

Le RADAR

De la détection à l'utilisation

Robin Novakovic
Département Training – IVAO France
robin.novakovic@ivao.aero



La surveillance

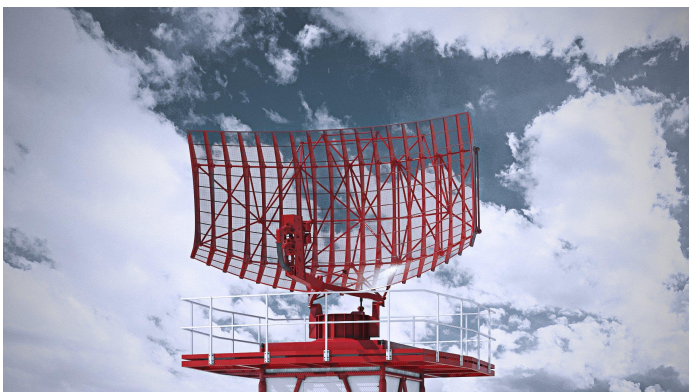
DÉTECTION

```
01001101 01000101 01010010 01000011 01001001  
00100000 01000100 00100111 01000001 01010110  
01001111 01001001 01010010 00100000 01000011  
01001000 01000101 01010010 01000011 01001000  
11000011 10001001 00100000 00111010 00101001
```

TRAITEMENT



UTILISATION



Radar Primaire

PSR – *Primary Surveillance Radar*



Radar Secondaire

SSR – *Secondary Surveillance Radar*

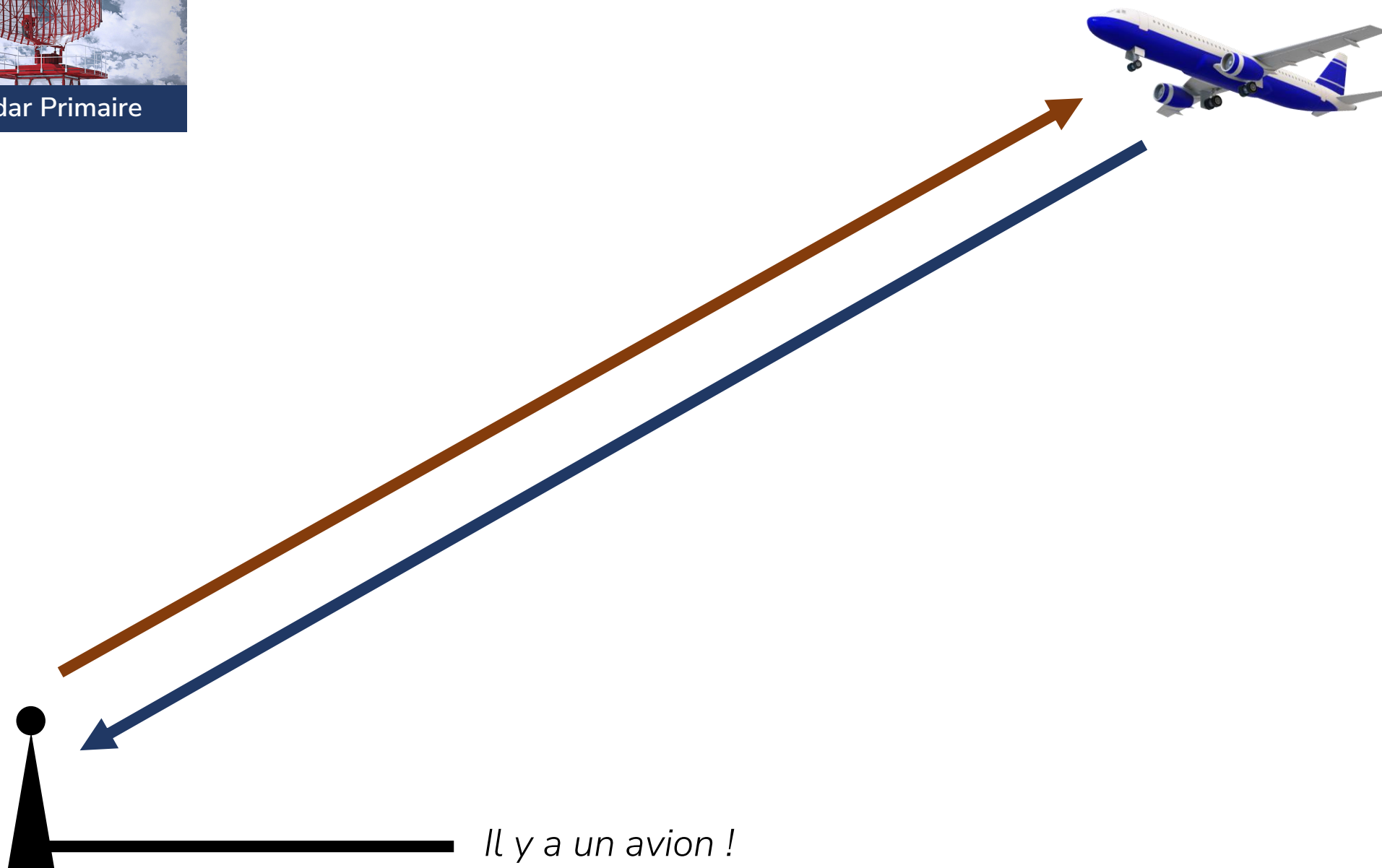


ADS

Automatic Dependent Surveillance



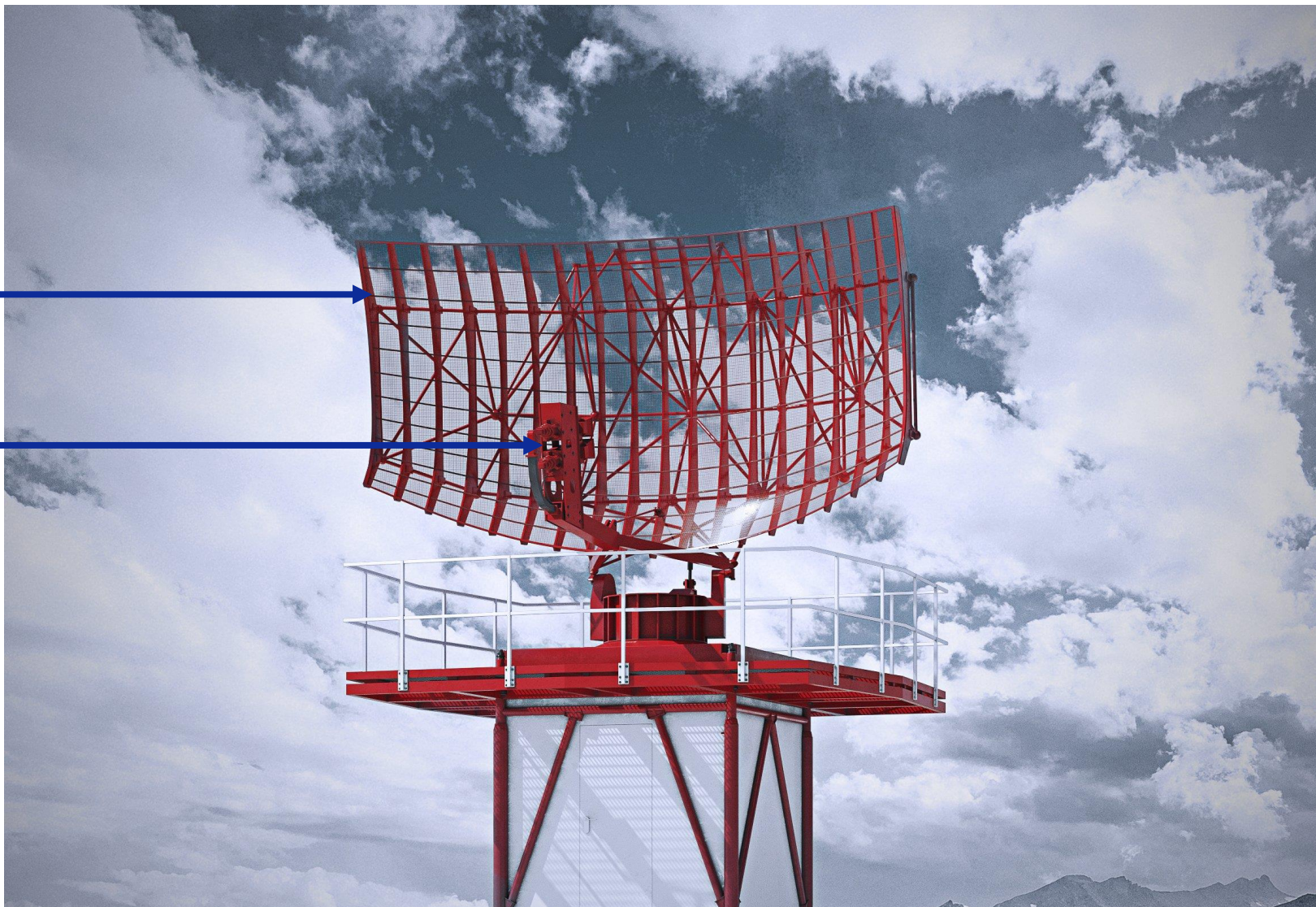
IVAO
FRANCE





Parabole

Émetteur
Récepteur

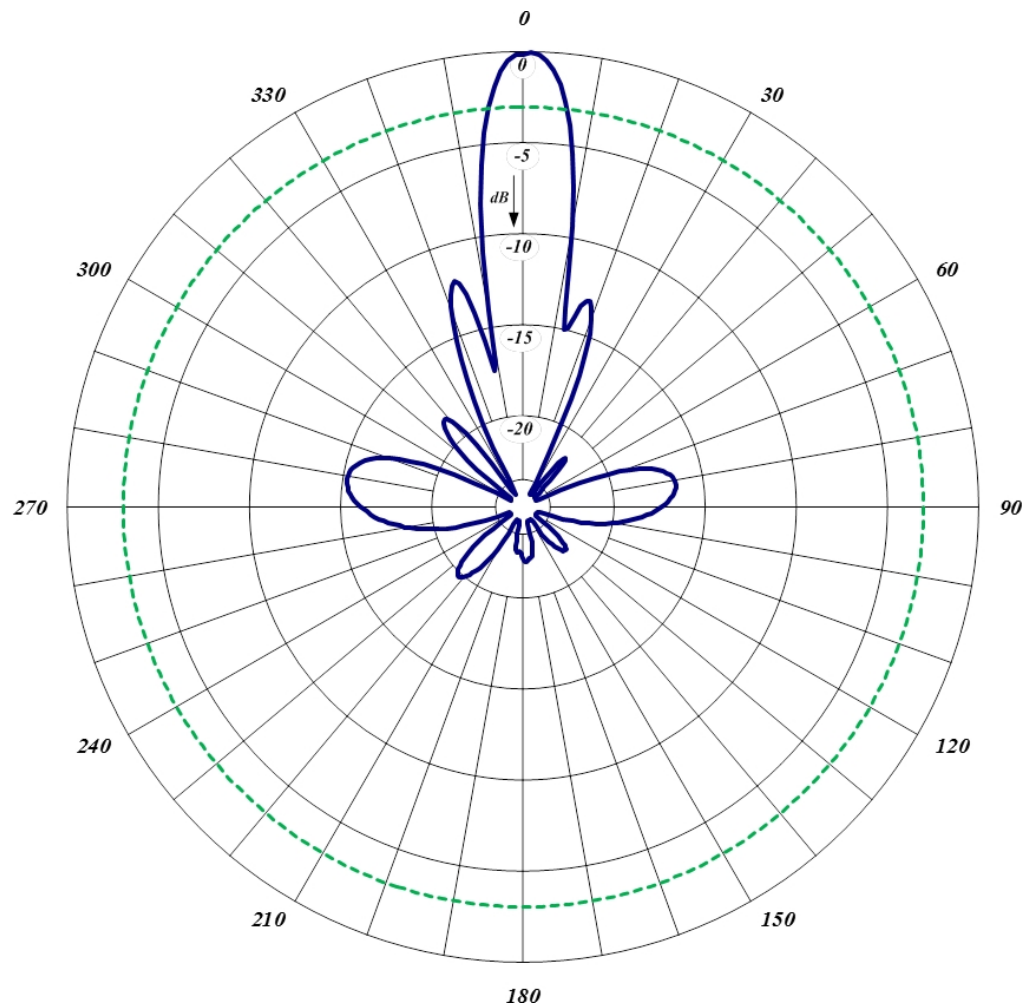


IVAO
FRANCE



Mesure d'azimut

ANTENNE DIRECTIVE



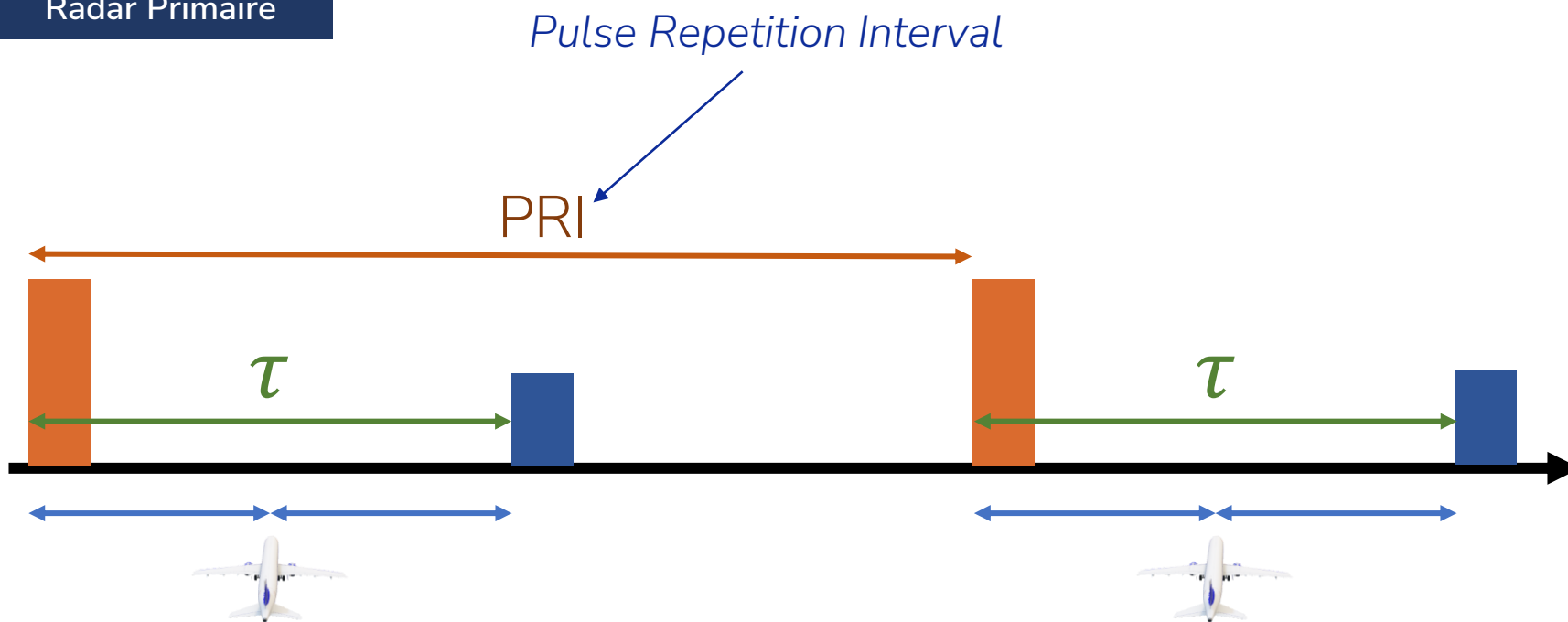
Mesure d'azimut à la
réception d'un retour



IVAO
FRANCE



Mesure de distance



$$D = \frac{\tau \times c}{2}$$



Surface Équivalente Radar (SER) et puissance reçue

Dépend *notamment* de la surface visible par le radar



Puissance reçue par
le radar

$$P_{re\grave{c}ue} = \mu \frac{SER}{D^4}$$

Distance radar – avion



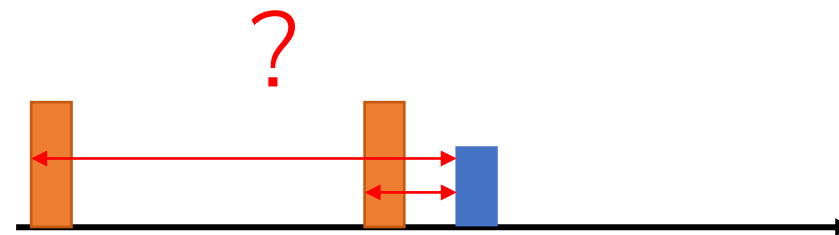
Portée

Portée moyenne de l'ordre de 70 NM

Limitée par un seuil de détection

$$D_{max,1} = \sqrt[4]{\mu \frac{SER}{P_{seuil}}}$$

Limitée par le PRI



$$D_{max,2} = \frac{PRI \times c}{2}$$



IVAO
FRANCE



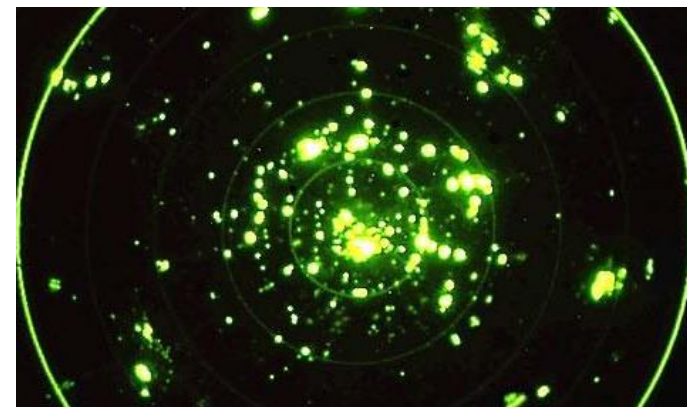
Synthèse

Avantages

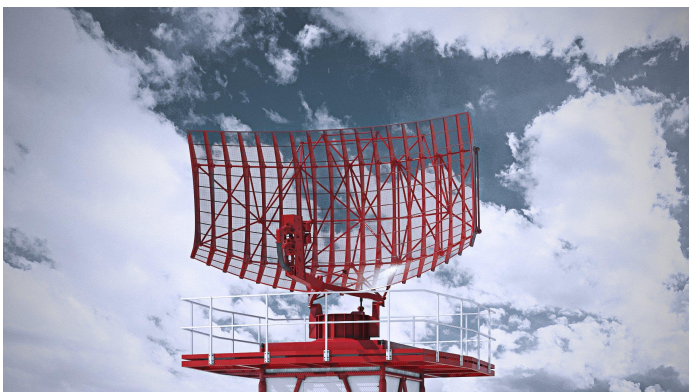
- Système non-coopératif
 - Pas d'équipement à bord nécessaire !

Inconvénients

- Faux retours (météo, obstacles, ...)
 - Nécessité de filtrer
- Ne fournit aucune information sur l'avion
- Portée limitée



IVAO
FRANCE



Radar Primaire

PSR – *Primary Surveillance Radar*



Radar Secondaire

SSR – *Secondary Surveillance Radar*



ADS

Automatic Dependent Surveillance



IVAO
FRANCE



Radar Secondaire



1030 MHz

Il y a
quelqu'un ?

Oui !

1090 MHz



Transpondeur

La mesure de la position fonctionne exactement comme pour un radar primaire



IFAO
FRANCE



Radar Secondaire

Interrogation mode A

Renvoie un code transpondeur

Quel est
votre code ?

0737



Les chiffres du
transpondeur vont de 0 à 7

- 7700 : détresse
- 7600 : panne radio
- 7500 : intervention
illicite



IVAO
FRANCE



Radar Secondaire

Interrogation mode C

Renvoie une altitude-pressure

Quel est
votre FL ?

FL015

$\pm 100\text{ft}$

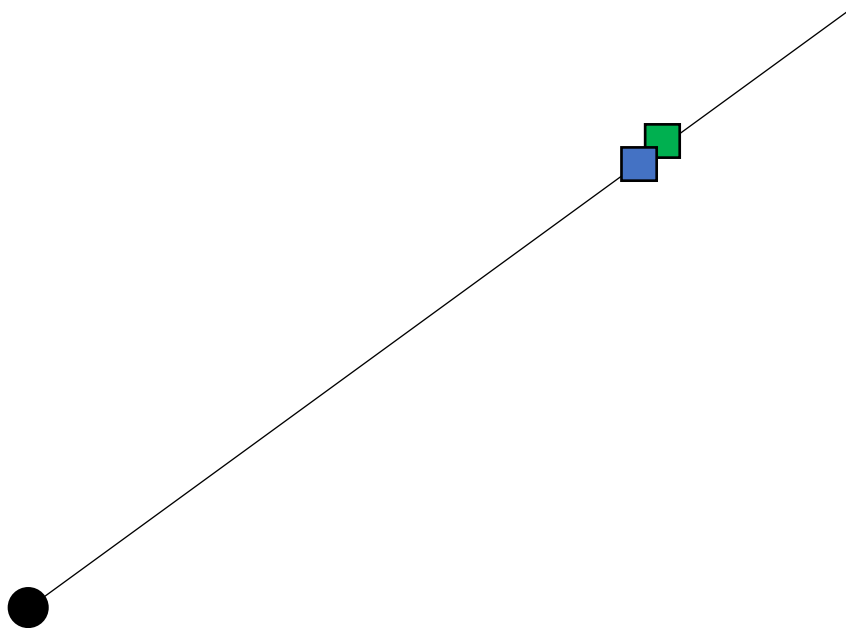


IVAO
FRANCE

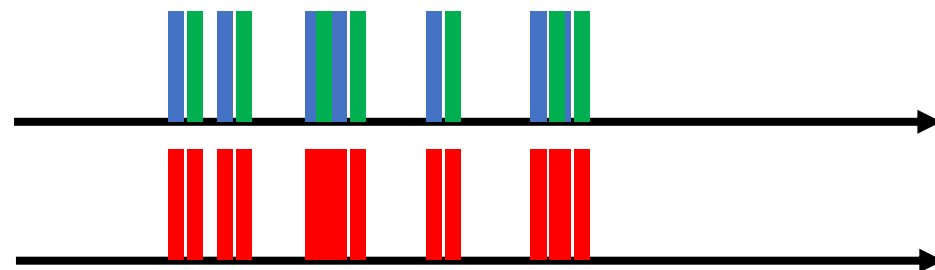


Radar Secondaire

Garbling : superposition de réponses



Réponses



- N'altère pas le positionnement
- Peut engendrer une erreur de lecture des informations (code, FL)



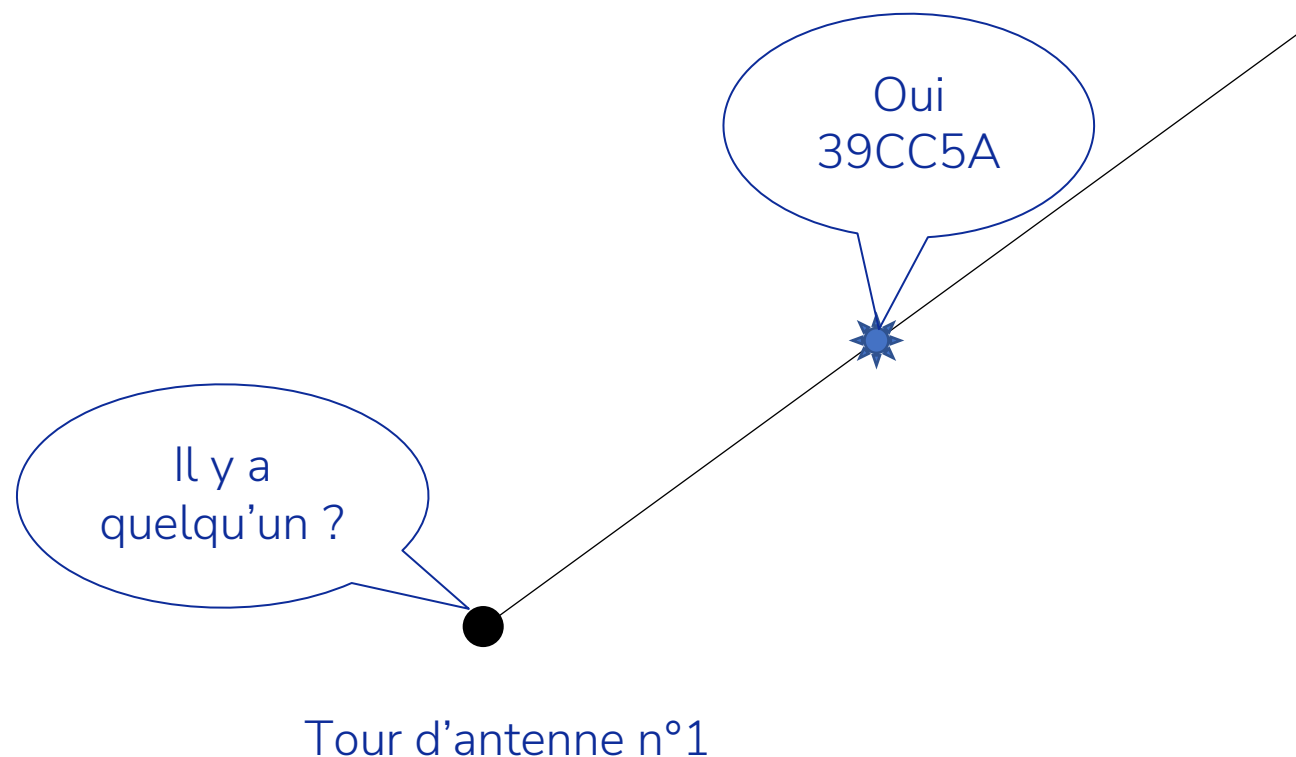
IVAO
FRANCE



Radar Secondaire

Interrogation mode S – 1^{er} All Call

Les transpondeurs mode S ont une adresse personnelle unique. Exemple : 39CC5A

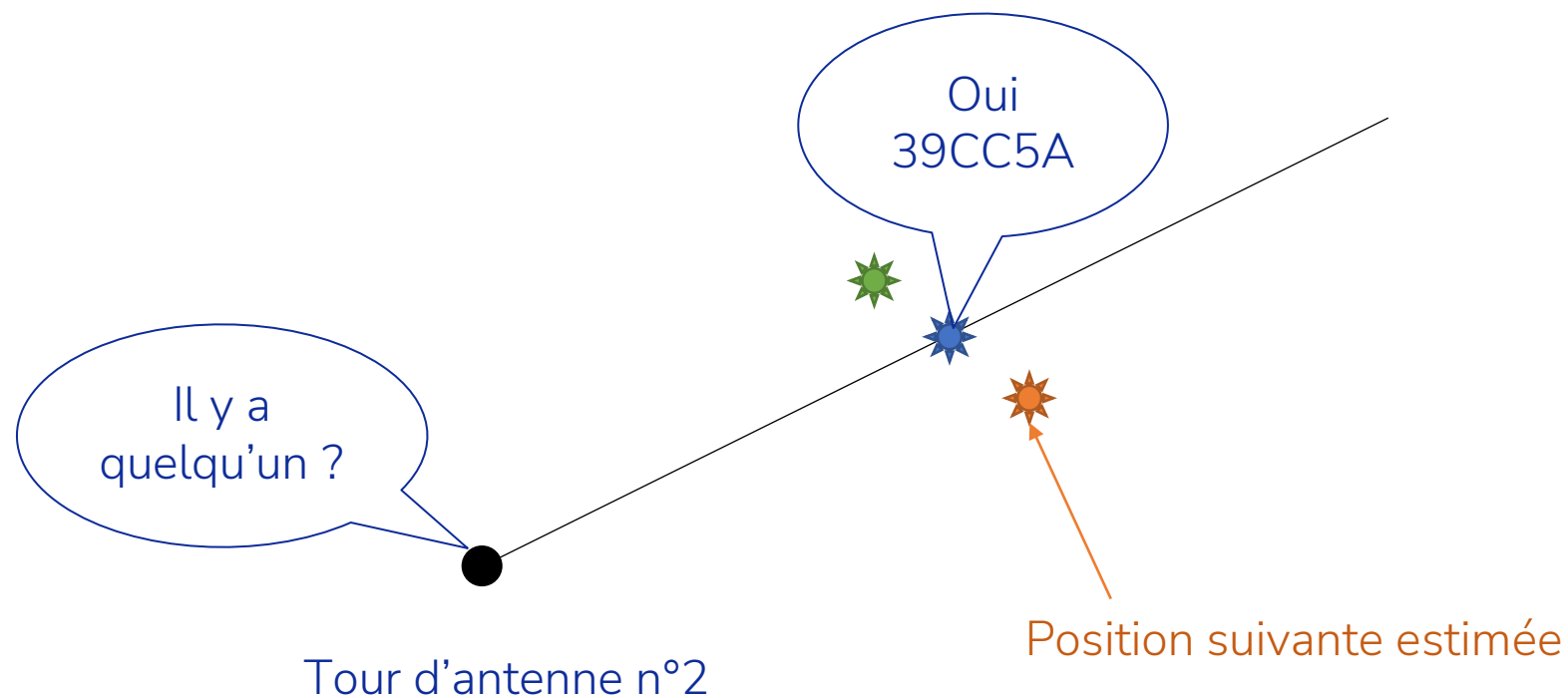


- Mémorisation de l'adresse mode S
- Mémorisation de la position



Radar Secondaire

Interrogation mode S – 2^{ème} All Call

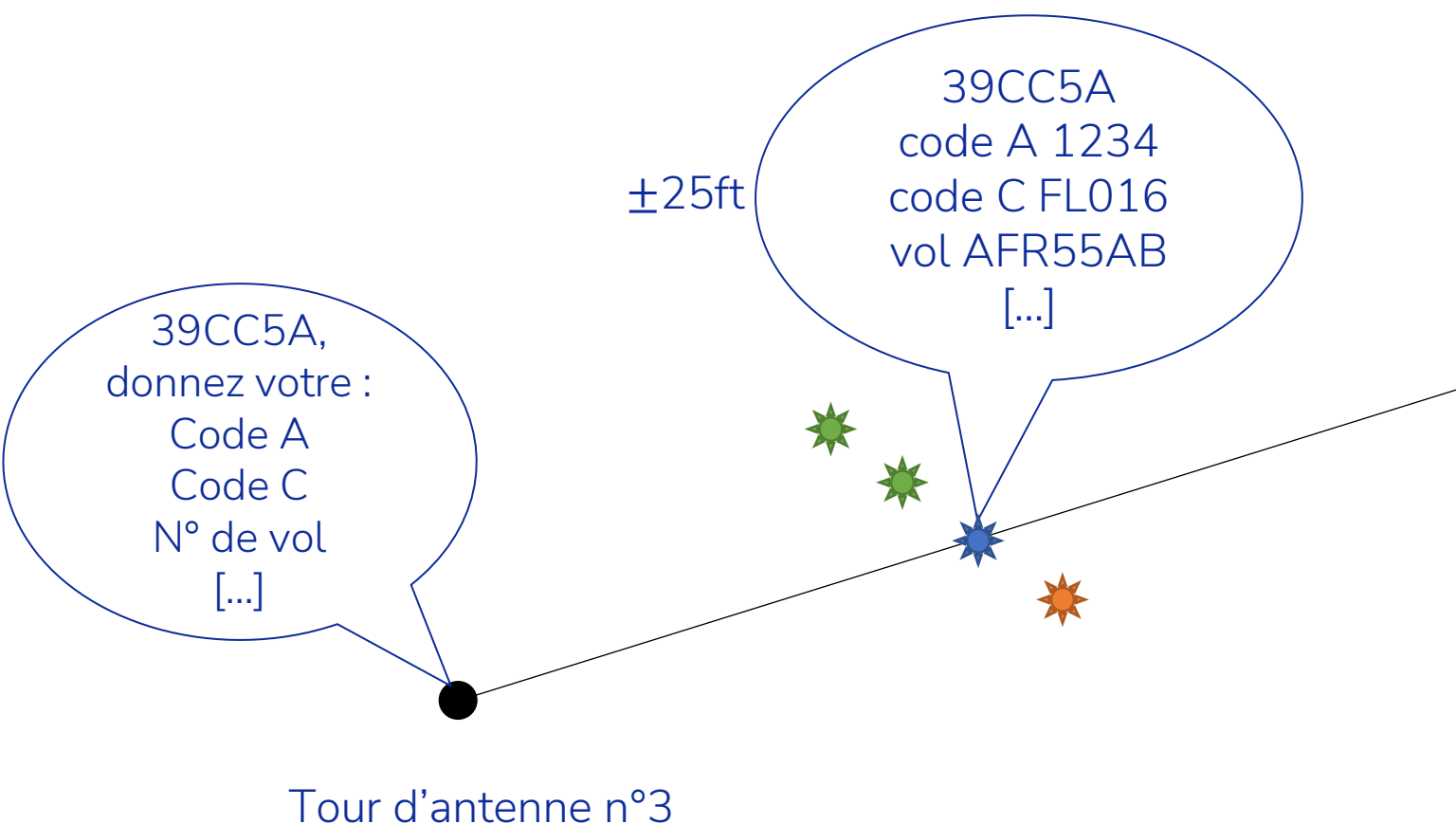


- Mémorisation de la position
- Estimation de la position suivante



Radar Secondaire

Interrogation mode S – 1^{er} Roll Call



- Mémorisation de la position
- Enregistrement des informations
- Calcul de la position suivante

Lors des appels sélectifs (Roll Call), le transpondeur peut répondre à de nombreuses interrogations :

- Vitesse indiquée actuelle (@ias)
- Cap actuel (@hdg)
- FL sélectionné sur l'autopilote (@sfl)
- ...



Radar Secondaire

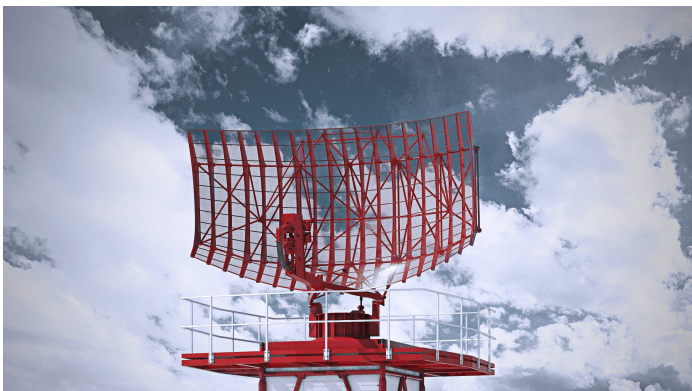
Synthèse

Avantages

- Fournit des informations sur l'aéronef détecté
- Plus précis que le radar primaire

Inconvénients

- Système coopératif
 - Nécessite l'emport d'un transpondeur



Radar Primaire

PSR – *Primary Surveillance Radar*



Radar Secondaire

SSR – *Secondary Surveillance Radar*



ADS

Automatic Dependent Surveillance



IVAO
FRANCE



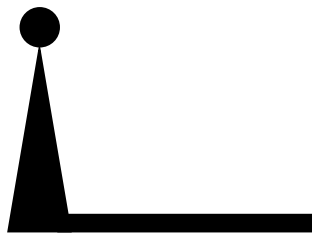
ADS

ADS-B : Automatic Dependent Surveillance – Broadcast



Émission spontanée du transpondeur 2 fois par seconde :

- Position
- Niveau de vol
- Numéro de vol
- @ias
- @hdg
- [...]



Utilisation au sol



IVAO
FRANCE



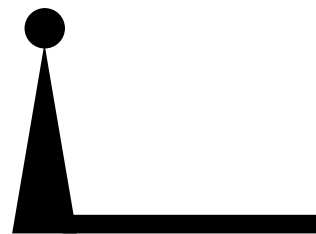
ADS

ADS-C : Automatic Dependent Surveillance – Contract



Envoi périodique d'informations du transpondeur vers un satellite :

- Position
- Niveau de vol
- Numéro de vol
- @ias
- @hdg
- [...]



Utilisation au sol



IVAO
FRANCE

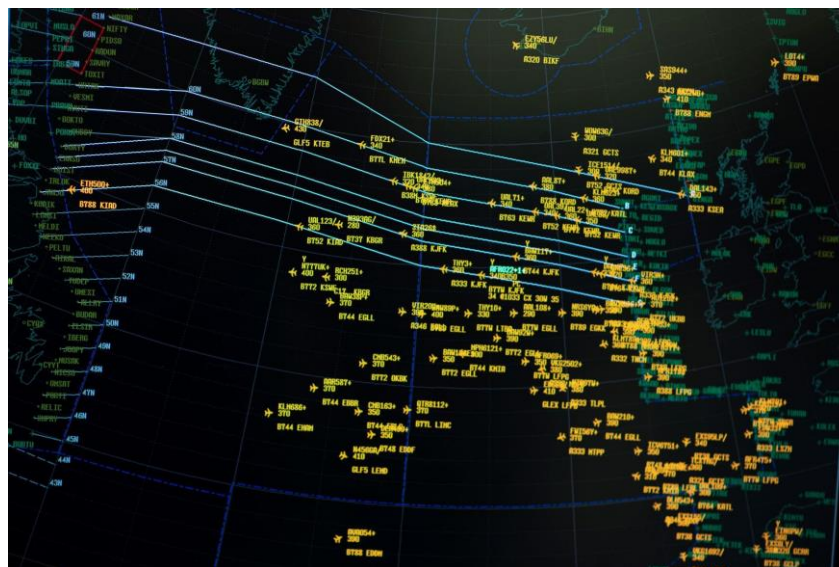


ADS

Applications



ATSAW
Airborne Traffic Situational
Awareness
(ADS-B)



Radar océanique
(ADS-C)



FlightRadar24, ...
(ADS-B)



IVAO
FRANCE



ADS

Synthèse

Avantages

- Systèmes de réception au sol peu onéreux
- Diversité d'application

Inconvénients

- Système dépendant
 - On doit faire confiance au positionnement de l'avion !

La surveillance

DÉTECTION

```
01001101 01000101 01010010 01000011 01001001  
00100000 01000100 00100111 01000001 01010110  
01001111 01001001 01010010 00100000 01000011  
01001000 01000101 01010010 01000011 01001000  
11000011 10001001 00100000 00111010 00101001
```

TRAITEMENT



UTILISATION

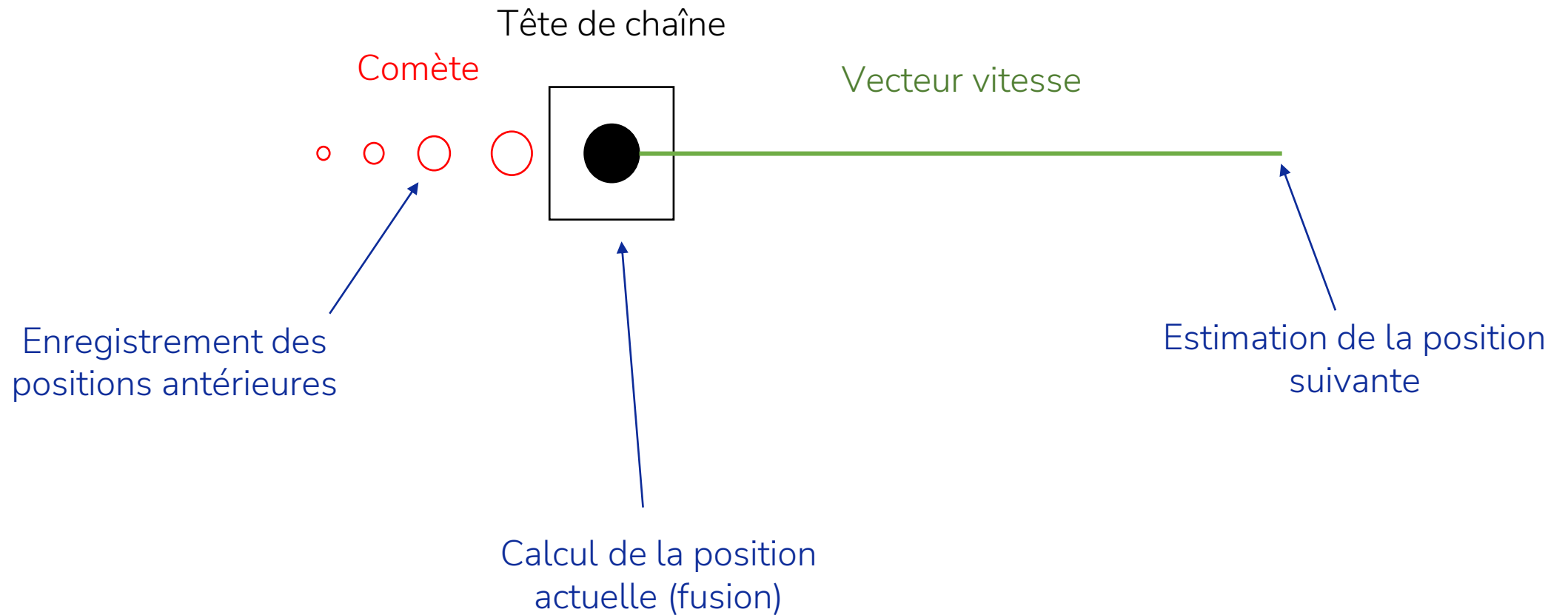
1 – Poursuite



3 – Interface

2 – Corrélation

Poursuite : Piste



Poursuite : Fusion

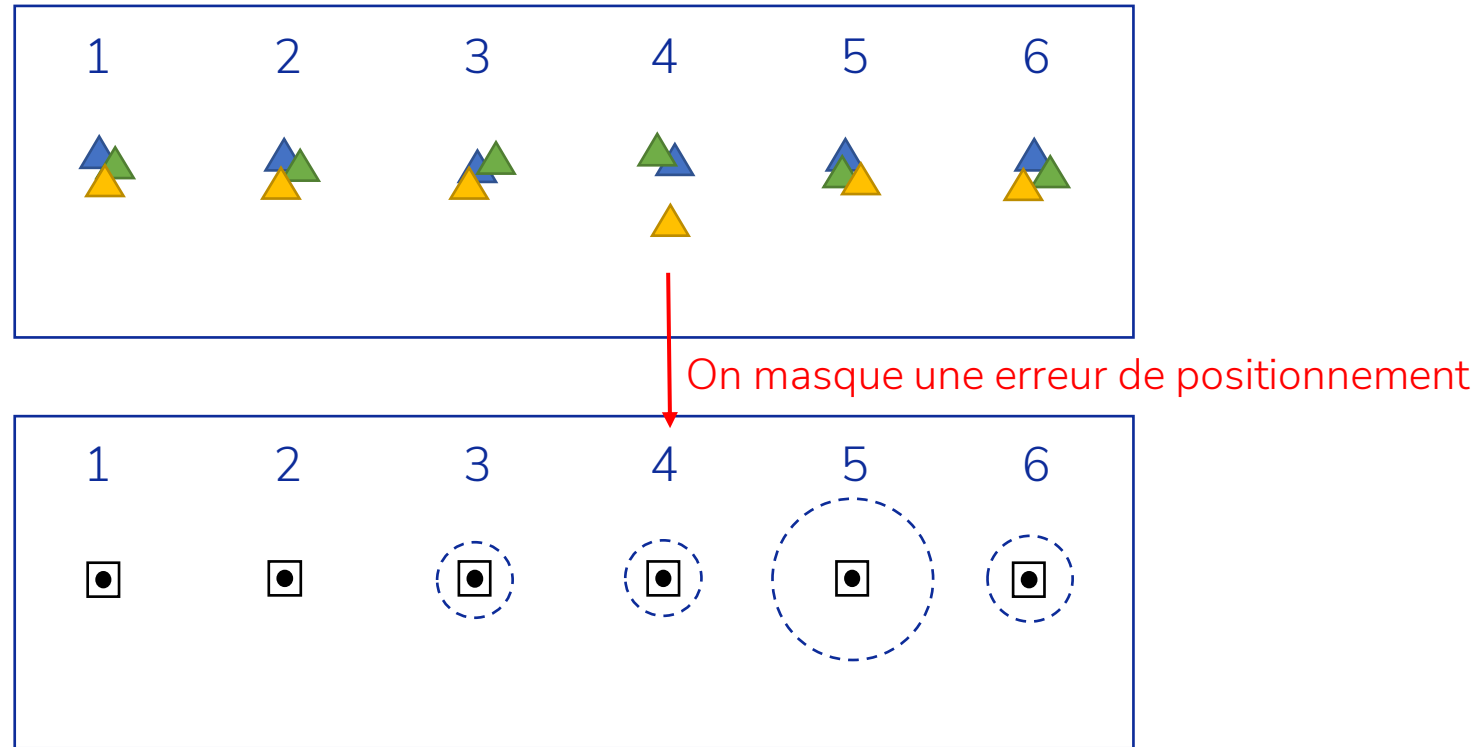
Chaque radar produit un plot pour chaque avion détecté.

La poursuite, c'est le traitement successif des plots d'un même avion.

La poursuite est réalisée par le Système de Traitement Radar (STR).



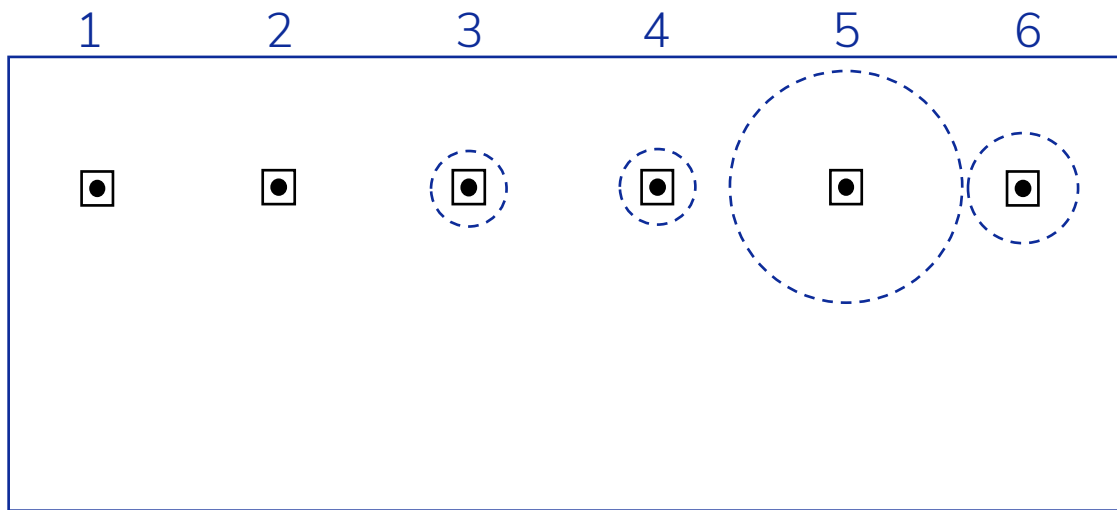
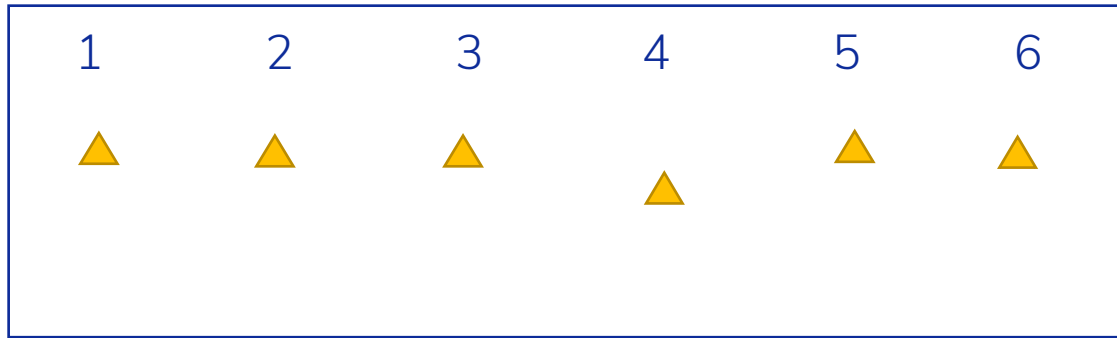
Poursuite : Lissage en multi-radar



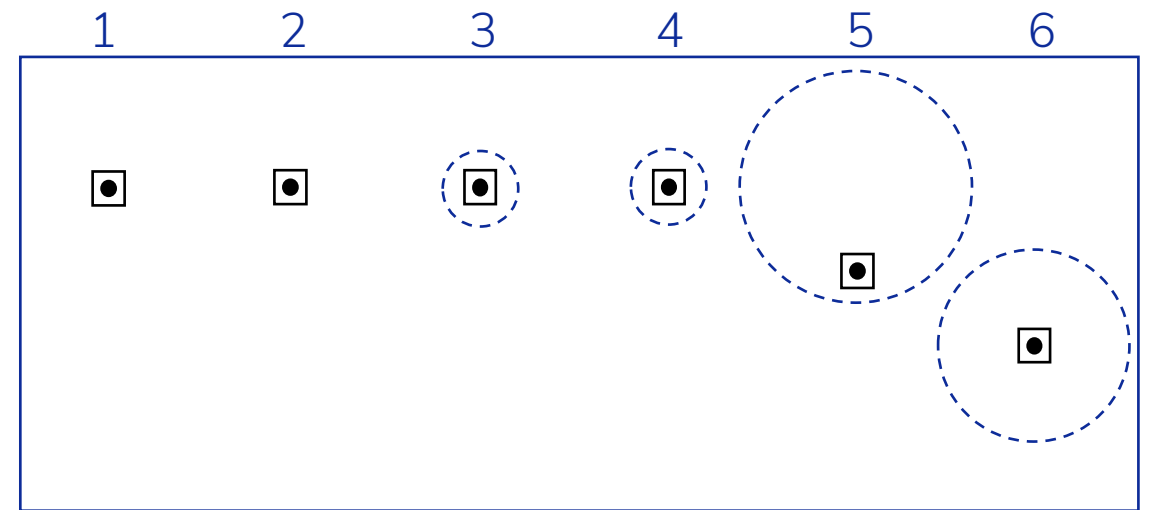
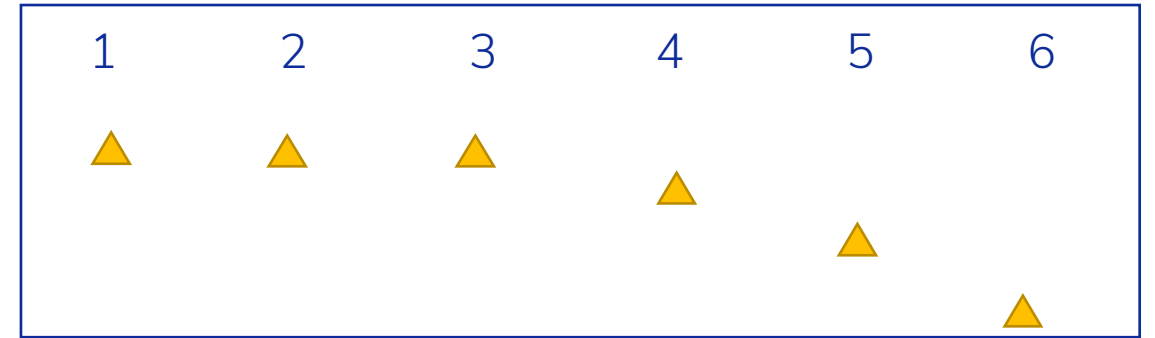
Estimation de la position suivante avec création
d'une « zone de confiance »

Poursuite : Lissage en mono-radar

Erreur de positionnement



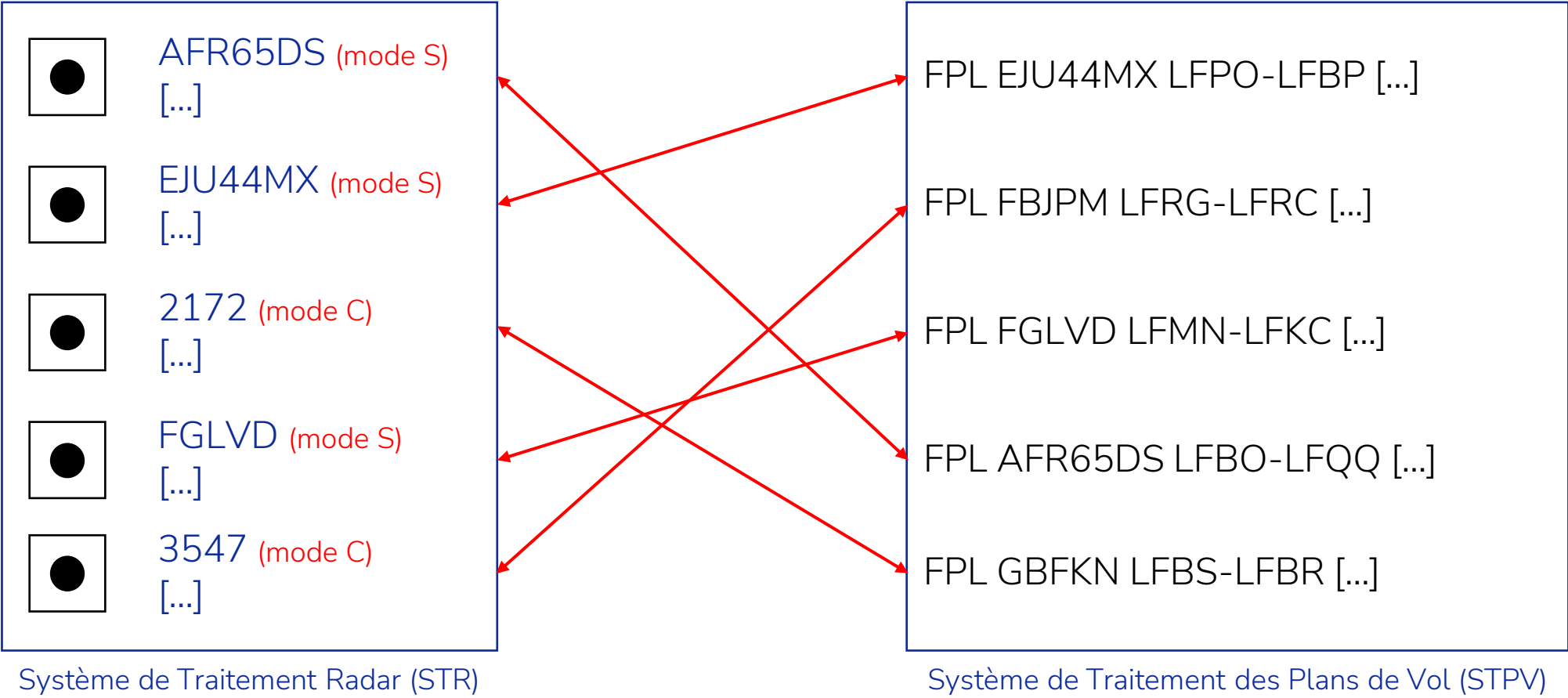
Virage



Le lissage (mono-radar ou multi-radar) permet de supprimer les erreurs de positionnement tout en conservant une réactivité dans les virages.

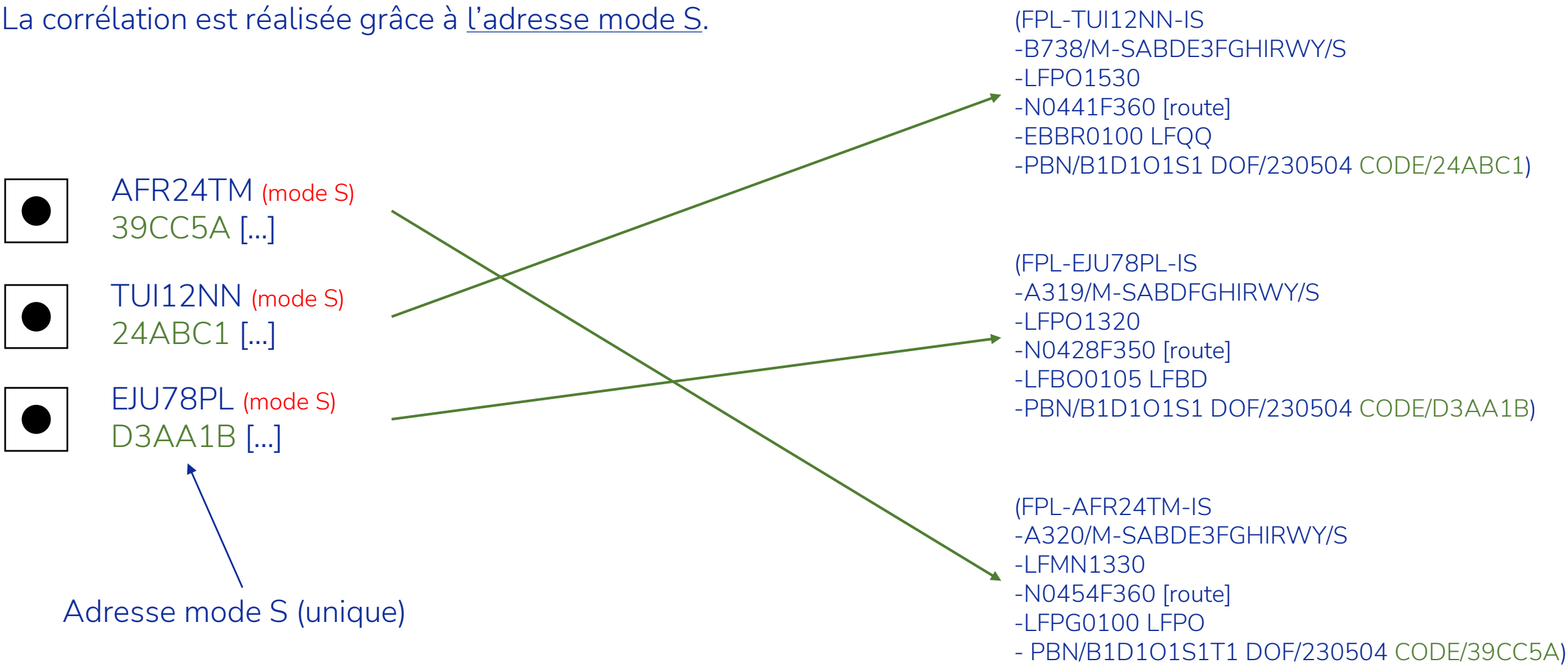
Corrélation

Objectif : associer un plan de vol à une piste



Corrélation : cas du mode S

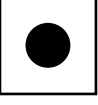
La corrélation est réalisée grâce à l'adresse mode S.

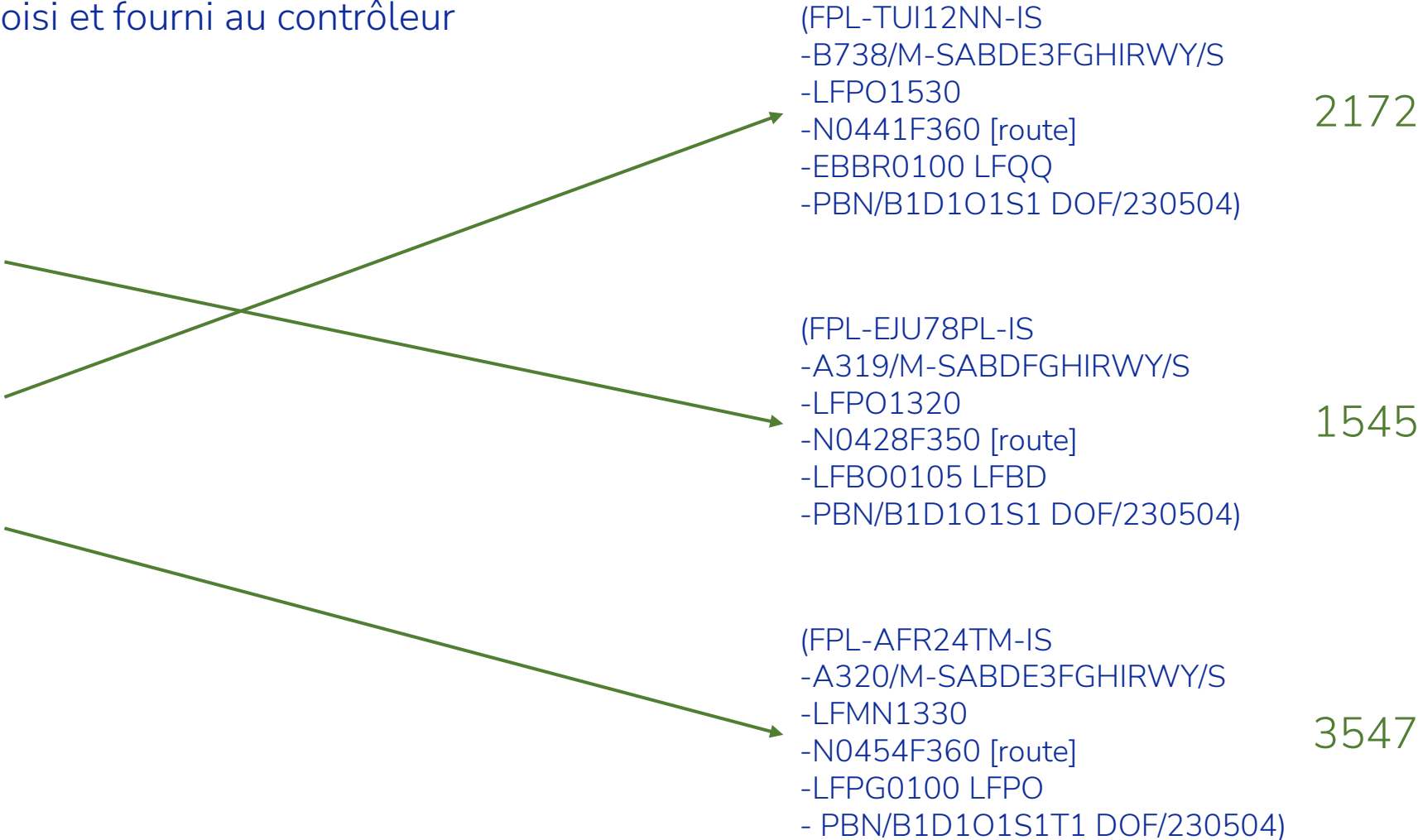


Sur IVAO, la corrélation basée sur l'adresse mode S n'est pas simulée.

Corrélation : cas des modes A/C

Le code transpondeur est choisi et fourni au contrôleur par STPV.

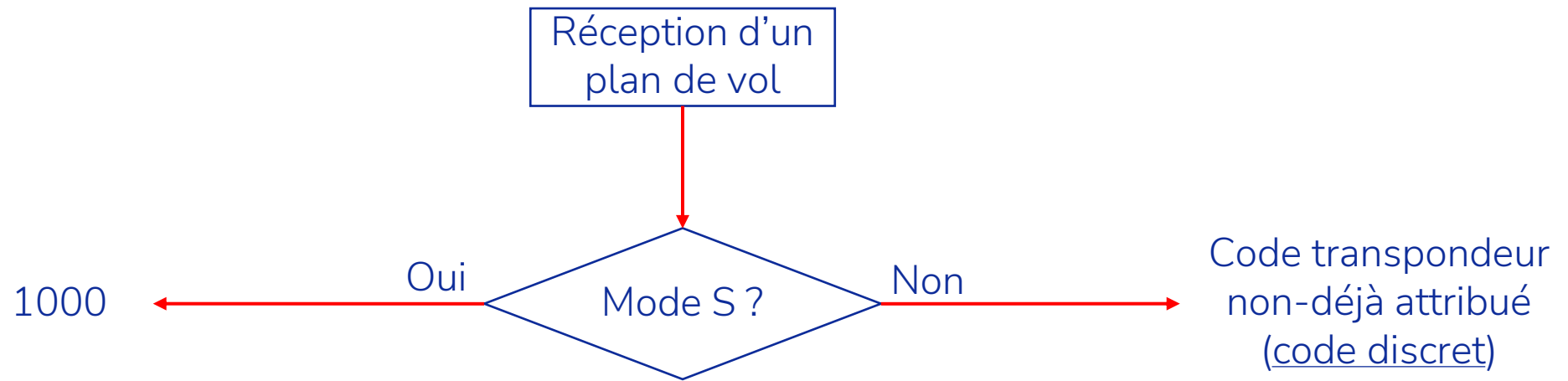
-  1545 (mode C)
[...]
-  2172 (mode C)
[...]
-  3547 (mode C)
[...]



Sur IVAO, l'attribution d'un transpondeur par STPV n'est pas simulée.

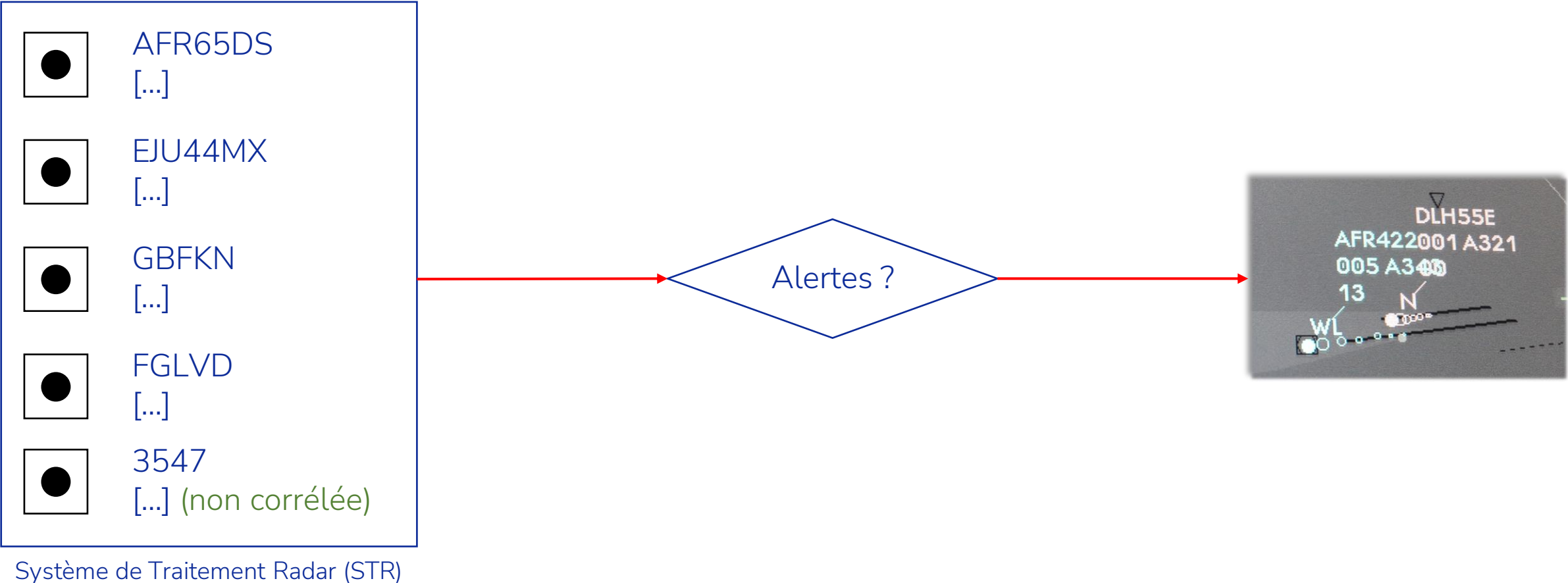
Corrélation : attribution des codes transpondeur pour les IFR

Le code transpondeur est choisi et fourni au contrôleur par STPV



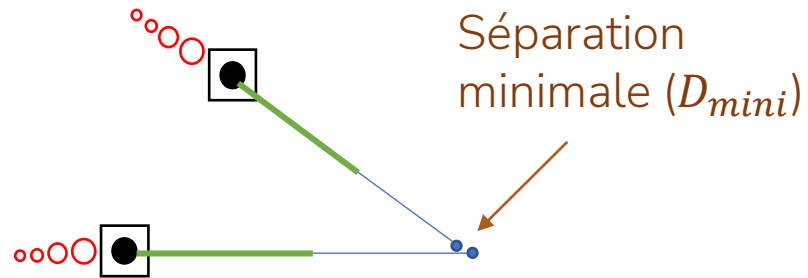
Cette méthode est celle appliquée sur IVAO pour les IFR

Interface : vers une représentation des avions



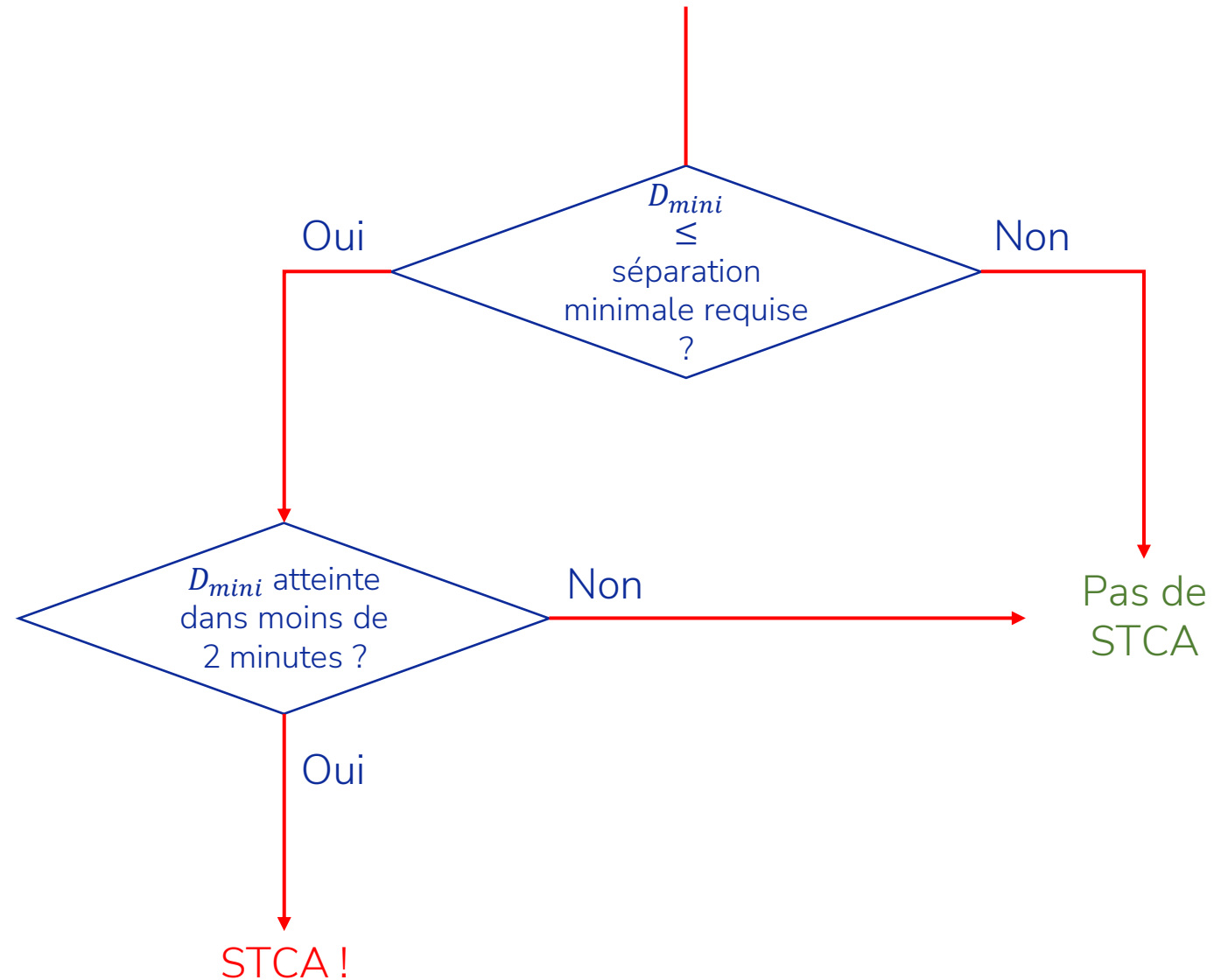
Interface : Alertes

STCA – Short Term Conflict Alert



Alerte sur une perte de séparation
dans moins de deux minutes.

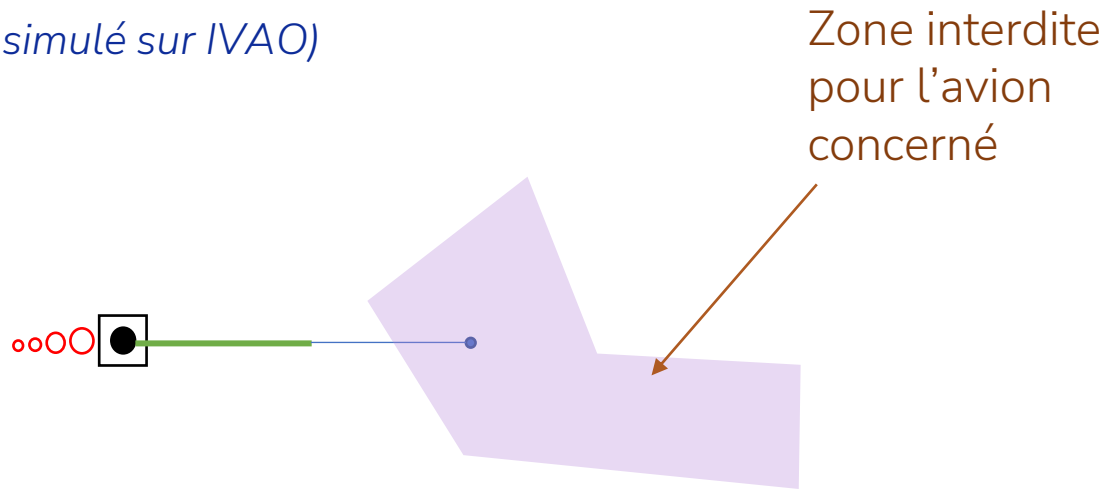
Le STCA tient compte de la
position verticale des aéronefs.



Interface : Alertes

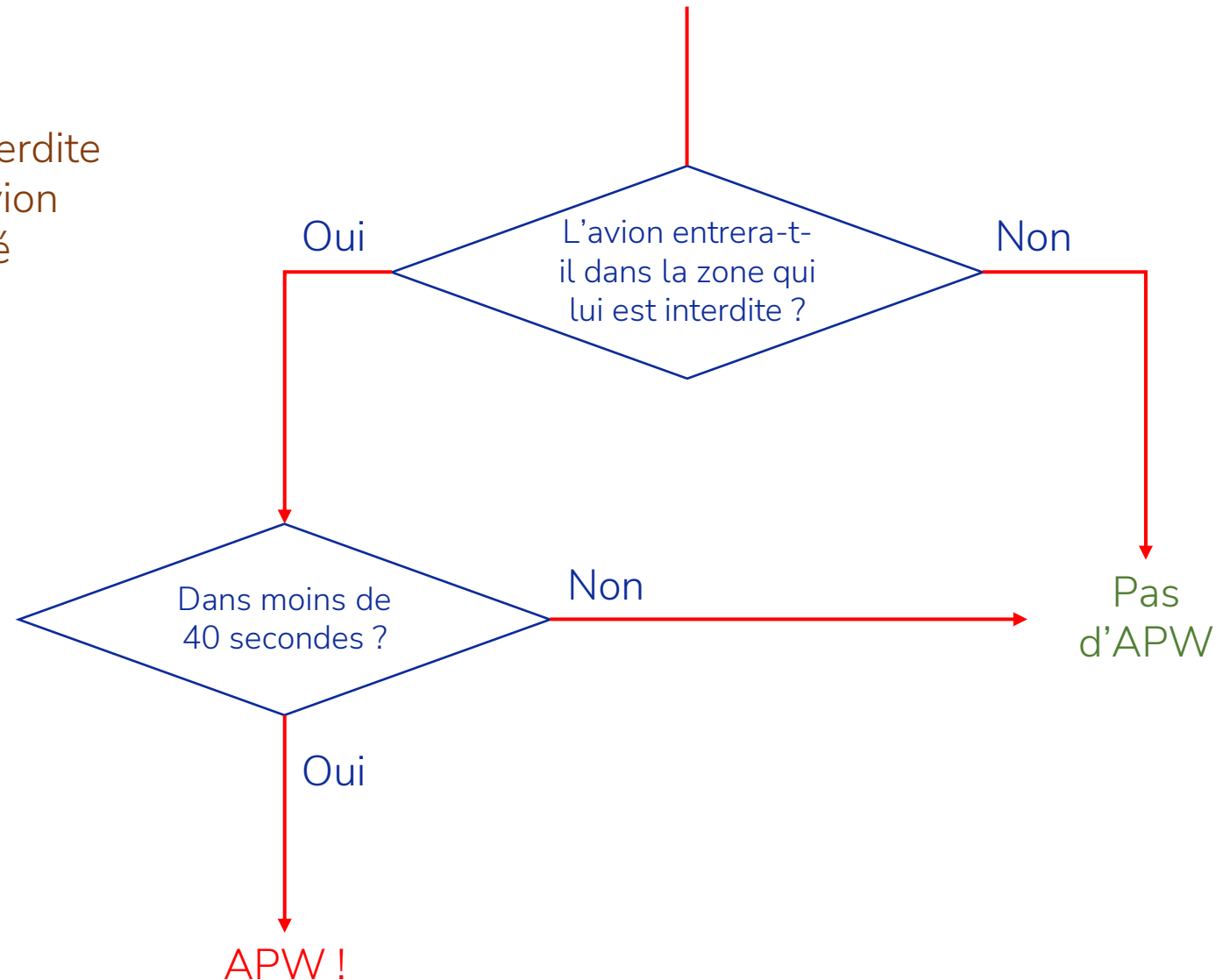
APW – Area Proximity Warning

(non simulé sur IVAO)



Alerte sur une pénétration de zone
dans moins de 40 secondes.

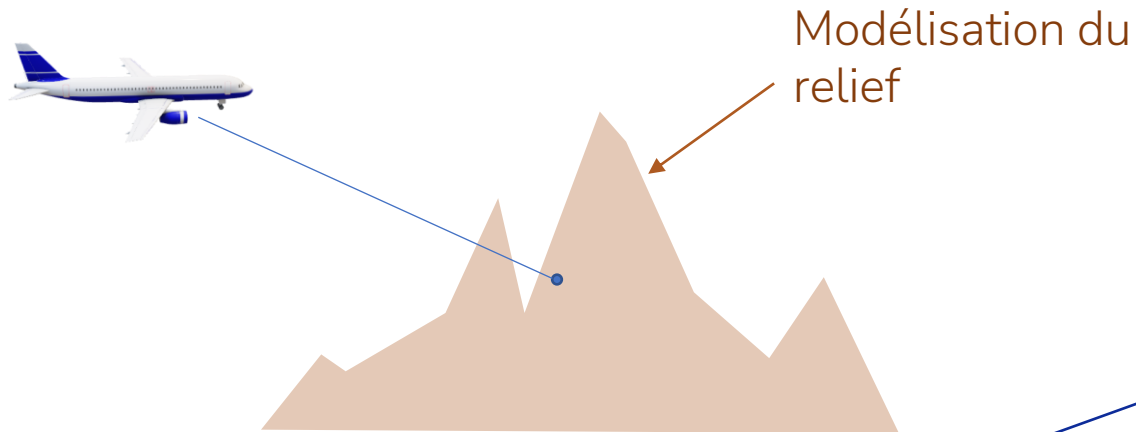
L'APW tient compte de la position
verticale des aéronefs.



Interface : Alertes

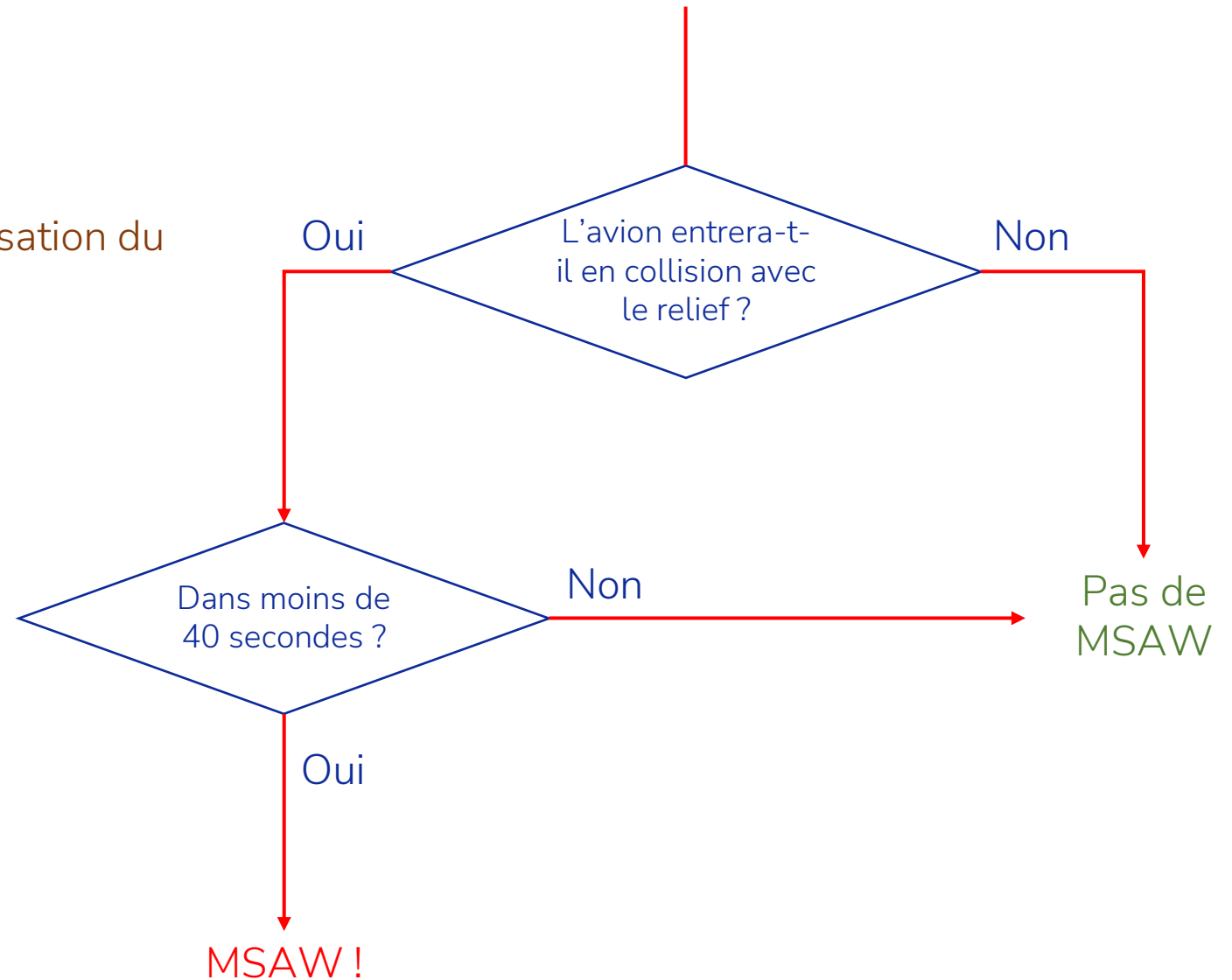
MSAW – Minimum Safe Altitude Warning

(non simulé sur IVAO)



Alerte sur une possible collision avec le relief dans moins de 40 secondes.

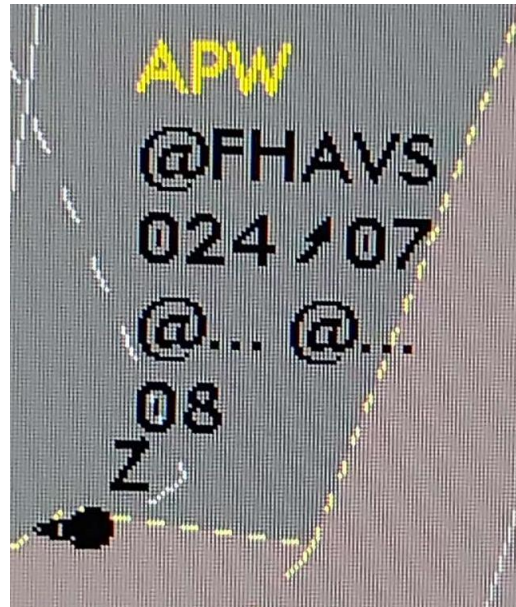
Le MSAW tient compte de la vitesse verticale de l'aéronef.



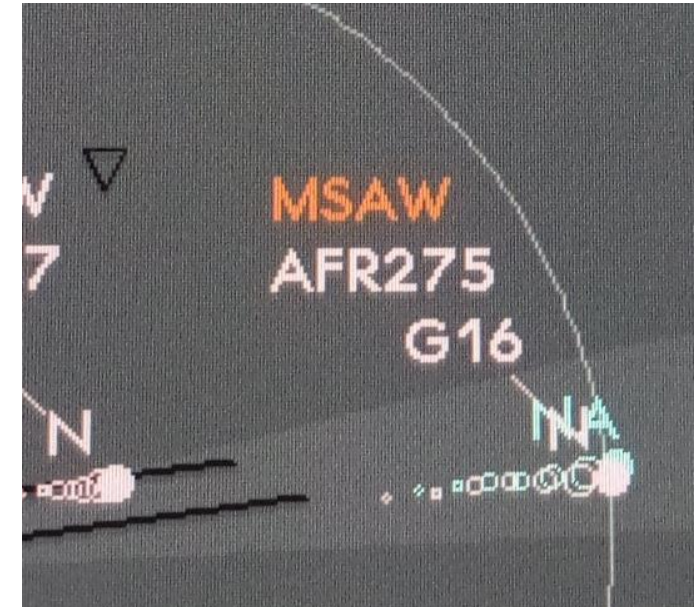
Interface : Alertes



STCA



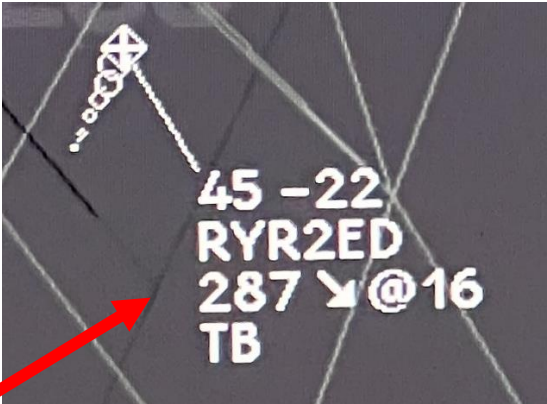
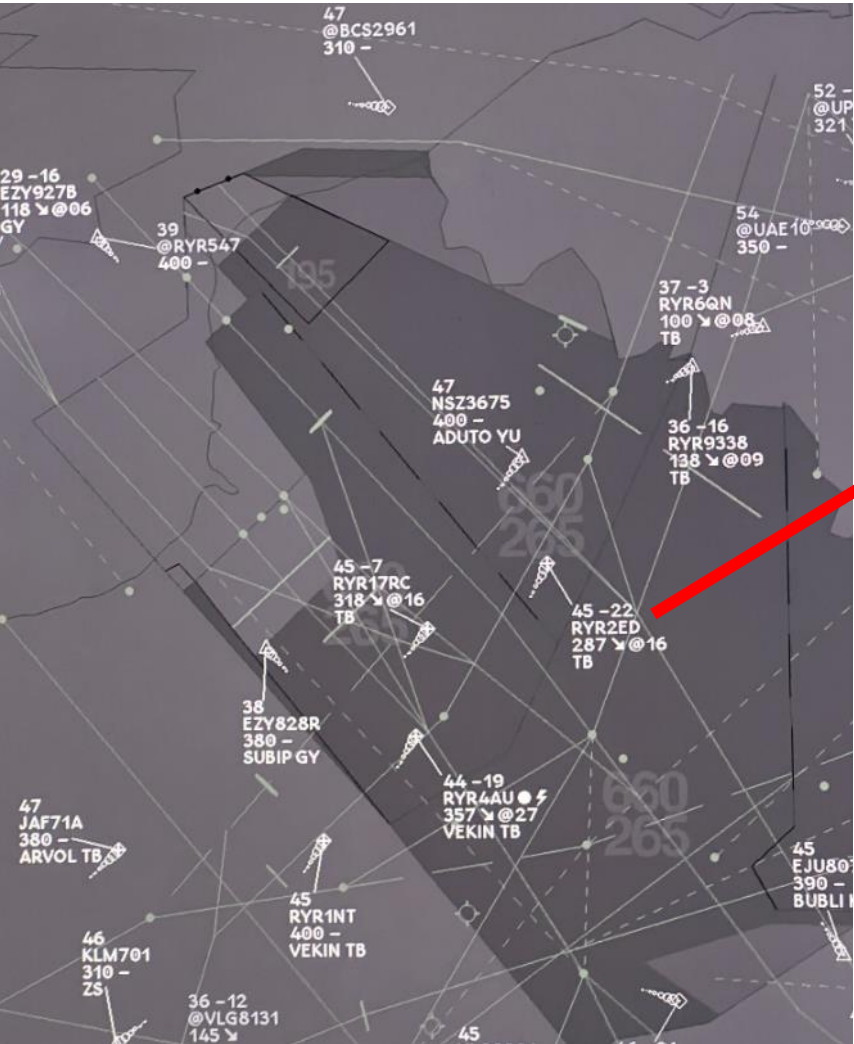
APW



MSAW

Interface : ODS

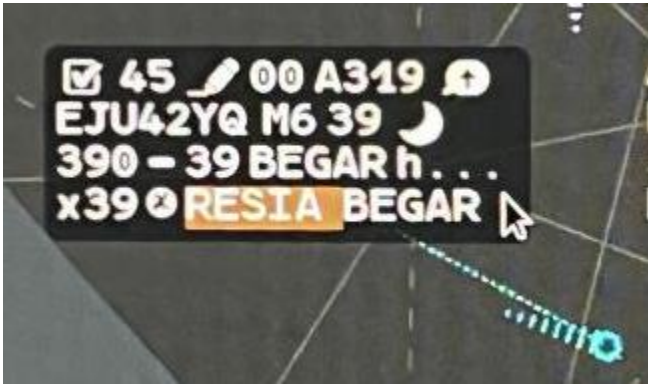
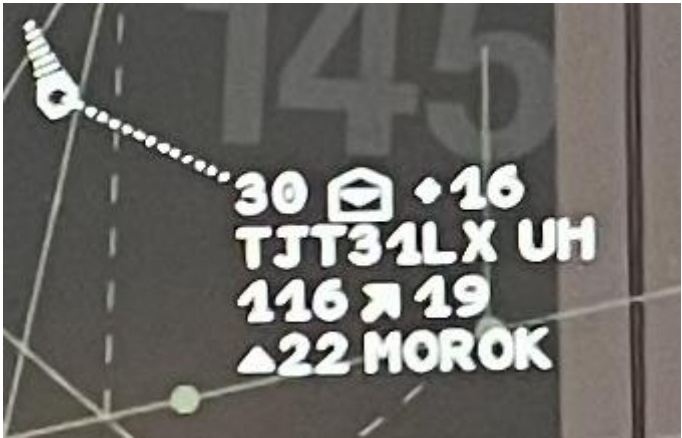
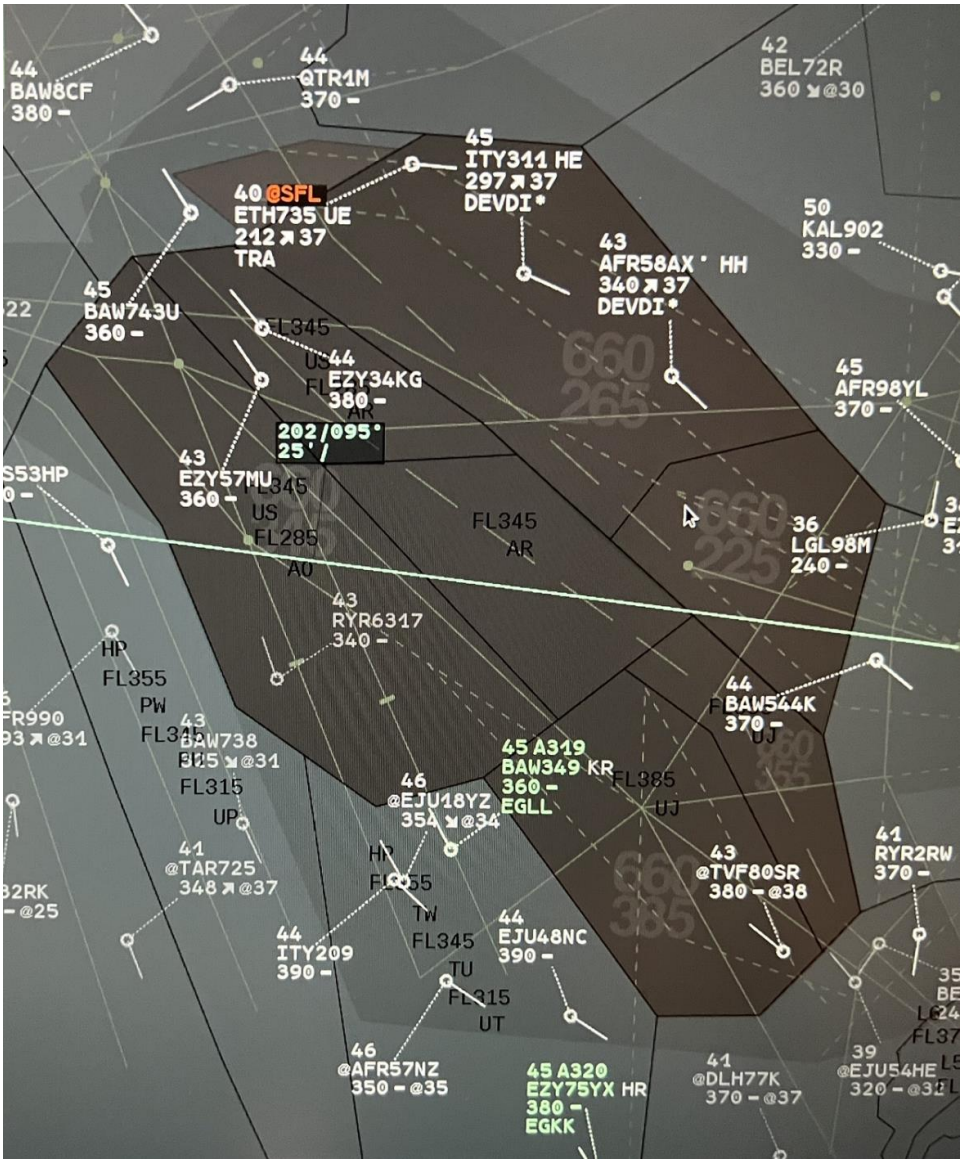
Utilisé aux CRNA de Brest, Bordeaux, Athis-Mons, ainsi qu'à Paris CDG



IVAO
FRANCE

Interface : JHMI (4Flight)

Utilisé aux CRNA de Reims et Aix-en-Provence



La surveillance

DÉTECTION

```
01001101 01000101 01010010 01000011 01001001  
00100000 01000100 00100111 01000001 01010110  
01001111 01001001 01010010 00100000 01000011  
01001000 01000101 01010010 01000011 01001000  
11000011 10001001 00100000 00111010 00101001
```

TRAITEMENT



UTILISATION

Identification

Principe : s'assurer que l'avion que l'on voit est bien celui auquel on parle.

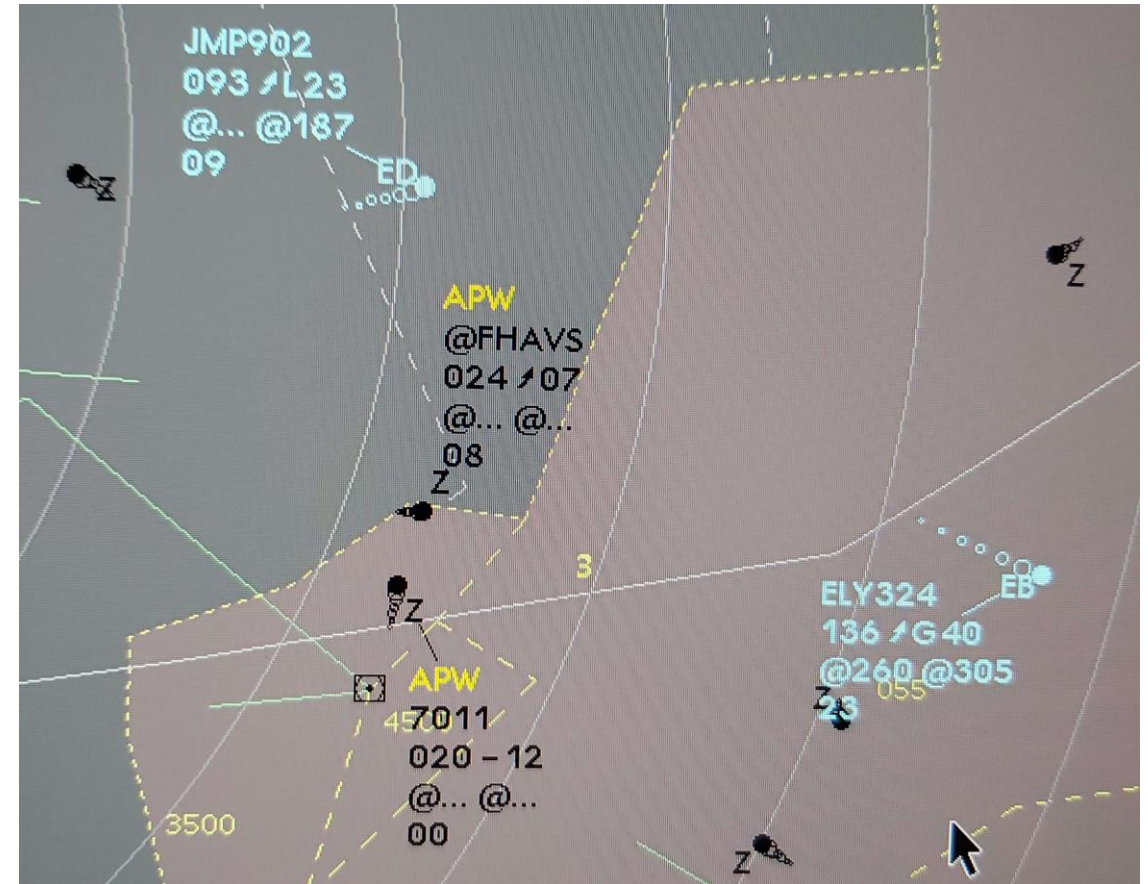
Quelques méthodes d'identification :

Radar secondaire :

- Lecture d'un indicatif sur le radar
- Lecture d'un code transpondeur discret sur le radar
- Utilisation de la fonction « IDENT »

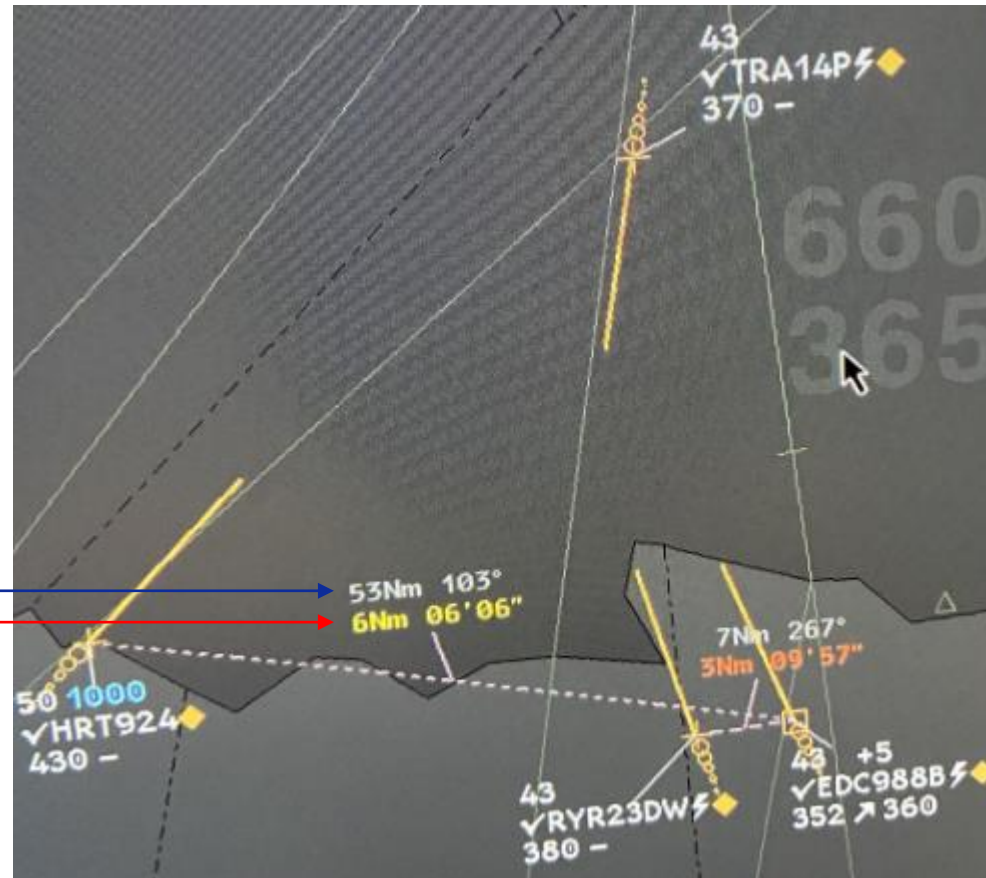
Radar primaire :

- Report de position par le pilote confirmé au radar
- Virage exécuté par le pilote confirmé au radar



Séparation

Distance actuelle
Distance minimale



Mesure de la séparation pour s'assurer d'une norme

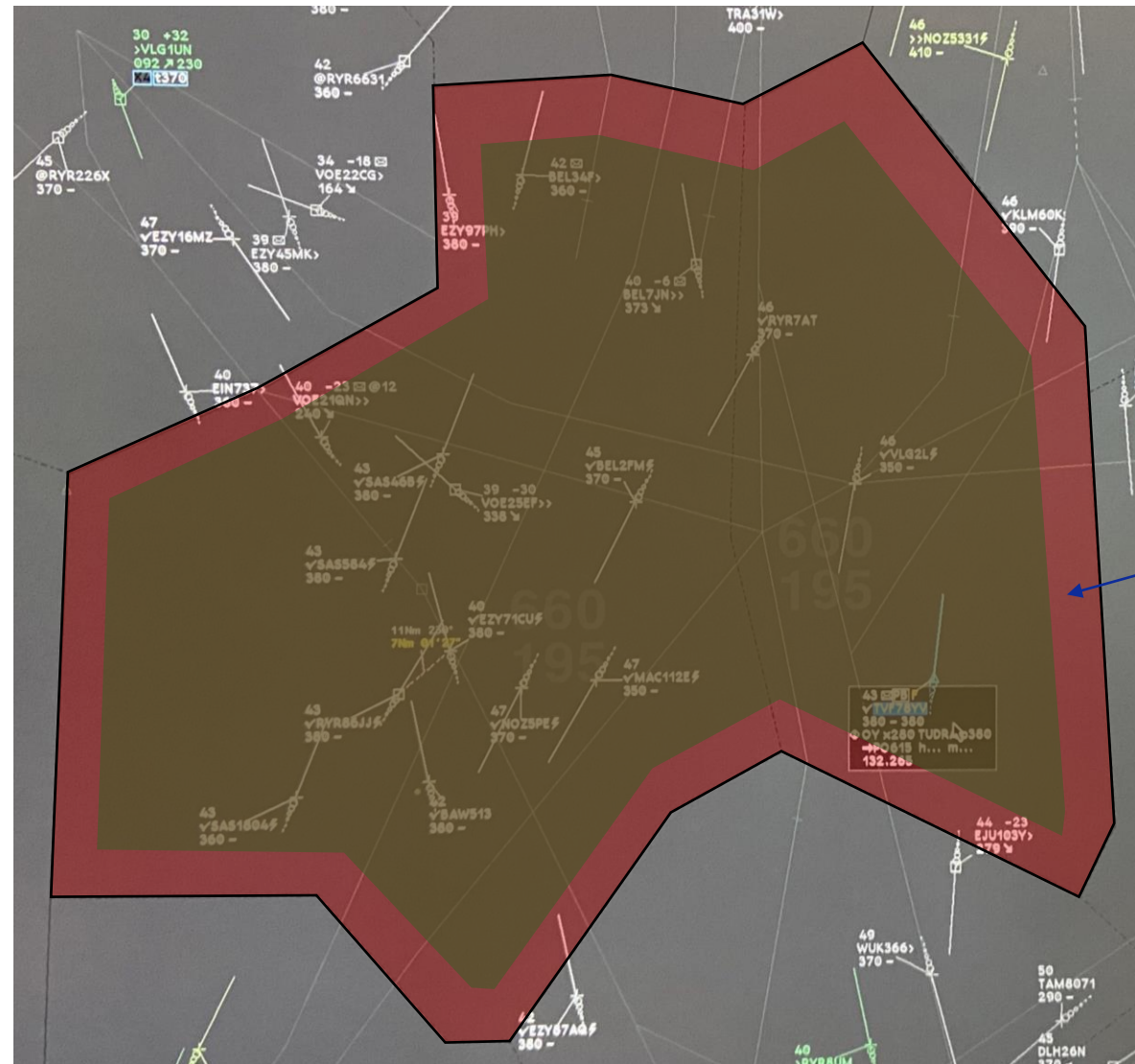
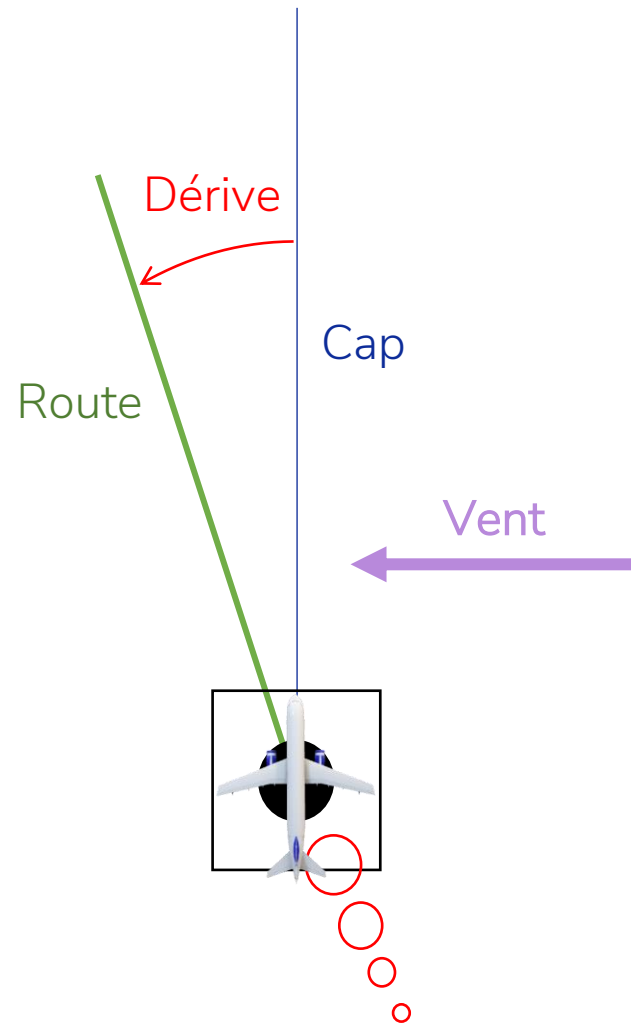
« norme »
séparation minimale
requis dans l'espace
concerné.

Sur IVAO, la norme est :

- **1000ft** verticalement ou :
 - **3NM** horizontalement dans les CTR ou TMA
 - **5NM** horizontalement ailleurs

Guidage

Assigner des caps pour diriger un trafic.



Demi-norme

Il est interdit de guider à moins d'une demi-norme de la frontière du secteur (sauf coordination)

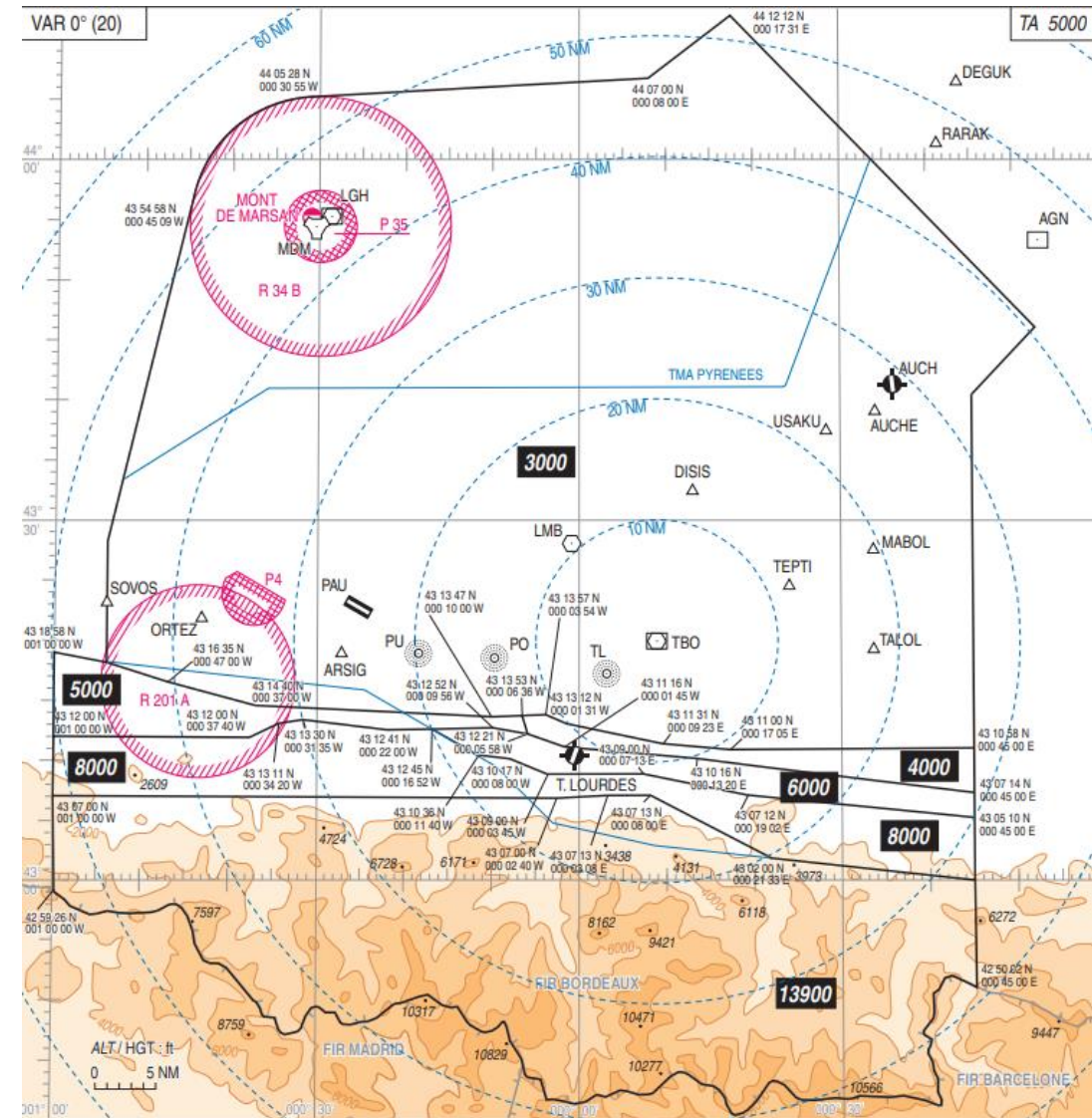


IVAO
FRANCE

Altitudes Minimales de Guidage (AMG)

SERA.8015 Air traffic control clearances

(b)(6) Lorsqu'il **guide** un aéronef ou lui **assigne une route directe** qui n'est pas incluse dans le plan de vol, détournant ainsi un vol IFR d'une route ATS ou d'une procédure aux instruments publiée, un contrôleur de la circulation aérienne fournissant un service de surveillance ATS délivre des clairances de sorte que **la marge de franchissement d'obstacles prescrite soit assurée à tout moment**, jusqu'à ce que l'aéronef atteigne le point où le pilote rejoint la route prévue dans le plan de vol ou s'engage sur une route ATS ou une procédure aux instruments publiée.



Source : SIA

MERCI

À vous la parole !