

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Saad DAHLEB

Institut d'Aéronautique

جامعة سعد دحلب

معهد علم الطيران

Projet de Fin d'études
En vue de l'obtention du diplôme
D'INGENIEUR D'ETAT
EN AERONAUTIQUE
Option : INSTALLATION

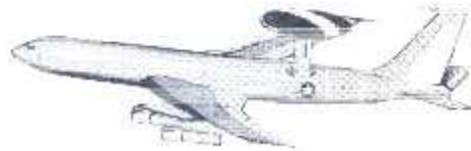
Thème

Etude descriptive et contribution à la simulation
du système anti-collision embarqué
TCAS II

Promoteur : Mr HELLAL

Établie par : M^{lle} Karima MOHAMMEDI

Co-promoteur : Mr R. BENAÏSSA



Promotion 2001

RESUME

Le sujet que nous avons traité porte sur l'étude descriptive et fonctionnelle du système d'anticollision embarqué le TCAS (Traffic Collision Avoidance System).

Il a été démontré que le système d'anticollision embarqué, le TCAS, est un système essentiel et important dans l'amélioration de la sécurité de vol des aéronefs.

Le système d'anticollision embarqué, le TCAS, opère indépendamment mais d'une manière compatible avec les systèmes de contrôle de circulation aérienne (ATC : Air Traffic Control) par le moyen d'affichage et annonces vocales au niveau du cockpit. Le TCAS II fournit à l'équipage de bord des informations (altitude) de tout aéronef circulant dans un rayon de 30 miles, il lui génère des recommandations (manœuvres) pour éviter qu'un risque de collision puisse se produire.

Le système d'anticollision embarqué assure la surveillance et la détection des aéronefs franchissant les limites de sécurité et qui pourraient représenter des menaces de collision.

Dans ce document, une étude descriptive et fonctionnelle détaillée est présentée et aussi les performances de deux versions du TCAS, version 6.04 et version 7.0.

Enfin, une partie programmation est présentée et consiste à simuler le TCAS dans le cas où l'intrus est en montée, l'intrus est en descente et l'intrus maintenant la même altitude.

REMERCIEMENTS

Je remercie DIEU tout puissant de m'avoir donné la force de mener à bien ce travail

Je remercie tout particulièrement Mr. Rachid BENAÏSSA, pour avoir accepté de diriger, de corriger et de critiquer ce travail, je le remercie pour ces conseils, pour la vigueur et la persévérance qu'il sans cesse exigées de moi durant la confection de ce mémoire et tout au long de mon cursus.

Je remercie également , Mr. HELLAL, d'avoir accepté d'être mon promoteur Mr. EL HABBES, de m'avoir aidé à choisir le sujet, Mr. BOUCHATTER « d'Air Algérie », Mr. Mohand LAGHA, Mr. Djallal FAHD, Mr. Kamel BENACHENOU ainsi que Mr Farid BELKHROUF pour leurs aide précieuse.

Je remercie également l'honorable jury devant lequel j'ai le privilège d'exposer mon travail.

Je tiens aussi à exprimer mes remerciements à Arezki RAHIM pour sa contribution à l'achèvement de mon travail.

Je remercie finalement toute personne ayant participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à l'être le plus cher, ma mère, pour son amour et ses sacrifices, que ce travail soit pour toi le témoignage de ma plus profonde reconnaissance et mon affection la plus chaleureuse.

A mon très cher père pour son amour, son soutien moral et sa confiance.

A mes frères Papi, Tarik et Redouane.

A mes sœurs, Kahina, Saïda et surtout Farida qui m'a beaucoup aidé.

A mon adorable petite nièce Maïssane, Chiraze.

A ma grand mère et mes tantes Mahdjouba, Salima ainsi que tata Hafida et ses enfants.

A la mémoire de mon frère Farid, mon grand père Larbi, mon grand père Ahmed et ma grand mère Yamina.

A mon très cher Arezki RAHIM, pour son soutien moral et sa présence dans les moments critiques.

A mes amis Khaled AZZI, Allal SFMANI, Rabah LAHOUATI, Wahida MOKHTARI, Hakima SAADI, Ouarda BELGOUL, Selma TENANI et Assia TENANI

Je dédie très particulièrement ce mémoire à mon très cher A. Rahim qui a toujours été présent, qui a eu confiance en moi et fait preuve de beaucoup de patience et d'affection.

SOMMUAIRE

LISTE DES FIGURES

INTRIDUCTION

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE TCAS

I-1	INTRODUCTION	1
I-2	HISTORIQUE	2
I-3	DEFINITION	4
I-4	DESCRIPTION DU SYSTEME	5
I-4-1	Description de l'équipement TCAS/RT	7
I-4-2	Description du TVSI	8
I-4-3	Description du panneau de contrôle	9
I-4-4	Description de l'antenne directionnelle	9
I-4-5	Description du transpondeur	11

CHAPITRE II : ETUDE DESCRIPTIVE DU SYSTEME TCAS

II-1	SPECIFICATIONS FONCTIONNELLES	12
II-2	SPECIFICATIONS DE PERFORMANCES DE SURVEILLANCE	13
II-2-1	Spécifications générales	13
II-2-2	Probabilité d'établissement de piste	13

II-2-3	Surveillance des intrus	15
• II-3	CONTROLE DE BROUILLAGE	17
II-3-1	Puissance RF rayonnée maximale	17
II-3-2	Limitation du brouillage	17
II-4	AVIS DE CIRCULATION	22
II-4-1	Génération d'avis de circulation	22
II-4-2	Délai d'avertissement pour les avis de circulation	22
II-4-3	Test de distance	22
II-4-4	Test d'altitude	23
II-5	DEFINITION DES MENACES	24
II-5-1	Détection de menace	24
II-5-2	Niveaux de sensibilité	27
II-5-3	Critère de déclaration de menace	29
II-5-4	Test de distance	29
II-5-5	Test d'altitude	31
II-5-6	Sélection des valeurs de paramètres de la génération RA	33
• II-6	AVIS DE CIRCULATION	34
II-6-1	Génération d'un avis de circulation	34
II-6-2	Annulation de l'avis de résolution	34
II-6-3	Sélection de l'avis de résolution	34
II-6-4	Définition des types d'avis de résolution	34
II-6-5	Séparation verticale cible	37
II-6-6	Menaces dotées du système TCAS	39
II-6-7	Inversions	40
II-6-8	Atténuation des avis de résolution	40

II-6-9 Restrictions apportées aux avis de résolution	41
II-7 COORDINATION ET COMMUNICATION	48
II-7-1 Coordination avec les menaces du système TCAS	48
II-7-2 Communication avec le sol	51
II-7-3 Coordination air-air	52
II-7-4 Commande de réglage du niveau de sensibilité	55
II-7-5 Transfert de données entre le TCAS et son transpondeur mode S	56
II-8 PROTOCOLES TCAS	57
II-8-1 Protocoles de surveillance	57
II-8-2 Protocoles de coordination air-air	75
II-8-3 Protocoles de communication entre TCAS et station sol	80
• II-9 FORMAT DU SIGNAL	86
II-9-1 Caractéristiques RF et des signaux électromagnétiques	86
II-9-2 Relation entre format de signal et TCAS mode S	115
II-9-3 Description des champs	115
II-10 CARACTERISTIQUES DE L'EQUIPEMENT TCAS	127
II-11 CONTROLE	128
II-11-1 Effet sur le fonctionnement du TCAS	128
II-11-2 Relation au résultat de contrôle	128

II-12 SPECIFICATIONS RELATIVES A UN TRANSPONDEUR	129
MODE S UTILISE AVEC LE TCAS	
II-12-1 Possibilités du transpondeur	129
II-12-2 Transfert de données entre le TCAS et son transpondeur	129
mode S	

CHAPITRE III : SPECIFICATIONS FONCTIONNELLES DU SYSTEME TCAS

III-1 FONCTIONNEMENT DU SYSTEME TCAS	132
III-1-1 L'adresse du mode S	132
III-1-2 Transpondeur mode s	133
III-1-3 Antenne directionnelle TCAS	135
III-2 INTEROPERABILITE DU SYSTEME TCAS	137
III-2-1 TAU	138
III-2-2 Sensibilité	140
III-2-3 Interrogation TCAS/séquences de réponses	142
III-3 REDUCTION D'INTERFERENCE TCAS	146
III-3-1 Brouillage	146
III-3-2 Fruit	146
III-3-3 Whisper-Shoot	147
III-4 SURVEILLANCE DU SYSTEME TCAS	148
III-4-1 Volume de surveillance	148
III-4-2 L'affichage des volumes	150

III-4-3 R/t du TCAS	152
III-4-4 La portée	153
III-4-5 Le taux de rapprochement	153
III-4-6 L'évitement	153
III-4-7 L'altitude	154
III-5 OPERATION DU TCAS II	155
III-5-1 Description fondamentale des opérations du système TCAS	155
III-5-2 Opération du système	156
III-6 EQUIPEMENT INDICATEUR VSI	180
III-6-1 L'instrument indicateur TA/VSI (IVA81 AK)	180
III-6-2 L'instrument indicateur RA/VSI (IVA81b)	184
III-6-3 Indicateur Radar Météo	187
III-7 FONCTIONNEMENT ET AUTOMATISME DU « SELF-TEST »	195
III-7-1 Indications du test et signalisation du RA/VSI	196
III-7-2 Lampes Test du TA/VSI et RA/VSI	197
III-7-3 Les conditions de défaillance	198
CHAPITRE IV : PERFORMANCES ET ETUDE COMPARATIVE DES DEUX VERSIONS DU SYSTEME TCAS	
IV-1 CONSIDERATIONS DU SYSTEME TCAS	199
IV-1-1 Avertissements et limitations	199
IV-1-2 Prudence pour l'équipage de bord	200
IV-1-3 Limites des avis de résolution	202

IV-2	ETUDE COMPARATIVE DES DEUX VERSIONS TCAS	203
IV-2-1	TCAS version 7.0	203
IV-3	LES ELEMENTS COMPARATIFS DES VERSIONS TCAS	205
IV-3-1	Les améliorations d'interférences limitées	205
IV-3-2	L'accroissement de la fenêtre de l'altitude de ± 10000 pieds	205
IV-3-3	Minimisation d'interférence limitée au-dessus de 18000 pieds	206
IV-3-4	Minimum de portée de surveillance spécifiée	206
IV-3-5	Plus d'efficacité dans l'environnement de plusieurs aéronefs	207
IV-3-6	Maintien du taux des avis de résolution	210
IV-3-7	Le non affaiblissement du VSL des avis de résolution	210
IV-3-8	Absence du filtre de distance horizontale HMDF	211
IV-3-9	Aéronef équipé du système TCAS par rapport aux avis réversibles	211
IV-3-10	L'affaiblissement des RA	211
IV-3-11	Adaptation de la portée d'interrogation mode S	213
IV-3-12	Adaptation de séquence Whisper-Shoot mode C	213
IV-4	DIFFERENCE ENTRE LE TCAS VERSION 6.04 ET VERSION 7.0	216
IV-4-1	Seuil vertical	216
IV-4-2	Nouveaux messages	216

IV-5 TRANSPONDEURS VERSION 7.0	219
IV-5-1 Rapport de l'avis de résolution	219
IV-5-2 Rapport de capacité de rapport de données	219
IV-5-3 L'accès du TCAS au registre GICB du transpondeur	220
CHAPITRE V : SIMULATION	
V-1 PRESENTATION DU MATERIEL SOFTWARE	221
V-2 DIFFERENTS MODELES DE LA SIMULATION	221
V-2-1 Cas intrus en montée	221
V-2-2 Cas intrus en descente	224
V-2-3 Cas intrus au même niveau de vol	227
CONCLUSION GENERALE	230
ANNEXE	231
BIBLIOGRAPHIE	

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I

Fig. I-1	Composition du système TCAS	5
Fig. I-2	Composition du système ATS	6
Fig. I-3	TCAS / RT	7
Fig. I-4	TVSI	8
Fig. I-5	Unité de contrôle	9
Fig. I-6	Antenne directionnelle	10
Fig. I-7	Antenne directionnelle	10
Fig. I-8	Transpondeur	11

CHAPITRE II

Fig. II-1	Séquence de coordination	54
Fig. II-2	Limites du spectre pour l'interrogation	90
Fig. II-3	Séquence d'impulsions d'interrogations intermodes	92
Fig. II-4	Séquence d'impulsions d'interrogation mode S	93
Fig. II-5	Limites du spectre pour le transpondeur	95
Fig. II-6	Réponse mode S	96

CHAPITRE III

Fig. III-1	Schéma synoptique du fonctionnement mode S/TCAS	132
Fig. III-2	Communication	133
Fig. III-3	Suite de communication	134
Fig. III-4	Suite de communication	134
Fig. III-5	Etendu de surveillance de l'antenne directionnelle	135
Fig. III-6	Les quatre quadrants formants les 360° d'azimut	136
Fig. III-7	Limites du TAU	139
Fig. III-8	Séquence réponse / interrogation TCAS	145
Fig. III-9	Les volumes de surveillance	149
Fig. III-10		149
Fig. III-11	Sélection « au-dessus »	150
Fig. III-12	Sélection « Normal »	151
Fig. III-13	Sélection « au-dessous »	151
Fig. III-14	Sélection « au-dessus / au dessous »	152
Fig. III-15	Aperçu des couvertures des générations des avis et leurs symboles	155
Fig. III-16	Affichage des différents symboles pour TA/RA	157
Fig. III-17	Affichage des symboles Ta/RA « circulation hors échelle »	158
Fig. III-18	Affichage « No Bearing » TA/RA	158
Fig. III-19	« No Threat Traffic »	159
Fig. III-20	« Proximity Intruder Traffic »	160
Fig. III-21	TA	161
Fig. III-22	RA	162
Fig. III-23	Affichage 2 intrus cas « Climb, Climb »	165
Fig. III-24	Affichage VSI	165
Fig. III-25	Affichage cas « Maintain Vertical Speed, Maintain »	166

Fig. III-26	Affichage VSI	166
Fig. III-27	Affichage cas « Monitor Vertical Speed »	167
Fig. III-28	Affichage VSI	167
Fig. III-29	Affichage cas « Traffic, Traffic »	168
Fig. III-30	Affichage VSI	168
Fig. III-31	Affichage cas « Maintain Vertical Speed, Maintain »	169
Fig. III-32	Affichage VSI	169
Fig. III-33	Affichage cas « descend, Descend »	170
Fig. III-34	Affichage VSI	170
Fig. III-35	Affichage cas « Maintain Vertical Speed, Maintain »	171
Fig. III-36	Affichage VSI	171
Fig. III-37	Affichage cas « Monitor Vertical Speed »	172
Fig. III-38	Affichage VSI	172
Fig. III-39	Affichage cas « Traffic, Traffic »	173
Fig. III-40	Affichage VSI	173
Fig. III-41	Affichage cas « Maintain Vertical Speed, Maintain »	174
Fig. III-42	Affichage VSI	174
Fig. III-43	Affichage cas « descend, Descend »	175
Fig. III-44	Affichage VSI	175
Fig. III-45	Affichage cas « Climb, Climb Now »	176
Fig. III-46	Affichage VSI	176
Fig. III-47	Affichage « Clear of Conflit »	177
Fig. III-48	Affichage VSI	177
Fig. III-49	Instrument VSI	181
Fig. III-50	Boutons de sélection du VSI	181
Fig. III-51	Scénario 1	182
Fig. III-52	Scénario 2	182

Fig. III-53	Scénario 3	182
Fig. III-45	Scénario 4	182
Fig. III-55	Scénario 5	183
Fig. III-56	Scénario 6	183
Fig. III-57	Scénario 7	183
Fig. III-58	VSI IVA 81 B	184
Fig. III-59	VSI KAV 485 T	184
Fig. III-60	Affichage des dispositions des messages	185
Fig. III-61	Indicateur Radar Météo	187
Fig. III-62	Mode Radar Seulement	188
Fig. III-63	Mode superposition du mode Radar /TCAS	189
Fig. III-64	Mode TCAS seulement	190
Fig. III-65	Mode TCAS seulement, TCAS TA et RA d'un Trafic Hors échelle à une portée de 5 miles	190
Fig. III-66	Mode TCAS seulement, même trafic à une portée 10 miles	191
Fig. III-67	TCAS défaillant	192
Fig. III-68	Affichage	193
Fig. III-69	Affichage des faux messages	194
Fig. III-70	Motif test Radar portée 5 NM	195
Fig. III-71	Motif test TA/VSI portée 5 NM	195
Fig. III-72	Signalisation RA/VSI	196
Fig. III-73	Alternance des bandes de couleurs	197

CHAPITRE IV

Fig. IV-1	Limites de RA	202
Fig. IV-2	Schéma du scénario exemple 1	208
Fig. IV-3	Schéma du scénario exemple 2	209
Fig. IV-4	Affichage des arcs des RA positifs	212

CHAPITRE V

Fig. V-1	Intrus en montée	221
Fig. V-2	Intrus en descente	224
Fig. V-3	Intrus au même niveau de vol	227
ORGANIGRAMME « 1 »	Organigramme du cas d'intrus en montée	222
ORGANIGRAMME « 2 »	Organigramme du cas d'intrus en descente	225
ORGANIGRAMME « 3 »	Organigramme du cas intrus au même niveau de vol	228

Introduction

INTRODUCTION :

Le trafic aérien a connu une progression très importante pendant les dernières décennies et toutes les prévisions tendent à montrer que cette croissance ne devrait guère ralentir dans les prochaines années. De 1986 à 1996, le trafic a connu un accroissement de 66% et on prévoit pour 2006 un accroissement par rapport à 1996 de l'ordre de 35% à 70%.

Dans ces conditions, la congestion du ciel est en passe de devenir le facteur limitant de la croissance du trafic aérien, du moins en Europe, et la pression des compagnies aériennes se fait de plus en plus forte pour que la gestion du trafic soit à la fois plus souple et plus efficace, ce qui engendre une surveillance plus exigeante par de nouveaux moyens de navigation et de surveillance, d'où la nécessité et l'obligation pour chaque avion d'être équipé d'un système anti-collision ACAS (AIR BORN COLLISION AVOIDANCE SYSTEME) ou TCAS (TRAFFIC COLLISION AVOIDANCE SYSTEME), le premier étant une version européenne exigée à bord des avions à partir de l'an 2000, le deuxième système est une version américaine, obligatoire pour les avions de 30 passagers pénétrant dans l'espace aérien des Etats Unis depuis le 30 décembre 1993.

Le TCAS II est un système utilisé pour détecter et poursuivre les avions qui sont aux alentours de l'avion TCAS. En interrogeant leurs transpondeurs, il analyse les réponses pour déterminer la distance, le relèvement et reporter l'altitude et l'altitude relative de l'intrus. Le TCAS II devra déterminer s'il existe une possibilité de menace de collision et de là, il émettra des avis visuels et vocales appropriés à des manœuvres d'évitement dans le plan vertical.

Le TCAS est incapable de détecter n'importe quel aéronef intrus qui n'est pas doté d'un transpondeur opérant dans le mode A/C ou dans le mode S.

Notre étude consiste à réaliser une étude descriptive du système d'anticollision embarqué et à une contribution à la simulation de ce système. Notre rapport se compose de :

- Partie descriptive du système TCAS
- Spécifications fonctionnelles du système TCAS
- Performances et étude comparative du système TCAS
- Simulation.

Chapitre I

Généralités sur le TCAS

I-1 HISTORIQUE :

En 1955, l'aviation commerciale et en général a beaucoup augmenté, et l'espace aérien a commencé à avoir une hausse de risque de collision en plein ciel.

Au départ, au milieu de l'année 1955, le chercheur Dr J Morrell de Coorporation Bendix a entrepris une des premières étude scientifique pour déterminer la cause et les préventions contre les collisions en plein ciel. Le DR J Morrell a publié un document sous le titre « la physique de la collision » où il a défini la théorie de « l'enveloppe de l'espace aérien en trois dimensions » entourant chaque aéronef. Un aéronef est considéré comme une menace potentiel. dès qu'il franchit cette enveloppe. Suite à cela, ce document est devenu le grand-père de tous les développements futurs des systèmes d'évitement de collision.

Aussi, au milieu de l'année 1955, l'association du transport aérien (ATA) avait demandé à l'industrie aéronautique des études de déterminer si le système d'évitement de collision était plausible. Entre l'année 1959 et l'année 1974 plusieurs tentatives ont été établies pour développer le système d'évitement de collision standard. Différents systèmes ont été expérimentés avec les différents concepts d'évitement de collision. Depuis, la législation établie par la FAA (Federal Aviation Agency) a pris en considération les problèmes liés en aux collisions en plein ciel.

Au début de l'année 1980, la FAA a accordé à Bendix l'engagement de développer le système d'évitement de collision qui a été appelé « TCAS II ». Le système TCAS II peut poursuivre un aéronef qui se trouve à 30 miles de l'aéronef équipé du système TCAS, il fournit des commandes guidantes verticales (vocales et visuelle) pour permettre à l'équipage de bord de prévenir les collisions en plein ciel.

Par ce que la FAA a exigé que tous les aéronef d'ordre commerciales à plus de 30 passagers soit équiper du système TCAS II, deux autres grand géant de l'aviation dans le développement du système TCAS II (Rock Well Collins et Honeywell) étaient anxieux à l'idée de produire leurs propre systèmes TCASII.

Au milieu de l'année 1980, la recherche a commencé le développement du système TCAS III.

On a voulu que ce système puisse fournir des manœuvres guidantes dans les plans horizontal et vertical (Tourner à gauche, tourner à droite). Des difficultés techniques ont interrompus le développent du TCAS III. Le concept du système TCAS III a été modifié et son appellation est passé au TCAS VI.

développent du TCAS III. Le concept du système TCAS III a été modifié et son appellation est passé au TCAS VI.

Suite à un autre incident parvenu en plein ciel en 1986, la FAA à exiger le système TCAS II en 1988. Le 1 janvier 1994, la FAA a exigé et contraint tous les aéronef de plus de 31 passagers survolant l'espace aérien américain d'être équipés du système TCAS II. Le 1 janvier 2000 le système TCAS II a été exigé pour les aéronefs survolant l'espace aérien européen. En mars 2001, il a été exigé pour les aéronefs survolant l'espace aérien africain.

L'intérêt de l'application commerciale de la technologie du système TCAS dans l'application militaire est plus grand à cause de la capacité du système TCAS à assister la formation de vol, et la capacité de rehausser la sécurité de vol entre les aéronefs militaires et les aéronefs commerciaux.

A ce jour la division du transport aérien Rockwell Collins a délivré plus de 5000 système TCAS

I-2 DEFINITION :

Le TCAS est un système autonome d'anticollision embarqué développé récemment par la FAA (Federal Aviation Administration) avec les sociétés BENDIX/KING et HONEYWELL. Ce système fournit au pilote des informations sur le trafic dans l'environnement immédiat de l'avion, en donnant un ordre d'évitement dans le plan vertical lorsqu'il détecte un risque de collision ou de rapprochement estimé dangereux avec un autre avion.

Les tests en vol effectués en 1988 et 1989 ont montrés qu'il s'agit d'un système sur, utilisable sans problème, améliorant très certainement la sécurité dans toutes les zones à forte densité de trafic. Son importance justifie l'exposé relativement développé qui suit.

Il existe 3 types de TCAS :

Le TCAS I : le moins complexe, fournit une alarme de proximité pour aider le pilote à visualiser un « intrus » pouvant constituer un danger.

Le TCAS II : présente au pilote la position relative des intrus et définit, si nécessaire , une manœuvre d'évitement dans le seul plan vertical.

Le TCAS III : encore en développement, définira les manœuvres d'évitement dans les plans verticaux et horizontaux ceci sera possible avec l'utilisation du GPS comme moyen de navigation.

Notre étude portera essentiellement sur le TCAS II.

I-3 DESCRIPTION DU SYSTEME :

Le TCAS est un système d'anticollision embarqué indépendant, il est désigné principalement à fonctionner comme un « backup » pour le système ATC (air trafic control) sa principale fonction est « observer et éviter ».

Le TCAS est constitué comme suit :

- 2 antennes montées sur l'avion
- Unité de calculateur TCAS
- Diverses transpondeurs mode S
- Système de visualisation et d'affichage au niveau du cockpit



Fig I-1. Composition du système TCAS



Fig. I-2 Composition de l' A.T.S

La capacité de surveillance d'un système TCAS a une enveloppe définie par un rayon horizontale de 40 miles et a une distance verticale indéfinie.

Le TCAS surveille d'une manière continue l'espace aérien autour de l'aéronef à la recherche d'autres aéronefs munis de transpondeurs ATC.

Une antenne directionnelle située sur le dessus de l'appareil émet des impulsions d'interrogation sur 1030 Mhz, exactement comme un radar secondaire au sol, à différents niveaux de puissance sur quatre quadrants successifs de 90°.

Les réponses des intrus équipés de transpondeurs sont acheminées par le système TCAS, elles sont reçues sur 1090 Mhz et transmises au calculateur TCAS. Une deuxième antenne, omnidirectionnelle (éventuellement directionnelle) permet d'acquérir les intrus situés sous l'avion.

Le calculateur TCAS est en liaison avec un transpondeur mode S remplissant trois fonctions :

- Réponse aux interrogations des radars secondaires sol du contrôle de la circulation aérienne
- Outil de dialogue avec les intrus équipés de TCAS utilisé pour coordonner les manœuvres d'évitement au moyen des messages qui peuvent être insérés dans les interrogations et réponses des modes S.

- Outil de détection des intrus équipés de TCAS ou de transpondeurs mode S, ceux-ci émettent spontanément, sans être interrogés, un signal dit « squitter » qui contient le code unique d'identification de l'intrus. Sur réception d'un squitter, le TCAS interroge, sélectivement l'intrus qui a signalé sa présence, il acquiert ainsi sa distance, son gisement, son altitude (paramètres envoyés dans la réponse).

Les intrus équipés seulement de transpondeurs mode A ou mode C seront détectés au moyen d'un « appel général transpondeur classique » qui est renouvelé chaque seconde. Tous les transpondeurs mode A ou mode C qui reçoivent cet appel y répondent et il peut y avoir chevauchement des réponses si les distances de deux ou plusieurs intrus diffèrent entre elles de moins de 1,7NM (3 Km environ). Le TCAS II peut décoder trois réponses enchevêtrées, pas plus. Pour faire mieux, on limite le nombre de transpondeurs répondant à une interrogation général par :

- La directivité de l'antenne de l'interrogation,
- L'interrogation à puissance croissante.

I-3-1 Description de l'équipement TCAS R/T :

Le TCAS R/T (le COLLINS TTR 920/921), c'est la partie centrale du système TCAS, il est le cerveau, il prend en charge les fonctions de coordination, génère les interrogations et examine les réponses reçues des intrus afin de déterminer le potentiel de menace et établit si nécessaire des avis de circulation et de résolution.



Fig I-3 : TCAS R/T Collins « TTR 920/921 »

I-3-2 Description du TVSI (920 D) « TCAS/Vertical Speed Indicator » :

Le TVSI (920 D) TCAS/Indicateur de Vitesse Vertical est un affichage plein de couleurs liquides cristallisées. Le TVSI affiche la vitesse verticale sur un compteur circulaire standard avec une aiguille placée sur les variations de l'altitude barométrique.

Les avis de résolutions du système TCAS sont affichés dans des segments de couleur rouge et verte placés autour du compteur de la vitesse verticale. Lorsque le segment de couleur rouge s'allumme, il indique le taux de vitesse verticale à éviter et lorsque le segment de couleur verte s'allumme, il indique une commande de vitesse verticale qui est « FLY TO » (voler jusqu'à). Les symboles standards des intrus TCAS sont affichés pour indiquer les risques de menaces. Les textes des messages sont affichés pour montrer les modes TCAS y compris les drapeaux de défaillances TCAS. Les bits prolongés résultants sont affichés sur le TVSI. La portée du contrôle est donnée par la sélection du bouton R sur le TVSI et l'affichage du volume est contrôlé par le bouton A/B placé sur le TVSI.



Fig I-4 : TVSI 920

I-3-3 Description du panneau de contrôle TCAS/mode S (COLLINS TTC-920) :

Le panneau de contrôle TCAS/mode S fournit le contrôle du système TCAS R/T et du transpondeur mode S. Il commande les fonctions TCAS tel que TEST, STBY (stand by), TA(traffic advisory : avis de circulation)ou TA/RA (resolution advisory : avis de résolution) et fournit l'insertion de l'entrée du code mode A dans le système. La sélection d'altitude et transpondeur à la fois est exécutée à travers le panneau de contrôle TTC 920.

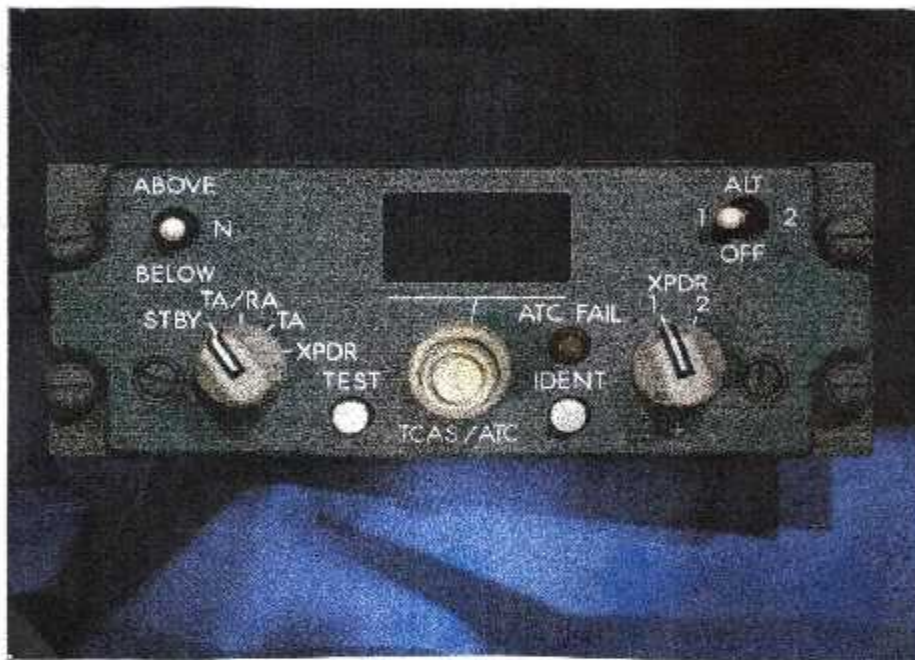


Fig I-5 : Unité de contrôle (Collins TTC 920)

I-3-4 Description de l'antenne directionnelle (TRE-920) :

L'antenne directionnelle (TRE-920) comprend un exposant de quatre gouvernails passifs et des éléments de rayonnement montés à 0°, 90°, 180° et 270° dans les rapports des axes favorables de l'antenne. C'est aussi (dépendant de l'installation) l'antenne omni disponible.

Durant les interrogations TCAS mode S et l'ATCRBS (Air Traffic Control Radar Beacon System) reçoit l'entrée des signaux à 1030 MHz du TCAS R/T pour la transmission , durant la reception TCAS chacun des quatre éléments directionnels reçoit tout signal RF présent à 1090MHz et l'achemine au processus TCAS.

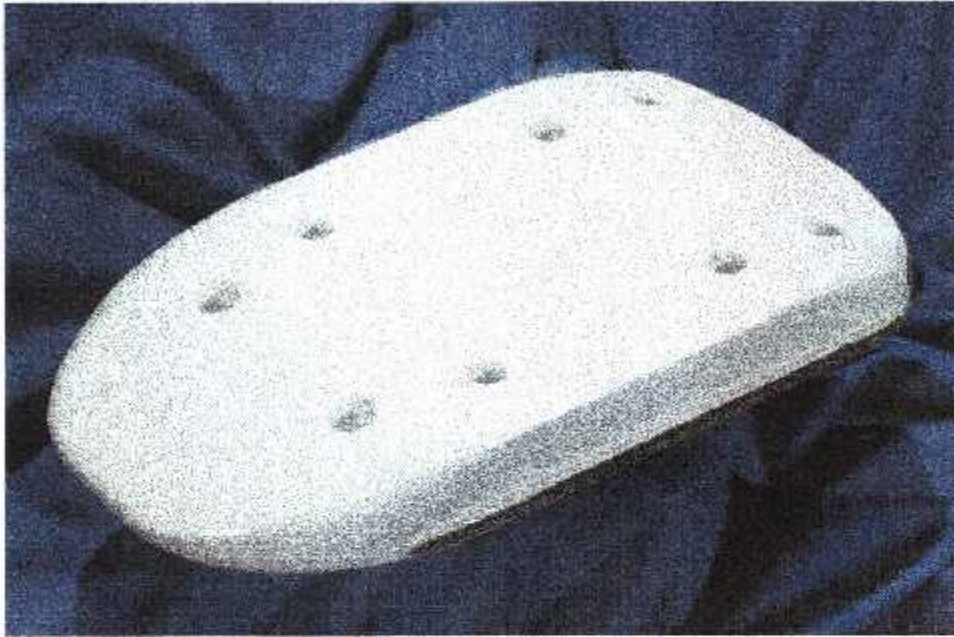


Fig I-6 : Antenne directionnelle



Fig I-7 : Antenne directionnelle

I-3-5 Description du système transpondeur TDR-94D :

Le transpondeur TDR-94D transmet les messages des réponses à une fréquence de 1090MHz quand il reçoit les interrogations à une fréquence de 1030 MHz par le système TCAS équipant l'aéronef ou par l'ATC station sol. Les interrogations du mode S comprend une adresse ID unique de l'aéronef et seulement le transpondeur mode S assigner à cette adresse va répondre. Le contrôle du transpondeur

TDR-94D qui comprend le Self-Test est accompli par l'unité de contrôle TTC-920.

- Le TDR-94D est un transpondeur mode S de poids léger, il utilise des bandes L de l'antenne du haut et l'IFF de l'antenne du bas. Le transpondeur de mode S est un support pour tous les radars commerciaux de surveillance secondaires modes A/C et mode S, le mode S fournit les adresses de sélection des interrogations du transpondeur mode S.
- Le TDR-94D est intégré dans la capacité du TEST(BIT) et exige un équipement de support de niveau non organiser pour le CHECK-OUT/TROUBLE-SHOOTING (reglage des troubles filants). La capacité de bit du TDR-94D est initié par l'unité de contrôle du TTC-920.
- Le transpondeur TDR-94D transmet les messages de réponses à 1090MHz quand il reçoit les interrogations appropriées à 1030 MHz par le TCAS équipant l'aéronef ou les stations sol du contrôle de trafic aérien. Les interrogations mode S contiennent l'unique adresse ID de l'aéronef et seulement le transpondeur mode S assignera cette adresse à répondre. Le contrôle du transpondeur TDR-94D qui inclus le self-test est accompli par l'unité de contrôle TTC-920.

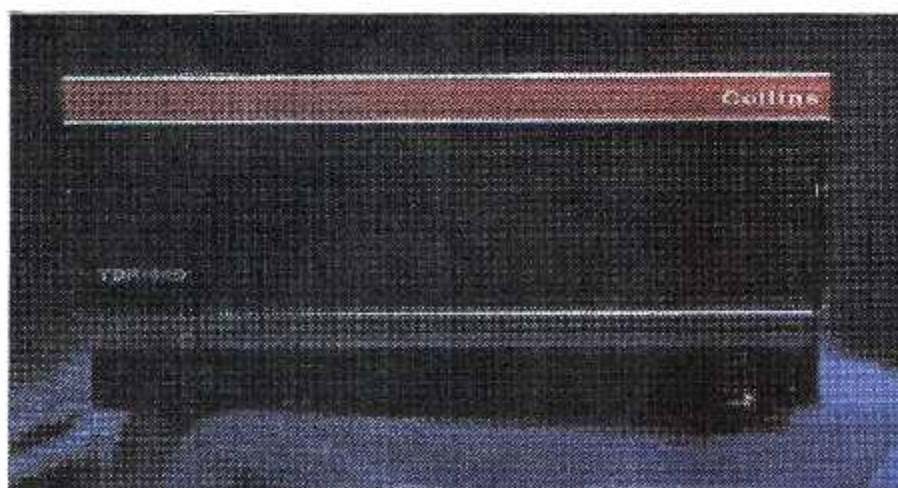


Fig. I-8 : Transpondeur

Charitra II
Etude descriptive
du système TCAS

II-1 SPECIFICATIONS FONCTIONNELLES :

Les données minimales d'entrée qui sont fournis au système TCAS sont :

- 1- code d'adresse de l'aéronef
- 2- transmission mode S air-sol reçue par le transpondeur et destiné au TCAS
- 3- vitesse vraie maximale de croisière de l'aéronef de référence
- 4- altitude–pression
- 5- hauteur déterminée par radioaltimètre.

Le TCAS accomplira les fonctions suivantes :

- 1- surveillance
- 2- génération d'avis de circulation (TA)
- 3- détection de menace
- 4- génération d'avis de résolution
- 5- coordination
- 6- communication avec des stations sol.

L'équipement accomplira les fonctions 2 à 5 au cours de chaque cycle de fonctionnement.

II-2 SPECIFICATIONS DE PERFORMANCES DE SURVEILLANCE :

II-2-1 Spécifications générales :

Le TCAS interrogera les transpondeurs SSR (Radar Secondaire de Surveillance) mode A/C et mode S à une cadence nominale d'une fois par seconde. Les interrogations sont émises à un niveau de puissance apparente rayonnée nominal de +54(+2)dBm mesurée à un site de 0 degré par rapport à l'axe longitudinale de l'aéronef. Lorsque des transpondeurs modes A/C et mode S signalant l'altitude reçoivent ces interrogations, ils émettent des réponses indiquant leur altitude. Le TCAS détectera ces réponses d'où il pourra mesurer la distance et le gisement de tous les aéronefs dotés du transpondeur qui répondent. A partir des données et des renseignements contenus dans les réponses, le TCAS estimera la position relative de chaque aéronef intrus en fonction du temps qui s'écoule entre l'émission de l'interrogation et la réception de la réponse. Il pourra déterminer la position de ces aéronefs en présence de réflexion par le sol, de brouillage et de variation de puissance du signal.

II-2-2 Probabilité d'établissement de piste :

Le TCAS générera une piste avec une probabilité d'au moins de 0,90 que celle-ci soit établie 30 secondes avant le rapprochement maximale, pour les aéronefs dotés de transpondeur quand les conditions citées ci-dessous sont remplies :

- a) l'angle de site de ces aéronefs ne dépasse pas ± 10 degrés par rapport au plan défini par l'axe longitudinale et l'axe transversal de l'aéronef TCAS.
- b) le taux de variation d'altitude de ces aéronefs est inférieur ou égale à 51 m/s (1000ft/mn).
- c) les transpondeurs et les antennes soient conformes aux normes des systèmes fonctionnant seulement en mode A et mode C et des systèmes fonctionnant seulement en mode S.
- d) la vitesse de direction de rapprochement de ces aéronefs, la densité locale d'aéronefs dotés d'un transpondeur dans le voisinage remplissent les conditions du tableau qui suit.
- e) la distance oblique minimale est égale ou supérieure à 300 m (1000 ft).

Conditions									Performances
Vitesse de rapprochement maximale						Densité de circulation Maximale		Nombre maximal d'autre TCAS à moins de 56 km (30NM)	Probabilité de réussite
Avant		Quadrant Latéral		Arrière		Aéronef/ km ²	Aéronef/ NM ²		
m/s	kt	m/s	kt	m/s	kt				
260	500	150	300	93	180	0,87	0,30	30	0,90
620	1200	390	750	220	430	0,017	0,06	30	0,90

Tableau II-1

Le TCAS n'établira pas de piste pour les aéronefs mode S qui signalent qu'ils se trouvent au sol, il continuera à assurer la surveillance même si dans le cas où l'une des limitations définies au dessus est dépassé et cela sans provoquer aucune diminution de la probabilité d'établissement de piste.

Le TCAS doit être capable des performances de poursuite spécifiées quand la cadence maximale de réception des interrogations par les différents transpondeurs surveillés est de 500 interrogations par seconde et quand la cadence moyenne des réponses asynchrones SSR modes A/C des transpondeurs se trouvant dans le voisinage de l'aéronef TCAS est de 240 réponses par seconde.

II-2-2-1 Probabilité d'établissement de fausse piste : La probabilité qu'une fausse piste soit établie est plus ou moins minime, celle-ci ne correspondra pas à la distance et à l'altitude d'un aéronef réel, elle sera inférieure à 10^{-2} pour le mode A/C et inférieure à 10^{-6} pour le mode S. Ces limites ne seront dépassées dans aucun environnement de circulation.

II-2-2-2 Précision des mesures de distance et de gisement : Concernant la mesure de distance, la précision sera de 14,5m (1/128NM) ou meilleur, par contre concernant la mesure de gisement, les erreurs de mesure du gisement des estimations de position des intrus ne dépassent pas 10 degrés en valeur quadratique. La mesure de gisement est utile pour la détection des menaces, sa précision suffit pour assister le pilote à acquérir une détection visuelle des menaces potentielles.

II-2-3 surveillance des intrus :

La surveillance vise principalement à obtenir des comptes rendus de position et à établir la corrélation entre ces comptes rendus pour établir des pistes. La surveillance exige que l'on utilise la fonction de poursuite et que l'on estime des taux de variation. L'unité TCAS émet une séquence d'interrogations à la cadence nominale d'une fois par seconde. Les interrogations sont émises à un niveau de puissance apparente rayonnée nominal de +54 (± 2) dBm mesuré à un site de 0 degré par rapport à l'axe longitudinal de l'aéronef. Lorsque des transpondeurs modes A/C et mode S signalant l'altitude reçoivent ces interrogations, ils émettent des réponses indiquant leur altitude. L'unité TCAS calcule la distance à laquelle se trouve chaque aéronef intrus en fonction du temps qui s'écoule entre l'émission de l'interrogation et la réception de la réponse. Le taux de variation d'altitude et le taux de variation de distance sont déterminés d'après l'information contenue dans la réponse.

En l'absence de brouillage, de surcharge, de condition liées à la limitation de brouillage, et d'autres effets nuisibles, l'équipement est normalement capable d'assurer la surveillance de cibles modes A/C et mode S jusqu'à 26 km (14NM) de distance. Cependant, du fait que la fiabilité de la surveillance diminue à mesure que la distance augmente, il ne devrait considérer comme des menaces possibles que les cibles se trouvant à un maximum de 22 km (12 NM). On ne devrait pas permettre qu'une cible constituée au-delà fasse générer et afficher un avis de résolution. Cependant le système TCAS est capable de détecter des interrogations diffusées provenant d'aéronefs dotés du système TCAS à un maximum de 56 km (30 NM) de distance nominale.

L'équipement devrait être capable d'assurer la surveillance d'un mélange quelconque de cibles modes A/C ou mode S et sa capacité de surveillance totale doit être de 30 aéronefs. L'équipement TCAS est nominalelement destiné à assurer la surveillance fiable des cibles à vitesse élevée de rapprochement dans un espace aérien où la valeur maximale de la densité de circulation atteint 0.017 aéronef par km² (0.06 aéronef par NM²), soit environ 27 aéronefs dans un rayon de 26 km (14 NM).

Lorsque la valeur moyenne de la densité de circulation dépasse la valeur citée ci-dessus, la distance maximale de surveillance fiable diminue. L'équipement TCAS n'est capable d'assurer la surveillance fiable que des cibles dont la vitesse de rapprochement ne dépasse pas 260 m/s (500 kt) dans un espace aérien où la densité moyenne est de 0.087 aéronef par km² (0.3 aéronef par NM²). La

distance maximale de surveillance des cibles de 260 m/s (500 kt) doit être d'environ 9,3 km (5NM). Il est possible d'assurer la surveillance jusqu'à 9,3 km (5 NM) dans un espace aérien où la valeur de crête à court terme de la densité de circulation est de 0,087aéronef/km² (0.3 aéronef/NM²) sans que la capacité totale dépasse 30 cibles. Si jamais le nombre total de cibles dépasse 30 aéronefs à une distance quelconque (< 26 km (14 NM)), il est toujours possible d'abandonner les cibles éloignées sans nuire à la capacité d'assurer la surveillance fiable des cibles plus lentes. Par conséquent, une capacité maximale de 30 cibles (mélange quelconque de cibles modes A/C et mode S) est adéquate pour le TCAS, si le nombre dépasse 30, il faudra abandonner les cibles excédentaires dans l'ordre décroissant des distances quel que soit le type de cible.

II-3 CONTROLE DU BROUILLAGE :

II-3-1 Puissance RF rayonnée maximale :

Lors d'une émission TCAS à un site de 0 degré par rapport à l'axe longitudinal de l'aéronef, la puissance apparente rayonnée ne dépassera pas 27 dBW ; par contre, lorsque le TCAS n'émet pas d'interrogation, la puissance rayonnée dans n'importe quelle direction ne dépassera pas -70 dBW.

II-3-2 Limitation du brouillage :

Tout interrogateur TCAS qui fonctionne à une altitude-pression inférieure à 5490m (18000 ft) contrôlera soit la cadence de ces interrogations soit la puissance de ces interrogations ou bien même la cadence et la puissance de ces interrogations et cela de sorte que les inégalités spécifiques suivantes soient vérifiées :

$$\left\{ \sum_{i=1}^{it} [p(i)/250] \right\} < \text{minimum} [280 / 1 + n_a , 11 / \alpha^2] \quad (1)$$

$$\left\{ \sum_{i=1}^{it} m(i) \right\} < 0.01 \quad (2)$$

$$\left\{ 1/B \sum_{k=1}^{kt} p_a(k) / 250 \right\} < \text{minimum} [80 / 1 + n_a , 3] \quad (3)$$

les variables sont définis comme suit :

it = nombre d'interrogation mode A/C et mode S émises pendant un cycle d'interrogation d'une seconde;

i = indice d'interrogation modes A/C et mode S, $i=1,2,\dots,it$;

α = minimum d' α , calculé suivant l'expression $\alpha_1 = 1/4 [n_b/n_c] / \log_{10} 25$, ou n_b et n_c représentent le nombre d'aéronefs dotés d'un TCAS II et TCASIII en activité (en vol ou au sol) qui se trouvent à moins de 11,2 km (6NM) et de 5,6 km (3 NM), respectivement, du TCAS de référence (fondé sur la surveillance TCAS). Un aéronef TCAS en vol à une hauteur déterminée par radioaltimètre égale ou

inférieure à 610 m (2000ft) AGL inclura à la fois les aéronefs TCASII et TCAS III en vol et au sol dans les valeurs de n_b et n_c . dans les autres cas, le TCAS n'inclura que les aéronefs TCAS II et TCASIII dans les valeurs de n_b et n_c . de plus, la valeur d' α sera limitée à un minimum de 0,5 et un maximum de 1,0.

SI $[(n_b \leq 1) \text{ OU } (n_b > 4n_c) \text{ OU } (n_b \leq 4 \text{ ET } n_c \leq 2 \text{ ET } n_a > 25)]$, ALORS $\alpha_i = 1,0$;
 SI $[(n_c > 2) \text{ ET } (n_b > 2n_c) \text{ ET } (n_a < 40)]$, ALORS $\alpha_i = 0,5$;

$P(i)$ = puissance de crête, rayonnée depuis l'antenne dans toutes les directions, de l'impulsion ayant la plus grande amplitude parmi les impulsions constituant une seule interrogation pendant l' i ème interrogation dans un cycle d'interrogation d'une seconde, en watts ;

$m(i)$ = durée de l'intervalle de suppression mutuelle pour le transpondeur de l'aéronef de référence, associé avec l' i ème interrogation dans un cycle d'interrogation d'une seconde mesurée en seconde ;

B = facteur d'amincissement du faisceau (rapport de largeur de faisceau à 3 dB à la largeur de faisceau résultant de la suppression des lobes secondaires (SLS) à l'émission, la largeur de faisceau appropriée sera la valeur moyenne, calculée pour la population de transpondeurs, de la plage d'angles d'azimut des réponses mode A/C d'un transpondeur avec l'imitation par SLS.

$\{ \}$ = valeur moyenne de l'expression comprise entre les deux accolades pendant les 16 derniers cycles d'interrogations ;

$p_a(k)$ = puissance de crête, rayonnée depuis l'antenne dans toutes les directions, de l'impulsion ayant la plus grande amplitude parmi les impulsions constituant une seule interrogation pendant la k ème interrogation mode A/C dans un cycle d'interrogation d'une seconde, en watts ;

k = indice d'interrogation mode A/C, $k=1,2,\dots,ki$;

kt = nombre d'interrogation mode A/C émises pendant un cycle d'interrogation d'une seconde ;

n_a = nombre d'aéronefs dotés de TCASII et TCASIII en fonctionnement évoluant à proximité de l'aéronef de référence (d'après les diffusions TCAS reçus dans le cas d'un seuil de réception de transpondeur de (-74dBm) ;

Les trois inégalités citées ci-dessus sont associées avec les mécanismes physiques suivants :

- 1) du temps pendant lequel d'autres transpondeurs sont en circuit, résultant d'interrogations TCAS.
- 2) réduction du temps pendant lequel le transpondeur de l'aéronef de référence est en circuit, résultant de la suppression mutuelle durant l'émission d'interrogation.
- 3) fruit mode A/C résultant d'interrogation TCAS modes A/C. le réglage de n_a à 1 dans les inégalités (1) et (3) pour un TCAS fonctionnant à une altitude-pression supérieure à 5480m (18000ft) empêche la transmission d'une puissance illimitée par un seul TCAS en fixant une limite supérieure au produit puissance - cadence d'interrogation de 1 seconde de TCAS.

II-3-2-1 Emissions provenant d'unités TCAS au sol : Lorsqu'un aéronef TCAS indique qu'il est au sol, les interrogations TCAS seront limitées par la mise du nombre des autres aéronefs TCASII (n_a), dans les inégalités de limitation de brouillage, à une valeur égale à trois fois celle qui est obtenue sur la base des diffusions TCAS reçues avec un seuil de récepteur de transpondeur de -74 dBm. Chaque fois que la puissance d'interrogation modes A/C sera réduite en raison de limitation de brouillage, elle sera d'abord réduite dans le faisceau avant jusqu'à ce que la séquence avant corresponde aux séquences droites et gauche. Les puissances d'interrogations avant, droite et gauche seront ensuite réduites séquentiellement jusqu'à ce qu'elles correspondent à la puissance d'interrogation arrière. Tout autre réduction de la puissance mode A/C sera effectuée en réduisant séquentiellement les puissances d'interrogation avant, latérales et arrière.

II-3-2-2 Emissions provenant d'unités TCAS fonctionnant à une altitude-pression supérieur à 5490m (18000ft) : Soit la cadence, soit la puissance ou même bien la cadence et la puissance des interrogations de chaque interrogateur TCAS fonctionnant à une altitude-pression supérieure à 5490m (18000ft) sera contrôlée de la manière que les inégalités (1) et (3) citées au dessus soient vérifiées lorsque n_a et α égalent 1.

II-3-2-3 Emissions faites durant les avis de résolution : Toutes les interrogations de coordination air-air même que les diffusions d'avis de résolution et TCAS seront émises à pleine puissance, et il ne sera pas tenu compte de ces interrogations dans la sommation des interrogations mode S dans les termes de gauche des inégalités (1) et (2) citées ci-dessus durant l'avis de résolution.

II-3-2-4 Comportement du système quant l'inégalité (1) est vérifiée : Lorsque l'inégalité (1) est vérifiée, un transpondeur « victime » ne pourra jamais détecter, pendant une période d'une seconde, plus de 280 interrogations TCAS émanant de tous les interrogateurs TCAS se trouvant dans un rayon de 56 km (30 NM) autour de lui, quelle que soit leur répartition, entre les limites de l'uniformité en distance et l'uniformité en surface. Selon le terme gauche de cette inégalité, une unité TCAS peut augmenter sa cadence d'interrogation si ces émissions se font à moins de 250 W parce que les émissions de faible puissance sont détectées par moins transpondeurs.

Chaque valeur de puissance nominalisée dans la sommation du terme de gauche de cette inégalité porte un exposant α qui sert à adapter l'inégalité à la répartition localisée des TCAS. La courbe de répartition locale d'aéronefs TCAS est définie par la valeur α ; elle est obtenue à partir des mesures effectuées par le TCAS de référence afin de déterminer la répartition et le nombre d'autres TCAS présents dans un rayon de 56 km (30NM). A mesure que la répartition des TCAS passe d'uniforme en surface ($\alpha=1$) à uniforme en distance ($\alpha=0,5$), la densité, est, par conséquent, l'effet électromagnétique des aéronefs TCAS dans le voisinage d'un transpondeur « victime » augmente.

La plus grande limitation de brouillage résultant de l'emploi d'un exposant inférieur à 1 dans les valeurs de puissances normalisées de l'inégalité, compense le potentiel accru de brouillage du TCAS qui en découle. Le dénominateur du premier des termes de droite tient compte des autres interrogateurs TCAS se trouvant dans le voisinage et du fait que toutes les unités TCAS doivent limiter leur cadence et leur puissance d'interrogation de façon semblable afin que, à mesure que le nombre d'unité TCAS augmente dans une région, la cadence et la puissance d'interrogation correspondantes diminuent et que la cadence totale d'interrogation TCAS reste inférieure à 280 interrogations par seconde pour tout transpondeur.

II-3-2-5 Comportement du système quant l'inégalité (2) est vérifiée : Lorsque l'inégalité (2) est vérifiée, les signaux de suppression émanant de l'unité TCAS équipant un aéronef ne mettrons pas hors circuit le transpondeur équipant le même aéronef TCAS.

II-3-2-6 Comportement du système quant l'inégalité (3) est vérifiée : Lorsque l'inégalité (3) est vérifiée, un transpondeur modes A/C « victime » n'émettra pas plus de 40 réponses modes A/C pendant une période d'une seconde à la suite d'interrogation émanant de tous les interrogateurs

TCAS se trouvant à sa portée. On remarque, comme l'inégalité (1), l'inégalité (3) comprend des termes destinés :

- à tenir compte de la réduction de puissance à l'émission
- à tenir compte de la présence des autres interrogateurs TCAS dans le voisinage
- à limiter la puissance d'une seule unité TCAS.

Une cadence de 40 réponses (modes A/C) par seconde représente environ 20% de la cadence des réponses d'un transpondeur fonctionnant en l'absence du système TCAS dans une zone à grande circulation où fonctionnent de multiples capteurs sol modes A/C.

II-3-2-7-Facteur de temps : Dans un espace aérien où sont répartis les aéronefs TCAS entre les limites de l'uniformité en distance et l'uniformité en surface, et si les émissions de la « victime » sont bloquées pendant 35 μ s par suppression ou du fait du temps mort de réponse chaque fois qu'elle reçoit une interrogation TCAS, le temps pendant lequel elle est mise hors circuit à cause des interrogations TCAS ne dépassera jamais au total 1%. Les mesures et les simulations indiquent que le temps mort total peut être supérieur à 1% dans des régions terminales à forte densité de circulation en raison de répartitions d'aéronefs TCAS qui se trouvent au-delà de la région définie par les limites de l'uniformité en surface et de l'uniformité en distance et parce qu'il est prévu que le délai de rétablissement du transpondeur mode S pour certaines interrogations sera supérieur à 35 μ s.

Le second terme de droite de cette inégalité limite la valeur maximale du produit puissance-cadence d'interrogation dans le cas du TCAS II, quelque soit n_a , afin d'autoriser qu'une partie de l'attribution totale prévue pour la limitation du brouillage soit utilisée par le TCAS. Grâce à ce terme, qui est adapté à la répartition des TCAS par la valeur d' α dans le dénominateur, la puissance moyenne des émissions d'une unité TCASII donnée ne dépassera jamais la valeur qu'elle aurait s'il y avait, à proximité, environ 26 autres unités TCASII réparties uniformément en surface, ou 12 autres unités TCASII réparties uniformément en distance.

II-4 AVIS DE CIRCULATION :

II-4-1 Génération d'avis de circulation :

Le système TCAS émettra des avis de circulation TA (Traffic Advisory) pour prévenir l'équipage de bord de la présence de menaces possibles. L'avis de circulation TA est généré pour un intrus signalant l'altitude mode C lorsqu'un test de distance et un test d'altitude sont l'un et l'autre positifs pendant le même cycle de fonctionnement.

Il est recommandé que pendant l'affichage d'avis de circulation ou de résolution, les aéronefs situés à moins de 11km (6NM) dans le plan horizontal et , si l'altitude est signalé à moins de 370m (1200ft) dans le plan vertical, soient également affichés. Ces aéronefs devraient être distingués (à l'aide des symboles ou de couleurs) des menaces et des menaces possibles, qui devraient apparaître plus en évidence à l'affichage.

II-4-2 Délai d'avertissement pour les avis de circulation :

Pour les intrus signalant l'altitude, le délai d'avertissement nominal pour les avis de circulation ne sera pas supérieur à « $T + 20$ », T étant le délai d'avertissement nominal pour la génération de l'avis de résolution. Le test de distance relatif aux avis de circulation donne un délai nominal d'avertissement de $T + 10$ pour les niveaux de sensibilité variant de 2 à 7.

II-4-3 Test de distance :

Le test de distance a la même forme pour les avis de circulations. Le système TCAS émettra des avis de circulation TA pour prévenir l'équipage de bord de la présence de menaces possibles. Ces avis seront accompagnés d'une indication de la position relative des menaces. Les valeurs utilisées de D_m correspondent aux niveaux de sensibilité 3 à 7 [voir tableau 6], augmentées de $g(T_w - T)^2 / 6$, expression dans laquelle T_w est le délai d'avertissement désiré. La valeur de D_m correspondant au niveau de sensibilité 2 est de 0,19 km (0,10NM).

II-4-4 Test d'altitude :

Le test d'altitude est positif si l'une des conditions ci-dessous est remplie :

a- la séparation verticale actuelle est « faible »

b- les trajectoires des aéronefs sont convergentes en altitude et le temps de vol jusqu'à la même altitude est « court ».

Les seuils de temps jusqu'à la coaltitude est le délai d'avertissement et les valeurs utilisées pour Z_t sont les suivants :

z_0 FL	Au - dessous de 300	Au - dessus de 300
Z_t m	260	370
Z_t ft	850	1200

Tableau II-2

II-5 DEFINITION DES MENACES :

II-5-1 Détection de menace :

Le TCAS récupérera toutes les informations requises concernant les intrus et de là, il évaluera les caractéristiques appropriées de chaque intrus afin de déterminer s'il constitue une menace.

II-5-1-1 Caractéristiques de l'intrus :

a- Transpondeurs équipant les intrus : Le TCAS émet des avis de circulation et des avis de résolution au sujet d'aéronefs dotés de transpondeurs modes A/C et mode S signalant l'altitude. Le TCAS ne peut générer d'avis de résolution pour les aéronefs qui sont dotés de transpondeurs SSR mais pas d'anticodeurs parce qu'en l'absence de données d'altitude toute évaluation du risque de collision est impossible. Au sujet de tels aéronefs, l'équipement TCAS ne peut générer que des avis de circulation qui indiquent les données de distance, de taux de variation de distance et de gisement. Les aéronefs qui ne sont pas équipés ou qui n'utilisent pas de transpondeurs modes A/C ou mode S et les aéronefs qui sont équipés de transpondeurs mode A seulement ne peuvent pas être poursuivis par le système TCAS.

b- Vitesse de rapprochement des intrus et densités de circulation :

1) Dans le tableau I cité ci-dessus, on remarque que ce dernier tient compte du fait que dans les performances des poursuites TCAS intervient un compromis entre la vitesse de rapprochement et la densité de circulation. Lorsque la densité de circulation et la vitesse de rapprochement de l'intrus sont d'un ordre élevées, le système TCAS n'est peut être pas capable de maintenir une haute probabilité d'établissement de piste, par contre le système TCAS devrait être d'une conception telle qu'il puisse et d'une manière fiable, établir des pistes d'intrus rapides dans l'espace aérien en route à densité relativement faible (densité inférieure à $0,017$ aéronef/km², soit $0,06$ aéronef/NM²) ou dans l'espace aérien terminal à basse altitude et à densité supérieur où pour des raisons liées à l'exploitation des vitesses de rapprochement sont inférieures à 260 m/s (500 kt).

2) Ce tableau tient compte également du fait que les vitesses de rapprochement sont plus grandes en avant que de côté ou en arrière de sorte que la conception de la surveillance TCAS ne doit pas nécessairement assurer une détection fiable pour les plus grandes valeurs des vitesses de rapprochement de côté ou en arrière.

3) On remarque dans le tableau II-1 que les conditions énumérées définissent deux zones de densité distinctes dans l'espace multidimensionnel intervenant dans les performances du système TCAS, ont été déterminés par extrapolation sur la base des mesures en vol des performances d'un TCAS. Selon ces données de mesure de vol, la probabilité d'établissement de piste ne diminue pas brutalement lorsque l'une quelconque des limites fixées est dépassée.

4) Ces performances sont exprimées sous la forme de la probabilité d'établissement de piste pour une cible donnée, à la vitesse de rapprochement maximal, au sein d'une circulation de densité donnée, au minimum 30 secondes avant le rapprochement maximal. La densité maximale de circulation associée à chacune de ces deux zones de densité est définie par la relation

$$\rho = n(r) / \pi r^2$$

$n(r)$: est la valeur maximale du nombre moyen, calculé sur 30 secondes, des aéronefs dotés de SSR (aéronef de référence excepté) se trouvant au-dessus d'une zone circulaire de rayon r ayant pour centre la position sol de l'aéronef TCAS.

Dans les mesures faites en vol, les deux zones de densité n'ont pas le même rayon. Le rayon de la zone de forte densité est de 9,3 km (5NM) ; celui de la zone de faible densité est de 19 km (10NM). On peut supposer que la densité de circulation en dehors de la zone circulaire de densité constante est inversement proportionnelle à la distance, de sorte que le nombre des aéronefs est donnée par la relation :

$$n(r) = n(r_0) r/r_0$$

r_0 : est le rayon de la zone de densité constante.

5) Le tableau en question repose sur l'hypothèse supplémentaire selon laquelle au moins 25% des aéronefs équipés de transpondeurs dans l'espace aérien à densité de circulation maximale 0,087 aéronefs /km² (0,3 aéronef/NM²) sont dotés de transpondeurs mode S. Si moins de 25% d'aéronefs sont dotés du transpondeur mode S, la probabilité d'établissement de piste pour les aéronefs modes A/C peut être inférieure à 0,90 à cause du chevauchement synchrone accru. Si la densité de circulation dans la zone de rayon r_0 dépasse les limites indiquées dans ce tableau ou que le nombre d'aéronefs se trouvant au delà de r_0 augmente plus vite que r , la probabilité réelle d'établissement de piste pour les aéronefs dotés de transpondeurs modes A/C peut aussi être inférieure à 0,90 à cause du chevauchement synchrone accru. Si la vitesse de rapprochement dépasse les limites indiquées, les pistes d'aéronefs dotés de transpondeurs modes A/C et mode S risquent d'être établies tardivement.

Si le nombre des aéronefs dotés de TCAS présents dans cette zone dépasse les limites indiquées dans le tableau II-1 qui a trait à la limitation de brouillage, exige que la puissance de l'émetteur TCAS et la sensibilité du récepteur TCAS soient réduites davantage, ce qui retarde encore l'établissement des pistes. Cependant, la probabilité d'établissement de piste devrait diminuer graduellement à mesure que l'une quelconque de ces limites est dépassée.

6) Lorsque la densité de circulation est supérieure à 0,017 aéronef/km² (0,06 aéronef/NM²), on admet que le rayon nominal r_0 de la zone à densité uniforme soit de 9,3 km (5NM). Lorsque la densité est inférieure ou égale à la valeur indiquée ci-dessus, r_0 a la valeur nominale 18,5 km (10NM).

c- Limites de portée du système : En ce qui concerne l'établissement de piste, la portée nominale requise du TCAS est de 26 km (14 NM). Cependant, cette portée peut diminuer jusqu'à quelque 9,3 km (5NM) dans les zones à forte densité de circulation du fait de la limitation de brouillage. Une portée de 9,3 km (5 NM) suffit à assurer une protection en cas de rencontre à 260 m/s (500kt).

Toutes les caractéristiques citées ci-dessus servent à l'identification d'une menace, elles comprennent aussi au minimum les informations suivantes :

- a) L'altitude : z_i ;
- b) Taux de variation d'altitude observé : \dot{z} ;
- c) Distance oblique observé : r ;
- d) Taux de variation de distance oblique observé : \dot{r} ;
- e) Niveau de sensibilité du TCAS de l'intrus, S_i ;

II-5-1-2 Caractéristiques de l'aéronef de référence :

Pour la définition d'une menace, les caractéristiques de l'aéronef de référence comprendront au minimum :

- a) Altitude : z_0
- b) Taux de variation d'altitude : \dot{z}_0
- c) Niveau de sensibilité du TCAS de référence : S_0

II-5-2 Niveau de sensibilité :

Il existe différents niveaux de sensibilités où le TCAS est capable de fonctionner, ces niveaux sont :

- a) $S = 1$: mode « attente » dans lequel l'interrogation d'autres aéronefs et tous les avis sont interdits
- b) $S = 2$: mode « avis de circulation seulement » dans lequel les avis de résolutions sont interdits
- c) $S = 3$ à 7 : à ces niveaux le TCAS peut émettre des avis de circulation ainsi que des avis de résolution qui donnent les délais d'avertissement qui sont indiqués dans le tableau qui suit :

Niveau de sensibilité	2	3	4	5	6	7
Délai nominal d'avertissement	Pas de RA	15s	20s	25s	30s	35s

Tableau II-3

II-5-2-1 Sélection du niveau de sensibilité du TCAS de l'aéronef de référence (S₀) :

C'est suivant les commandes de réglage du niveau de sensibilité SLC d'origines multiples que se fera la sélection du niveau de sensibilité du TCAS de l'aéronef de référence, c'est commandes sont :

- a) commande de SLC produite automatiquement par le TCAS et fondée sur la tranche d'altitude ou d'autres facteurs extérieurs
- b) commande de SLC résultant d'une action du pilote
- c) commande de SLC émanant de la station sol mode S.

Les codes de commandes de SLC acceptables comprendront au minimum les codes du tableau suivant :

SLC fondé sur la tranche d'altitude	Code :	2-7
SLC résultant de données introduites par le pilote	Code :	0, 1, 6
SLC émanant de station sol mode S	Code :	0, 2-6

Tableau II-4

Afin de pouvoir sélectionner la commande SLC en fonction de la tranche d'altitude, une hystérésis sera appliquée comme suit aux seuils nominaux d'altitude, où la valeur de commande de SLC doit changer : pour un aéronef TCAS en montée, la commande de SLC augmentera jusqu'à l'altitude égale à la somme du seuil approprié et de l'hystérésis ; pour un aéronef TCAS en descente, la commande de SLC diminuera jusqu'à l'altitude égale à la différence entre le seuil approprié d'altitude et l'hystérésis, les indications du tableau ci-dessous sont conformes à la logique de référence :

Tranche d'altitude nominale	Code de commande de SLC	Seuil d'altitude où change la valeur du niveau de sensibilité	Hystérésis
De 0 à 1000 ft AGL	2	1000 ft AGL	± 100 ft
De 1000 à 2350 ft AGL	3	2350 ft AGL	+ 200 ft
De 2350 ft AGL à FL 50	4	FL 50	± 500 ft
De FL 50 à FL 100	5	FL 100	± 500 ft
De FL 100 à FL 200	6	FL 200	± 500 ft
Au-dessus de FL 200	7		+ 500 ft

Tableau II-5

Dans le cas de la commande SLC transmise via des stations sol mode S, la valeur 0 signifiera que la station intéressée n'émet pas de commande de SLC et que la sélection du niveau de sensibilité sera déterminée par les autres commandes, y compris les commandes différentes de 0 émanant d'autres stations sol mode S. le TCAS ne traitera pas une valeur SLC de 1 émise en liaison montante.

Le niveau de sensibilité du TCAS de l'aéronef de référence sera fixé selon la plus petite commande de SLC différente de 0 émanant de n'importe quelle source citée dans la sélection du niveau de sensibilité du TCAS de l'aéronef de référence.

II-5-3 Critère de déclaration de menace :

Un intrus constitue une menace dans le seul cas où les deux conditions ci-dessous sont remplies pendant le même cycle :

- a) le test de distance est positif.
- b) le test d'altitude est positif.

Une fois établie, la menace le reste pendant les cycles qui suivent, si au moins le test de distance est positif.

II-5-4 Test de distance :

a) **Convergence en distance** : L'aéronef est dit « convergent en distance » si l'estimation du taux de variation de distance est inférieure à \dot{R}_T . Dans ce cas, l'estimation du taux de variation de distance est le moins élevé entre le taux de variation de distance estimé et $-\dot{R}_T$. La valeur de \dot{R}_T est de l'ordre de 3m/s(6kt).

b) **Divergence en distance** : Les aéronefs sont dits « divergents en distance » lorsqu'ils ne sont pas considérés comme étant « convergents en distance ». La divergence en distance est dite « lente » si le produit de la distance estimée par la distance estimée est inférieur à P_m . Les valeurs de P_m sont les suivantes :

S	3	4 à 6	7
P_m (km ² /s)	0.0069	0.0096	0.0137
P_m (NM ² /s)	0.0020	0.0028	0.0040

Tableau II-6

II-5-4-1 Critères applicables au test de distance :

Le test de distance est positif lorsque l'une des conditions ci-dessous est remplie :

a) 1- Les aéronefs sont « convergents en distance ».

2- L'inégalité suivante est vérifiée : $(r - Dm^2/r) | r' | < T$; où r = minimum (r , R_T).

Cette équation constitue un test utile pour la situation où les estimations de distance et de taux de variation de distance indiquent que la rencontre pourrait être telle que la distance linéaire d'évitement sera inférieure ou égale à Dm et le temps de vol linéaire jusqu'à ce que le rapprochement maximal sera inférieur à T .

b) Les aéronefs sont « divergents en distance » mais la distance est inférieure à Dm et la divergence en distance est « lente ».

c) Une estimation de la distance d'évitement n'a pas pu être calculée pendant le cycle en cours ou la distance d'évitement calculée est inférieure à Hm ; dans toutes les autres conditions, le test de distance est négatif.

Les valeurs des paramètres T , Dm et Hm sont comme l'indique le tableau ci-dessous :

S	3	4	5	6	7
T_s	15	20	25	30	35
Dm (km)	0.37	0.65	1.0	1.5	2.0
Dm (NM)	0.20	0.35	0.55	0.80	1.1
Hm (m)	382	648	1019	1483	2083
Hm (ft)	1251	2126	3342	4861	6683

Tableau II-7

II-5-5 Test d'altitude :

II-5-5-1 Définitions et description des modalités de test d'altitude :

a- Distance verticale d'évitement(vm) : Limite inférieure estimée de la séparation verticale projetée à l'instant estimé de rapprochement maximal. Lorsque les aéronefs sont « convergents en distance » ($r \leq 0$), le calcul de temps de vol jusqu'au rapprochement maximal et la distance verticale d'évitement se fait de la manière suivante :

$$\dot{r} = \text{minimum} (\dot{r}, -\dot{R})$$

$$\tau_u = \text{minimum} (|r/\dot{r}|, T)$$

$$\tau_m = |(r - D^2m/r)/\dot{r}| \quad ; \text{ pour } r \geq Dm$$

$$= 0 \text{ pour } r < Dm$$

$$vm_1 = (z_o - z_i) + (\dot{z}_o - \dot{z}_i) \tau_u$$

$$vm_2 = (z_o - z_i) + (\dot{z}_o - \dot{z}_i) \tau_m$$

$$vm = \text{minimum} (vm_1, vm_2) \text{ pour } vm_1 > 0$$

$$= \text{maximum} (vm_1, vm_2) \text{ pour } vm_1 < 0.$$

b - la distance verticale d'évitement est déclarée « faible » si $|vm| < Zm$. Les valeurs maximales de Zm sont comme l'indique le tableau suivant :

z_o FL	Moins de 200	De 200 à 420	Plus de 420
Zm (m)	183	213	244
Zm (ft)	600	700	800

Tableau II-8

b- Séparation actuelle verticale(a) : Module de la séparation verticale actuelle observée entre l'aéronef de référence et l'intrus. la séparation verticale actuelle est déclarée faible si $a < Zt$, où Zt est égale à Zm qui a les valeurs du tableau précédent (tableau8).

c- Convergence en altitude(\hat{a}) : Taux de variation de a

1- Le calcul de \hat{a} se fait de la manière suivante :

$$\hat{a} = \dot{z}_o - \dot{z}_i \text{ pour } z_o - z_i \geq 0$$

$$\hat{a} = \dot{z}_i - \dot{z}_o \text{ pour } z_o - z_i < 0.$$

2- L'aéronef est dit «convergent en altitude» si $\dot{a} < -\dot{Z}_c$ où la valeur de \dot{Z}_c est positif et ne dépasse pas l'ordre de 0.3 m/s (60 ft/min).

d- **Temps de vol jusqu'à la même altitude (τ_v)** : Temps estimé qu'il faudra pour parvenir à la même altitude.

1- Pour \dot{a} inférieur à $-\dot{Z}_c$, le calcul du temps de vol jusqu'à la même altitude est comme suit :

$$\tau_v = -a/\dot{a}$$

il faut noter que le τ_v est inutilisable si les aéronefs ne sont pas convergents en altitude et en distance.

2- τ_v est déclaré « court » si $\tau_v < T_v$ pour les rencontres dans lesquelles le taux de variation de la vitesse verticale de l'aéronef de référence ne dépasse pas 600 ft/min ou est de même signe tout en étant plus petit que celui de l'intrus. pour toutes les autres rencontres, τ_v est déclaré « court » si

$\tau_v < T$. les valeurs des paramètres T_v sont comme suit :

S	3	4	5	6	7
T_v s	15	18	20	22	25

Tableau II-9

e- **Critère applicable au test d'altitude (Temps de vol jusqu'au rapprochement maximal**

(τ_u, τ_m) : Temps estimé qu'il faudra pour parvenir à la distance minimale. τ_u (la valeur maximale pour un mouvement relatif rectiligne et une distance d'évitement nulle) et τ_m (la valeur minimale pour un mouvement relatif rectiligne et la distance d'évitement maximale, D_m).

Le test d'altitude de la logique de référence est positif lorsque l'une quelconque des trois conditions citées ci-dessous est remplie :

1- Les aéronefs sont « convergent en distance », la séparation verticale actuelle est « faible » et la distance verticale d'évitement est « faible ».

2- Les aéronefs sont « convergents en distance et en altitude », le temps de vol jusqu'à la même altitude est « court » et, soit la distance verticale d'évitement est « faible », soit il est prévu que l'arrivée de la même altitude se produira avant la rapprochement maximal $\tau_v < \tau_u$.

3- Les aéronefs sont « divergents en distance » et la séparation verticale actuelle est « faible » et dans toutes les autres conditions le test d'altitude est négatif.

II-5-6 Sélection des valeurs de paramètres en vue de la génération des avis de circulation:

Lorsque le niveau de sensibilité du TCAS de référence est de 3 au minimum, les valeurs de paramètres servant à la génération d'avis de circulation qui sont fonction du niveau de sensibilité seront fondées sur le plus grand des niveaux suivants : niveau de sensibilité du TCAS de référence (S_0) et niveau de sensibilité du TCAS de l'intrus (S_i) ; simplement lorsqu'on a une commande de SLC d'une valeur de 2 (mode « TA only »(avis de circulation seulement)) est reçue du pilote ou d'une station sol mode S, dans ce cas, les valeurs de paramètres seront celles qui existeraient en l'absence de commande de SLC provenant du pilote ou de la station sol mode S.

II-5-7 Sélection des valeurs de paramètres de la génération des avis de résolution :

Les valeurs de paramètres servant à la génération d'avis de résolution qui sont fonction du niveau de sensibilité seront sélectionnées de la même manière que pour les avis de circulation sauf pour le cas de (mode «TA Only ») qui est d'ailleurs inexistant dans la génération d'avis de résolution.

II-6 AVIS DE RESOLUTION :

II-6-1 Génération d'avis de résolution :

Le système TCAS générera un avis de résolution pour toutes les menaces, sauf dans les cas où il n'est pas possible de sélectionner un avis résolution dont on peut prévoir qu'il assurera une séparation adéquate, soit à cause de l'incertitude du diagnostic de la trajectoire de vol de l'intrus, soit parce qu'il y a un risque élevé qu'une manœuvre de la menace annulera l'effet de l'avis de résolution.

II-6-2 Annulation d'avis de résolution :

Un avis de résolution généré à propos d'une ou plusieurs menaces sera maintenu ou modifié jusqu'au moment où des tests moins rigoureux que les tests de détection de menace indiquent pendant deux cycles consécutifs que cet avis peut être annuler.

II-6-3 Sélection de l'avis de résolution :

Le système TCAS générera l'avis de résolution qui doit, selon les prévisions, assurer une séparation adéquate avec toutes les menaces et qui influencent le moins la trajectoire de vol actuelle de l'aéronef TCAS .

II-6-4 Définition des types d'avis de résolution :

Il existe plusieurs types de génération d'avis de résolution et qui sont : avis de résolution (RA), avis de résolution à augmentation à augmentation de taux de variation, avis de résolution à franchissement d'altitude, avis de résolution à limite de vitesse verticale (VSL), avis de résolution complémentaire en vigueur, avis de résolution complémentaires (RAC), avis de résolution correctif, avis de résolution inversé, avis de résolution positif, Avis de résolution préventif, avis de résolution « vers le bas », avis de résolution « vers le haut ».

II-6-4-1 Efficacité de l'avis de résolution :

L'avis de résolution ne commandera ni continuera à recommander une manœuvre ou une restriction de manœuvre qui est plus susceptible, étant donné l'éventail des trajectoires probables de la menace, de réduire la séparation que de l'augmenter, sous réserve des dispositions de maintien de la force de l'avis de résolution et des dispositions de la non modification du sens d'un avis de résolution en vigueur.

II-6-4-2 Possibilités de l'aéronef :

Les possibilités de l'aéronef en matière de performances doivent être compatibles avec les avis de résolution générés.

- a) **Proximité du sol :** Des avis de résolution « vers le bas » ne seront pas générés ni maintenus lorsque l'aéronef se trouve à moins de 300 m (1000 ft) AGL.
- b) **Niveau de sensibilité :** Le système TCAS ne fonctionnera pas aux niveaux de sensibilité 3-7 lorsque l'aéronefs de référence se trouve sous 300 m (100 ft) AGL.

II-6-4-3 Délai du réaction du système :

Le temps écoulé entre la réception de la réponse SSR pertinente et la présentation du sens et de la force d'un avis de résolution au pilote sera aussi court que possible et ne dépassera pas 1,5 s.

II-6-4-4 Sursis à la génération des avis de résolution :

Il est à noter qu'un avis de résolution doit être générer pour toute les menaces excepté dans les circonstances aux fins de coordination ou dans les circonstances qui seront citées ci-dessous.

La logique de référence ne génère pas de nouvel avis de résolution ni ne modifie un avis de résolution existant pour tenir compte d'une nouvelle menace lorsque l'une quelconque des conditions ci-dessous est remplie :

- a- Test de séparation verticale est négatif ;
- b- Le niveau de confiance dans le taux de variation d'altitude observé de l'intrus est « bas » et aucune manœuvre préconisée dans un avis de résolution ne serait de nature à assurer la séparation A_t prévue, que la menace présente un taux de variation d'altitude égal à la limite supérieure applicable à ce taux, égale à la limite inférieure, ou compris à l'intérieure de ces limites ;
- c- Le niveau de confiance dans le taux de variation d'altitude observé de la menace est « bas », la séparation verticale actuelle est supérieure à 46 m (150 ft) et l'avis de résolution qui serait choisi pour la menace si elle était prise en compte indépendamment des autres menaces possibles préconiserait un franchissement d'altitude .

II-6-4-4-1 Test de séparation verticale :

- a- le taux de variation d'altitude de l'aéronef de référence est déclaré « faible » si $|\dot{z}_0| \leq Z\dot{C}$;
- b- donner à $Z\dot{C}$ la valeur de 3.0 m/s (600 ft/min) ;
- c- le sursis à la déclaration de la menace est déclarée « acceptable » s'il est inférieure à 3,0s ;
- d- le seuil maximal des séparations en altitude, A_c est fixé 260 m (850 ft) lorsque la vitesse verticale de l'aéronef de référence et celle de la menace ont des directions opposées et que ni l'une, ni l'autre n'est « faible » ; dans les autres cas, le seuil est fixé à 183 m (600 ft) ;
- e- la séparation en altitude est dite « minimale » lorsqu'elle est égale à 100 ft ;
- f- une rencontre est dite « à rapprochement lent » lorsque le taux de variation de distance est supérieur à D_m / T ;
- g- le test de séparation verticale est négatif si la menace est nouvelle et l'avis de résolution qui serait choisi pour cette menace prise en compte indépendamment d'autres menaces possibles présentes en même temps, remplit l'une des conditions suivantes :
 - 1) il préconise un franchissement d'altitude , et :
 - la séparation verticale actuelle est supérieure à A_c ; ou
 - la menace est équipée, et n'a pas été reçu d'avis de résolution complémentaire valide, le taux de variation d'altitude de l'aéronef de référence est « faible », le taux de variation d'altitude de la menace n'est pas « faible », et le sursis à l'émission d'un avis de résolution ou de la modification de l'avis de résolution existant est « acceptable » ;

- 2) si la rencontre n'est pas « à rapprochement lent », il ne peut pas donner lieu au moins à la séparation « minimale » pendant l'intervalle critique ;
- 3) il ne peut pas donner lieu au moins à la séparation « minimale » au rapprochement maximal (τ_u) si la rencontre est « à rapprochement lent », et la distance est inférieure à D_m , ou le temps de vol jusqu'à une distance de D_m , τ_m , est inférieur à 5 s .

Dans les autres cas, le test de séparation vertical est positif.

II-6-4-4-2 Valeurs de A_t : Les valeurs de A_t sont comme suit :

z_0	A_t (m)	A_t (ft)
Au-dessous de FL 100	61	200
De FL 100 à FL 200	73	240
DE FL 201 à FL 420	122	400
Au- dessus de FL 420	146	480

Tableau II-10

II-6-4-4-3 Hystérésis : Une hystérésis de ± 500 ft est appliquée aux limites entre les couches d'altitude adjacentes.

II-6-5 Séparation vertical cible :

La force initiale de l'avis de résolution est choisie de façon à atteindre une séparation verticale cible d'au moins A_t au rapprochement maximal sauf dans les circonstances du cas de séparation verticale insuffisante.

II-6-5-1 Valeurs de A_t : Les valeurs ci-dessous indiquent les paramètres de A_t :

z_0	A_t (m)	A_t (ft)
Au-dessous de FL 50	91	300
De FL 50 à FL 100	107	350
De FL 100 à FL 200	122	400
De FL 201 à FL 420	183	600
Au-dessus de FL 420	213	700

Tableau II-11

II-6-5-2 Hystérésis : Une hystérésis de ± 500 ft est appliquée aux limites entre les couches d'altitude adjacentes.

II-6-5-3 Séparation verticale insuffisante : Si les restrictions apportées aux avis de résolution empêchent de générer un avis de résolution de nature à assurer une séparation verticale d'au moins A au rapprochement maximal, l'avis de résolution est celui qui est de nature à assurer la plus grande séparation verticale au rapprochement maximal conformément aux autres dispositions.

II-6-5-4 Intervalle critique : Les prédictions relatives au rapprochement maximal s'appliquent à la période de temps pendant laquelle il pourrait y avoir collision.

L'intervalle critique est l'intervalle séparant τml et τul , où :

$$r' = \text{minimum} (r, Rt)$$

$$\tau ul = \text{minimum} (\tau^*ul, |r/r', Tl)$$

$$\tau ml = \text{minimum} (\tau^*ml, |(r - D^2m / r')|) \quad \text{pour } r \geq Dm$$

$$Tml = 0 \quad \text{pour } r < Dm$$

Où τ^*ul et τ^*ml sont égaux l'un et l'autre à Tl pour une menace à laquelle le test de distance vient d'être appliqué et sont respectivement les valeurs de τul et τml pendant le cycle précédent autrement.

Les valeurs suivantes sont données aux paramètres :

S	3	4	5	6	7
Te, s	25	30	30	35	40

Tableau II-12

II-6-5-5 Trajectoire de la menace : Les avis de résolution sont conçus de manière à assurer des séparations verticales qui suffisent à éviter des collisions avec des menaces :

a- qui maintiennent leurs taux actuels respectifs de variation d'altitude ; ou

b- qui sont en montée ou en descente au moment de devenir menaçants pour la première fois et réduisent leurs taux respectifs de variation d'altitude ou évoluent pour se mettre en palier.

La séparation verticale prédite qui repose sur l'hypothèse de la menace maintiendra son taux de variation d'altitude actuel, sauf comme il est décrit pour les menaces équipées du système TCAS.

II-6-5-6 Trajectoire de l'aéronef de référence : La séparation verticale prédite au rapprochement maximal repose sur les hypothèses ci-dessous relatives à la suite donnée par l'aéronef TCAS II à l'avis de résolution :

- a- dans les cas des avis de résolution préventifs, le taux de variation d'altitude de l'aéronef de référence ne dépassera pas les limites spécifiées par l'avis de résolution ;
- b- dans le cas des avis de résolution correctifs, la trajectoire de l'aéronef de référence résultera de ce qui suit : vol non accéléré pendant $T_p + T_s$ au taux actuel, suivi d'une accélération constante (\dot{Z}_g) dans le plan vertical devant permettre d'atteindre le taux de variation d'altitude sélectionnée (Z_g), puis d'un mouvement non accéléré à ce taux.

A noter que le temps prévu de vol jusqu'au rapprochement maximum pourrait être si court que le taux de variation d'altitude sélectionné \dot{Z}_g est irréalisable.

- a) le paramètre T_p , temps de réaction du pilote, a la valeur de 5s pour la force initiale de l'avis de résolution ou la valeur de 2,5 s pour la force ultérieure de l'avis de résolution ;
- b) la valeur du paramètre T_s est choisie de manière à représenter le retard du système, c'est à dire le temps écoulé entre la réception de la réponse SSR pertinente et la présentation d'un avis de résolution au pilote ;
- c) le paramètre \dot{Z}_g a la valeur de 0,35 g pour un avis de résolution inversé ou un avis de résolution à augmentation de taux de variation, ou 0,25 g dans les autres cas ;
- d) si le taux de variation d'altitude sélectionné, \dot{Z}_g , dépasse les possibilités de l'aéronef en matière de performances, une valeur convenant à l'aéronef est adoptée.

II-6-6 Menaces dotées du système TCAS :

L'avis de résolution sera compatible avec tous les avis de résolution complémentaires émis à destination des menaces. Si un avis de résolution complémentaire est reçu d'une menace avant que le système TCAS de l'aéronef de référence ne génère un avis de résolution complémentaire pour cette menace, l'avis de résolution généré sera compatible avec l'avis de résolution complémentaire

reçu, à moins que cet avis ne risque de réduire la séparation plutôt que de l'augmenter et que l'adresse de l'aéronef de référence soit d'une valeur inférieure à celle de l'adresse de la menace.

Il est noté que dans le cas de plusieurs rencontres de menaces où il est nécessaires de passer au-dessus de certaines menaces et au-dessous d'autres, on peut considérer que cette norme est applicable pendant toute la durée de l'avis de résolution. En particulier, il est permis de maintenir un avis de résolution préconisant de monter ou de descendre vers une menace située au-dessus ou au-dessous de l'aéronef de référence, à condition qu'il existe une intention calculée d'établir une séparation appropriée par rapport à toutes les menaces en effectuant par la suite une mise en palier.

II-6-7 Inversions :

Le système TCAS n'inversera pas le sens d'un avis de résolution d'un cycle au suivant, sauf lorsque la séparation prévue au rapprochement maximal pour le sens actuel est insuffisante ou que les dispositions suivantes le permettent aux fins de coordination :

- a) **Inversion d'avis émis en présence de menaces équipées :** si un avis de résolution complémentaire reçu d'une menace équipée est incompatible avec le sens d'un avis de résolution en vigueur, le système TCAS modifiera le sens de cet avis de résolution pour se conformer à l'avis de résolution complémentaire reçu si l'adresse d'aéronef de l'aéronef de référence est d'une valeur supérieure à celle de l'adresse de la menace.
- b) **Modification de l'avis de résolution :** le système TCAS ne modifiera pas le sens d'un avis de résolution en vigueur d'une façon qui rende l'avis incompatible avec un avis de résolution
- c) **complémentaires reçues d'une menace équipé** si l'adresse d'aéronef de l'aéronef de référence est d'une valeur supérieure à celle de l'adresse de la menace.

II-6-8 Atténuation d'avis de résolution :

Un avis de résolution ne sera pas atténué s'il est probablement nécessaire de le renforcer par la suite.

II-6-9 Restrictions apportées aux avis de résolution :

II-6-9-1 Gamme de forces possibles des avis de résolution : Pour résoudre le cas de rencontre la logique de référence a le moyen de présenter les forces d'avis de résolution et cela comme l'indique le tableau ci-dessous :

Contrainte	Type	\dot{Z}
Avis de	Résolution	« vers le Haut »
Montée accélérée	positif	$> \dot{Z}_{clm}$ (climb : montée)
Montée	positif	\dot{Z}_{clm} (climb : montée)
Ne descendez pas	VSL	0
Ne descendez pas à plus de 2.5 m/s	VSL	-2.5 m/s (-500 ft/min)
Ne descendez pas à plus de 5.1 m/s	VSL	-5.1 m/s (-1000 ft/min)
Ne descendez pas à plus de 10 m/s	VSL	-10 m/s (-2000 ft/min)
Avis de	Résolution	« vers le Bas »
Descente accélérée	positif	$< \dot{Z}_{des}$ (descent : descente)
Descendez	Positif	\dot{Z}_{des} (descent : descente)
Ne montez pas	VSL	0
Ne montez pas à plus de 2.5 m/s	VSL	+2.5 m/s (+500 ft / min)
Ne montez pas à plus de 5.1 m/s	VSL	+5.1 m/s (+1000 ft / min)
Ne montez pas à plus de 10 m/s	VSL	+10 m/s (+2000 ft / min)

Tableau II-13

a) Avis de résolution à augmentation du taux de variation : La logique de référence ne tient pas compte des forces « montée accélérée » et « descente accélérée » lorsqu'elle choisit la force initiale de l'avis de résolution. Il ne fait appel à ces forces que lorsque la séparation prévue pour l'avis de résolution en vigueur est insuffisante et que l'inversion de sens de l'avis de résolution n'est pas une option acceptable. Ces forces sont destinées à souligner l'urgence de la situation au pilote. Elles correspondent à des augmentations du taux de variation de l'altitude sélectionnée, \dot{Z}_g , pour le porter au-delà de \dot{Z}_{clm} et \dot{Z}_{des} , selon le cas.

Lorsque toutes les conditions citées ci-dessous sont réunies le taux de variation d'altitude sélectionné est augmenté jusqu'à 13 m/s (2500 ft/min) :

1- Un avis de résolution positif de même sens est affiché et l'a été pendant plus d'un cycle, et

a) si la menace est équipée du système TCAS ou si l'avis de résolution en vigueur n'est pas un avis à franchissement d'altitude, le niveau de confiance dans le taux de variation d'altitude observé de la menace est « haut » et il est prévu que la force de l'avis de résolution en vigueur assurera une séparation verticale de moins de 61 m (200 ft) au rapprochement maximal ; ou

b) si la menace n'est pas équipée du système TCAS et si l'avis de résolution en vigueur est un avis à franchissement d'altitude, qu'il y a rapprochement maximal au bout de 10 s au maximum et qu'il est prévu que l'altitude de la menace au rapprochement maximal sera de moins de 61 m (200 ft) au-dessus de l'altitude actuelle de l'aéronef de référence dans le cas d'un avis de résolution « vers le bas », ou au-dessous de cette altitude dans le cas d'un avis de résolution « vers le haut ».

1- Le temps de vol jusqu'au rapprochement maximal est inférieur à T_{ir} et supérieur à 4 s ;

2- L'aéronef de référence est en descente au-dessus de 1450 ft AGL ou en montée au-dessus de 1650 ft AGL et les limites de performances de l'aéronef n'empêchent pas d'appliquer les avis de résolution à accroissement de la montée ;

3- La valeur de r_u ne croit pas ou, si elle croit, la distance de la menace est inférieure à 3,2 km (1.7 NM). Le tableau ci-dessous indique les valeurs de T_{ir} qui sont utilisées :

S	3	4	5	6	7
T_{ir}, s	13	18	20	24	26

Tableau II-14

Il est à noter que grâce à la disposition b-1 ci-dessus, il est possible de recourir à un avis de résolution à augmentation du taux de variation en présence d'une menace non équipée qui se met en palier lors d'une rencontre avec franchissement d'altitude qui ne justifie pas une inversion. Pareille situation peut se présenter par ce que la menace se met en palier en adoptant une faible décélération telle que son altitude prévue au point de rapprochement maximal « suit » l'altitude actuelle de l'aéronef TCAS II pendant chacun des cycles successifs. D'un avis de résolution à augmentation du taux de variation pourrait résulter une séparation verticale supplémentaire. Il est à noter aussi que la

condition 3 prévient les interactions intempestives entre la logique anticollision et le dispositif avertisseur de proximité du sol (GPWS).

2- Z_{clm} et Z_{des} ont respectivement les valeurs systématiques 7,6 m/s (1500 ft/min) et -7,6 m/s (-1500 ft/min). Si ces taux dépassent les moyens de l'aéronef, une valeur appropriée peut être utilisée à la place pour assurer la génération d'avis de résolution « vers le haut ». Si la vitesse verticale réelle de montée ou de descente dépasse le taux systématique, la vitesse réelle est utilisée à la place, si elle est inférieure à la vitesse maximale de 4400 ft/min ; dans le cas contraire, c'est cette vitesse maximale qui est utilisée.

Il est à noter que les avis « vers le haut » peuvent être neutralisés en réponse à des indications discrètes signalant, par exemple, que l'aéronef a atteint son plafond. Dans le cas des aéronefs dont les capacités en montée sont limitées, il se peut que les avis de résolution préconisant de monter à 7,6 m/s (1500 ft/min) doivent être neutralisés en permanence pour que les spécifications énoncées dans la partie « possibilités de l'aéronef » puissent être remplies.

b) Maintien de l'avis de résolution : Sous réserve du respect de la disposition selon laquelle un avis de résolution « vers le bas » ne soit ni généré aux basses altitudes ni maintenu au dessous d'une altitude spécifiée (proximité du sol), l'avis de résolution n'est pas modifié lorsqu'une quelconque des conditions ci-dessous est remplie :

- 1- le test de distance est négatif mais l'intrus demeure menaçant ;
- 2- le temps de vol jusqu'au rapprochement maximal est trop court ;
- 3- il y aura rapprochement maximal dans moins de 2,5 seconde ;
- 4- la menace s'écarte en gisement ;
- 5- la menace est « divergente en distance » mais l'avis de résolution n'a pas encore été annulé.

c) Atténuation de l'avis de résolution : Sous réserve qu'un avis de résolution « vers le bas » n'a pas été généré à basse altitude (proximité du sol), un avis de résolution n'est pas atténué si l'une quelconque des conditions ci-dessous est remplie :

- 1- l'avis de résolution (quelle qu'en soit la force) a été affiché pendant moins de 10 s, dans le cas d'un avis inversé, 5 s ;
- 2- l'avis de résolution est positif et la séparation verticale actuelle est inférieure à A_1 ;
- 3- l'avis de résolution limite la vitesse verticale ;
- 4- le niveau de confiance dans le taux de variation d'altitude observé de la menace est « bas » .

En outre, les avis de résolution positifs ne sont pas atténués à une force inférieure à celle qui permet un retour en vol en palier (« ne montez pas », dans le cas d'un avis de résolution « vers le bas » ; « ne descendez pas », dans le cas d'un avis de résolution « vers le haut »).

II-6-9-2 Prévention initiale contre le franchissement d'altitude :

Tout avis de résolution nouvellement généré est un avis de résolution sans franchissement d'altitude pourvu:

- a- qu'un avis de résolution sans franchissement d'altitude soit de nature à assurer une séparation verticale d'au moins A_1 au rapprochement maximal, et
- b- qu'une suite standard donnée à un avis de résolution sans franchissement d'altitude soit de nature à préserver au moins la séparation verticale « minimale » pendant toute la durée de l'intervalle de temps jusqu'au rapprochement maximal.

II-6-9-3 Inversion du sens pour une menace établie : Il y a inversion de sens lorsque les conditions ci-dessous sont remplies :

- a- la menace n'est pas équipée d'un système TCAS, ou l'aéronef menaçant est équipé mais son adresse d'aéronef est supérieure, au moins 5 s se sont écoulées depuis qu'il constitue une menace et le TCAS de référence n'a pas inversé le sens de son avis de résolution précédemment ; et
- b- il reste plus de 4 s avant le rapprochement maximal ; et
- c- la valeur de t_u n'augmente pas déjà au moment où la distance de la menace est de 3,2 km (1,7NM) ; et

d- soit :

1- i) l'avis de résolution en vigueur est un avis à franchissement d'altitude ; et

ii) la séparation verticale actuelle est d'au moins 61 m (200 ft), ou 30 m (100 ft) s'il reste plus de 10 s avant le rapprochement maximal ; et

iii) • soit il a été prévu, au moment où l'avis de résolution a été généré, que la menace franchirait l'altitude initiale de l'aéronef de référence, mais d'après les estimations en vigueur, l'altitude de la menace au rapprochement maximal sera supérieure à l'altitude actuelle de l'aéronef de référence dans le cas d'un avis de résolution « vers le haut » ou inférieure à cette altitude dans le cas d'un avis de résolution « vers le bas » ;

• soit il n'a pas été prévu, au moment où l'avis de résolution a été généré, que la menace franchirait l'altitude initiale mais, d'après les estimations en vigueur des séparations qui paraissent réalisables pour des avis de résolution « vers le bas » au rapprochement maximal, une plus grande séparation résulterait d'un avis de résolution inversé ; et

iv) au plus tard à l'instant de rapprochement maximal, l'aéronef de référence sera en mesure, grâce à l'inversion, de dépasser la limite supérieure de l'altitude de la menace au rapprochement maximal (projection obtenue à l'aide de la limite supérieure du taux de variation d'altitude) ;

2- i) l'avis de résolution en vigueur n'est pas un avis à franchissement d'altitude, et

ii) au moins une des conditions suivantes est remplie :

• la menace franchit l'altitude de l'aéronef de référence d'au moins 30 m (100 ft) dans le sens de l'avis de résolution ; ou

• la menace n'est pas équipée d'un système TCAS et la séparation actuelle ne dépasse pas A_c , la vitesse verticale de l'aéronef de référence et celle de la menace dépassent 1000 ft/min dans la même direction, l'avis de résolution a été positif pendant au moins 9 s, le niveau de confiance à l'égard de la vitesse observée de la menace est « grand », et il est prévu qu'il y aura franchissement d'altitude avant le rapprochement maximal ou que la séparation verticale au rapprochement maximal sera inférieure à 30 m (100 ft) .

Il est noté qu'il est impossible d'inverser le sens d'un avis de résolution pour une menace établie, sauf à des fins de coordination ou par ce que la séparation prévue au rapprochement maximal pour le sens actuel est insuffisante.

a) les avis de résolution « vers le haut » résultant de l'inversion d'avis de résolution « vers le bas » sont émis indépendamment des indications relatives aux limites de manœuvres.

II-6-9-4 Sélection des avis de résolution sans franchissement émis à l'égard de menaces équipées du système TCAS :

Dans un conflit avec une menace équipée du système TCAS, cas dans lequel normalement la logique de référence émettrait un avis de résolution « vers le haut » ou « vers le bas » sans franchissement de direction opposée à celle de la vitesse verticale actuelle de l'aéronef de référence, un avis de résolution visant à limiter la vitesse verticale à 0 ft/min est généré à la place lorsque les conditions suivantes sont réunies :

- 1- l'aéronef de référence et la menace convergent dans le plan vertical ;
- 2- la vitesse verticale de l'aéronef de référence dépasse $[\dot{Z}_{10}]$;
- 3- la vitesse verticale qui serait réalisée au rapprochement maximal si les deux aéronefs se mettaient en palier dépasse $[\dot{Z}_{10}]$;
- 4- la séparation verticale qui serait réalisée au rapprochement maximal si les deux aéronefs se mettaient en palier dépasse $[Z_{10sep}]$.

a) l'avis de résolution à limite de vitesse verticale de 0 ft/min généré conformément à « la sélection de la force d'avis de résolution sans franchissement émis à l'égard de menaces équipée TCAS » est retenu si aucun des aéronefs n'accélère verticalement vers l'autre avec une modification du taux supérieure à $[\dot{Z}_1]$. Dans le cas contraire, la logique de référence générera immédiatement un avis de résolution « vers le haut » ou « vers le bas », selon le cas ;

b) la valeur de $[\dot{Z}_{10}]$ est fixée à 6 m/s (1000 ft/min) ; la valeur de $[Z_{10sep}]$, à 244 m (800 ft).

II-6-10 Codage du sous champ ARA :

Pendant chaque cycle d'un avis de résolution, le sens , la force et les caractéristiques de l'avis de résolution seront codés dans le sous champ avis de résolution en vigueur (ARA). Si ce sous champ n'a pas été régénéré pendant un intervalle de 6 secondes, il sera positionné à 0 en même temps que le sous champ MTE du même message.

II-7 COORDINATION ET COMMUNICATION :

II-7-1 Coordination avec les menaces dotées du système TCAS :

a) Coordinations de multiples aéronefs : dans le cas où de multiples aéronefs sont mis en cause, le système TCAS assurera la coordination avec chacun des aéronefs équipés.

b) Interrogation de coordination : pendant chaque cycle, le système TCAS émettra une interrogation de coordination à destination de chacun des aéronefs équipés, à moins que la génération d'un avis de résolution soit retardée en raison de l'impossibilité de sélectionner un avis de résolution dont on peut prévoir qu'il assurera une séparation adéquate. Le message de résolution transmis à un aéronef comprendra un avis de résolution complémentaire sélectionné pour cette menace. Si un avis de résolution complémentaire a été reçu de cet aéronef avant que le système TCAS ne sélectionne un avis de résolution complémentaire pour la même menace, l'avis de résolution complémentaire sélectionné sera compatible avec l'avis de résolution complémentaire reçu à moins qu'il ne soit écoulé pas plus de trois cycles depuis la réception de l'avis de résolution complémentaire, que cet avis soit à franchissement d'altitude et que l'adresse d'aéronef de l'aéronef de référence soit d'une valeur inférieure à celle de la menace, auquel le TCAS choisira son avis de résolution de façon indépendante. Si un avis de résolution complémentaire reçu d'une menace équipée du système TCAS est incompatible avec l'avis de résolution complémentaire que le système TCAS de l'aéronef de référence a sélectionné pour cette menace, le TCAS modifiera l'avis de résolution complémentaire sélectionné de manière qu'il soit compatible avec l'avis de résolution complémentaire reçu si l'adresse d'aéronef de l'aéronef de référence est d'une valeur supérieure à celle de l'adresse de la menace.

1- Cessation de la coordination : Au cours du cycle où un intrus cesse d'être un motif de maintien de l'avis de résolution, le système TCAS enverra un message de résolution à cet intrus au moyen d'une interrogation de coordination. Ce message contiendra le code de l'annulation du dernier avis de résolution complémentaire envoyé à l'intrus pendant qu'il constituait un motif de maintien de l'avis de résolution.

Il est à noter que dans le cas d'une rencontre simple, la menace cesse de justifier l'avis de résolution lorsque les conditions d'annulation de l'avis sont réunies. Dans le cas d'une rencontre de menaces multiples, une menace cesse de justifier l'avis de résolution lorsque les conditions d'annulation de l'avis sont réunies en ce qui concerne cette menace ; il peut toutefois être nécessaire de maintenir l'avis en raison des autres menaces.

2- Des interrogations de coordination TCAS seront émises, au moins six fois au plus douze fois, jusqu'à ce qu'une réponse de coordination soit reçue de la menace. Les interrogations successives seront nominalement également espacées sur une période de 100 ± 5 ms. Si au bout du nombre maximal de tentatives aucune réponse n'est reçue, le système TCAS continuera son traitement normal.

3- Le système TCAS assurera une protection de parité pour tous les champs de l'interrogation de coordination qui contiennent des renseignements concernant l'avis de résolution complémentaire.

4- A chaque fois que le système TCAS de référence renverse le sens des avis émis en présence d'une menace équipée du système TCAS, le message résolution qui est envoyé à destination de cette menace pendant le cycle en cours et les cycles suivants contiendra à la fois l'avis de résolution complémentaire nouvellement sélectionné et le code d'annulation de l'avis de résolution complémentaire envoyé avant l'inversion.

5- Lorsqu'un avis de résolution dans le plan vertical est sélectionné, l'avis de résolution complémentaire dans le plan vertical (VRC), que le TCAS de référence fait figurer dans un message de résolution adressé à la menace sera le suivant :

i) « ne passez pas par-dessus » lorsque l'avis de résolution vise à établir une séparation au-dessus de la menace ;

ii) « ne passez pas par-dessous » lorsque l'avis de résolution vise à établir une séparation au-dessous de la menace

c) Protection des données de coordination : Le système TCAS stocke l'avis de résolution actuel et les avis de résolution complémentaire en vigueur reçus d'autres aéronefs dotés du système TCAS aux quels l'aéronef de référence apparaît comme une menace. Les données doivent être protégées de façon à n'être à la disposition que d'un seul TCAS à la fois ou à ne pouvoir être modifier que dans le cadre de réaction à la présence d'un TCAS à la fois afin que l'information stockée ne soit pas

modifiée dans le cadre de la réaction à la présence d'un ou plusieurs TCAS pendant qu'elle sert à la sélection d'un avis de résolution pour le système TCAS de référence.

Cette protection peut notamment être assurée pour une mise en état de verrouillage de coordination toutes les fois que la mémoire est sollicitée par le système TCAS de référence ou que lui sont présentées de nouvelles données provenant d'un système TCAS menaçant. Si un message de résolution est reçu pendant qu'il y a verrouillage de coordination, les données sont gardées en attente jusqu'au moment où l'état de verrouillage actuel est levé. La possibilité d'accès simultané aux données par différents processus se déroulant dans le système TCAS existe parce que les messages de résolution de conflit en entrée sont reçus sans synchronisme avec le traitement TCAS, ce qui interrompt ce traitement.

d) Protection des données pendant la coordination : Le système TCAS empêchera des processus concurrents d'accéder en même temps aux données emmagasinées, en particulier pendant le traitement des messages de résolution.

e) Traitement de message de résolution : Les messages de résolution seront traités dans l'ordre où il sont reçus, le retard étant limité à celui qui est lié à la nécessité de prévenir l'accès simultané aux données emmagasinées, ainsi qu'au retard dus au traitement des messages de résolution reçus précédemment. Les messages de résolution retardés seront provisoirement mis dans une file d'attente, pour éviter qu'il en soit perdu.

Le traitement d'un message de résolution comprendra le décodage du message et la mise à jour des structures de données appropriées à l'aide des informations extraites du message.

Il est noté que conformément aux dispositions de protection des données pendant la coordination, le traitement des messages de résolution ne doit porter sur aucune donnée dont l'emploi n'est pas protégé par l'état de verrouillage de coordination.

I- Les avis de résolution complémentaires ou annulation d'avis de résolution de complémentaire reçus d'aéronefs TCAS seront rejetés si les bits codés de sens indiquent l'existence d'une erreur de parité ou si des valeurs non définies sont détectées dans les messages de résolution. Les avis de résolution complémentaires ou annulations d'avis de résolution complémentaire reçus sans erreur de parité ou valeurs indéfinies de message de résolution seront considérés valides.

2- Stockage des avis de résolution complémentaires : Les avis de résolution complémentaires valides reçus d'aéronefs TCAS seront stockés ou serviront à actualiser les avis de résolution complémentaire entraînera la suppression de l'avis en question qui est stocké. Les avis de résolution complémentaire stockés qui ne sont pas actualisés dans un délai de 6 secondes seront supprimés.

3- Actualisation des enregistrements RAC : Les avis de résolution complémentaire ou annulation d'avis de résolution complémentaire valides reçus d'aéronefs TCAS serviront à actualiser l'enregistrement RAC. Si un bit de l'enregistrement RAC n'est pas généré dans un délai de 6 secondes par une menace, il est positionné à 0.

II-7-2 Communication avec le sol :

a) Communication des avis de résolution TCAS avec les stations sol : A chaque fois qu'il y a un avis de résolution, le système TCAS indique au transpondeur mode S de son aéronef qui tient un compte rendu d'avis de résolution à la disposition d'une station sol mode S, et cela en émettant des transmissions descendantes d'avis de résolution TCAS déclenchées à bord. Le transpondeur positionne alors un drapeau indiquant qu'un message attends d'être transmis au sol. Un capteur mode S qui reçoit ce drapeau peut demander que lui soit transmis le compte rendu d'avis de résolution. Lorsque le transpondeur mode S de référence reçoit cette demande du capteur, il lui communique le message dans une réponse comme Comm-B. En outre le système TCAS effectue des diffusions à intervalles de 8 secondes durant la période où un avis de résolution est présenté au pilote. Ces diffusions indiquent les dernières valeurs présentées par les paramètres de l'avis de résolution pendant l'intervalle de 8 secondes précédent, même s'il n'est plus en vigueur.

Cela permet de suivre au sol les activités en matière d'avis de résolution du système TCAS au moyen de récepteurs spéciaux d'avis de résolution, là où il n'y a pas de station sol mode S. Les diffusions d'avis de résolution sont notamment destinées à des installations au sol mais elles sont définies comme étant des transmissions montantes.

b) Contrôle au sol des paramètres de détection de menace : Une ou plusieurs stations sol mode S peuvent contrôler les paramètres de détection de menace en émettant des interrogations contenant des messages de commande de réglage du niveau de sensibilité (SLC) adressés à l'aéronef doté du système TCAS. Dès qu'il reçoit un message de commande de (SLC) émanant d'une station sol mode S donnée, le système TCAS stocke la valeur (SLC) accompagnée du numéro de cette station sol. Il utilise la plus faible des valeurs reçues si de tels messages ont été envoyés par plusieurs station sol. Il déclenche un temporisateur pour la commande de SLC émanant de chaque site et annule cette commande si elle n'est pas renouvelée dans un délai de 4 minutes à l'aide d'un autre message émanant du même site. Il peut aussi immédiatement annuler une commande de SLC émanant d'une station sol s'il reçoit de cette dernière un code d'annulation spécifié. Les commandes de SLC ne peuvent pas être utilisées dans les interrogations Comm-A chaînées.

II-7-3 Coordination air-air :

a) Interrogation de coordination : Lorsque le système TCAS déclare menaçant un intrus doté du même équipement, des interrogations sont envoyées à cet intrus doté du même équipement, des interrogations sont envoyées à cet intrus via la liaison donnée mode S en vue de la coordination des avis de résolution. Ces interrogations qui contiennent des messages de résolution, sont faites à raison d'une fois par cycle de traitement tant que l'intrus demeure menaçant. En envoyant une réponse de coordination la menace équipée accuse toujours réception d'un message de résolution.

b) Traitement des interrogations de coordination :

1- Le système TCAS traite un message de résolution provenant d'un autre intrus équipé en enregistrant l'avis de résolution complémentaire (RAC) concernant cet intrus en actualisant l'enregistrement d'avis de résolution complémentaires.

2- L'avis de résolution complémentaire peut concerner le plan vertical (VRC : Avis de résolution complémentaire vertical) et/ou le plan horizontal (HRC : Avis de résolution complémentaire horizontal), selon le cas. Plus précisément, l'information fournie dans l'interrogation mode S est le VRC pour le système TCAS II, et le VRC et/ou l'HRC pour le système TCAS III.

3- L'enregistrement d'avis de résolution complémentaires est composé de tous les RAC actifs (VRC et/ou HRC) que le système TCAS a reçu. Les quatre bits de l'enregistrement correspondant aux deux valeurs du VRC « ne passez pas en-dessous » et « ne passez pas au-dessus » suivies des deux valeurs du HRC « ne virez pas à gauche » et « ne virez pas à droite ». Si un bit de l'enregistrement d'avis de résolution complémentaires est à 1, cela veut dire que le RAC correspondant a été reçu d'un ou plusieurs TCAS. Chaque fois qu'un avis de résolution complémentaire RAC est reçu d'un autre TCAS, le bit correspondant dans l'enregistrement est mis à 1. Chaque fois qu'une annulation de RAC est reçue d'un autre TCAS, le bit correspondant est mis à 0 jusqu'à ce qu'un autre TCAS entraîne sa mise à 1.

c) Protocole de coordination :

1- après avoir déclaré menaçant un intrus équipé, le système TCAS cherche à savoir s'il a reçu de cette menace un message de résolution. Dans l'affirmative, il sélectionne un avis de résolution qui est compatible avec le sens vertical de la menace. Dans le cas contraire, il sélectionne un avis de résolution en fonction de la géométrie de la rencontre. Dans l'un et l'autre cas, le système TCAS commence à émettre à destination de la menace des données sur le sens vertical, une fois par balayage, sous la forme d'un avis de résolution complémentaire contenu dans un message de résolution. Si le système TCAS a choisi de passer au dessus de la menace, l'avis de résolution complémentaire sera « ne passez pas au-dessus » ; si le système TCAS a choisi de passer en dessous, l'avis complémentaire sera « ne passez pas en-dessous ».

2- dès qu'elle constate que l'aéronef TCAS représente une menace, la menace accomplit un processus comparable. Si pour une raison quelconque les deux aéronefs sélectionnent le même sens de séparation (incompatible) l'aéronef dont l'adresse à 24 bits est d'une valeur supérieure renverse

son sens. Cette situation pourrait se présenter si les deux aéronefs constatent simultanément qu'ils constituent une menace l'un pour l'autre ou si une défaillance temporaire de la liaison les empêchent de communiquer.

d) Séquence de coordination : La figure suivante illustre la séquence des messages de coordination et le traitement correspondant. Lorsque la coordination n'est pas menée à bon terme, la menace risque de choisir un avis de résolution de sens incompatible.

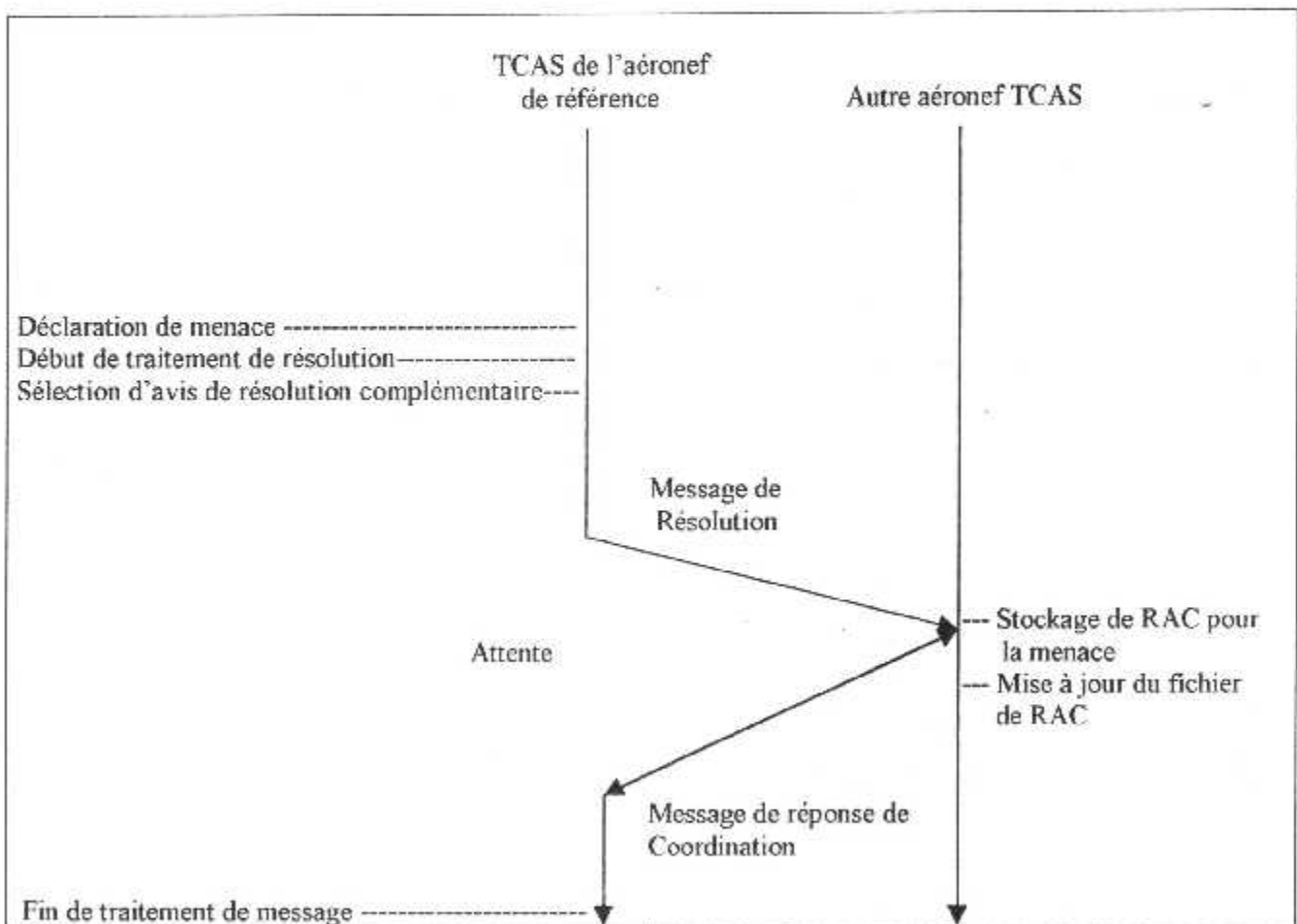


Figure II-1: séquence de coordination

e) Protection des données de coordination : Le système TCAS stocke l'avis de résolution actuel et les avis de résolution complémentaires en vigueur reçus d'autres aéronefs dotés du système TCAS, auxquels l'aéronef de référence apparaît comme une menace. Les données doivent être protégées de manière à n'être à la disposition que d'un seul TCAS à la fois ou à ne pouvoir être modifiées que dans le cadre de la réaction à la présence d'un TCAS à la fois, afin que l'information stockée ne soit pas modifiée dans le cadre de la réaction à la présence d'un ou plusieurs TCAS pendant qu'elle sert à la sélection d'un avis de résolution par le TCAS de référence.

Cette protection peut notamment être assurée par une donnée en état de verrouillage de coordination toutes les fois que la mémoire est sollicitée par le TCAS de référence ou que lui sont présentées de nouvelles données provenant d'un TCAS menaçant. Si au moment où il y a un verrouillage de coordination, un message de résolution est reçu, les données sont gardées en attente jusqu'au moment où l'état de verrouillage actuel est levé. La possibilité d'accès simultané aux données par différents processus se déroulant dans le système TCAS existe parce que les messages de résolution de conflit en entrée sont reçus sans synchronisme avec le traitement TCAS, ce qui interrompt ce traitement.

II-7-4 Commande de réglage du niveau de sensibilité :

Le contrôle des paramètres de détection de menace TCAS s'effectue au moyen de commandes de SLC d'origines différentes :

- a- valeur générée à l'intérieur du système TCAS en fonction de la tranche d'altitude ;
- b- commande émanant d'une station sol mode S ;
- c- commande sélectionnée par le pilote à l'aide d'un commutateur ;

Le système TCAS utilise le niveau de sensibilité déterminé par la plus petite commande de SLC non nulle parmi les commandes dont les trois origines sont indiquées ci-dessus. Le système TCAS stockera les commandes de SLC émanant des stations sol mode S. Une commande reçue d'une station sol mode S demeurera en vigueur jusqu'au moment où elle sera remplacée par une commande de SLC émanant de la même station sol qu'identifie le numéro de site contenu dans le sous-champ IIS de l'interrogation. lorsqu'une station sol mode S où le pilote ne s'intéresse pas

particulièrement au réglage du niveau de sensibilité, cette station ou le pilote envoie au système TCAS la valeur 0, et il n'est pas tenu compte de cette valeur dans le processus de sélection.

Le niveau de sensibilité sera normalement déterminé par la valeur interne fondée sur la tranche d'altitudes. L'hystérésis est utilisée près des seuils d'altitude pour empêcher la valeur de commande de SLC de fluctuer lorsque l'aéronef TCAS évolue près d'un seuil d'altitude.

II-7-5 Transfert de données entre le TCAS et son transpondeur mode S :

a) Transfert de données du TCAS à son transpondeur mode S :

1- le système TCAS transférera des données d'avis de résolution à son transpondeur mode S pour transmission dans un compte rendu d'avis de résolution et dans une réponse de coordination.

2- Le système TCAS communiquera le niveau de sensibilité actuel à son transpondeur mode S pour transmission dans un compte rendu de niveau de sensibilité.

3- Le système TCAS transférera des données sur les possibilités à son transpondeur mode S pour transmission dans un compte rendu de possibilités de liaison de données.

b) Transfert de données du transpondeur mode S à son TCAS :

1- le système TCAS recevra de son transpondeur mode S des commandes de réglage du niveau de sensibilité provenant de station sol mode S.

2- le système TCAS recevra de son transpondeur mode S des diffusions TCAS transmises par d'autres TCAS.

3- Le système TCAS recevra de son transpondeur mode S des messages de résolution transmis par d'autres TCAS en vue de la coordination air-air.

II-8 PROTOCOLES TCAS :

II-8-1 Protocoles de surveillance :

II-8-1-1 Surveillance des transpondeurs modes A/C :

La surveillance des transpondeurs modes A/C est accomplie à l'aide d'émission périodique d'interrogation « appel général mode C seulement », pour assurer la surveillance des aéronefs dotés de transpondeurs modes A/C. Ces interrogations déclenchent des réponses de la part des transpondeurs modes A/C, mais pas de la part des transpondeurs mode S, ce qui évite le chevauchement synchrone des réponses de ces deux catégories de transpondeurs. Afin de réduire le chevauchement synchrone, on peut aussi :

1- soit utiliser des antennes directives pour interroger seulement les aéronefs qui se trouvent dans un certain secteur d'azimut ;

2- soit recourir à une séquence de suppressions et interrogations de puissance variable (« whisper-shout ») pour interroger uniquement les aéronefs dont les bilans de liaison sont semblables. Lorsqu'elles sont combinées, ces deux solutions représentent un puissant outil à l'aide duquel il est possible de surmonter les effets de chevauchement synchrone ;

a) La méthode « whisper-shout » consiste à émettre une séquence d'interrogations de différents niveaux de puissance pendant chaque intervalle de mise à jour de la surveillance. Chacune de ces interrogations, sauf celle de plus faible puissance, est précédée d'une émission de suppression, la première impulsion de l'émission de suppression. L'impulsion d'émission de suppression débute $2\mu\text{s}$ avant la première impulsion de l'interrogation. L'impulsion de suppression est de plus faible puissance que l'interrogation qui l'accompagne, de sorte que seuls répondent les transpondeurs qui détectent l'interrogation et ne détectent pas la suppression. Comme certains transpondeurs risquent de ne répondre à aucune interrogation de cette séquence, le niveau de puissance de l'impulsion de suppression est légèrement inférieur à celui de l'interrogation de puissance inférieure suivante.

L'intervalle entre interrogations consécutives devrait être d'au moins une milli-seconde. Grâce à cet intervalle d'une milli-seconde, on évite de prendre les réponses de transpondeurs distants pour des

réponses à l'interrogation suivante. L'émission de toutes les interrogations de cette séquence ne dure pas plus longtemps qu'un intervalle de mise à jour de la surveillance.

b) On traite les réponses à chaque interrogation « appel général mode C seulement » pour déterminer la distance et le code d'altitude de chacune d'elle. Il est possible de déterminer les codes d'altitude pour un maximum de trois réponses qui se chevauchent, si l'on veille à déterminer l'emplacement de chacune des impulsions reçues.

c) Lorsque toutes les réponses à la séquence « whisper-shout » ont été reçues, il faut fondre les doubles réponses de manière qu'il y ait un seul « compte rendu » par aéronef détecté. Il est possible d'établir la corrélation, aux points de vue distance et altitude, entre les comptes rendus et la position prévue des intrus connus (c'est à dire auxquels correspondent des pistes existantes). Comme les aéronefs intrus sont interrogés à cadence élevée (cadence nominale : 1 fois par seconde), on obtient une bonne corrélation à l'aide de la distance et de l'altitude. Le code mode A n'est pas nécessaire à la corrélation. Les comptes rendus au sujet desquels on peut établir la corrélation servent à prolonger les pistes correspondantes. Lorsque des comptes rendus ne sont pas en corrélation avec des pistes existantes, on peut les comparer avec des comptes rendus qui étaient auparavant sans corrélation pour établir de nouvelles pistes. Avant d'établir une nouvelle piste, on peut vérifier les réponses qui conduisent à amorcer cette piste pour s'assurer qu'elles concordent, ceci concerne tous les bits de poids fort du code d'altitude. Un calcul géométrique permettrait de reconnaître et d'éliminer les fausses cibles résultant de réflexions sur le relief.

d) On peut vérifier les nouvelles pistes d'après des critères de validité avant de les communiquer aux algorithmes anticollision. Les vérifications doivent permettre de rejeter les fausses pistes résultants du chevauchement et des multitrajets. Les fausses pistes ont en général une courte durée de vie.

e) Les aéronefs qui ne signalent pas leurs altitudes en mode C sont détectés à l'aide des impulsions d'encadrement des réponses mode C. Afin d'établir des pistes pour ces aéronefs, on utilise la distance comme critère de corrélation. L'emploi du gisement comme critère de corrélation supplémentaire aide à réduire le nombre de fausses pistes qui ne sont pas en mode C.

f) Fusion des réponses : De multiples réponses peuvent être générées par une cible modes A/C qui répond à plus d'une interrogation « whisper-shout » durant chaque séquence « whisper-shout » ou par une cible qui répond aux interrogations émises par l'intermédiaire des deux antennes, supérieure et inférieure. L'équipement ne devrait pas générer plus d'un compte rendu de position pour une cible quelconque, même si elle peut répondre à plus d'une interrogation pendant chaque intervalle de mise à jour de la surveillance.

g) Déclenchement de la surveillance modes A/C : L'équipement ne devrait communiquer les premiers comptes rendus de position aux algorithmes anticollision que si les conditions citées ci-dessous sont remplies :

1- au début, une réponse mode C est reçue de la cible pendant chacun des trois intervalles consécutifs de mise à jour de la surveillance et :

i) les réponses ne sont pas en corrélation avec les réponses de surveillances associées avec d'autres pistes ;

ii) le taux de variation de distance déterminé d'après les deux réponses les plus récentes est inférieure à 620 m/s (1200 kt) ;

iii) la réponse la plus ancienne est compatible avec ce taux de variation de distance : d'après la distance, cette réponse se situe à moins de 95,3 m (312,5 ft) de la ligne droite reliant les deux réponses les plus récentes ;

iv) les réponses sont en corrélation les unes avec les autres en ce qui concerne les bits de code d'altitude ;

2- une quatrième réponse en corrélation est reçue à au moins de cinq intervalles de mise à jour de la surveillance après la troisième des trois réponses consécutives mentionnées en 1- ci dessus, et elle est à moins ± 60 m (± 200 ft) de l'estimation du code d'altitude prévu déterminée en 1-iv ci dessus.

On peut donner un exemple d'ensemble acceptable de règles à suivre pour évaluer la corrélation entre les bits de code de réponses et déterminer la valeur estimée du code initiale de piste dans le plan vertical pour une cible. Trois réponses sont en corrélation seulement si l'une des deux conditions suivantes est remplie :

*les huit impulsions de code D, A et B correspondantes concordent ;

*sept des impulsions de code D, A et B correspondantes concordent et au moins une des impulsions de code C concorde .

Le test de concordance de code parmi les trois réponses est appliqué à chacune des positions d'impulsion de réponse. Ce test est fondé sur la présence des seules impulsions de code ; il y a concordance pour une position donnée, si dans les trois réponses détectées un 1 occupe cette position ou si dans les trois réponses détectées un 0 occupe cette position. La confiance associée avec ces détections d'impulsions n'influe pas sur la concordance.

Le drapeau de niveau de confiance pour une position d'impulsion de réponse est « bas » toutes les fois qu'il existe une autre réponse reçue réelle ou fantôme dont une impulsion aurait pu se trouver à moins de $\pm 0,21 \mu\text{s}$ de la même position. Dans le cas contraire, le drapeau de nouveau de confiance est « haut ».

En l'absence de concordance entre les trois réponses pour une position d'impulsion de réponse donnée, la valeur estimée du code initial d'impulsion de piste pour cette position est fondée sur les valeurs des différents codes d'impulsions et des drapeaux de niveau de confiance associés avec ces codes d'impulsion dans trois réponses.

Lorsqu'il n'y a pas concordance pour une position d'impulsion donnée, les règles à suivre pour estimer la valeur du code initial de piste correspondant à cette position reposent sur le principe selon lequel les 1 à « bas » niveau de confiance sont douteux. Ces règles sont les suivantes :

*si dans la plus récente réponse (la troisième) le code détecté pour une position d'impulsion donnée est à « haut » niveau de confiance ou un 0, la valeur estimée du code initial d'impulsion de piste pour cette position est identique au code détecté dans cette position dans la plus récente réponse ;

*si dans la plus récente réponse le code détecté pour une position d'impulsion donnée est un 1 à « bas » niveau de confiance, la valeur estimée du code initial d'impulsion de piste pour cette position est identique au code détecté dans cette position dans la deuxième réponse, pourvu que ce ne soit pas aussi un 1 à « bas » niveau de confiance. Si dans la deuxième réponse le code détecté est aussi un 1 à « bas » niveau de confiance, la valeur estimée du code initial d'impulsion de piste est identique au code détecté dans cette position dans la première réponse.

h) Extension de la surveillance modes A/C :

1- Généralités : L'équipement ne devrait continuer à communiquer aux algorithmes anticollision des comptes rendus de positions relatifs à une cible que dans les conditions suivantes :

- a- il n'a pas été déterminé que la piste est une image ;
- b- les altitudes des réponses se situent à l'intérieur d'une fenêtre d'altitude mesurant ± 60 m (200 ft) de part et d'autre de l'altitude prévue d'après les réponses antérieures ;
- c- toutes les réponses que l'on utilise pour évaluer la menace à la suite de la procédure d'amorçage se situent à l'intérieur d'une fenêtre de distance partagée en deux moitiés par la distance prévue d'après les réponses antérieures.

2- Corrélation en distance : On donne un exemple d'ensemble acceptable de règles pour déterminer la largeur de cette fenêtre de distance :

- a- les pistes sont traitées individuellement dans l'ordre croissant des distances ; les distances utilisées doivent être déterminées avec une précision d'au moins 15 m (50 ft) et la précision des calculs doit être d'au moins 1,8 m (6 ft). La distance est estimée et prévue par un dispositif de poursuite réursive « alpha-bêta » pour lequel $\alpha = 0,67$ et $\beta = 0,25$.
- b- chaque fois que la surveillance a été mise à jour, une nouvelle mesure de la distance est disponible pour chaque cible. Comme chaque mesure est entachée d'erreurs, il faut la lisser en fonction de mesures précédentes pour obtenir de meilleures valeurs estimées de la position et de la vitesse actuelles de la cible. Les équations d'estimation de la distance et du taux de variation de distances sont les suivantes :

$$r(t) \text{ valeur estimée} = r(t) \text{ prévision} + [\alpha \times (r(t) \text{ mesure} - r(t) \text{ prévision})]$$

$$\dot{r}(t) \text{ valeur estimée} = \dot{r}(t - T_p) \text{ valeur estimée} + [(\beta/T_p) \times (r(t) \text{ mesure} - r(t) \text{ prévision})]$$

T_p étant l'intervalle de temps séparant les mesures actuelles et précédentes.

Les gains α et β déterminent le degré relatif de confiance dans les mesures actuelles et précédentes ; lorsque le gain est égale à l'unité, on peut se fier entièrement à la mesure actuelle et il n'y a pas de lissage.

Les valeurs estimées résultantes des équations ci-dessus servent ensuite à prévoir comme suit la distance au moment de la mesure suivante :

$$r(t+T_n) \text{ prévision} = \dot{r}(t) \text{ valeur estimée} + [r(t) \text{ valeur estimée} \times T_n] ,$$

T_n étant l'intervalle de temps séparant la mesure suivante de la mesure actuelle.

La fenêtre de corrélation en distance est partagée en deux moitiés par la distance prévue ; chaque moitié mesure :

<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: 50%; margin: 0 auto;"> <p style="text-align: center;">760 ft en cas «d'arrêt» pendant le dernier intervalle</p> <p style="text-align: center;">570 ft en cas de mise à jour pendant le dernier intervalle</p> </div>	+	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: 50%; margin: 0 auto;"> <p style="text-align: center;">si une piste n'est pas établie</p> <p style="text-align: center;">0</p> <p style="text-align: center;">si une piste est établie</p> <p style="text-align: center;">2000 ft, si $0.00 \text{ NM} \leq r < 0.17 \text{ NM}$ 1000 ft, si $0.17 \text{ NM} \leq r < 0.33 \text{ NM}$ 600 ft, si $0.33 \text{ NM} \leq r < 1.00 \text{ NM}$ 240 ft, si $1.00 \text{ NM} \leq r < 1.50 \text{ NM}$ 0 ft, si $1.50 \text{ NM} \leq r$</p> </div>
---	---	---

Si la piste se trouve au-dessus de 3050 m (10000 ft), le terme placé entre crochets à droite est multiplié par quatre.

3- Corrélation en altitude : La valeur de l'altitude est estimée et prévue par une poursuite alpha-bêta pour lequel alpha = 0,28 et bêta = 0,26. La poursuite est d'une précision de 30 m (100 ft)/16, l'altitude est prévue et arrondie à la trentaine de mètres (centaine de pieds) la plus proche est convertie en code Gray. Les codes Gray d'altitude prévue ± 30 m (100 ft) sont également calculés. Pour les prévisions d'altitude à plus long terme effectuées par la logique de détection de menace, il faut une procédure plus exacte de poursuite en altitude. Les réponses comprises dans la fenêtre de corrélation en distance est soumise à un test, dans l'ordre croissant des distances, en vue de la corrélation en altitude. La piste est mise à jour à l'aide de la première réponse pour laquelle il y a concordance exacte (de tous les bits) avec l'un quelconque des trois codes Gray. S'il n'y a concordance pour aucune réponse, deux codes Gray supplémentaires sont calculés, et on recommence le processus. Ces deux codes sont l'altitude prévue +60 m (200 ft) et l'altitude prévue -60 m (200 ft).

4- Mise à jour et établissement de piste : On ne tient plus compte de la réponse éventuelle ayant servi à la mise à jour, lorsqu'il s'agit de mettre à jour d'autres pistes ou dans le processus d'amorçage de piste. En l'absence d'une telle réponse, on donne à la distance estimée et à l'altitude estimée les valeurs prévues correspondantes. Si c'est le sixième intervalle consécutif sans une telle réponse, la piste est abandonnée. S'il y a une telle réponse, et si la piste n'est pas reconnue comme étant une image, la piste est signalée comme étant établie, c'est-à-dire comme étant à présent à la disposition de la logique de détection de menace. Une fois établie, une piste le demeure jusqu'au moment où elle est abandonnée, même si par la suite les conditions sont remplies pour qu'elle soit une piste image.

5- Test de dédoublement de piste : Lorsque toutes les pistes ont été traitées, on les combine avec les pistes qui sont nouvellement amorcées durant le balayage en cours, puis on examine toutes les pistes paire par paire afin de déterminer si une paire donnée représente probablement le même intrus. Si :

a- les distances diffèrent de 150 m (500 ft) maximum ;

b- les taux de variation de distance diffèrent de 4,6 m/s (8,9 kt) maximum ;

c- ou bien :

- les altitudes diffèrent de 30 m (100 ft) maximum ;

- les taux de variation d'altitude diffèrent de 3 m/s (10 ft) maximum et les deux pistes ont été amorcées durant le même balayage, on ne retient qu'une seule des pistes, de préférence celle à laquelle correspond le plus grand nombre de réponses depuis son amorçage.

6- Traitement des pistes images : Les pistes qui ont pu être formées par des réponses résultant de réflexions sur le sol sont appelées des pistes images. Une piste est signalée comme étant une image s'il existe moins loin une piste appelée la piste réelle telle :

a- que la différence entre l'altitude réelle et l'altitude image est inférieure ou égale à 60 m (200 ft) pour les cibles signalant l'altitude, ou que la piste image comme la piste réelle correspondent à une cible ne signalant pas l'altitude ; et

b- que la différence entre le taux de variation de distance image et le taux de variation de distance image calculé f_i est inférieure ou égale à 21 m/s (40 kt), lorsque le taux de variation de distance image calculé est :

- soit en cas de réflexion simple :

$$\dot{r}_i = (1/2) [\dot{r} + (1/(2r_i - r)) | ((2r_i - r)^2 - r^2 + (z_0 - z)^2)^{1/2} (\dot{z}_0 + \dot{z}) + r \dot{r} - (z_0 - z) (\dot{z}_0 - \dot{z}) |]$$

- soit en cas de double réflexion :

$$\dot{r}_i = (1/r_i) | (r_i^2 - r^2 + z_0 - z)^{1/2} (\dot{z}_0 + \dot{z}) + r \dot{r} - (z_0 - z) (\dot{z}_0 - \dot{z}) |,$$

avec :

r_i : distance image

r : distance réelle

z : altitude réelle pour les cibles signalant l'altitude , ou altitude de l'aéronef de référence pour les cibles ne signalant pas l'altitude

z_0 : altitude de l'aéronef de référence

Si une piste est reconnue comme étant une image , il est possible de la retenir, mais il est impossible de la signaler comme étant établie afin que la logique de détection de menace s'en serve.

i) Comptes rendus modes A/C manquants : l'équipement continue à communiquer aux algorithmes anticollision des comptes rendus de positions prévues pour les cibles modes A/C pendant six intervalle de mise à jour de la surveillance après réception de la dernière réponse valide en corrélation. Il ne communique pas de compte rendu de position pour plus de six intervalles de mise à jour de la surveillance à la suite de la réception de la dernière réponse valide en corrélation à moins qu'encore une fois la cible ne soit conforme aux critères de « déclenchement de la surveillance modes A/C ».

11-8-1-2 Surveillance des transpondeurs mode S :

Des techniques efficaces de surveillance air-air des intrus dotés de transpondeurs mode S ont été mis au point. Grâce à l'adresse sélective mode S, aucun problème de chevauchement synchrone ne se pose à l'occasion de cette surveillance. Cependant, il faut régler la question des multitrajets, et il faudrait assurer une surveillance à l'aide du plus petit nombre possible d'interrogations afin de limiter le brouillage.

Par essence, les formes de modulation mode S résistent mieux aux multitrajets que les formats de modulation modes A/C. toutefois, parce qu'elle est plus longue, l'émission mode S risque d'avantage de subir des chevauchements du fait des multitrajets. En ayant recours à des antennes disposées sur la partie supérieure de l'aéronef et à des seuils variables de récepteur (afin de protéger le préambule de réponse mode S), on porte à un niveau acceptable la résistance aux multitrajets, ce qui permet d'assurer une surveillance air-air fiable. De l'emploi de transpondeurs à diversité d'antenne à bord des aéronefs TCAS résulte une marge de fiabilité en vue de coordination entre aéronefs TCAS en conflit formant une paire.

I- Détection : Le système TCAS détectera la présence d'aéronefs dotés de transpondeur mode S et en déterminera l'adresse en surveillant sur 1090 MHz les réponses « appel général » mode S (format descendant : DF = 11). L'altitude des aéronefs dotés du mode S sera alors déterminée soit par contrôle passif des réponses reçues de ces aéronefs qui renferment l'altitude (DF = 0, 4, 16 ou 20), soit, au besoin, par interrogation de ces aéronefs à l'aide de (format montant : UF = 0).

On maintient à une faible valeur les cadences d'interrogation mode S en ayant recours à la détection passive des émissions de transpondeurs et en interrogeant une fois par seconde seulement les intrus qui pourraient devenir des menaces immédiates. Les intrus qui ne risquent pas de devenir des menaces immédiates devraient être interrogés à une cadence moins élevée, c'est à dire une fois toutes les 5 secondes. L'acquisition passive de l'adresse évite le brouillage inutile d'autres éléments du système SSR et TCAS. Le TCAS écoute les réponses « appel général » mode S (DF = 11), émission des squitters d'acquisition. Ces réponses peuvent faire suite à des interrogations « appel général » émanant de station sol mode S ou revêtir la forme de réponses spontanées (squitters) générées à intervalles variant de 0,8 à 1,2 s. La réception des squitters peut se faire alternativement par l'antenne supérieure et par l'antenne inférieure.

Si la réception est commutée, il faudra contrôler les temps de commutation pour éviter tout synchronisme indésirable avec les squitters émis par transpondeurs mode S à diversité d'antenne.

2- Interrogation de surveillance : Dès qu'il recevra une adresse à 24 bits d'un aéronef jugé à la distance de surveillance fiable du TCAS d'après la fiabilité de la réception et évoluant dans une tranche d'altitude mesurant 3050 m (10000ft) de part et d'autre de l'altitude de l'aéronef de référence, le TCAS émettra une interrogation air-air courte (UF =0) pour déterminer la distance. Des interrogations de surveillance seront émises au moins une fois tous les cinq cycles lorsque cette condition concernant l'altitude sera remplie. Des interrogations de surveillance seront émises pendant chaque cycle si la distance de l'aéronef détectée est inférieure à 5,6 km (3 NM) ou si le temps de vol calculé jusqu'au rapprochement maximal est inférieur à 60 s, en supposant que l'aéronef détecté et l'aéronef de référence poursuivent leur route à partir de leurs position respectives actuelles sans accélérer et que la distance au rapprochement maximal soit égale à 5,6 km (3 NM)., les interrogations de surveillance seront suspendues pour une période de cinq cycles si les trois conditions suivantes sont réunies :

a- une réponse est reçue ;

b- l'aéronef de référence et l'aéronef intrus volent à une altitude–pression inférieure à 5490 m (18000 ft) ;

c- la distance de l'aéronef détecté est supérieure à 5,6 km (3 NM) et le terme calculé jusqu'au rapprochement maximal dépasse 60 s, en supposant que l'aéronef détecté et l'aéronef de référence poursuivent leur route à partir de leurs positions respectives actuelles sans accélérer et que la distance jusqu'au rapprochement maximal est égale à 5,6 km (3 NM).

2-1 Interrogations d'acquisition de distance : Le système TCAS utilisera le format de surveillance air-air courte (UF =0) pour déterminer la distance. Il positionnera AQ = 1 (AQ : Acquisition ; champ montant de 1 bit (14) contiendra un code qui contrôle la teneur du champ RI) et RL = 0 (RL : Longueur de Réponse : champ montant de 1 bit (9) qui déterminera le format utiliser pour la réponse) dans une interrogation d'acquisition .

La position $AQ = 1$ déclenche une réponse dans laquelle le bit 14 du champ RI est égale à 1 et aide à distinguer la réponse à l'interrogation du TCAS de référence des réponses déclenchées par d'autres unités TCAS et dans l'interrogation d'acquisition, RI est positionné à 0 pour déclencher une réponse d'acquisition courte ($DF = 0$).

On note qu'un transpondeur associé à un système anticollision embarqué répondrait avec $DF = 16$ à une interrogation avec $RL = 1$;

le codage est :

- 0 : signifie répondre avec $DF = 0$
- 1 : signifie pas de réponse.

2-2 Interrogation de poursuite : Le TCAS utilisera le format de surveillance air-air courte ($UF=0$) avec $RL=0$ et $AQ=0$ pour les interrogations de poursuite.

3- L'adresse à 24 bits d'aéronefs contenues dans le squitter est protégée par codage contre les erreurs afin que la probabilité d'obtention d'une adresse correcte soit élevée. Comme il n'y a pas de données d'altitude dans les squitters, le TCAS cherche à extraire passivement l'altitude des réponses mode S émises à la suite d'interrogations provenant du sol ou d'autres aéronefs TCAS. Si l'altitude n'est pas captée peu de temps après que l'adresse est détectée, l'altitude est obtenue par interrogation active de l'aéronef mode S.

4- Réponse de surveillance : Le transpondeur mode S du TCAS utilisera le format de surveillance courte ($DF = 0$) ou longue ($DF = 16$) pour répondre aux interrogations de surveillance TCAS. La réponse de surveillance comprendra le champ VS, le champ RI ainsi que le champ SL.

a- Champ VS : situation de l'aéronef dans le plan vertical : champ descendant de 1 bit (6) indiquera la situation de l'aéronef.

le codage est :

- 0 : signifie que l'aéronef est en vol
- 1 : signifie que l'aéronef est au sol

b- Champ RI : information de réponse air-air : champ descendant de 4 bits (14-17) indiquera la vitesse vraie maximale de croisière de l'aéronef et le type de réponse à l'aéronef interrogateur.

Le codage est :

- 0 : signifie répondre à une interrogation air-air UF = 0 avec AQ = 0, pas de TCAS en fonctionnement
- 1-7 : réservés au TCAS
- 8-1 : signifie répondre à une interrogation air-air UF = 0 avec AQ = 1 et préciser la vitesse maximale comme suit :
 - 8 : aucune donnée de vitesse maximale disponible
 - 9 : vitesse maximale inférieure ou égale à 140 km/h (75 kt)
 - 10 : vitesse maximale supérieure à 140 km/h et inférieure ou égale à 280 km/h (75 et 150 kt)
 - 11 : vitesse maximale supérieure à 280 km/h et inférieure ou égale à 560 km/h (150 et 300 kt)
 - 12 : vitesse maximale supérieure à 560 km/h et inférieure ou égale à 1110 km/h (300 et 600 kt)
 - 13 : vitesse maximale supérieure à 1110 km/h et inférieure ou égale à 2220 km/h (600 et 1200 kt)
 - 14 : vitesse maximale supérieure à 2220 km/h (1200 kt)
 - 15 : non assigné

c- Champ SL : compte rendu de niveau de sensibilité : champ descendant de 3 bits (9-11) fait partie des deux formats de réponse « surveillance air-air courte (DF = 0) et surveillance air-air longue (DF = 16) ». Ce champ indiquera le niveau de sensibilité auquel le TCAS fonctionne actuellement.

Le codage est :

- 0: TCAS ne fonctionne pas
- 1: TCAS fonctionne au niveau de sensibilité 1
- 2: TCAS fonctionne au niveau de sensibilité 2
- 3: TCAS fonctionne au niveau de sensibilité 3
- 4: TCAS fonctionne au niveau de sensibilité 4
- 5: TCAS fonctionne au niveau de sensibilité 5
- 6: TCAS fonctionne au niveau de sensibilité 6
- 7: TCAS fonctionne au niveau de sensibilité 7

5- Après avoir déterminé l'altitude d'un aéronef mode S détecté, le TCAS la compare à l'altitude de l'aéronef de référence afin de déterminer s'il peut ne pas tenir compte de la cible ou s'il doit l'interroger pour en déterminer la distance et le taux de variation de celle-ci. Si, selon la distance mesurée et le taux de variation estimé de celle-ci, l'intrus représente ou risque de représenter bientôt une menace, il y a lieu de l'interroger une fois par seconde et de communiquer aux algorithmes anticollision les données ainsi obtenues. Un aéronef plus éloigné ne devrait être interrogé que le nombre de fois qu'il faut pour en maintenir la poursuite et veiller à ce qu'il soit interrogé une fois par seconde avant qu'il ne devienne une menace.

6- Diffusion TCAS: Une diffusion TCAS est effectuée nominalement toutes les 8 à 10 secondes à pleine puissance depuis l'antenne supérieure. Les installations à antennes directives fonctionneront de manière que la couverture circulaire complète soit assurée nominalement au moins toutes les 8 à 10 secondes. Du fait d'une diffusion, les autres transpondeurs mode S acceptent l'interrogation sans répondre et représentent la teneur de cette interrogation avec champ MU à l'interface donnée de sortie du transpondeur. La combinaison UDS1 = 3, UDS2 = 2 permet de reconnaître les données comme étant une diffusion TCAS contenant l'adresse à 24 bits de l'aéronef TCAS interrogateur. Cela permet à chaque TCAS de déterminer le nombre d'autres TCAS se trouvant à sa portée afin de limiter le brouillage.

a- Champ MU : champ de 56 bits (33-88) faisant partie des interrogations de surveillance air-air longues servira à transmettre des messages de résolution, des diffusions TCAS et des diffusions d'avis de résolution.

b- Sous champ UDS : sous champ de définition U, il est de 8 bits (33-40) et définira le reste de MU.

7- La détection passive combinée avec la comparaison des altitudes et une interrogation moins fréquente des intrus non menaçant réduit automatiquement la cadence des interrogations mode S lorsque la densité locale d'autres aéronefs TCAS est très élevée. Un niveau plus élevé de puissance d'interrogation est donc disponible pour améliorer la performance de surveillance.

8- Déclenchement de la surveillance mode S : L'équipement est destiné à assurer la surveillance mode S avec un minimum d'interrogations mode S. Il détermine l'identité des cibles mode S par contrôle passif des émissions reçues avec $DF = 11$. Afin de réduire le nombre des adresses à traiter, on applique la détection des erreurs aux squitters reçus. L'altitude des cibles mode S dont un squitter a été reçu est déterminé en contrôlant les émissions reçues avec $DF = 0$ (réponse « surveillance air-air courte ») ou $DF = 4$ (réponse « surveillance-altitude »). L'équipement contrôle les squitters et les réponses signalant l'altitude toutes les fois qu'il n'émet pas d'interrogation mode S ou mode C ou ne reçoit pas de réponse à de telle interrogations. Il examine chaque réponse reçue afin de déterminer les mesures supplémentaires à prendre.

Pour réduire le nombre des interrogations inutiles, les cibles émettant des squitters ne sont pas interrogées dans le cas où les squitters et les réponses signalant l'altitude que l'on reçoit des cibles sont si peu nombreux qu'il semble pas y avoir de menace. Les cibles qui pourraient représenter des menaces sont appelées des « cibles valides ». L'équipement n'est pas destiné à interroger une cible à moins qu'il ne ressorte des données d'altitude qu'elle se trouve à moins de 3050 m (10000ft), l'altitude des cibles qui se trouvent au delà de cette limite par rapport à l'aéronef de référence est contrôlée à l'aide de réponse non sollicitées $DF = 0$ ou $DF = 4$ ou, à défaut de telle réponse, au moyen d'interrogations périodiques destinées à faire produire des réponses $DF = 0$.

On donne un exemple de méthode acceptable à suivre pour traiter les squitters et les réponses signalant l'altitude afin de réduire le nombre des interrogations inutiles ;

a- lorsqu'un squitter valide est reçu pour la première fois, une somme cumulée initialisée à zéro lui est associée.

Ensuite, pendant chaque intervalle de mise à jour de la surveillance, cette somme est diminuée de 1 si aucun squitter ou réponse signalant l'altitude portant une adresse n'est reçu, et augmentée de 16 chaque fois qu'est reçu un squitter ou une réponse signalant l'altitude. le processus se poursuit jusqu'au moment où cette somme est égale ou supérieure à 20. Lorsque cette somme devient inférieure ou égale à -20, l'adresse est éliminée du système. Lorsqu'elle est supérieure ou égale à + 20, la cible est déclarée valide.

- b- lorsqu'une cible a été déclarée valide, elle est interrogée sauf si son altitude diffère de plus de 3050 m (1000ft) de celle de l'aéronef TCAS. Si ce n'est pas le cas, l'altitude de la cible est contrôlée à l'aide de réponse DF = 0 ou DF = 4 ou, à défaut de telles réponses, par l'émission, toutes les 10 secondes, d'une interrogation destinée à faire produire une réponse DF = 0.
- c- lorsque l'une de ces conditions est remplie, la somme cumulée continue à être augmentée ou à diminuée même si elle peut dépasser 20.

9- Acquisition de distance mode S : L'équipement devrait émettre une interrogation d'acquisition (UF=0 , 16, AQ=1) afin de déterminer la distance à chaque cible valide qui se trouve à une altitude relative conforme à ce qui précède ou dont des données d'altitude inadéquates ont été reçues.

Si une interrogation d'acquisition ne déclenche pas de réponse valide, des interrogations supplémentaires devraient être émises. Le nombre total des interrogations d'acquisition adressées à une seule cible ne doit pas dépasser trois dans un intervalle donné de mise à jour de la surveillance. La première interrogation d'acquisition doit être émise par l'intermédiaire de l'antenne supérieure, les deux interrogations d'acquisition suivantes adressées à la même cible doivent être émises au moyen de l'antenne inférieure. Si au cours du premier intervalle de mise à jour de la surveillance TCAS n'obtient pas de réponse valide, il doit émettre au total neuf interrogations d'acquisition réparties sur les six premiers intervalles consécutifs de mise à jour de la surveillance.

Si les interrogations d'acquisition ne déclenchent pas de réponse pendant un maximum de six intervalles de mise à jour de la surveillance, le processus d'acquisition doit cesser en attendant que des squitters /du fruit supplémentaires soient reçus en quantité suffisante indiquant qu'une acquisition semble probable.

Pour obtenir un résultat, il est possible notamment, de traiter les squitters/ le fruit ultérieurs de la manière décrite dans la partie « déclenchement de la surveillance mode S », mais, en utilisant un incrément de 8 au lieu d'un incrément de 16. En cas de nouvel échec, on répète le processus avec un incrément de 4. Après tout échec suivant, on utilise un incrément de 2.

Les tentatives supplémentaires éventuelles d'acquisition de la cible devraient se faire comme ci-dessus ; toutefois :

a- lors des deuxième et troisième tentatives, une seule interrogation doit être émise pendant un seul intervalle de mise à jour de la surveillance, et en l'absence de réponses valides six interrogations doivent être émises pendant les six premiers intervalles de mise à jour de la surveillance ;

b- lors de toute tentative supplémentaire, une seule interrogation doit être émise pendant la durée totale des six intervalles de mise à jour.

Lorsqu'une réponse d'acquisition valide est reçue, le champ VS de la réponse est examiné afin de déterminer la situation de la cible dans le plan vertical. S'il est établi que la cible est au sol, sa situation dans le plan vertical est contrôlée périodiquement au moyen d'interrogations émises le nombre de fois qu'il faut pour assurer l'acquisition en temps utile de l'aéronef lorsqu'il sera en vol. Si la réponse d'acquisition valide provient d'une cible en vol, une ou plusieurs interrogations doivent être envoyées à la cible dans l'espace de deux intervalles de mise à jour de la surveillance pour conformer la fiabilité des données d'altitude et du bit de quantification d'altitude. s'il est reçu d'une cible en vol deux réponses qui indiquent des valeurs d'altitude différentes de moins de 150 m (500 ft) l'une de l'autre et de moins de 3050 m (10000 ft) par rapport à l'altitude de l'aéronef de référence et qui comprennent des valeurs identiques pour le bit de quantification, des interrogations périodiques de surveillance (appelées des interrogations « de poursuite ») visant cette cible doivent être envoyées.

Les taux de variation estimés de la distance de la cible sont utilisés pour déterminer si celle-ci constitue une menace pour le TCAS. Si la cible ne constitue pas une menace potentielle dans l'immédiat, elle peut être interrogée moins fréquemment que si elle l'était, et dans ce cas, un avis serait très probablement émis à brève échéance. A chaque intervalle de mise à jour de la surveillance d'une seconde, le niveau de menace potentielle « TAU » de la cible est calculé comme suit :

$$\text{TAU} = -(r - \text{SMOD}^2 / \dot{r}) / \dot{r}$$

Où r est la distance observée, \dot{r} le taux de variation estimé de la distance relative et SMOD un modificateur de distance de surveillance qui équivaut à 5,6 km (3 NM). Si le taux de variation estimé de la distance relative est une valeur négative inférieure à -6 kt ou une valeur positive (convergence lente ou divergence des aéronefs), la valeur de \dot{r} entrant dans le calcul de TAU est -6 kt.

Une valeur de 5,6 km pour le modificateur SMOD garantit que le TCAS utilisera toujours le cycle d'interrogation nominal d'une seconde dans les situations où la valeur de TAU peut changer rapidement, comme dans le cas d'une approche parallèle. Une cible correspondant à une valeur de TAU égale ou inférieure à 60 s est interrogée à la cadence nominale d'une fois par seconde. Une cible correspondant à une valeur de TAU supérieure à 60 s est interrogée à une cadence d'une fois toutes les 5 s si son altitude et celle de l'aéronef de référence sont toutes deux inférieures à 5490 m (18000 ft), et à une cadence d'au moins une fois toutes les 5 s si l'altitude de la cible ou celle de l'aéronef de référence est supérieure à 5490 m (18000 ft).

10- Extension de la surveillance mode S : L'équipement ne communique les comptes rendus de position relatifs à une cible mode S aux algorithmes anticollision que si toutes les réponses ayant servi à l'évaluation de la menace à la suite de l'acquisition initiale de la distance se trouvent à l'intérieur des fenêtres de distance et d'altitude partagées en deux moitiés par une distance et une altitude prévues à partir des réponses antérieures, si le bit de quantification d'altitude correspond à la valeur précédente et si le champ VS de la réponse de surveillance spéciale courte indique que la cible est en vol au moins une fois au cours des trois cycles précédents de mise à jour de la surveillance. Les fenêtres de distance et d'altitude sont identiques à celles qui servent à la poursuite modes A/C.

Si une interrogation de poursuite ne déclenche pas de réponse valide, des interrogations supplémentaires doivent être émises. Le nombre totale des interrogations de poursuite adressées à une cible ne devrait pas dépasser cinq interrogations pendant un seul intervalle de mise à jour de la surveillance ou seize interrogations réparties sur six intervalles consécutifs de mise à jour de la surveillance. La première interrogation de poursuite devrait être émise par l'intermédiaire de l'antenne qui a servi à la dernière interrogation de poursuite, si aucune réponse valide d'une cible n'est déclenchée, les deux interrogations suivantes de cette cible sont émises par l'intermédiaire de l'autre antenne.

10-1 Réponses mode S manquantes : L'équipement continue à communiquer aux algorithmes anticollision des comptes rendus de position prévue pour les cibles mode S pendant six intervalles de mise à jour de la surveillance après réception de la dernière réponse valide à une interrogation de poursuite si la cible est interrogée une fois par seconde, ou pendant 11 intervalles de mise à jour de

la surveillance d'une seconde après réception de la dernière réponse valide à une interrogation de poursuite si la cible est interrogée une fois toutes les 5 s. Il ne communique pas de comptes rendus de position relatifs aux cibles mode S pendant plus de six intervalles de mise à jour de la surveillance après réception de la dernière réponse à une interrogation de poursuite lorsque l'interrogation est effectuée une fois par seconde, ou pendant plus de 11 intervalles de mise à jour de la surveillance d'une seconde après réception de la dernière réponse à une interrogation de poursuite lorsque cette interrogation est effectuée à raison d'une à toutes les 5 s, à moins que la cible ne soit de nouveau conforme aux critères d'acquisition de distance qui figurent en « déclenchement de la surveillance mode S ». L'adresse mode S d'une piste abandonnée doit être conservée pendant 4 s de plus afin que le processus de réacquisition soit plus court si des squitters sont reçus.

10-2 Surcharge mode S : L'équipement communique des comptes rendus de position relatifs à toutes les cibles mode S quelle que soit la distribution des cibles en distance, pourvu que le nombre total maximal des cibles ne dépasse pas 30.

10-3 Programmation de la puissance mode S : Le niveau de puissance à l'émission des interrogations de poursuite mode S (mais pas celui des interrogations de coordination air-air) doit être automatiquement (en fonction de la distance dans le cas des cibles se trouvant à moins de 18,5km (10 NM)) comme suit :

$$P_t = P_{\max.} + 20 \log r / 10$$

Où P_t étant le niveau de puissance modifié, $P_{\max.}$ le niveau de puissance nominal (250 W dans le cas type) des interrogations adressées à des cibles situées à 18,5 km (10 NM) ou plus, et r la distance prévue à la cible. Le niveau réel est soit P_t , soit la limite résultant des inégalités de limitation de brouillage, si elle est moindre.

10-4 Capacité en matière de pistes mode S : Lorsque la densité de circulation a la valeur nominale de 0,087 avions mode S par km² (0,3 avions par NM²) dans le voisinage de l'avion TCAS, il y aura environ 24 avions dans un rayon de 9,3 km (5 NM) de l'avion TCAS et environ 142 avions dans un rayon de 56 km (30 NM). Par conséquent, la capacité de l'équipement TCAS devrait être d'au moins 150 adresses d'avions.

II Utilisation d'estimations de gisement pour la surveillance mode S : Un moyen d'estimer le gisement ne s'impose pas pour la surveillance mode S dans les zones à forte densité. Cependant, si le gisement estimé est disponible, il semble que l'emploi d'interrogations mode S directives réduit sensiblement la puissance nécessaire à l'émission. Des interrogations mode S directives peuvent servir aussi en l'absence de gisement, pourvu que les limites de brouillage ne soient pas dépassées.

Le gisement estimé peut également servir, en même temps que la vitesse propre de l'aéronef de référence, à réduire la cadence globale des interrogations mode S.

Au lieu de calculer le délai de mise en danger en partant de l'hypothèse prudente selon laquelle si les deux aéronefs poursuivent leur vol il y aura collision frontale, on peut augmenter le délai de mise en danger en tenant compte du gisement de la menace et de la vitesse de virage limitée de l'aéronef de référence et en comptant le délai qu'il faudrait à cet aéronef pour se tourner vers la menace. Pour les calculs, on constituerait à supposer que la cible se rend directement, à sa vitesse maximale signalée, au point de collision.

II-8-2 Protocoles de coordination air-air :

II-8-2-1 Interrogation de coordination : Le système TCAS émettra des interrogations UF =16 avec AQ= 0 et RL =1 lorsqu'un autre aéronef signalant RI =3 ou 4 est déclaré menaçant. Le champ MU contiendra le message de résolution dans les sous-champs MTB, VRC, CVC, HRC, CHC, VSB, HSB, MID. Le but d'une interrogation UF = 16 avec AQ = 0 et RL = 1 est d'entraîner une réponse DF = 16 de l'autre aéronef. L'aéronef qui signale RI = 3 ou RI = 4 est un aéronef équipé d'un TCAS en fonctionnement qui a une capacité de résolution uniquement dans le plan vertical ou dans les plans vertical et horizontal, respectivement.

a) Format des interrogations et des réponses mode S :

1- Champs essentiels : toutes les transmissions mode S contiendront deux champs essentiels.

L'un de ces champs est un descripteur qui définira uniquement le format de transmission. Il apparaîtra au début de la transmission, quel que soit le format. Les descripteurs seront désignés par le champ UF (format montant), ou DF (format descendant). Le deuxième champ essentiel sera un champ de 24 bits qui apparaîtra à la fin de chaque transmission et contiendra l'information de parité.

Dans tous les formats montants et dans les formats descendants actuellement définis, l'information de parité apparaîtra en surimpression soit sur l'adresse d'aéronef, soit sur l'identificateur d'interrogateur. Les indicatifs sont AP (adresse/parité) ou PI (parité/identificateur d'interrogateur), l'espace de codage restant sert à transmettre les champs de mission. A chaque fonction donnée correspond un ensemble donné de champs de mission. Les champs de mission mode S comportent un indicatif à deux lettres. Des sous-champs peuvent apparaître à l'intérieur des champs de mission. Les sous-champs mode S sont désignés par des indicatifs à trois lettres.

a- Champ UF : Ce champ comporte 5 bits sauf dans le format 24 où il comporte 2 bits, il sert de descripteur du format montant dans toutes les interrogations mode S.

b- Champ DF : Ce champ comporte 5 bits sauf dans le format 24 où il comporte 2 bits, il sert de descripteur du format descendant dans toutes les réponses mode S.

c- Champ AP : Ce champ comporte 24 bits (33-56 ou 89-112) apparaît dans tous les formats montants et dans les formats descendants actuellement définis, sauf pour la réponse « appel général » mode S seulement (DF = 11). Ce champ contient les bits de parité en surimpression sur l'adresse aéronef.

d- Champ PI : Ce champ descendant de 24 bits (33-56) ou (89-112) comporte les bits de parité en surimpression sur le code d'identité d'interrogateur, et apparaît dans la réponse « appel général » mode S (DF = 11) et dans le squitter long (DF-17). Si le message répond à un appel général modes A/C/S, à un « appel général » mode S seulement avec champ CL et champ IC égaux à 0, ou il s'agit d'un « squitter » d'acquisition ou d'un squitter long, les codes II et SI seront 0.

d-1 Champ CL (étiquette de code) : Ce champ montant de 3 bits (14-16) définit le contenu du champ IC.

Le codage est dans un système binaire et il est comme suit :

- 000 : signifie que le champ IC contient le code II
- 001 : signifie que le champ IC contient les codes SI 1 à 15
- 010 : signifie que le champ IC contient les codes SI 16 à 31
- 011 : signifie que le champ IC contient les codes SI 32 à 47
- 100 : signifie que le champ IC contient les codes SI 48 à 63

Les autres valeurs du champ CL ne sont pas utilisées.

d-2 Champ IC (code d'interrogateur) : Ce champ de message montant de 4 bits (10-13) contient soit le code d'identificateur d'interrogateur de 4 bits, soit les 4 bits inférieurs du code d'identificateur de surveillance de 6 bits selon la valeur du champ CL.

d-3 Champ II (identificateur d'interrogateur) : cette valeur de 4 bits définit un code d'identificateur d'interrogateur (II). Des codes II allant de 0 à 15 sont affectés aux interrogateurs. La valeur de code II égale à 0 n'est utilisée que dans le cadre technique d'acquisition basée sur l'annulation du verrouillage. Un interrogateur peut se voir attribuer plus d'un code d'identificateur et utiliser différents codes dans différentes interrogations.

d-4 Champ SI (identificateur de surveillance) : Cette valeur de 6 bits définit un code d'identificateur de surveillance (SI). Des codes SI allant de 1 à 63 sont affectés aux interrogateurs. La valeur de code SI égale à 0 n'est pas utilisée. Les codes SI sont utilisés avec les protocoles de verrouillage multisite. Les codes SI ne sont pas utilisés avec les protocoles de communication multisite.

d-5 Champ MU : ce champ de 56 bits (33-88) fait partie des interrogations de surveillance air-air longues sert à transmettre des messages de résolution, des diffusions TCAS et des diffusions d'avis de résolution.

2- Sous-champs de MU dans un message de résolution : lorsque $UDS1 = 3$ et $UDS2 = 0$, le champ MU renferme les sous-champs suivants :

a- MTB (bit de menace multiple) : Ce sous-champ de 1 bit (42) indique la présence ou l'absence de menaces multiples. Le codage est comme suit :

- 0 : Le TCAS interrogateur détecte une seule menace
- 1 : Le TCAS interrogateur détecte plus d'une menace

b- VRC (avis de résolution complémentaire dans le plan vertical) : Ce sous-champ de 2 bits (45-46) indique un avis de résolution complémentaire dans le plan vertical se rapportant à l'aéronef destinataire. Le codage est comme suit :

- 0 : Aucun avis de résolution complémentaire dans le plan vertical n'a été envoyé
- 1 : Ne passez pas par-dessous
- 2 : Ne passez pas par-dessus
- 3 : Non assigné

c- CVC (annulation d'avis de résolution complémentaire dans le plan vertical) : Ce sous-champ de 2 bits (43-44) signale l'annulation d'avis de résolution complémentaire dans le plan vertical communiqué précédemment à l'aéronef destinataire. Ce sous-champ sera positionné à 0 pour une nouvelle menace.

Le codage est comme suit :

- 3 : Aucune annulation
- 3 : Annulez « Ne passez pas par-dessous » transmis précédemment
- 3 : Annulez « Ne passez pas par-dessus » transmis précédemment
- 3 : Non assigné

d- HRC (avis de résolution complémentaire dans le plan horizontal) : Ce sous-champ de 3 bits (50-52) indique un avis de résolution complémentaire dans le plan horizontal se rapportant à l'aéronef destinataire. Le codage est comme suit :

- 0 : Aucun avis de résolution complémentaire dans le plan horizontal, ou aucun moyen de résolution dans le plan horizontal
- 1 : L'autre TCAS doit virer à gauche ; ne virez pas à gauche
- 2 : L'autre TCAS doit virer à gauche ; ne virez pas à droite
- 3 : Non assigné
- 4 : Non assigné
- 5 : L'autre TCAS doit virer à droite ; ne virez pas à gauche
- 6 : L'autre TCAS doit virer à droite ; ne virez pas à droite
- 7 : Non assigné

e- CHC (annulation d'avis de résolution complémentaire dans le plan horizontal) : Ce sous-champ de 3 bits (47-49) indique l'annulation d'un avis de résolution complémentaire dans le plan horizontal envoyé précédemment à l'aéronef destinataire. Ce sous-champ sera positionné à 0 pour une nouvelle menace. Le codage est comme suit :

- 0 : Aucune annulation, ou aucun moyen de résolution dans le plan horizontal
- 1 : Annulez « Ne virez pas à gauche » transmis précédemment
- 2 : Annulez « Ne virez pas à droite » transmis précédemment
- 3-7 : Non assigné

f- VSB (sous-champ de bits à sens vertical) : Ce sous-champ de 4 bits (61-64) sert à protéger les données contenues dans sous-champs CVC et VRC. Les bits du sous-champ VSB sont positionnés selon un code de Hamming distance 3 plus un bit de parité, ce qui permet de détecter jusqu'à trois erreurs dans les huit bits transmis.

g- HSB (sous-champ bits de sens horizontal) : Ce sous-champ de 5 bits (56-60) sert à protéger les données contenues dans les sous-champs CHC et HRC. Les bits du sous-champ HSB sont positionnés un code de Hamming distance 3 plus un bit de parité, ce qui permet de détecter jusqu'à trois erreurs dans les onze bits transmis.

h- MID (adresse d'aéronef) : Ce sous-champ de 24 bits (65-88) referme l'adresse à 24 bits de l'aéronef TCAS interrogateur. Dans un message de résolution, la structure du champ MU est la suivante :

33	37	41	42	43	45	47	50	53	56	61	65
USD1=3	USD2=0	-1-	MTB	CVC	VRC	CHC	HRC	-3-	HSB	VSB	MID
36	40	41	42	44	46	49	52	55	60	64	88

On note que le but d'une interrogation UF = 16 avec AQ = 0 est d'entraîner une réponse DF = 16 de l'autre aéronef. L'aéronef qui signale RI = 3 ou RI 4 est un aéronef équipé d'un système TCAS en fonctionnement qui a une capacité de résolution uniquement dans le plan vertical ou dans le plan vertical et horizontal, respectivement.

II-8-2-2 Réponse de coordination : Le transpondeur mode S du TCAS transmet une réponse de coordination dès qu'il reçoit d'une menace équipée une interrogation de coordination, mais uniquement s'il peut communiquer la teneur des données TCAS de l'interrogation au TCAS auquel il est relié. La réponse de coordination est établie dans le format de réponse de surveillance air-air longue, DF=16, avec le champ VS, le champ RI, le champ SL ainsi que la champ MV

Les réponses de coordination seront transmises même si les limites concernant le taux minimal de réponse du transpondeur sont dépassées.

a) Taux de réponse : le transpondeur sera capable de fournir au moins de 1200 réponses par seconde en cas de réponse codée à 15 impulsions. En ce qui concerne toutefois les installations utilisées seulement au dessous de 4500 m (15000 ft) ou d'une altitude inférieure à cette valeur, qui aura été fixée par l'autorité compétente ou par accord régional de navigation aérienne, les

transpondeurs capables de fournir au moins 1000 réponses par seconde en cas de réponse codée à 15 impulsions seront autorisés.

1- Limitation du taux de réponses : un limiteur de taux de réponse du type de réduction de sensibilité, ayant pour effet d'empêcher la réponse à des signaux plus faible lorsqu'un taux de réponse fixé à l'avance a été atteint, sera compris dans le transpondeur, afin d'éviter les effets d'une surinterrogation. La plage de ce limiteur permettra, au minimum, de le régler à toute valeur comprise entre 500 et 2000 réponses par seconde ou au taux maximal de réponse si ce taux est inférieur à 2000 réponses par seconde, quel que soit le nombre d'impulsions contenues dans chaque réponse. La réduction de sensibilité sera inférieure à 3 dB tant que 90 % du nombre de réponses choisi n'auront pas été atteints. Elle sera d'au moins 30 dB pour les valeurs supérieures à 150 %.

Il est recommandé de régler le limiteur de taux de réponse sur 1200 réponses par seconde ou sur la valeur maximale qui correspond aux possibilités du transpondeur si cette valeur est inférieure à 1200 réponses par seconde.

II-8-3 Protocole de communication entre TCAS et station sol :

1- Compte rendu d'avis de résolution destinés aux stations sol mode S : Pendant la période de la génération de l'avis de résolution et pendant 18 ± 1 s après la fin de l'avis de résolution, le transpondeur mode S du système TCAS indiquera qu'il a un compte rendu d'avis de résolution à envoyer en codant le champ DR dans les réponses à un capteur mode S.

Le compte rendu d'avis de résolution comprendra le champ MB et indiquera le plus récent avis de résolution qui existait pendant la période de 18 ± 1 s précédente.

Dès que la station sol mode S reçoit une réponse avec DR = 2, 3, 6, ou 7, elle peut demander la transmission descendante du compte rendu d'avis de résolution en positionnant RR = 19 et soit DI \neq 7 ou DI = 7 et RRS = 0 dans une interrogation de surveillance ou Comm-A adressé à l'aéronef TCAS. Lorsqu'il reçoit cette interrogation, le transpondeur envoie une réponse Comm-B dont le champ MB contiendra le compte rendu d'avis de résolution.

a) DR (Demande descendante) : ce champ de message descendant de 5 bits (9-13) contiendra des demandes de transmission d'information sur liaison descendante. Le codage de ce champ est comme suit :

Codage

- 0 : Signifie demande descendante néant
- 1 : Signifie demande de message Comm-B
- 2 : Message TCAS disponible
- 3 : Message Comm-B et TCAS disponibles
- 4 : Signifie message diffusé Comm-B1 disponible
- 5 : Signifie message diffusé Comm-B2 disponible
- 6 : Message diffusé Comm-B 1 disponible et message TCAS disponible
- 7 : Message diffusé Comm-B 2 disponible et message TCAS disponible
- 8-15 : Non attribuée
- 16-31 : Protocole ELM descendant.

On note que les codes 1-15 auront priorité sur les codes 16-31. Du fait que les codes 1 à 15 ont priorité, l'annonce d'un message Comm-B peut interrompre l'annonce d'un ELM descendant. L'annonce du message le plus court a donc priorité.

2- Diffusion d'avis de résolution : Des diffusions d'avis de résolution sont faites à pleine puissance depuis l'antenne inférieure nominale à intervalles d'environ 8 s pendant la période où l'avis de résolution est indiqué. La diffusion d'avis de résolution comprendra le champ MU, elle indiquera le plus récent avis de résolution qui existait pendant l'intervalle de 8 s précédent. Les installations à antennes directives fonctionneront de telle façon que la couverture circulaire soit assurée nominale toutes les 8 s et que le même avis soit émis dans chaque direction.

3- Compte rendu de possibilités de liaison de données : A l'aide du compte rendu de possibilité de liaisons de données mode S, le transpondeur mode S indique la présence d'un système TCAS à une station sol. Le transpondeur fixe à cet effet les codes du compte rendu de possibilités de liaison de données du sous-champ MB.

3-1 Sous-champ de MB dans un compte rendu de possibilité de liaison de données : Lorsque $BDS1 = 1$ et $BDS2 = 0$, les configurations binaires ci-dessous seront communiquées au transpondeur pour un compte rendu de possibilités de liaison de données :

Bits	Codage	
48	0	TCAS en panne ou en mode « attente »
	1	TCAS en fonctionnement
69	0	TCAS II
	1	TCAS III
70	0	TCAS générant des avis de circulation seulement
	1	TCAS générant des avis de circulation et des avis de résolution
71	0	TCAS absent
	1	TCAS présent

4- Réglage du niveau de sensibilité du TCAS : le TCAS donne suite à une commande de SLC dans le seul cas où le sous-champ TMS a la valeur 0 et DI est égale à 1 ou 7 dans la même interrogation.

4-1 Sous-champ de SD : le champ SD contient l'information suivante :

a- Si SD = 0, 1 ou 7 :

IIS, sous-champ identificateur d'interrogateur de 4 bits (17-20), contient un code d'identificateur assigné de l'interrogateur

b- Si DI = 0 :

Les bits 21-32 ne sont pas assignés

c- Si DI = 1 :

MBS, sous-champ Comm-B multisite de 2 bits (21, 22), comporte les codes suivants :

- 0 : Signifie action Comm-B
- 1 : Signifie demande réservation Comm6B déclenché à bord
- 2 : Signifie clôture Comm-B
- 3 : Non assigné.

MES, sous-champ ELM multisite de 3 bits (23-25), contient les commandes de réservation et de clôture des messages ELM, comme suit :

- 0 : Signifie action ELM néant
- 1 : Signifie demande de réservation ELM montant
- 2 : Signifie clôture ELM montant
- 3 : Signifie demande de réservation ELM descendant
- 4 : Signifie clôture ELM descendant
- 5 : Signifie demande de réservation ELM montant et clôture ELM descendant
- 6 : Signifie clôture ELM montant et demande de réservation ELM descendant
- 7 : Signifie clôture ELM montant et ELM descendant.

RSS, sous-champ statut de réservation de 2 bits (27, 28), demande au transpondeur d'indiquer son statut de réservation dans le champ UM. Les codes ci-dessous sont attribués :

- 0 : Signifie demande néant
- 1 : Signifie indiquer statut de réservation Comm-B dans UM
- 2 : Signifie indiquer statut de réservation ELM montant dans UM
- 3 : Signifie indiquer statut de réservation ELM descendant dans UM

d- Si DI = 1 ou 7 :

LOS, sous-champ verrouillage de 1 bit (26) , s'il est positionné à 1, signifiera commande de verrouillage multisite émanant de l'interrogateur indiqué dans le sous-champ IIS. Il sera positionné à 0 pour indiquer qu'il n'y a pas de commande de changement de verrouillage.

TMS, sous-champ message tactique de 4 bits (29-32), contiendra l'information de commande de communication utilisée par l'avionique de liaison de données.

e- Si DI = 7 :

RRS, sous champ demande de réponse de 4 bits (21-24) du champ SD, donnera le code BDS2 de la réponse Comm-B demandée.

f- Si DI = 2 :

TCS, sous-champ commande de type de 3 bits (21-23) du champ SD, commandera le type de position utilisé par le transpondeur.

Les codes sont les suivants :

- 0 : Signifie commande de type de position néant
- 1 : Signifie utiliser le type position à la surface pendant les 15 prochaines secondes
- 2 : Signifie utiliser le type position à la surface pendant les 60 prochaines secondes
- 3 : Signifie annuler la commande de type position à la surface
- 4-7 : Non assignés.

RCS, sous-champ commande de cadence de 3 bits (24-26) du champ SD, commandera la cadence des squitters du transpondeur lorsqu'il émettra le format de surface. Ce sous-champ n'aura pas d'effet sur la cadence des squitters du transpondeur lorsqu'il émettra la position en vol.

Les codes sont les suivants :

- 0 : Signifie commande de cadence des squitters de surface néant
- 1 : Signifie utiliser la cadence élevée de squitters de surface pendant 60 secondes
- 2 : Signifie utiliser la cadence faible de squitters de surface pendant 60 secondes
- 3 : Signifie supprimer tous les squitters de surface pendant 60 secondes
- 4 : Signifie supprimer tous les squitters de surface pendant 120 secondes

5-7 : Non assignés.

SAS, sous-champ antenne de surface de 2 bits (27-28) du champ SD, commandera l'antenne de transpondeur utilisée pour les squitters longs lorsque le transpondeur émettra le format de surface. Ce sous-champ n'aura pas d'effets sur le choix de l'antenne lorsque le transpondeur émettra la position en vol.

Les codes sont les suivants :

- 0 : Signifie commande d'antenne néant
- 1 : Signifie alterner entre l'antenne supérieure et l'antenne inférieure pendant 120 secondes
- 2 : Signifie utiliser l'antenne inférieure pendant 120 secondes
- 3 : Signifie retourner à l'antenne par défaut.

On note que l'antenne par défaut est l'antenne supérieure

g- Si DI = 3 :

SIS, sous-champ identificateur de surveillance de 6 bits (17-22) du champ SD, contiendra un code d'identificateur de surveillance affecté à l'interrogateur.

LSS, sous-champ surveillance de verrouillage de 6 bits (23), s'il est positionné à 1, signifiera une commande de verrouillage multisite émanant de l'interrogateur indiqué dans le sous-champ SIS. S'il est positionné à 0, LSS signifiera qu'aucun changement de l'état de verrouillage n'est commandé.

RSS, sous-champ demande de réponse de 4 bits (24-27) du champ SD, contiendra le code BDS2 du registre GICB demandé.

Les bits 28 à 32 ne sont pas assignés.

II-9 FORMAT DU SIGNAL :

II-9-1 Caractéristiques RF et des signaux électromagnétiques :

les caractéristiques RF de tous les signaux TCAS sont conformes aux normes suivantes :

II-9-1-1 Fréquences radio (sens air-sol) d'interrogation et fréquences pilotes (suppression des lobes secondaires d'interrogation) :

- a- la fréquence porteuse de l'émission d'interrogation et de l'émission pilote est de 1030 MHz
- b- la tolérance de fréquence est de $\pm 0,2$ MHz
- c- les fréquences porteuses de l'émission pilote est de chacune des émissions d'interrogation ne s'écartent pas l'une de l'autre de plus de 0,2 MHz

II-9-1-2 Fréquence porteuse de réponse (sens air-sol) :

- a- la fréquence porteuse de l'émission de réponse est de 1090 MHz
- b- la tolérance de la fréquence est de ± 3 MHz

II-9-1-3 Polarisation :

- a- la polarisation des signaux d'interrogation, des signaux pilotes et des signaux de réponse est essentiellement verticale.

II-9-1-4 Modes d'interrogation (signaux électromagnétiques) :

- a- l'interrogation est constituée par l'émission de deux impulsions que l'on désigne par P_1 et P_2 . une impulsion de commande P_2 est transmise après la première impulsion d'interrogation P_1 .
- b- l'intervalle entre P_1 et P_2 détermine comme suit, le mode d'interrogation :

mode A $8 \pm 0,2 \mu\text{s}$

mode C $21 \pm 0,2 \mu\text{s}$

- c- l'intervalle entre P_1 et P_2 est de $2 \pm 0,15 \mu\text{s}$
- d- la durée des impulsions P_1 , P_2 et P_3 est de $0,8 \pm 0,1 \mu\text{s}$
- e- la durée d'établissement des impulsions P_1 , P_2 et P_3 est comprise entre 0,05 et 0,1 μs .

f- la durée d'extinction des impulsions P_1 , P_2 et P_3 est comprise entre 0,05 et 0,2 μs . On note que la durée d'extinction des impulsions (0,05 μs) vise à réduire le rayonnement de bandes secondaires.

II-1-9-5 Caractéristiques des signaux d'interrogation et des signaux de commande de suppression des lobes secondaires :

a- L'amplitude de rayonnement de l'impulsion P_2 à l'antenne du transpondeur est :

1) égale ou supérieure à l'amplitude de rayonnement de l'impulsion P_1 au moment des émissions de lobes secondaires par l'antenne émettant l'impulsion P_1 ; et

2) à un niveau situé à plus de 9 dB au-dessous de l'amplitude de rayonnement de l'impulsion P_1 , dans les limites de l'arc d'interrogation souhaité.

b- Dans les limites de l'ouverture souhaitée du faisceau d'interrogation directionnelle (lobe principale), l'amplitude de rayonnement de l'impulsion P_3 se situe, à 1 dB près, au niveau de l'amplitude de rayonnement de l'impulsion P_1 .

II-1-9-6 Caractéristiques des signaux de réponse (signaux électromagnétiques) :

a- **Impulsion d'encadrement** : pour la réponse, le système utilise un signal comprenant deux impulsions d'encadrement séparées par un intervalle de 20,3 μs et qui constituent le code le plus élémentaire.

b- **Impulsion d'information** : les impulsions d'information sont séparées, à partir de la première impulsion d'encadrement, par des intervalles en progression arithmétique de raison 1,45 μs . Ces impulsions d'information ont les désignations et les positions suivantes :

Impulsion	Position (μs)
C ₁	1,45
A ₁	2,90
C ₂	4,35
A ₂	5,80
C ₄	7,25
A ₄	8,70
X	10,15
B ₁	11,60
D ₁	13,05
B ₂	14,50
D ₂	15,95
B ₄	17,40
D ₄	18,85

Tableau II-15

c- **Impulsion spéciale d'identification de position (SPI)** : outre les impulsions d'information prévues, une impulsion spéciale d'identification de position est transmise, mais seulement par commande manuelle (du pilote). Si elle est transmise, elle sera située 4,35 μs après la dernière impulsion d'encadrement des réponses mode A seulement.

d- **Forme des impulsion de réponse** : toutes les impulsions de réponse ont une durée d'impulsion de $0,45 \pm 0,1 \mu\text{s}$, une durée d'établissement d'impulsion comprise entre 0,05 et 0,1 μs et une durée d'extinction d'impulsion comprise entre 0,05 et 0,2 μs . La variation d'amplitude entre impulsions d'un même train d'impulsion ne dépasse pas 1 dB.

e- **Tolérances de position des impulsions de réponse** : la tolérance d'espacement entre chaque impulsion (y compris la dernière impulsion d'encadrement) et la première impulsion du groupe de réponse est de $\pm 0,10 \mu\text{s}$. La tolérance d'espacement de l'impulsion spéciale d'identification de position par rapport à la dernière impulsion d'encadrement groupe de réponse est de $\pm 0,10 \mu\text{s}$. La tolérance d'espacement entre n'importe quelle impulsion du groupe de réponse et n'importe quelle autre impulsion (hormis la première impulsion d'encadrement) ne dépasse pas $\pm 0,15 \mu\text{s}$.

f- Nomenclature des codes : les chiffres de 0 à 7 sont utilisés dans la désignation des codes. Cette désignation est déterminée par la somme des indices des impulsions dans l'ordre suivant :

Chiffre	Groupe d'impulsions
Premier (le plus significatif)	A
Deuxième	B
Troisième	C
Quatrième	D

Tableau II-16

Les caractéristiques des signaux électromagnétiques sont décrit tel qu'ils doivent apparaître à l'antenne du transpondeur.

1- Fréquence porteuse d'interrogation : pour toutes les interrogations (transmissions montantes) émanant d'installation au sol fonctionnant en mode S, la fréquence porteuse est de 1030 ± 0.01 MHz.

2- Spectre d'interrogation : le spectre d'une interrogation mode S autour de la fréquence porteuse ne dépasse pas les limites spécifiées à la figure II-2. On note que le spectre d'interrogation mode S est fonction des données. Le spectre le plus large correspond à une interrogation qui ne contient que des « 1 » binaires.

3- Polarisation : la polarisation des transmissions d'interrogation et de commande est nominalement verticale.

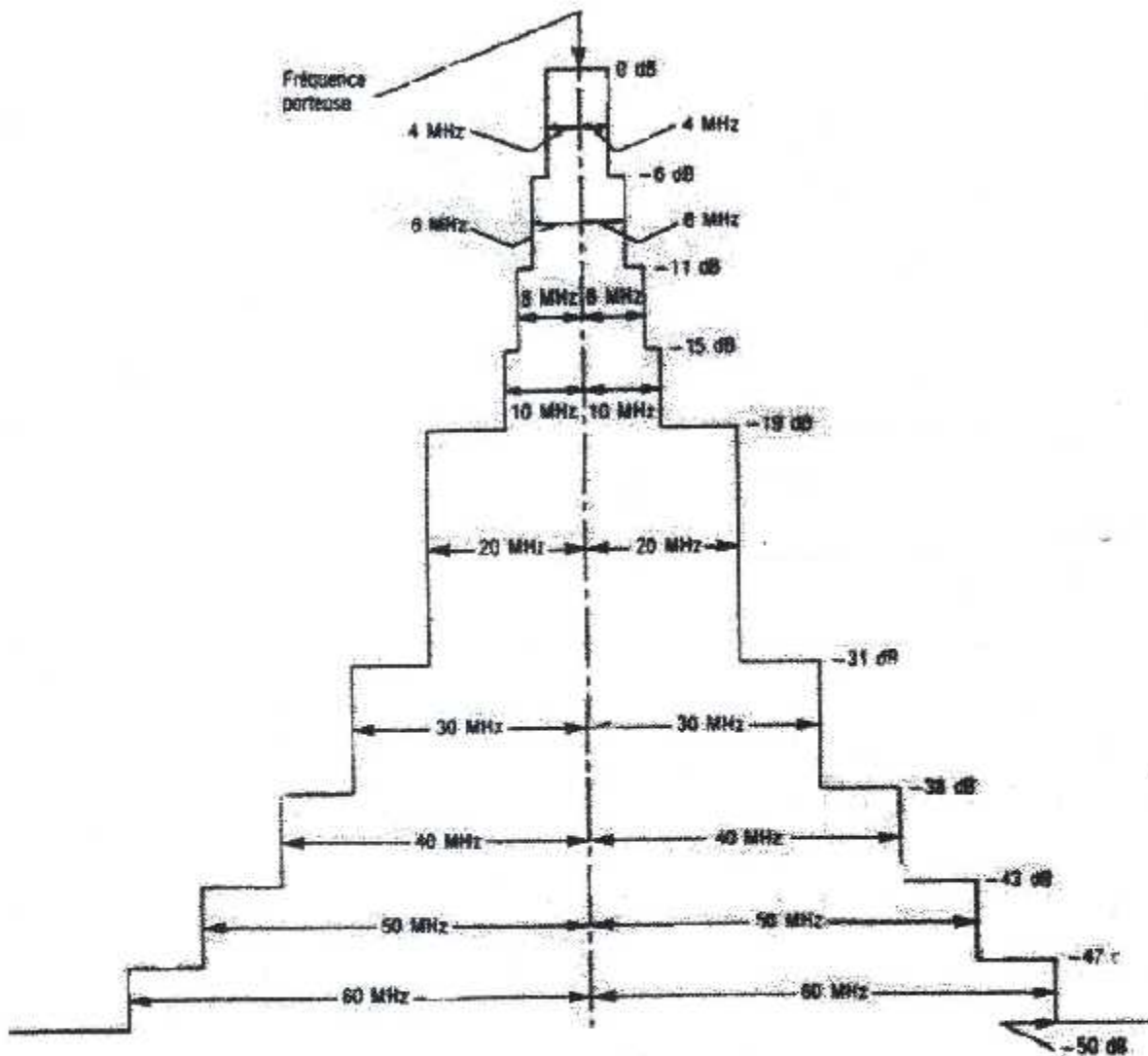


Fig. II-2 : Limites du spectre pour l'interrogation

4- Modulation : Pour les interrogations mode S, la fréquence porteuse est modulée par impulsions. De plus, de données P_e a une modulation de phase interne.

4-1 Modulation des impulsions : Les interrogations intermodes et mode S se composent d'une séquence d'impulsions. les impulsions qui peuvent être utilisées pour former une interrogation

donnée s'appellent respectivement P_1 , P_2 , P_3 , P_4 , P_5 et P_6 . les formes de ces impulsions sont conformes au tableau ci-dessous. Toutes les valeurs sont données en microsecondes.

Impulsion	Durée	Tolérance de durée	Durée d'établissement		Durée d'extension	
			Min.	Max.	Min.	Max.
P_1, P_2, P_3, P_5	0,8	$\pm 0,1$	0,05	0,1	0,05	0,2
P_4 (courte)	0,8	$\pm 0,1$	0,05	0,1	0,05	0,2
P_4 (longue)	1,6	$\pm 0,1$	0,05	0,1	0,05	0,2
P_6 (courte)	16,25	$\pm 0,25$	0,05	0,1	0,05	0,2
P_6 (longue)	30,25	$\pm 0,25$	0,05	0,1	0,05	0,2

Tableau II-17

4-2 Modulation de phase : Les impulsions P_6 courtes (16,25 μ s) et longues (30,25 μ s) dont il s'agit dans la modulation des impulsions comportent une modulation de phase différentielle binaire interne se composant d'inversion de phase de 180 degrés de la porteuse au débit de 4 mégabits par seconde.

4-2-1 Durée de l'inversion de phase : La durée de l'inversion de phase est inférieure à 0,08 μ s et l'avance (ou le retard) de phase varie de façon monotone pendant toute la période de transition. Aucune modulation de fréquence n'est appliquée pendant la phase de transition.

4-2-2 relation de phase : Pour la relation de phase de 0 à 180 degrés entre éléments successifs de l'impulsion P_6 et pour l'inversion de phase synchro de cette impulsion, la tolérance est de ± 5 degrés. On entend par « élément » dans le mode S, l'intervalle de porteuse de 0,25 μ s entre deux inversions de phase de données.

5- séquences d'impulsions et d'inversions de phase : Les séquences d'impulsions ou d'inversions de phase décrites dans le modulation constituent les interrogations.

5-1 Interrogation intermodes :

5-1-1 interrogation « appel général » modes A/C/S : Cette interrogation se compose de trois impulsions P_1 , P_3 et la P_4 longue que représente la figure II-3. Une ou deux impulsions de commandes (P_2 seule, ou P_1 et P_2) sont transmises à l'aide d'un diagramme d'antennes distinct afin de supprimer les réponses d'aéronefs se trouvant dans les lobes secondaires de l'antenne de l'interrogateur.

5-1-2 Interrogation « appel général » mode S seulement : cette interrogation est identique à la précédente, ce qui fait que l'on utilise l'impulsion P_4 courte. L'interrogation « appel général » modes A/C seulement déclenche une réponse mode A ou mode C d'un transpondeur modes A/C. Le transpondeur mode S reconnaît l'impulsion P_4 courte et ne répond pas à cette interrogation.

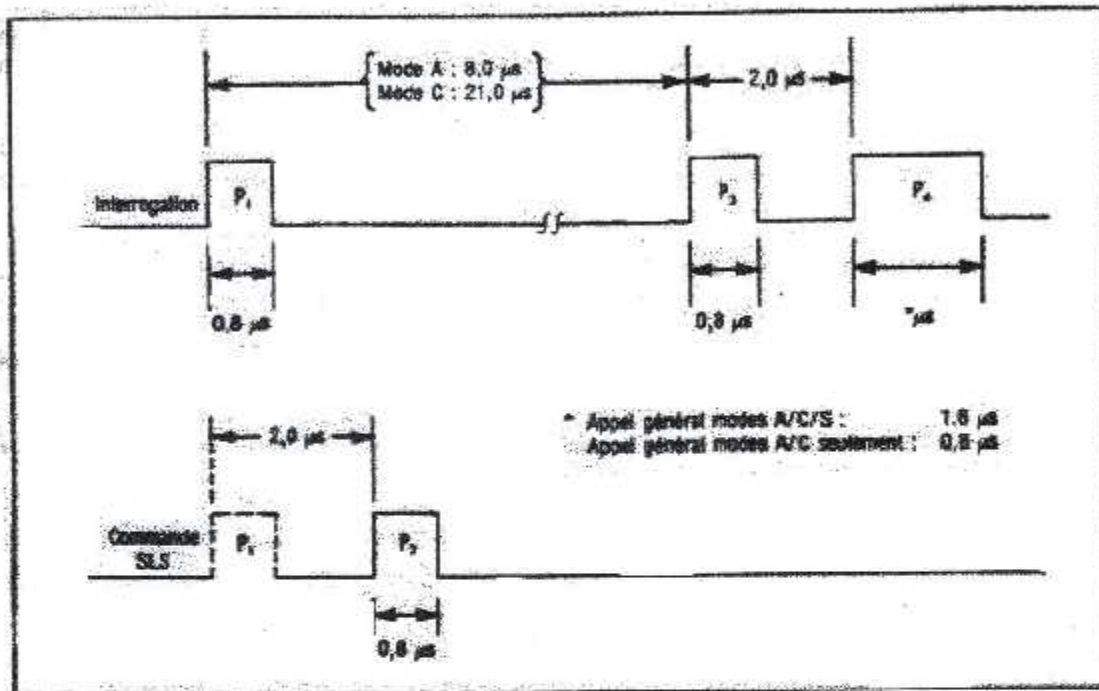


Fig. II-3 : Séquence d'impulsions d'interrogation intermodes

5-1-3 Intervalles entre deux impulsions : les intervalles entre les impulsions P_1 et P_3 seront :

- mode A $8 \pm 0,2 \mu s$
- mode C $21 \pm 0,2 \mu s$

et l'intervalle entre P_1 et P_3 sera de $2 \pm 0,15 \mu s$ et l'intervalle entre les impulsions P_3 et P_4 sera de $2 \pm 0,05 \mu s$.

5-1-4 Amplitude des impulsions : les amplitudes respectives des impulsions P_1 , P_2 , et P_3 sont conformes aux caractères des signaux d'interrogation et des signaux de commande de suppression des lobes secondaires. L'amplitude de P_4 est égale à celle de P_3 à 1 dB près.

5-2 Interrogation mode S : l'interrogation mode S se compose de trois impulsions : P_1 , P_2 et P_3 comme le représente la figure II-4.

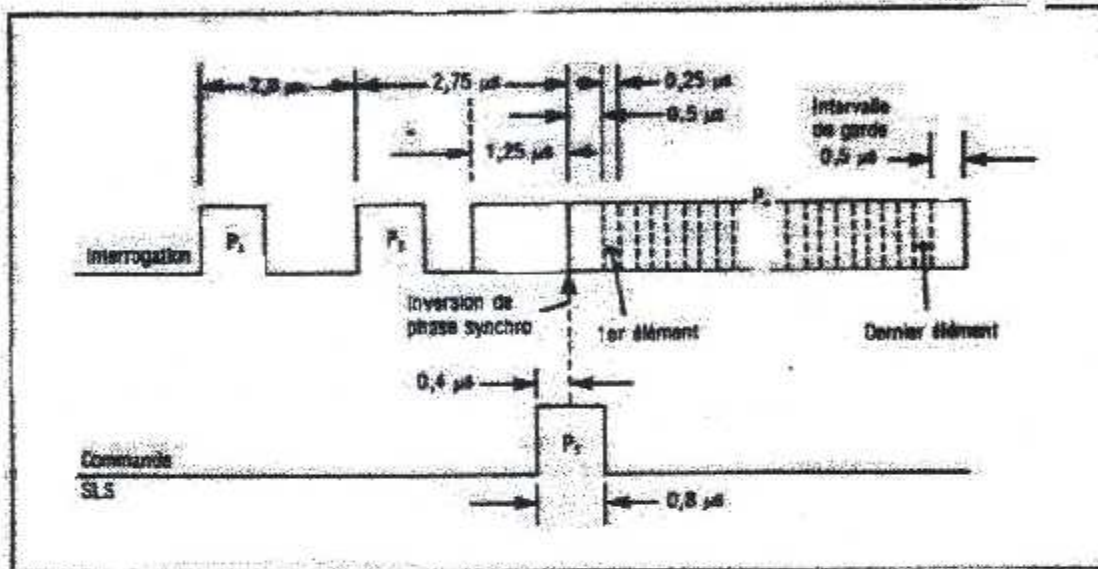


Fig. II-4 : Séquence d'impulsions d'interrogations mode S

5-2-1 Suppression des lobes secondaires en mode S : l'impulsion P_3 est utilisée avec l'interrogation « appel général » mode S seulement (UF = 11) afin d'empêcher le déclenchement de réponses des aéronefs dans les lobes secondaires et arrière de l'antenne. si l'impulsion P_3 est transmise, elle le sera à l'aide d'un diagramme d'antenne distinct.

On note que l'action P_3 est automatique ; si son amplitude est suffisante au point de réception, sa présence occulte l'inversion de phase synchro de P_3 . l'impulsion P_3 peut être utilisée avec d'autres interrogations mode S.

5-2-2 Inversion de phase synchro : la première inversion de phase de l'impulsion P_3 est l'inversion de phase synchro. Elle constitue le premier repère de synchronisation pour les opérations suivantes du transpondeur qui sont liées à l'interrogation.

5-2-3 Inversions de phase données : chaque inversion de phase de données se produit qu'à un intervalle de temps ($N \times 0,25$) plus au moins $0,02 \mu s$ (N étant égale ou supérieur à 2) après l'inversion de phase synchro. L'impulsion P_3 de $16,25 \mu s$ contient au maximum 56 inversions de

phase de données. L'impulsions P_6 de $30,25 \mu\text{s}$ contient au maximum 112 inversions de phases de données. Le dernier élément, c'est à dire l'intervalle de $0,25 \mu\text{s}$ suivant la dernière position d'inversion de phase de données, est suivi dans l'intervalle de grade de $0,5 \mu\text{s}$. On note que l'intervalle de grade de $0,5 \mu\text{s}$ suivant le dernier élément empêche le bord arrière de P_6 de gêner le processus de démodulation.

5-2-4 Intervalles : l'intervalle entre les impulsions P_3 et P_6 est égale à $2 \pm 0,05 \mu\text{s}$. L'intervalle le bord avant de P_2 et l'inversion de phase synchro de P_6 est égale à $2,75 \pm 0,05 \mu\text{s}$. Le bord avant P_6 se situe à $1,25 \pm 0,05 \mu\text{s}$ avant l'inversion de phase synchro. Si elle est transmise, l'impulsion P_3 est centrée sur l'inversion de phase synchro ; le bord avant de P_3 se situe à $0,4 \pm 0,05 \mu\text{s}$ avant l'inversion de phase synchro.

5-2-5 Amplitudes des impulsions : l'amplitude de P_2 et l'amplitude de la première microsonde de P_6 sont supérieures à l'amplitude de P_1 - $0,25 \text{ dB}$. A l'exclusion des transitoires d'amplitude associées aux inversions de phase, la variation d'amplitude de P_6 est inférieure à 1 dB et la variation d'amplitude entre les deux éléments successifs de P_6 est inférieure à $0,25 \text{ dB}$. L'amplitude rayonnée de P_3 à l'antenne du transpondeur est :

- a- égale ou supérieure à l'amplitude rayonnée de P_6 provenant des émissions en lobe secondaire de l'antenne qui rayonne P_6 ;
- b- inférieure de plus de 9 dB à l'amplitude rayonnée de P_6 à l'intérieur de l'arc d'interrogation désiré.

6- caractéristiques des signaux électromagnétiques de réponse :

6-1 Fréquence porteuse des réponses : la fréquence porteuse de toutes les réponses (transmissions descendantes) provenant de transpondeurs fonctionnant en mode S est de 1090 MHz .

6-2 Spectre de réponse : le spectre d'une réponse mode S autour de la fréquence porteuse ne dépasse pas les limites spécifiées à la figure II-5.

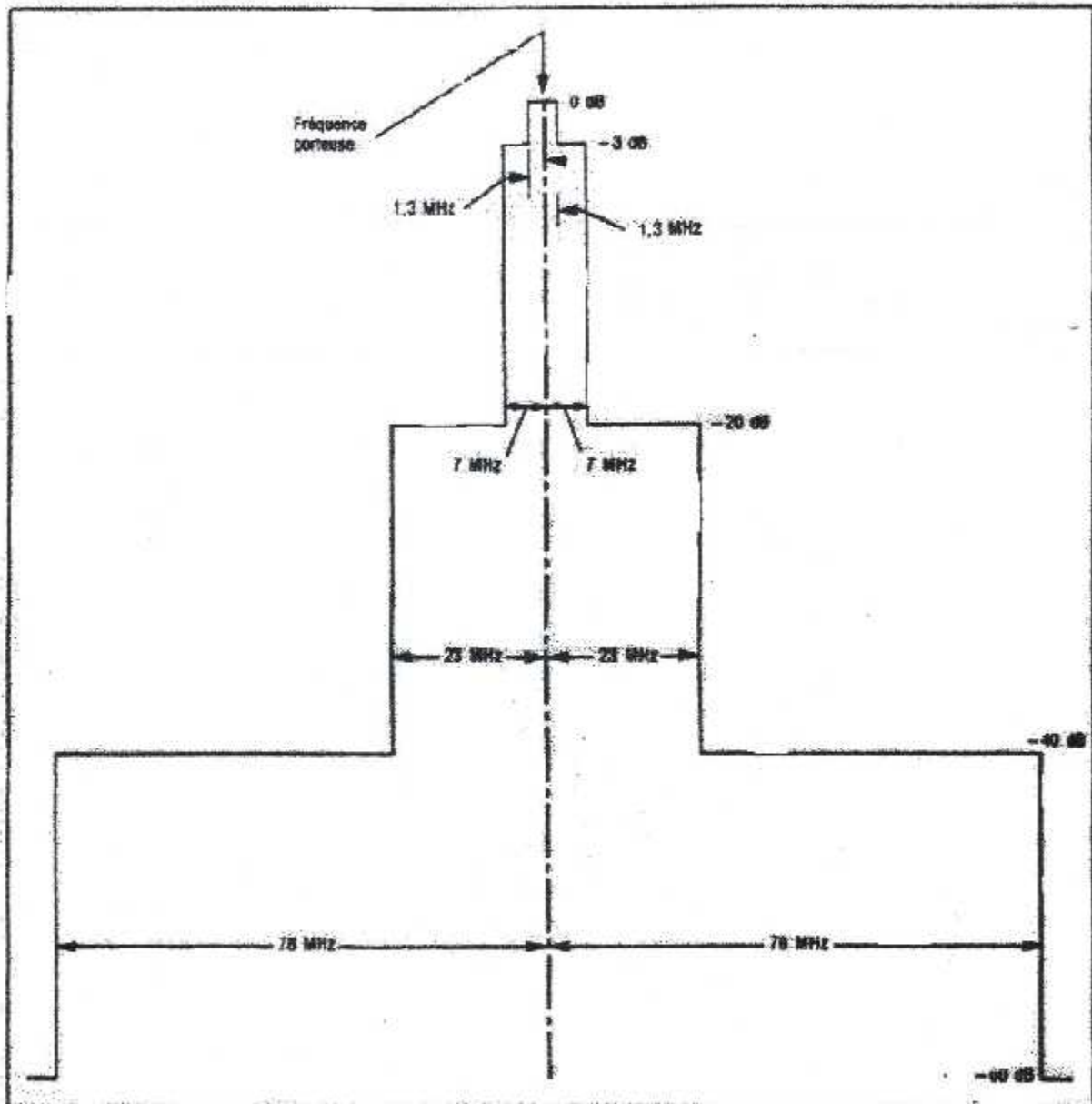


Fig. II-5 : Limites du spectre pour le transpondeur

6-3 Polarisation : la polarisation des transmissions de réponse est nominale-ment verticale.

6-4 Modulation : une réponse mode S se compose d'un préambule et d'un bloc de données. Le préambule est formé d'une séquence de quatre impulsions et le bloc de données est soumis à une modulation binaire en position d'impulsion au débit de 1 mégabit par seconde.

6-4-1 Formes d'impulsions : les formes d'impulsions sont conformes aux valeurs du tableau suivant, toutes les valeurs sont données en microsecondes.

Durée	Tolérance de durée	Durée d'établissement		Durée d'extinction	
		Min.	Max.	Min.	Max.
0,5	$\pm 0,05$	0,05	0,1	0,05	0,2
1,0	$\pm 0,05$	0,05	0,1	0,05	0,2

Tableau II-18

6-5 Réponse mode S : la réponse mode S est conforme à la figure II-6. Le bloc de données des réponses mode S se compose de 56 ou 112 bits d'information.

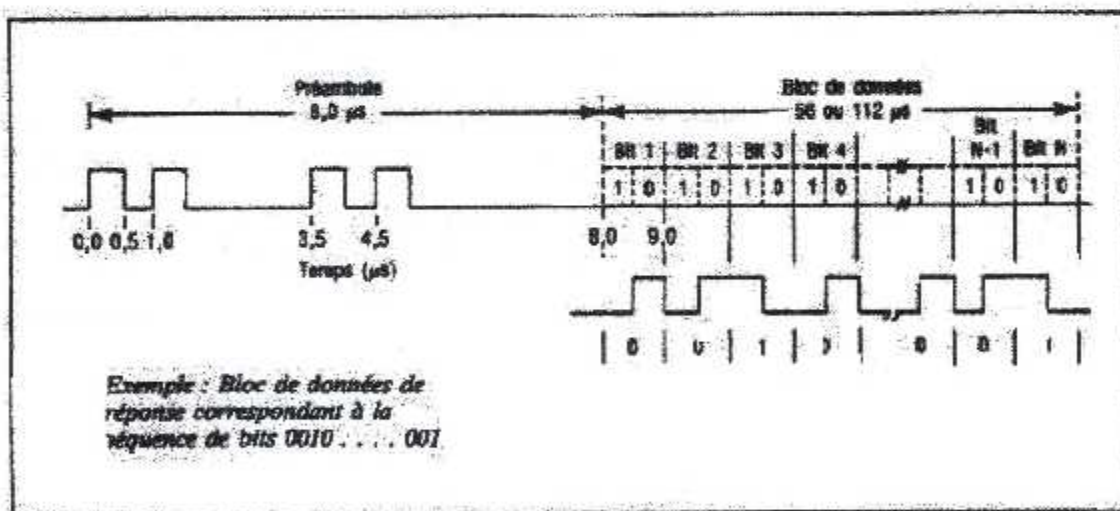


Fig. II-6 : Réponse mode S

6-5-1 Intervalles entre impulsions : toutes les impulsions de réponse commencent à un multiple déterminé de 0,5 µs à partir de la première impulsion transmise. Dans tous les cas, la tolérance est de 0,05 µs.

6-5-1-1 Préambule de réponse : le préambule se compose de quatre impulsions ayant chacune une durée de $0,5 \mu\text{s}$. Les intervalles entre la première impulsion transmise et la deuxième, la troisième et la quatrième sont respectivement de $1\mu\text{s}$, $3,5\mu\text{s}$ et $4,5\mu\text{s}$.

6-5-1-2 Impulsions de données de réponse : le bloc de données de réponse commence $8 \mu\text{s}$ après le bord avant de la première impulsion transmise, et 56 ou 112 intervalles de $1 \mu\text{s}$ sont assignés à chaque transmission. Une impulsion de $0,5 \mu\text{s}$ est transmise dans la première ou la deuxième moitié de chaque intervalle. Si une impulsion transmise dans la deuxième moitié d'un intervalle est suivie d'une autre impulsion transmise dans la première moitié de l'intervalle suivant, il y aura fusion de ces deux impulsions et une impulsion de $1\mu\text{s}$ est transmise.

6-5-2 Amplitude des impulsions : la variation d'amplitude entre une impulsion et n'importe quelle autre impulsion d'une réponse mode S ne dépasse pas 2 dB.

7- Structures des données mode S :

7-1 Codage des données :

7-1-1 Données d'interrogation : le bloc de données d'interrogation se compose de la séquence de 56 ou 112 éléments d'information situées après les inversions de phase à l'intérieur de l'impulsion P_6 . Une inversion de phase de 180 degrés de la porteuse précédant un élément caractérisera cet élément comme un bit « 1 ». L'absence d'inversion de phase dans cette position dénotera un bit « 0 ».

7-1-2 Données de réponse : Le bloc de données de réponse se compose de 56 ou 112 bits de données formés par codage PPM binaire des données de réponse. Une impulsion transmise dans la première moitié de l'intervalle représente un bit « 1 », tandis qu'une impulsion transmise dans la seconde moitié représente un bit « 0 ».

7-1-3 Numérotation des bits : Les bits sont numérotés dans l'ordre de leur transmission, à partir du bit 1, sauf indication contraire, les valeurs numériques codées par groupes (champ) de bits le sont à l'aide de la notation binaire positif et le premier bit transmis est le bit de poids fort (MSB). L'information est codée dans des champs comportant au moins un bit.

7-2 Formats des interrogations et des réponses mode S :

7-2-1 Champs essentiels : toutes les transmissions mode S contiennent deux champs essentiels. L'un de ces champs est un descripteur qui définit uniquement le format de la transmission. Il apparaît au début de la transmission, quel que soit le format. Les descripteurs sont désignés par les champs UF (format montant) ou DF (format descendant). Le deuxième champ essentiel est

un champ de 24 bits qui apparaît à la fin de chaque transmission et contient l'information de parité. Dans tous les formats montants et descendants actuellement définis, l'information de parité apparaîtra en surimpression soit sur l'adresse d'aéronef, soit sur l'identificateur d'interrogateur. Les indicatifs sont AP (adresse/parité) ou PI (parité/identificateur d'interrogateur).

7-2-2 Espace de codage non attribués : l'espace de codage non attribué contient uniquement des bits « 0 » transmis par les interrogateurs et les transpondeurs.

7-2-3 Code zéro et code non attribué : l'attribution d'un code zéro dans tous les champs définis indique que ces champs n'appellent aucune réponse. De même, si des codes ne sont pas attribués à l'intérieur de ces champs, cela indique qu'aucune réponse n'est exigée.

7-3 Protection contre les erreurs :

7-3-1 Technique : le codage de contrôle de parité est utilisé dans les interrogations et les réponses mode S pour assurer une protection contre les erreurs.

7-3-1-1 Séquence de contrôle de parité : une séquence de 24 bits de contrôle de parité est produit selon l'établissement de la séquence de contrôle de parité et intégrée dans le champ formé par les 24 derniers bits de toutes les transmissions mode S. Les 24 bits de contrôle de parité sont combinés soit au codage de l'adresse, soit au codage de l'identificateur de l'interrogateur, la combinaison ainsi obtenue constitue soit le champ AP (adresse/parité) soit le champ PI (parité/identificateur d'interrogateur).

7-3-1-2 Etablissement de la séquence de contrôle de parité : la séquence de 24 bits de contrôle de parité (p_1, p_2, \dots, p_{24}) est produite à partir de la séquence des bits d'information (m_1, m_2, \dots, m_k), dans laquelle k est égale à 32 ou à 88 selon qu'il s'agit d'une transmission courte ou longue. On utilise à cet effet un code résultant du polynôme suivant :

$$G(x) = 1 + x^3 + x^{10} + x^{12} + x^{13} + x^{14} + x^{15} + x^{16} + x^{17} + x^{18} + x^{19} + x^{20} + x^{21} + x^{22} + x^{23} + x^{24}$$

Lorsque par application de l'algèbre des polynômes binaires, on divise $x^{24} [M(x)]$ par $G(x)$, dans lequel la séquence d'information $M(x)$ est :

$$m_k + m_{k-1} + m_{k-2}x^2 + \dots + m_1 x^{k-1}$$

On obtient un quotient et un reste $R(x)$ de degré inférieur à 24. La séquence que constitue ce reste représente la séquence de contrôle de parité. Pour toute valeur de i comprise entre 1 et 24, le bit de parité est le coefficient de x^{24-i} dans $R(x)$.

7-3-1-3 Etablissement des champs AP et PI : on utilise des séquences adresse/parité différentes pour la liaison montante et la liaison descendante. On note que la séquence montante convient pour le décodage par les transpondeurs. La séquence descendante facilite la correction d'erreurs lors du décodage de la liaison descendante.

Le code utilisé pour l'établissement du champ AP sur liaison montante est formé comme il est spécifié ci-dessous, à partir de l'adresse d'aéronef, de l'adresse « appel général » ou de l'adresse de diffusion.

Le code utilisé pour l'établissement du champ AP sur liaison descendante est formé directement à partir de la séquence de 24 bits d'adresse d'aéronef $(a_1, a_2, \dots, a_{24})$, dans laquelle a_i est le i -ème bit transmis dans le champ d'adresse d'aéronef (AA) d'une réponse « appel général ».

Le code utilisé pour l'établissement du champ PI sur liaison descendante est formé d'une séquence de 24 bits $(a_1, a_2, \dots, a_{24})$, dans laquelle les 17 premiers bits ont la valeur 0, et les 3 bits suivants sont une réplique du champ étiquette de code (CL) et les quatre derniers bits reprennent ceux du champ code d'interrogateur (IC). On note que le code PI n'est pas utilisé dans les transmissions montantes.

Une forme modifiée de cette séquence $(b_1, b_2, \dots, b_{24})$ sert à l'établissement du champ AP sur liaison montante. Le bit b_i est le coefficient de x^{48-i} dans le polynôme $G(x) A(x)$ où :

$$A(x) = a_1 x^{23} + a_2 x^{22} + \dots + a_{24}$$

Et $G(x)$ est conforme à la définition de l'établissement de la séquence de contrôle de parité.

Dans l'adresse d'aéronef, a_i est constitué par le i -ème bit transmis dans le champ AA d'une réponse « appel général ». dans les adresses « appel général » et de diffusion, a_i est égale à 1 pour toutes les valeurs de i .

7-3-1-3-1 Ordre de transmission montante : la séquence de bits transmis dans le champ AP sur liaison montante est la suivante :

$$t_{k+1} + t_{k+2} + \dots + t_{k+24}$$

dans laquelle les bits numérotés dans l'ordre de leur transmission, en commençant par $k+1$.

Dans les transmissions montantes :

$$t_{k+1} = b_i \oplus p_i$$

où « \oplus » indique une addition modulo-2 : $i = 1$ représente le premier bit transmis dans le champ AP.

7-3-1-3-2 Ordre de transmission descendante : la séquence de bits transmise dans les champs AP et PI sur liaison descendante est la suivante :

$$t_{k+1} + t_{k+2} + \dots + t_{k+24}$$

dans laquelle les bits sont numérotés dans l'ordre de leur transmission, en commençant par $k+1$.

Dans les transmissions descendantes :

$$t_{k+1} = b_i \oplus p_i$$

où « \oplus » indique une addition modulo-2 : $i = 1$ représente le premier bit transmis dans le champ AP ou PI.

8- Transactions « appel général » intermodes et mode S :

8-1 Transactions intermodes : les transactions intermodes permettent à la surveillance des aéronefs modes A/C seulement et l'acquisition des aéronefs mode S. L'interrogation « appel général » modes A/C/S permet aux transpondeurs modes A/C seulement et mode S de faire l'objet des mêmes interrogations. L'interrogation « appel général » modes A/C seulement permet de n'obtenir de réponse que des transpondeurs modes A/C. Dans un contexte multisite, l'interrogateur doit transmettre son identificateur dans l'interrogation « appel général » mode S seulement. On emploie donc une paire d'interrogations « appel général » modes A/C et mode S seulement.

8-2 Transactions « appel général » mode S seulement : ces transactions permettent à la station d'obtenir des réponses des aéronefs dotés du mode S, au moyen d'une interrogation adressée à tous ces aéronefs. La réponse utilise le format descendant 11 qui envoie l'adresse de l'aéronef.

8-2-1 Interrogation « appel général » mode S seulement, format montant 11 :

1	6	10	14	17	33
UF	PR	IC	CL		AP
5	9	13	16	32	56

Le format de cette interrogation comprend les champs UF (format montant), PR (probabilité de réponse), IC (code d'interrogation), CL (étiquette de code en réserve 16 bits), AP (adresse /parité).

8-2-1-1 PR (probabilité de réponse) : ce champ de message de 4 bits (6-9) contient les commandes adressées au transpondeur et spécifiant la probabilité de réponse l'interrogation .

Les codes sont les suivants :

- 0 : signifie répondre avec probabilité de 1
- 1 : signifie répondre avec probabilité de 1/ 2
- 2 : signifie répondre avec probabilité de 1/ 4
- 3 : signifie répondre avec probabilité de 1/ 8
- 4 : signifie répondre avec probabilité de 1/ 16
- 5, 6 et 7 : non assignés
- 8 : signifie ne pas tenir compte du verrouillage, répondre avec probabilité de 1
- 9 : signifie ne pas tenir compte du verrouillage, répondre avec probabilité de 1/ 2
- 10 : signifie ne pas tenir compte du verrouillage, répondre avec probabilité de 1/ 4
- 11 : signifie ne pas tenir compte du verrouillage, répondre avec probabilité de 1/ 8
- 12 : signifie ne pas tenir compte du verrouillage, répondre avec probabilité de 1/ 16
- 13, 14 et 15 : non assignés.

8-2-1-2 IC (code d'interrogateur) : Cette valeur de 4 bits (10-13) contient soit le code d'identificateur d'interrogateur de 4 bits soit les 4 bits inférieurs du code d'identificateur de surveillance de 6 bits selon la valeur du champ CL.

8-2-1-2-1 II (identificateur d'interrogateur) : Cette valeur de 4 bits définit un code d'identificateur d'interrogateur (II). Des codes II allant de 0 à 15 sont affectés aux interrogateurs. La valeur de code II égale à 0 n'est utilisée que dans le cadre de la technique d'acquisition basée sur l'annulation du verrouillage. On note qu'un interrogateur peut se voir attribuer plus d'un code d'identificateur et utiliser différents codes dans différentes interrogations.

8-2-1-2-2 SI (identificateur de surveillance) : Cette valeur de 6 bits définit un code d'identificateur de surveillance (SI). Des codes de 1 à 63 sont affectés aux interrogateurs. La valeur de code SI égale à 0 n'est pas utilisée. Les codes sont utilisés avec les protocoles de verrouillage multisite. Les codes SI ne sont pas utilisés avec les protocoles de communication multisite.

8-2-1-3 CL (étiquette de code) : Ce champ montant de 3 bits (14-16) définit le contenu du champ IC.

Codage (système binaire)

- 000 : signifie que le champ IC contient le code II
- 001 : signifie que le champ IC contient les codes SI 1 à 15
- 010 : signifie que le champ IC contient les codes SI 16 à 31
- 011 : signifie que le champ IC contient les codes SI 32 à 47
- 100 : signifie que le champ IC contient les codes SI 48 à 63.

Les autres valeurs du champ CL ne sont pas employées.

a) Compte rendu de capacité en charge du code d'identificateur de surveillance SI : les transpondeurs qui traitent les codes SI indiquent cette capacité en positionnant à 1 le bit 35 dans le sous-champ prise en charge de l'identificateur de surveillance (SIC) du champ MB du compte rendu de capacité de liaison de données.

8-2-1-4 Fonctionnement basé sur l'annulation du verrouillage pour un interrogateur sans code d'interrogateur attribué : « l'appel général » mode S seulement peut servir de base à l'acquisition d'aéronefs dotés du mode S pour des interrogateurs ayant besoin de l'information d'identité via le mode S mais ne pouvant pas obtenir l'attribution d'un code II pour un fonctionnement mode S intégral.

a) Cadence maximale d'interrogation « appel général » mode S seulement : le taux maximale d'interrogations « appel général » mode S seulement faites par un interrogateur utilisant l'acquisition basée sur l'annulation du verrouillage dépend de la probabilité de réponse, comme suit :

- i) pour une probabilité de réponse égale à 1, 0 :
le plus petit des deux nombres suivants :
3 interrogations par éclairage de faisceau de 3 dB ou 30 interrogations par seconde ;
- ii) pour une probabilité de réponse égale à 0,5 :
le plus petit des nombres suivants :
5 interrogations par éclairage de faisceau de 3 dB ou 60 interrogations par seconde ;
- iii) pour une probabilité de réponse égale ou inférieure à 0,25 :
le plus petit des nombres suivants :
10 interrogations par éclairage de faisceau de 3 dB ou 125 interrogations par seconde.

b) Contenu des champs des interrogations à adressage sélectif : dans les interrogations à adressage sélectif employées dans le cadre de la technique d'acquisition par annulation du verrouillage, le contenu des champs est limité aux valeurs suivantes :

UF = 4, 5, 20, ou 21

PC = 0

RR \neq 16 si RRS = 0

DI = 7

IIS = 0

LOS = 0

TMS = 0

8-2-1-5 Acquisition des complémentaire utilisant II = 0 : la technique d'acquisition permet d'obtenir rapidement des réponses de la plupart des aéronefs. Comme il s'agit d'un processus fondé sur des probabilités, il faut parfois de nombreuses interrogations pour acquérir les derniers aéronefs d'une grande série d'aéronefs compris dans le même éclairage et se trouvant à peu près à la même distance (ce que l'on appelle une zone de chevauchement locale).

Dans le cas de ces aéronefs, la performance d'acquisition améliorée par l'emploi d'un verrouillage sélectif limité utilisant II=0.

a) Verrouillage à l'intérieur d'un éclairage :

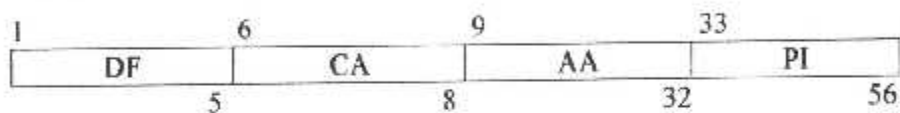
i) Recommandation : il est recommandé que, lorsqu'un verrouillage avec II = 0 est utilisé en complément de la technique d'acquisition, une commande de verrouillage pour II = 0 soit émise pour tous les aéronefs inclus dans le même éclairage que les aéronefs que l'on cherche à acquérir, et pas seulement pour ceux qui se trouvent dans la zone de chevauchement. On note que le verrouillage de tous les aéronefs inclus dans l'éclairage réduit la quantité de fruit d'« appel général » généré en réponse aux interrogations « appel général » avec II = 0.

ii) Durée de verrouillage : l'acquisition complémentaire consiste à verrouiller les aéronefs acquis avec II = 0, suivis des acquisitions au moyen de l'interrogation « appel général » mode S seulement avec II = 0.

En réduisant au minimum le temps de verrouillage, on réduit la probabilité de conflit avec les activités d'acquisition d'un interrogateur voisin utilisant également II= 0 pour une acquisition complémentaire.

Il est recommandé que les interrogateurs qui procèdent à une acquisition complémentaire en utilisant $II = 0$ effectuent l'acquisition en transmettant une commande de verrouillage pour un seul balayage au maximum à chacun des aéronefs acquis dans l'éclairage de faisceau qui contient la zone de chevauchement. Il est recommandé aussi que les interrogations « appel général » mode S seulement avec $II = 0$ aux fins d'acquisition complémentaire soient effectuées sur un maximum de deux balayage consécutifs.

8-2-2 Réponse « appel général » format descendant 11 :



La réponse aux interrogation « appel général » mode S seulement ou modes A/C/S est une réponse « appel général » mode S, format descendant 11. Le format comprend les champs DF (format descendant), CA (possibilités), AA(adresse annoncée), PI (parité/identificateur d'interrogateur).

8-2-2-1 CA (possibilités) : ce champ descendant de 3 bits (6-8) contient une définition codée des possibilités de communication du transpondeur et est utilisé dans le format de réponse « appel général » (DF = 11).

Codage

- 0 : signifie aucune possibilité de communication (surveillance seulement) et aucun moyen de positionner le code 7 dans CA, en vol ou au sol.
- 1 : Réserve
- 2 : Réserve
- 3 : Réserve
- 4 : Signifie au moins capacités Comm-A et Comm-B et moyen de positionner le code 7 dans CA, au sol
- 5 : Signifie au moins capacités Comm-A et Comm-B et moyen de positionner le code 7 dans CA, en vol
- 6 : Signifie au moins capacités Comm-A et Comm-B et moyen de positionner le code 7 dans CA, au sol ou en vol
- 7 : Signifie que le champ DR n'est pas égale à 0 ou que le champ FS est égale à 2, 3, 4 ou 5, au sol ou en vol.

Lorsque les conditions relatives au fonctionnement du code 7 dans CA ne sont pas remplies, les installations qui offrent des capacités de communications, mais qui n'ont pas de moyen automatique d'indiquer la situation au sol utilisent le code 6. Les aéronefs dotés d'un moyen automatique d'indiquer la situation au sol utilise le code 4 ou le code 5.

Les installations embarquées tel que le système TCAS capables de positionner le code 4, 5, 6, ou 7 dans le champ CA pourront fournir des comptes rendus de capacité de liaison de données. On note que les codes 1 à 3 sont réservés aux transpondeurs mode S qui n'ont pas de moyen de positionner le code 7 dans CA.

8-2-2-2 AA (adresse annoncée) : ce champ descendant de 24 bits (9-32) contient l'adresse d'aéronef qui assure une identification sans ambiguïté de l'aéronef.

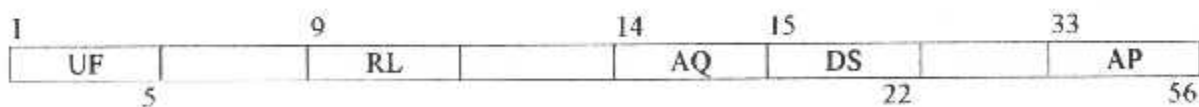
8-3 Protocole de verrouillage : lorsqu'un interrogateur a obtenu l'adresse d'un aéronef déterminé, il utilise pour cet aéronef le protocole de verrouillage « appel général » :

8-4 Protocole « appel général » stochastique : lorsque le transpondeur a accepté un appel général mode S seulement avec PR égal à 1, 4 ou 9 à 12, le transpondeur exécute un processus aléatoire. La décision de répondre est prise conformément à la probabilité spécifiée dans l'interrogation. le transpondeur ne répond pas s'il reçoit un code PR égal à 5, 7, 13, 14, ou 15. On note que le caractère aléatoire des réponses permet à l'interrogateur de distinguer des aéronefs très proches les uns des autres, pour lesquels il y aurait chevauchement synchrones des réponses.

9- Transaction de service et de squitters air-air :

On note que le système d'anticollision embarqué TCAS utilise les formats UF ou DF = 0 pour la surveillance air-air.

9-1 Surveillance air-air courte, format montant :



Le format de cette interrogation comprend les champs UF (format montant), RL (longueur de réponse), AQ (acquisition), DS (sélecteur de données), AP (adresse/parité).

9-1-1 AQ (acquisition) : ce champ montant de 1 bit (14) contient un code qui contrôle de teneur du champ RI.

9-1-2 RL (longueur de réponse) : ce champ montant de 1 bit (9) détermine le format à utiliser pour la réponse .

codage :

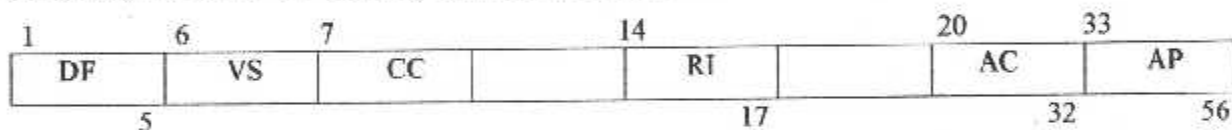
0 : signifie répondre avec DF = 0

1 : signifie pas de réponse

On note qu'un transpondeur associé à un système anticollision embarqué TCAS répond avec DF= 16 à une interrogation avec RL = 1.

9-1-3 DS (sélectionneur de données) : ce champ montant de 8 bits (15-22) contient le code BDS du registre GICB dont le contenu est retourné à la réponse correspondante avec DF = 16.

9-2 Surveillance air-air courte, format descendant 0 :



Cette interrogation est envoyée à la suite d'une interrogation avec UF = 0 et RL = 0. Le format de cette réponse comprend les champs DF (format descendant), VS (situation de l'aéronef dans le plan vertical), CC (capacité de liaison inter TCAS), RI (information de réponse), AC (code d'altitude) et AP (adresse/parité).

9-2-1 VS (situation de l'aéronef dans le plan vertical) : ce champ descendant de 1 bit (6) indique la situation de l'aéronef.

codage

0 : signifie que l'aéronef est en vol

1 : signifie que l'aéronef est au sol

9-2-2 RI (Information de réponse) air-air : ce champ descendant de 4 bits (14-17) indique la vitesse vraie maximale de croisière de l'aéronef et le type de réponse à l'aéronef interrogateur.

Le codage est le suivant :

- 0 : signifie répondre à une interrogation air-air UF = 0 avec AQ = 0, pas de TCAS en fonctionnement
- 1-7 : réservés au TCAS
- 8-15 : signifie répondre à une interrogation air-air UF = 0 avec AQ = 1 et préciser la vitesse maximale comme suit :
 - 8 : aucune donnée de vitesse maximale disponible
 - 9 : vitesse maximale inférieure ou égale à 140 km/h (75 kt)
 - 10 : vitesse maximale supérieure à 140 km/h et inférieure ou égale à 280 km/h (75 et 150 kt)
 - 11 : vitesse maximale supérieure à 280 km/h et inférieure ou égale à 560 km/h (150 et 300 kt)
 - 12 : vitesse maximale supérieure à 560 km/h et inférieure ou égale à 1100 km/h (300 et 600 kt)
 - 13 : vitesse maximale supérieure à 1100 km/h et inférieure ou égale à 2220 km/h (600 et 1200 kt)
 - 14 : vitesse maximale supérieure à 2220 km/h (1200 kt)
 - 15 : non assigné.

9-2-3 CC (capacité de liaison inter - TCAS) : ce champ descendant de 1 bit (7) indique si le transpondeur est capable de prendre en charge la fonction liaison inter - TCAS, c'est à dire de décoder la teneur du champ DS dans une interrogation avec UF = 0 et de répondre avec UF = 0 et de répondre avec la teneur du registre GICB spécifié dans la réponse correspondante avec DF = 16.

Codage

- 0 : signifie que le transpondeur ne peut pas prendre en charge la fonction de liaison inter-TCAS
- 1 : signifie que le transpondeur peut prendre en charge la fonction de liaison inter - TCAS.

9-3 Surveillance air-air longue, format descendant 16 :

1	6	14	20	33	89
DF	VS	RI	AC	MV	AP
5		17	32	88	112

Cette réponse est envoyée à la suite d'une interrogation avec $UF = 0$ et $RL = 1$. Le format de cette réponse comprends les champs DF (format descendant), VS (situation de l'aéronef dans le plan verticale), RI (information de réponse), AC (code d'altitude), MV (message TCAS) et AP (adresse/parité).

9-3-1 MV (message TCAS) : ce champ descendant de 56 bits (33-88) contient les informations GICB demandées dans le champ DS de l'interrogation $UF = 0$ qui a déclenché la réponse. On note que le champ MV est utilisé par le système TCAS pour la coordination air-air.

9-4 Protocole de transaction air-air : la coordination interrogation –réponse pour les formats air-air suit le protocole défini dans le tableau qui suit :

UF interrogation	Conditions spéciales	DF réponse
0	RL égale à 0	0
	RL égale à 1	16
4	RR inférieure à 16	4
	RR égale ou supérieure à 16	20
5	RR inférieure à 16	5
	RR égale ou supérieure à 16	21
11	Transpondeur verrouillé sur le code d'interrogateur, IC	Pas de réponse
	Absence de réponse par décision stochastique	Pas de réponse
	Autres conditions	11
20	RR inférieure à 16	4
	RR égale ou supérieure à 16	20
	AP contient l'adresse de diffusion	Pas de réponse
21	RR inférieure à 16	5
	RR égale ou supérieure à 16	21
	AP contient l'adresse de diffusion	Pas de réponse
24	RC égale à 0 ou 1	Pas de réponse
	RC égale à 2 ou 3	24

Tableau II-19

Le bit de poids fort (bit 14) du champ RI d'une réponse air-air reprend la valeur du champ AQ (bit 14) reçu dans une interrogation avec $UF = 0$.

Si $AQ = 0$ dans l'interrogation, le champ RI de la réponse contient la valeur 0.

Si $AQ = 1$ dans l'interrogation, le champ RI de la réponse contient la vitesse vraie maximale de croisière de l'aéronef.

En réponse à un UF = 0 avec RL = 1 et DS ≠ 0, le transpondeur envoie un DF = 16 dans lequel le champ MV contient les informations stockées dans le registre GICB désigné par la valeur de DS. En réponse à un UF = 0 avec RL = 1 et DS = 0, le transpondeur envoie un DF = 16 dans lequel le champ MV est rempli de 0. La réception d'un UF = 0 dans lequel DS ≠ 0 mais RL = 0 ne correspond pas à une action de liaison inter - TCAS, et le transpondeur répond comme il est spécifié en R1.

9-5 Squitter d'acquisition : les transpondeurs SSR mode S seulement transmettent des squitters d'acquisition (transmissions descendantes non sollicitées) pour permettre l'acquisition passive par les interrogateurs à large faisceau d'antenne, lorsque l'acquisition active risque d'être gênée par le chevauchement synchrone des réponses « appel général ». Ces interrogateurs peuvent être des systèmes d'anticollision embarqués ou des systèmes de surveillance de surface d'aéroport.

9-5-1 Format du squitter d'acquisition : le format utilisé pour les transmissions de squitter d'acquisition est le format de réponse « appel général » (DF = 11), avec II = 0.

9-5-2 Cadence de squitter d'acquisition : les transmissions de squitter d'acquisition s'effectuent à intervalle irréguliers uniformément répartis dans la plage de 0,8 s à 1,2 s par rapport au squitter précédent, avec les exceptions suivantes :

- a) le squitter d'acquisition prévu sera retardé si le transpondeur est dans le cycle de transaction ;
- b) le squitter d'acquisition sera retardé si un squitter long est en cours de traitement ;
- c) le squitter d'acquisition prévu sera retardé si une interface de suppression mutuelle est en fonctionnement ;
- d) à la surface, les squitters d'acquisition ne sont émis que si le transpondeur n'est pas en train d'émettre des squitters longs mode S du type position à la surface.

Lorsqu'elle a commencé, la transmission de squitter d'acquisition n'est pas interrompue par des transactions sur la liaison ou par une suppression mutuelle.

On note que le système de suppression mutuelle peut être utilisé pour relier les équipements de bord qui fonctionnent dans la même bande de fréquences afin de d'empêcher leur brouillage mutuel. L'émission de squitter d'acquisition reprend dès que possible après un intervalle de suppression mutuelle.

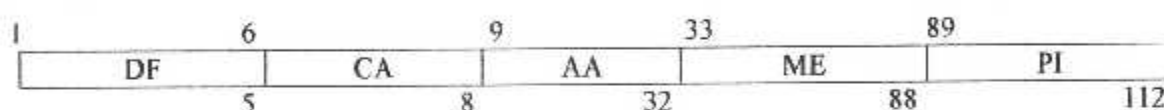
On note aussi que le type de compte rendu de surface peut être choisi automatiquement par l'aéronef ou au moyen de commandes provenant d'une station sol qui utilise des squitters.

9-5-3 Sélection de l'antenne par le squitter d'acquisition : les transpondeurs qui fonctionnent avec diversité d'antennes transmettent des squitters d'acquisition comme suit :

- a) en vol : alternativement sur chacune des deux antennes
- b) à la surface : conformément à la commande SAS.

Lorsque l'aéronef est à la surface, le transpondeur n'émet pas de squitters d'acquisition s'il est en train d'émettre des squitters longs du type surface.

9-6 Squitters longs, format descendant 17 :



Les transpondeurs SSR mode S utilisent les squitters longs pour la diffusion, à des fins de surveillance, des données de position calculées à bord des aéronefs.

La diffusion de cette information est une forme de surveillance dépendante automatique (ADS) appelée ADS – diffusion (ADS-B).

9-6-1 Format du squitter long : le format utilisé pour le squitter long est un format descendant de 12 bits (DF-17) comprenant les champs DF (format descendant), CA (possibilités), AA (adresse annoncée), ME (message sur squitter long) et PI (parité /identificateur d'interrogateur). le champ PI est codé II = 0.

9-6-2 ME (message sur squitter long) : ce champ descendant de 56 bits (33-88) du format DF = 17 est utilisé pour la transmission des messages de diffusion.

9-6-3 Types de squitter long :

9-6-3-1 Squitter de position en vol : le squitter long de position en vol utilise le format DF = 17, avec la teneur du registre GICB 05 [HEX] inséré dans le champ ME.

9-6-3-1-1 SS, sous-champ étant de surveillance du champ ME : le transpondeur rend compte de l'état de surveillance dans ce sous-champ de 2 bits (38-39) du champ ME lorsque ce champ contient un compte rendu de position en vol.

codage

0 : signifie d'état néant

1 : signifie que le transpondeur indique un état d'alerte permanent

2 : signifie que le transpondeur indique un état d'alerte temporaire

3 : signifie que le transpondeur indique un état SPI.

Les codes 1 et 2 ont présence sur le code 3.

9-6-3-1-2 ACS, sous-champ code d'altitude du champ ME : si le champ ATS contient la commande appropriée, le transpondeur indique le code d'altitude barométrique dans ce sous-champ de 12 bits (41-52) du champ ME lorsque ce champ contient un compte rendu de position en vol. La teneur du sous-champ ACS est conforme aux spécifications du champ AC de 13 bits sauf pour ce qui est du bit M (bit 26) qui est omis.

9-6-3-1-3 Commande de l'indication ACS : le transpondeur insère des données d'altitude dans le sous-champ de 1 bit relatif au type d'altitude (ATS) a une valeur de 0.

Le transpondeur ne communique pas de données d'altitude dans le sous-champ ACS lorsque le sous-champ ATS a une valeur de 1.

9-6-3-2 Squitter de position à la surface : le squitter long de position à la surface utilise la forme DF = 17, avec la teneur du registre GICB 06 [HEX] insérée dans le champ ME.

9-6-3-3 Squitter d'identificateur de l'aéronef : le squitter long d'identification de l'aéronef utilise le format DF = 17, avec la teneur du registre GICB 08 [HEX] insérée dans le champ ME.

9-6-3-4 Squitter de vitesse de vol : le squitter long de vitesse de vol utilise le format DF = 17, avec la teneur du registre GICB 09 [HEX] inséré dans le champ ME.

9-6-3-5 squitter branché par un événement : le squitter long déclenché par un événement utilise le format DF=17, avec la teneur du registre GICB 0A [HEX] inséré dans le champ ME.

9-6-4 Cadence d'émission des squitters longs :

9-6-4-1 Initialisation : à l'initialisation de mise en marche, le transpondeur commence à fonctionner en diffusant seulement des squitters d'acquisition. Il se met à diffuser des squitters longs de position en vol, de position à la surface, de vitesse de vol et d'identification d'aéronef lorsque des données sont insérées dans les registres 05, 06, 09 et 08 [HEX], respectivement. La détermination s'effectue individuellement pour chaque type de squitter. Les squitters d'acquisition sont émis en plus des squitters longs à moins qu'ils n'aient été neutralisés. Le transpondeur émet toujours des squitters d'acquisition lorsqu'il n'émet pas de squitters longs de position ou de vitesse.

9-6-4-2 Cadence d'émission du squitter de position en vol : les émissions de squitter de position en vol s'effectuent lorsque l'aéronef est en vol, à intervalles irréguliers, uniformément répartis dans la plage de 0,4s à 0,6 s par rapport au squitter de position en vol précédent, sauf dans les circonstances des émissions retardées.

9-6-4-3 Cadence d'émission du squitter de position à la surface : les émissions de squitter de position à la surface s'effectuent lorsque l'aéronef est à la surface, à la cadence élevée ou faible, selon celle qui est choisie. S'il s'agit de la cadence élevée, les émissions de squitter de position à la surface ont lieu à intervalles irréguliers uniformément répartis dans la plage de 4,8 s à 5,2 s par rapport au squitter de position à la surface précédent (cadence faible). Deux exceptions à ces cadences sont spécifiées dans les émissions retardées.

9-6-4-4 Cadence d'émission du squitter d'identification de l'aéronef : les émissions de squitter d'identification de l'aéronef s'effectuent, à des intervalles irréguliers uniformément répartis dans la plage de 4,8 s à 5,2 s par rapport au squitter d'identification d'aéronef précédent lorsque l'aéronef transmet des squitters de position en vol, ou lorsqu'il transmet des squitters de position à la surface à cadence élevée. Lorsque l'aéronef transmet des squitters de position à la surface à cadence faible, les émissions de squitter d'identification d'aéronef s'effectuent à des intervalles irréguliers uniformément répartis dans la plage de 9,6 s à 10,4 s par rapport au squitter d'identification d'aéronef précédent. Des exceptions à ces cadences sont spécifiées dans les émissions retardées.

9-6-4-5 Cadence d'émission du squitter de vitesse de vol : les émissions de squitter de vitesse de vol s'effectuent lorsque l'aéronef est en vol, à des intervalles irréguliers répartis uniformément dans la plage de 0,4 s à 0,6 s par rapport au squitter de vitesse de vol précédent, sauf dans les émissions retardées.

9-6-4-6 Cadence d'émission des squitters déclenchés par un événement : les squitters déclenchés par un événement sont émis une fois, chaque fois que des informations sont chargées dans le registre GICB A [HEX], en respectant les conditions des retardements. La cadence maximale des émissions de squitter déclenché par un événement est limitée par le transpondeur à deux par seconde. Si un message inséré dans le registre d'événement ne peut pas être transmis en raison de la limite imposée sur la cadence d'émission, il sera retenu et transmis lorsque cette limite est supprimée. Si un nouveau message est reçu avant que la transmission ne soit autorisée, il remplace le message déjà chargé dans le registre.

9-6-4-7 Emissions retardées : l'émission d'un squitter long est retardée :

- a) si le transpondeur est dans un cycle de transaction ;
- b) si un squitter d'acquisition ou un autre type de squitter est en cours de traitement ; ou
- c) si une interface de suppression mutuelle est en fonctionnement.

Le squitter retardé est émis dès que le transpondeur est disponible.

9-6-5 Sélection de l'antenne pour l'émission des squitters longs : les transpondeurs qui fonctionnent avec diversité d'antenne transmettent les squitters longs comme suit :

- a) en vol : alternativement sur chacune des deux antennes ;
- b) à la surface : conformément à la commande SAS.

En l'absence de commande SAS, l'antenne utilisée par défaut est l'antenne supérieure.

9-6-6 Fin de la temporisation du registre : le transpondeur libère les 56 bits des registres de position en vol, de position à la surface, d'état de squitter et d'information de vitesse de vol si ces registres ne sont pas actualisés dans les deux secondes qui suivent l'actualisation précédente. La fin de la temporisation est déterminée séparément pour chacune de ces registres.

9-6-7 Détermination de la situation « en vol »/« à la surface » : les aéronefs qui sont dotés d'un moyen automatique de détection de la situation « à la surface » utilisent pour établir, s'ils doivent émettre des messages de type « en vol ». Les aéronefs qui ne sont pas dotés de ce moyen transmettent des messages de type « en vol ». Les aéronefs avec ou sans moyen automatique de détection de la situation « à la surface » émettent le type de message de position commandé par le code porté dans le champ TCS. Après l'expiration de la commande TCS, la détermination de la situation « en vol »/« à la surface » se fait de nouveau de la manière suivante : les stations sol qui utilisent des squitters longs déterminent si l'aéronef est en vol ou à la surface en se fondant sur la position, l'altitude et la vitesse sol de l'aéronef. Les aéronefs que ces stations détectent comme étant à la surface mais qui n'émettent pas des messages de position à la surface reçoivent via le sous-champ TCS la commande de communiquer ce type de message. Le retour normal aux messages de position en vol est commandé du sol. A titre de précaution en cas de perte des communications après le décollage, la commande d'émettre des messages de position à la surface expire automatiquement.

9-6-8 Indication de l'état des squitters : une demande GICB contenant RR = 16, DI = 7 et RRS = 7 entraîne une réponse contenant l'indication de l'état des squitters dans son champ MB.

9-6-8-1 TRS, sous-champ cadence d'émission du champ MB : le transpondeur utilise ce sous-champ de 2 bits (33,34) du champ MB afin d'indiquer la capacité de l'aéronef à déterminer automatiquement la cadence d'émission des squitters de surface et la cadence actuelle d'émission des squitters.

Codage

- 0 : signifie incapacité à déterminer automatiquement la cadence d'émission des squitters de surface
- 1 : signifie que la cadence élevée d'émission des squitters de surface a été choisie
- 2 : signifie que la cadence faible d'émission des squitters de surface a été choisie
- 3 : non attribué.

La détermination de la cadence élevée ou faible est effectuée à bord de l'aéronef. La cadence faible est utilisée lorsque l'aéronef est stationnaire, et la cadence élevée, lorsqu'il est en mouvement.

9-6-8-2 ATS, sous-champ type d'altitude du champ MB : le transpondeur utilise ce sous-champ de 1 bit (35) du champ MB pour indiquer le type de l'altitude communiquée dans le squitter long en vol lorsque la réponse contient les informations chargées dans le registre GICB 07 [HEX]. Codage

- 0 : signifie que l'altitude barométrique est communiquée
- 1 : signifie qu'une hauteur déterminée par un moyen de navigation est communiquée.

9-6-9 Commande de la cadence d'émission des squitters de surface : la cadence d'émission des squitters de surface est déterminée de la manière suivante :

- a) la teneur du sous-champ est lue une fois par seconde. Si la valeur de TRS est 0 ou 1, le transpondeur émet les squitters de surface à la cadence élevée. Si la valeur de TRS est 2, le transpondeur émet les squitters de surface à la cadence faible ;
- b) la cadence d'émission des squitters commandées via le sous-champ RCS est présent sur celle qui est déterminée par le sous-champ TRS. Un code RCS de 1 a pour effet de régler le transpondeur à cadence élevée pour une période de 60 secondes. Un code RCS de 2 a pour effet de régler le transpondeur à la cadence faible pour une période de 60 secondes. Ces commandes peuvent être générées pour une nouvelle période de 60 secondes avant l'expiration de la période en cours ;

c) à l'exception de la période et en l'absence d'un code RCS de 1 ou de 2, la cadence est de nouveau déterminée par le sous-champ TRS.

II-9-2 Relation entre format de signal et TCAS mode S :

Le système TCAS utilise les transmissions mode S pour la surveillance et la communication. Les fonctions de communication air-air TCAS permettent de coordonner les décisions relatives aux avis de résolution avec les aéronefs menaçant dotés du système TCAS, les fonctions de communication air-sol TCAS permettent de communiquer les avis de résolution aux stations sol et de transmettre sur liaison montante aux aéronefs dotés du système TCAS des commandes ayant pour objet de contrôler les paramètres des algorithmes anticollision.

II-9-3 description des champs :

La figure ci-dessous indique les formats de surveillance et de communications air-air utilisés par le système TCAS.

Format montant :

UF = 0

0000	3	RL : 1	4	AQ : 1	18	AP : 24
------	---	--------	---	--------	----	---------

UF = 16

10000	3	RL : 1	4	AQ : 1	18	MU : 56	AP : 24
-------	---	--------	---	--------	----	---------	---------

Format descendant :

DF = 0

0000	VS : 1	2	SL : 3	2	RI : 4	2	AC : 13	AP : 24
------	--------	---	--------	---	--------	---	---------	---------

DF = 16

10000	VS : 1	2	SL : 3	2	RI : 4	2	AC : 13	MV : 56	AP : 24
-------	--------	---	--------	---	--------	---	---------	---------	---------

II-9-3-1 Champs et sous-champs :

a) DR (demande descendante) : le codage est le suivant :

Codage

- 0 : signifie demande descendante néant
- 1 : signifie demande de message Comm-B
- 2 : message TCAS disponible
- 3 : message Comm-B et TCAS
- 4 : signifie message diffusé Comm-B 1 disponible
- 5 : signifie message diffusé Comm-B 2 disponible
- 6 : message diffusé Comm-B 1 disponible et message TCAS disponible
- 7 : message diffusé Comm-B 1 disponible et message TCAS disponible
- 8-15 : non attribués
- 16-31 : protocole ELM

b) RI (information de réponse air-air) : le codage de ce champ est comme suit :

Codage

- 0 : pas de TCAS en fonctionnement
- 1 : non attribué
- 2 : TCAS dont le moyen de résolution est neutralisé
- 3 : TCAS avec moyen de résolution dans le plan verticale seulement
- 4 : TCAS avec moyen de résolution dans le plan vertical et dans le plan horizontal
- 5-7 : Non assigné
- 8-31: signifie répondre à une interrogation air-air UF = 0 avec AQ = 1 et préciser la vitesse maximale.

Le bit de 14 du format de réponse contenant ce champ est identique au bit AQ de l'interrogation. le champ RI indique qu'il n'y a pas de TCAS en fonctionnement (RI = 0) si l'unité TCAS est en panne ou en attente. Il indique un TCAS dont le moyen de résolution est neutralisé (RI = 2) si le niveau de sensibilité est de 2 ou si seul le mode TA a été choisi.

c) **RR (demande de réponse)** : le codage de ce champ est comme suit :

Codage

- 0 – 15 : sert à demander une réponse avec format de surveillance (DF = 4 ou 5)
- 16 : sert à demander la transmission d'un message Comm-B déclenché à bord
- 17 : sert à demander un compte rendu de possibilité de liaison de données
- 18 : sert à demander l'identification d'aéronef
- 19 : transmettez un compte rendu d'avis de résolution
- 19-31 : non assigné

II-9-3-2 Champ et sous-champ TCAS :

Le codage des champs et sous-champs utilisés par le système TCAS sont :

a) Sous-champ de MA :

1- ADS (sous-champ définition A) : ce sous-champ de 8 bits (33-40) définit le reste de MA. On note que pour que le codage soit facile, ADS est exprimé sous la forme de deux groupes de 4 bits chacun, ADS1 et ADS2.

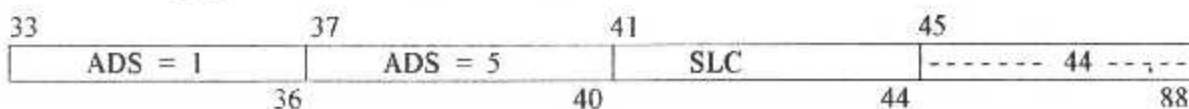
2- lorsque ADS = 0 et ADS2 = 5, le champ MA renferme le sous-champ suivant :

3- SLC (commande de réglage de niveau de sensibilité (SLC) du TCAS) : ce sous-champ de 4 bits (41-44) exprime une commande de réglage du niveau de sensibilité adressée au TCAS de l'aéronef de référence.

Codage

- 0 : aucune commande n'a été émise
- 1 : non assigné
- 2 : réglez le niveau de sensibilité TCAS à 2
- 3 : réglez le niveau de sensibilité TCAS à 3
- 4 : réglez le niveau de sensibilité TCAS à 4
- 5 : réglez le niveau de sensibilité TCAS à 5
- 6 : réglez le niveau de sensibilité TCAS à 6
- 7-14 : non assignés
- 15 : annulez la commande de SLC précédente de la station dont provient le présent message

Dans le réglage du niveau de sensibilité, la structure de MA est la suivante :



b) Sous champ de MB :

1- Sous-champ de MB dans un compte rendu d'avis de résolution : lorsque $BDS1 = 3$ et $BDS2 = 0$, MB renferme les sous-champs indiqués ci-dessous. Pendant 18 ± 1 seconde après la fin d'un avis de résolution, tous les sous-champs de MB du compte rendu d'avis de résolution, à l'exception du bit 59 (indicateur de fin d'avis de résolution) conservent les informations fournies au moment où l'avis de résolution était en vigueur pour la première fois.

i) ARA (avis de résolution en vigueur) : ce sous-champ de 14 bits (41-54) indique les caractéristiques de l'avis de résolution (s'il y en a) généré par le TCAS associé avec le transpondeur émetteur de ce sous-champ. Les bits du sous-champ ARA ont la signification déterminée par la valeur du sous-champ MTE, et la valeur du bit 41 concerne les avis de résolution dans le plan vertical. Le bit 41 a la signification suivante :

Codage :

- 0 : il y a plus d'une menace et l'avis de résolution vise à établir une séparation au-dessous de certaines autres, ou aucun avis de résolution n'a été généré (lorsque $MTE = 0$)
- 1 : il n'y a qu'une menace ou l'avis de résolution vise à établir une séparation dans la même direction pour toutes les menaces

Lorsque le bit 41 a la valeur 1 et que $MTE = 0$ ou 1, les bits 42-47 ont la signification suivante :

Bit	Codage	
42	0	l'avis de résolution est préventif
	1	l'avis de résolution est correctif
43	0	un avis de résolution « vers le haut » a été généré
	1	un avis de résolution « vers le bas » a été généré
44	0	l'avis de résolution ne vise pas à augmenter le taux de variation d'altitude
	1	l'avis de résolution vise à augmenter le taux de variation d'altitude
45	0	l'avis de résolution ne représente pas une inversion
	1	l'avis de résolution représente une inversion
46	0	l'avis de résolution ne préconise pas de franchissement d'altitude
	1	l'avis de résolution préconise un franchissement d'altitude
47	0	l'avis de résolution indique une limite de vitesse verticale
	1	l'avis de résolution est positif
48-54		réservés au TCAS III

Lorsque le bit 41 du sous-champ ARA à la valeur 0 et que $MTE = 1$, les bits 42-47 ont la signification suivante :

Bit	Codage	
42	0	l'avis de résolution n'exige pas de correction dans le sens montée
	1	l'avis de résolution exige une correction dans le sens de la montée
43	0	l'avis de résolution n'exige pas de montée positive
	1	l'avis de résolution exige une montée positive
44	0	l'avis de résolution n'exige pas de correction dans le sens de la descente
	1	l'avis de résolution exige une correction dans le sens de la descente
45	0	l'avis de résolution n'exige pas de descente positive
	1	l'avis de résolution exige une descente positive
46	0	l'avis de résolution n'exige pas de franchissement d'altitude
	1	l'avis de résolution exige de franchissement d'altitude
47	0	l'avis de résolution ne représente pas une inversion
	1	l'avis de résolution représente une inversion
48-54		réservés au TCAS III

Lorsque le bit 41 du sous-champ ARA à la valeur 0 et que $MTE = 0$, aucun avis de résolution dans le plan vertical n'a été généré.

ii) RAC (enregistrement d'avis de résolution complémentaires) : ce sous-champ de 4 bits (55-58) indique tous les avis de résolution complémentaires actuellement en vigueur (s'il y en a) reçus d'autres aéronefs TCAS. Les bits du sous-champ RAC ont la signification suivante :

Bit	avis de résolution complémentaire
55	ne passez pas par-dessous
56	ne passez pas par-dessus
57	ne virez pas à gauche
58	ne virez pas à droite

Un bit positionné à 1 indique que l'avis de résolution complémentaire dont il s'agit est en vigueur. Un bit positionné à 0 indique que l'avis de résolution complémentaire dont il s'agit n'est pas en vigueur.

iii) RAT (indicateur de fin d'avis de résolution) : ce sous-champ de 1 bit (59) indique le moment où un avis de résolution généré plus tôt par le TCAS a pris fin.

Codage :

- 0 le TCAS génère actuellement l'avis de résolution indiqué dans le sous-champ ARA
- 1 l'avis de résolution indiqué dans le sous-champ ARA a pris fin

Après que le TCAS a mis fin à un avis de résolution, ce dernier doit encore être signalé pendant 18 ± 1 seconde par le transpondeur mode S. l'indicateur de fin d'avis de résolution peut servir, par exemple, à assurer le retrait en temps utile d'une indication d'avis de résolution affichée à l'écran d'un contrôleur de la circulation aérienne, ou à des évaluations de la durée des avis de résolution dans un espace aérien donné.

Un avis de résolution peut prendre fin pour diverses raisons de façons normale, lorsque le conflit a été résolu et que la menace s'éloigne en distance ; ou lorsque le transpondeur mode S de la menace, pour une raison quelconque, cesse de signaler son altitude pendant le conflit.

Dans chacun de ces cas, l'indicateur de fin d'avis de résolution sert à indiquer que l'avis de résolution a été retiré.

iv) MTE (rencontre de menace multiple) : ce sous-champ de 1 bit (60) indique le cas que la logique de résolution de conflit TCAS traite actuellement deux ou plusieurs menaces simultanées.

Codage :

- 0 : la logique de résolution traite actuellement une menace (lorsque le bit 41 du sous-champ ARA à la valeur 1) ; la logique de résolution ne traite actuellement aucune menace (lorsque le bit 41 du sous-champ ARA a la valeur 0)
- 1 : la logique de résolution traite actuellement deux ou plusieurs menaces simultanées

v) TTI (sous-champ indicateur de type de menace) : ce sous-champ de 2 bits (61-62) indique le type de données d'identité contenues dans le sous-champ TID.

Codage :

- 0 : aucune donnée d'identité dans le sous-champ TID
- 1 : le sous-champ TID renferme une adresse de transpondeur mode S
- 2 : le sous-champ TID renferme des données d'altitude, de distance et de gisement
- 3 : non assigné

vi) **TID (sous-champ de données d'identité de menace)** : ce sous-champ de 26 bits (63-68) renferme l'adresse d'aéronef de la menace, ou l'altitude, la distance et le gisement de la menace si celle-ci n'est pas dotée du mode S. si deux ou plusieurs aéronefs sont traités simultanément par la logique de résolution TCAS, le sous-champ TID renferme les données d'identité ou de position de la menace déclarée le plus récemment. Si TTI = 1, TID renferme dans les bits 63 à 86 l'adresse d'aéronef de la menace, et les bits 87 et 88 sont positionnés à 0. Si TTI = 2, TID renferme les trois sous-champs suivants :

* **TIDA (sous-champ données d'identité de menace-altitude)** : ce sous-champ de 13 bits (63-75) renferme le code d'altitude mode C signalé le plus récemment de la menace.

Codage :

Bit	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
Bit de code mode C	C ₁	A ₁	C ₂	A ₂	C ₄	A ₄	0	B ₁	D ₁	B ₂	D ₂	B ₄	D ₄

* **TIDR (sous-champ données d'identité de menace-distance)** : ce sous-champ de 7 bits (76-82) renferme la valeur la plus récente de la distance à laquelle se trouve la menace, estimée par le TCAS.

Codage (n)

n	distance estimée (NM)
0	aucune valeur estimée n'est disponible
1	moins de 0,05
2-126	(n-1) / ± 0,05
127	plus de 12,55

* **TIDB (sous-champ données d'identité de menace – gisement)** : ce sous-champ de 6 bits (83-88) renferme la valeur estimée la plus récente du gisement de l'aéronef menaçant, par rapport à l'aéronef TCAS.

Codage (n)

n	gisement estimé (degré)
0	aucune valeur estimée du gisement n'est disponible
1-60	entre 6 (n- 1) et 6n
61-63	non assignés

On note que dans un compte rendu d'avis de résolution, la structure de MB est la suivante :

33	37	41	55	59	60	61	63			
BDS1=3	BDS2=0	ARA	RAC	RAT	MTE	TTI=1	TID			
36	40	54	58	59	60	62				88

33	37	41	55	59	60	61	63	76	83	
BDS1=3	BDS2=2	ARA	RAC	RAT	MTE	TTI=2	TIDA	TIDR	TIDB	
36	40	54	58	59	60	62	75	82	88	

2- Sous-champ de MB dans un compte rendu de possibilités de liaison de données : lorsque BDS1=1 et - DS2 =0, les configurations binaires ci-dessous sont communiquées au transpondeur pour son compte rendu de possibilité de liaison de données :

Bits	Codage	
48	0	TCAS en panne ou en mode « attente »
	1	TCAS en fonctionnement
69	0	TCAS II
	1	TCAS III
70	0	TCAS générant des avis de circulation seulement
	1	TCAS générant des avis de circulation et des avis de résolution
71	0	TCAS absent
	1	TCAS présent

i) Champ MU : ce champ de 56 bits (33-88) faisant partie des interrogations de surveillance air-air longues sert à transmettre des messages de résolution, des diffusions TCAS et des diffusions d'avis de résolution.

ii) UDS (sous-champ définition U) : ce sous-champ de 8 bits (33-40) définit le reste MU. Pour que le codage soit facile, UDS est exprimé sous la forme de deux groupes de 4 bits chacun, UDS1 et UDS2.

3- Sous-champ de MU dans un message de résolution : lorsque UDS1 = 3 et UDS2 = 0, le champ MU renferme les sous-champs suivants :

i) MTB (bit de menace multiple) : ce sous-champ de 1 bit (42) indique la présence ou l'absence de menaces multiples.

Codage :

- 0 : le TCAS interrogateur détecte une seule menace
- 1 : le TCAS interrogateur détecte plus d'une menace

ii) VRC (avis de résolution complémentaire dans le plan vertical) : ce sous-champ de 2 bits (45-46) indique un avis de résolution complémentaire dans le plan vertical se rapportant à l'aéronef destinataire.

Codage :

- 0 : aucun avis de résolution complémentaire dans le plan vertical n'a été envoyé
- 1 : ne passez pas par dessous
- 2 : ne passez pas par-dessus
- 3 : non assigné

iii) CVC(annulation d'avis de résolution complémentaire dans le plan vertical) : ce sous-champ de 2 bits (43-44) signale l'annulation d'avis de résolution complémentaire dans le plan vertical communiqué précédemment à l'aéronef destinataire. Ce sous-champ sera positionné à 0 pour une nouvelle menace. Le codage est comme suit :

- 0 : Aucune annulation
- 1 : Annulez « Ne passez pas par-dessous » transmis précédemment
- 2 : Annulez « Ne passez pas par-dessus » transmis précédemment
- 3 : Non assigné

iv) HRC (avis de résolution complémentaire dans le plan horizontal) : Ce sous-champ de 3 bits (50-52) indique un avis de résolution complémentaire dans le plan horizontal se rapportant à l'aéronef destinataire.

Le codage est comme suit :

- 0 : Aucun avis de résolution complémentaire dans le plan horizontal, ou aucun moyen de résolution dans le plan horizontal
- 1 : L'autre TCAS doit virer à gauche ; ne virez pas à gauche
- 2 : L'autre TCAS doit virer à gauche ; ne virez pas à droite
- 3 : Non assigné
- 4 : Non assigné
- 5 : L'autre TCAS doit virer à droite ; ne virez pas à gauche
- 6 : L'autre TCAS doit virer à droite ; ne virez pas à droite
- 7 : Non assigné

v) CHC (annulation d'avis de résolution complémentaire dans le plan horizontal) : Ce sous-champ de 3 bits (47-49) indique l'annulation d'un avis de résolution complémentaire dans le plan horizontal envoyé précédemment à l'aéronef destinataire. Ce sous-champ sera positionné à 0 pour une nouvelle menace.

Le codage est comme suit :

- 0 : Aucune annulation, ou aucun moyen de résolution dans le plan horizontal
- 1 : Annulez « Ne virez pas à gauche » transmis précédemment
- 2 : Annulez « Ne virez pas à droite » transmis précédemment
- 3-7 : Non assigné

vi) VSB (sous-champ de bits à sens vertical) : Ce sous-champ de 4 bits (61-64) sert à protéger les données contenues dans sous-champs CVC et VRC. Les bits du sous-champ VSB sont positionnés selon un code de Hamming distance 3 plus un bit de parité, ce qui permet de détecter jusqu'à trois erreurs dans les huit bits transmis.

vii) HSB (sous-champ bits de sens horizontal) : Ce sous-champ de 5 bits (56-60) sert à protéger les données contenues dans les sous-champs CHC et HRC.

Les bits du sous-champ HSB sont positionnés un code de Hamming distance 3 plus un bit de parité, ce qui permet de détecter jusqu'à trois erreurs dans les onze bits transmis.

viii) MID (adresse d'aéronef) : ce sous-champ de 24 bits (65-88) renferme l'adresse à 24 bits de l'aéronef TCAS interrogateur. Dans un message de résolution, la structure du champ MU est la suivante :

33	37	41	42	43	45	47	50	53	56	61	65
USD1=3	USD2=0	-1-	MTB	CVC	VRC	CHC	HRC	-3-	HSB	VSB	MID
36	40	41	42	44	46	49	52	55	60	64	88

3- Sous-champ de MU dans une diffusion TCAS : lorsque UDS1 = 3 et UDS2 = 2, le sous-champ renferme le sous-champ MID (adresse d'aéronef).

4- Sous-champ de MU dans une diffusion d'avis de résolution : lorsque UDS = 1 et UDS = 1, le champ MU renferme les sous-champs ARA (avis de résolution en vigueur), RAC (enregistrement d'avis de résolution complémentaires), RAT (indicateur de fin d'avis de résolution), MTE (rencontre de menace multiple), AID (code d'identité mode A), CAC (code d'altitude mode C).

d) Champ MV : ce champ de 56 bits (33-88) des réponses de surveillance air-air longue sert à la transmission des messages de réponses de coordination air-air.

1- VDS (sous-champ définition V) : ce sous-champ de 8 bits (33-40) définit le reste de MV. Pour que le codage soit simple, VDS est exprimé sous la forme de deux groupes de 4 bits chacun : VDS1 et VDS2.

2- Sous-champ de MV dans une réponse de coordination : lorsque VDS1 = 3 et VDS2 = 0, MV renferme les sous-champs ARA (avis de résolution en vigueur), RAC (enregistrement d'avis de résolution complémentaire), RAT (indicateur de fin d'avis de résolution), MTE (rencontre de menace multiple).

e) **SL (compte rendu de niveau de sensibilité)** : ce champ descendant de 3 bits (9-11) fait partie des deux formats de réponse : surveillance air-air courte (DF = 0) et surveillance air-air longue (DF = 16). Ce champ indique le niveau de sensibilité auquel le système TCAS fonctionne actuellement.

Codage :

- 0 : TCAS ne fonctionne pas
- 1 : TCAS fonctionne au niveau de sensibilité 1
- 2 : TCAS fonctionne au niveau de sensibilité 2
- 3 : TCAS fonctionne au niveau de sensibilité 3
- 4 : TCAS fonctionne au niveau de sensibilité 4
- 5 : TCAS fonctionne au niveau de sensibilité 5
- 6 : TCAS fonctionne au niveau de sensibilité 6
- 7 : TCAS fonctionne au niveau de sensibilité 7

II-10 CARACTERISTIQUE DE L'EQUIPEMENT TCAS :

II-10-1 Interfaces : au minimum, les données d'entrée ci-après sont fournis au système TCAS :

- a) code d'adresse d'aéronef
- b) transmission mode S air-air et air-sol reçues par le transpondeur et destinées au TCAS
- c) vitesse vraie maximale de croisière de l'aéronef de référence
- d) altitude-pression
- e) hauteur déterminée par radiomètre

II-10-2 Système d'antennes de bord : Le système TCAS émet des interrogations et reçoit des réponses par l'intermédiaire de deux antennes disposées l'une sur la partie supérieure de l'aéronef et l'autre sur la partie inférieure. L'antenne disposée sur la partie supérieure est directive et peut servir à des mesures de gisement.

II-10-2-1 Polarisation : La polarisation des émissions TCAS est nominale verticale.

II-10-2-2 Diagramme de rayonnement : Le diagramme de rayonnement en site de chaque antenne disposée sur un aéronef est nominale l'équivalent de celui d'une antenne unipolaire quart d'onde sur le plan sol.

II-10-3 Sélection d'antenne :

II-10-3-1 Réception de squitters : Le système TCAS est capable de recevoir des squitters par l'intermédiaire des antennes supérieures et inférieures.

II-10-3-2 Interrogations : Les interrogations TCAS ne sont pas émises simultanément depuis les deux antennes.

II-11 CONTROLE :

II-11-1 Fonction de contrôle : Le système TCAS accomplit constamment une fonction de contrôle afin de donner l'alerte si au moins une condition ci-après est présente :

- a) il n'y a pas de limitation de la puissance d'interrogation en raison du contrôle du brouillage et la puissance rayonnée maximale est trop faible pour que les spécifications de performances de surveillance soient respectées ;
- b) l'équipement subit une autre défaillance ayant pour effet de réduire la capacité d'émettre des avis de circulation ou de résolution ;
- c) des données d'origine externe indispensables au système TCAS ne sont pas fournies, ou bien les données fournies ne sont pas vraisemblables.

II-11-2 Effet sur le fonctionnement du TCAS : La fonction de contrôle TCAS ne nuit pas à l'accomplissement d'autres fonctions TCAS.

II-11-3 Réaction au résultat de contrôle : lorsque la fonction de contrôle constate une défaillance, le système TCAS réagit comme suit :

- a) il indique à l'équipage de conduite que la situation est normale ;
- b) il empêche toute autre interrogation par le système TCAS ;
- c) il fait en sorte que toute émission mode S signalant les moyens de résolution de l'aéronef de référence indique que le système TCAS ne fonctionne pas.

II-12 SPECIFICATIONS RELATIVES A UN TRANSPONDEUR MODE S UTILISE AVEC LE TCAS :

II-12-1 Possibilités du transpondeur : Le transpondeur mode S utilisé avec le système TCAS a les caractéristiques suivantes :

a) capacité de traiter les formats suivants :

Format n°	Nom du format
UF = 16	Interrogation de surveillance air-air longue
DF = 16	Réponse de surveillance air-air longue

b) capacité de recevoir des interrogations mode S longues (UF = 16) et de générer des réponses mode S longues (DF = 16) continuellement, à 16,6 ms d'intervalle (débit de 60 réponses par seconde) ;

c) moyen de remettre la teneur de données TCAS de toutes les interrogations adressées à l'équipement TCAS ;

d) diversité d'antennes ;

e) capacité de suppression mutuelle ;

f) restriction de puissance de sortie de transpondeur à l'état inactif.

Lorsque l'émetteur du transpondeur mode S est à l'état inactif, la puissance de crête de l'impulsion à $1090\text{MHz} \pm 3\text{MHz}$ aux bornes de l'antenne du transpondeur mode S ne dépasse pas -70 dBm .

II-12-2 Transfert de données entre le TCAS et son transpondeur mode S :

II-12-2-1 transfert de données du TCAS à son transpondeur mode S :

a) le TCAS transfère des données d'avis de résolution à son transpondeur mode S pour qu'il les transmette dans un compte rendu d'avis de résolution et dans une réponse de coordination ;

b) le TCAS communique le niveau de sensibilité actuel à son transpondeur mode S pour qu'il transmette dans un compte rendu de niveaux de sensibilité ;

c) le TCAS transfère des informations sur les possibilités de liaison de données à son transpondeur mode S pour qu'il les transmette dans un compte rendu de possibilités de liaison de données et dans le champ RI des formats descendants air-air FF = 0 et DF = 16 ;

d) le TCAS fournit à son transpondeur mode S une indication que les avis de résolution sont validés ou invalidés pour qu'il le transmette dans le champ RI des formats descendants 0 et 16.

II-12-2-2 Transfert de données du transpondeur mode S à son TCAS :

- a) le transpondeur mode S transfère à son TCAS une commande reçue de réglage du niveau de sensibilité provenant d'une station sol ;
- b) le transpondeur mode S transfère à son TCAS une diffusion TCAS reçue d'un autre TCAS ;
- c) le transpondeur mode S transfère à son TCAS un message de résolution reçu d'un autre TCAS en vue de la coordination air-air;
- d) le transpondeur mode S transfère à son TCAS les données d'identité mode A de l'aéronef de référence pour qu'il les transmette dans un avis de résolution diffusé.

II-12-2-3 Communication de renseignement sur le TCAS à d'autres TCAS :

- a) **Réponse de surveillance :** le transpondeur mode S du TCAS utilise le format de surveillance courte (DF = 0) ou longue (DF = 16) pour répondre aux interrogations de surveillance TCAS. La réponse de surveillance comprend le champ VS, le champ RI ainsi que le champ SL.
- b) **Réponse de coordination :** le transpondeur mode S du TCAS transmet une réponse de coordination dès qu'il reçoit une menace équipée une interrogation de coordination sous réserve de la condition du fait que le transpondeur mode S du TCAS transmet une réponse de coordination quand il reçoit d'un autre TCAS une interrogation de coordination, mais uniquement s'il peut communiquer la teneur des données TCAS de l'interrogation au TCAS auquel il est relié. La réponse de coordination est établie dans le format de réponse de surveillance air-air longue, DF = 16, avec le champ VS, le champ RI, le champ SL ainsi que le champ MV. Les réponses sont transmises même si les limites concernant le taux minimal de réponse du transpondeur sont dépassées.

II-12-2-4 Communication de renseignements sur le TCAS aux stations sol :

- a) **Compte rendu d'avis de résolution destinés aux stations sol mode S :** pendant la période de l'avis de résolution et pendant 18 ± 1 seconde après la fin de l'avis de résolution, le transpondeur mode S du TCAS indique qu'il a un compte rendu d'avis de résolution à envoyer en codant le champ DR dans les réponses à un capteur mode S. Le compte rendu d'avis de

résolution comprend le champ MB et indique le plus récent avis de résolution qui existait pendant la période de 18 ± 1 seconde précédente.

b) Compte rendu de possibilités de liaison de données : la présence d'un système TCAS est indiquée par son transpondeur mode S à une station sol à l'aide du compte rendu de possibilités de liaison de données mode S.

Chapitre III
Specifications Fonctionnelles
du système TCAS

III-1 FONCTIONNEMENT DU SYSTEME TCAS EN MODE S :

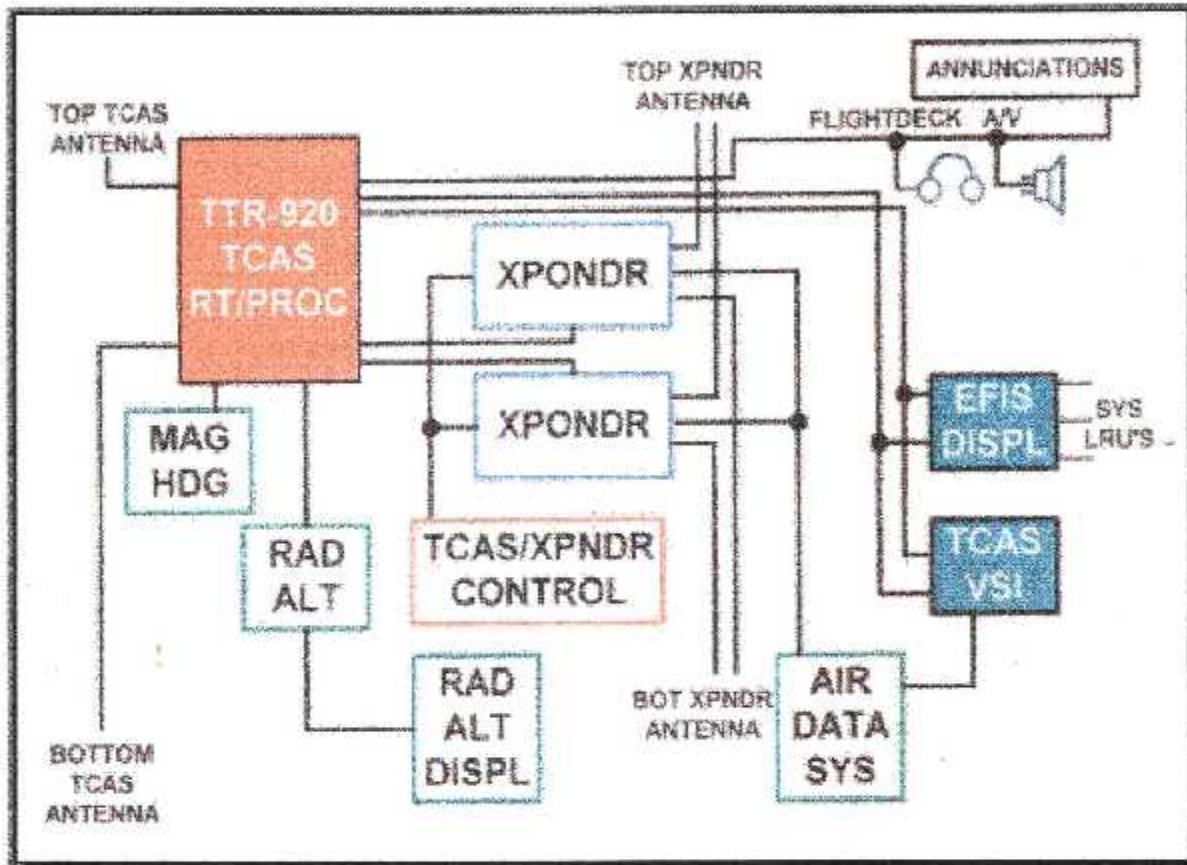


Fig III-1 : Schéma synoptique du fonctionnement mode S / TCAS

III-1-1 L'adresse du mode S :

Chaque aéronef est assigné à une adresse unique du mode S. Le « S » est pour l'adresse de sélection. Cette adresse est acheminée à une haute tension vers les lanières de connexions dans le processus TCAS. L'adresse du mode S a été établie par la FAA et ne sera pas changer parce qu'elle a été assigné par un suivi spécifique de nombre. L'adresse du mode S consiste en 8 « détection d'espace ». chaque « détection d'espace » a une portée valide de 0 à 7. Il en résulte plus de 16 millions d'adresse du mode S unique ce qui est suffisant pour tous les aéronef dans le monde pour qu'ils conservent leurs propre adresse du mode S unique.

III-1-2 Transpondeur mode S :

Au début de l'année 1990, l'ATCRBS "Air Traffic Control Radar Beacon System" commence à être remplacé par le Système Radar de Surveillance Secondaire « SSR » qui communique en mode S ; bien que les fréquences d'interrogation (1030 MHz) et des réponses (1090 MHz) n'ont pas changé, le système mode S est un nouveau concept de surveillance avec de nouvelles méthodes d'interrogation et modulation.

Le principal avantage de la technologie du mode S est la réduction majeure des interférences obtenue en utilisant l'adresse mode S unique de la sélection d'interrogation mode S équipée dans l'aéronef. Un autre rôle principal du transpondeur mode S est qu'il soit le support des opérations du TCAS II. Le transpondeur mode S fournit les coordinations air-air par le rapport de données ainsi que les manœuvres d'évitement de collision complémentaires qui sont émises par les deux aéronefs.

Les transpondeurs mode S transmettent des signaux de réponses supérieures chaque seconde, ils contiennent l'adresse du mode S unique. Le signal fait appel au « squitter », il annoncera la présence des aéronefs intrus pour tous les aéronefs TCAS dès qu'il reçoit le signal squitter à 1090MHz par leurs antennes directionnelles. Pour les aéronefs qui sont équipés du transpondeur mode S mais qui ne sont pas dotés du système TCAS, le signal fait toujours appel au « squitter » à chaque fois que le transpondeur mode S le permet. Le « squitter » n'est pas visualisé ou utilisé par l'ATC (Air Traffic Control) contrôlé au sol.

Le « squitter » est utilisé uniquement par le système TCAS II équipé à bord de l'aéronef.

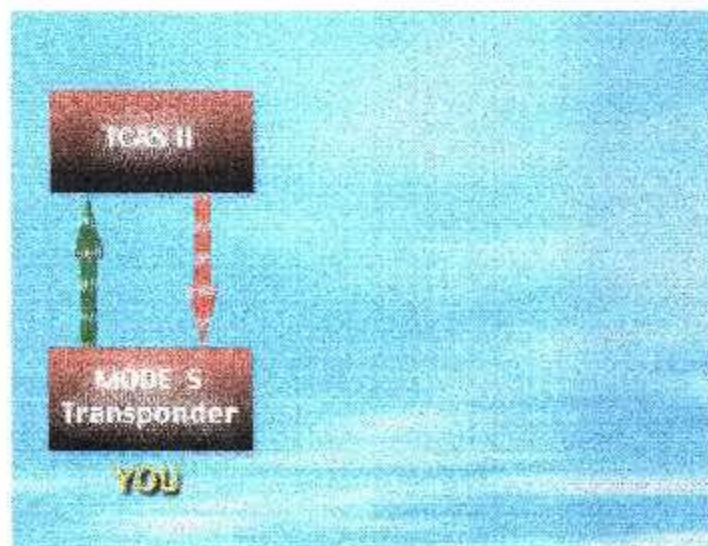


Fig III-2 : Communication

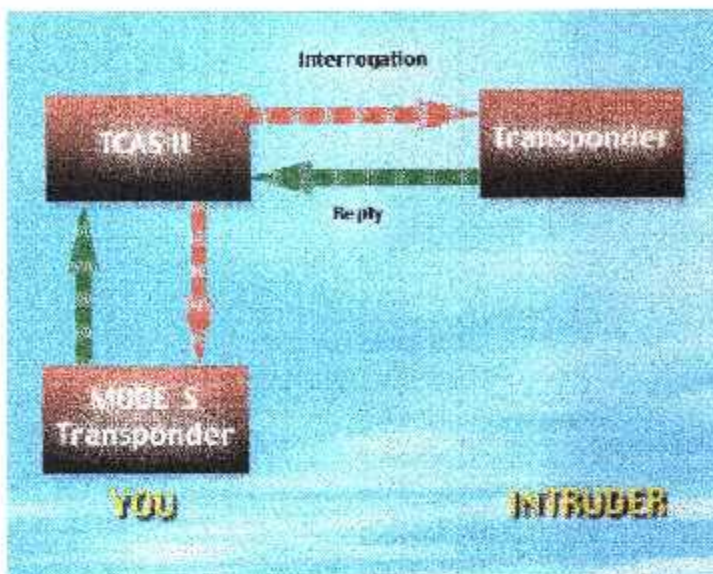


Fig III-3 : Suite de communication

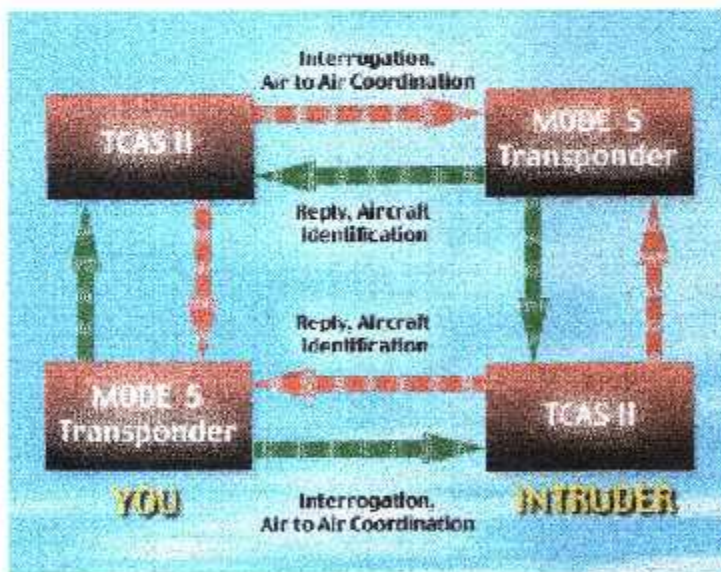


Fig III-4 : Suite de communication

III-1-3 Antenne directionnelle TCAS :

Le système TCAS II utilise deux antennes directionnelles montées en haut et au bas de l'aéronef. Chaque antenne est utilisée pour transmettre et recevoir. La majorité de temps le système TCAS est en mode surveillance passive (l'écoute). la majorité des processus du signal (approximativement 80 % sont accomplis par l'antenne directionnelle du haut (Top Antenna).

Les antennes transmettent des interrogations à 1030 MHz et reçoivent les réponses à 1090 MHz ou les signaux du squitter.

Les antennes directionnelles du système TCAS ont un concept suffisamment simple, leur conception et développement ont permis de réaliser le système TCAS. Quand le radar ATC au sol a un rayon de $2,5^\circ$ et quatre temps typiques de rotation par seconde, les antennes TCAS n'ont pas des parts de mouvements et des circuits existants. Au lieu de cela, les antennes ont des dispositifs électroniques passifs qui divisent les 360° d'azimut en quatre quadrants de 90° . Le système électrique gouverne les adresses d'antenne chaque quadrant dans une séquence fixée qui alterne entre l'antenne du haut et l'antenne du bas (haut frontal, haut à gauche, haut à droite, haut arrière, bas frontal, bas à gauche, bas à droite, bas arrière) selon le contrôle du processus TCAS et il vibre occasionnellement comme une antenne omnidirectionnelle.

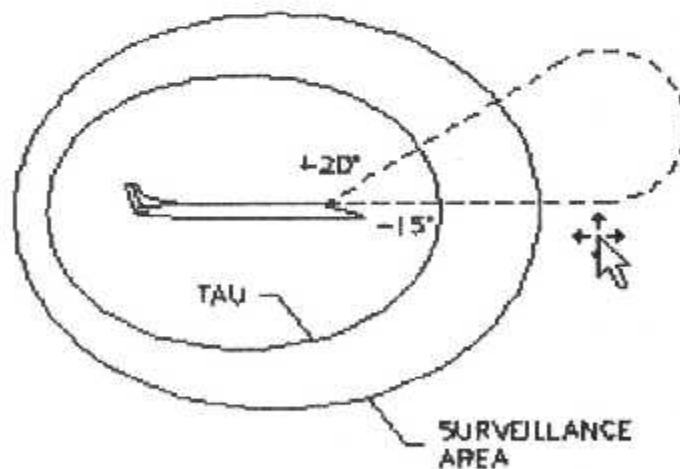


Fig III-5 : Etendu de surveillance de l'antenne directionnelle (vue de profil)

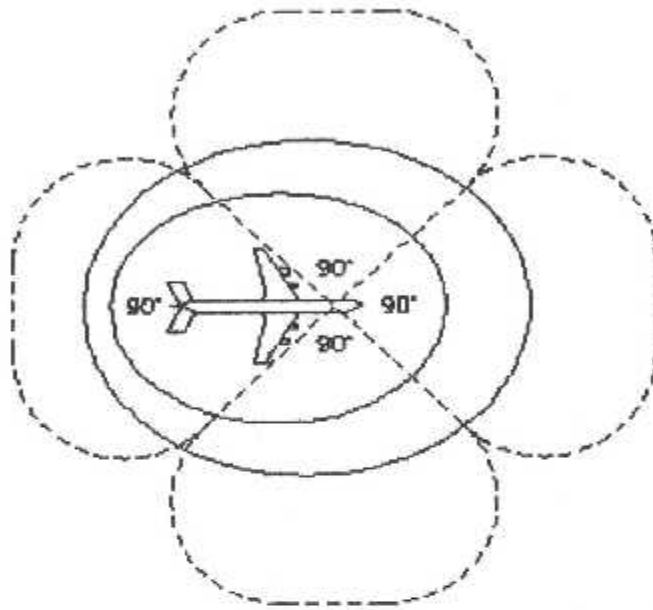


Fig III-6 : Les quatre quadrants formant les 360° d'azimut

III-2 INTEROPERABILITE DU SYSTEME TCAS :

Tous les systèmes TCAS estiment la conception et le type qui doivent être capable d'interopérer. Le système TCAS doit toujours être compatible avec tous les types de transpondeurs, ce qui inclut Air Traffic Radar Beacon System (ATCRBS) mode A et mode C en plus du mode S.

Le tableau ci-dessus montre l'existence de compatibilité entre le système TCAS et les transpondeurs le niveau de la génération d'avis qui peut être émis par l'aéronef TCAS, pour la configuration de chaque aéronef intrus est monté aussi. On note que si un aéronef intrus n'est pas équipé de transpondeur (XPNDR), il est invisible au système TCAS. Parce que les transpondeurs mode A ont un rapport « non-altitude » (pas de rapport d'altitude), l'information qui est soustrée de la surveillance TCAS est limitée dans l'utilisation de l'évitement de collision.

Le système TCAS est contraint d'assumer les cibles aux « non-reporting altitude : pas de rapport d'altitude » se trouvant au même niveau de vol que l'aéronef TCAS, par conséquent, il ne peut généré des avis de résolution. La circulation avec le « non-reporting altitude: pas de rapport d'altitude » est suspendue quand l'altitude de l'aéronef TCAS est au-dessus de 14500 pieds MSL.

On note que l'avis de résolution ne peut être généré pour l'aéronef intrus équipé due au transpondeur mode A avec « non-altitude reporting : pas de rapport d'altitude ». Les deux autres avis TA et RA sont générés pour toutes les autres configurations des aéronefs intrus.

Quand l'aéronef TCAS et l'aéronef intrus sont tous deux équipés du système TCAS rapport de données TCAS-TCAS permettent la coordination des manœuvres verticales d'évitement de collision pour les deux aéronefs dans la réponse d'avis de résolution. L'aéronef ayant le plus petit nombre d'adresse mode S contrôle cette coordination.

Configuration de l'aéronef TCAS	Configuration de l'aéronef intrus					
	Pas de XPNDR	Mode 3 A	Mode C	Mode S	TCAS I	TCAS II
TCAS I	aucun	TA	TA	TA	TA	TA
TCAS II	aucun	TA	TA/RA	TA/RA	TA/RA	TA/RA et coordination TCAS-TCAS

Tableau III-1 : Introperabilité TCAS-Avis TCAS

III-2-1 TAU :

Le système TCAS n'exécute pas l'évitement de la collision en se basant sur la portée de l'aéronef intrus à la portée de l'aéronef TCAS. Le concept de l'évitement de collision du système TCAS est basé sur l'expression du TAU qui est le rapport de la portée de l'aéronef intrus sur le taux de la portée.

La meilleure façon de visualiser le TAU, est, d'entourer chaque aéronef équipé du système TCAS de deux enveloppes en forme d'ellipse, l'une dans l'autre, et de résonner pour ces deux enveloppes de trois espaces dimensionnels comme pour les volumes de temps. Ces volumes de temps représentent le plus petit volume de l'espace aérien. Beaucoup de volumes de surveillance plus grand définissent les hors limites de capacité de poursuite des intrus par le système TCAS pendant que les volumes TAU, les plus petits entourant l'aéronef représente les seuils d'avis de circulation TA et d'avis de résolution RA tel qu'ils sont montrés dans les différentes figures.

Quand l'aéronef intrus pénètre dans la zone extérieure de limite de TAU (seuil d'avis de circulation TA), une alerte visuelle et vocale d'avis de circulation TA est émis à l'équipage de vol. Lorsque l'avis de circulation TA est émis, il n'y a pas recommandation de manœuvre d'évitement mais l'aéronef intrus devrait être localiser visuellement et suivi.

Quand l'aéronef intrus pénètre dans la zone intérieure de limites de TAU (seuil d'avis de résolution RA) un avis de résolution visuel et vocal est émis, il commande les manœuvres d'évitement verticales ou restreint les manœuvres verticales.

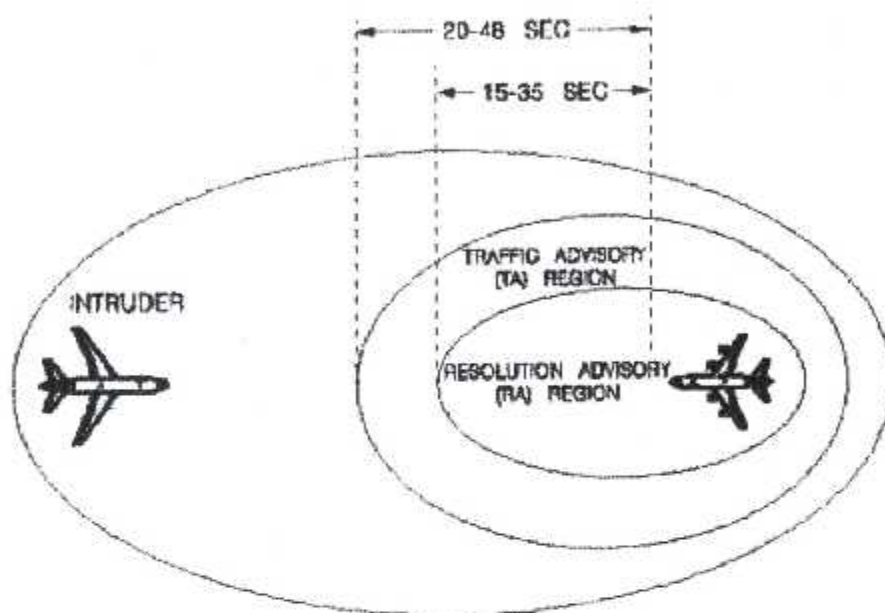


Fig III-7 : Limites de TAU

Comme le montre la figure ci-dessus, la zone extérieure représente la portée maximum de poursuite de volume de surveillance. TAU est représenté par des régions d'avis de circulation TA et d'avis de résolution RA cernant l'aéronef TCAS. L'avis de circulation TA est émis pour permettre à l'équipage de vol d'entreprendre les manœuvres d'évitement appropriées en 20 à 48 secondes. Comme le potentiel de la menace de l'aéronef intrus augmente, un avis de résolution RA est émis pour permettre à l'équipage de vol d'entreprendre les manœuvres d'évitement appropriées en 15 à 35 secondes.

Parce que l'espace aérien est en trois dimensions, la sélection aéronef au-dessus (Above) et au-dessous (Below) de l'aéronef doit être prise en considération. Parce que la plupart des aéronefs n'ont pas le même taux de montée et de descente, comme leurs vitesse avancée, l'enveloppe de TAU de l'aéronef au-dessus et au-dessous tend à être petite.

Comme la portée du taux de rapprochement augmente entre l'aéronef TCAS et l'aéronef intrus, la forme ellipse de l'enveloppe TAU s'élargit tant que le temps de TAU fixé n'est pas violé.

Exemple : quand la formule de TAU ($TAU = \text{Portée} / \text{Taux de portée}$) est constitué comme on l'a montré au-dessus, on remarque le rapport de relation de la portée du taux à l'enveloppe TAU. Dans l'exemple le niveau de sensibilité d de l'aéronef TCAS est de 2, lequel établit le temps de TAU de l'avis de circulation TA fixé à 20 secondes. On note que les niveaux de sensibilités ajustent les seuils d'avis de circulation et de résolution TA/RA basés sur l'altitude de l'aéronef TCAS.

$$\tau \text{ (seconde)} * \text{Taux de Portée (NM/seconde)} = \text{Portée (NM)}$$

$$20 \text{ (seconde)} * \text{Taux de Portée (NM/seconde)} = \text{Portée (NM)}$$

On remarque que la Portée augmente (↑) avec le temps de TAU fixé et le Taux de Portée qui augmente (↑).

La Portée représente les limites de l'enveloppe TAU.

III-2-2 Sensibilité :

Le temps de TAU pour les avis de circulation TA et les avis de résolution RA est variable (20-48 secondes pour TA, et 15-35 secondes pour RA). Dans un niveau de vol bas, les aéronefs sont généralement dans un espace réduit cerné où la séparation est minime.

Le système TCAS est la conception stricte et juste des seuils d'avis de circulation TA et de résolution RA et la réduction efficace du volume de TAU à des altitudes plus basses.

On a tendance à penser que l'équipage de vol a besoin de plus de temps de TAU à des altitudes basses, et un temps plus large pour les alertes afin de pouvoir réagir aux avis de circulation TA et résolution RA, spécialement quand le potentiel de collision est grand ; néanmoins, il est important de se rappeler que les vitesses aériennes au-dessous de 10.000 pieds sont limitées à 250 nœuds et que le taux de rapprochement exigé n'excéderait jamais 500 nœuds. Le plus lent taux de rapprochement demande moins de temps TAU pour les alertes.

Il est aussi important, dans une grande surface de trafic, à une basse altitude, il n'y a pas de génération d'avis de résolution pour les intrus, à moins qu'ils soient équitablement rapprochés. Autrement, l'équipage de bord n'a pas seulement les nuisances des avis de résolution, mais les manœuvres correctives verticales basés sur les intrus plus distants (quand le TAU est plus grand) pourraient causer un conflit avec un autre aéronef qui se trouve aux alentours.

Comme cela a été montré dans la figure ci-dessus, le temps TAU d'un avis de circulation est de l'ordre de 20 à 48 secondes. Le temps TAU d'un avis de circulation TA réel est basé sur l'altitude de l'aéronef là où la menace se trouve. La logique du système TCAS II divise l'espace aérien en des couches d'altitudes et des seuils de sensibilités différents pour l'émission des avis de circulation TA et résolution appliquée à chaque couche d'altitude.

Au-dessous de 1000 pieds (niveau de sensibilité est de l'ordre de 2 l'avis de circulation TA serait émis avec un temps TAU de 20 secondes. Si l'aéronef est en croisière au-dessus de 30.000 pieds (niveau de sensibilité de l'ordre de 7) quand la densité du trafic aérien tend à devenir faible, mais les taux de rapprochement sont plus élevés, l'enveloppe TAU est agrandie et l'avis de résolution serait émis avec un temps TAU de 48 secondes.

Le tableau suivant liste les temps d'alerte basés sur le niveau de sensibilité. Le niveau de sensibilité de l'ordre 1 correspond au TCAS en stand-by due à l'action de l'opérateur ou à la défaillance de l'équipement.

Le niveau de sensibilité de l'ordre 3 n'est pas utilisé.

Altitude	sensibilité	Temps d'alarme TA	Temps d'alarme RA
0 - 1000 pieds	2	20 secondes	Pas de RA
1000 - 2350 pieds	3	25 secondes	15 secondes
2350 - 5000 pieds	4	30 secondes	20 secondes
5000 - 10000 pieds	5	40 secondes	25 secondes
10000 - 20000 pieds	6	45 secondes	30 secondes
20000 - 42000 pieds	7A	48 secondes	35 secondes
Au-dessus de 42000 pieds	7B	48 secondes	35 secondes

Tableau III-2. Les niveaux de sensibilité et des temps d'alarme TA/RA

Les avis de circulation TA et les avis de résolution RA sont générés quand le système TCAS estime que si le taux de rapprochement courant est maintenu à une distance qui manque de sécurité minimum entre l'aéronef TCAS et l'aéronef intrus serait violé. Les distances qui manquent de sécurité sont aussi affectées par les niveaux de sensibilité.

III-2-3 Interrogations TCAS/séquences de réponses :

Dans cette partie, on va expliquer comment le système TCAS est équipé dans un aéronef, de quelle manière il acquit et poursuit les aéronefs intrus ayant des configurations d'équipement différentes. Cette étude inclut aussi la coordination de rapport de données air-air entre aéronefs équipés du système TCAS.

III-2-3-1 TCAS II - mode A : Le TCAS II parvient à acquérir les intrus équipés de transpondeur mode A par une interrogation « appel général » mode C. Le TCAS II n'interroge pas en mode A, parce que l'intrus mode A répond à « appel général » mode C qui contient la donnée « non altitude » (il inclut aussi « pas de poussée »), ce qui fait que le système TCAS ne peut générer des manœuvres d'évitement verticales de collision parce qu'il est forcé d'assumer la présence de l'aéronef intrus à la même altitude relative de l'aéronef TCAS.

Le TCAS peut dériver la portée de l'aéronef intrus et le relèvement de la réponse mode A en mesurant le temps entre l'émission de l'interrogation et la réception de la réponse, et en détectant le rapport de phase du signal de réponse reçu par les antennes directionnelles. L'information est utilisée pour la poursuite et l'affichage de l'intrus mode A comme l'intrus pas de rapport d'altitude.

III-2-3-2 TCAS II - mode C : Le TCAS II parvient à acquérir les intrus équipés du transpondeur mode C par l'interrogation « appel général » mode C. Le TCAS II reçoit l'information de l'altitude de l'aéronef intrus par la donnée codée dans la réponse mode C. Le TCAS dérive aussi la portée de l'aéronef intrus et le relèvement en mesurant le temps entre l'émission de l'interrogation et la réception de la réponse, et en détectant le rapport de phase du signal de réponse reçu par les antennes directionnelles. Le TCAS utilise cette information pour poursuivre et afficher l'aéronef intrus équipé du transpondeur mode C en incluant l'altitude

relative et la dernière désignation de l'altitude, et de générer les avis appropriés pour l'évitement de collision.

III-2-3-3 TCAS II - mode S : L'étude suivante s'applique aux aéronefs intrus équipés de transpondeur mode S ou des aéronefs intrus équipés de transpondeur mode S/TCAS II. Si l'aéronef intrus et l'aéronef TCAS sont tous deux équipés du système TCAS et que tous les deux représentent une menace de collision l'un pour l'autre, la coordination de TCAS à TCAS par le rapport de donnée est établie. Cette coordination de rapport de données air-air assure des manœuvres d'évitement complémentaires performantes pour les deux aéronefs.

Le TCAS II parvient à acquérir les intrus équipés de transpondeur mode S ou de transpondeur mode S /TCAS II en recevant un signal « squitter » de l'intrus sur l'antenne directionnelle TCAS.

Tous les transpondeurs mode S transmettent la réponse « squitter » à une fréquence 1090 MHz sur le transpondeur normal. Quand le « squitter » (appel aussi au format descendant 11 ou DF=11) est reçu par l'antenne directionnelle TCAS, le TCAS interroge sélectivement les aéronefs intrus équipés de transpondeur mode S utilisant l'adresse mode S unique des intrus.

L'interrogation envoyée en un format montant 0 (UF = 0) pour identifier l'adresse mode S de l'aéronef TCAS et demander à l'aéronef intrus équipé du transpondeur mode S de répondre avec l'information de l'altitude et l'information que l'intrus soit équipé ou pas du système TCAS.

Le TCAS II reçoit la réponse de l'aéronef intrus (envoyé en DF = 0 ou UF = 0), et note est ce que l'intrus équipé du transpondeur mode S comprend le système TCAS, si c'est le cas la « coordination air-air » deviendrait nécessaire. La réponse DF = 0 inclut aussi l'altitude de l'aéronef intrus.

La portée de l'aéronef intrus et le relèvement sont déterminés en mesurant le temps entre l'émission de l'interrogation et la réception de la réponse et en détectant le rapport de phase du signal de la réponse reçue par l'antenne directionnelle.

Le système TCAS utilise l'information de l'altitude de l'aéronef intrus pour le suivi des interrogations, pour poursuivre et afficher l'aéronef intrus équipé du transpondeur mode S ou du système TCAS en incluant l'altitude relative et la dernière désignation de l'altitude et pour émettre les avis appropriés pour l'évitement de collision.

III-2-3-3 TCAS II – TCAS II « Coordination air-air » :

Si l'aéronef TCAS et l'aéronef intrus sont tous deux équipés du système TCAS et représentent une menace de collision l'un pour l'autre, les interrogations UF = 0 /DF = 0 et les formats de réponses étudiés précédemment sont remplacés par la coordination de rapport de données air-air de TCAS à TCAS en utilisant UF = -16 et DF = -16 rapport de montée/rapport de descente. Le processus TCAS analyse dans chaque aéronef d'autres données de réponse d'aéronef acheminées du transpondeur mode S par les bus de données sur l'aéronef. Le rapport de données établi qui contrôlerait les manœuvres d'évitement (le plus petit nombre d'adresse mode S) et assure aux deux aéronefs la génération de manœuvre verticale d'évitement de collision complémentaire.

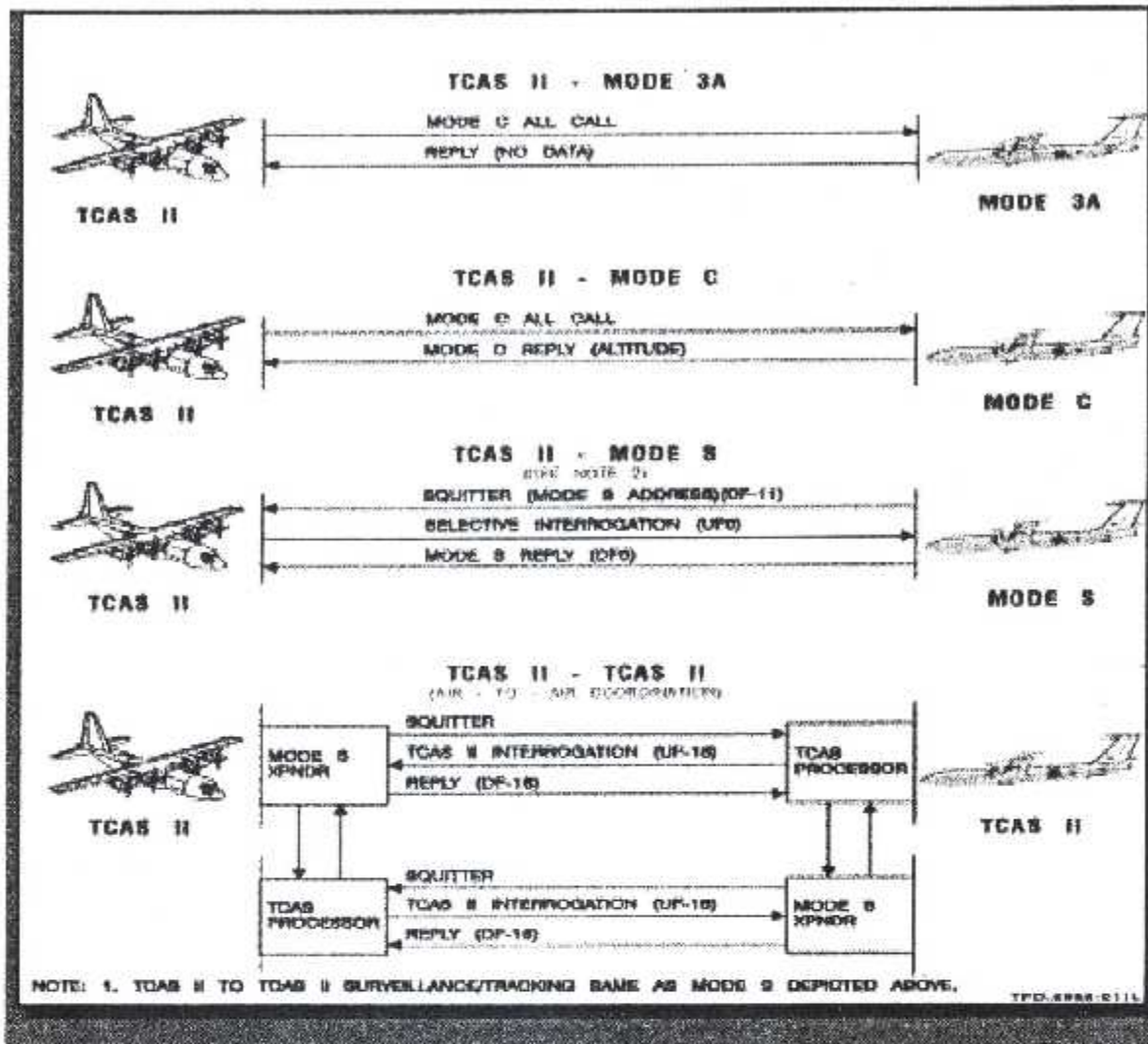


Fig III-8 : Séquence réponse/ interrogation TCAS

III-3 REDUCTION D'INTERFERENCES TCAS :

Depuis le développement de l'ATCRBS (Air Traffic Control Radar Beacon), les interrogateurs basés au sol ont été le sujet d'interférence connus tel que le brouillage et le fruit. Parce que les interrogations du TCAS II sont sujet au même problème de brouillage et de fruit qui embrouille l'ATC (Air Traffic Control) basé au sol, le TCAS utilise les techniques de réduction d'interférences pour résoudre le problème. Ceci a une grande importance pour les surfaces de circulation condensées.

III-3-1 Brouillage :

Souvent l'interférence des temps est causé, par les réponses multiples de différent transpondeur à une seule interrogation, se produisant au même moment. Cela se produit quand les transpondeurs d'aéronef sont à des distances égales de l'interrogateur. Parce que ces réponses se produisent à un rapport de temps fixé avec la source de l'interrogation, elles paraissent être synchronisées et sont par conséquent envoyées comme une interférence synchronisée ou comme le brouillage.

III-3-2 Fruit :

Quelques réponses sont des réponses non désirées comme celles qui résultent de l'interrogation par un autre aéronef où le rapport de surveillance des espaces est chevauché. Ces réponses non demandées causent des interférences quand elles sont reçues au même moment comme une réponse synchronisée valable à une interrogation locale. Ce type d'interférence est appelé « Fruit ».

III-3-3 Whisper Shoot :

Le système TCAS utilise une technique de réduction d'interférence appelée « Whisper Shoot » pour limiter les interférences associées à l'interrogation « appel général » avec l'ATCRBS (Air Traffic Control radar Beacon) mode A/C. Il réduit le nombre de transpondeurs répondant à l'unique interrogation « Whisper Shoot » à un nombre raisonnable en séparant les interrogations. Il réduit aussi l'interférence avec le radar de surveillance secondaire ATC au sol. Whisper Shout n'est pas appliqué aux interrogations sélectionnées en mode S.

Durant la séquence Whisper Shoot, le processus TCAS émet séquentiellement quatre rayonnement directionnels de 90° par les extrémités des antennes directionnelles du haut et du bas des aéronefs. Une fois par seconde, le système TCAS génère un cycle à travers 24 mesures de séquences Whisper Shoot où la puissance de sortie en association avec les pulsations de suppression sont augmentés. L'utilisation du Whisper Shoot à chaque transpondeur de l'aéronef répondrait probablement aux deux interrogation « appel général » de ATCRBS mode A/C avant d'être interrompu par la suppression de pulsation rayonnée dans une troisième interrogation. Chaque succession d'interrogation est transmise légèrement à des niveaux de puissance plus élevées et le récepteur de sensibilité MTL du système TCAS est en augmentation. En contrôlant le niveau de sortie de puissance et en correspondant le récepteur de sensibilité, le processus divise la couverture de l'espace aérien dans des « coffres de portée » qui est en mouvement à l'extérieur avec chaque interrogation de l'ATCRBS.

III-4 SURVEILLANCE DU SYSTEME TCAS :

Le système TCAS contrôle constamment d'autres aéronefs à la portée d'une certaine distance de l'aéronef TCAS en recevant « le squitter » des transpondeurs mode S ou en interrogeant leurs transpondeurs mode A/C. Cette fonction du système TCAS est appelée « Surveillance ».

Les aéronefs intrus dotés de transpondeur mode A/C ou mode S sont placés dans « poursuite » par le système TCAS et sont affichés à l'opérateur en association avec les affichages TCAS.

La poursuite des interrogations dans le format mode S ou mode C sont utilisées pour les garder dans la poursuite. Le système TCAS poursuivrait plus de 145 aéronefs intrus mais seulement les 30 dont le potentiel de menace est le plus élevés qui sont affichés.

Après analyse des informations recueillit par les réponses aux interrogations, le système TCAS classifie les intrus par catégorie de menace tel que « Non Threat », « Proximity », « Traffic Advisory », ou « Resolution Advisory ». le système TCAS fournit des avis visuels et oraux à l'équipage de bord.

III-4-1 Volume de surveillance :

La zone de couverture de l'aéronef TCAS lequel est en mode A, C ou S est représenté en trois dimensions, où les intrus qui sont équipés du TCAS II peuvent acquérir et poursuivre. Les volumes de surveillance ont des limites mais sont affectés par plusieurs facteurs, tel le niveau d'atténuation du signal, motif de rayonnement de l'antenne et le type d'interrogation.

Les volumes de surveillance TCAS dans le plan horizontale (à définir comme un volume de distance franchissable) sont montrés dans différentes figures ci-dessous.

Dans le mode normale de couverture des surveillances, les volumes de surveillance sont dans des zones qui sont directement devant l'aéronef qui se situe à plus de la distance approximative de 30NM. Ceci est envisageable quand le taux de rapprochement de l'aéronef intrus est élevé au maximum.

Les zones de surveillance de chaque face et à l'arrière de l'aéronef sont petites, par ce que le taux de rapprochement de l'appareil intrus en ces directions sera considérablement moindre.

Les volumes de surveillance dans le plan verticale sont définis comme des volumes de poursuite d'altitude. Le volume verticale au dessus et au dessous de l'aéronef quand le transpondeur équipé par l'aéronef est poursuivi par le système TCAS.

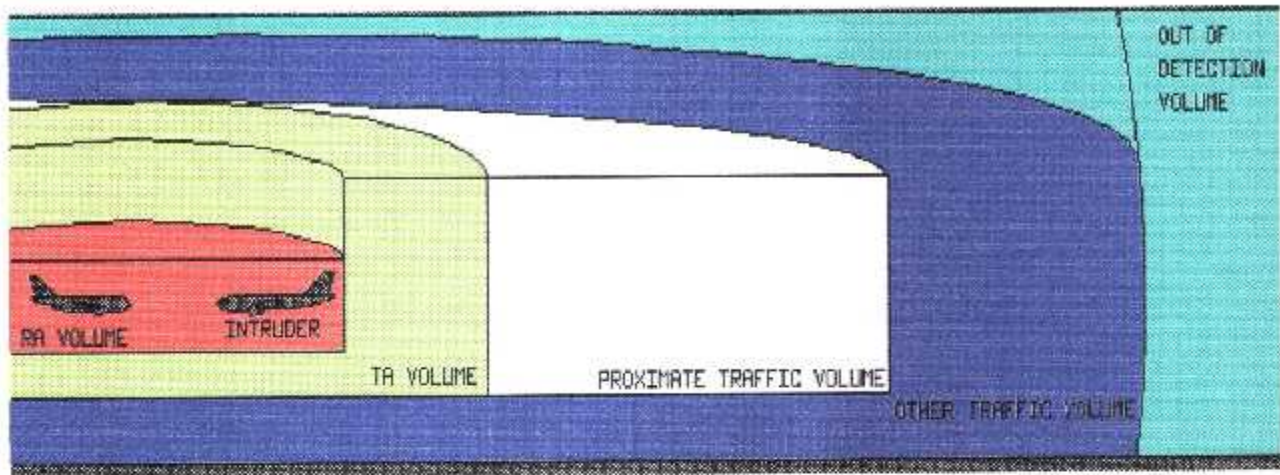
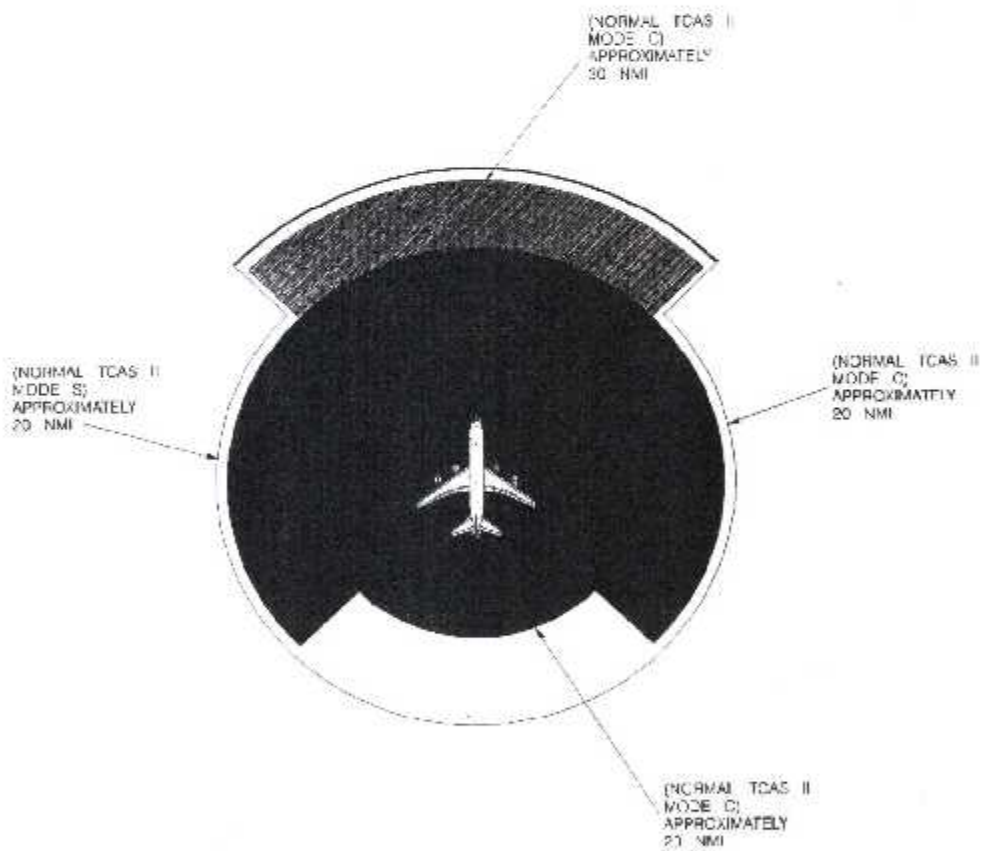


Fig III-9 : Les volumes de surveillance



TPD-7009

Fig III-10

III-4-2 L'Affichage des volumes :

Les volumes d'affichage affecte ce qui est représenté dans l'afficheur TVSI (TA Vertical Speed Indicator) et sont indépendant du volume de surveillance de déviation d'altitude.

Un opérateur peut sélectionner les volumes d'affichages verticales TCAS désirés (se reporter à l'enveloppe vertical) sur le TVSI. L'équipage sélectionnerais la position au-dessous « ABOVE » si l'information du potentiel de la menace des intrus est importante dans un petit volume au-dessus de l'aéronef et un volume d'affichage plus large au-dessous de l'aéronef comme au cours du décollage.

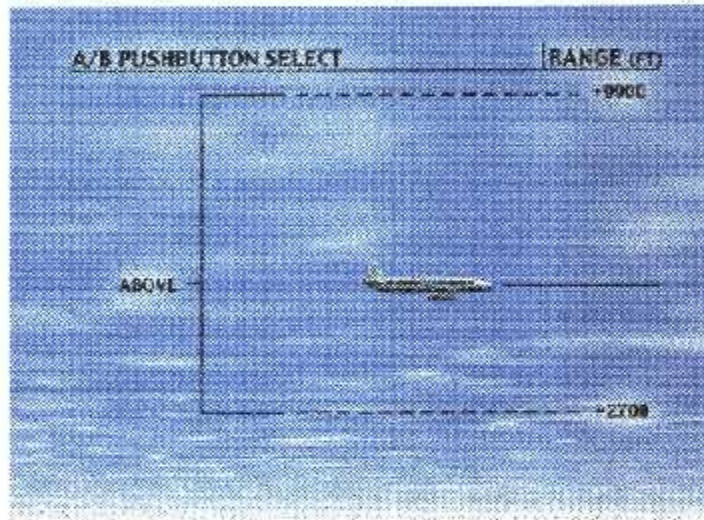


Fig III-11 : Sélection au-dessous « Above »

La sélection de « normal » (NORMAL) va indiquer le volume d'affichage qui centrerait l'aéronef TCAS avec un volume d'affichage égale à au-dessous et au-dessus de l'aéronef (utiliser spécifiquement dans les niveaux de vol).

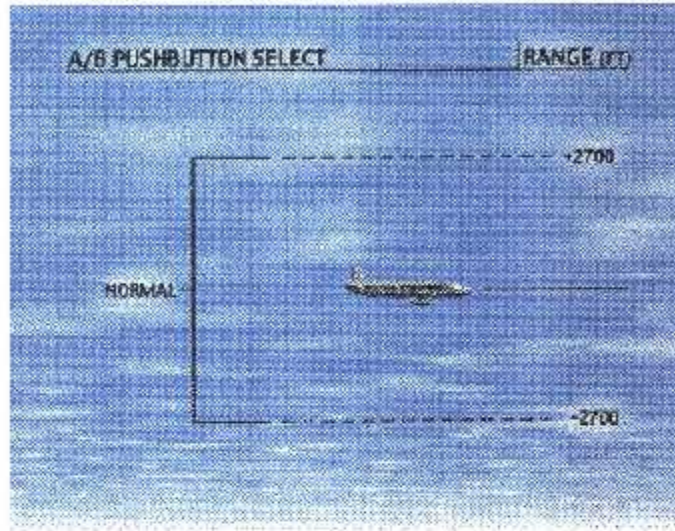


Fig III-12 : Sélection normale « Normal »

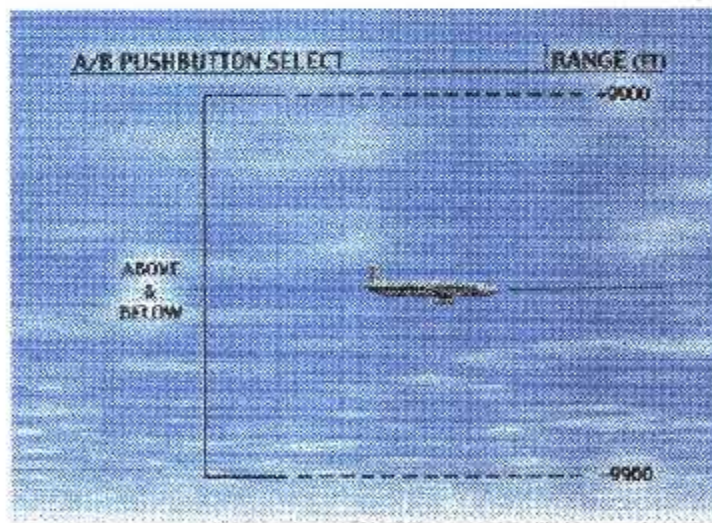


Fig III-13 : Sélection au-dessous et au-dessus

L'équipage sélectionnerait la position au-dessus « BELOW » si l'information du potentiel de la menace des intrus est importante dans un petit volume au-dessous de l'aéronef et un volume d'affichage plus large au-dessus de l'aéronef comme au cours de l'atterrissage.

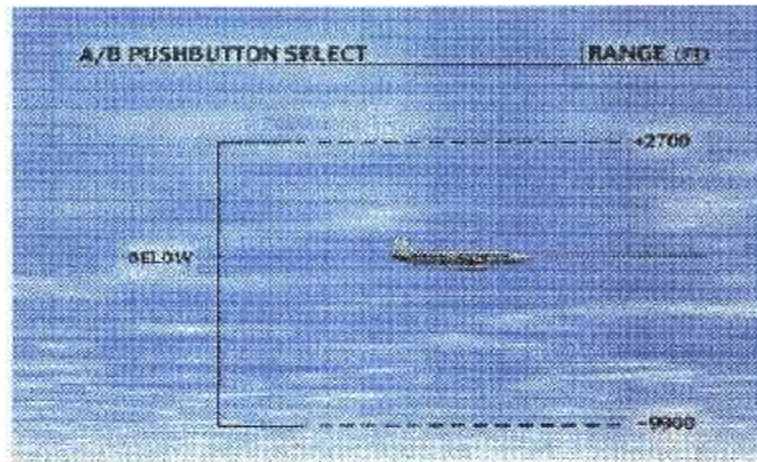


Fig III-14 : Sélection au-dessus/au dessous « Above/Below »

Les différentes figures montrent les relations retardantes où le volume d'affichage vertical pour le TCAS dans le TVSI. Cette figure n'est pas destinée à montrer l'affichage horizontal des volumes tel que allonger les lobes vers l'avant dans le TCAS II. Cette figure est destinée tel qu'une aide de visualisation pour comprendre les limites verticales des opérateurs qui sélectionnent les volumes d'affichage « au-dessous, au-dessus et normal » dans le TVSI.

III-4-3 R/T du TCAS :

La fonction principale du R/T TCAS II est de détecter et poursuivre les intrus, afficher ses positions et commander les manœuvres d'évitement par les signaux oraux et visuels quand elles sont indispensables.

Le TCAS peut poursuivre plus de 145 intrus mais ne peut afficher que les 30 dont le potentiel de menace est le plus élevé.

Le meilleur moyen d'imaginer le processus TCAS est de le simuler à un ATC station sol dont la puissance est minimale et qu'il soit installé dans l'aéronef. Contrairement, le transpondeur à bord de l'aéronef peut seulement répéter les interrogations, le processus TCAS peut interroger

d'autres aéronefs pour soutirer une quantité d'informations dépendantes de la manière dont l'aéronef ciblé est équipé.

Le TCAS répond aux interrogations du ATRCBS et du mode S. les interrogations du mode S sont sous forme (UF) reliés et sont transmises aux même fréquences (1030 MHz) qu'aux interrogations de l'ATC au sol. Les réponses du mode S aux interrogations du TCAS mode S sont appelées format (DF) reliés au sol et sont transmises à la même fréquence (1090 MHz) que les réponses du transpondeur ATC au sol. Le système TCAS peut trouver différentes informations basées sur les réponses de ces interrogations.

III-4-4 La portée :

Le TCAS définit la portée en mesurant le temps entre l'interrogation initiale et la réponse reçue. Le calcul de la portée est définie de la même manière que l'équipement de mesure de distance (DME).

Le rapport des intrus est utilisé seulement pour rehausser les connaissances des situations au pilote.

III-4-5 Le taux de rapprochement :

L'évitement de collision est basé sur le TAU. TAU utilise la portée de la cible et le taux de la portée pour déterminer le taux de rapprochement. TAU représente le temps minimum pour le besoin de l'équipage afin de distinguer la menace de collision et de donner l'avis d'évitement.

III-4-6 L'évitement :

L'évitement est définie à partir de la phase de transport de relation de réponse du signal dans les quatre éléments des antennes directionnelles du TCAS. Cette phase de transport de relation est calculée à l'intérieur par le processus TCAS. L'évitement n'est pas définie à partir des données contenues dans les réponses du signal et il n'est pas un facteur de performance de capacité d'évitement de collision dans le système.

III-4-7 L'altitude :

Le TCAS lit l'altitude reportée par le transpondeur mode C de l'intrus et compare l'altitude avec l'altitude de l'aéronef TCAS. L'information de l'altitude est utilisée pour déterminer le taux de montée ou le taux de descente basés sur les changements d'altitudes et afficher l'intrus, la flèche déviante indique le mouvement vertical de l'intrus (montée ou descente) à plus de 500 pieds par minute.

La plupart des commandes opérationnelles entrant dans le cerveau de contrôle de l'ATC/TCAS pour le contrôle TCAS ne sont pas envoyées directement au processus TCAS. Au lieu de cela, la plupart de ces signaux de contrôle test inclus sont acheminés au processus TCAS par le transpondeur mode S. Durant l'opération TCAS le transpondeur mode S sert de « messenger » pour la plupart des fonctions de contrôle TCAS.

La plupart des commandes de l'opérateur entre dans le Cerveau du Contrôle ATC/TCAS (Control Head TCAS/ATC) pour le contrôle TCAS ne sont pas envoyées directement au processus TCAS.

Le tableau suivant illustre la comparaison des modes de transpondeurs commerciaux et des modes de transpondeurs militaires :

Militaire	Commerciale	Description
Mode 1	N/A	Tactique militaire
Mode 2	N/A	Tactique militaire
Mode 3A	Mode A	4096 code « SQUWAK »
N/A	Mode B	En utilisation générale pas de longueur
Mode C	Mode C	Données d'altitudes codées
NA	Mode D	Tactique militaire énigmatique
Mode 4	N/A	En utilisation générale pas de longueur
Mode S	Mode S	Sélection interrogée par l'adresse du mode S

Tableau III-3 : Comparaison des modes transpondeurs M/C

III-5 Opération du TCAS II :

III-5-1 Description fondamentale des opérations du système TCAS :

Le système TCAS II est

- compatible avec et indépendant du système ATC
- détermine la présence des menaces existantes
- calcule les manœuvres évasives verticales appropriées
- fournit des affichages visuels et des annonces audio pour l'équipage
 - affichage de l'information position sur le CRT et ou sur le TA/VSI
 - affichage des instructions verticales sur le VSI
 - synthèse de la voix
- coordination des manœuvres de deux ou plusieurs avions équipés du système TCAS II par communication des transpondeurs mode S entre les avions.

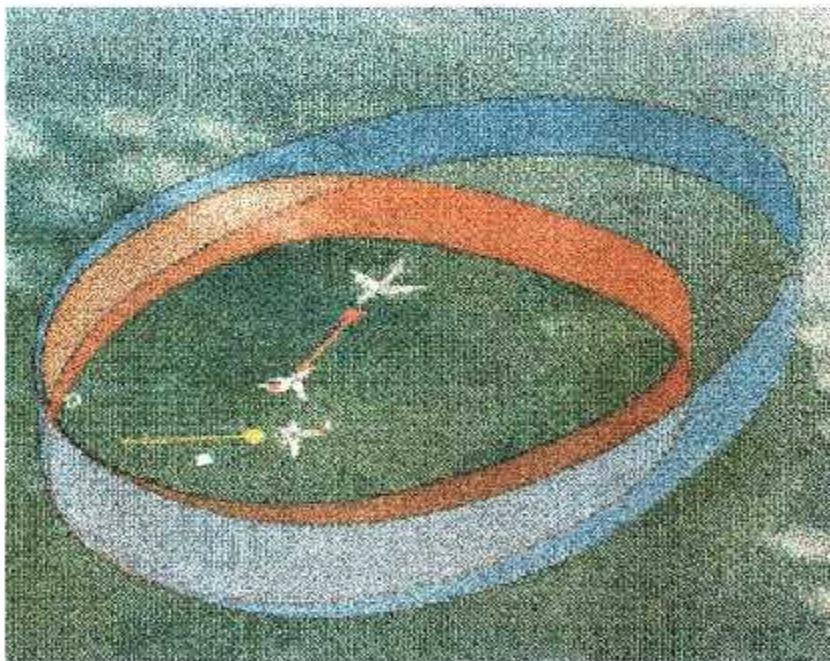


Fig III-15 : Aperçu des couvertures de génération des avis et leurs symboles

III-5-2 Opération du système :

III-5-2-1 Affichage des symboles de circulation du TCAS II :

Le TCAS II affiche 04 symboles différents du trafic pour l'animation et la génération des avis de circulations et des avis de résolutions. Les différents symboles représente : « Other Traffic : autre circulation », « Proximate Traffic, circulation approximative », « Avis de circulation, Traffic Advisories (TA) », et « avis de résolution, Resolution Advisories (RA) ». Tous les intrus, autres, approximatifs, TA et RA sont généralement affichés sur l'affichage VSI/TA/RA et l'indicateur EFIS ou IDS opérant dans le HSI ou dans le mode affichage navigation. Les commandes d'avis de résolution RA sont directement affichées dans l'affichage VSI/TA/RA, Radar Météo/Indicateur TCAS et l'indicateur EFIS ou IDS opérant dans le mode ADI ou Primary Flight Display PFD. D'autres indicateurs d'avis de circulation TA et avis de circulation RA peuvent être utilisés dépendamment des installations individuelles.

Les discussions suivantes utilise l'indicateur TVI-920 vertical speed (vitesse verticale)/TCAS pour montrer les affichages. Les symboles de circulation vont être similaires sur l'indicateur EFIS ou IDS.

Les types des symboles sélectionnés par le TCAS II sont basés essentiellement sur la position et le taux de rapprochement des intrus.

Les symboles changent de forme et de couleur afin de représenter les différents niveaux de menaces.

Les symboles de circulation peuvent également avoir en association une étiquette où est affichée l'altitude qui désigne l'altitude relative exprimée en centaines de pieds, elle indique soit l'intrus en montée, son niveau de vol ou l'intrus en descente.

+A sont des signes et des chiffres qui se positionnent sur les symboles et qui signifient que l'intrus est au dessus de l'aéronef TCAS.

- A sont des signes et des chiffres qui se positionnent sur les symboles et qui signifient que l'intrus est au dessous de l'aéronef TCAS.



Fig III-16 : Affichage des différents symboles pour les TA et RA

Une flèche directionnelle apparaît quant le taux de vitesse est de 500 pied par minute ou plus. S'il n'y a pas de chiffre pour l'altitude ou de flèche directionnelle qui apparaît au dessous de l'intrus donc il n'y a pas de rapport d'altitude « Non – Altitude Reporting » (NAR). Si le rapport de direction technique du TCAS II échoue à localiser l'azimut d'autres aéronefs, le message pas de rapport de circulation « No Bearing » apparaît sur l'écran ; on voit « NO BEARING TRAFFIC »

a) Hors échelle et pas de rapport de circulation :

Si l'intrus est hors de la portée de l'affichage de l'indicateur, le symbole associé à cet indicateur est montré partiellement dans la périphérie de l'affichage du rapport relatif de la cible, si l'aéronef circule dans la portée de l'affichage, le symbole va circuler dans l'affichage de la surface et sera un symbole plein.

Un avis de circulation TA ou un avis de résolution RA des intrus pour le TCAS ne peut programmer un rapport d'information, il sera montré sous forme d'un message textuel sur l'affichage de l'indicateur ; exemple : pour un avis de résolution RA due à un aéronef qui est en montée, à une distance de 1,4 miles et à 1000 pieds au dessous de l'aéronef TCAS le message textuel est « RA 1,4-10 ↑ ». le texte pour un avis de circulation TA est de couleur jaune et le texte pour un avis de résolution est de couleur rouge.

i- Circulation hors échelle :

La présence d'un avis de circulation TA ou un avis de résolution RA d'un aéronef est au-delà de la portée de l'affichage sélectionné, il est indiqué par une moitié de symbole de circulation qui sera positionné au bord de l'écran. la position de la moitié du symbole représente le rapport de l'intrus.



Fig III-17 : Affichage des symboles des TA et RA « circulation hors échelle »

ii- Pas de rapport de circulation :

Dans l'installation des deux antennes directionnelles du bas avec le train d'atterrissage, quand l'antenne omnidirectionnelle est installée au bas de l'aéronef, ou quand l'aéronef intrus est localisé mais le système TCAS ne peut déterminer l'azimut de l'intrus, l'avis de circulation TA ou l'avis de résolution RA est annoncé « No Bearing : pas de rapport ».

Si une circulation peut être localiser par seulement l'antenne du bas « NO Bearing : pas de rapport » sera affiché comme tel :



Fig III-18 : Affichage « No Bearing » TA ET RA

b) Pas de menace de trafic (No-threat traffic) :

Un losange blanc vide indique que l'altitude relative d'un intrus est supérieur à ± 1200 pieds ou bien la distance est au dessus de la portée de 6 NM donc il n'est pas considéré comme une menace. Le schéma ci-dessous représente un intrus qui est à 1700 pieds au-dessous de l'aéronef TCAS et dont la montée est à 500 pieds par minute ou plus.



Fig. III-19

c) Trafic d'intrus de proximité (Proximity intruder traffic) :

Un losange plein de couleur blanche indique que l'appareil intrus est à moins de 1200 pieds et à moins d'une portée de 6 NM, mais il est toujours pas considéré comme une menace. Le schéma ci-dessous représente un intrus qui est à 1000 pieds au-dessous de l'aéronef TCAS et dont la montée est à 500 pieds par minute ou plus.

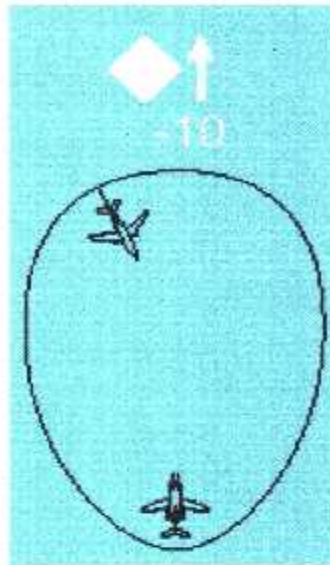


Fig. III-20

d) Avis de circulation (traffic advisory) :

Le symbole change en un cercle plein de couleur jaune, indique que l'appareil intrus est projeté à être une menace potentielle. Dépendamment de l'altitude de l'aéronef TCAS le TCASII donne un avis de circulation TA quand le temps de Closed Point of Approach (CPA) est compris entre 20 et 48 secondes. Le schéma ci-dessous représente l'affichage d'un intrus qui est à 800 pieds au-dessous de l'aéronef TCAS, et dont la montée est toujours de 500 pieds par minute ou plus. Une voix est entendue dans le cockpit annonçant « Traffic, Traffic ». Selon les conditions normales un avis de circulation TA va précéder un avis de résolution RA par 10 à 15 secondes suivant la position de l'aéronef TCAS.

Altitude (feet : pieds)	Temps de CPA en secondes
Au – delà de 1000 AGL	20
1000 – 2350 AGL	25
2350 AGL - 5000 BARO	30
5000 – 10000 BARO	40
10000 - 20000 BARO	45
20000 - Above : au-dessus du BARO	48

Tableau III-4 : Temps de CPA

L'équipage va tenter d'acquiescer un contact visuel de l'intrus et va se préparer à exécuter les manœuvres de l'avis de résolution RA qui va être annoncé 10 à 15 secondes plus tard.

L'équipage ne doit pas prendre d'initiative d'exécuter une action aventurière indépendante basée seulement sur l'affichage de circulation.

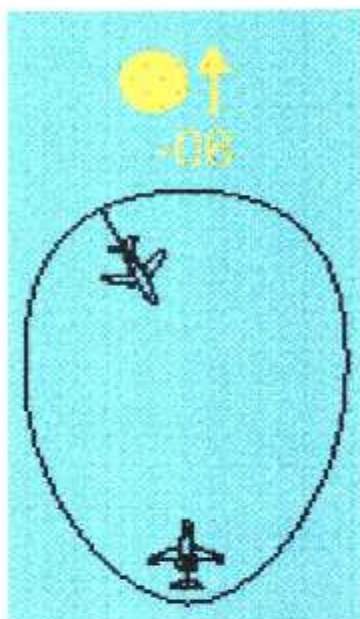


Fig. III-21

e) Avis de résolution (Resolution Advisory) :

Le carré rempli de couleur rouge indique que l'appareil intrus est projeté à devenir une menace de collision, lorsque l'intrus a atteint le point où un avis de résolution RA est indispensable. Le temps de la fin d'approche est compris entre 15 et 35 secondes dépendamment de l'altitude de l'aéronef TCAS. Le symbole apparaît en même temps qu'un avertissement audio approprié et une indication de manœuvre verticale sur le RA/VSI.

Altitude (feet : pieds)	Temps de CPA en secondes
Au-dessous de 900 AGL	Pas de RA si l'aéronef est en descente
Au – dessous de 1100 AGL	Pas de RA si l'aéronef est en montée
10000 – 2350 AGL	15
2350 AGL - 5000 BARO	20
5000 - 10000 BARO	25
10000 – 20000 BARO	30
20000 - au – dessus du BARO	35

Tableau III-5 : Temps de CPA

Le schéma ci-dessous représente l'affichage d'un intrus qui est à 600 pieds au-dessous de l'aéronef TCAS et dont la montée est toujours à 500 pieds par minute ou plus. Une voix de synthèse annonce les commandes de manœuvres tel que « Climb, Climb : Montez, montez ». Le pilote doit délicatement mais fermement entreprendre toute manœuvre verticale annoncée durant les 5 secondes (2,5 secondes pour un avis de résolution montant « Increase RA » ou un avis de résolution réversible « Reversal RA ») à partir du moment où l'avis de résolution est énoncé. L'altitude de l'aéronef intrus doit être rapportée dans l'ordre où l'avis de résolution est généré, par conséquent, le symbole de l'avis de résolution doit toujours avoir l'étiquette de l'altitude.

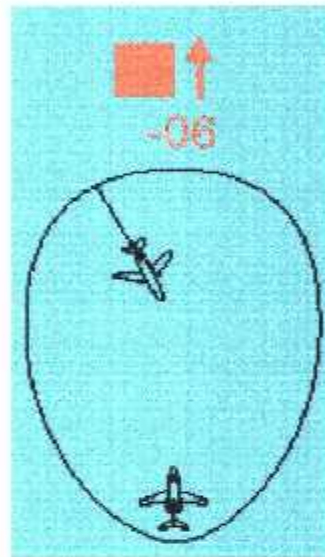


Fig. III-22

III-5-2-2 Affichage des avis de résolution :

Les symboles des manœuvres de guidance des avis de résolution RA sont de couleur rouge et les arcs superposés sur l'échelle de la vitesse verticale dans l'indicateur de vitesse verticale/TCAS sont de couleur verte. Sur l'indicateur EFIS/IDS PFD, un coin dont le contour est de couleur rouge donne la zone de départ de commande ; c'est l'équivalent de l'arc de couleur rouge dans l'indicateur de vitesse verticale/TCAS.

Deux types d'avis de résolution peuvent être affichés, l'avis de résolution préventif et l'avis de résolution correctif. L'avis de résolution préventif indique la portée de la vitesse verticale ou le volume qui est à éviter quand la trajectoire de vol présente est maintenue. L'avis de résolution correctif indique le changement nécessaire dans la trajectoire de vol en affichant la portée de la vitesse verticale ou la zone de départ pour l'orientation de la circulation. Chaque avis sert à assurer un maximum de séparation verticale entre l'aéronef intrus et l'aéronef TCAS.

On note que, quand le système TCAS opère dans le mode « TA-Only : avis de circulation seulement » il n'y aura pas d'affichage d'avis de résolution RA, cependant les symboles de la circulation pour l'aéronef qui causerait autrement un avis de résolution RA, seront affichés.

1- Avis de résolution préventif :

L'avis de résolution préventif est un avis de résolution qui est fourni quand le système TCAS a détecté l'existence d'une menace, mais le rythme de la vitesse verticale ou le volume de circulation va donner une séparation suffisante pour que l'intrus représente une menace.

Les conditions générales nécessaires, pour que cet avis soit émis, sont que l'aéronef intrus soit à la portée de 300 à 800 pieds d'altitude relative, la portée de séparation diminue et qu'il reste approximativement 25 secondes pour atteindre le point de CPA (Closest Point Of Approach : point de rapprochement maximal de deux aéronefs en conflit). L'affichage de l'avis de résolution va montrer un arc de couleur rouge représentant la vitesse verticale, ou la partie de la zone de commande indiquant la vitesse, ou les zones à éviter. L'équipage devra suivre sa propre vitesse verticale ou sa zone de vol ; d'autres mesures de commandes de manœuvres seront émises.

2- Avis de résolution correctif :

L'avis de résolution correctif est un avis de résolution qui est fourni quand le système TCAS détecte que l'équipage devrait changer de mesure de commande de manœuvre en changeant la vitesse verticale ou la zone de vol pour éviter un conflit.

Les conditions générales nécessaires pour que cet avis soit émis sont, que l'aéronef menaçant soit à une altitude relative de portée de 300 pieds, que la portée de séparation diminue, et qu'il reste approximativement 25 secondes pour atteindre le point de rapprochement maximal CPA.

Le système TCAS doit fournir à l'équipage avec des recommandations de vitesse verticale ou de zone de vol toute commande de monter ou de descente qui fournira à l'aéronef une séparation maximum pour atteindre le point de CPA.

L'avis de résolution correctif peut être représenté par un ou deux arcs de couleur rouge ou une partie de commande de zone de vol et d'un arc de couleur verte. Quelques affichages de l'indicateur EFIS/IDS vont montrer une couverture, comme l'avis de résolution préventif ; un arc de couleur rouge représente la vitesse verticale ou la portée de la zone de vol à éviter ou à circuler hors de ces limitations.

Approximativement dans les cinq secondes qui suivent l'émission des avis de résolution correctifs, le pilote doit exécuter les manœuvres de commandes. Les avis de résolution accentués « Increase Climb : augmenter la montée ou Increase Descent : augmenter la descente » ou les avis de résolution réversibles représentent des cas d'urgence et une fois émis, les manœuvres de commandes doivent être exécutées dans les deux secondes et demi qui suivent.

L'avis de résolution quel que soit préventif ou correctif peut passer à un avis de circulation TA quand l'aéronef menaçant commence à diverger de l'aéronef TCAS. Quand l'avis de résolution change en un avis de circulation, les arcs de manœuvre de guidance de la vitesse verticale IRA sont retirés et le message vocal « Clear Of Conflict » est annoncé.

III-5-2-3 Indications et messages vocaux annoncés :

1-Message vocal : Le message oral annoncé est « Monter, Monter »

"CLIMB, CLIMB"



Fig. III-23 : Affichage

Situation : L'aéronef intrus est près de 4 NM à 12 : 00 pile, 200 pieds au dessous de l'aéronef TCAS et du niveau de vol.



Fig. III-24 : Indicateur VSI

Réponse de l'équipage : Instantanément et délicatement, l'équipage établie une manœuvre de montée à une portée de 500 pieds par minute.

2- Message vocal : Le message oral est « maintenez la vitesse verticale, maintenez »

"MAINTAIN VERTICAL SPEED, MAINTAIN"



Fig III-25 : Affichage

Situation : Un aéronef intrus est près de 4 NM à 12 : 00 pile, 500 pieds au dessus de l'aéronef TCAS. Un autre intrus est à 500 pieds au dessous de l'aéronef TCAS. Les deux aéronefs sont à un vol à niveau.



Fig III-26 : Indicateur VSI

Réponse de l'équipage : L'équipage maintient le niveau de vol. il ne descend pas et, ne monte pas.

3- Message vocal : Le message oral est « contrôler la vitesse verticale »

"MONITOR VERTICAL SPEED"



Fig III-27 : Affichage

Situation : L'aéronef intrus est près de 4 NM à 12 : 00 pile , 600 pieds au dessous de l'aéronef TCAS et du niveau de vol.

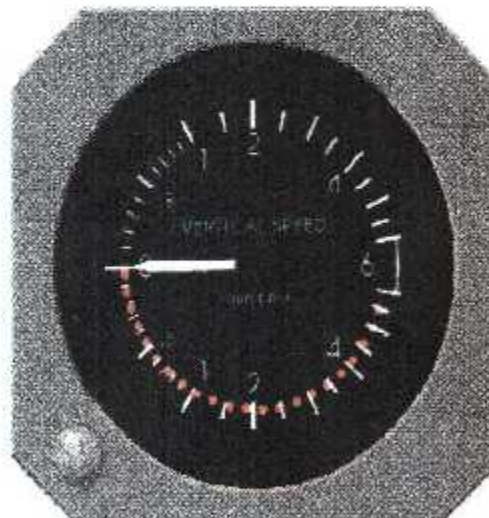


Fig III-28 : Indicateur VSI

Réponse de l'équipage : L'équipage ne doit pas descendre.

4- Message vocal : Le message oral est « trafic, trafic »

"TRAFFIC, TRAFFIC"



Fig III-29 : Affichage

Situation : Un aéronef intrus est devant à 12 : 00, au delà de 5 miles, 200 pieds au-dessous de l'aéronef TCAS.

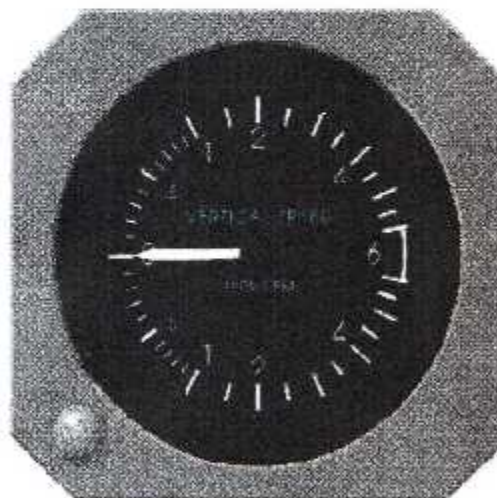


Fig III-30 : Affichage

Réponse de l'équipage : L'équipage ne doit pas manœuvrer lorsqu'il y a affichage des symboles de circulation, il doit tenter d'atteindre une acquisition visuelle d'intrus et va se préparer à manœuvrer si l'avis de circulation changes en un avis de résolution.

5- Message vocal : Le message oral est « maintenez la vitesse vertical, maintenez »



Fig III-31 : Affichage

Situation : L'aéronef intrus est devant de 4 NM , à 12 : 00 pile, 400 pieds au dessous de l'altitude de l'aéronef TCAS et du niveau de vol. l'aéronef TCAS est déjà en montée à 200 pieds par minute.

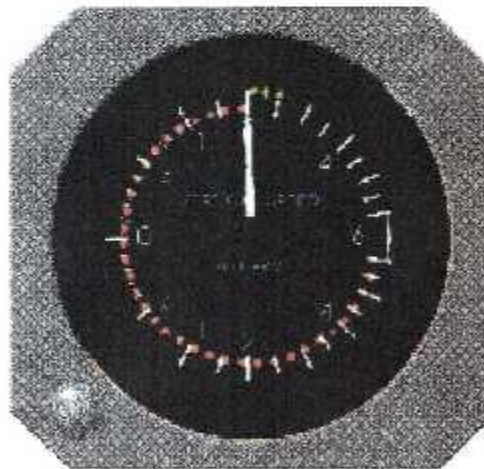


Fig III-32 : Indicateur TVSI

Réponse de l'équipage : L'équipage maintiens la montée au tau présent.

6- Message vocal : Le message oral est « descendez, descendez »

"DESCEND, DESCEND"



Fig III-33 : Affichage

Situation : Un aéronef intrus est devant près de 4 NM, à 12 : 00 pile, 200 pieds au dessous de l'aéronef TCAS et du niveau de vol.

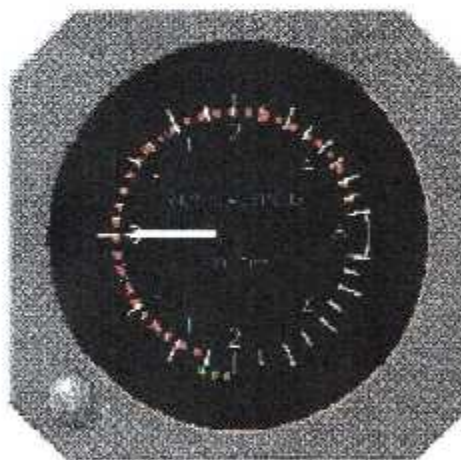


Fig III-34 : Indicateur TVSI

Réponse de l'équipage : Instantanément et délicatement, l'équipage établi un tau de montée de 1500 pieds par minute.

7- **Message vocal** : Le message oral est « maintenez la vitesse verticale, maintenez »



Fig III-35 : Affichage

Situation : Un aéronef intrus est devant à 12 : 00 pile, 500 pieds au dessous de l'altitude de l'aéronef TCAS. Un autre aéronef intrus est à 500 pieds au-dessus de l'aéronef TCAS. Chacun des deux aéronefs intrus est à un niveau de vol.

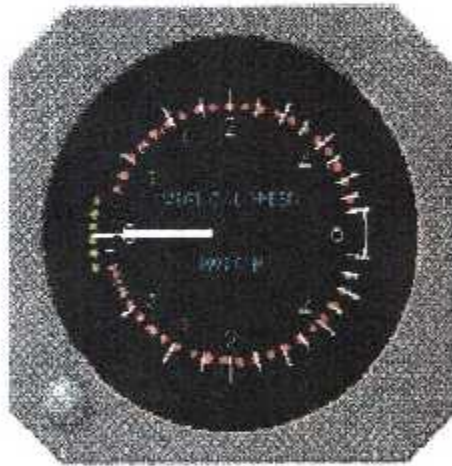


Fig III- 36 : Indicateur TVSI

Réponse de l'équipage : L'équipage doit maintenir le niveau de vol, il ne doit ni monter ni descendre.

8- Message vocal : Le message oral est « contrôlez la vitesse verticale »



Fig III-37 : Affichage

Situation : L'aéronef intrus est devant à 12 : 00 pile, 600 pieds au-dessus de l'altitude de l'aéronef TCAS et du niveau de vol.

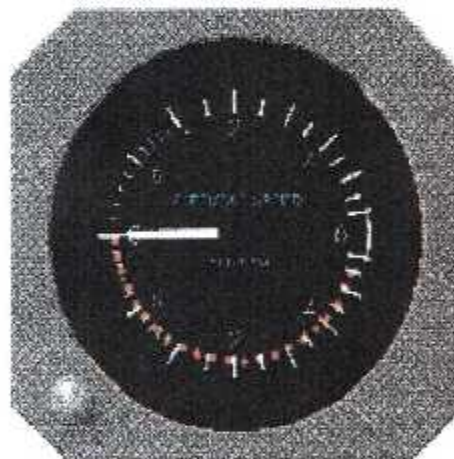


Fig III-38 : Indicateur TVSI

Réponse de l'équipage : L'équipage ne doit pas descendre.

9- Message vocal : Le message oral est « trafic, trafic »



Fig III-39 Affichage

Situation : Un aéronef intrus est devant à 12 : 00 pile au-delà de 5 miles, 200 pieds au-dessus de l'altitude de l'aéronef TCAS.



Fig III-40 : Indicateur TVSI

Réponse de l'équipage : L'équipage ne doit pas manœuvrer durant l'affichage des symboles d'avis de circulation. Il doit tenter d'attendre une acquisition visuelle de l'aéronef intrus et se préparer à manœuvrer au cas où l'avis de circulation change en un avis de résolution.

10- Message vocal : Le message oral est « maintenez la vitesse verticale, maintenez »



Fig III-41 : Affichage

Situation : L'aéronef est près de 4 NM devant, à 12 : 00 pile, 400 pieds au-dessous de l'altitude aéronef TCAS et du niveau de vol. le système TCAS est déjà en montée à 2000 pieds par minute.



Fig III-42 : Indicateur TVSI

Réponse de l'équipage : L'équipage maintient la montée au tau présent.

11- Message vocal : Le message oral est « descendez, descendez ».



Fig III-43 : Affichage

Situation : Un aéronef intrus est près de 4 NM devant, à 12 : 00 pile, 200 pieds au-dessous de l'altitude de l'aéronef TCAS et du niveau de vol.

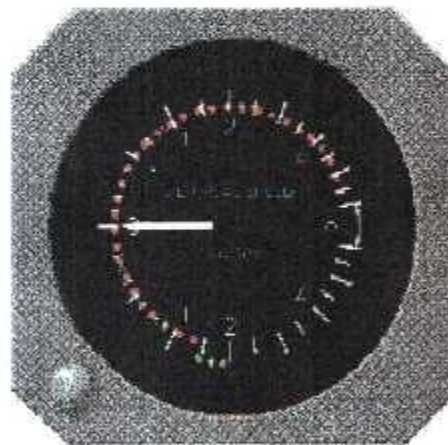


Fig III-44 : Indicateur TVSI

Réponse de l'équipage : Initialement et délicatement l'équipage établit une descente à un tau de 1500 pieds par minute.

12- Message vocal : Le message oral est « montez, montez maintenant »

"CLIMB, CLIMB NOW"



Fig III-45 : Affichage

Situation : Augmentation de l'alerte : l'aéronef intrus devant a changé le niveau de vol en une descente rapide après que le système TCAS est fournit un avis de résolution de descente. L'aéronef TCAS change maintenant de direction, il monte.



Fig III-46 : Indicateur TVSI

Réponse de l'équipage : L'équipage doit s'attendre à changer de direction de manœuvre de descendre à monter dans les 2.5 secondes avec une augmentation de 0.35G

13- Message vocal : Le message oral est « conflit dissipé »



Fig III-47 : Affichage

Situation : L'aéronef intrus est passé derrière et est maintenant à 600 pieds au-dessus de l'altitude de l'aéronef TCAS et du niveau de vol. il n'y a plus de menace.



Fig III-48 : Indicateur TVSI

Réponse de l'équipage : L'équipage retourne initialement aux prévisions permises de l'ATC (Air Traffic Control : contrôle du trafic aérien)

*** Rétablissement après dissipation du conflit :**

1- Si au départ l'aéronef TCAS était à un niveau de vol, l'équipage reprend instantanément mais délicatement l'altitude assignée précédemment à moins que d'autres commandes plus judicieuses soient dirigées par l'ATC (Air Traffic Control).

2- Si au départ l'aéronef TCAS était en montée ou en descente, il reprend sa montée ou sa descente après que l'aéronef intrus soit passé et ne représente aucun danger à moins que d'autres commandes plus judicieuses soient dirigées par l'ATC (Air Traffic Control).

III-5-2-4 Les annonces vocales :

Les annonces vocales sont émises par le système TCAS II par le biais du système audio de l'aéronef. La liste des tables suivantes montrent tous les avis de résolution, les messages audio, et le vocabulaire des avis dans le système TCAS II.

- Les messages audio :

Condition	Message des avis
Avis de circulation	« Traffic, Traffic »
Avis de résolution RA dissipé	« Clear of Conflict »
Self Test réussi	« TCAS System Test OK »
Self Test raté	« TCAS System Test Fail »

Tableau III- 6 : Les messages générés

Remarque : « Traffic » est annoncé une fois si un second avis de circulation TA apparaît durant la génération de l'avis.

- Avis de résolution et synthèse des annonces vocales :

Catégorie de RA	Correctif	préventif
Montée	« Climb, Climb »	« Maintain Vertical Speed, Maintain »
Descente	« Descend, Descend »	« Maintain Vertical Speed, Maintain »
Montée rapide	Climb, Crossing Climb Climb, Crossing Climb »	« Maintain Vertical Speed, Crossing Maintain »
Descente rapide	Descend, Crossing Descend Descend, Crossing Descend »	« Maintain Vertical Speed, Crossing Maintain »
Vitesse verticale limitée en montée	« Adjust Vertical Speed Adjust »	« Maintain Vertical Speed Maintain » ou «Maintain Vertical Speed, Crossing Maintain »
Vitesse verticale limitée en descente	« Adjust Vertical Speed Adjust »	« Maintain Vertical Speed Maintain » ou «Maintain Vertical Speed, Crossing Maintain »

Tableau III-7 : Messages et annonces de RA

- Augmentation des avis de résolution et avis de résolution réversibles :

Les avis de résolution RA suivants sont modifiés par rapport aux avis de résolution RA précédents et nécessite un temps de réaction de deux secondes et demi et jusqu'à 0.35 G.

Modification de RA	Correctif	Préventif
Orientation d'une montée vers une descente	« Descend, Descend NOW Descend, Descend NOW »	Pas d'avis de résolution (N/A)
Orientation d'une descente vers une montée	« Climb, Climb NOW Climb, Climb NOW »	Pas d'avis de résolution (N/A)
Diminution de taux de montée	« Increase Climb, Increase Climb »	Pas d'avis de résolution (N/A)
Diminution de taux de descente	« Increase Descent, Increase Descent »	Pas d'avis de résolution (N/A)

Tableau III-9 : Avis de résolution

III-6 EQUIPEMENT INDICATEUR DE VITESSE VERTICALE VSI :

III-6-1 L'instrument indicateur vitesse verticale/avis de circulation TA/VSI (IVA 81 A/C) :

Le TA/VSI combine entre l'instrument indicateur de vitesse verticale VSI avec les fonctions d'affichage d'avis de circulation TA et d'avis de résolution RA. Des bandes de couleur verte et rouge autour de la circonférence de l'écran donnent les informations des avis de résolution. L'emplacement du trafic est présenté sur la face de l'affichage à l'intérieure de l'échelle de la vitesse verticale. La touche sélection de TA peut être actionné pour chaque TA sélectionné, ou pour tous changement de configuration au moment de l'installation.

Dans les deux configurations, quand le TA ou le RA est présent, tous les trafics apparaissent dans l'affichage. La pression de la touche, alterne entre l'affichage de tous les trafics et l'affichage seul de l'indicateur de vitesse verticale.

Quand l'affichage est « Clear of Conflict : dissipation du conflit de circulation », la présence d'un nouveau avis de circulation TA ou de résolution RA d'un intrus apparaît sur l'affichage. Sans la présence de la circulation, l'instrument opère seulement comme un indicateur de vitesse verticale.

Configuration	
Sélection du Switch	Trafic sélectionné
Le trafic est présent seulement en pressant la touche	Le trafic apparaît soit en pressant le bouton, soit il résulte de la présence pas longue d'une menace .
Après établissement et affichage de TA et RA, l'affichage du trafic reste	Le fait de presser le bouton n'a pas d'effets lorsqu'il n'y a pas présence de la circulation TA ou RA : le trafic n'est pas monté à moins qu'une menace ne se produise. L'unité retourne automatiquement au mode « Pop-Up » quand la menace n'est longtemps présente.

Tableau III-10 : Configuration des boutons du TA/VSI



Fig. III-49 : Instrument indicateur de vitesse verticale

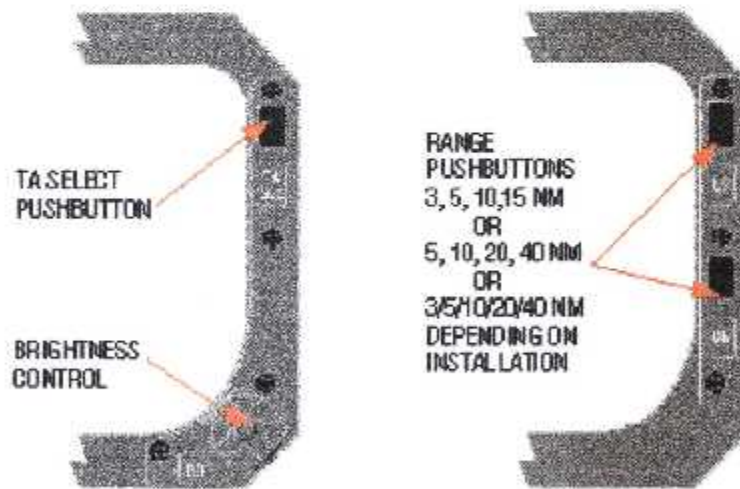


Fig. III-50 : Boutons de sélection du VSI

III-6-1-1 Scénarios typique du TA/VSI :



CLIMB,...

Fig. III-51 : Scénario 1



MONITOR VERTICAL SPEED,...

Fig. III-52 : Scénario 2



MONITOR VERTICAL SPEED,...

Fig. III-53 : Scénario 3



MONITOR VERTICAL SPEED,...

Fig. III-54 : Scénario 4



TRAFFIC, _

Fig. III-55 : Scénario 5



ADJUST VERTICAL SPEED, ADJUST

Fig. III-56 Scénario 6



DESCEND, _

Fig. III-57 : scénario 7

III-6-2 L'instrument indicateur vitesse verticale/avis de résolution RA / VSI : (IVA 81 B)

Deux rangées lumineuses de couleur, une verte et l'autre rouge sont logées autour de l'échelle de la vitesse verticale. Le RA/VSI indique la montée, la descente, ou le maintien de la vitesse verticale en illuminants les segments de ces deux rangées. Les manœuvres verticales recommandées placent le pointeur hors la bande de couleur rouge et/ou dans le bande de couleur verte.

**Fig. III-58 : VSI IVA 81 B****Fig. III-59 : VSI KAV 485 T**

Le RA/VSI KAV 485 T : L'étiquette placée à gauche du pointeur de vitesse verticale indique la vitesse verticale défaillante (étiquette de couleur rouge avec un texte de couleur noire). L'étiquette placée à gauche du pointeur de la vitesse verticale indique le statut du système TCAS : défaillance du système TCAS (étiquette de couleur orange avec un texte de couleur noire) avis de circulation seulement (TA only) (étiquette de couleur blanche avec un texte de couleur noire) système TCAS valide (étiquette toute noire) .

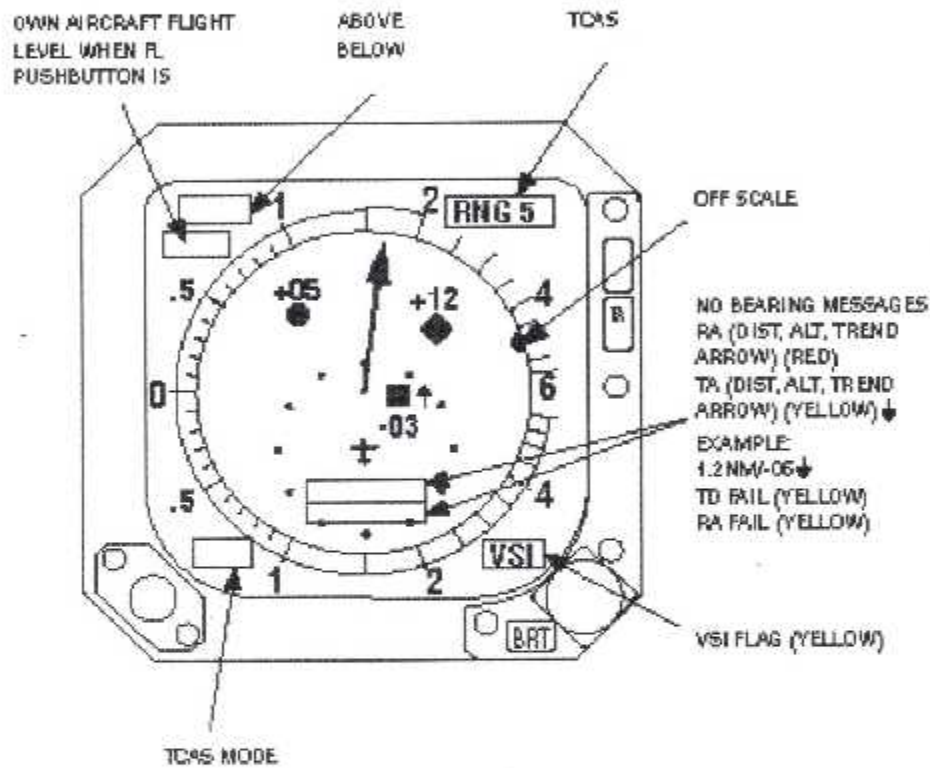


Fig. III-60 : Affichage des dispositions des messages

Défaillance / mode TCAS : le tableau suivant indique les différents cas de défaillances :

Norme	Option	indique
TCAS / STBY : bleu	No TCAS (pas de TCAS) : bleu	Système TCAS est en stand-by
TA / RA : bleu		Opération normale
TEST : jaune	TEST : jaune	Self - Test
TA ONLY : bleu	TA / only : bleu / jaune	Quand TA est activé
TCAS : jaune	NO TCAS : jaune	Système TCAS défaillant

Tableau III-11 : Les défaillances

III-6-3 Indicateur RADAR METEO (RDR 2000/2100, RDS 81/82/84/86, Primus Color Indicator 200/300SL/400/870/P90/650/800 et COLLINS WX R300(IND-270)):

Le processus graphique du TCAS, le GC 362A permet au trafic du TCAS à être affiché sur le BENDIX/KING et RDS séries Radar Indicators ou Honeywell Primus Color Radar Indicators ou le Collins IND 270 indicateurs. La plupart de ces contrôles sont sur le panneau de contrôle TCAS/ mode S ; cependant, la sélection du bouton mode « augmenter la distance » demande le changement entre affichage du Radar seulement (Radar Only display), affichage superposé du radar avec le trafic TCAS (Radar with TCAS traffic overlay display) et l'affichage du TCAS seulement (TCAS only display).

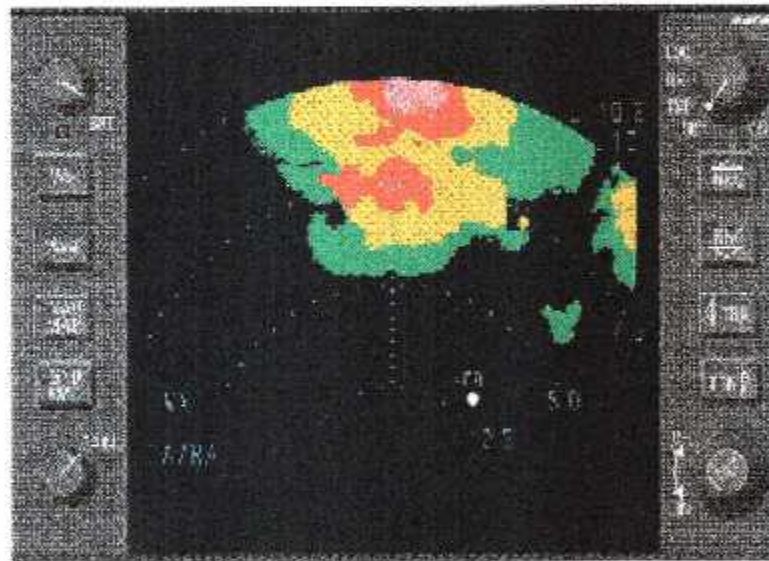


Fig. III-61 : Indicateur Radar Météo

III-6-3-1 Mode radar seulement (Radar Only Mode) :

Dans le mode d'opération, seule le radar d'information météo est affiché jusqu'à l'avis de circulation ou l'avis de résolution émis par le processus TCAS. La portée est contrôlée par le contrôle de portée du radar météo dans ce mode d'opération. Quand l'avis de circulation ou l'avis de résolution est généré, l'affichage retourne par défaut à l'affichage TCAS (soit TCAS Only ou Radar/TCAS Overlay) sélectionné par l'apparition du défaut discret. Quand l'avis est renvoyé, l'affichage va retourner derrière l'affichage du radar météo.

Ce mode est annoncé par la TA/RA Auto dans le coin de la partie gauche, inférieure de l'écran.

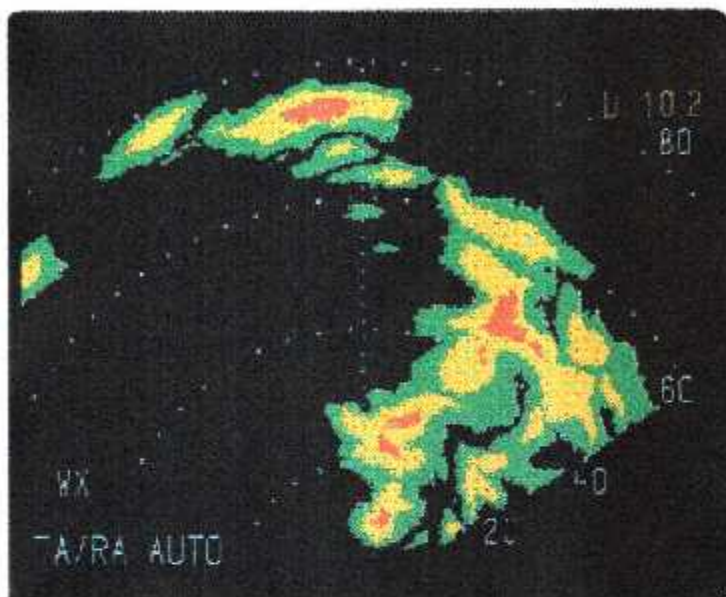


Fig. III-62 : Mode Radar seulement

III-6-3-2 Mode radar avec la superposition du TCAS (Radar with TCAS Traffic Overlay) :

Dans ce mode l'affichage du TCAS superpose l'affichage météo à plein temps. L'origine de l'affichage est au bas de l'écran, cependant si la série Radar Bendix /King RDS avec le contrôleur graphique GC 362A est aussi installé, l'affichage peut être envoyé au centre de l'écran, donnant un affichage à 360°. La météo peut être affichée dans le secteur supérieur à 90° ou 120°, selon le radar qui est utilisé. La météo est dissimulée dans la zone quand le trafic TCAS est affiché. La portée affichée dans ce mode est celle qui a été sélectionnée pour le radar météo. Si le radar météo est dans le mode « STAND-BY » ou un autre mode « NON-RADAR », l'affichage sera le même que celui sélectionné pour le mode TCAS seulement. Ce mode est maintenu à moins qu'un autre mode soit sélectionné manuellement. Le mode opérationnel TCAS est annoncé dans l'ajout de WX qui annonce le mode météo dans le coin de la partie inférieure gauche de l'écran, à moins que le radar soit en « STAND-BY », dans laquelle la case du mode TCAS est affichée dans le coin de la partie supérieure droite de l'écran.

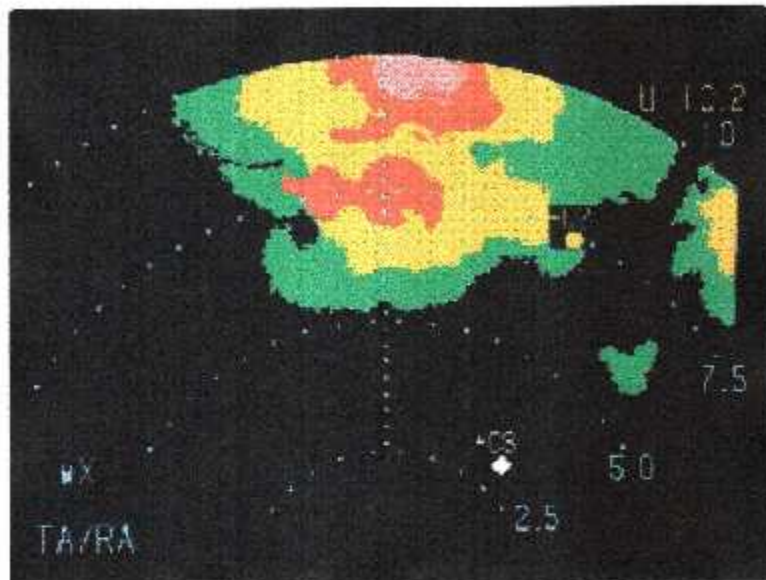


Fig. III-63 : Mode superposition du mode Radar Météo et TCAS

III-6-3-3 Mode TCAS seulement (TCAS Only Mode) :

Dans ce mode, le point d'origine de l'écran est 1/3 au dessus du bas de l'écran. Seulement l'information TCAS est affichée. Ce mode est maintenu à moins qu'un autre mode soit sélectionner manuellement.

L'affichage de la portée est contrôlé par le panneau de contrôle TCAS. La portée autour de 2 NM est affichée à la portée 3, 5, 10 et 15 NM. La portée aux alentours de 2 NM consiste au point discret à chaque position de 12h 00.

La portée autour de 2 NM n'est pas afficher à la portée 20 et 40 NM à la place, la moitié de la portée est affichée. Autours de la moitié de la portée est représentée par un tiret. Le mode opérationnel du TCAS est annoncé dans le coin de la partie inférieure gauche de l'écran.

Il peut exister des options de ces affichages, par exemple : la portée de 10 et 15 NM peuvent avoir une portée autour de 2 et 5 NM ; la portée à 40 NM peut avoir une portée autour de 2,5 et 20NM. La puissance de la portée extérieure a aussi une identification à titre cardinale. Ces options sont dépendantes de la partie numérale du GC 362 utilisé.



Fig. III-64 : Mode TCAS seulement

Note : dans l'affichage « TCAS seulement », « WX ON » va être annoncé dans la partie supérieure, droite du coin de l'écran, si le radar météo est entrain de transmettre.

A la puissance supérieure, l'affichage initiale de l'écran du mode « Radar with TCAS Overlay ». Quand le test du monde est sélectionné dans le panneau de contrôle mode S/TCAS. Le motif de l'auto-test est affiché à moins que les failles du système TCAS soit détecter. Si les failles du système sont détectées, l'écran est à blanc (vide) et une liste de défauts est affichée.

La présence d'un avis de circulation TA ou un avis de résolution RA, cette sélection d'affichage de portée est indiquée par une moitié de symboles de trafic au bord de l'écran, la position des moitiés des symboles représente l'allure de l'intrus.



Fig III-65 :Mode TCAS seulement,TA et RA d'un trafic hors échelle à une portée de 5miles



Fig. III-66 : Mode TCAS seulement, même trafic à une portée de 10 miles

III-6-3-4 Format de message des modes météo :

a) Les annonces du mode TCAS :

TCAS STBY	bleu	TCAS en attente
TEST	bleu	TCAS en test
TA/RA	bleu	mode TA/RA
AUTO TA/ RA	bleu	apparition TA/RA
TA ONLY	bleu	mode TA seulement
AUTO TA	bleu	apparition de la TA seulement

On note, quand le radar est mis en « STAND-BYE », l'annonce du mode TCAS se déplace dans le coin de la partie supérieure, droite de l'écran.

b) Les annonces des défaillances du TCAS :

La sélection du mode TCAS seulement pour la liste des défaillances.

NO TCAS	bleu	pas de TCAS opérationnel
TCAS FAIL	jaune	défaillance du TCAS
GP FAIL	jaune	défaillance du GC 362

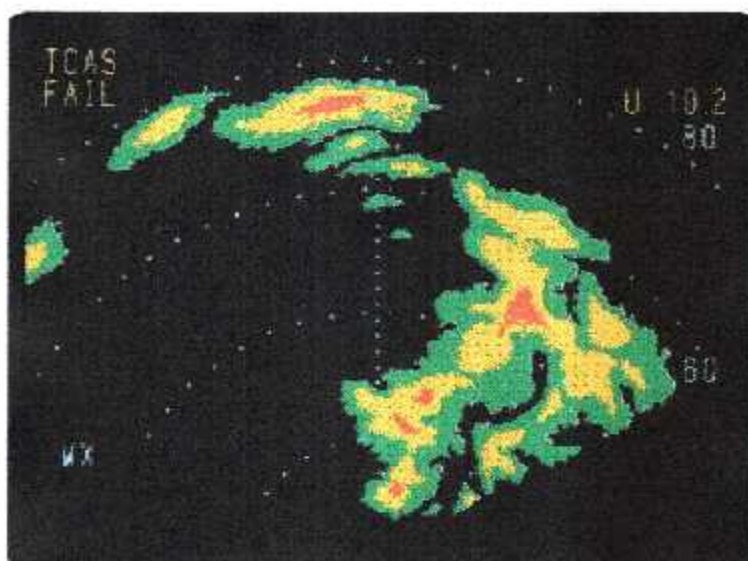


Fig. III-67 : TCAS défaillant

III-6-3-5 Format des défaillances du TCAS :

a) Les annonces du mode TCAS :

TCAS STBY	bleu	TCAS en attente
TEST	bleu	TCAS en test
TA/RA AUTO	bleu	mode TA/RA
ONLY TA	bleu	mode TA seulement
TA AUTO	bleu	apparition de la TA seulement

b) Les annonces des défaillances TCAS :

NO TCAS	bleu	pas de TCAS opérationnel
TCAS FAIL	jaune	défaillance TCAS
GP FAIL	jaune	défaillance du GC 362A

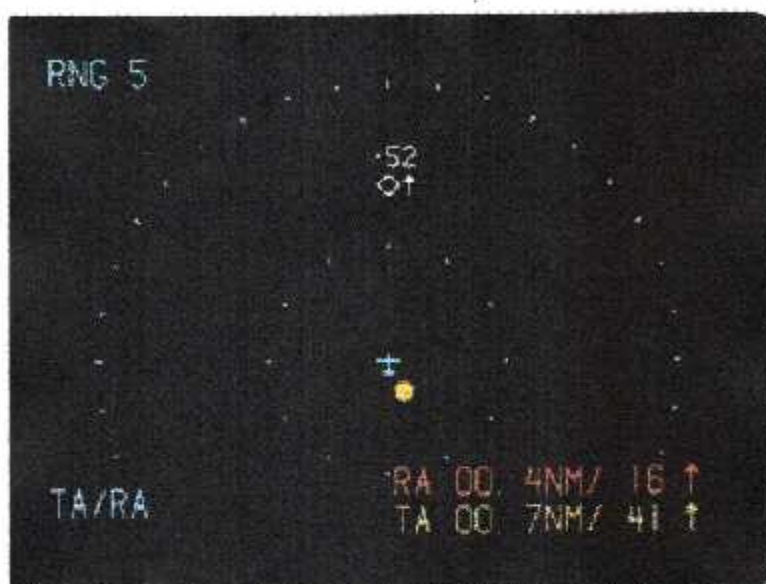


Fig. III-68 : Affichage

III-6-3-6 Formats des faux messages :

a) Les fausses annonces :

Processeur TCAS	XPNDR (transpondeur) sélectionné
Antenne supérieure	XPNDR antenne du haut
Antenne inférieure	XPNDR antenne du bas
Radio ALT # 1	Données TCAS XPNDR
Radio ALT # 2	Donnes contrôle XPNDR
Radio ALT # 1 & # 2	Données XPNDR ALT # 1 & # 2
Bus de données XPNDR # 1	Données XPNDR ALT # 1
Bus de données XPNDR # 2	Données XPNDR ALT # 2
Affichage de circulation # 1	Altitude
Affichage de circulation # 2	Titre
Affichage RA # 1 & # 2	GP RAM
Affichage RA # 1	Données 429 pas de radar
Affichage RA # 2	Données 429 pas de TCAS

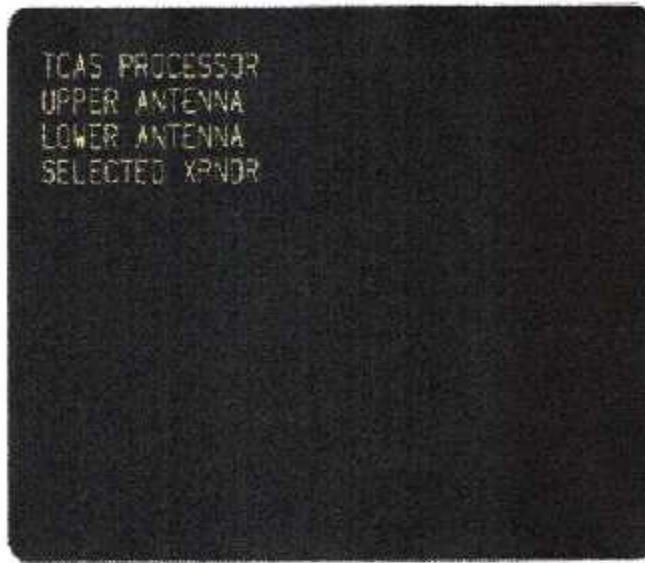


Fig. III-69 : Affichage des faux message

III-7 FONCTIONNEMENT ET AUTOMATISME DU « SELF TEST » :

Le TEST fonctionnel du système TCAS et du transpondeur mode S détermine le statut des opérations du système entier. Le test est initié par le positionnement d'un bouton sélecteur de fonction sur le panneau de contrôle du transpondeur à la position « test ».

Par la suite, le test continue automatiquement pour une période approximative de 8 secondes. Durant le test la fonction du transpondeur et de système TCAS II est arrêtée. Quand le bouton est maintenu plus longtemps que 8 seconde, le système reste sur la sélection test jusqu'à ce qu'il soit exécuter.

Si l'indicateur Radar Météo est positionné sur OFF, le temps d'échauffement pour l'indicateur Radar Météo est de 5 secondes.

Durant les premières quelques secondes de la séquence TEST, l'indicateur Radar Météo et le TA/VSI accorde une vérification de chaque type de symbole d'intrus. Le test génère le positionnement des symboles tel qu'ils sont montrés ci-dessous. L'affichage de l'avis de circulation TA annonce le terme TEST, si le radar météo est sélectionné dans la fonction TEST, ce motif apparaît par dessus le motif test PPI. S'il est sélectionné dans le fonction METEO, ce test apparaît par dessus la météo.

L'utilisation de la fonction self test, va arrêter le système TCASII durant une période de 8 secondes, pour cette raison le pilote doit être vigilant lorsque la fonction TEST est initiée en vol. Suivant l'installation , le self test en vol peut être interrompu.



Fig III-70 : motif Test Radar - portée 5 NM Fig III-71 : Motif Test TA/VSI - portée 5NM

L'avis de résolution (carré rouge) apparaîtrait à 3h : 00, à une portée de 2 miles, 200 pieds au-dessus et à en niveau de vol.

L'avis de circulation (cercle jaune) apparaîtrait à 9h : 00 à une portée de 2 miles, 200 pieds au-dessous, et en descente.

Circulation à proximité (losange blanc vide) apparaîtrait à 1h : 00 , à une portée de 3,6 miles, 1000 pieds au-dessous et en descente.

Pas de circulation de menace (losange blanc plein) apparaîtrait à 11h : 00, à une portée de 3,6 miles, 1000 pieds au-dessous du niveau de vol.

III-7-1 Indications du TEST et signalisations du RA/VSI :

Durant les premières quelques secondes, les circonférences de lumière de couleur verte et rouge (indicateurs de montée/descente) du RA/VSI vont s'illuminer séquentiellement. La signalisation du TCAS est montrée durant la période du test.



Fig. III-72 : Signalisation RA/VSI

Après le test de lampe séquentiel, les lumières de couleur verte et rouge affiche la commande du test fixé à travers le reste du système TEST.

A la fin de la réussite du SELF-TEST, une voix de synthèse annonce le message « TCAS system test OK : test du système TCAS est réussi ».

III-7-2 Lampes test du TA/VSI et RA/VSI :

a) Lampes test RA/VSI :

Si l'aéronef comprend l'installation électrique de la lampe de la fonction TEST, le test de la lampe séquentiel peut être observé par l'activation du switch test de la lampe majeure. Le test continuerait tout le long où le switch est maintenu en position TEST.

b) Lampes test du TA/VSI :

Le test de lampe TA/VSI produit un déploiement de la circulation dans le motif montré. Les bandes de couleur de montée/descente sont alternées entre la couleur verte et le couleur rouge, durant chaque deux secondes. Les bandes sont sans couleur durant une seconde d'intervalle entre les deux luminances. On note que la fonction du VSI du TA/VSI ne serait pas observée durant le test lampe.

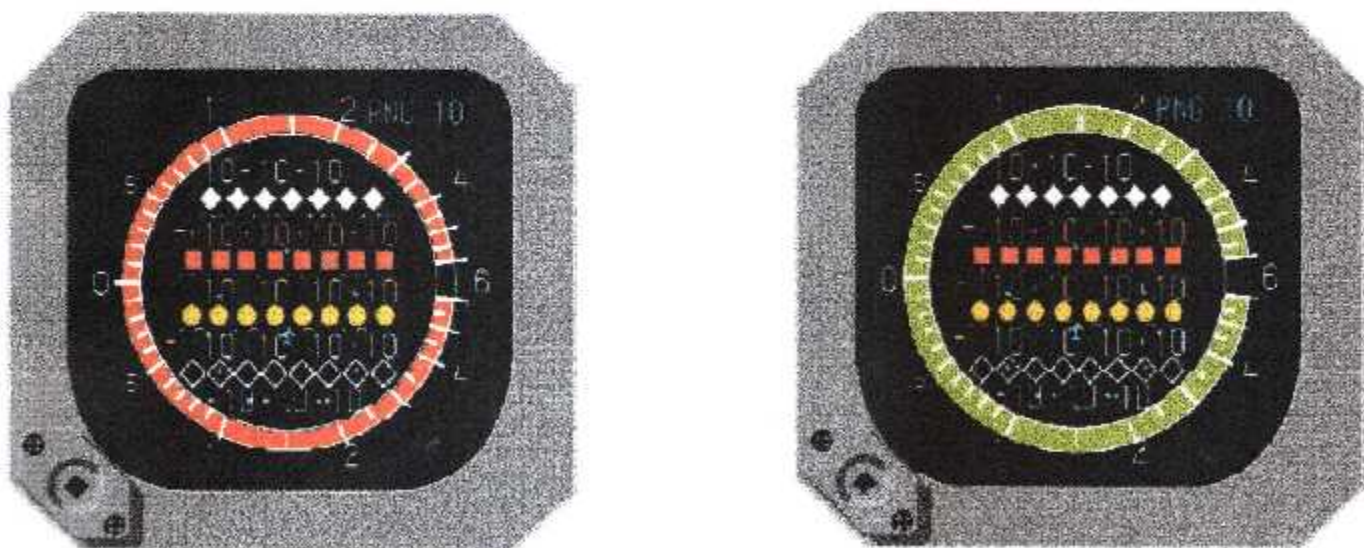


Fig. III-73 : Alternance des bandes de couleurs

III-7-3 Les conditions de défaillance :

La défaillance du VSI pourrait être détectée à n'importe quel moment. Durant le SELF-TEST, la défaillance pourrait être détectée, un message vocal annoncera « TCAS System Test Fail : test du système TCAS défaillant ».

Si un affichage d'avis de circulation TA est dans l'indicateur Radar ou un affichage directe consacré au TA, le message de défaillance approprié serait affiché.

a) L'arrêt du test audio : Le test audio est interrompu durant l'alerte ou le test du GPSW ou du windshear.

b) Position du test dans le sens des aiguilles d'une montre : Le sélecteur de fonction se met à la position du test dans le sens juste (switch entièrement dans le sens des aiguilles d'une montre).

Durant le test, les segments de l'unité de contrôle du transpondeur affiche une fenêtre et la lampe de défaillance de l'ATC s'illumine.

c) Rapports des situations de vol : Afin de pouvoir transmettre au service maintenance toutes les informations possibles concernant le problème de défaillance, il faut éviter les phrases tel que « TCAS INOP » et ne transmettre que les informations affichées dont le code est faux, les fausses annonces vocales ainsi que les motifs du test divergents et les annonces de l'écran qui indiquent dans quelle des unités, la défaillance a été observée.

Chapitre IV
Performances et étude
comparative des deux versions
du système TCAS

IV-1 CONSIDERATIONS DU SYSTEME TCAS :

IV-1-1 Avertissement et limitations :

La capacité du système TCAS dépend du type de transpondeur équipant l'aéronef intrus :

- l'aéronef intrus doit être équipé avec le fonctionnement correcte du transpondeur aux opérations normales du système TCAS. Le système TCAS est incapable de détecter un aéronef intrus sans le fonctionnement du transpondeur.
- si l'aéronef TCAS n'a pas de rapport d'altitude « Non-Altitude Reporting », le système TCAS affichera seulement la portée et le rapport. Il peut générer un avis de circulation TA basé sur la distance et la direction du vol mais, il ne pourra pas générer un avis de résolution. Le système TCAS assume « Non-Altitude Reporting » en supposant que la circulation de l'aéronef intrus soit à la même altitude de l'aéronef TCAS.

L'avis de résolution du système TCAS II est basé sur l'espérance que l'équipage de bord se conformera au temps de l'exécution et accomplira les manœuvres recommandées en 5 secondes.

L'augmentation de l'avis de résolution ou de l'avis de résolution réversible exige de l'équipage de bord un temps de réaction de 2,5 secondes.

Le processus TCAS est programmé avec les limitations de fonctionnement de l'aéronef spécifique tel que l'altitude maximum à laquelle l'aéronef peut monter à 1500 pieds par minute. L'avis de résolution recommandant la montée ou l'augmentation de la montée est par conséquent interrompue lorsque la manœuvre de l'avis de résolution RA ne peut être exécuté complètement sans risque à cause du manque de capacité de performance de l'aéronef. Ces limites de performance sont comprises comme une partie de l'installation électrique de l'aéronef.

Les options de l'installation électrique comprennent aussi :

- le système TCAS peut être branché pour afficher tous les trafics à plein temps ou seulement tous les trafics résultants de la présence d'un avis de circulation TA ou d'un avis de résolution (mode Pop-Up).
- le nombre de cibles affichés de 3 à 30 cibles.
- l'affichage TCAS peut avoir un pilote de sélection de portée ou peut être une portée fixée sélectionnée par l'installation électrique de l'aéronef.

- l'unité de contrôle IVA 81 A/C peut être branché pour montrer l'affichage automatique après que l'avis de circulation TA ou de résolution RA soit passé ou en pressant le bouton TA SEL (sélection de TA).
- le système TCAS II peut être placé automatiquement en « STAND-BY » quand l'aéronef est au sol.
- l'initiative manuelle de la procédure « Test système » peut être arrêté en vol.
- le Switch Test Lamp Master de l'aéronef peut être actionné pour contrôler le test de lampe séquentiel du TA/VSI et RA/VSI.
- le système TCAS peut être configuré pour bloquer ou permettre l'affichage du trafic considéré au sol. Quand il est configuré pour bloquer l'affichage du trafic au sol, le rapport « On The Ground : au sol » de l'aéronef équipé du transpondeur mode S ne sera pas affiché. Aussi lorsque l'aéronef TCAS opère à l'intérieure des limites d'altitude radio, l'aéronef équipé du transpondeur mode C considère que le rapport « au sol ne sera pas affiché. Quand, il est configuré pour afficher les aéronefs intrus au sol, tous les aéronefs estimés au sol seront affichés comme « Other Traffic : autre trafic » (losange vide).
S'il n'est pas configuré de la sorte, tous les aéronefs intrus au sol seront affichée comme « Non – Threat Traffic : pas de menace de circulation » (losange blanc vide).
- l'augmentation des avis de résolution descendants sont inhibé au-dessous de 1450 pieds AGL.
- tous les avis de résolutions sont inhiber au-dessous de 900 pied en descente ou 1650 pieds en montée.
- tous les avertissements oraux du système TCAS sont inhiber au-dessous de 400 pieds de l'altitude radio en approche et au-dessus de 600 pieds de l'altitude radio au départ.

IV-1-2 Prudence pour l'équipage de bord :

L'équipage de bord doit toujours tenter d'avoir une acquisition visuelle claire de l'espace aérien avant de manœuvrer les recommandations des avis de résolution du système TCAS. Il ne doit surtout pas dépasser les recommandations des avis de résolution RA, il doit voler seulement à la vitesse verticale recommandée, utiliser les vitesses verticales qui sont recommandées sur le RA/VSI n'est pas meilleur.

Etre vigilant et se soumettre aux modifications ou les faiblesses des avis de résolution (annonce « Adjust Vertical Speed, Adjust ») pour minimiser le déplacement du déploiement de l'ATC de l'aéronef TCAS.

L'installation du système TCAS peut être branché pour donner au GPSW et au Wind Shear plus grande priorité que le système TCAS. Dans le cas de génération d'alarmes audio simultanées, le système TCAS est sélectionné en avis de circulation seulement (TA Only) et l'étiquette du RA/VSI affichera RA OFF.

Remarque :

Lorsque le système TCAS recommande des avis de résolution correctifs, il existe suffisamment de temps pour exécuter sans brusquer la manœuvre d'évitement du conflit. Le système TCAS compte 5 secondes pour l'équipage de bord, le temps de réaction pour l'avis de résolution demandant approximativement 0,25 G. un avis de résolution réversible ou une augmentation d'un avis de résolution demande 2,5 secondes de temps de réaction et plus de 0,35 G.

Il est possible de voir un aéronef voler dans la même direction et la même trajectoire que celles de l'aéronef TCAS, et que le système TCAS peut ne pas le considérer encore comme une menace. Le système TCAS II calcule le taux de rapprochement de l'aéronef intrus, et dérive le temps au CPA (Closest Point of Approach ». S'il n'y a pas de temps de rapprochement, il n'y aura pas de génération d'avis à moins que l'aéronef intrus ne soit très proche (à ¼ miles approximativement). Inversement, un aéronef dont la circulation est à la même altitude, très loin derrière, peut désigner un avis de résolution par le système TCAS parce que le taux de rapprochement de cet aéronef est très rapide.

IV-1-3 limites des avis de résolution :

Les manœuvres d'évitement vertical résultant de l'avis de résolution dépendent de la capacité de l'aéronef à exécuter les manœuvres d'évitement. On prend un exemple, si un aéronef est juste à 500 pieds du sol, il n'est pas pratique de générer un avis de résolution parce que la capacité de génération d'avis de résolution d'un aéronef est limitée à cette altitude. Les figures ci-dessous illustrent les limites d'avis de résolution appliquées au système TCAS. En ajoutant le contrôle des limites d'avis de résolution au logiciel, l'installation TCAS peut comprendre les limites de performance d'aéronef « Hard Wired » basées sur les limitations opérationnelles de la couverture de l'espace aérien nécessaire. L'équipage de bord doit se rappeler de ne pas violer les limites de performance de l'aéronef dans la réponse d'avis de résolution RA du système TCAS

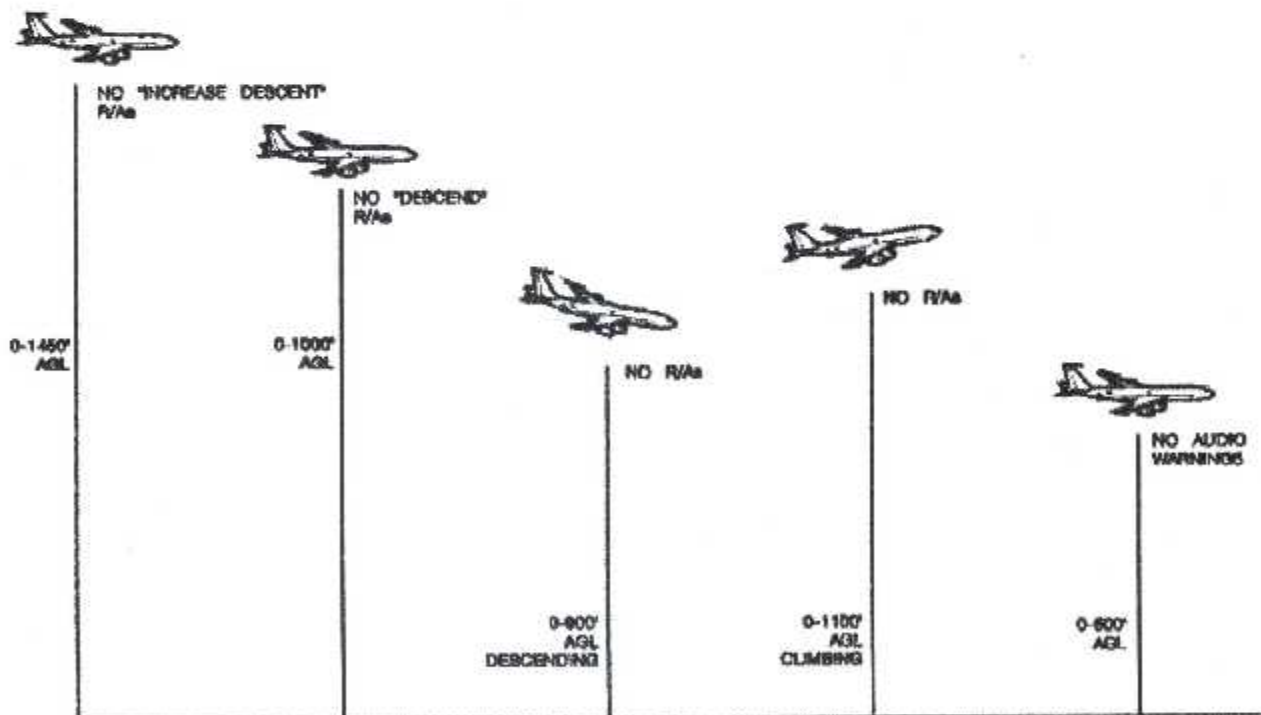


Fig IV-1 : Limites de RA

IV-2 ETUDE COMPARATIVE DES DEUX VERSIONS DU SYSTEME

TCAS :

En réalité le système d'anticollision embarqué, le TCAS, est un complément de l'équipement RVSM, et étant donné que la séparation verticale au-dessus de 2900 pieds entre deux aéronef qui est de 2000 pieds va encore être réduite de 1000 pieds d'ici l'an 2002, le système a été encore amélioré ce qui nous amène au système TCAS version 7.0 qui est beaucoup plus performante que la version 6.04.

IV-2-1 TCAS version 7.0 :

a) Concept de haut niveau :

Le nombre des touches de commande change dans la version 7.0, ce qui signifie apport d'amélioration dans le système d'anticollision TCAS. Les avantages sont difficiles à qualifier dans une analyse numérique de sécurité. Néanmoins ces avantages fournissent dans l'ensemble un système de sécurité quand la version 7.0 est un instrument de grand étendu dans le domaine.

b) Absence de filtre de distance :

1- Plusieurs avis de résolution RA sont inutilement filtrés (23 à 40% de tous les RA)

i- une efficacité d'assurance du pilotage dans le système est améliorée

ii- meilleure qualité de pilotage avec les avis de résolution

iii- Moins d'interruption dans le contrôle du trafic aérien

2- Les avis de résolutions RA seront bientôt affaibli si les séparations adéquates sont atteintes

i- Moins de déviation d'altitude – plus de compatibilité avec le trafic de contrôle aérien ATC

c) Plusieurs rencontres d'avions :

La logique est plus capable de détecter plusieurs menaces, ce qui signifie que la sécurité avantageuse dans ces rencontres

d) Nouvelles informations/l'utilisation supplémentaire des arcs de couleur verte (green-arcs) :

- 1- Instructions instinctives plus positive avec les réactions attendues
- 2- Pilotage plus plausible pour suivre les avis de résolution RA du TCAS correctement
- 3- Moins de déviation d'altitude - plus de compatibilité avec le trafic aérien de contrôle ATC

e) TCAS / TCAS réversible :

Capable d'inverser le sens de l'avis de résolution RA si la situation de rencontre se dégrade, ce qui améliore la sécurité du système dans les rencontres quand l'intrus équipé du TCAS ne suit pas ses avis de résolutions RA.

f) Améliorations d'interférence limitée et de la surveillance :

- 1- aéronef poursuivi à de grandes portée dans une haute densité d'espace aérien
 - a- Avoir une acquisition visuelle moins probable des intrus qui ne sont pas équipés du TCAS suivant la trajectoire
 - b- Amélioration de la confiance dans le pilotage du système
- 2- l'effet du TCAS fonctionnant dans la performance SSR dans un trafic aérien de haute densité est réduite d'une manière importante à rencontrer les exigences de l'interférence originale de 2%.

g) Les avantages pour le RVSM :

Éliminer les nuisances répétitives des avis de circulations TA dans les parcours des RVSM dans les cas où le taux de rapprochement est lent.

Le critère pour le décrochage d'un avis de circulation TA par rapport à un intrus est fait d'une manière rigoureuse, ainsi le décrochage des avis de circulations TA répétitif pour le même intrus sont réduit d'une manière considérable dans les rencontres où le rapprochement se fait d'une manière lente.

Pour les aéronefs qui ont nettement une séparation verticale de 1000 pieds le système TCAS ne génère pas d'avis de circulation TA.

Éliminer la probabilité de continuer de générer des avis de résolutions RA « Monter/Descendre » qui ont été émis régulièrement une longue période de temps, bien que la séparation soit adéquate pour affaiblir la génération de l'avis de résolution RA.

IV-3 LES ELEMENTS COMPARATIFS DES DEUX VERSIONS DU TCAS :

IV-3-1 Les améliorations d'interférence limitée :

a) TCAS version 7.0 :

L'interférence limitée explique la distribution des aéronefs équipés du système TCAS en déterminant les nombre à l'intérieure de 3 NM, 6 NM, et 30 NM. Ces nombres sont utilisés pour déterminer si les aéronefs sont distribués uniformément dans l'espace ou uniformément dans la portée.

b)Version 6.04a :

les limites d'interférence mesurent seulement le nombre des aéronef à l'intérieure de 30 NM et assume une distribution uniforme de ces aéronefs dans l'espace.

La capacité et le sens de la distribution avec le nombre réduit des interrogations assurera les effets du systèmes TCAS sur les performances SSR (portée d'utilisation du transpondeur due au TCAS) dans des espaces de trafic à densité élevée, rencontre les exigences d'interférence d'origine de 2%.

IV-3-2 L'accroissement de la fenêtre d'altitude de ± 10000 pieds :

a) TCAS version 7.0 :

Le système TCAS va permettre de poursuivre tous les aéronefs intrus à l'intérieure de 10000 pieds d'altitude relative régulièrement quand l'interférence est limitée.

b) TCAS version 6.04 a :

Quand la limite d'interférence invoque la fenêtre d'altitude pour lequel des aéronefs intrus mode S qui sont poursuivis est instantanément réduit à ± 3000 pieds.

Eliminer l'aéronef « pop-ups : surgir » quand l'aéronef intrus est rapproché dans la portée, mais n'est pas poursuivi jusqu'à une altitude relative intérieure à 3000 pieds.

Éliminer le problème de perception de « poor tracking : poursuite faible » des aéronefs qui sont à la portée visuelle mais ne sont pas affichés par le système TCAS parce qu'ils sont à une altitude relative d'au-delà de 3000 pieds.

IV-3-3 Minimisation d'interférence limitée au-dessus de 18000_pieds :

a) TCAS version 7.0 :

Une fois que l'aéronef TCAS est au-dessus de 18000 pieds NTA (nombre d'aéronefs TCAS à l'intérieure de 30 NM) ne sont pas facteur dans les équations d'interférence limitée.

b) TCAS version 6.04 a :

L'interférence limitée peut être invoqué également à n'importe quelle altitude. Cela résulte souvent des significations des réductions de la portée de surveillance quand elle est derrière l'espace de trafic à densité élevée régulièrement avec la supposition que l'aéronef TCAS est actuellement en poursuite après quelques aéronefs intrus.

La plupart des cases pleines de portée de surveillance seront disponibles quand le vol est effectué au-dessus de 18000 pieds.

IV-3-4 Minimum de portée de surveillance spécifiée :

a) TCAS version 7 :

L'interférence limitée est demandée pour garantir un minimum de 6 NM ou 3 NM de portée de surveillance fiable.

b) TCAS version 6.04 a :

L'interférence limitée peut réduire la puissance de l'interrogation (portée de la surveillance) autant qu'elle est nécessaire pour satisfaire les algorithmes.

Une portée de surveillance minimum est garantie régulièrement si les équations d'interférence limitée sont toujours violées.

Dans les cas antérieures, le système TCAS n'utilise pas le Whisper Shoot pour la réduction d'interférence mode S. Au lieu de cela, le système TCAS fournit des interrogations mode S à puissances pleines pour les cibles au-delà de 10 NM mais réduit la sortie de puissance dans des mesures variables pour les aéronefs intrus équipés de transpondeur mode S à l'intérieure de 10NM.

Quand le système TCAS détecte qu'il y a trop de densité de circulation, il invoque automatiquement l'interférence limitée. Durant l'interférence limitée, la portée de surveillance est réduite, une diminution des niveaux de puissance de sortie jusqu'à une portée de surveillance minimum est permise qui se compose approximativement de 15 NM en avant, 12 NM sur les cotés, et 10 NM à l'arrière. Whisper Shoot est toujours performant dans le reste de volume de surveillance. On note que l'opérateur « feed-back » n'est pas fournie, ce qui indiquera que le système TCAS ait invoqué l'interférence limitée. L'opérateur peut connaître la disparition de la circulation de l'affichage quand l'interférence limité est invoquée.

IV-3-5 Plus d'efficacité dans l'environnement de plusieurs aéronefs:

a) TCAS version 7.0 :

Résolution de plusieurs insuffisances connues dans la logique « multi-aéronef ». Plusieurs d'entre elles sont décrites dans les exemple 1 et l'exemple 2 ci-dessous.

L'exemple 1 est résolu en différant (ajournant) la génération du double avis de résolution négatif RA jusqu'à ce que une séparation meilleure soit obtenue pour l'aéronef TCAS des deux aéronefs intrus.

b) TCAS version 6.04 a :

L'exemple 1 est résolu en générant un double avis de résolution négatif RA d'une manière prématurée.

Scénario 1 :

Au départ l'aéronef TCAS est en montée. Un avis de résolution montant est généré par rapport à la menace 1. Comme l'aéronef intrus 2 devient une menace, un avis de résolution descendant RA est généré par rapport à cette menace. Dans ce cas précis, il résulte un double avis de résolution négatif RA (don't climb, don't descend : ne montez pas, ne descendez pas) lequel est généré immédiatement alors que l'aéronef TCAS peut être très proche de la coaltitude avec l'altitude de la menace 1.

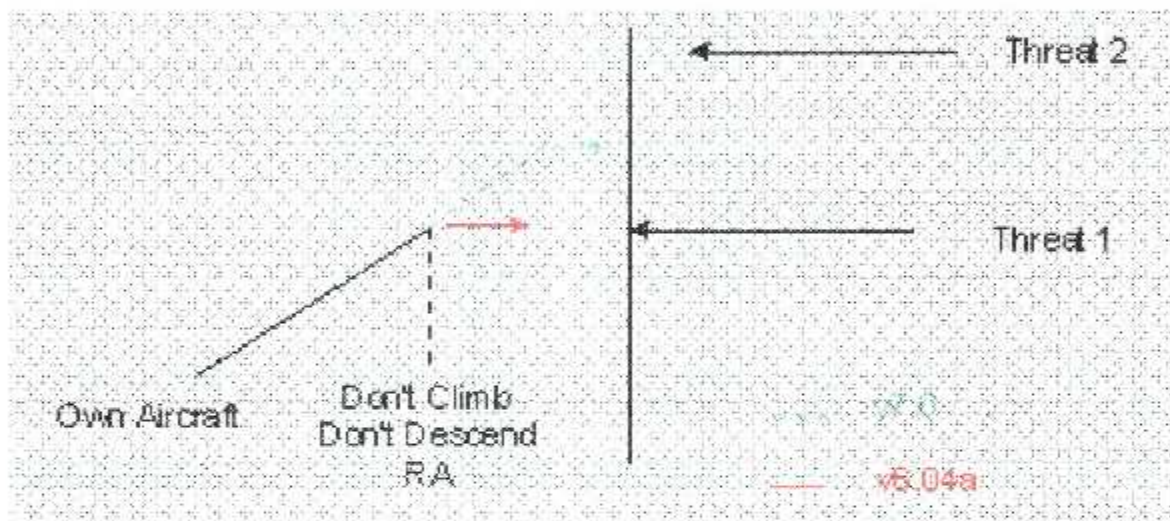


Fig. IV-2 : Schéma du scénario : exemple 1

Dans la version 7.0 :

L'exemple 2 est résolu en comparant la séparation obtenue avec la génération du double avis de résolution négatif pour les deux aéronefs. La logique TCAS choisit la meilleure solution.

Dans la version 6.04 a :

Seulement une information partielle est fournie à la logique TCAS.

Scénario 2 :

Initialement l'aéronef TCAS génère un avis de résolution montant par rapport à la menace 1. Comme l'aéronef intrus 2 tend à devenir une menace, la logique TCAS évalue la séparation de la menace 2 (S2) obtenue, il continue de monter si cette dernière est plus grande que la séparation de la menace 1 (S1) si le redressement est demandé. Si ce n'est pas le cas un double avis de résolution négatif (don't climb, don't descend : ne montez pas, ne descendez pas) est généré sans prendre en considération la séparation qui sera obtenue de l'aéronef intrus 2. La stabilisation de l'altitude peut se produire bien après l'altitude de la menace2.

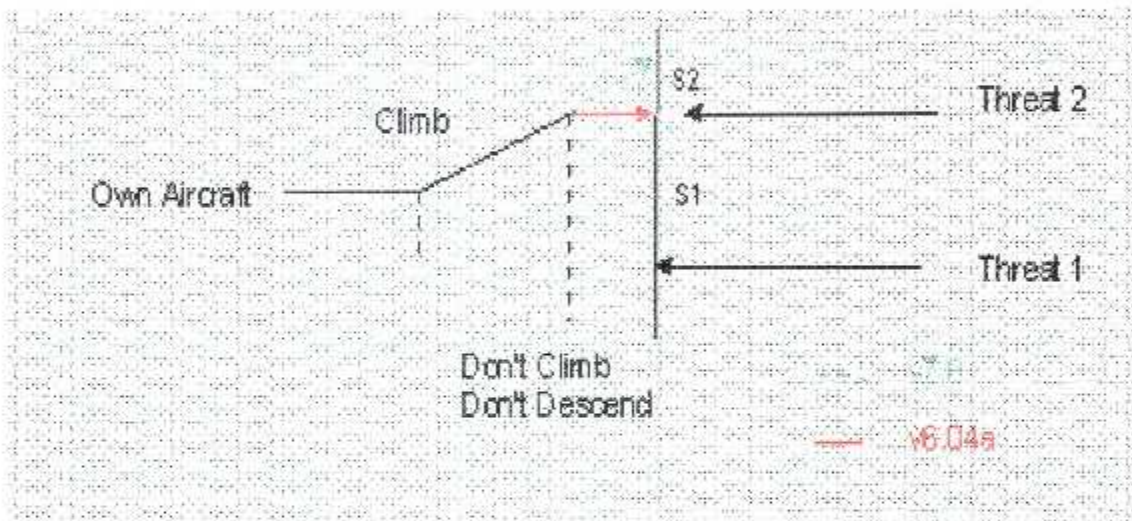


Fig. IV-3 Schéma du scénario : exemple 2

Les simulations montrent que la logique TCAS version 7.0 sera capable de résoudre correctement mieux d'au moins 50% que le logiciel de rencontres de plusieurs aéronefs (multi-aéronef) du système TCAS version 6.04 a.

Le système de sécurité est plus amélioré dans les rencontres avec de multiples menaces.

On note que si le système TCAS recommande une montée ou une descente verticale à 1500 pieds par minute, l'équipage de bord ne doit pas excéder le taux recommandé. La manœuvre verticale demandée en vol et la tentative d'évitement « d'exécuter hors » du taux de montée ou de descente générés par le système TCAS.

IV-3-6 Maintient du taux des avis de résolution :**a) TCAS version 7.0 :**

Il résultera de la génération de l'avis de résolution recommandant le maintien du taux de la vitesse verticale actuelle, un message vocale « Maintain vertical speed, Maintain : maintenez la vitesse verticale, maintenez », avec l'affichage d'un arc de couleur verte au niveau du taux de vitesse verticale actuel.

b) TCAS version 6.04 :

Un message vocale « Monitor vertical speed, Monitor vertical speed : contrôle de la vitesse verticale, contrôle de la vitesse verticale » serait généré et un arc de couleur rouge serait affiché sur l'indicateur de la vitesse verticale VSI montrant la vitesse verticale n'est pas déclenchée. L'avis de résolution insiste plus clairement sur le maintien du taux de la vitesse verticale actuel.

IV-3-7 Le non affaiblissement de la limite de la vitesse verticale VSL des avis de résolution :**a) TCAS version 7.0 :**

Si l'avis de résolution généré recommande la limite de la vitesse verticale « Don't climb greater than 1000 FPM : ne pas monter à plus de 1000 pieds par minute » et l'avis de résolution initial généré durant une rencontre ne sera pas affaibli au cours de la rencontre.

b) TCAS version 6.04 a :

La limite de la vitesse verticale de l'avis de résolution initial pourrait s'affaiblir au cours de la rencontre.

Éliminer l'occasion pour l'affaiblissement de l'avis de résolution et puis le devoir le renforcer encore plus.

IV-3-8 Absence du filtre de distance horizontal (HMDF: Horizontal Miss Distance Filtering) :

a) TCAS version 7.0 :

L'absence du filtre de la distance détermine si la séparation horizontale adéquate existerait au CPA (Closest point of Approach) de telle façon que la génération de l'avis de résolution ne soit pas nécessaire.

b) TCAS version 6.04 a :

La logique ne contient pas d'absence de filtre de distance. Les avis de résolution peuvent être générés dans les rencontres quand l'aéronef passera avec les séparations horizontales de 4 NM ou plus.

Plusieurs avis de résolution seront filtrés. La réduction totale des avis de résolution est estimée à 23% dans l'espace aérien américain et à 40 % dans l'espace aérien européen.

Quelques annonces vocales des avis de résolution seront affaiblies durant la rencontre si la séparation horizontale adéquate est détectée en réduisant la quantité des déviations verticales inutiles de l'altitude fixée.

IV-3-9 Aéronef équipé du système TCAS par rapport aux avis réversibles :

a) TCAS version 7.0 :

Les avis de résolution réversibles seront permis dans les rencontres par rapport aux deux aéronefs équipé du système TCAS et non équipé du système TCAS.

b) TCAS version 6.04 :

Les avis de résolution réversibles seraient permis seulement dans les rencontres par rapport aux aéronefs qui ne sont pas équipé du système TCAS.

L'augmentation de la sécurité du système dans les rencontres où des aéronefs intrus ne sont pas suivis de la génération des avis de résolution par leurs TCAS, ou les rencontres, où la situation est changée de signification depuis la génération de l'avis de résolution original.

IV-3-10 L'affaiblissement des avis de résolution positifs sur le VSL à 0 FPM avec les arcs verts :

a) TCAS version 7.0 :

L'avis de résolution positif (montez, descendre, maintenir le taux, et diriger les avis réversibles) permet seulement la diminution ou l'affaiblissement de la limite de l'avis de résolution à une vitesse verticale de 0 pied par minute. Un arc de couleur verte est affiché à 0 FPM (pied par minute).

b) TCAS version 6.04 a :

Un avis de résolution positif pourrait s'affaiblir une fois ou plus à une limite de RA dont la vitesse verticale est de 0, 500, 1000 ou 2000 pieds par minute durant l'établissement de la rencontre.

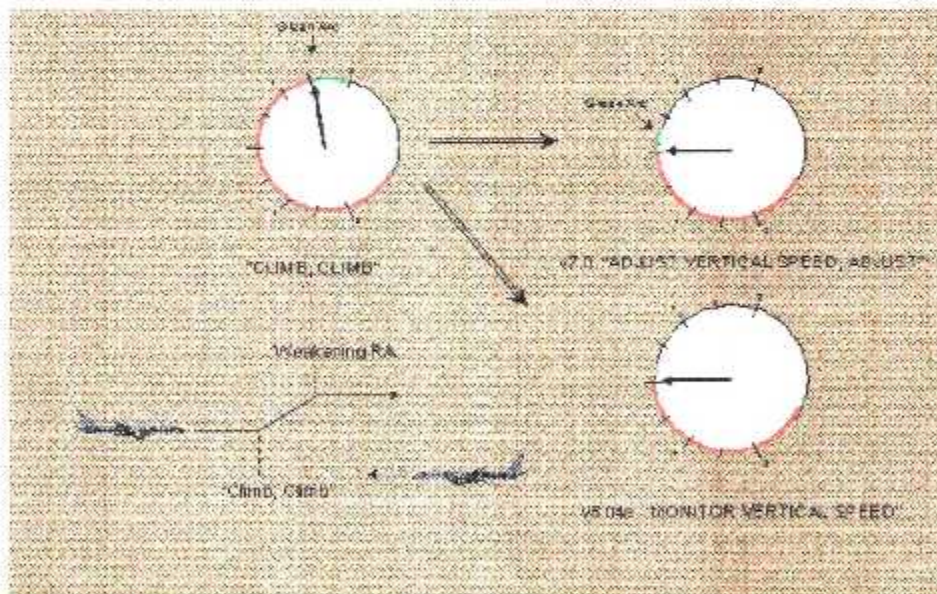


Fig. IV-4 :Affichage des arcs dans RA positif

- La réponse attendue à travers l'avis de résolution sera plus clair.
- La réponse attendue sera plus cohérente et logique avec l'actuel comportement observé des pilotes.
- Les déplacements d'altitude causés par les avis de résolution seront réduits.

IV-3-11 Adaptation de la portée d'interrogation mode S :

a) TCAS version 7 :

Les aéronefs intrus équipés du transpondeur mode S qui sont qualifiés de « pas de menace » seront interrogés à la portée d'une fois chaque 5 secondes.

b) TCAS version 6.04 a :

Tous les aéronefs équipés du transpondeur mode S seront interrogés à la portée d'une fois toutes les secondes.

Etant donné que les limitations d'interférence effectuées sont réduites et que le nombre des interrogations est réduit, la portée de surveillance est plus longue dans des espaces de trafic à densité plus grande.

La réduction du nombre d'interrogation assure les exigences d'interférences d'origine 2% pour les performances SSR dans le TCAS, dans des espaces de trafic à densité plus grande.

IV-3-12 Adaptation de séquence Whisper Shoot mode C :

a) TCAS version 7.0 :

Le développement de réponse TCAS mène la densité des intrus mode C à l'intérieur de la portée de poursuite dans chaque rayonnement d'antenne et ajuste ses interrogations en conséquent.

b) TCAS version 6.04a :

Pour la surveillance mode C, le système TCAS transmet 24 interrogations en avant/ du haut, 20 interrogations gauches/ du haut, 20 interrogations droites/du haut, 24 interrogations arrières/du haut, et 4 omni-interrogation du bas, chaque seconde.

Les interrogations suivantes sont émises chaque seconde.

Interrogation	Version 6.04a	Version 7.0				
	tous	Espace à densité élevée	Espace à densité modérée	réduction	Pas d'intrus détectés en mode C	réduction
Haut/en avant	24	24	6	75%	1	83%
Haut/gauche	20	20	5	75%	1	80%
Haut/droite	20	20	5	75%	1	80%
Haut/en arrière	15	15	4	73%	1	75%
Omni bas	4	4	4	0%	1	75%

Tableau IV-1 : Emission des interrogations pour les deux versions

Pour chaque secteur de 90 °, le processus TCAS contrôle le rapprochement de la cible à travers son rayonnement et puis éloigne progressivement la cible du haut à une portée de surveillance TCAS maximum. En utilisant la suppression des pulsations associées, le système TCAS est capable de supprimer les transpondeurs interrogés plus tôt dans la séquence interrogation. Comme la séquence Whisper Shoot, les transpondeurs éloignés légèrement répondront et les réponses pour ces transpondeurs n'auront pas besoin d'être fortes à cause de la sensibilité du récepteur qui a diminué.

Une manière de visualiser le Whisper Shoot, c'est comme jeter un petit caillou dans une marre et regarder l'ondulation s'accroître. A chaque augmentation de la taille du caillou, la portée de l'ondulation s'accroît. Ceci n'est pas l'analogie parfaite dans le Whisper Shoot qui supprimera les retours après les objectifs comme il continue d'atteindre l'éloignement à l'intérieure du volume de surveillance et la portée est adressée séquentiellement dans des quadrants de 90° plus tôt. En autorisant 24 mesures de séquence Whisper Shoot entières en avant de l'aéronef et en réduisant le nombre de mesures de Whisper Shoot pour le coté et l'arrière, le TCAS forme leurs volumes de portée de surveillance horizontale.

Ceci fournit approximativement 30 miles de couverture en avant et 12 miles de couverture des cotés et de l'arrière.

IV-4 DIFFERENCE ENTRE LE TCAS VERSION 6.04 A ET LE TCAS VERSION 7.0 :

IV-4-1 Seuil vertical :

Le seuil verticale pour les avis de circulation TA et les avis de résolution RA du TCAS version 7.0 a été élevé entre 30.000 et 40.000 pieds comparer au TCAS version 6.04a.

Seuil d'altitude réduit entre 30.000 et 42.000 pieds				
description	Version 6.04 a		Version 7.0	
Altitude de l'aéronef TCAS (MSL en pied)	20.000 à 30.000	Au-dessus de 30.000	20.000 à 42.000	Au-dessus de 42.000
Seuil vertical pour TA [ZTHRTA] (ft)	850	1200	850	1200
Seuil vertical pour RA [ZTHRTA] (ft)	700	800	700	800
Seuil vertical pour RA positif [ALIM] (ft)	600	700	600	700

Tableau IV-2 : Seuils d'altitudes

IV-4-2 Nouveaux messages :

Pour le TCAS version 7.0, certains messages ont été modifiés pour un meilleur accomplissement de génération de différents avis. le tableau suivant nous montre les différents messages du TCAS version 6.04 et le TCAS version 7.0 :

Type d'avis	Annonciation version 6.04 a	Annonciation version 7.0
Avis de circulation TA	« Traffic, Traffic »	« Traffic, Traffic »
Montée corrective	« Climb, Climb, Climb »	« Climb, Climb »
Descente corrective	« Descent, Descent, Descent »	« Descent, descent »
Montée à croisement d'altitude (avis correctif)	« climb Crossing Climb, Climb Crossing climb »	« climb Crossing Climb, Climb Crossing climb »
Descente à croisement d'altitude (avis correctif)	« Descent Crossing Descent, Descent Crossing Descent »	« Descent Crossing Descent, Descent Crossing Descent »
Réduction de la montée corrective	« Reduce Climb, Reduce Climb »	« Adjust Vertical Speed, Adjust »
Réduction de la descente corrective	« Reduce Descent, Reduce Descent »	« Adjust Vertical Speed, Adjust »
Renversement pour une montée (avis correctif)	« Climb, Climb NOW, Climb, Climb NOW »	« Climb, Climb NOW, Climb, Climb NOW »
Renversement pour la descente (avis correctif)	« Descent, Descent NOW, Descent, Descent NOW »	« Descent, Descent NOW, Descent, Descent NOW »
Augmentation de la montée (avis correctif)	« Increase Climb, Increase Climb »	« Increase Climb, Increase Climb »
Augmentation de la descente (avis correctif)	« Increase Climb, Increase Climb »	« Increase Climb, Increase Climb »
Avis de résolution préventif initial	« monitor Vertical Speed, Monitor Vertical Speed »	« Monitor Vertical Speed »
Pas de croisement maintenir le taux de l'avis de résolution (correctif)	« monitor Vertical Speed, Monitor Vertical Speed »	« Maintain Vertical Speed, Maintain »
Croisement d'altitude, maintenir le taux de l'avis de résolution (avis correctif)	« monitor Vertical Speed, Monitor Vertical Speed »	« Maintain Vertical Speed, Crossing Maintain »
Affaiblissement de l'avis de résolution correctif	« monitor Vertical Speed »	« Adjust Vertical Speed, Adjust »
Dissipation du conflit	« Clear of Conflict »	« Clear of Conflict »

Tableau IV-3 : Messages générés

Avantages :

a- Elimination de l'ambiguïté concernant l'annonce « Monitor Vertical Speed » qui a été utilisé dans deux cas, lorsque le taux vertical actuel devait être maintenu et lorsque le taux vertical devrait être changé.

b- Elimination de l'émission orales des avis « Reduce Climb » et Reduce Descent » quand c'est possible car le manque de la partie « reduce » peut causer une interprétation incorrecte du sens de la montée ou de la descente.

IV-5 TRANSPONDEUR VERSION 7.0 :

IV-5-1 Rapport de l'avis de résolution :

a) Transpondeur et TCAS version 7.0

Le système TCAS fournit un rapport d'avis de résolution pour son propre transpondeur de l'aéronef contenant les informations supplémentaires qui suivent et qui n'existent pas pour les systèmes avant la version 7.0

a- Bit RAT (RA terminated : RA terminé)

b- Bit MTE (Multiple Threat Encounter : plusieurs rencontres de menace)

c- Champ TTI (Threat Type Indicator : indicateur de type de menace) : spécifie le codage du champ TID

d- Champ TID (Threat Identify Data : données d'identification de la menace) contient l'adresse mode S de l'intrus si le mode S ou la portée sont sélectionnés, autrement l'altitude et le rapport.

Avantages :

Il n'y a pas d'avantage pour la coordination air – TCAS air. Le système TCAS reçoit les bits RAT et MTE du transpondeur de l'aéronef intrus mais ne les utilise pas pour autre chose.

Pour les communications air – sol, le sol aura des informations supplémentaires concernant l'avis de résolution, qui d'ailleurs ne pourrait pas avoir autrement.

IV-5-2 Rapport de capacité du rapport de données :

Le système TCAS fournit directement 4 bits pour le transpondeur afin de les utiliser pour le rapport de capacité du rapport de données qui sera rapporté au sol

- statut opérationnel (stand-by, TA Only, TA/RA).
- TCAS II (manœuvre verticale) ou système capable de fournir des manœuvres horizontales.

a) Soit transpondeur, soit TCAS version 7.0 :

La donnée placée dans 4 bits est déterminée par le transpondeur, elle est basée sur d'autres informations, elle est déjà reçue par son propre TCAS.

Avantage : Pas d'avantage.

IV-5-3 L'accès du TCAS au registre GICB du transpondeur**a) TCAS et transpondeur version 7.0 :**

Ajout du protocole d'interface pour permettre au système TCAS de demander les contenus de donnée par le registre particulier dans le transpondeur qui n'a pas le même protocole.

b) Soit transpondeur, soit TCAS version 7.0 :

Le protocole d'interface n'est pas exécutable

Avantage :

Nécessaire pour l'exécution du ADS-B

- l'application est que le système TCAS peut recevoir la position GNSS (Global Navigation Satellite System) de son aéronef propre en le demandant par le transpondeur plutôt que d'avoir sa propre interface GNSS .

Chapitre V

Simulation

V-1 PRESENTATION DU MATERIEL/SOFTWARE :

Le logiciel est développé sur un micro-ordinateur PC compatible IBM du type Pentium III ayant une performance d'horloge de 500 Mhz.

Le logiciel utilisé pour la programmation de cette partie simulation est le MATLAB version V 6.0.

V-2 DIFFERENTS MODULES DE LA SIMULATION :

Le module de simulation est constitué de 4 parties de programmes ; chaque partie représente la simulation d'un cas type.

V-2-1 Première partie :

La première partie simule un aéronef de référence ayant une altitude fixe h (niveau de vol) et une vitesse constante V_1 , et un aéronef intrus en montée à une vitesse constante V_2 , l'axe du mouvement forme un angle θ donné par rapport à l'axe des X, et pour coordonnées $(x_2^{(0)}, y_2^{(0)})$ à l'instant $T = 0$.

Le schéma suivant illustre ce cas de figure :

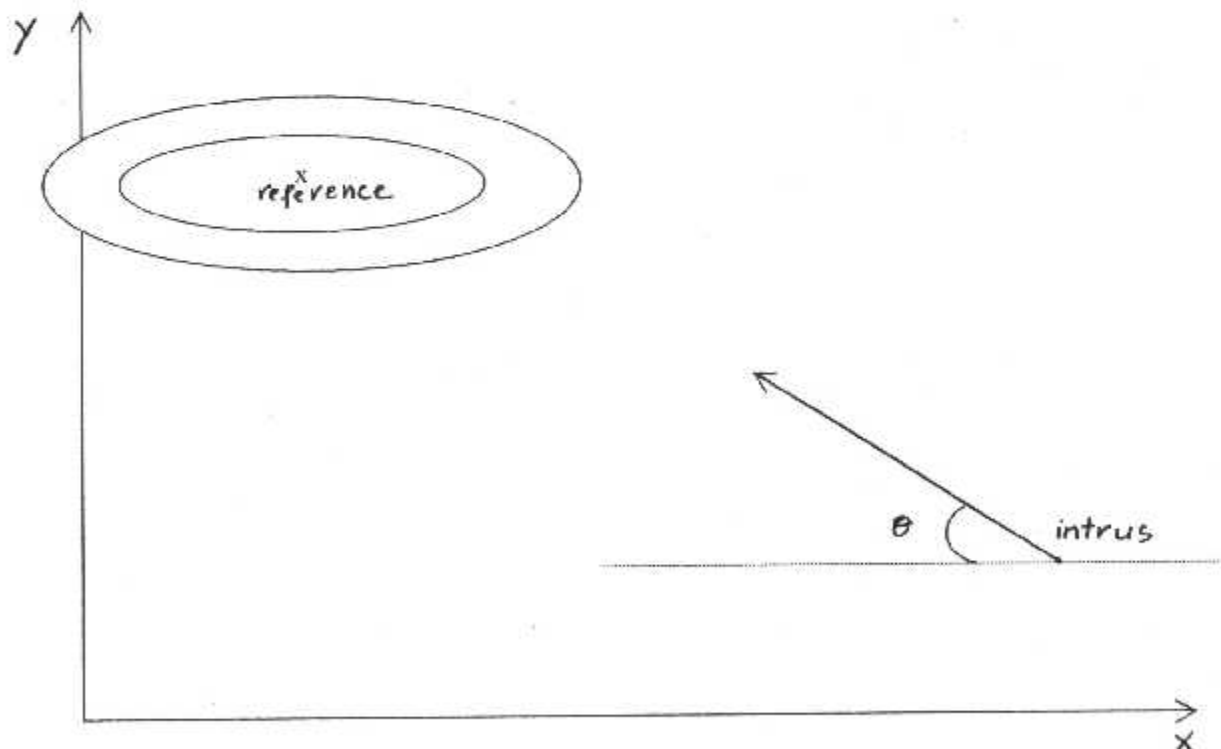
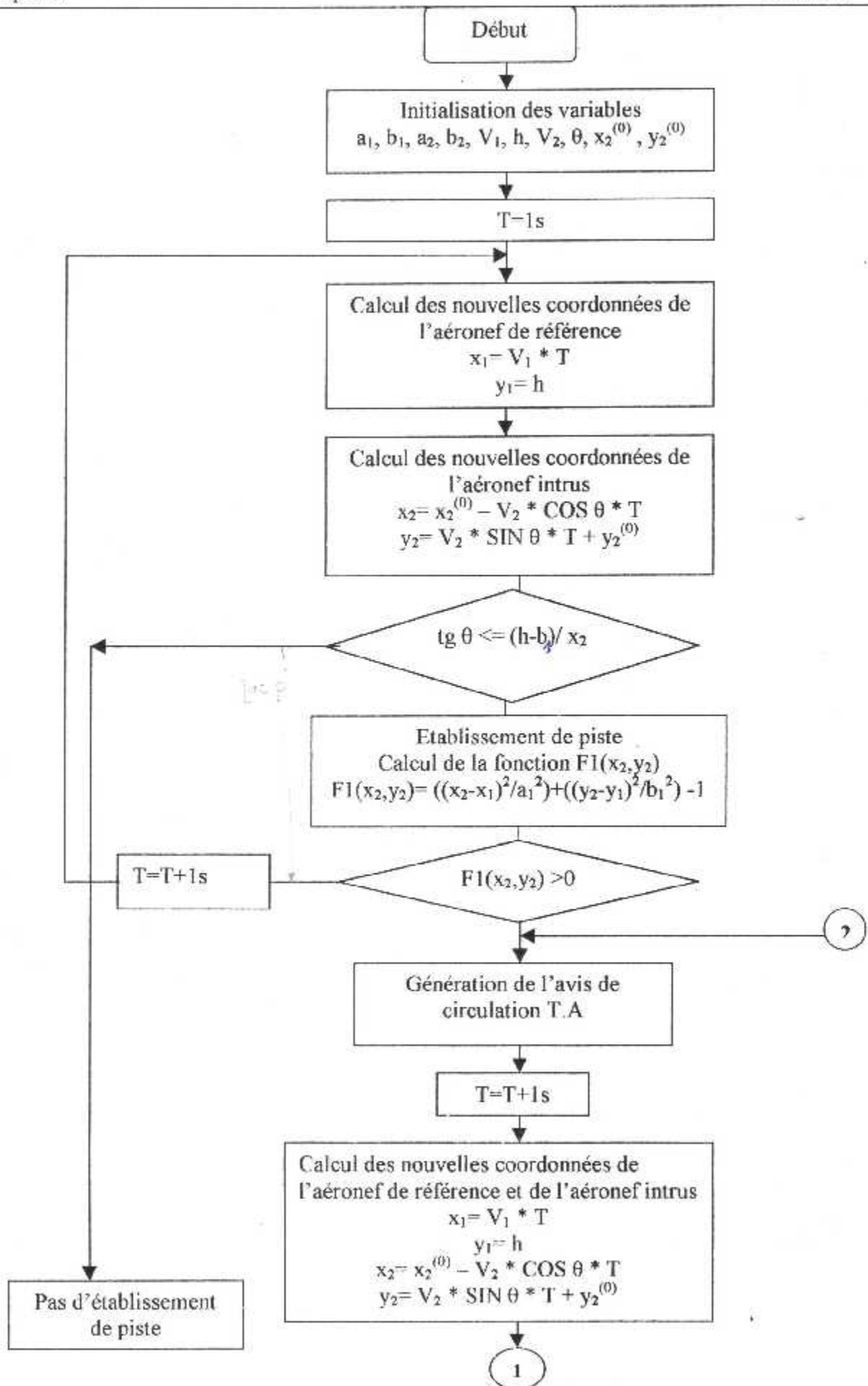
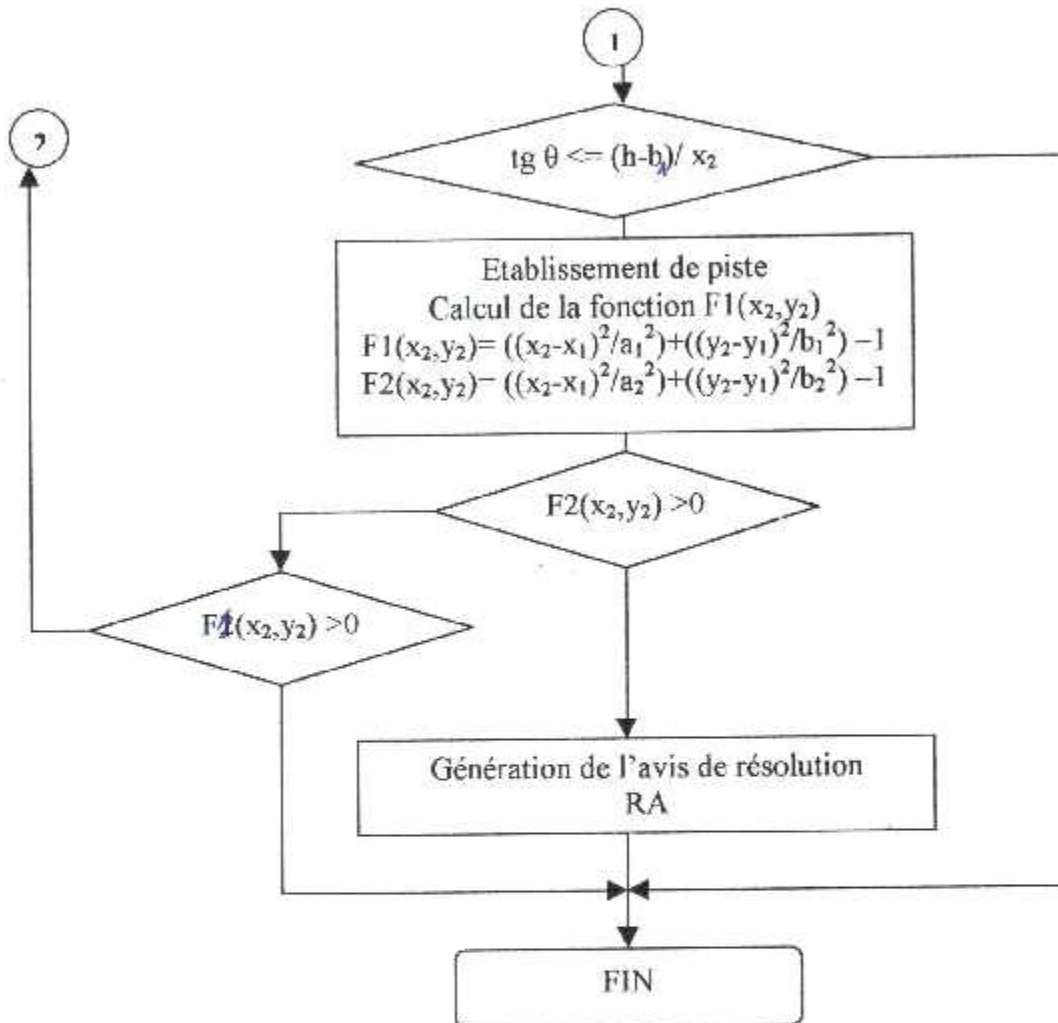


Fig V-1 : Premier cas





Cas d'intrus en descente

V-2-2 Deuxième partie :

La deuxième partie simule un aéronef de référence ayant une altitude fixe h (niveau de vol) et une vitesse constante V_1 , et un aéronef intrus en descente à une vitesse constante V_2 , l'axe du mouvement forme un angle θ donné par rapport à l'axe des X , et pour coordonnées $(x_2^{(0)}, y_2^{(0)})$ à l'instant $T = 0$.

Le schéma suivant illustre ce cas de figure :

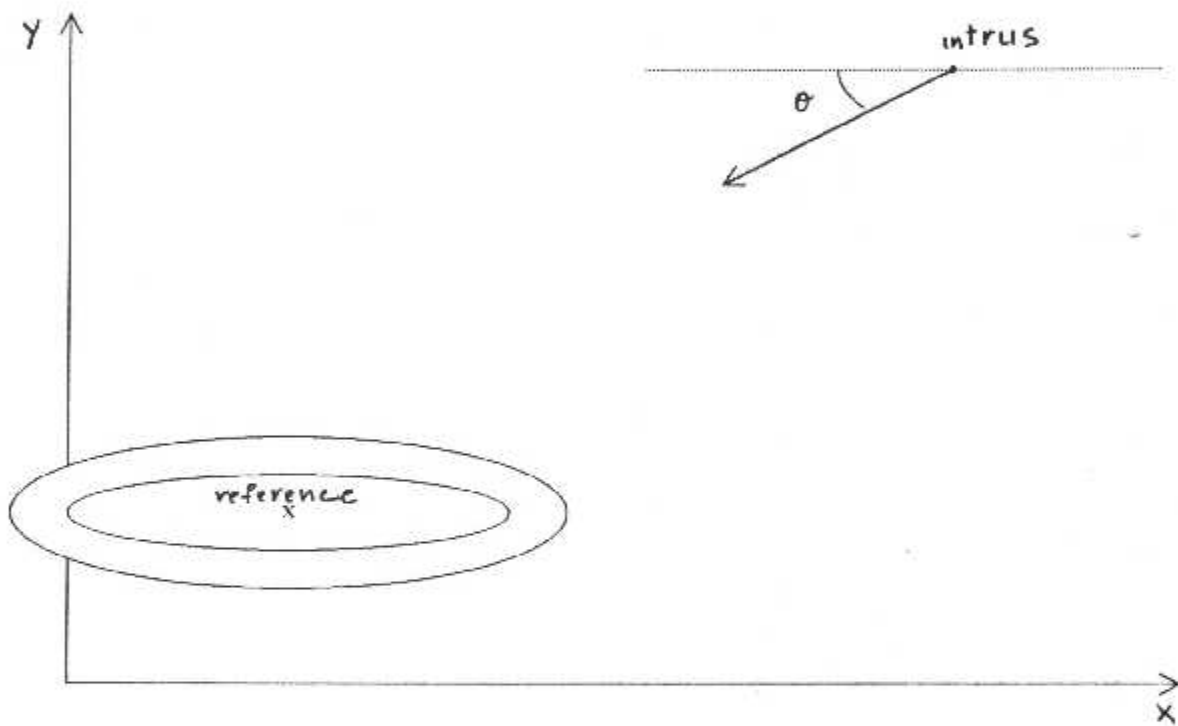
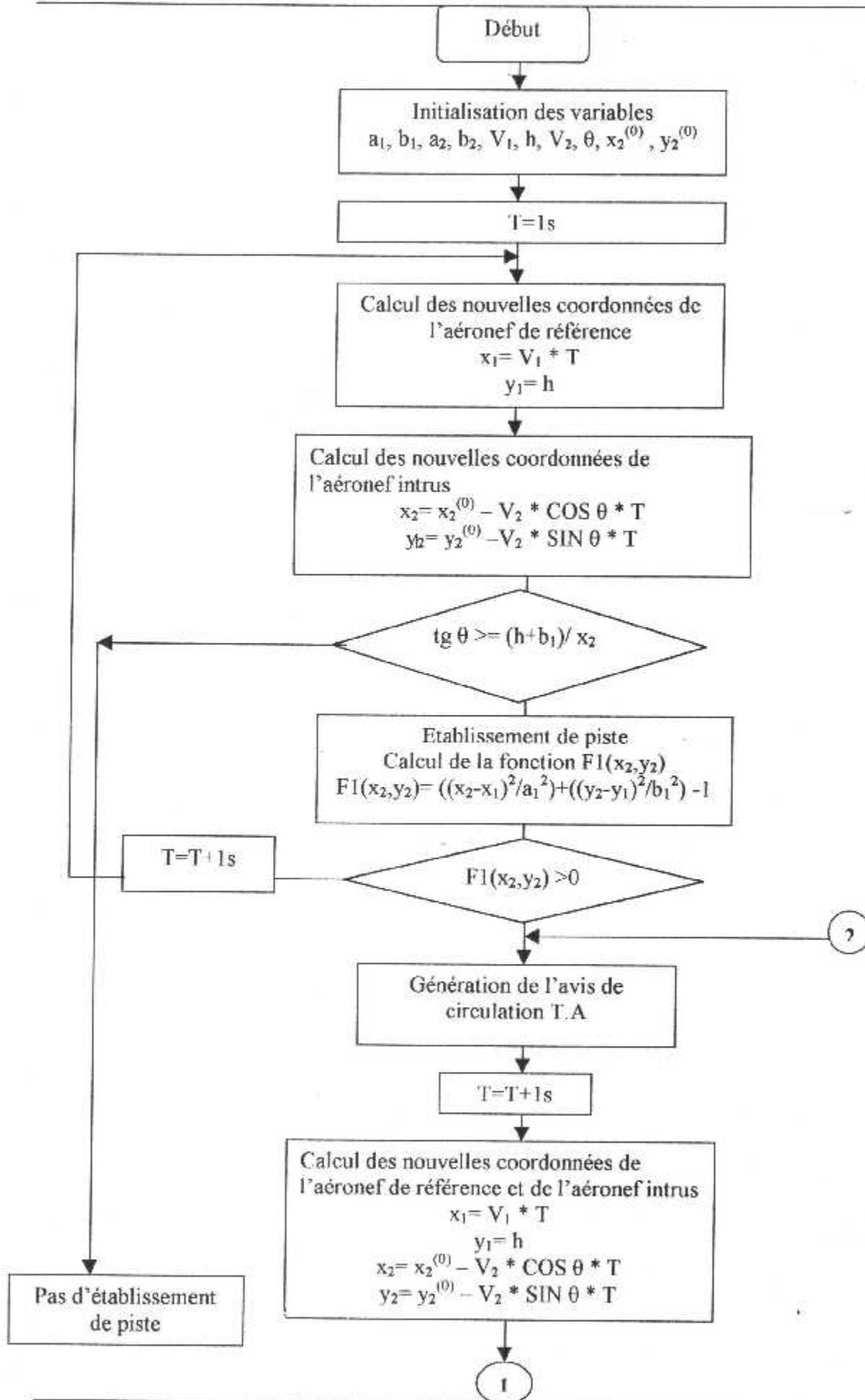
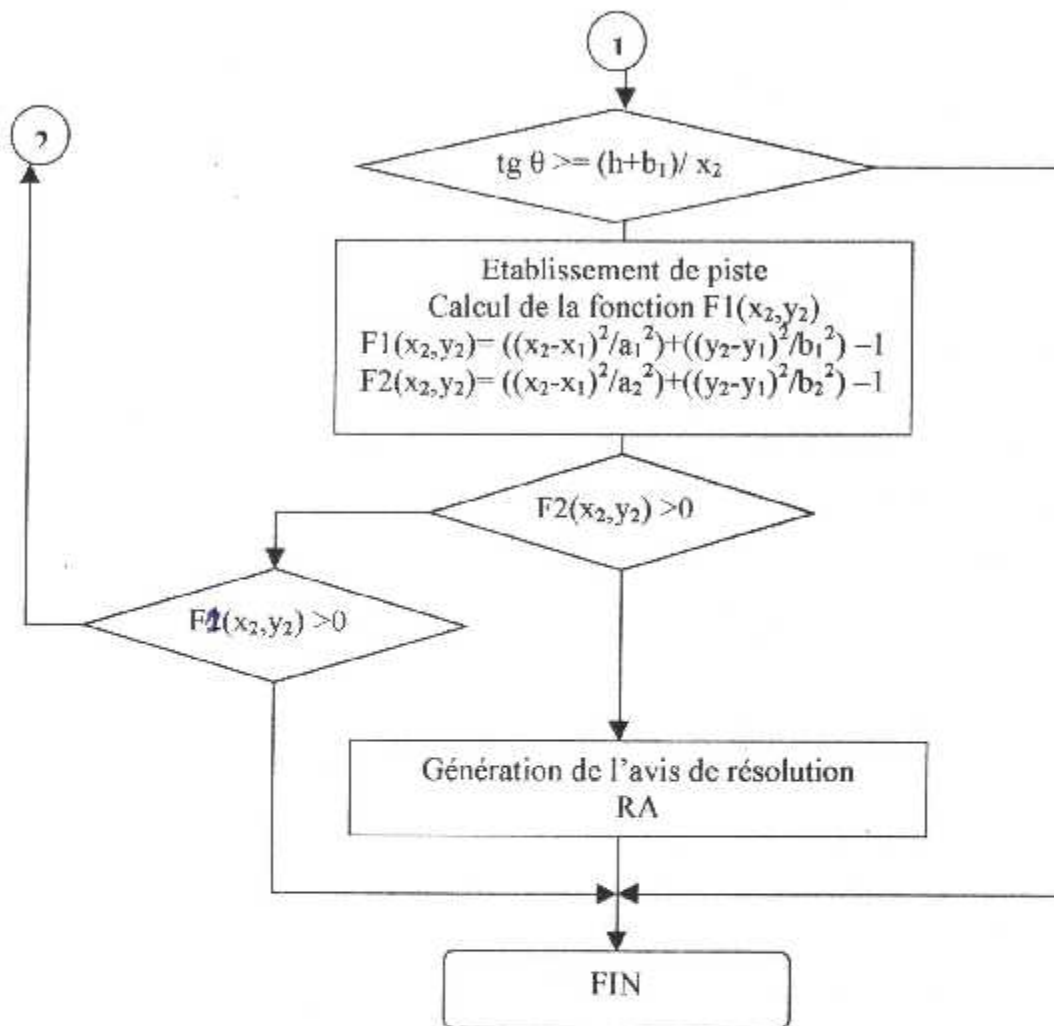


Fig V-2 : Deuxième cas





Cas d'intrus au même niveau de vol

V-2-3 Troisième partie :

La troisième partie simule un aéronef de référence ayant une altitude fixe h (niveau de vol) et une vitesse constante V_1 , et un aéronef intrus qui maintient le même niveau de vol (même altitude) à une vitesse constante V_2 , l'axe du mouvement est parallèle par rapport à l'axe des X , et pour coordonnées $(x_2^{(0)}, y_2^{(0)})$ à l'instant $T = 0$.

Le schéma suivant illustre ce cas de figure :

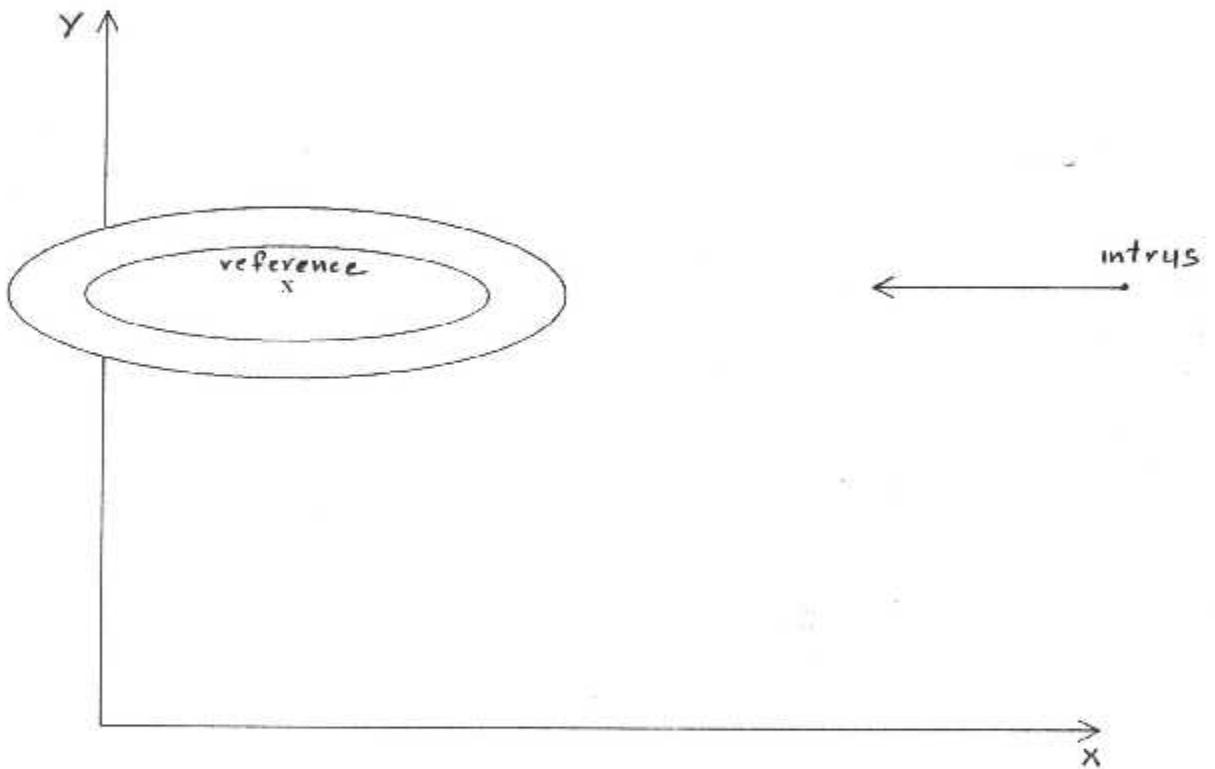
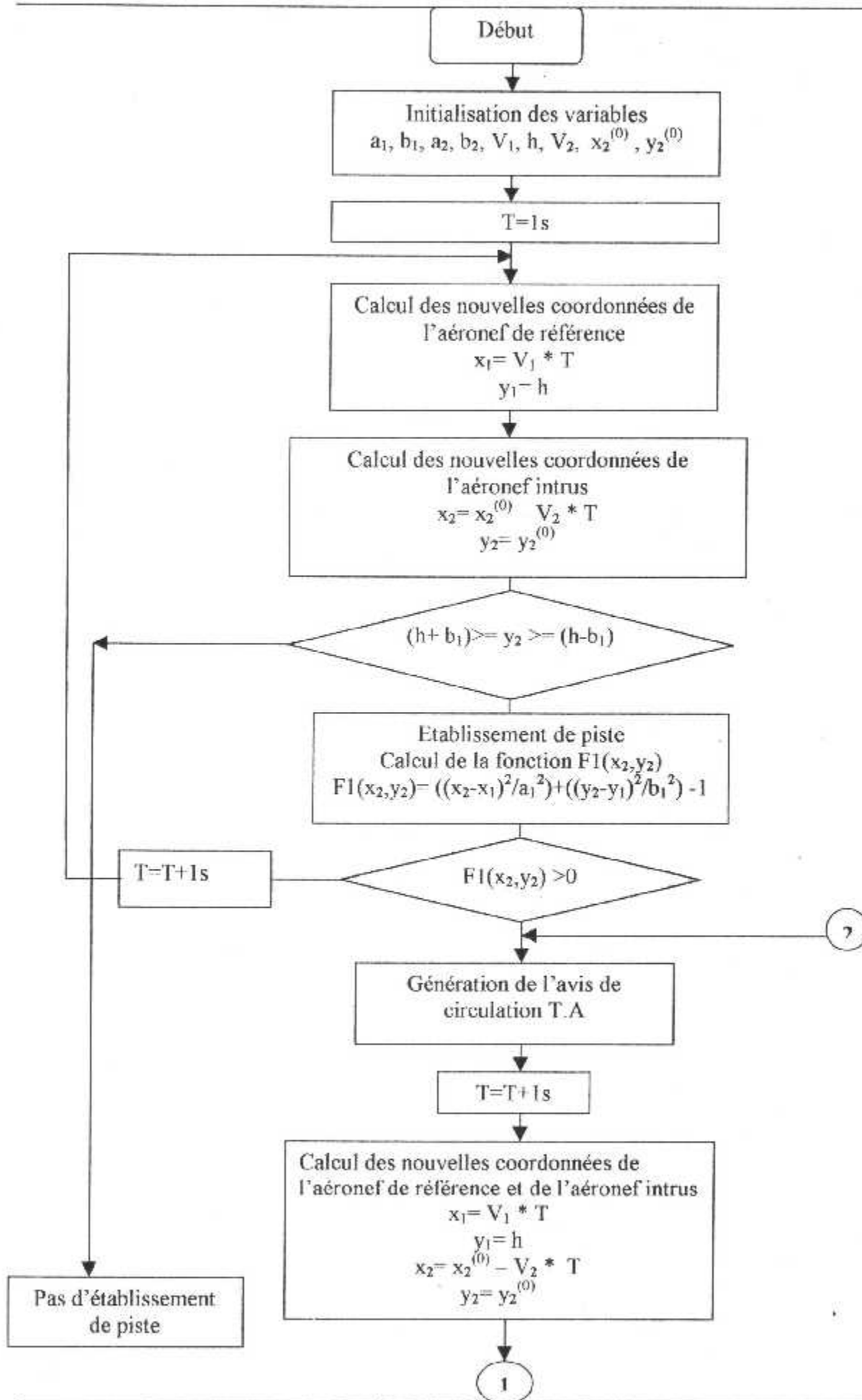
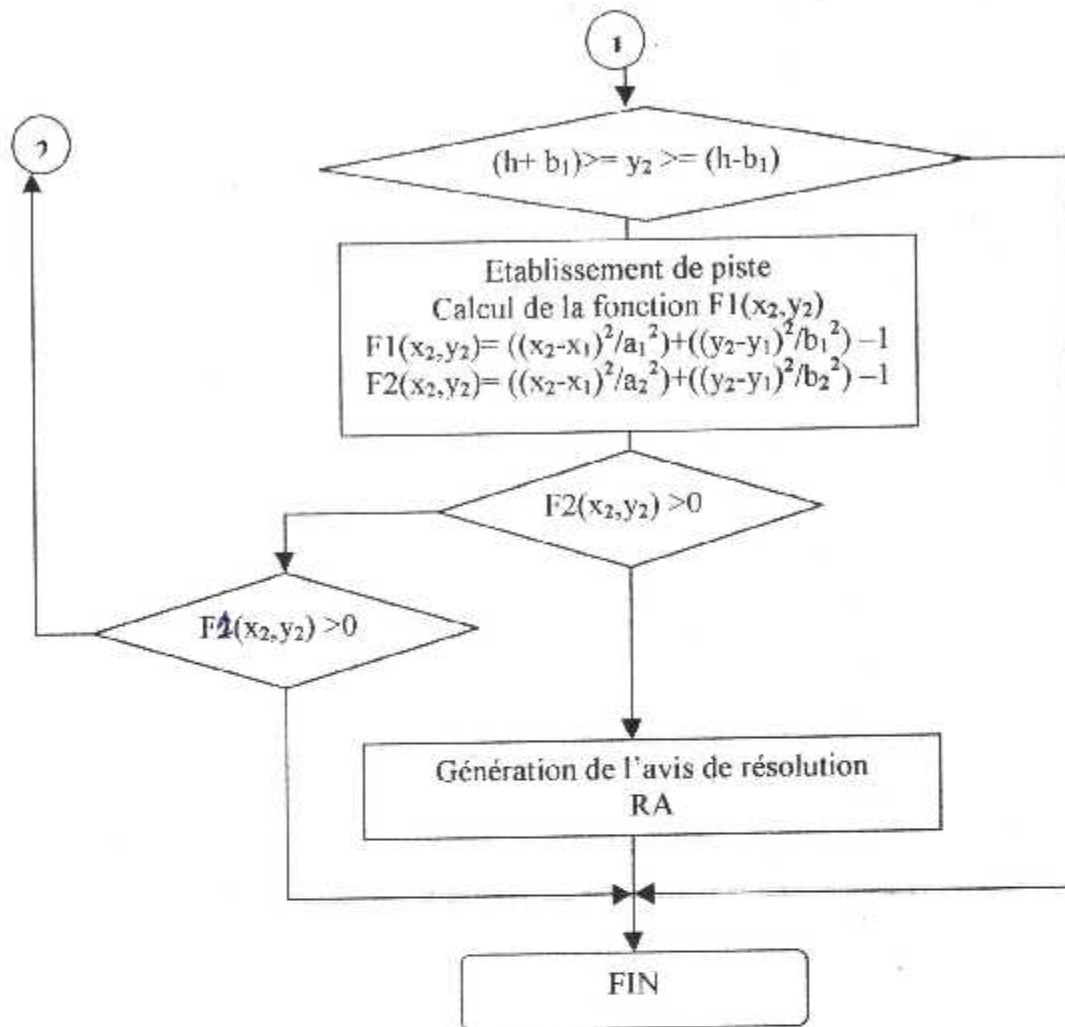


Fig V-3 : Troisième cas V-3





CONLUSTON CONSTITUTION

CONCLUSION

Dans notre étude, nous avons effectué une étude descriptive détaillée sur le système d'anticollision embarqué.

Les améliorations software constituant le système TCAS ont été développées de manière à montrer le fonctionnement de chacun d'entre eux.

Une description fonctionnelle détaillée a été effectuée afin de comprendre exactement le comment et quelles sont les logiciels impliqués dans les phases de surveillance et détection des intrus.

Une étude des performances des limites du système TCAS II a été réalisée, ainsi qu'une étude comparative des deux versions software, version 6.04 qui ont fait l'objet des améliorations apportées à la dernière version 7.0.

Une contribution à la simulation du fonctionnement du système TCAS II a été réalisée, elle constitue à simuler le cas où l'aéronef de référence (aéronef équipé du système TCAS II) effectuant un vol à une vitesse constante, maintenant le même niveau de vol, et l'aéronef intrus (équipé du transpondeur), effectuant un vol à une vitesse constante dans les trois cas de figures : en montée, en descente, et au même niveau de vol.

Nous espérons que ce modeste travail contribuera à des études futures sur le système d'anticollision embarqué, et constituera un document de référence.

En perspective, et afin de confiner cette étude, la partie simulation pourra faire l'objet des études futures en intégrant le cas de plusieurs intrus et même en trois dimensions (3D).

ANNEXES

Note : Les définitions qui accompagnent les termes ci-dessous ne s'appliquent que dans le contexte des systèmes anticollision embarqués. Elles ne sont pas nécessairement valables dans d'autres contextes.

ACAS (Airborne Collision Avoidance System) : Système d'anticollision embarqué qui assure la détection et la poursuite des aéronefs évoluant à proximité de l'aéronef qui en est équipé, signale la présence des aéronefs qui constituent une menace de collision et conseille aux aéronefs des manœuvres visant à résoudre le conflit de manière à assurer la séparation de sécurité entre les aéronefs en cause.

Aéronef en palier : aéronef doté du TCAS en question, lequel est censé permettre d'éviter les collisions

Aéronef de référence : L'aéronef dont il s'agit, qui est équipé du système ACAS ou TCAS.

Aéronef de transition : aéronef dont le taux moyen de variation d'altitude est supérieure à 400 pied par minute (ft/min), valeur mesurée pendant une certaine période présentant un intérêt.

Angle de rapprochement : Différence entre les caps au sol de deux aéronefs au moment de leur rapprochement maximal, 180degrès étant défini comme cap frontal et 0 degré comme cap parallèle.

Avis : message adressé à l'équipage de bord et contenant des renseignements relatifs à l'évitement des collisions.

Avis de circulation : Indication signalant à l'équipage de conduite qu'un intrus particulier constitue une menace possible.

- ✓ **Avis de résolution** : Indication donnée à l'équipage de conduite, ayant pour objet de lui recommander :
- a- d'exécuter une manœuvre afin que soit assurée la séparation nécessaire afin d'éviter toutes les menaces, ou
 - b- de se conformer à une restriction de manœuvres afin que soit maintenue la séparation existante.
- ✓ **Avis de résolution à augmentation de taux de variation** : Avis de résolution dont la force recommande de porter le taux de variation à une valeur supérieure à celle que recommandait un avis de résolution « vers le haut » ou « vers le bas » précédent.
- ✓ **Avis de résolution à franchissement d'altitude** : Un avis de résolution est dit à franchissement d'altitude si l'aéronef TCAS de référence se trouve actuellement à au moins 30 m (1000 ft) au dessous de l'aéronef menaçant si c'est un avis « vers le haut », ou au dessus de l'aéronef menaçant si c'est un avis « vers le bas ».
- ✓ **Avis de résolution à limite de vitesse verticale (VSL)** : avis de résolution conseillant au pilote d'éviter une certaine plage de taux de variation d'altitude. un avis de résolution VSL peut être soit correctif, soit préventif.
- ✓ **Avis de résolution complémentaire en vigueur** : un avis de résolution complémentaire dit en vigueur lorsqu'il impose des contraintes sur la sélection de l'avis de résolution. Les avis de résolutions complémentaires reçus au cours des 6 dernières secondes qui n'ont pas été expressément annulés sont en vigueur.
- ✓ **Avis de résolution complémentaires (RAC)** : information communiquée par un TCAS à un autre TCAS au moyen d'une interrogation mode S afin d'obtenir que les deux aéronefs exécutent des manœuvres complémentaires en restreignant le choix de manœuvres dont dispose le TCAS qui reçoit l'avis de résolution complémentaire.
- ✓ **Avis de résolution correctif** : avis de résolution conseillant au pilote de s'écarter de sa trajectoire de vol actuelle.

Avis de résolution inversé : Avis de résolution dont le sens a été renversé.

Avis de résolution positif : Avis de résolution conseillant au pilote soit de monter, soit de descendre.

Avis de résolution préventif : Avis de résolution conseillant au pilote d'éviter certains écarts par rapport à sa trajectoire de vol actuelle mais n'exigeant pas que celle-ci soit modifiée.

Avis de résolution « vers le bas » : Avis de résolution positif recommandant une descente mais non une descente accélérée.

Avis de résolution « vers le haut » : Avis de résolution positif recommandant une montée mais non une montée accélérée.

Chevauchement : Etat des réponses SSR qui se superposent à l'entrée du récepteur.

Chevauchement synchrone : Chevauchement des réponses reçues par une unité TCAS qui a interrogé des aéronefs situés à des distances pratiquement égales.

Classe de rencontre : les rencontres sont classées selon que les aéronefs sont ou non en transition au début et à la fin de la fenêtre de rencontre et selon que la rencontre comporte ou non un franchissement d'altitude.

Commande de sensibilité : Sélection des dimensions du volume de protection utilisé par la logique de détection de conflit du système TCAS.

CPA (Closest point of approach) : Point de rapprochement maximal de deux aéronefs en conflit.

Coordination : Processus selon lequel deux aéronefs dotés du TCAS sélectionnent des avis de résolutions (RA) compatibles en échangeant des avis de résolutions complémentaires (RAC).

Couche d'altitude : Chaque rencontre est attribuée à l'une des couches d'altitude suivantes :

Couche	1	2	3	4	5
De		2300 ft	5000 ft	10000 ft	20000 ft
A	2300 ft	5000 ft	10000 ft	20000 ft	41000 ft

DB : Décibel.

Délais d'avertissement : Intervalle de temps entre l'instant où est détecté la menace possible /menace et l'instant de rapprochement maximale lorsque ni l'un ni l'autre des aéronefs n'accélère.

Diffusion TCAS : interrogation de surveillance air-air mode S longue (LF=16) qui porte une adresse de diffusion.

Distance horizontale d'évitement (hmd) : séparation horizontale minimale constatée dans une rencontre.

Distance verticale d'évitement (vmd) : théoriquement c'est la séparation, verticale au point de rapprochement maximale. En effet de rencontres du modèle de rencontre type, c'est par construction la séparation verticale au moment du point de rapprochement maximal.

DME (Distance Measuring Equipment) : Equipement de mesure de distance.

Enregistrement d'avis de résolution complémentaire (enregistrement RAC) : ensemble énumérant tous les avis de résolution complémentaires en vigueur dans le plan vertical (VRC) et dans le plan horizontal (HRC) que le TCAS a reçus. Cet enregistrement est fourni par un TCAS ou une station sol mode S au moyen d'une réponse mode S.

Fausse alerte : Alerte provoquée par une fausse piste ou un mauvais fonctionnement du système TCAS.

Fausse piste : Piste formée à partir des données de surveillance erronées qui indiquent la présence d'un intrus alors qu'il n'y en a pas.

Force de l'avis de résolution : grandeur indiquée pour la manœuvre préconisée par l'avis de résolution. Un avis de résolution peut adopter successivement plusieurs forces avant d'être annulé. Toute nouvelle force assignée annule automatiquement la force assignée auparavant.

Fruit : Réponses SSR reçues qui sont destinées à d'autres interrogateurs.

Gisement : Angle défini, dans le plan horizontal, par l'axe longitudinal de l'aéronef de référence et la direction de l'intrus, mesuré en sens d'horloge par un observateur situé au-dessus.

Interrogation de coordination : interrogation mode S (transmission montante) émise par un TCAS II ou TCAS III et contenant un message de résolution.

Intrus : aéronef doté d'un transpondeur SSR, qui se trouve à portée de surveillance d'un TCAS et au sujet duquel ce dernier a généré une piste établie.

Limitation de brouillage : Auto-limitation de la fréquence des interrogations de l'unité TCAS pour éviter de brouiller les communications des services de la circulation aérienne.

Menace : intrus auquel on doit accorder une attention particulièrement en raison de sa proximité par rapport à l'aéronef de référence ou parce qu'une succession de mesures de gisement d'altitude que d'après la trajectoire qu'il suit, il pourrait y avoir collision ou quasi-collision avec l'aéronef de référence. Le délai d'avertissement donné dans le cas d'une menace est assez court pour justifier un avis de résolution.

Menace possible : intrus auquel on doit accorder une attention particulière en raison de sa proximité par rapport à l'aéronef de référence ou parce qu'une succession de mesure de gisement et d'altitude indique que d'après la trajectoire qu'il suit, il pourrait y avoir collision ou quasi-collision avec l'aéronef de référence. Le délai d'avertissement donné dans le cas d'une menace possible est assez court pour justifier un avis de circulation mais non un avis de résolution.

Message de résolution : message contenant l'avis de résolution complémentaire (RAC).

Mode S : Mode amélioré du radar de surveillance (SSR) qui permet l'interrogation de tous les aéronefs équipés du SSR, l'interrogation dirigée de tous les aéronefs convenablement équipés et l'échange bidirectionnel de données numériques entre ces aéronefs et l'interrogateur.

MTL (Minimum Triggering Level) : Niveau minimal de déclenchement d'un récepteur.

Niveau de sensibilité (S) : Nombre entier qui exprime la valeur d'un ensemble de paramètres servant, dans les algorithmes d'avis de circulations et les algorithmes anticollision, à contrôler le délai d'avertissement donné par la menace possible et logique de détection de menaces ainsi que les valeurs des paramètres intéressant la logique de sélection des avis de résolution.

Piste : Représentation de la position et de la vitesse estimée d'un aéronef isolé d'après des comptes rendus corrélés de données de surveillance.

Piste établie : piste générée par surveillance air-air TCAS et traitée de même façon que la piste d'un aéronef réel.

RA (Resolution Advisory) : Avis de résolution.

Rapprochement maximale : situation dans laquelle l'aéronef TCAS de référence et l'aéronef intrus se trouvent à la distance minimale l'un de l'autre. Par conséquent, la distance de rapprochement maximal est la distance minimale entre les deux aéronefs et l'instant de rapprochement maximal est l'instant où ils se trouvent à cette distance l'un de l'autre.

Réponse de coordination : Réponse mode S (transmission descendante) qui indique que le transpondeur mode S faisant partie d'une installation TCAS II ou TCAS III a reçu une interrogation de coordination.

Sens de l'avis de résolution : Le sens d'un avis de résolution TCAS II est le suivant « vers le bas » s'il recommande de monter ou de limiter la vitesse verticale de descente, et de « vers le haut » s'il recommande de descendre ou de limiter la vitesse verticale de montée. IL peut être à la fois « vers le haut » et « vers le bas » s'il exige de limiter la vitesse verticale à une plage spécifiée.

SL : Sensibilité des paramètres anticollision.

Squitter : Transmission périodique par un transpondeur mode S, sans interrogation préalable, d'un format de réponse particulier destiné à faciliter l'acquisition par un système anticollision embarqué.

SSR (Secondary Surveillance Radar) : Radar secondaire de surveillance.

TA (Traffic Advisory) : Avis de circulation.

TAU : Seuil de temps pour le test de distance.

TCAS (Traffic Collision Avoidance System) : Système d'anticollision embarqué qui assure la détection et la poursuite des aéronefs évoluant à proximité de l'aéronef qui en est équipé, signale la présence des aéronefs qui constituent une menace de collision et conseille aux aéronefs des manœuvres visant à résoudre le conflit de manière à assurer la séparation de sécurité entre les aéronefs en cause.

Transpondeur mode S : Equipement embarqué qui produit des réponses déterminées aux interrogations mode S et mode A/C.

Transpondeur mode A/C : Equipement embarqué qui produit des réponses déterminées aux interrogations SSR mode A et mode C.

ZTHR : Seuil d'altitude pour la détection de conflit.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] AIR ALGERIE
TCAS II Traffic and Collision System TU B767/A310 B737/ B727/L382G.
DOA – S/D EXP , Février 2000

- [2] Honeywell
Traffic Alert and Collision Avoidance System (TCAS)
Pilot's Manual Octobre 1994

- [3] T. YAHI , S. LOUNIS
TCAS II
Mini-projet, I.A.B, Janvier 2001

- [4] CIRCULAIRE 195-AN/118
Systèmes d'anticollision embarqués
O.A.C.I , Montréal, Canada 1985

- [5] CD ROOM
Air bus Training Maintenance Courses A319, A320, A321

- [6] CD ROOM
Electronic and Avionic System CAS 67 A and CAS 81 A

- [7] CD ROOM
Traffic and Collision Avoidance System TCAS/TCAS II
ALLIED SIGNAL., Août 1998
- [8] O.A.C.I
Télécommunications Aéronautiques
Annexe 10, 5 Novembre 1998
- [9] MATLAB GUIDE MANUAL
Mathworks . INC , USA , 1994
- [10] [www. Avionic. com](http://www.Avionic.com)
www.accuflight.com
www.faa.gov