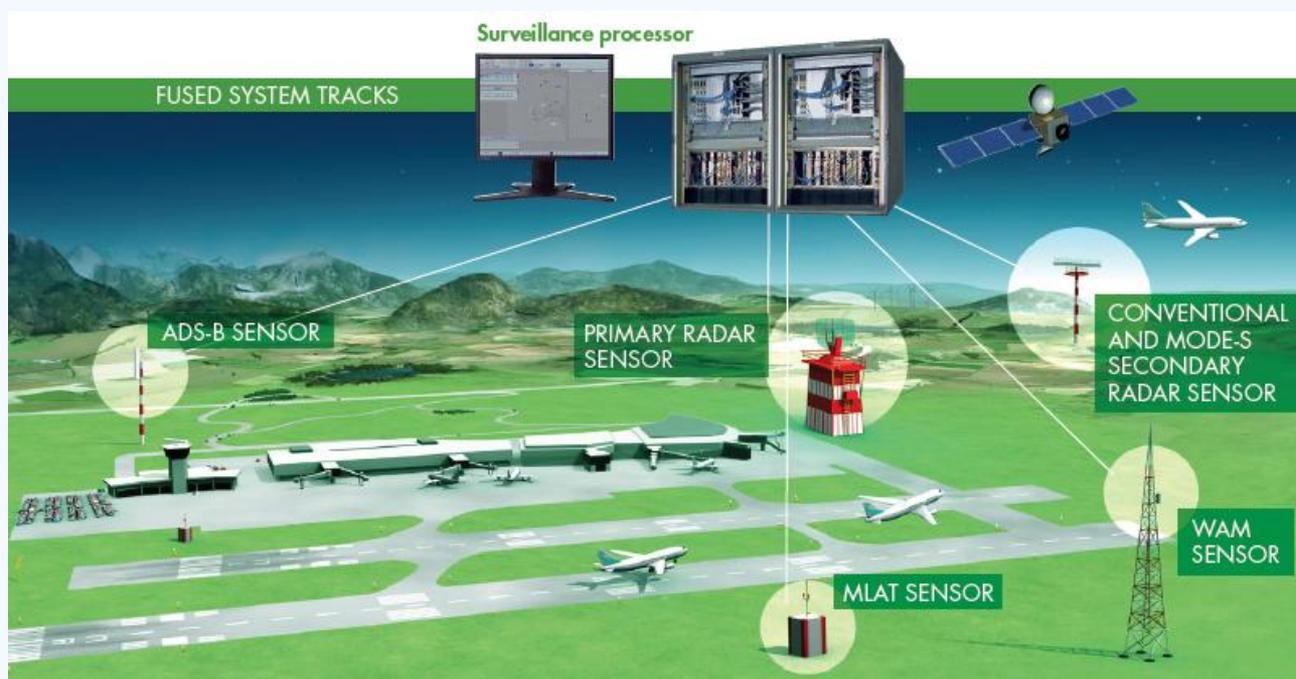
- Radars primaires 2D
- Radars secondaires et/ou balises ADS-B
- ADS-C
- WAM (Wide Area Multilateration)
- Fusion de donnée et visualisation dans les Centres de contrôle ATC

Opérations de sureté aérienne

- Radars primaires 3D
- Radars secondaires (modes A/C et S) civils et militaires (IFF modes 1, 2 4 &5)
- Centres de commandement et de contrôle



- Les centres de contrôle doivent intégrer des systèmes de fusion et pistage multi-senseurs en remplacement des systèmes de poursuite multi-radar.
- Ce système de fusion/pistage combine toutes les données issues des différents senseurs de manière à créer une piste unique à destination des système de visualisation.
- Concernant la qualité des senseurs, le système de fusion vise à prendre le meilleur de chacun des senseurs et éliminer l'influence de leur défauts.



Surveillance
Cooperative



Monitoring des Performances de la chaine de Surveillance

Supervision & Maintenance

Système(s) ATC



Système de fusion/pistage multi-senseur (Chaines Principale et Secours)

Surveillance
Non Cooperative





Caractéristiques des systèmes de surveillance coopératifs

Senseur	MSSR	ADS-B	ADS-C	WAM
Principe	Mesure distance et mesure angulaire	Dépendant (position mesurée par avionique)	Dépendant (position mesurée par avionique)	Multilatération sur la mesure de différence de temps
Portée	250 Nm (en espace libre)	250 Nm (en espace libre)	Illimitée en SATCOM et 250 Nm en VDL	80 Nm par cellule
Info altitude Plafond	Oui (Baro-Alti) 60. 000 ft	Oui (Baro-Alti) 60. 000 ft	Oui (Baro-Alti) 60. 000 ft	Oui (Baro-Alti) 30.000 ft
Identification	Oui	Oui	Oui	Oui
Type de Transmission	Interrogation/réponse	Diffusion (Broadcast)	Diffusion (contrat)	Interrogation réponse
Acquittement	Oui	Non	Oui	Non
Liaison de données	Oui	Oui	Oui	Oui
Standard OACI	Oui	Oui	Oui	Non
Avionique nécessaire	Oui (transpondeur de base A/C et S)	Oui (Transpondeur avec capacité ADS-B)	Oui (ATSU et SATCOM et/ou VDL)	Oui (transpondeur A/C et/ou S)
Taux d'équipement embarqué	Tout aéronef équipé d'un transpondeur	> 60 % aéronefs commerciaux	> 30 % aéronefs commerciaux	Tout aéronef équipé d'un transpondeur
Taux de rafraich.	4 à 6 sec.	1 sec	> 60 sec	1 à 8 sec
Cout communications	Aucun	Aucun	Oui	Aucun
Utilisateurs	> 500	> 500	1 à 4	> 500
Usage attendu	Continental terrestre	Continental terrestre Océanique, désertique	Océanique, désertique	Continental terrestre
Services associés	Liaison de données TIS	Liaisons de données TIS-B, FIS-B	Liaisons de données	Non
Prix marché moyen (hors installation)	1500 K€	100 K€	Dépend avionique	700 K€ (cellule de base)

Senseur	PSR d'approche	PSR en-route	MSPSR	SMR
Principe	Mesure distance et mesure angulaire	Mesure distance et mesure angulaire	Multilatération sur la mesure de différence de temps (plots bi-statiques)	Mesure distance et mesure angulaire
Portée	60 à 80 Nm (en espace libre)	220 Nm (en espace libre)	30 X 30 Nm pour la cellule de base	5 Nm
Mesure Altitude Plafond	Non 30. 000 ft	Non 50. 000 ft	Possible 10. 000 ft	Non 2.000 ft
Identification aéronef	Non	Non	Non	Non
Type de Transmission	Interrogation/réponse	Interrogation/réponse	Interrogation/réponse	Interrogation/réponse
Acquittement	Non	Non	Non	Non
Liaison de données	Non	Non	Non	Non
Standard OACI	Oui	Oui	Non	Oui
Avionique nécessaire	Non	Non	Non	Non
Taux de rafraich.	4 à 6 sec.	10 à 15 sec	< 2 sec	1 sec
Cout communications	Aucun	Aucun	Oui réseau inter-sites	aucun
Nombre d'utilisateurs	➤ 200	> 500	> 200	➤ 50
Usage attendu	Approche aéroport	En-route	Approche aéroport	Surface aéroport
Services associés	Non	Non	Non	Non
Prix marché moyen (hors installation)	3000 K€	6000 K€	1500 K€	500 K€

Les systèmes de surveillance conventionnels (radars)

- ◆ Radars primaire et secondaire
- ◆ Historique
- ◆ Autres types de radar
- ◆ Notion de surveillance coopérative et non coopérative

Nouvelles technologies de Surveillance aérienne civile

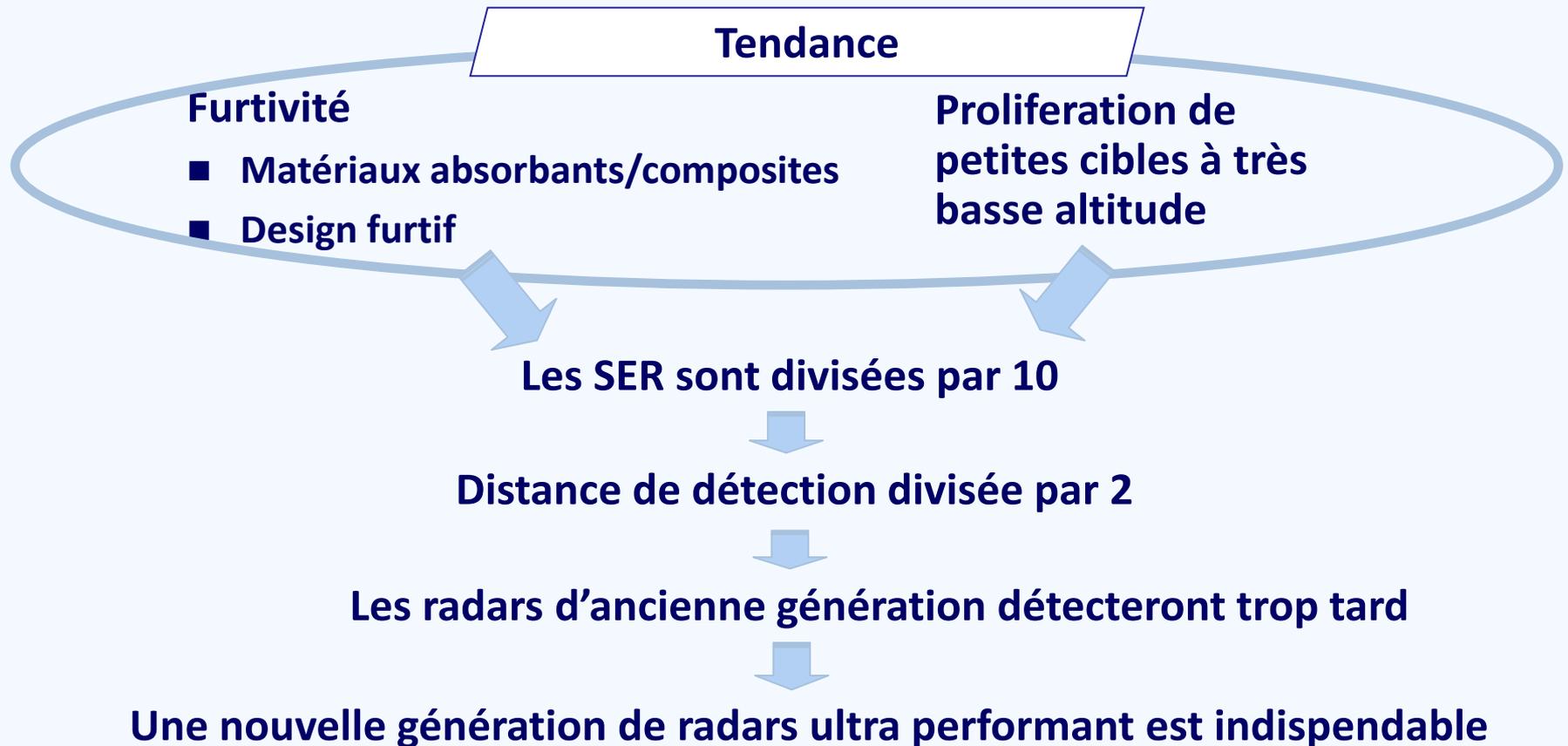
- ◆ ADS-B
- ◆ ADS-C
- ◆ Multilateration (WAM, MLAT)
- ◆ MSPSR

Utilisation des systèmes de surveillance dans le contrôle aérien

- ◆ Contrôles civil et militaire
- ◆ Exigences de la chaine de surveillance
- ◆ Fusion des données de surveillance et visualisation

Evolution de la surveillance

Conclusions et questions

**Exigences:**

- Grande capacité de détection
- Grande portée de détection
- Durée de mise à jour rapide
- Grande disponibilité

- **Evolution du paysage**

- Densification du trafic
- Drones
- Eoliennes
- Météo



- **Mise en œuvre de nouveaux équipements**

- ADS-B
- ADS-C
- Multilatération
- Radar passif



- **Evolutions majeures en cours**

- Sesar en Europe
- NextGen aux USA





En-Route Surveillance Capabilities

- ADS-C Operational
- ADS-C Not yet operational

Les systèmes de surveillance conventionnels (radars)

- ◆ Surveillance coopérative et non coopérative
- ◆ Historique
- ◆ Radar primaire
- ◆ Radar secondaire

Nouvelles technologies de Surveillance

- ◆ ADS-B
- ◆ ADS-C
- ◆ MSPSR

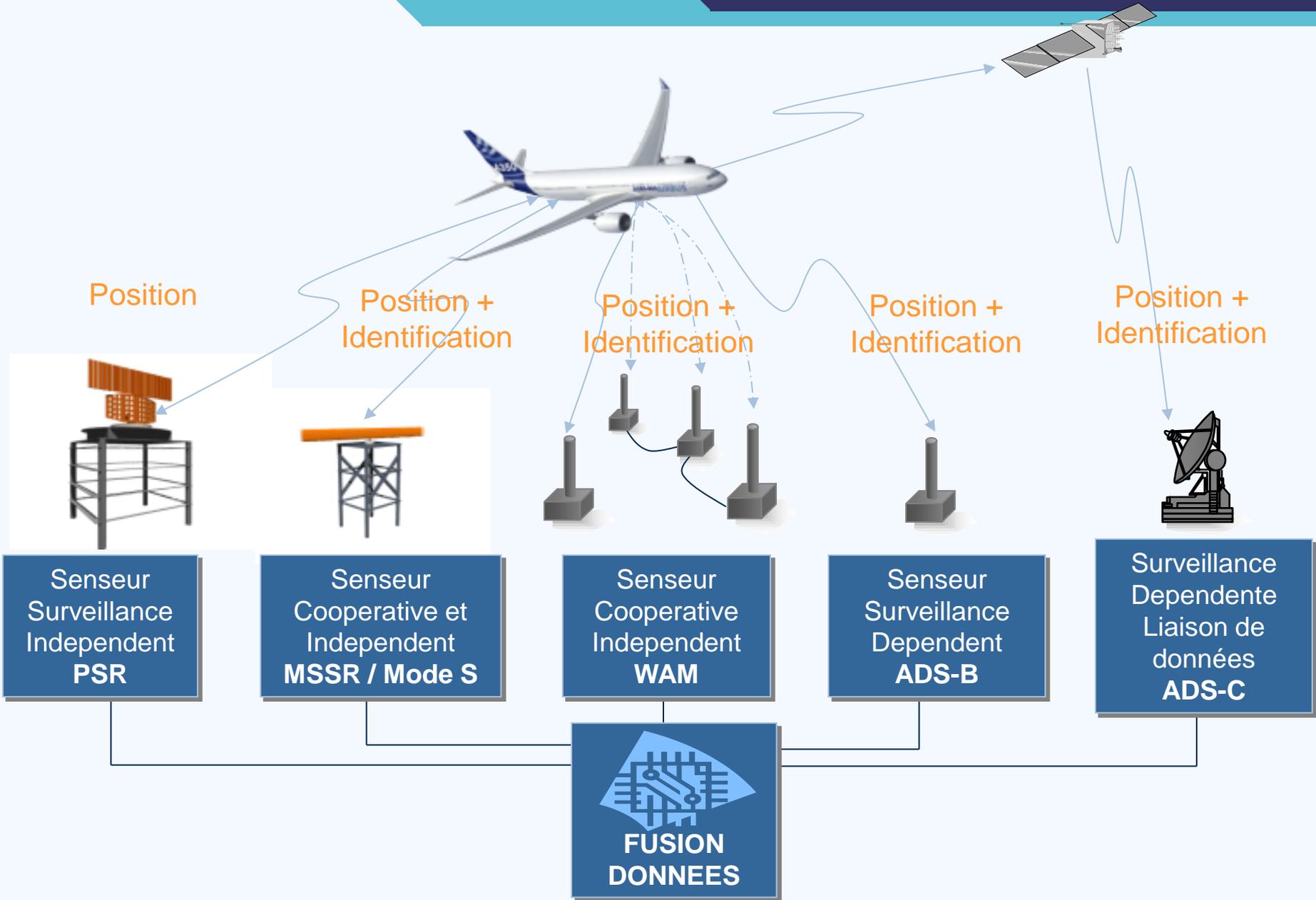
Utilisation des systèmes de surveillance dans le contrôle aérien

- ◆ Contrôles civil et militaire
- ◆ Exigences de la chaine de surveillance
- ◆ Fusion des données de surveillance et vosulisation

Evolution de la surveillance

Conclusions

Conclusion : Large gammes de senseurs



- **Le radar secondaire (MSSR) est l'outil de base pour le contrôle de trafic aérien civil.**
- **Le radar primaire sera conservé pour les missions de sécurité**
- **L'ADS-B va devenir un moyen primaire dans la surveillance civile en complément (ou remplacement) du MSSR.**
- **Le Radar primaire d'approche est principalement utilisé dans les "grandes approches" civiles. Il pourrait être complété ou remplacé par le MSPSR "passif ou semi actif"**
- **Dans l'attente du taux d'équipage ADS-B suffisant, la multilatération étendue (WAM) devrait se développer.**
- **La tendance est de:**
 - Spécifier une solution de surveillance en sortie du système de fusion et non plus au niveau des senseurs
 - Confier à un tiers la mise en œuvre d'un service de surveillance



Merci pour votre Attention.



ADS-B	Automatic Dependent Surveillance - Broadcast	Surveillance Dépendante Automatique - mode Diffusion
ADS-C	Automatic Dependent Surveillance - Contract	Surveillance Dépendante Automatique - mode Contrat
A-SMGCS	Advanced Surface Movement Guidance and Control System	Système avancé de contrôle et guidage des mouvements de surface
ATC	Air Traffic Control	Contrôle du trafic aérien
DF	DownLink Format	Format de liaison descendante
DVBT	Digital Video Broadcast System	Système de diffusion vidéo digitale
ES	Extended Squitter	Squitter étendu
FIR	Flight Information Region	Région d'Information de Vol
FMS	Flight Management System	Système de Gestion du vol
GNSS	Global Navigation Satellite System	Système global de navigation par satellite
GPS	Global Position System	Système Global de positionnement
ICAO	International Civil Aviation Organisation	Organisation Internationale de l'Aviation Civile
IFF	Identification Friend/Foe	Système d'identification ami/ennemi
ILS	Instrument landing System	Système d'atterrissage aux Instruments
LAM	Local Area Multilateration	Multilatération sur une zone réduite
MLAT	MultiLATERation	Multilateration
MSPSR	Multistatic Primary Surveillance Radar	Radar de surveillance Primaire multistatique
MSSR	Monopulse Secondary Surveillance Radar	Radar de surveillance Secondaire Monopulse
PAR	Precision Approach Radar	Radar d'Approche de Précision
PSR	Primary Surveillance Radar	Radar de surveillance Primaire
SMR	Surface Movement Radar	Radar de détection des mouvements de surface
SSR	Secondary Surveillance Radar	Radar de surveillance Secondaire
TMA	Terminal manoeuvring Area	Region Terminal de Mouvement
TCAS	Traffic Collision & Avoidance System	Système d'anti-collision et d'Évitement
TOA	Time Of Arrival	Temps d'arrivée
WAM	Wide Area Multilateration	Multilatération sur une grande zone
WGS-84	World Geodetic System 1984	Système géodésique Mondiale 1984