



Agence Nationale de l'Aviation Civile  
du Togo

**RANT 10 – PART 4**  
**Télécommunications aéronautiques -**  
**Systèmes de Surveillance et Anticollision**  
**SUPPLEMENT**

Page: 1 de 113  
Révision: 00  
Date: 01/07/2015

**SUPLÉMENT**

**APPROUVE PAR**

**ARRETE N° 025/ MIT/CAB du 31 juillet 2015 portant adoption du règlement  
aéronautique national togolais relatif aux télécommunications aéronautiques**

**ET AMENDÉ PAR**

**DÉCISION N° 34-4/19/ANAC/DG/CJ/DNAA du 11 juin 2019 portant amendement  
des dispositions techniques contenues dans le règlement aéronautique national  
togoais relatif aux télécommunications aéronautiques**



Agence Nationale de l'Aviation Civile  
du Togo

**RANT 10 – PART 4**  
**Télécommunications aéronautiques -**  
**Systèmes de Surveillance et Anticollision**  
**SUPPLEMENT**

Page: 2 de 113  
Révision: 00  
Date: 01/07/2015



## TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES .....	3
ÉLÉMENTS INDICATIFS SUR LE SYSTEME ANTICOLLISION EMBARQUE (ACAS) .....	5
1. ÉQUIPEMENT, FONCTIONS ET POSSIBILITÉS .....	6
1.1 CARACTERISTIQUES DE L'EQUIPEMENT ACAS .....	6
1.2 AVIS EMIS.....	6
1.2.1 AVIS DE CIRCULATION .....	6
1.2.2 AVIS DE RÉOLUTION.....	6
1.2.3 DÉLAIS D'AVERTISSEMENT .....	7
1.2.4 COORDINATION AIR-AIR DES AVIS DE RÉOLUTION .....	7
1.2.5 COMMUNICATIONS AIR-SOL .....	8
1.2.6 FONCTIONS ACCOMPLIES PAR L'ACAS.....	8
1.3 CARACTERISTIQUES DE L'INTRUS.....	8
1.3.1 TRANSPONDEURS ÉQUIPANT LES INTRUS .....	8
1.3.2 VITESSES DE RAPPROCHEMENT DES INTRUS ET DENSITÉS DE CIRCULATION .....	9
1.3.3 LIMITES DE PORTÉE DU SYSTÈME .....	10
1.4 CONTRÔLE DU BROUILLAGE ELECTROMAGNETIQUE .....	10
2. FACTEURS INFLUANT SUR LES PERFORMANCES DU SYSTÈME .....	12
2.1 CHEVAUCHEMENT SYNCHRONE .....	12
2.2 MULTITRAJETS RESULTANT DE REFLEXIONS PAR LE RELIEF .....	12
2.3 QUALITE DES DONNEES ALTIMETRIQUES.....	12
2.3.1 ERREURS DE MESURE.....	12
2.3.2 ERREUR SUR LE BIT D'ALTITUDE.....	13
2.4 POSSIBILITE QUE LES DISPOSITIFS DE CONTRÔLE AU SOL DU SSR EMETTENT DE FAUX AVIS DE CIRCULATION ET DE RESOLUTION.....	14
2.5 ATTRIBUTION ET ASSIGNATION DES ADRESSES SSR MODE S.....	14
2.6 EFFET POTENTIEL DES SYSTEMES TCAS I SUR LE FONCTIONNEMENT DE L'ACAS II	14
3. CONSIDÉRATIONS RELATIVES À LA MISE EN ŒUVRE TECHNIQUE .....	15
3.1 FONCTIONNEMENT DU SYSTEME .....	15
3.1.1 SURVEILLANCE DES INTRUS.....	15
3.1.2 SURVEILLANCE DES INTRUS DOTÉS DE TRANSPONDEURS MODES A/C.....	16
3.1.3 SURVEILLANCE DES INTRUS DOTÉS DE TRANSPONDEURS MODE S.....	22
3.2 ÉMETTEUR.....	28
3.2.1 NIVEAUX DE PUISSANCE .....	28
3.2.2 CONTRÔLE DU BROUILLAGE SYNCHRONE PAR LA MÉTHODE WHISPER-SHOUT	29
3.2.3 LIMITATION DU BROUILLAGE .....	35
3.2.4 VARIATION DU RYTHME DES INTERROGATIONS.....	44
3.3 ANTENNES .....	44
3.3.1 EMPLOI D'INTERROGATIONS DIRECTIVES .....	44
3.3.2 GONIOMÉTRIE .....	45
3.3.3 ÉMISSION DIRECTIVE COMME MOYEN DE CONTRÔLE DU CHEVAUCHEMENT SYNCHRONE .....	45
3.3.4 EMLACEMENT DE L'ANTENNE.....	46
3.4 RECEPTEUR ET PROCESSEUR .....	46
3.4.1 SENSIBILITÉ.....	46
3.4.2 CONTRÔLE DU SEUIL DE RÉCEPTEUR.....	46
3.4.3 TRAITEMENT DES IMPULSIONS.....	47
3.4.4 DÉTECTION ET CORRECTION DES ERREURS.....	47



3.4.5	SUPPRESSION DES LOBES SECONDAIRES DANS LE RÉCEPTEUR.....	48
3.4.6	DOUBLE NIVEAU MINIMAL DE DÉCLENCHEMENT.....	48
3.5	ALGORITHMES ANTICOLLISION.....	48
3.5.1	GÉNÉRALITÉS.....	48
3.5.2	DÉTECTION DES MENACES.....	49
3.5.3	VOLUME PROTÉGÉ.....	50
3.5.4	TEST DE DISTANCE.....	51
3.5.5	TEST D'ALTITUDE.....	53
3.5.6	MENACES ÉTABLIES.....	54
3.5.7	FRÉQUENCE DES ALERTES.....	55
3.5.8	RÉSOLUTION DE CONFLIT.....	56
3.5.9	ESTIMATION DE LA VITESSE VERTICALE.....	63
3.5.10	COORDINATION AIR-AIR.....	64
3.5.11	COMMUNICATION AVEC LE SOL.....	66
3.5.12	COMMANDE DE RÉGLAGE DU NIVEAU DE SENSIBILITÉ.....	67
3.6	COMPATIBILITE AVEC LE TRANSPONDEUR MODE S EQUIPANT LE MEME AERONEF.....	68
3.7	INDICATIONS DESTINEES A L'EQUIPAGE DE CONDUITE.....	68
3.7.1	AFFICHAGES.....	68
3.7.2	ALERTES SONORES ET PARLÉES.....	69
3.8	COMMANDE DE L'ACAS PAR L'EQUIPAGE.....	70
3.9	CONTROLE DES PERFORMANCES.....	70
4.	ALGORITHMES TYPIQUES ET PARAMÈTRES POUR LA DÉTECTION DE LA MENACE ET LA GÉNÉRATION DES AVIS.....	71
4.1	CARACTERISTIQUES DE PERFORMANCES DE POURSUITE.....	71
4.1.1	POURSUIITE EN DISTANCE.....	71
4.1.2	POURSUIITE EN ALTITUDE.....	71
4.2	AVIS DE CIRCULATION (TA).....	81
4.2.1	GÉNÉRATION D'AVIS DE CIRCULATION.....	81
4.2.2	DÉLAI D'AVERTISSEMENT POUR LES AVIS DE CIRCULATION.....	81
4.2.3	TEST DE DISTANCE.....	81
4.2.4	TEST D'ALTITUDE.....	82
4.3	DEFINITION DES MENACES.....	82
4.3.1	CARACTÉRISTIQUES DE DÉTECTION DES MENACES.....	82
4.3.2	CRITERES DE DECLARATION DE MENACES.....	83
4.3.3	TEST DE DISTANCE.....	83
4.3.4	TEST D'ALTITUDE.....	84
4.4	GENERATION DES AVIS DE RESOLUTION.....	87
4.4.1	Les définitions des types d'avis de résolution figurent en 4, au 4.1.....	87
4.4.2	SURSIS À LA GÉNÉRATION DES AVIS DE RÉOLUTION.....	87
4.4.3	SEPARATION VERTICALE CIBLE.....	88
4.4.4	RESTRICTIONS APPORTÉES AUX AVIS DE RÉOLUTION.....	90
5.	UTILISATION PAR L'ACAS II DE TECHNIQUES DE SURVEILLANCE HYBRIDE.....	96
5.1	APERÇU.....	96
5.2	CARACTERISTIQUES DE L'EQUIPEMENT DE SURVEILLANCE HYBRIDE.....	96
5.2.1	VALIDATION INITIALE.....	96
5.2.2	REVALIDATION ET CONTRÔLE.....	98
5.2.3	SURVEILLANCE ACTIVE.....	99
5.2.4	DÉCLARATION D'ÉVALUATION DE LA MENACE.....	99
6.	PERFORMANCE DE LA LOGIQUE ANTICOLLISION.....	100
6.1	OBJET DES SPECIFICATIONS DE PERFORMANCE.....	100
6.2	CONDITIONS D'APPLICATION DES SPECIFICATIONS.....	101
6.2.1	COMMENTAIRES.....	101
6.2.2	ERREURS DE SURVEILLANCE.....	101
6.2.3	QUANTIFICATION DE L'ALTITUDE.....	102
6.2.4	MODÈLE D'ERREUR ALTIMÉTRIQUE TYPE.....	103



6.2.5	MODÈLE DE PILOTE TYPE.....	104
6.2.6	MODÈLE DE RENCONTRE TYPE .....	105
6.2.7	ÉQUIPEMENT ACAS DE L'INTRUS.....	107
6.3	REDUCTION DU RISQUE DE COLLISION.....	108
6.3.1	STATUT DU RAPPORT DE RISQUE DE LA LOGIQUE .....	108
6.3.2	CALCUL DU RAPPORT DE RISQUE DE LA LOGIQUE .....	109
6.3.3	RISQUE INDUIT ET NON RÉSOLU.....	110
6.3.4	UTILISATION DES DONNÉES DES RADARS AU SOL POUR CALCULER LE RAPPORT DE RISQUE .....	111
6.4	COMPATIBILITE AVEC L'ATM.....	111
6.4.1	TAUX D'ALERTE NUISIBLES .....	111
6.4.2	SÉLECTION DU SENS COMPATIBLE .....	112
6.4.3	ÉCARTS CAUSÉS PAR L'ACAS.....	112
6.4.4	EMPLOI DES DONNÉES RADAR REÇUES AU SOL OU DU MODÈLE DE RENCONTRE TYPE.....	112
6.5	VALEUR RELATIVE DES OBJECTIFS CONFLICTUELS.....	113



## **ÉLÉMENTS INDICATIFS SUR LE SYSTEME ANTICOLLISION EMBARQUE (ACAS)**

*Note 1. — Les éléments indicatifs ci-après portent sur les caractéristiques techniques du système anticollision embarqué (ACAS) doté d'une capacité de résolution dans le plan vertical (ACAS II, sauf indication contraire). Les SARP sur l'ACAS figurent au Chapitre 4.*

*Note 2. — Des unités supplétives non SI sont utilisées conformément au RANT 05, Chapitre 3. Dans certains cas, pour assurer la cohérence des calculs logiques, des unités telles que ft/s, NM/s et kt/s sont utilisées.*

### **1. ÉQUIPEMENT, FONCTIONS ET POSSIBILITÉS**

#### **1.1 CARACTERISTIQUES DE L'EQUIPEMENT ACAS**

**1.1.1** L'équipement ACAS se compose d'une unité de traitement, d'un transpondeur mode S, d'une unité de commande, d'antennes et de moyens de présenter des avis.

**1.1.2** L'ACAS interroge les transpondeurs SSR des autres aéronefs se trouvant dans le voisinage et cherche à en capter les réponses. En soumettant ces dernières à une analyse par ordinateur, il détermine quels aéronefs représentent des menaces éventuelles de collision et affiche des indications (avis) appropriées à l'intention de l'équipage de conduite en vue d'éviter les collisions.

**1.1.3** L'équipement ACAS peut émettre deux catégories d'avis : des avis de circulation (TA) et des avis de résolution (RA). Les premiers signalent les positions des aéronefs intrus et peuvent donner lieu ultérieurement à l'affichage d'avis de résolution. Les seconds préconisent des manœuvres dans le plan vertical qui, selon les prévisions, augmenteront la séparation d'avec les aéronefs menaçants.

#### **1.2 AVIS EMIS**

##### **1.2.1 AVIS DE CIRCULATION**

Les avis de circulation peuvent indiquer la distance, le taux de variation de distance, l'altitude, le taux de variation d'altitude et le gisement de l'aéronef intrus par rapport à l'aéronef « de référence ». Des avis de circulation n'indiquant pas l'altitude peuvent être émis aussi au sujet d'aéronefs équipés du mode C ou du mode S qui ne comportent pas de moyen de signaler automatiquement l'altitude. L'information contenue dans les avis de circulation ACAS vise à aider l'équipage de conduite à repérer visuellement les aéronefs évoluant à proximité.

##### **1.2.2 AVIS DE RÉOLUTION**

**1.2.2.1** Lorsque la logique de détection de menace de l'ordinateur ACAS détermine qu'il y a un risque de quasi-collision ou de collision avec un aéronef évoluant à proximité, la logique de résolution



choisit une manœuvre de nature à assurer une séparation verticale sûre entre les deux aéronefs. La manœuvre est sélectionnée compte tenu des limites de l'aéronef ACAS en matière de vitesse verticale et de la proximité du sol.

**1.2.2.2** Les avis de résolution affichés à l'intention du pilote peuvent être classés dans deux catégories : les avis correctifs, qui indiquent au pilote de s'écarter de sa trajectoire de vol actuelle (exemple : « MONTEZ » lorsque l'aéronef est en palier), et les avis préventifs, qui lui conseillent de maintenir sa trajectoire ou d'éviter certaines vitesses verticales (exemple : « NE MONTEZ PAS » lorsque l'aéronef est en palier).

**1.2.2.3** Dans des circonstances normales, le système ACAS n'émet qu'un RA pour une rencontre avec un ou plusieurs intrus. L'avis de résolution est émis lorsque l'intrus (le premier) devient une menace, ou peu de temps après, il est maintenu en vigueur tant que l'intrus (n'importe lequel) demeure une menace et il est annulé lorsque l'intrus (le dernier) cesse d'être une menace. Cependant, l'indication donnée à l'équipage dans le cadre de l'avis de résolution peut être modifiée. Elle peut être renforcée ou même inversée si un aéronef menaçant modifie son profil d'altitude ou si la détection d'une deuxième ou d'une troisième menace modifie l'évaluation initiale de la rencontre. Elle peut aussi être atténuée si la séparation voulue a été établie mais que l'intrus (n'importe lequel) demeure temporairement menaçant.

### **1.2.3 DÉLAIS D'AVERTISSEMENT**

En cas de détection d'une menace, l'équipement ACAS génère un avis de résolution quelque temps avant le rapprochement maximal des aéronefs. Le délai d'avertissement est plus ou moins long selon le volume protégé sélectionné aux fins d'emploi du système ACAS. Le délai nominal entre l'émission d'un avis de résolution et le rapprochement maximal est compris entre 15 et 35 s. Un avis de résolution suit un avis de circulation, et le délai nominal entre ces deux avis est compris entre 5 et 20 s.

Les délais d'avertissement sont fonction du niveau de sensibilité décrit au § 3.5.12.

### **1.2.4 COORDINATION AIR-AIR DES AVIS DE RÉOLUTION**

**1.2.4.1** Si l'aéronef détecté par l'équipement ACAS n'est doté que d'un transpondeur modes A/C et d'un équipement de compte rendu automatique d'altitude-pression, son pilote ne peut pas savoir qu'il est « poursuivi » par l'aéronef ACAS. Lorsque le pilote d'un aéronef ACAS reçoit un avis de résolution au sujet d'un tel aéronef et qu'il effectue les manœuvres conseillées, il peut éviter l'aéronef intrus, pourvu que ce dernier n'accélère pas de manière à contrer les manœuvres en question.

**1.2.4.2** Si l'aéronef intrus est doté d'un ACAS, une procédure de coordination est exécutée à l'aide de la liaison de données mode S air-air afin que les avis de résolution ACAS soient compatibles.



### **1.2.5 COMMUNICATIONS AIR-SOL**

**1.2.5.1** L'ACAS peut communiquer avec les stations sol au moyen de la liaison de données mode S air-sol. Les stations sol mode S peuvent transmettre à l'équipement ACAS des commandes de réglage du niveau de sensibilité. Une station sol mode S peut donc adapter à la circulation locale le délai d'avertissement correspondant aux avis de résolution à mesure qu'un aéronef ACAS se déplace dans la zone de couverture de cette station. Un compromis efficace est ainsi assuré entre le délai d'avertissement de collision et la fréquence des alertes.

**1.2.5.2** La liaison de données mode S air-sol peut également servir à la transmission d'avis de résolution ACAS à des stations sol mode S. Cela permet aux services de la circulation aérienne d'être au courant des avis de résolution ACAS émis dans l'espace aérien qui les intéresse.

### **1.2.6 FONCTIONS ACCOMPLIES PAR L'ACAS**

**1.2.6.1** Les fonctions accomplies par l'ACAS sont illustrées à la Figure A-1. Pour des raisons de simplicité, les fonctions « poursuite aéronef de référence » et « poursuite aéronef intrus » n'y sont représentées qu'une fois, sous « surveillance ». Cependant, les dispositifs de poursuite prévus pour la fonction d'évitement des collisions peuvent ne pas convenir à la fonction de surveillance. Des dispositifs distincts peuvent donc être nécessaires pour les fonctions d'évitement de collision et de surveillance.

**1.2.6.2** La fonction de surveillance est normalement accomplie une fois par cycle, mais la fréquence peut varier selon les intrus. Par exemple, elle peut l'être moins souvent dans le cas d'intrus non menaçants pour respecter les inégalités applicables à la limitation du brouillage, ou plus souvent dans celui d'autres intrus pour améliorer l'estimation en azimut.

**1.2.6.3** Les paramètres qui interviennent dans la mise en œuvre des fonctions ACAS sont modifiés automatiquement ou manuellement de manière que la protection contre les collisions soit assurée avec le moins d'ingérence possible dans le fonctionnement normal du contrôle de la circulation aérienne (ATC).

## **1.3 CARACTERISTIQUES DE L'INTRUS**

### **1.3.1 TRANSPONDEURS ÉQUIPANT LES INTRUS**

L'ACAS émet des avis de résolution au sujet d'aéronefs dotés de transpondeurs modes A/C ou mode S signalant l'altitude. Certains aéronefs sont dotés de transpondeurs SSR mais pas d'alticodeurs. L'ACAS ne peut pas générer d'avis de résolution lorsqu'il y a conflit avec de tels aéronefs parce qu'en l'absence de données d'altitude toute évaluation du risque de collision est impossible. Au sujet de tels aéronefs, l'équipement ACAS ne peut générer que des avis de circulation qui en indiquent la distance, le taux de variation de distance et le gisement. Les aéronefs équipés de transpondeurs mode A seulement et ceux qui ne sont pas équipés ou n'utilisent pas de transpondeurs modes A/C ou mode S ne peuvent pas être poursuivis par l'ACAS.





### 1.3.2 VITESSES DE RAPPROCHEMENT DES INTRUS ET DENSITÉS DE CIRCULATION

**1.3.2.1** L'équipement ACAS conçu pour l'espace aérien à forte densité de circulation est capable des performances globales de surveillance des intrus qui sont indiquées au § 4.3.2 et au Tableau 4-1 du Chapitre 4.

**1.3.2.2** Les conditions énumérées au Tableau 4-1, qui définissent deux zones de densité distinctes dans l'espace multidimensionnel intervenant dans les performances de l'ACAS, ont été déterminées par extrapolation sur la base de mesures en vol des performances d'un ACAS type. Selon ces données de mesure en vol, la probabilité d'établissement de pistes ne diminue pas brutalement lorsque l'une quelconque des limites fixées est dépassée.

**1.3.2.3** 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 s avant le rapprochement maximal. La densité maximale de circulation associée à chacune de ces deux zones de densité est définie par la relation :

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

dans laquelle  $n(r)$  est la valeur maximale du nombre moyen, calculé sur 30 s, 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 ACAS. Dans les mesures faites en vol, les deux zones de densité n'avaient pas le même rayon. Le rayon de la zone de forte densité était de 9,3 km (5 NM). Celui de la zone de faible densité était de 19 km (10 NM). 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 donné par la relation :

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

dans laquelle  $r_0$  est le rayon de la zone de densité constante.

**1.3.2.4** Lorsque la densité de circulation est supérieure à 0,017 aéronef/km<sup>2</sup> (0,06 aéronef/NM<sup>2</sup>), on admet que le rayon nominal  $r_0$  de la zone à densité uniforme est de 9,3 km (5 NM). Lorsque la densité est inférieure ou égale à la valeur indiquée ci-dessus,  $r_0$  a la valeur nominale 18,5 km (10 NM).

**1.3.2.5** 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 aéronef/km<sup>2</sup> (0,3 aéronef/NM<sup>2</sup>) sont dotés du mode S. Si moins de 25 % sont dotés du 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 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 modes A/C et mode S risquent d'être établies tardivement. Si le nombre d'autres ACAS présents dans cette zone dépasse les limites indiquées dans ce tableau, le § 4.3.2.2 du Chapitre 4, qui a trait à la limitation du brouillage, exige que la puissance de l'émetteur ACAS et la sensibilité du récepteur ACAS 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.

**1.3.2.6** Ce tableau tient compte du fait que dans les performances de poursuite ACAS intervient un compromis entre la vitesse de rapprochement et la densité de circulation. Il n'est peut-être pas possible de maintenir une haute probabilité d'établissement de piste lorsque la densité de circulation et la vitesse de rapprochement de l'intrus sont élevées, mais l'ACAS devrait être d'une conception telle qu'il puisse, de manière fiable, établir des pistes d'intrus rapides dans l'espace aérien en route à densité relativement faible (densité inférieure à 0,017 aéronef/km<sup>2</sup>, soit 0,06 aéronef/NM<sup>2</sup>, dans le cas type) ou dans l'espace aérien terminal à basse altitude et à densité supérieure où pour des raisons liées à l'exploitation les vitesses de rapprochement types sont inférieures à 260 m/s (500 kt).

**1.3.2.7** 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 ACAS ne doit pas nécessairement assurer une détection fiable pour les plus grandes valeurs des vitesses de rapprochement de côté ou en arrière.

### **1.3.3 LIMITES DE PORTÉE DU SYSTÈME**

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

## **1.4 CONTRÔLE DU BROUILLAGE ELECTROMAGNETIQUE**

**1.4.1** L'équipement ACAS est capable de fonctionner quelle que soit la densité de circulation sans nuire au milieu électromagnétique. Chaque équipement ACAS connaît le nombre d'autres unités ACAS fonctionnant dans l'espace aérien local. Connaissant ce nombre, on peut faire en sorte qu'aucun transpondeur ne soit mis en état de suppression par une activité ACAS pendant plus de 2 % du temps et que du fait de l'ACAS, le taux de réponses asynchrones (fruit) ne soit pas assez élevé pour nuire à la surveillance SSR assurée depuis le sol. Les unités ACAS fonctionnant à proximité les unes des autres coopèrent pour limiter chacune ses propres émissions. À mesure que le nombre de ces unités ACAS augmente, le temps attribué à chacune d'elles pour ses interrogations diminue. Par conséquent, chaque unité ACAS contrôle le nombre d'autres unités ACAS se trouvant à sa portée. Elle se sert de ce nombre pour limiter selon les besoins sa propre



Agence Nationale de l'Aviation Civile  
du Togo

**RANT 10 – PART 4**  
**Télécommunications aéronautiques -**  
**Systèmes de Surveillance et Anticollision**  
**SUPPLEMENT**

Page: 11 de 113  
Révision: 00  
Date: 01/07/2015

cadence d'interrogation et sa propre puissance. Lorsque cette limitation est intégralement appliquée, il se peut que la portée effective de ces unités ACAS ne suffise pas à ménager des délais d'avertissement acceptables en cas de rencontre à plus de 260 m/s (500 kt). Cette situation s'observe normalement à basse altitude, là où ces possibilités au point de vue vitesse de rapprochement suffisent. Chaque fois que l'aéronef ACAS est au sol, l'ACAS limite automatiquement la puissance de ses interrogations. Pour ce faire, le nombre d'ACAS ( $n_a$ ), dans les inégalités de limitation du brouillage, est fixé à une valeur égale à trois fois la valeur mesurée. Cette valeur est choisie pour faire en sorte qu'une unité ACAS au sol ne contribue pas davantage au brouillage de l'environnement électromagnétique que ce qui est inévitable. Elle assure une distance de surveillance d'environ 5,6 km (3 NM) dans les régions terminales où la densité de circulation est la plus forte, permettant ainsi une surveillance ACAS sol fiable du trafic en vol local, et de 26 km (14 NM) dans les espaces aériens à très faible densité de circulation, ce qui permet une surveillance étendue en l'absence de SSR.

**1.4.2** Une unité ACAS annonce sa présence à d'autres unités ACAS en faisant périodiquement une émission d'interrogation ACAS renfermant un message qui indique l'adresse de l'aéronef ACAS. Cette émission est faite à intervalles nominaux de 8 à 10 s, et l'adresse utilisée est une adresse de diffusion mode S. Les transpondeurs mode S sont conçus pour accepter des données de message contenues dans une interrogation diffusée sans répondre. Les algorithmes de limitation du brouillage contrôlent les annonces reçues par le transpondeur mode S de l'aéronef ACAS pour estimer le nombre des unités ACAS se trouvant dans le voisinage.

 <p>Agence Nationale de l'Aviation Civile du Togo</p>	<p><b>RANT 10 – PART 4</b></p> <p><b>Télécommunications aéronautiques - Systèmes de Surveillance et Anticollision</b></p> <p><b>SUPPLEMENT</b></p>	<p>Page: 12 de 113</p> <p>Révision: 00</p> <p>Date: 01/07/2015</p>
--	--	--

## 2. FACTEURS INFLUANT SUR LES PERFORMANCES DU SYSTÈME

### 2.1 CHEVAUCHEMENT SYNCHRONE

Lorsqu'une interrogation mode C est émise, tous les transpondeurs qui la captent répondent. Puisque chaque réponse dure 21  $\mu$ s, les aéronefs dont les distances respectives à l'ACAS diffèrent les uns des autres de moins de 2,8 km (1,5 NM) environ génèrent des réponses qui se chevauchent continuellement et en synchronisme à l'emplacement de l'aéronef interrogateur. Le nombre des réponses qui se chevauchent est proportionnel à la densité de circulation et à la distance des aéronefs à l'ACAS. Dans les régions terminales à densité modérée, l'ACAS pourrait recevoir 10 de ces réponses ou davantage. Il ne peut en décoder qu'environ 3 de manière fiable. Il faut donc réduire le nombre des transpondeurs qui répondent à chaque interrogation. Pour contrôler ce chevauchement synchrone, on dispose de la technique whisper-shout et de la technique d'émission directive (voir 3.2 et 3.3). L'une et l'autre technique s'imposent dans l'équipement ACAS utilisé dans les zones à densité de circulation maximale.

### 2.2 MULTITRAJETS RESULTANT DE REFLEXIONS PAR LE RELIEF

**2.2.1** Les transpondeurs SSR comprennent des antennes unipolaires quart d'onde disposées sur la partie inférieure de l'aéronef. Le gain maximal en site des antennes courtes de ce genre s'observe sous un angle de 20 à 30 degrés au-dessous de l'horizontale, ce qui convient pour la surveillance sol-air, mais le trajet direct de surveillance air-air peut être moins intéressant que le trajet comportant une réflexion sur la surface de la terre, et en particulier sur l'eau.

**2.2.2** Si l'unité ACAS utilise une antenne disposée sur la partie inférieure de l'aéronef, dans certaines situations le signal réfléchi est constamment plus fort que le signal direct. Cependant, si une antenne disposée sur la partie supérieure de l'aéronef sert aux interrogations, son gain maximal s'observe sous un angle de site positif et le rapport signal direct/signal indirect est meilleur. Les effets des multitrajets sont donc sensiblement réduits lorsque les émissions ACAS se font par l'intermédiaire de l'antenne supérieure. Même dans ce cas, le signal indirect dépasse à l'occasion le seuil du récepteur. Il faut donc rejeter les faibles signaux indirects. L'ACAS peut le faire grâce à des seuils variables (voir § 3.4).

### 2.3 QUALITE DES DONNEES ALTIMETRIQUES

#### 2.3.1 ERREURS DE MESURE

**2.3.1.1** La séparation verticale entre deux aéronefs en conflit se mesure sous forme de différence entre l'altitude de l'aéronef de référence et l'altitude de l'intrus communiquée dans sa réponse mode C ou mode S. Si l'aéronef ACAS est un avion de ligne, il est normalement doté d'instruments altimétriques précis ; il se peut qu'un aéronef intrus possède des instruments moins précis.



**2.3.1.2** Les erreurs altimétriques peuvent avoir des conséquences de deux types : premièrement, si la poursuite des vols doit aboutir à une quasi-collision, elles pourraient donner l'impression que la sécurité est intacte, et de ce fait l'ACAS pourrait ne pas résoudre ce cas de quasi-collision imminente ; deuxièmement, si la poursuite des vols doit aboutir à une quasi-collision, mais que les aéronefs soient séparés en altitude, elles pourraient aboutir à une manœuvre ACAS de sens incorrect susceptible à son tour de faire passer les aéronefs encore plus près l'un de l'autre.

**2.3.1.3** L'ACAS cherche à assurer d'après l'altitude signalée une séparation d'au moins 90 m (300 ft) entre les aéronefs au rapprochement maximal. Par conséquent, si la combinaison des erreurs altimétriques de l'intrus avec les erreurs altimétriques de l'aéronef ACAS donne une valeur approximative de 90 m (300 ft), il y a un risque fini d'insuffisance de séparation verticale en dépit de l'ACAS. Ayant étudié les erreurs altimétriques prévues d'aéronefs ACAS et d'aéronefs sans ACAS aux altitudes comprises entre le niveau de la mer et le niveau de vol 400, on a conclu que ce risque est essentiellement négligeable si les deux aéronefs sont dotés de systèmes altimétriques de haute précision dont les erreurs RSS (résultante quadratique) sont d'environ 15 m (50 ft). On a conclu en outre que, si un aéronef ACAS doté d'instruments altimétriques de haute précision évolue dans un milieu où la circulation se compose d'aéronefs types d'aviation générale (erreurs RSS d'environ 30 m [100 ft], à distribution normale), du fait des erreurs altimétriques il y aura parfois des avis de résolution ACAS inadéquats. Cependant, cela ne se produira pas assez souvent pour nuire gravement à l'efficacité du système. Les performances sont jugées inadéquates si les deux aéronefs qui se rencontrent sont dotés de systèmes altimétriques peu précis.

Pour cette raison, on exige que l'aéronef ACAS soit doté d'un système de haute précision.

### **2.3.2 ERREUR SUR LE BIT D'ALTITUDE**

Si les comptes rendus d'altitude mode C ou mode S de l'aéronef intrus ou les données d'altitude de l'aéronef de référence comportent des erreurs sur les bits, l'ACAS peut estimer incorrectement la position dans le plan vertical de l'intrus ou la vitesse verticale de l'aéronef de référence. Les effets de ces erreurs sont comparables à ceux des erreurs de mesure. De telles erreurs sont le plus susceptibles de se produire quand la source de données d'altitude est un codeur Gilham, et l'utilisation d'une altitude en code Gilham pour l'aéronef de référence peut avoir des conséquences défavorables graves. Quand on ne dispose pas de données autres que des données codées en Gilham, il faut recourir à deux codeurs et utiliser une fonction de comparaison dans le transpondeur mode S pour déceler les éventuelles erreurs présentes dans les données d'altitude avant de transmettre celles-ci à l'ACAS.

### **2.3.3 VRAISEMBLANCE DE L'ALTITUDE DE L'AÉRONEF DE RÉFÉRENCE**



Toutes les sources de données d'altitude de l'aéronef de référence doivent faire l'objet d'un contrôle de vraisemblance, y compris les données d'altitude précise (qui peuvent provenir de diverses sources : gyro, calculateur de données aérodynamiques, etc.) et les données d'altitude radar.

#### **2.4 POSSIBILITE QUE LES DISPOSITIFS DE CONTRÔLE AU SOL DU SSR EMETTENT DE FAUX AVIS DE CIRCULATION ET DE RESOLUTION**

L'ACAS interroge tous les transpondeurs SSR se trouvant à portée, y compris les transpondeurs au sol servant à contrôler le fonctionnement des systèmes radar sol (transpondeurs d'essai). Si les transpondeurs au sol donnent de fausses données d'altitude, il est possible que l'ACAS génère de faux avis de circulation et de résolution. Pour éviter ce problème, voir les renseignements sur le fonctionnement des balises à transpondeur (PARROT) et des transpondeurs d'essai dans le *Manuel sur les systèmes de radar secondaire de surveillance (SSR)* (Doc 9684).

#### **2.5 ATTRIBUTION ET ASSIGNATION DES ADRESSES SSR MODE S**

Pour que le système puisse assurer la sécurité de l'exploitation, il faut que chaque aéronef équipé mode S possède une adresse exclusive. Si la même adresse est donnée à plusieurs aéronefs ou si une adresse n'est pas conforme aux spécifications énoncées dans le RANT 10 – PART 3.1, Chapitre 9, les fonctions de surveillance et de coordination en seront affectées.

#### **2.6 EFFET POTENTIEL DES SYSTEMES TCAS I SUR LE FONCTIONNEMENT DE L'ACAS II**

*Note. — Aux fins du présent texte, le TCAS I est un système qui utilise les interrogations du SSR pour fournir à l'équipage de conduite des renseignements d'alerte de trafic pour aider à l'application du principe « voir et éviter ».*

Certains systèmes TCAS I exploitent les techniques de limitation du brouillage de l'ACAS II avec suppression des avis de résolution. Ils ne sont pas conformes aux SARP sur l'ACAS I. Étant donné que la fonction de limitation du brouillage de l'ACAS II repose sur une interaction directe entre les systèmes ACAS II (elle utilise la diffusion ACAS et les réponses de transpondeurs mode S), la présence d'aéronefs équipés de systèmes TCAS I peut influencer directement sur la performance de surveillance de systèmes ACAS II installés dans d'autres aéronefs volant à proximité. Des systèmes TCAS I équipant des aéronefs volant à faible distance les uns des autres (p. ex. des giravions ou des planeurs) peuvent réduire la portée de surveillance de systèmes ACAS II situés dans d'autres aéronefs et retarder l'émission d'avertissements de collision. Pour cette raison, on ne doit pas utiliser de systèmes TCAS I (qui exploitent les techniques de limitation du brouillage de l'ACAS II) dans des aéronefs appelés à voler à faible distance les uns des autres pendant de longues périodes. Comme le nombre de TCAS I installés dans des aéronefs peut être très élevé, il importe de veiller à ce que leur effet sur l'environnement électromagnétique SSR ne dépasse pas une limite acceptable.



## **3. CONSIDÉRATIONS RELATIVES À LA MISE EN ŒUVRE TECHNIQUE**

### **3.1 FONCTIONNEMENT DU SYSTEME**

#### **3.1.1 SURVEILLANCE DES INTRUS**

**3.1.1.1** La surveillance décrite ci-dessous vise principalement à obtenir des comptes rendus de position et à établir la corrélation entre ces comptes rendus pour former des pistes. Elle exige que l'on utilise la fonction de poursuite et que l'on estime des taux de variation.

**3.1.1.2** L'unité ACAS 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 ( $\pm 2$ ) dBm mesurée 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 ACAS 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.

**3.1.1.3** En l'absence de brouillage, de surcharge, de conditions liées à la limitation du brouillage, et d'autres effets nuisibles, l'équipement est nominale capable d'assurer la surveillance de cibles modes A/C et mode S jusqu'à 26 km (14 NM) 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 située au-delà fasse générer et afficher un avis de résolution. Cependant, l'ACAS est capable de détecter des interrogations diffusées ACAS provenant d'aéronefs dotés d'ACAS à un maximum de 56 km (30 NM) de distance nominale.

**3.1.1.4** L'équipement devrait être capable d'assurer la surveillance d'un mélange quelconque de cibles modes A/C ou mode S, et sa capacité totale maximale doit être de 30 aéronefs. L'équipement ACAS est nominale capable d'assurer la surveillance fiable de cibles à vitesse élevée de rapprochement dans un espace aérien où la valeur maximale de la densité de circulation atteint 0,017 aéronef par km<sup>2</sup> (0,06 aéronef par NM<sup>2</sup>), soit environ 27 aéronefs dans un rayon de 26 km (14 NM).

**3.1.1.5** Lorsque la valeur moyenne de la densité de circulation dépasse la valeur ci-dessus, la distance maximale de surveillance fiable diminue. L'équipement ACAS 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 km<sup>2</sup> (0,3 aéronef par NM<sup>2</sup>). La distance maximale de surveillance des cibles de 260 m/s (500 kt) doit être d'environ 9,3 km (5 NM). 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 0,087 aéronef/km<sup>2</sup> (0,3 aéronef/NM<sup>2</sup>) sans que la capacité totale dépasse 30 cibles. Si jamais le nombre total de cibles dépasse 30 à une distance quelconque ne dépassant pas 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 ou mode S) est adéquate pour l'ACAS, et si le nombre des cibles modes A/C et mode S sous surveillance dépasse 30, il faudra abandonner les cibles excédentaires dans l'ordre décroissant des distances quel que soit le type de cible.

### **3.1.2 SURVEILLANCE DES INTRUS DOTÉS DE TRANSPONDEURS MODES A/C**

**3.1.2.1** La surveillance des transpondeurs modes A/C est accomplie à l'aide d'émissions périodiques d'interrogations « appel général mode C seulement » (intermodes) (Chapitre 3, au 3.1.2.1.5.1.2). 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. Pour réduire le chevauchement synchrone, on peut également :

- 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 (voir 3.2.2). Lorsqu'elles sont combinées, ces deux solutions représentent un puissant outil à l'aide duquel il est possible de surmonter les effets du chevauchement synchrone.

**3.1.2.2** 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'interrogation servant de seconde impulsion de l'émission de suppression. L'impulsion d'émission de suppression débute 2 µs 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 1 ms. Grâce à cet intervalle de 1 ms, on évite de prendre les réponses de transpondeurs distants pour des réponses intervalle de mise à jour de la surveillance.

**3.1.2.3** On traite les réponses à chaque interrogation « appel général mode C seulement » pour déterminer la distance et le code d'altitude de chacune d'elles. 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.





**3.1.2.4** 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.-à-d. auxquels correspondent des pistes existantes). Comme les aéronefs intrus sont interrogés à cadence élevée (cadence nominale : une 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 en ce qui 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.

**3.1.2.5** 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 résultant du chevauchement et des multitrajets. Les fausses pistes ont en général une courte durée de vie.

**3.1.2.6** Les aéronefs qui ne signalent pas leur altitude 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 non mode C.

**3.1.2.7** *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.

**3.1.2.8** *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 énoncées aux (a) et (b) ci-dessous sont remplies :

(a) 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 :

- 1) les réponses ne sont pas en corrélation avec les réponses de surveillance associées avec d'autres pistes ;

- 2) le taux de variation de distance déterminé d'après les deux réponses les plus récentes est inférieur à 620 m/s (1 200 kt) ;
  - 3) 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 ;
  - 4) les réponses sont en corrélation les unes avec les autres en ce qui concerne les bits de code d'altitude ;
- b) une quatrième réponse en corrélation est reçue moins de cinq intervalles de mise à jour de la surveillance après la troisième des trois réponses consécutives mentionnées au (a) ci-dessus, et elle est à moins de  $\pm 60$  m ( $\pm 200$  ft) de l'estimation du code d'altitude prévu déterminée au (a) (4) ci-dessus.

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

- (a) les huit impulsions de code D, A et B correspondantes concordent ;
- (b) sept des impulsions de code D, A et B correspondantes concordent et au moins une des impulsions de code C concorde.

**3.1.2.8.2** 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.

**3.1.2.8.3** 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  $\pm 0,121$   $\mu$ s de la même position. Dans le cas contraire, le drapeau de niveau de confiance est « haut ».

**3.1.2.8.4** 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'impulsion et des drapeaux de niveau de confiance associés avec ces codes d'impulsion dans trois réponses.

**3.1.2.8.5** 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 :



- a) 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 ;
- b) 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.

### 3.1.2.9 EXTENSION DE LA SURVEILLANCE MODES A/C

**3.1.2.9.1 Généralités.** L'équipement ne devrait continuer à communiquer aux algorithmes anticollision des comptes rendus de position relatifs à une cible que dans les conditions suivantes :

- a) il n'a pas été déterminé que la piste est une image (voir § 3.1.2.9.6) ;
- b) les altitudes des réponses se situent à l'intérieur d'une fenêtre d'altitude mesurant  $\pm 60$  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.

**3.1.2.9.2 Corrélation en distance.** Voici un exemple d'ensemble acceptable de règles à suivre 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 de la manière ci-après par un dispositif de poursuite récursive (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 distance sont les suivantes.

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

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

$T_p$  étant l'intervalle de temps séparant les mesures actuelle et précédente.

- c) Les gains alpha et bêta déterminent le degré relatif de confiance dans les mesures actuelle et précédente ; lorsque le gain est égal à l'unité, on peut se fier entièrement à la mesure actuelle et il n'y a pas de lissage.
- d) Les valeurs estimées résultant des équations ci-dessus servent ensuite à prévoir comme suit la distance au moment de la mesure suivante.

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

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

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

<div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 5px;"> <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-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 5px;"> <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;">2 000 ft, si <math>0,00 \text{ NM} \leq r &lt; 0,17 \text{ NM}</math>  1 000 ft, si <math>0,17 \text{ NM} \leq r &lt; 0,33 \text{ NM}</math>  600 ft, si <math>0,33 \text{ NM} \leq r &lt; 1,00 \text{ NM}</math>  240 ft, si <math>1,00 \text{ NM} \leq r &lt; 1,50 \text{ NM}</math>  0 ft, si <math>1,50 \text{ NM} \leq r</math></p> </div>
--	---	--

- f) Si la piste se trouve au-dessus de 3 050 m (10 000 ft), le terme placé entre crochets à droite est multiplié par quatre.

**3.1.2.9.3 Corrélation en altitude.** La valeur de l'altitude est estimée et prévue par une poursuite alpha-bêta pour lequel alpha = 0,28 et bêta = 0,06. La poursuite est d'une précision de 30 m (100 ft)/16. L'altitude prévue est arrondie à la trentaine de mètres (centaine de pieds) la plus proche et convertie en code Gray. Les codes Gray d'altitude prévue  $\pm 30$  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 (voir § 3.5.3). Les réponses comprises dans la fenêtre de corrélation en distance sont soumises 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 calculés ci-dessus. 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).

**3.1.2.9.4 Mise à jour et établissement des pistes.** 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 (voir § 3.1.2.9.6), 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.

**3.1.2.9.5 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 paires 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 :
  - 1) les altitudes diffèrent de 30 m (100 ft) maximum ;
  - 2) les taux de variation d'altitude diffèrent de 3 m/s (10 ft/s) 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.

**3.1.2.9.6 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 mesuré et le taux de variation de distance image calculé  $r_i$  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) :

$$r_i = \left(\frac{1}{2}\right) \left[ r + \left( \frac{1}{2r_i - r} \right) \left[ ((2r_i - r)^2 - r^2 + (Z_0 - Z)^2)^{\frac{1}{2}} (Z_0 + Z) + rr - (Z_0 - Z)(Z_0 + Z) \right] \right]$$

soit (en cas de double réflexion) :



$$\hat{r}_i = \left( \frac{1}{r_i} \right) \left[ \left( r_i^2 - r^2 + (Z_0 - Z)^2 \right)^{\frac{1}{2}} (Z_0 + Z) + r\hat{r} - (Z_0 - Z) (Z_0 + Z) \right],$$

avec :

$r$  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.

**3.1.2.10 Comptes rendus modes A/C manquants.** L'équipement continue à communiquer aux algorithmes anticollision des comptes rendus de position prévue pour les cibles modes A/C pendant six intervalles 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 du § 3.1.2.8 relatifs au déclenchement de la surveillance.

### **3.1.3 SURVEILLANCE DES INTRUS DOTÉS DE TRANSPONDEURS MODE S**

**3.1.3.1** On a mis au point des techniques efficaces de surveillance air-air des intrus dotés de transpondeurs mode S. 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 cette surveillance à l'aide du plus petit nombre possible d'interrogations afin de limiter le brouillage.

**3.1.3.2** Par essence, les formats 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 davantage 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 (pour 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 ACAS résulte une marge supplémentaire de fiabilité en vue de la coordination entre aéronefs ACAS en conflit formant une paire.

**3.1.3.3** 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.-à-d. une fois toutes les 5 s). L'acquisition passive de l'adresse évite le brouillage inutile d'autres éléments du système SSR et ACAS. L'ACAS écoute les réponses « appel général » mode S (DF = 11, émissions des squitters d'acquisition, Chapitre 3, au § 3.1.2.8.5.1 ou DF = 17, émissions des squitters longs, Chapitre 3, au § 3.1.2.8.6.1). Ces réponses peuvent faire suite à des interrogations « appel général » émanant de stations sol mode S ou revêtir la forme d'émissions spontanées (squitters) générées à intervalles variant de 0,8 à 1,2 s dans le cas du squitter d'acquisition et à intervalles plus courts dans le cas du squitter long. 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 des transpondeurs mode S à diversité d'antenne.

**3.1.3.4** L'adresse à 24 bits d'aéronef contenue dans le squitter est protégée par codage (en vue de la protection) 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, l'ACAS cherche à extraire passivement l'altitude des réponses mode S émises à la suite d'interrogations provenant du sol ou d'autres aéronefs ACAS. 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.

**3.1.3.5** Après avoir déterminé l'altitude d'un aéronef mode S détecté, l'ACAS 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.

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

### **3.1.3.7 DÉCLENCHEMENT DE LA SURVEILLANCE MODE S**

**3.1.3.7.1** 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 ou DF = 17. Afin de réduire le nombre des adresses à traiter, on applique la détection et la correction des erreurs aux squitters reçus. L'altitude des cibles mode S dont un squitter a été reçu est déterminée par contrôle passif des émissions reçues avec DF= 0 (réponses « surveillance air-air courte », Chapitre 3, au § 3.1.2.8.2) ou DF= 4 (réponses « surveillance-altitude », Chapitre 3, au § 3.1.2.6.5) ou par interrogation sélective active (interrogation de surveillance air-air, Chapitre 4, au § 4.3.8.4) et contrôle des réponses de surveillance air-air correspondantes. 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 telles interrogations. Il examine chaque réponse reçue afin de déterminer les mesures supplémentaires à prendre.

**3.1.3.7.2** Pour réduire le nombre des interrogations inutiles, les cibles émettant des squitters ne sont pas interrogées dans les cas où les squitters et les réponses signalant l'altitude que l'on reçoit des cibles sont si peu nombreux qu'il ne 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 (10 000 ft) de l'altitude de l'aéronef de référence. L'aéronef ACAS interroge les cibles dont il ne reçoit pas de données d'altitude mais continue à recevoir des squitters sans erreur. Pour acquérir en temps utile les cibles qui franchissent la limite d'altitude relative de 3 050 m (10 000 ft), 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 réponses non sollicitées DF= 0 ou DF = 4 ou, à défaut de telles réponses, au moyen d'interrogations périodiques destinées à faire produire des réponses DF = 0.

**3.1.3.7.3** Voici 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 3 050 m (10 000 ft) de celle de l'aéronef ACAS. Si ce n'est pas le cas, l'altitude de la cible est contrôlée à l'aide de réponses DF= 0 ou DF = 4 ou, à défaut de telles réponses, par l'émission, toutes les 10 s, 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 diminuée même si elle peut dépasser 20.

### **3.1.3.8 ACQUISITION DE DISTANCE MODE S**





**3.1.3.8.1** L'équipement devrait émettre une interrogation d'acquisition (UF = 0, 16, AQ = 1, Chapitre 3, au 3.1.2.8.1.1) pour 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.

**3.1.3.8.2** 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. Si deux interrogations d'acquisition adressées à une cible n'en déclenchent pas de réponse valide, 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 l'ACAS 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 au § 3.1.3.7 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.

**3.1.3.8.3** 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.

**3.1.3.8.4** 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 confirmer 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 3 050 m (10 000 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.

**3.1.3.8.5** La distance et le taux de variation estimé de distance de la cible sont utilisés pour déterminer si celle-ci constitue une menace pour l'ACAS. 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. À 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 :

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

où  $\dot{r}$  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  $\dot{r}$  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 l'ACAS 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 5 490 m (18 000 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 5 490 m (18 000 ft).

### **3.1.3.9 EXTENSION DE LA SURVEILLANCE MODE S**

**3.1.3.9.1** 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 distance se trouvent à l'intérieur de 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 (voir § 3.1.2.9.2 et 3.1.2.9.3, respectivement).

**3.1.3.9.2** Si une interrogation de poursuite ne déclenche pas de réponse valide, des interrogations supplémentaires doivent être émises. Le nombre total des interrogations de poursuite adressées à



une seule cible ne devrait pas dépasser 5 interrogations pendant un seul intervalle de mise à jour de la surveillance ou 16 interrogations réparties sur 6 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 réussie de cette cible. Si deux interrogations de poursuite consécutives ne déclenchent pas de réponse valide d'une cible, les deux interrogations suivantes de cette cible sont émises par l'intermédiaire de l'autre antenne.

**3.1.3.10 Réponses mode S manquantes.** L'équipement continue à communiquer aux algorithmes anticollision des comptes rendus de position prévue pour les cibles mode S pendant 6 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 6 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 au § 3.1.3.7. 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.

**3.1.3.11 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.

**3.1.3.12 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 réduit comme suit en fonction de la distance dans le cas des cibles se trouvant à moins de 18,5 km (10 NM) :

$$P_T = P_{\max} + 20 \log \frac{r}{10},$$

$P_T$  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 du brouillage figurant au Chapitre 4, au 4.3.2.2.2, si elle est moindre.

**3.1.3.13 Capacité en matière de pistes mode S.** Lorsque la densité de circulation a la valeur nominale de 0,087 aéronef mode S par km<sup>2</sup> (0,3 aéronef par NM<sup>2</sup>) dans le voisinage de l'aéronef ACAS, il y aura environ 24 aéronefs dans un rayon de 9,3 km (5 NM) de l'aéronef ACAS et environ



142 aéronefs dans un rayon de 56 km (30 NM). Par conséquent, la capacité de l'équipement ACAS devrait être d'au moins 150 adresses d'aéronef.

#### **3.1.3.14 UTILISATION D'ESTIMATIONS DE GISEMENT POUR LA SURVEILLANCE MODE S**

**3.1.3.14.1** 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 réduise 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.

**3.1.3.14.2** 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. Ci-dessous un moyen d'effectuer cette réduction.

**3.1.3.14.3** 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 continuerait à supposer que la cible se rend directement, à sa vitesse maximale signalée, au point de collision.

## **3.2 ÉMETTEUR**

### **3.2.1 NIVEAUX DE PUISSANCE**

**3.2.1.1** En l'absence de brouillage et lorsque l'on utilise une antenne dont le diagramme de rayonnement est identique à celui d'une antenne unipolaire quart d'onde sur plan de sol, une puissance apparente rayonnée nominale de 54 dBm (250 W) permet d'assurer une surveillance air-air fiable des transpondeurs situés à 26 km (14 NM).

**3.2.1.2** Il faut soigneusement limiter la puissance de sortie dans l'intervalle entre émissions, car toute fuite peut sérieusement nuire aux performances du transpondeur mode S de l'aéronef ACAS. D'une façon générale, il faut limiter à un niveau inférieur à -90 dBm la puissance de fuite qui pénètre dans le transpondeur à 1 030 MHz. Si l'antenne du transpondeur et l'antenne de l'ACAS se trouvent à plus de 50 cm l'une de l'autre, la perte par couplage entre ces deux antennes dépassera 20 dB. Par conséquent, si la puissance RF à 1 030 MHz aux bornes de l'antenne ACAS ne dépasse pas -70 dBm dans l'état d'inactivité et si les antennes sont effectivement espacées de 50 cm au minimum, le brouillage direct de l'antenne du transpondeur par l'antenne de l'ACAS ne dépassera pas -90 dBm. Cette spécification vise à garantir que, lorsqu'il n'émet pas d'interrogation, l'ACAS ne rayonnera pas d'énergie RF susceptible soit de gêner le fonctionnement du transpondeur SSR ou de l'équipement radioélectrique dont sont dotés des aéronefs ou des installations sol se trouvant à proximité, soit d'en réduire la sensibilité.



**3.2.1.3** Il faut également veiller à ce que la fuite directe à 1 030 MHz du boîtier de l'ACAS au boîtier du transpondeur soit inférieure à -110 dBm lorsque ces deux unités sont disposées côte à côte, comme elles le sont habituellement à bord des avions.

**3.2.1.4** Pour les essais, l'équipement ACAS est censé être placé à côté de transpondeurs mode S de classe équivalente afin de garantir que chaque unité répond aux exigences en matière de sensibilité en cas de fuite de l'émetteur de l'autre.

### **3.2.2 CONTRÔLE DU BROUILLAGE SYNCHRONE PAR LA MÉTHODE WHISPER-SHOUT**

**3.2.2.1** Pour contrôler le brouillage synchrone modes A/C et faciliter l'emploi de l'ACAS dans l'espace aérien à forte densité de circulation, il est possible d'émettre une séquence d'interrogations de niveaux de puissance différents au cours de chaque intervalle de mise à jour de la surveillance. Chacune des interrogations de cette séquence, à part celle dont la puissance est la plus faible, est précédée d'une impulsion de suppression (impulsion  $S_1$ ) qui précède de 2  $\mu$ s l'impulsion  $P_1$ . La combinaison  $S_1 P_1$  constitue une émission de suppression. Le niveau de puissance de  $S_1$  est inférieur à celui de  $P_1$ . L'intervalle minimal entre interrogations consécutives doit être de 1 ms. Toutes les interrogations de cette séquence devraient être émises dans l'espace d'un seul intervalle de mise à jour de la surveillance.

**3.2.2.2** Du fait que l'émission de suppression est toujours de plus faible puissance que l'interrogation qui suit, on appelle cette technique la technique whisper-shout. Ce que l'on cherche à obtenir, c'est que chaque avion ne réponde qu'à une ou deux des interrogations de cette séquence. La sensibilité effective d'une population type de transpondeurs modes A/C se trouvant à une distance donnée peut être très variable du fait des différences que présentent les récepteurs, les pertes en câble et le masquage des antennes. L'idéal serait que chaque transpondeur faisant partie de cette population réponde à deux interrogations de la séquence et soit mis hors circuit par les émissions de suppression de puissance plus élevée accompagnant les interrogations de puissance plus élevée de la même séquence. Lorsque la distance entre plusieurs avions est assez faible pour qu'il y ait brouillage synchrone de leurs réponses, il est peu probable qu'ils répondent tous à la même interrogation, et de ce fait la gravité du brouillage synchrone diminue. La technique whisper-shout réduit également la gravité des effets que les multitrajets exercent sur la liaison d'interrogation.

**3.2.2.3** La Figure A-2a indique la séquence whisper-shout adaptée aux besoins de surveillance modes A/C en zone à forte densité, et la Figure A-2b, celle qui est adaptée aux besoins de surveillance modes A/C en zone à faible densité. On y distingue cinq sous-séquences : une pour chacun des quatre faisceaux de l'antenne supérieure et une pour l'antenne omnidirectionnelle inférieure. Les interrogations peuvent être émises dans n'importe quel ordre. Lorsque l'on abrège la séquence forte densité illustrée par la Figure A-2a pour limiter le brouillage, on élimine des pas dans l'ordre indiqué dans la colonne intitulée « Priorité pour la limitation du brouillage ». Lorsque l'on abrège la séquence faible densité illustrée par la Figure A-2b pour limiter le brouillage, chaque interrogation et



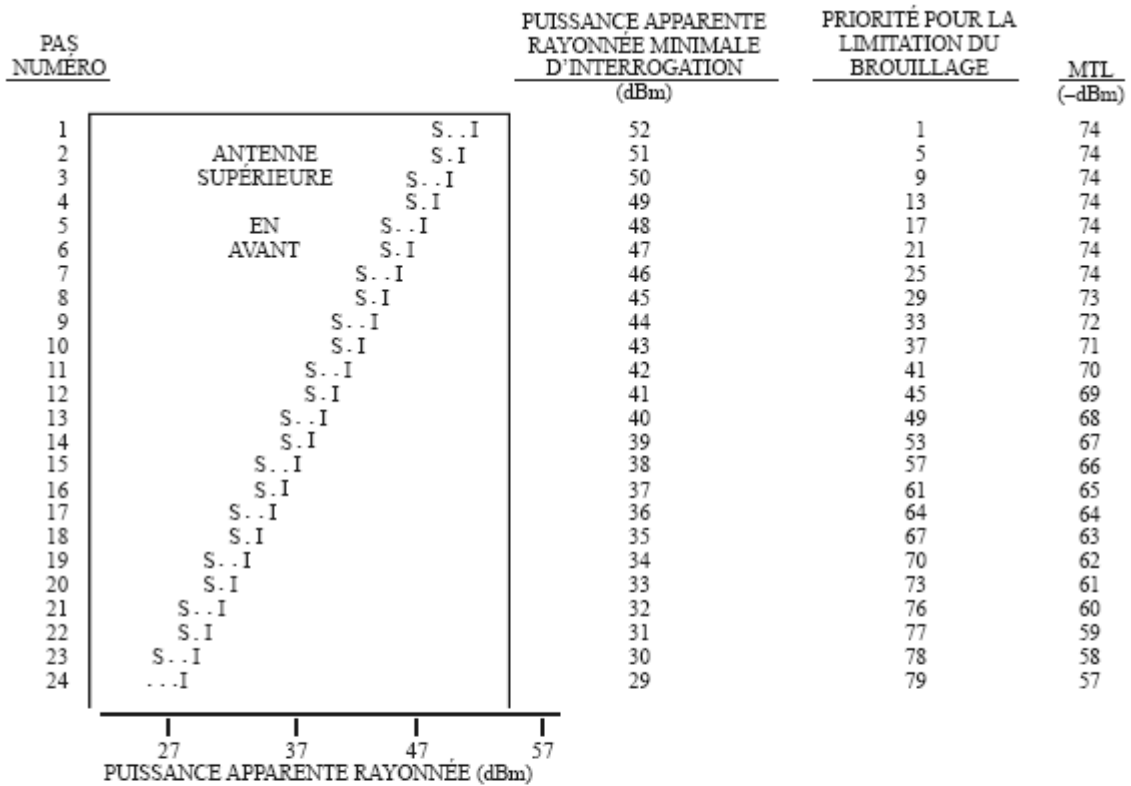
la valeur de MTL correspondante, qui figure dans la dernière colonne, sont réduites de 1 dB dans l'ordre indiqué dans la colonne intitulée « Priorité pour la limitation du brouillage ». Les pas portant les numéros les plus bas dans la séquence sont éliminés ou réduits en premier. Les temps des différents pas ou impulsions de l'une ou l'autre séquence sont indiqués dans la Figure A-3 qui représente les trois pas de plus faible puissance de la séquence antenne supérieure — en avant. La première impulsion de l'interrogation est utilisée comme seconde impulsion de la suppression.

**3.2.2.4** Les valeurs de niveau minimal de déclenchement (MTL) des Figures A-2a et A-2b ont été déterminées dans l'hypothèse où les réponses à toutes les interrogations sont reçues de n'importe quelle direction. Si une antenne directive de réception est utilisée, les valeurs de MTL doivent être modifiées pour tenir compte du gain de l'antenne. Par exemple, pour un gain net d'antenne de 3 dB, toutes les valeurs de MTL indiquées dans ce tableau seraient augmentées de 3 dB, et le MTL pour le pas n° 1 serait de -71 dBm plutôt que de -74 dBm.

**3.2.2.5** Par définition, la puissance est la puissance apparente rayonnée pour l'interrogation. Tous les niveaux de puissance devraient différer de moins de  $\pm 2$  dB du niveau nominal. Aux incréments devrait s'appliquer une tolérance de  $\pm 1/2$  dB, et les incréments devraient être monotones d'un bout à l'autre de la plage de puissance de la séquence.

**3.2.2.6** La plupart des interrogations sont émises par l'intermédiaire de l'antenne supérieure parce qu'elle est moins sensible au brouillage résultant de réflexions sur le sol (multitrajets).

**3.2.2.7** La sélection de la sous-séquence whisper-shout qui convient pour un faisceau d'antenne particulier est effectuée à chaque cycle d'interrogation en fonction du niveau actuel ou prévu de brouillage synchrone modes A/C déterminé par la surveillance ACAS pour le faisceau en question. La sous-séquence whisper-shout forte densité est choisie chaque fois que l'existence de brouillage synchrone dans le faisceau d'antenne considéré est indiquée par la présence d'au moins un bit de code d'altitude de niveau de confiance bas dans deux réponses mode C consécutives. La séquence whisper-shout à 6 niveaux est choisie pour un faisceau d'antenne lorsque l'une ou l'autre des conditions suivantes est remplie :



NOTES.— « I » = PAR (puissance apparente rayonnée) des impulsions d'interrogation  $P_1$ ,  $P_2$  et  $P_3$ .  
 « S » = PAR de l'impulsion de suppression  $S_1$ .  
 « S . I » = La PAR de  $S_1$  est inférieure de 2 dB à la PAR d'interrogation.  
 « S . . I » = La PAR de  $S_1$  est inférieure de 3 dB à la PAR d'interrogation.  
 Pas n° 24, 63, 64, 79 et 83: absence d'impulsion  $S_1$ .

Figure A-2a. Exemple de séquence whisper-shout forte densité



PAŞ NUMERO		UISSANCE APPARENTE RAYONNÉE MINIMALE D'INTERROGATION (dBm)	PRIORITÉ POUR LA LIMITATION DU BROUILLAGE	MTL (-dBm)	
25, 26					
27, 28	ANTENNE	S..I	48	2, 3	74
29, 30	SUPÉRIEURE	S..I	47	6, 7	74
31, 32		S..I	46	10, 11	74
33, 34		S..I	45	14, 15	73
35, 36	À GAUCHE ET	S..I	44	18, 19	72
37, 38	À DROITE	S..I	43	22, 23	71
39, 40		S..I	42	26, 27	70
41, 42		S..I	41	30, 31	69
43, 44		S..I	40	34, 35	68
45, 46		S..I	39	38, 39	67
47, 48		S..I	38	42, 43	66
49, 50		S..I	37	46, 47	65
51, 52		S..I	36	50, 51	64
53, 54		S..I	35	54, 55	63
55, 56		S..I	34	58, 59	62
57, 58		S..I	33	62, 63	61
59, 60		S..I	32	65, 66	60
61, 62		S..I	31	68, 69	59
63, 64		...I	30	71, 72	58
			29	74, 75	57
65		S..I	43	4	71
66		S..I	42	8	70
67		S..I	41	12	69
68		S..I	40	16	68
69		S..I	39	20	67
70		S..I	38	24	66
71	ANTENNE	S..I	37	28	65
72	SUPÉRIEURE	S..I	36	32	64
73		S..I	35	36	63
74	EN	S..I	34	40	62
75	ARRIÈRE	S..I	33	44	61
76		S..I	32	48	60
77		S..I	31	52	59
78		S..I	30	56	58
79		...I	29	60	57
80		S..I	34	80	62
81	ANTENNE	S..I	32	81	60
82	OMNI	S..I	30	82	58
83	INFÉRIEURE	..I	28	83	56

27                      37                      47                      57  
PUISSANCE APPARENTE RAYONNÉE (dBm)

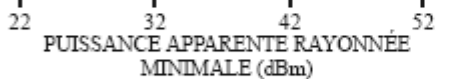
NOTES.— « I » = PAR (puissance apparente rayonnée) des impulsions d'interrogation  $P_1$ ,  $P_3$  et  $P_4$ .  
« S » = PAR de l'impulsion de suppression  $S_p$ .  
« S..I » = La PAR de  $S_p$  est inférieure de 2 dB à la PAR d'interrogation.  
« S..I » = La PAR de  $S_p$  est inférieure de 3 dB à la PAR d'interrogation.  
Pas n° 24, 63, 64, 79 et 83: absence d'impulsion  $S_p$ .

Figure A-2a. Exemple de séquence whisper-shout forte densité (suite)



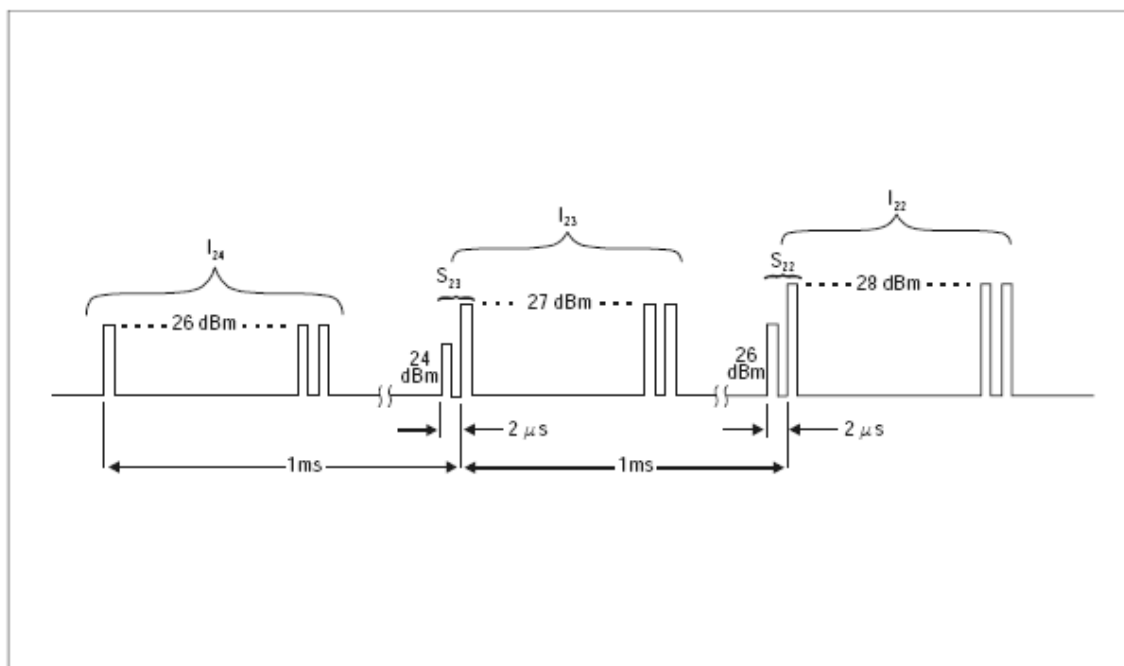


PAS NUMÉRO		PUISSANCE APPARENTE RAYONNÉE MINIMALE D'INTERROGATION	PRIORITÉ POUR LA LIMITATION DU BROUILLAGE	MTL (-dBm)
		(dBm)		
1	Antenne supérieure	S . . . . . I	<i>Note.— Chaque réduction de 1 dB dans la séquence suit la priorité établie pour le faisceau avant dans la Figure A-2a.</i>	74
2		S . . . . . I		74
3		S . . . . . I En avant		72
4		S . . . . . I		68
5		S . . . . . I		64
6		. . . . . I		60
7, 8	Antenne supérieure	S . . . . . I	<i>Note.— Chaque réduction de 1 dB dans la séquence suit la priorité établie pour le faisceau droite/gauche dans la Figure A-2a.</i>	74
9, 10		S . . . . . I À gauche		72
11, 12		S . . . . . I et à droite		68
13, 14		S . . . . . I		64
15, 16		. . . . . I		60
17		Antenne supérieure		S . . . . . I
18	S . . . . . I		67	
19	S . . . . . I En arrière		63	
20	. . . . . I		59	
21	Antenne omni inférieure		S . . I	<i>Note.— Chaque réduction de 1 dB dans la séquence suit la priorité établie pour l'antenne inférieure dans la Figure A-2a.</i>
22		S . . I	60	
23		S . . I	58	
24		. . . I	56	



NOTES.— « I » = PAR (puissance apparente rayonnée) des impulsions d'interrogation  $P_1$ ,  $P_2$  et  $P_4$ .  
 « S » = PAR de l'impulsion de suppression  $S_p$ .  
 « S . . I » = La PAR de  $S_p$  est inférieure de 3 dB à la PAR d'interrogation.  
 « S . . . . . I » = La PAR de  $S_p$  est inférieure de 10 dB à la PAR d'interrogation.  
 Absence d'impulsion  $S_p$  dans les derniers pas de chaque quadrant.

Figure A-2b. Exemple de séquence whisper-shout faible densité



**Figure A-3. Temps des interrogations de plus faible puissance faisant partie de la séquence whisper-shout omnidirective, dans le cas de l'antenne supérieure**

- il n'y a qu'un seul aéronef modes A/C à portée de surveillance de ce faisceau et il n'y a pas de brouillage synchrone ;
- il n'y a pas de brouillage synchrone, les cibles modes A/C ne sont pas à portée de brouillage les unes des autres et la densité d'aéronefs modes A/C à l'intérieur du rayon de surveillance fiable est égale ou inférieure à 0,23 aéronef/km (0,43 aéronef/NM). Chaque fois qu'un avis de circulation est émis pour une menace se trouvant dans un faisceau d'antenne particulier, la séquence haut niveau est utilisée pour ce faisceau pendant la durée de l'avis. Chaque fois qu'un avis de résolution est émis, la séquence haut niveau est utilisée pour tous les faisceaux d'antenne pendant la durée de l'avis.

**3.2.2.8** S'il n'existe pas de piste de surveillance modes A/C établie ou aucune autre piste candidate, constituée de trois réponses d'acquisition mode C en corrélation, à l'intérieur du rayon de surveillance du faisceau d'antenne, le débrouillage n'est pas nécessaire et l'ACAS émet une interrogation mode C unique dans le faisceau en question. Le niveau de puissance de l'interrogation unique et son MTL associé dans chaque faisceau équivalent au niveau de puissance le plus élevé admissible de la sous-séquence whisper-shout faible niveau correspondante déterminée par la limitation du brouillage. Les interrogations mode C uniques étant sujettes à une conversion de mode due aux multitrajets, elles pourraient provoquer un mélange de réponses mode A et mode C d'un intrus qui sont séparées de 13 μs. L'ACAS choisit donc la sous-séquence whisper-shout faible niveau pour un faisceau en vue d'une acquisition et d'une poursuite de surveillance fiable chaque fois :



- a) qu'une interrogation unique émise dans ce faisceau donne lieu à une réponse modes A/C se trouvant à l'intérieur d'une fenêtre de distance de 1 525 m (5 000 ft) partagée en deux moitiés soit par la distance mesurée d'une réponse modes A/C reçue pendant l'intervalle de mise à jour de la surveillance précédent, soit par une distance décalée de  $\pm 13 \mu\text{s}$  par rapport à la distance de la réponse précédente ; ou
- b) qu'une piste mode C établie ou une piste mode C en cours d'acquisition pénètre dans ce faisceau en provenance d'un autre faisceau. L'ACAS revient à l'interrogation unique s'il n'a pas reçu deux réponses d'acquisition en corrélation après 10 intervalles de mise à jour de la surveillance.

### **3.2.3 LIMITATION DU BROUILLAGE**

**3.2.3.1** L'équipement ACAS est conforme à un ensemble de trois inégalités spécifiques (Chapitre 4, au 4.3.2.2.2) qui servent à limiter les effets du brouillage. Ces trois inégalités, applicables à un ACAS fonctionnant à une altitude-pression inférieure à 5 490 m (18 000 ft), sont associées avec les mécanismes physiques suivants :

- (1) réduction du temps pendant lequel d'autres transpondeurs sont en circuit, résultant d'interrogations ACAS ;
- (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'interrogations ;
- (3) fruit modes A/C résultant d'interrogations ACAS modes A/C. Le réglage de  $n_a$  à 1 dans les inégalités (1) et (3) pour un ACAS fonctionnant à une altitude-pression supérieure à 5 490 m (18 000 ft) empêche la transmission d'une puissance illimitée par un seul ACAS en fixant une limite supérieure au produit puissance-cadence d'interrogation d'une seconde de l'ACAS.

**3.2.3.2** Lorsque l'inégalité (1) est vérifiée, un transpondeur « victime » ne détectera jamais, pendant une période d'une seconde, plus de 280 interrogations ACAS émanant de tous les interrogateurs ACAS 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 de l'uniformité en surface. Selon le terme de gauche de cette inégalité, une unité ACAS peut augmenter sa cadence d'interrogation si ses émissions se font à moins de 250 W parce que les émissions de faible puissance sont détectées par de moins nombreux transpondeurs. Chaque valeur de puissance normalisée dans la sommation du terme de gauche de cette inégalité porte un exposant  $\alpha$  qui sert à adapter l'inégalité à la répartition localisée des ACAS. La valeur d' $\alpha$  définit la courbe de répartition locale d'aéronefs ACAS ; elle est obtenue à partir des mesures effectuées par l'ACAS de référence pour déterminer la répartition et le nombre d'autres ACAS présents dans un rayon de 56 km (30 NM). À mesure que la répartition des ACAS passe d'uniforme en surface ( $\alpha = 1$ ) à uniforme en distance ( $\alpha = 0,5$ ), la densité, et par conséquent l'effet électromagnétique, des aéronefs ACAS dans le voisinage d'un transpondeur « victime »



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

**3.2.3.3** Dans un espace aérien où les aéronefs ACAS sont répartis entre les limites de l'uniformité en distance et de l'uniformité en surface, et si les émissions de la « victime » sont bloquées pendant 35  $\mu$ s par suppression ou du fait du temps mort de réponse chaque fois qu'elle reçoit une interrogation ACAS, le temps pendant lequel elle est mise hors circuit à cause des interrogations ACAS ne dépassera jamais au total 1 %. Les mesures et les simulations indiquent que le temps mort total peut être supérieur à 1 % dans les régions terminales à forte densité de circulation en raison de répartitions d'aéronefs ACAS 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  $\mu$ s. Le second terme de droite de cette inégalité limite la valeur maximale du produit puissance-cadence d'interrogation dans le cas de l'ACAS II, quel que soit  $n_a$ , afin d'autoriser qu'une partie de l'attribution totale prévue pour la limitation du brouillage soit utilisée par l'ACAS I. Grâce à ce terme, qui est adapté à la répartition des ACAS par la valeur d'  $\alpha$  dans le dénominateur, la puissance moyenne des émissions d'une unité ACAS II donnée ne dépassera jamais la valeur qu'elle aurait s'il y avait, à proximité, environ 26 autres unités ACAS II réparties uniformément en surface, ou 6 autres unités ACAS II réparties uniformément en distance.

**3.2.3.3.1** Les régions terminales à forte densité de circulation subiront des charges plus élevées liées au dépassement de l'estimation de 1 % à une distance d'environ 14,8 à 18,5 km (8 à 10 NM) du toucher des roues. Pour assurer une performance de surveillance suffisante à la fois des systèmes ACAS et des systèmes sol de surveillance dans ces régions, les ACAS d'aéronefs volant à moins de 610 m (2 000 ft) AGL tiennent aussi compte des ACAS II et ACAS III en fonctionnement au sol dans le calcul de  $n_b$  et  $n_c$ . Cette valeur a été retenue pour des raisons pratiques :

- a) un radioaltimètre offre une précision de mesure suffisante à 610 m (2 000 ft) et au-dessous ;
- b) dans le cas d'aéronefs en approche sur une pente de descente ILS, 610 m (2 000 ft) AGL correspond à une distance d'environ 11,2 km (6 NM) de l'aéroport.

Les nouvelles procédures d'approche (p. ex. fondées sur le MLS ou le GNSS) exigeront peut-être de tenir compte de considérations supplémentaires pour limiter le brouillage. Même dans le cas de



l'approche ILS, il est recommandé d'établir des procédures mettant les ACAS II et ACAS III en mode « attente » quand l'aéronef n'est pas sur une piste en service.

**3.2.3.4** Lorsque l'inégalité (2) est vérifiée, le transpondeur équipant l'aéronef ACAS ne sera pas mis hors circuit par des signaux de suppression mutuelle émanant de l'unité ACAS équipant le même aéronef pendant plus de 1 % du temps.

**3.2.3.5** 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'interrogations émanant de tous les interrogateurs ACAS se trouvant à sa portée. 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 ACAS dans le voisinage, et à limiter la puissance d'une seule unité ACAS. 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 d'ACAS dans une zone à grande circulation où fonctionnent de multiples capteurs sol modes A/C.

#### **3.2.3.6 EXEMPLE DE LIMITATION DU BROUILLAGE**

**3.2.3.6.1** Lorsqu'on n'a pas recours à la limitation des interrogations, les cadences globales d'interrogation modes A/C et mode S d'une unité ACAS directive auraient en général les valeurs ci-après. La cadence d'interrogation modes A/C  $k_i$  a en général une valeur constante égale à 83 interrogations whisper-shout par seconde. Supposons que la somme des puissances whisper-shout normalisées, c'est-à-dire la partie modes A/C du terme de gauche de l'inégalité (1), soit égale à 3 environ. La cadence d'interrogation mode S dépend du nombre des aéronefs mode S présents dans le voisinage. Dans l'espace aérien en route, elle a en général une valeur moyenne d'environ 0,08 interrogation par seconde pour chaque aéronef mode S se trouvant dans un rayon de 56 km (30 NM). Dans une zone où la densité est uniformément de 0,006 aéronef par  $\text{km}^2$  (0,02 aéronef par  $\text{NM}^2$ ), il y a 57 aéronefs dans un rayon de 56 km (30 NM). Si 20 % de ces aéronefs sont dotés d'ACAS,  $n_a = 12$  et le terme variable de droite de l'inégalité (1) est égal à 21,5. Si le nombre des aéronefs ACAS présents dans cette zone ne dépasse pas 26, le terme fixe continue à dominer et l'on n'exerce aucune limitation tant qu'il n'y a pas environ 100 aéronefs mode S dans un rayon de 56 km (30 NM).

**3.2.3.6.2** Des considérations semblables s'appliquent en ce qui concerne les inégalités (2) et (3). Dans l'inégalité (2), l'intervalle de suppression mutuelle associé avec chaque interrogation émise par l'intermédiaire de l'antenne supérieure est de 70  $\mu\text{s}$ . L'intervalle de suppression mutuelle correspondant à l'antenne inférieure est de 90  $\mu\text{s}$ . Par conséquent, des modes A/C résultent le chiffre de 0,0059 dans le terme de gauche de l'inégalité (2) et la cadence d'interrogation mode S peut atteindre 59 interrogations rayonnées depuis l'antenne supérieure par seconde avant que la limite soit dépassée. Dans le cas d'une séquence whisper-shout type, le terme de gauche de

l'inégalité (3) vaut environ 3. Cette inégalité reste vérifiée tant que le nombre des aéronefs ACAS se trouvant dans un rayon de 56 km (30 NM) ne dépasse pas 26.

**3.2.3.6.3** Lorsque la cadence ou la densité des interrogations augmente à tel point que l'une des limites est dépassée, il faut réduire la cadence d'interrogation normalisée modes A/C et la cadence d'interrogation normalisée mode S ou l'une d'elles pour que cette inégalité soit vérifiée. Si la densité atteint uniformément 0,029 aéronef par km<sup>2</sup> (0,1 aéronef par NM<sup>2</sup>) jusqu'à 56 km (30 NM), il y aura 283 aéronefs dans un rayon de 56 km (30 NM). Si 10 % de ces aéronefs étaient dotés d'ACAS,  $n_a = 28$ . Les limites de droite dans les inégalités (1) et (3) seraient alors respectivement de 9,66 et 2,76. Pour que ces limites plus basses soient respectées, l'apport modes A/C comme l'apport mode S dans le terme de gauche de l'inégalité (1) devraient être réduits. Par conséquent, la distance maximale de surveillance des cibles modes A/C et des cibles mode S serait diminuée.

**3.2.3.6.4** L'inégalité (1) contient un exposant  $\alpha$  qui sert à adapter l'inégalité à la densité locale particulière des aéronefs ACAS de façon qu'un transpondeur « victime » fonctionnant dans le voisinage d'ACAS qui sont répartis à l'intérieur des limites de l'uniformité en surface et l'uniformité en distance ne détectera jamais plus de 280 interrogations ACAS dans une période d'une seconde.

La valeur d'  $\alpha$  définit la caractéristique de répartition locale des ACAS dans le voisinage de l'ACAS de référence. Elle est fondée sur les nombres relatifs d'ACAS situés à moins de 56 km (30 NM), à moins de 11,2 km (6 NM) et à moins de 5,6 km (3 NM) déterminés à partir des interrogations ACAS diffusées et de la surveillance ACAS. La valeur d'  $\alpha$  est le minimum des deux valeurs suivantes :

- a) logarithme du rapport du nombre d'aéronefs ACAS ( $n_a$ ) situés à moins de 56 km (30 NM) au nombre d'aéronefs ACAS ( $n_b$ ) situés à moins de 11,2 km (6 NM) divisé par le logarithme de 25 ;
- b) quart du rapport du nombre d'aéronefs ACAS ( $n_b$ ) situés à moins de 11,2 km (6 NM) au nombre d'aéronefs ACAS ( $n_c$ ) situés à moins de 5,6 km (3 NM).

Une répartition uniforme en surface d'aéronefs ACAS à moins de 56 km donne une valeur  $\alpha$  de 1,0 et une répartition uniforme en distance, une valeur de 0,5. Étant donné que plus la valeur d'  $\alpha$  est faible, plus la réduction de la puissance, donc du rayon de surveillance, est grande, la valeur minimale d'  $\alpha$  est limitée à 0,5 afin d'assurer un rayon de surveillance approprié pour l'évitement des collisions dans les régions terminales où la densité de circulation est la plus élevée. D'autres limites sont imposées à la valeur d'  $\alpha$  pour tenir compte des situations particulières dans lesquelles la répartition locale mesurée des ACAS :

- 1) est fondée sur des nombres trop petits pour être concluante ( $n_b = 1$ ) ; dans ce cas,  $\alpha$  est limité à 1 ;
- 2) est incohérente compte tenu d'un nombre global d'ACAS relativement élevé ( $n_b \leq 4$ ,  $n_c \leq 2$ ,  $n_a > 25$ ) ; dans ce cas,  $\alpha$  est limité à 1 ;



3) est incohérente compte tenu d'un nombre global d'ACAS relativement bas ( $n_c > 2$ ,  $n_b > 2n_c$ ,  $n_a < 40$ ) ; dans ce cas,  $\alpha_1$  est limité à 0,5.

### 3.2.3.7 PROCÉDURES DE LIMITATION DU BROUILLAGE

**3.2.3.7.1** Au début de chaque intervalle de mise à jour de la surveillance,  $n_a$ ,  $n_b$  et  $n_c$  doivent être déterminés comme ci-dessus. On se sert de  $n_a$  pour déterminer les limites actuelles de droite dans les inégalités (1) et (3). Il faut également calculer des valeurs lissées des variables mode S dans ces inégalités.

On utilise  $n_b$  et  $n_c$  pour calculer la valeur d'  $\alpha_1$  à l'aide de la formule suivante :

$$\alpha_1 = 1/4 [n_b/n_c]$$

On utilise  $n_a$  et  $n_b$  pour calculer la valeur d'  $\alpha_2$  à l'aide de la formule suivante :

$$\alpha_2 = \frac{\text{Log}_{10}[n_a/n_b]}{\text{Log}_{10} 25}$$

De plus :

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  $\alpha_1 = 1,0$  ;  
SI  $[(n_b < 2n_c) \text{ OU } ((n_c > 2) \text{ ET } (n_b > 2n_c) \text{ ET } (n_a < 40))]$ , ALORS  $\alpha_1 = 0,5$  ;  
SI  $(n_a > 25n_b)$ , ALORS  $\alpha_2 = 1,0$  ;

SI  $(n_a < 5n_b)$ , ALORS  $\alpha_2 = 0,5$  ;

la valeur d'  $\alpha$  est le minimum d'  $\alpha_1$  et d'  $\alpha_2$ .

**3.2.3.7.2** Toutes les interrogations de coordination air-air, tous les avis de résolution et toutes les interrogations diffusées ACAS doivent être émis à pleine puissance. Ils ne doivent pas être compris dans les sommations des interrogations mode S dans les termes de gauche de ces inégalités. Chaque fois qu'un avis de résolution est affiché, les interrogations de surveillance peuvent être émises à pleine puissance pour assurer la fiabilité maximale de la liaison. Les avis de résolution étant rares, ces émissions n'augmentent pas sensiblement le brouillage.

**3.2.3.7.3** Si la valeur lissée du terme de gauche de l'inégalité (1) ou de l'inégalité (2) est supérieure ou égale à la limite actuelle et si l'aéronef ACAS de référence vole à une altitude-pression inférieure à 5 490 m (18 000 ft), il faut modifier les paramètres de surveillance mode S comme les paramètres de surveillance modes A/C pour que ces inégalités soient vérifiées. Si le terme de gauche de l'inégalité (3) dépasse la limite actuelle et si l'aéronef ACAS de référence vole à une altitude pression inférieure à 5 490 m (18 000 ft), on modifie les paramètres de la surveillance modes A/C afin que les inégalités soient vérifiées.

**3.2.3.7.4** On peut modifier la surveillance modes A/C en éliminant, dans l'ordre, des pas de la séquence whisper-shout décrite au § 3.2.2. Chaque pas whisper-shout est associé de manière



unique à un MTL de récepteur. Par conséquent, la sensibilité du récepteur pendant les périodes de surveillance modes A/C est automatiquement adaptée à ces réductions de puissance.

**3.2.3.7.5** Il est possible de réduire la sensibilité globale en matière de surveillance des cibles mode S en réduisant la puissance d'interrogation et en augmentant le MTL de récepteur pendant toutes les périodes d'écoute de squitter mode S. Cela réduira indirectement la cadence d'interrogation mode S en réduisant le nombre des cibles. Bien des interrogations mode S sont des interrogations d'acquisition destinées à des cibles situées à une distance inconnue. Il n'est donc pas efficace de limiter directement la cadence d'interrogation mode S simplement en éliminant du fichier de pistes les cibles distantes.

**3.2.3.7.6** Dans le cas des ACAS en vol, les réductions de puissance et de sensibilité de surveillance modes A/C et mode S doivent être faites de telle manière qu'une égalité entre les distances de surveillance des cibles mode S et modes A/C existe dans le faisceau avant. Afin d'obtenir un rayon de surveillance fiable de 11,2 km (6 NM) dans toutes les directions pour  $n_b$ , la réduction de puissance maximale autorisée au titre de la limitation du brouillage dans quelque faisceau que ce soit pour une unité ACAS en vol est de 10 dB pour le mode S et de 7 dB pour les modes A/C. Les réductions de puissance et de sensibilité de surveillance modes A/C dans le cas des ACAS au sol doivent être faites de manière à atteindre une capacité whisper-shout égale dans chaque faisceau. Pour cela, il faut opérer la réduction dans le faisceau avant jusqu'à ce que l'égalité soit atteinte avec les faisceaux latéraux, puis opérer la réduction dans le faisceau avant et dans les faisceaux latéraux jusqu'à ce que l'égalité soit atteinte avec le faisceau arrière. Afin d'obtenir un rayon de surveillance fiable de 5,6 km (3 NM) dans toutes les directions avant le départ, la réduction de puissance maximale autorisée au titre de la limitation du brouillage dans le cas d'une unité ACAS au sol est la suivante :

- a) faisceau avant : 13 dB pour le mode S et 10 dB pour les modes A/C ;
- b) faisceaux latéraux : 13 dB pour le mode S et 6 dB pour les modes A/C ;
- c) faisceau arrière : 13 dB pour le mode S et 1 dB pour les modes A/C.

De plus, les réductions de puissance et de sensibilité de surveillance modes A/C et mode S dans le cas des ACAS en vol ou au sol doivent être faites de telle manière que l'équipement ACAS ne soit pas prématurément restreint et puisse utiliser au minimum 75 % de ce que spécifient les trois équations de limitation pour tous les mélanges de types de cibles et pour toutes les densités, y compris la densité maximale en présence de laquelle le système peut fonctionner. Lorsque la valeur de l'une quelconque des limites lissées est dépassée, il faut prendre les mesures appropriées afin de limiter le brouillage dans l'espace d'un intervalle de mise à jour de la surveillance. Il faut prévoir des moyens de rétablir graduellement la sensibilité de surveillance lorsque l'environnement s'améliore suffisamment par la suite pour permettre une certaine souplesse quant aux limites de brouillage.





**3.2.3.7.7** Les interrogations inter-ACAS sont comprises dans la sommation des interrogations mode S dans le terme de gauche des inégalités de limitation du brouillage.

### **3.2.3.8 APPLICATION D'UNE PROCÉDURE TYPE DE LIMITATION DU BROUILLAGE**

**3.2.3.8.1** Ci-dessous la description d'une application possible d'une procédure de limitation du brouillage. On fait varier les paramètres de système figurant dans les inégalités (1), (2) et (3) afin d'optimiser et de maintenir l'égalité approximative entre les distances maximales estimées de surveillance pour les cibles mode S et modes A/C. Pour évaluer ces inégalités, on utilise des moyennes calculées sur 8 s des paramètres mode S et les valeurs actuelles ou prévues des paramètres modes A/C. La procédure est présentée sous forme d'ordinogramme dans la Figure A-4.

**3.2.3.8.2 Première étape.** Dans la première étape du processus de contrôle, on réduit le nombre des pas whisper-shout provisoirement prévus pour le balayage actuel dans l'un des deux cas suivants :

- a) l'inégalité (3) n'est pas vérifiée ;
- b) l'inégalité (1) ou (2) n'est pas vérifiée et la distance maximale de surveillance mode S pendant le dernier balayage ne dépasse pas la distance maximale de surveillance modes A/C qui résulterait de l'emploi de la séquence whisper-shout prévue.

On élimine des pas whisper-shout dans l'ordre qui résulte de la conception du processeur modes A/C, et juste assez pour que ni l'une ni l'autre des conditions ci-dessus ne soit remplie. Le nombre des pas whisper-shout que l'on peut provisoirement utiliser est initialisé à la valeur utilisée pendant le dernier balayage.

La grandeur relative de la distance maximale de surveillance mode S et de la distance maximale de surveillance modes A/C est déterminée d'après la puissance apparente rayonnée (PAR) estimée telle qu'elle apparaît aux cibles dotées de transpondeurs mode S et modes A/C et se trouvant directement devant l'aéronef ACAS. La PAR dans une direction donnée est déterminée par le produit de la puissance envoyée dans l'antenne et du gain de l'antenne dans cette direction. Si les transpondeurs étaient d'égale sensibilité, la distance maximale mode S serait supérieure ou inférieure à la distance maximale modes A/C selon que la puissance à l'émission mode S est supérieure ou inférieure à la puissance à l'émission modes A/C. Comme il se peut que les transpondeurs modes A/C soient légèrement moins sensibles que les transpondeurs mode S, on suppose que la distance maximale modes A/C est supérieure à la distance maximale mode S si la puissance modes A/C dépasse de 3 dB la puissance mode S et seulement dans ce cas.

**3.2.3.8.3 Deuxième étape.** Il s'agit à présent de réduire de 1 dB la puissance d'interrogation mode S aux fins d'acquisition et d'augmenter de 1 dB par rapport aux valeurs utilisées la dernière fois le MTL d'écoute des squitters mode S si l'inégalité (1) ou l'inégalité (2) n'est plus vérifiée et si la distance maximale de surveillance mode S pendant le dernier balayage dépasse la distance maximale de surveillance modes A/C que l'on obtiendrait à l'aide de la séquence whisper-shout prévue.



Agence Nationale de l'Aviation Civile  
du Togo

**RANT 10 – PART 4**  
**Télécommunications aéronautiques -**  
 **Systèmes de Surveillance et Anticollision**  
**SUPPLEMENT**

Page: 42 de 113  
Révision: 00  
Date: 01/07/2015

Une fois que ce changement a été effectué, le seul changement autorisé pendant les 8 s suivantes consiste à réduire le nombre des pas whisper-shout s'il faut le faire pour que l'inégalité (3) soit vérifiée. Ce gel de 8 s permet à l'effet des changements mode S de se manifester puisque les moyennes calculées sur 8 s utilisées dans les inégalités (1) et (2) serviront alors à déterminer le comportement du système à la suite du changement.

**3.2.3.8.4 Troisième étape.** Il s'agit d'ajouter un pas whisper-shout à ceux qui sont provisoirement prévus, lorsqu'un gel de 8 s n'empêche pas de le faire, et que les conditions ci-après sont remplies :

- a) les inégalités (1), (2) et (3) sont vérifiées et resteront vérifiées après adjonction de ce pas
- b) la distance maximale de surveillance mode S du dernier balayage dépasse la distance maximale de surveillance modes A/C qui résulterait de l'emploi de la séquence prévue.

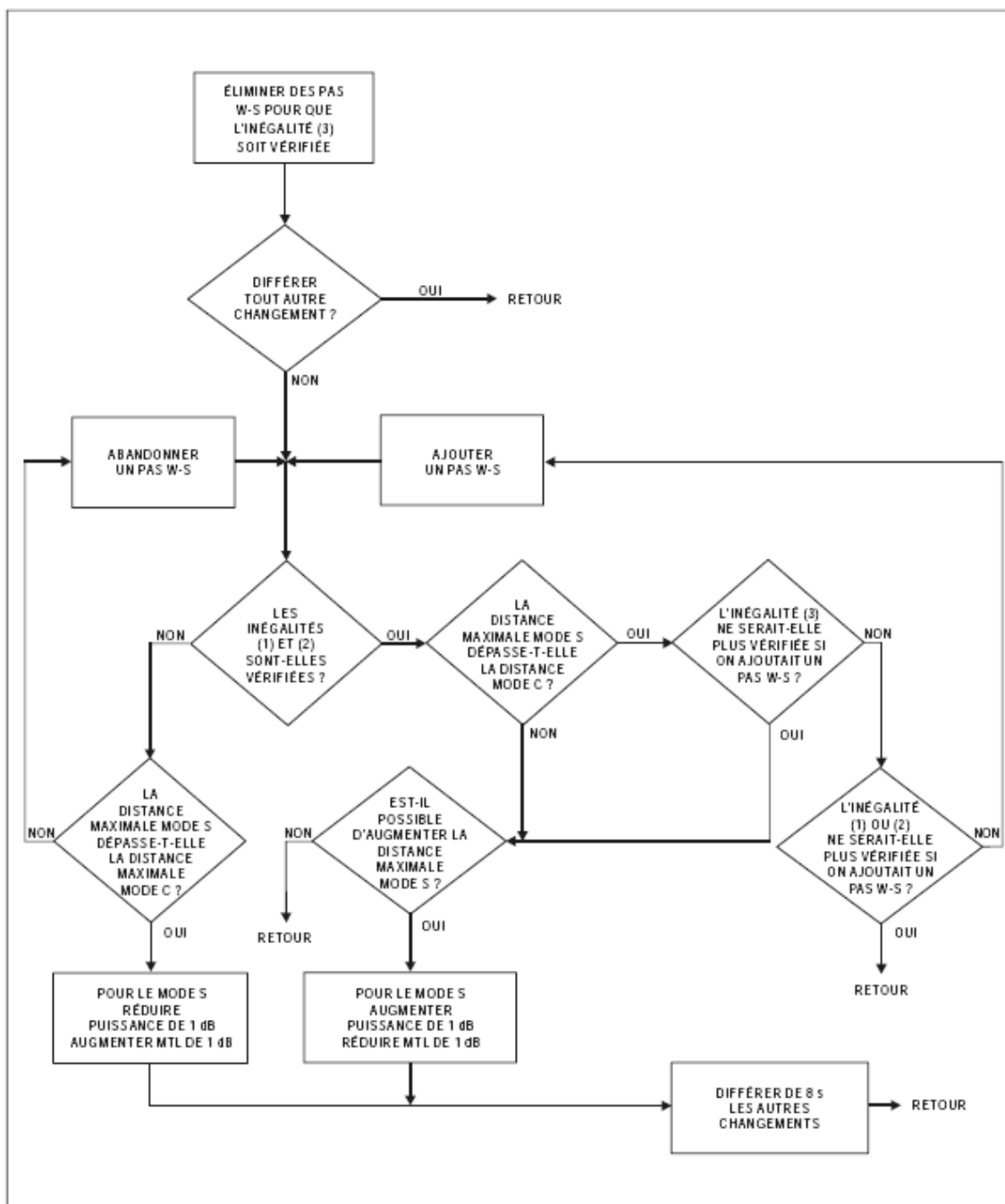


Figure A-4. Ordinoigramme de limitation du brouillage

On ajoute autant de pas que possible sans enfreindre les conditions (a) et (b) ci-dessus.

**3.2.3.8.5 Quatrième étape.** Enfin, si la condition (a) du 3.2.3.8.4 ci-dessus est remplie sans que la condition (b) le soit on détermine approximativement l'effet d'une augmentation de 1 dB de la puissance d'interrogation mode S aux fins d'acquisition et d'une réduction de 1 dB du MTL relatif aux squitters/fruit mode S. S'il semble que les inégalités (1) et (2) ne resteront pas vérifiées, le changement de 1 dB n'est pas effectué. S'il semble qu'elles resteront vérifiées, le changement de 1



dB est effectué et aucun autre changement n'est apporté au paramètre modes A/C ou au paramètre mode S pendant les 8 s qui suivent, sauf selon les indications du 3.2.3.8.3.

### **3.2.4 VARIATION DU RYTHME DES INTERROGATIONS**

On rend intentionnellement apériodiques les interrogations modes A/C provenant de l'équipement ACAS pour éviter tout brouillage synchrone fortuit d'autres interrogateurs sol et embarqués. Il est inutile de rendre apériodiques les interrogations de surveillance mode S, étant donné le caractère essentiellement aléatoire de l'ordonnancement des interrogations mode S de l'ACAS.

## **3.3 ANTENNES**

### **3.3.1 EMPLOI D'INTERROGATIONS DIRECTIVES**

**3.3.1.1** Il est recommandé d'utiliser une antenne directive pour assurer une surveillance fiable des cibles modes A/C là où la densité de circulation atteint 0,087 aéronef par km<sup>2</sup> (0,3 aéronef par NM<sup>2</sup>). L'aérien recommandé se compose d'une antenne à quatre faisceaux disposée sur la partie supérieure de l'aéronef et d'une antenne omnidirective disposée sur la partie inférieure. L'antenne directive produit successivement des faisceaux tournés vers l'avant, l'arrière, le côté gauche et le côté droit. Ensemble, ces faisceaux permettent d'assurer la surveillance des cibles dans tous les azimuts sans avoir besoin d'angles de pointage intermédiaires.

**3.3.1.2** Dans le cas de l'antenne directive type, la largeur de faisceau (BW) à 3 dB en azimut est de  $90 \pm 10$  degrés pour tous les angles de site compris entre -15 et +20 degrés. La largeur de faisceau d'interrogation devrait être limitée au moyen d'une impulsion de suppression des lobes secondaires  $P_2$  émise 2  $\mu$ s après chaque impulsion d'interrogation  $P_1$ . Pour émettre l'impulsion  $P_2$ , on utilise un diagramme de commande distinct (qui peut être omnidirectionnel).

**3.3.1.3** Il est nécessaire de détecter en temps opportun les aéronefs qui, à des niveaux supérieurs et inférieurs, se rapprochent à faible vitesse. Pour détecter ces aéronefs, il faut un gain d'antenne suffisant à l'intérieur d'un angle de site de 10 degrés de part et d'autre du plan horizontal de l'aéronef ACAS. Dans le cas de l'antenne directive ACAS type, la largeur du faisceau à 3 dB en site est de 30 degrés.

**3.3.1.4** La forme des diagrammes de rayonnement de l'antenne directive et l'amplitude relative des émissions d'impulsion  $P_2$  sont contrôlées de façon (a) qu'un transpondeur à suppression maximale dont la position est définie par un angle d'azimut quelconque compris entre 0 et 360 degrés et un angle de site quelconque compris entre -15 et +20 degrés réponde au minimum aux interrogations comprises dans l'un des quatre faisceaux directs et (b) qu'un transpondeur à suppression minimale réponde au maximum aux interrogations comprises dans deux faisceaux directs immédiatement voisins. Par définition, un transpondeur à suppression maximale est un transpondeur qui ne répond que lorsqu'à la réception le rapport de  $P_1$  à  $P_2$  dépasse 3 dB. Par définition, un transpondeur à



suppression minimale est un transpondeur qui répond lorsqu'à la réception le rapport de  $P_1$  à  $P_2$  dépasse 0 dB.

**3.3.1.5** La puissance apparente rayonnée (PAR) dans chaque faisceau d'antenne (avant, gauche, droit, arrière, omni) ne devrait pas s'écarter de plus de  $\pm 2$  dB de la valeur nominale correspondante indiquée dans la Figure A-2a.

**3.3.1.6** Dans le cas d'une émission directive en avant pour laquelle  $TRP = 49$  dBm et  $BW = 90^\circ$ , la valeur approximative du produit de la puissance par le gain au centre du faisceau est la suivante :

$$PG = \frac{TRP}{BW/360^\circ} = 55 \text{ dBm}$$

Cette valeur dépasse de 1 dB la valeur nominale et permet une couverture adéquate au croisement des faisceaux directifs. La TRP des faisceaux latéraux et arrière est réduite par rapport à celle du faisceau avant, ce qui tient compte du fait que les vitesses de rapprochement sont plus faibles lorsque des aéronefs viennent de ces directions. Les performances de surveillance modes A/C s'amélioreront généralement à mesure qu'est renforcé le caractère directif (donc qu'augmente le nombre des faisceaux) de l'antenne supérieure. Cependant, le recours à une antenne directive disposée sur la partie inférieure de l'aéronef ne faciliterait la détection que d'une façon marginale et, si cette antenne était utilisée à pleine puissance, nuirait aux performances globales de l'équipement en augmentant la fréquence des fausses pistes du fait des réflexions sur le sol (multitrajets).

### **3.3.2 GONIOMÉTRIE**

Plusieurs techniques simples et pratiques de goniométrie permettent de déterminer avec une précision supérieure à  $10^\circ$  RMS l'angle sous lequel arrivent les émissions des transpondeurs qui répondent. Ces techniques font généralement intervenir un ensemble de quatre ou cinq éléments rayonnants unipolaires disposés sur la surface de l'aéronef de manière à former un carré avec un espacement quart d'onde. On peut combiner les signaux rayonnés par ces éléments afin de produire de deux à quatre faisceaux distincts que l'on peut soumettre à une comparaison de phase ou d'amplitude pour obtenir une direction estimée d'arrivée du signal reçu. Une telle précision suffit pour que l'on présente au pilote des avis de circulation afin de l'aider efficacement à repérer visuellement l'aéronef intrus.

### **3.3.3 ÉMISSION DIRECTIVE COMME MOYEN DE CONTRÔLE DU CHEVAUCHEMENT SYNCHRONÉ**

**3.3.3.1** L'interrogation directive est un moyen de réduire le chevauchement synchrone. Elle peut réduire l'étendue de la zone d'interrogation. La couverture doit être assurée dans toutes les directions. Il faut donc utiliser des faisceaux multiples pour déclencher des réponses de la part de tous les aéronefs évoluant à proximité de l'aéronef doté de l'ACAS. Il faut veiller à ce que les



faisceaux se chevauchent de manière que la couverture ne présente pas de lacune entre les faisceaux.

**3.3.3.2** On peut utiliser comme antenne un réseau relativement simple à commutation entre quatre ou huit positions différentes de faisceau en général. Lorsqu'il y a quatre positions, la largeur de faisceau devrait être de l'ordre de 100°. On peut avoir recours à la suppression des lobes secondaires à l'émission afin que la largeur de faisceau effective destinée à l'interrogation des transpondeurs modes A/C soit inférieure à la largeur de faisceau à 3 dB.

### **3.3.4 EMLACEMENT DE L'ANTENNE**

L'antenne directive supérieure doit être située dans l'axe de l'aéronef et le plus à l'avant possible. Sur la cellule, il faut écarter au maximum les antennes ACAS des antennes du transpondeur mode S afin de limiter le couplage de l'énergie de fuite d'une unité à l'autre. L'espacement ne doit jamais être inférieur à 0,5 m (1,5 ft) puisqu'à cette distance la perte par couplage est d'au moins 20 dB.

## **3.4 RECEPTEUR ET PROCESSEUR**

### **3.4.1 SENSIBILITÉ**

D'une sensibilité équivalant à celle d'un transpondeur mode S (niveau minimal de déclenchement de -74 dBm) résultera un bilan de liaison assez favorable pour que l'on assure une détection fiable des aéronefs se trouvant presque à la même altitude en vol en palier à 26 km (14 NM) de distance, pourvu que ces aéronefs soient eux-mêmes dotés de transpondeurs de puissance nominale à l'émission.

### **3.4.2 CONTRÔLE DU SEUIL DE RÉCEPTEUR**

**3.4.2.1** Le récepteur ACAS comporte un seuil variable (dynamique) pour contrôler les effets des multitrajets. Selon la technique du seuil variable, au moment où la première impulsion d'une réponse est reçue, le seuil du récepteur passe du niveau minimal de déclenchement (MTL) à un niveau inférieur au niveau de crête de l'impulsion reçue, la différence entre ces deux derniers niveaux étant constante (9 dB, par exemple). Le seuil du récepteur demeure à ce niveau durant une réponse modes A/C et reprend ensuite la valeur du MTL. Lorsque les réponses indirectes causées par des multitrajets sont faibles par rapport à la réponse directe, la première impulsion de cette dernière élève suffisamment le seuil du récepteur pour que les réponses indirectes ne soient pas détectées.

**3.4.2.2** On a toujours évité d'utiliser des seuils variables dans les processeurs de réponse modes A/C parce que cette solution a souvent pour effet d'éliminer les réponses faibles. Toutefois, lorsqu'on utilise en même temps des interrogations whisper-shout, cet inconvénient est largement compensé. À n'importe quel pas de la séquence d'interrogation, il est possible pour une forte réponse d'élever le seuil et de provoquer le rejet d'une réponse chevauchante plus faible. Cependant, lorsqu'on utilise des interrogations whisper-shout, les réponses chevauchantes reçues à la suite de chaque



interrogation sont approximativement de même amplitude puisque dans le processus whisper-shout, les cibles sont réparties en différents groupes selon la force du signal.

**3.4.2.3** Le MTL de récepteur ACAS utilisé pendant la période d'écoute qui suit chaque interrogation whisper-shout est rapportée d'une manière prescrite à la puissance d'interrogation. Il faudrait en particulier utiliser des MTL supérieurs qui rendent le récepteur moins sensible avec les faibles puissances d'interrogation afin de contrôler le niveau relatif de fruit modes A/C dans le récepteur ACAS tout en maintenant un équilibre entre la liaison d'interrogation et la liaison de réponse afin que toutes les réponses déclenchées soient détectées.

### **3.4.3 TRAITEMENT DES IMPULSIONS**

**3.4.3.1** Un récepteur à gamme dynamique relativement large reproduit fidèlement les impulsions reçues. Il est possible de prévoir un moyen de localiser avec précision les bords des impulsions reçues, ainsi qu'une logique destinée à éliminer les fausses impulsions d'encadrement qui sont synthétisées par des impulsions codées provenant des réponses réelles. Le processeur est capable de traiter les impulsions dans les cas où les bords des impulsions qui se chevauchent sont évidents. Il est capable aussi, lorsque, du fait du chevauchement d'impulsions d'amplitude presque égale, les impulsions suivantes sont cachées, d'en rétablir la position. Le processeur de réponse est capable de traiter et de décoder correctement trois réponses chevauchantes au minimum. On a également prévu un moyen de rejeter les signaux hors-bande et de rejeter les impulsions dont le temps de montée dépasse 0,5  $\mu$ s (impulsions DME, par exemple).

**3.4.3.2** La réception d'une réponse mode S au cours d'une période d'écoute mode C peut engendrer une série de fausses réponses de fruit mode C que l'équipement ACAS est censé rejeter.

### **3.4.4 DÉTECTION ET CORRECTION DES ERREURS**

**3.4.4.1** Il faut doter d'un moyen de correction des erreurs entachant les réponses mode S l'avionique ACAS à utiliser dans l'espace aérien caractérisé par des vitesses de rapprochement supérieures à 260 m/s (500 kt) et des densités supérieures à 0,009 aéronef par km<sup>2</sup> (0,03 aéronef par NM<sup>2</sup>) ou des vitesses de rapprochement inférieures à 260 m/s (500 kt) et des densités supérieures à 0,04 aéronef par km<sup>2</sup> (0,14 aéronef par NM<sup>2</sup>). Lorsque les densités sont aussi élevées, la correction des erreurs s'impose pour compenser les effets du fruit modes A/C. La correction des erreurs mode S permet de recevoir comme il faut une réponse mode S en présence d'une réponse modes A/C chevauchante.

**3.4.4.2** Le décodage pour correction d'erreur doit être utilisé dans le cas des réponses suivantes : réponses « appel général » DF = 11, réponses de surveillance air-air courte DF= 0 et réponses de surveillance air-air longue DF= 16 (acquisition et non-acquisition). Le contrôle passif des réponses d'altitude de surveillance courte DF = 4 exige lui aussi un décodage pour correction d'erreur.

**3.4.4.3** Si deux ou plusieurs réponses d'acquisition comportant des erreurs à corriger sont reçues dans la fenêtre d'acquisition de distance mode S, il peut ne pas être pratique d'appliquer la

 <p>Agence Nationale de l'Aviation Civile du Togo</p>	<p><b>RANT 10 – PART 4</b></p> <p><b>Télécommunications aéronautiques - Systèmes de Surveillance et Anticollision</b></p> <p><b>SUPPLEMENT</b></p>	<p>Page: 48 de 113</p> <p>Révision: 00</p> <p>Date: 01/07/2015</p>
--	--	--

correction des erreurs à la première réponse reçue et à d'autres en plus. Il est inutile dans ce cas de corriger les réponses d'acquisition autres que la première.

### **3.4.5 SUPPRESSION DES LOBES SECONDAIRES DANS LE RÉCEPTEUR**

Dans le cas de l'équipement ACAS qui émet des interrogations directives, on peut utiliser des techniques de suppression des lobes secondaires dans le récepteur pour éliminer le fruit, c'est-à-dire les réponses générées par des aéronefs évoluant à proximité mais hors du secteur interrogé. On réduit ainsi le nombre des réponses traitées durant l'intervalle de mise à jour de la surveillance.

### **3.4.6 DOUBLE NIVEAU MINIMAL DE DÉCLENCHEMENT**

Si le niveau minimal de déclenchement (MTL) du récepteur utilisé par l'ACAS est abaissé pour permettre un fonctionnement à portée accrue avec des squitters longs, il faut un moyen d'étiqueter les squitters qui ont été reçus au MTL et qui auraient été utilisés par un récepteur ACAS non modifié. Les squitters qui sont reçus au MTL standard ou à un MTL supérieur alimentent la fonction de surveillance ACAS. Les squitters qui sont reçus à un MTL inférieur au MTL standard ne servent pas à la surveillance ACAS mais sont acheminés directement à l'application de squitter long. Ce filtrage en fonction du MTL est nécessaire pour empêcher que l'ACAS ne tente d'interroger des aéronefs qui se trouvent au-delà de la portée de sa fonction de surveillance active. Cela entraînerait une augmentation de la cadence d'interrogation de l'ACAS sans améliorer les résultats de la surveillance. L'emploi du MTL standard pour la fonction de surveillance ACAS permet de maintenir le fonctionnement actuel de la surveillance ACAS dans le cas d'une utilisation avec un récepteur à MTL amélioré.

## **3.5 ALGORITHMES ANTICOLLISION**

*Note. — Les éléments indicatifs sur la logique anticollision de l'ACAS II sont présentés dans deux sections. Les renseignements de la présente section portent sur les normes qui figurent dans les SARP relatives à l'ACAS et traitent d'importants concepts en utilisant comme exemples des caractéristiques de conception d'une application particulière de la logique ACAS. La Section 4 offre des détails supplémentaires sur les algorithmes et les paramètres mis en œuvre dans cette application. Par conséquent, plusieurs paragraphes de la présente section renvoient à des paragraphes de la section suivante.*

### **3.5.1 GÉNÉRALITÉS**

**3.5.1.1** Les opérations des algorithmes ACAS suivent un cycle qui se répète à la cadence nominale d'une fois par seconde. Au début du cycle, les comptes rendus de surveillance servent à mettre à jour les pistes de tous les intrus et à amorcer de nouvelles pistes selon les besoins. Chaque intrus est ensuite représenté par une valeur estimée actuelle de sa distance, de son taux de variation de distance, de son altitude, de son taux de variation d'altitude et peut-être de son gisement. L'altitude et le taux de variation d'altitude de l'aéronef de référence sont également mis à jour.





**3.5.1.2** Après que les pistes ont été mises à jour, les algorithmes de détection de menace servent à déterminer lesquels des intrus risquent de devenir menaçants. Deux niveaux de menace ont été définis : menace potentielle et menace (aéronef menaçant).

--Une menace potentielle justifie un avis de circulation ;

--une menace, un avis de résolution.

**3.5.1.3** Les algorithmes de résolution génèrent un avis de résolution qui vise à établir une séparation verticale par rapport à toutes les menaces reconnues par les algorithmes de détection de menace. Une coordination avec chaque aéronef équipé est assurée dans le cadre du processus de sélection de l'avis de résolution. Une coordination deux à deux avec chaque menace équipée est nécessaire pour déterminer quel aéronef doit passer au-dessus de l'autre et ainsi garantir la compatibilité des manœuvres d'évitement.

## **3.5.2 DÉTECTION DES MENACES**

**3.5.2.1** La détection des menaces de collision est fondée sur la simultanéité de faibles espacements en distance et en altitude. L'ACAS se sert des taux de variation de distance et de variation d'altitude pour déterminer par extrapolation la position de l'intrus et celle de l'aéronef de référence. S'il est prévu que dans peu de temps (p. ex. dans 25 s) la distance à l'intrus sera « faible » et la séparation en altitude sera « faible », l'intrus est déclaré menaçant. La seule autre solution possible consisterait à déclarer l'intrus menaçant lorsque la séparation actuelle en distance et la séparation actuelle en altitude sont « faibles ». Les paramètres d'algorithme qui déterminent jusqu'à quel point dans l'avenir la position est extrapolée et qui fixent les seuils à utiliser pour déterminer à quel moment les séparations sont « faibles » sont sélectionnés selon le niveau de sensibilité auquel fonctionnent les algorithmes de détection.

**3.5.2.2** Chaque niveau de sensibilité définit un ensemble spécifique de valeurs des paramètres de détection utilisés par les algorithmes. Cet ensemble comprend des seuils de temps de vol prévu jusqu'au rapprochement maximal, de distance oblique minimale et de séparation verticale. Par commande de réglage du niveau de sensibilité, on donne à ces paramètres différentes valeurs pour tenir compte des plus faibles séparations entre aéronefs que l'on observe dans l'espace aérien terminal à forte densité de circulation. Le niveau de sensibilité peut être sélectionné soit automatiquement en fonction de l'altitude de l'aéronef de référence, soit par commande émanant d'une station sol mode S, soit encore à l'aide d'un commutateur manipulé par le pilote (voir 3.5.12).

**3.5.2.3** Les valeurs utilisées des paramètres de détection de menace ne peuvent pas être optimales dans toutes les situations, l'ACAS étant handicapé parce qu'il ne connaît pas l'intention de l'intrus. De ce fait, un compromis s'impose entre la nécessité de donner un avertissement adéquat lorsqu'une collision est imminente et la possibilité de déclencher des alertes inutiles. De telles alertes peuvent résulter de rencontres qui sont résolues à la dernière minute grâce à des manœuvres de



l'intrus. L'ACAS comporte une particularité utile à cet égard : le volume protégé d'espace aérien peut varier. Les dimensions de ce volume sont automatiquement déterminées en fonction de la vitesse relative des deux aéronefs et il est orienté automatiquement dans la direction du vecteur vitesse relative. Le gisement n'intervient nullement dans ce processus. Chaque rencontre cause l'établissement d'un volume protégé qui lui est propre. Lorsque plusieurs aéronefs se rencontrent, l'aéronef ACAS est apparié avec chaque menace, et à chaque paire d'aéronefs correspond un volume protégé différent.

### **3.5.3 VOLUME PROTÉGÉ**

Un intrus devient menaçant lorsqu'il pénètre dans un volume protégé où se trouve l'aéronef de référence. Le volume protégé est défini à la suite d'un test de distance (dans lequel n'interviennent que des données de distance) et d'un test d'altitude (dans lequel interviennent et des données d'altitude et des données de distance). Ces tests sont positifs ou négatifs (positifs si la menace se trouve dans la partie appropriée du volume protégé, négatifs dans le cas contraire). Un intrus est déclaré menaçant lorsque ces deux tests sont positifs.

#### **3.5.3.1 DÉFINITIONS RELATIVES AU VOLUME PROTÉGÉ**

*Axe principal.* Dans le volume protégé, ligne passant par l'aéronef ACAS II de référence, parallèle au vecteur vitesse relative instantanée.

*Convergence en distance.* Les aéronefs sont « convergents en distance » (se rapprochent l'un de l'autre) si le taux de variation de distance oblique est inférieur ou égal à zéro.

*Distance linéaire d'évitement ( $m_a$ ).* Valeur minimale que prendra la distance si l'intrus et l'aéronef de référence poursuivent leur route à partir de leurs positions respectives actuelles sans accélérer.

*Plan de collision.* Plan renfermant le vecteur distance et le vecteur vitesse relative instantanée ayant pour origine l'intrus.

*Section transversale critique.* Section transversale maximale du volume protégé dans un plan perpendiculaire à l'axe principal.

*Temps de vol linéaire jusqu'au rapprochement maximal ( $t_a$ ).* Temps qu'il faudra pour parvenir à la distance minimale si l'intrus et l'aéronef de référence poursuivent leur route à partir de leurs positions respectives actuelles sans accélérer.

Étant donné que les seuls renseignements dont dispose l'ACAS pour faire des prévisions de distance sont des estimations de distance et de taux de variation de distance, la distance linéaire d'évitement et le temps de vol jusqu'au rapprochement maximal ne sont pas des quantités observables.



Les quantités non observables, la distance linéaire d'évitement et le temps de vol linéaire jusqu'au rapprochement maximal sont reliés aux quantités observables, à la distance  $r$  et au taux de variation de la distance  $r$  par l'équation suivante :

$$t_a = \frac{(r^2 - m_a^2)}{(-177)}$$

*Vitesse relative instantanée (s)*. Mesure arithmétique actuelle de la vitesse relative.

### 3.5.4 TEST DE DISTANCE

**3.5.4.1** Le volume protégé résultant du test de distance qui est utilisé dans l'application ACAS décrite à la Section 4 peut être défini sous la forme des dimensions maximales d'une réalisation possible du test que représente la Figure A-5. On y voit la section, dans le plan contenant les deux aéronefs et le vecteur vitesse relative instantanée, du volume protégé déterminé par test de distance. Le volume protégé est celui que l'on obtiendrait en faisant tourner la courbe continue autour de l'axe des  $x$ . À noter que la longueur de l'axe principal est fonction de la vitesse relative  $s$ . Pour le test de distance réalisable, le rayon de la section transversale maximale du volume protégé dans un plan perpendiculaire au vecteur vitesse relative instantanée est  $m_c$ . C'est la distance d'évitement maximale pour laquelle une alerte peut être déclenchée si la vitesse relative au moment de la pénétration dans le volume protégé reste constante jusqu'au rapprochement maximal. La longueur de l'axe principal est la principale caractéristique qui détermine le délai d'avertissement, tandis que  $m_c$  détermine la distance d'évitement prévue qui fera probablement déclencher l'alerte. L'idéal serait que le délai d'avertissement soit de  $T$  secondes et que  $m_c$  soit tel que seuls justifieront une alerte les intrus pour lesquels selon les prévisions les distances d'évitement seront inférieures à  $D_m$  (rayon du cercle formé par des tirets dans la Figure A-5). La distance  $D_m$ , lorsqu'elle est spécifiée comme dans le cas de l'application ACAS décrite en 4, est importante en ce sens qu'elle représente d'assez près l'écart latéral que subit un aéronef pendant le temps  $T$  lorsqu'il exécute un virage à accélération constante égale à  $g/3$  (inclinaison latérale =  $18^\circ$ ). Par conséquent, une rencontre telle que la distance d'évitement prévue est égale à  $D_m$  lorsque le temps de vol jusqu'au rapprochement maximal est égal à  $T$  peut entraîner une collision si l'un des deux aéronefs exécute des manœuvres sous une accélération égale à  $g/3$ . L'idéal est impossible à réaliser en l'absence de données adéquates sur le taux de variation de gisement ou sur l'accélération le long de la ligne droite joignant les deux aéronefs. La Figure A-6 indique la valeur maximale de  $m_c$  (c.-à-d.  $m_c$  en fonction de la vitesse relative et du niveau de sensibilité). Lorsque la vitesse relative est très faible, comme elle peut l'être lorsque les deux aéronefs se suivent, le volume protégé déterminé par test de distance devient une sphère de rayon  $D_m$  ayant pour centre l'aéronef ACAS.

**3.5.4.2** Essentiellement, le test de distance est positif si, au moment où il reste approximativement  $T$  secondes avant le rapprochement maximal, la projection du vecteur vitesse relative traverse un cercle de rayon  $m_c$  ayant pour centre l'aéronef ACAS et tracé dans le plan perpendiculaire à ce

vecteur. Comme la valeur de  $m_c$  est très élevée par rapport à la valeur de séparation verticale adéquate, en ayant recours au seul test de distance on déclencherait de nombreuses alertes inutiles. Il faut donc, à l'aide de données d'altitude, ramener à des dimensions plus modestes le volume protégé déterminé par test de distance. Cela réduira inévitablement l'immunité aux manœuvres dans le plan vertical.

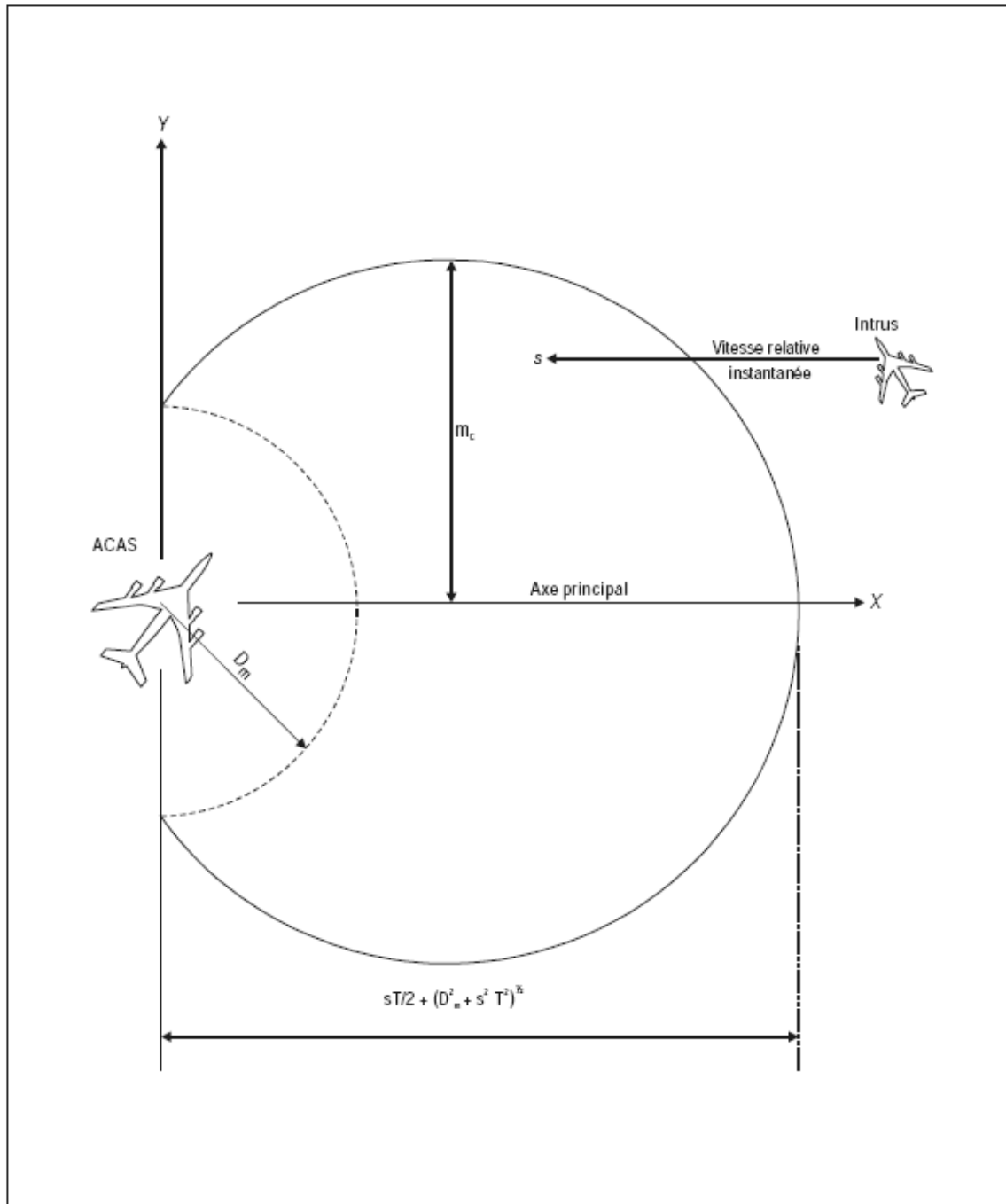


Figure A-5. Section du volume protégé dans le plan de collision instantané

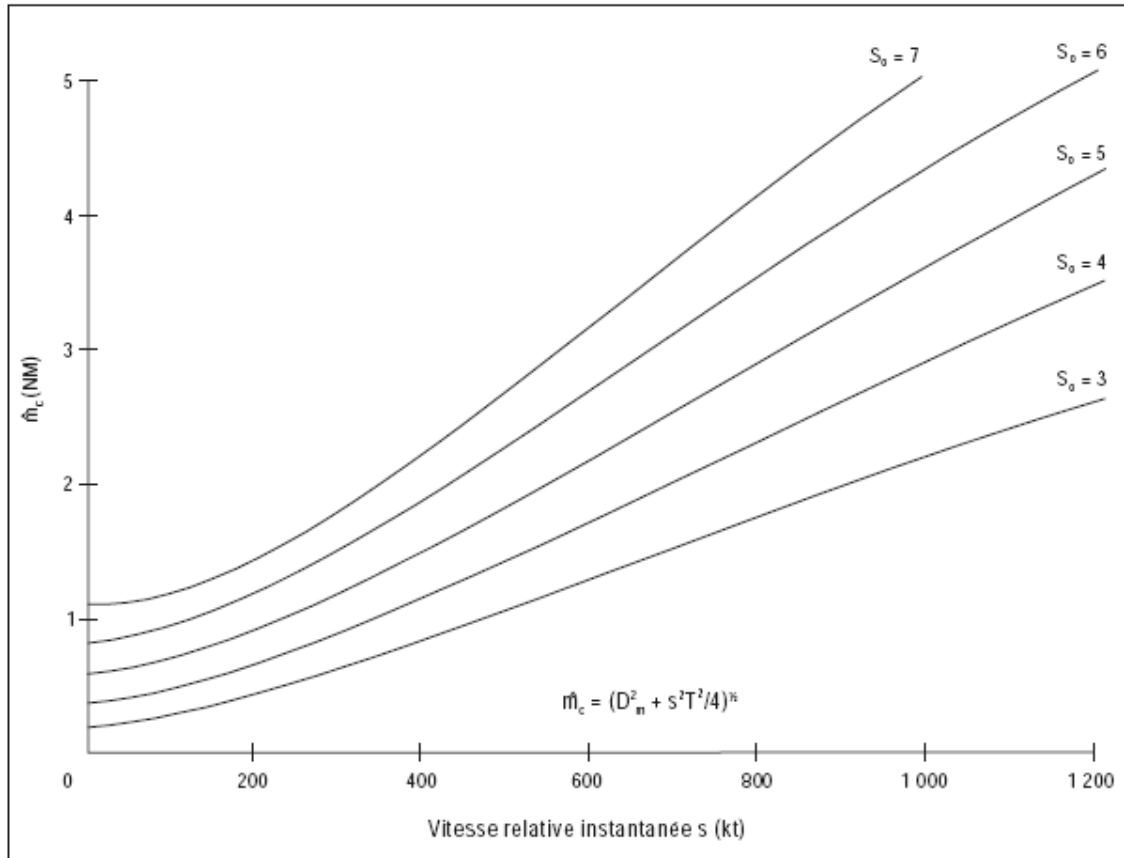


Figure A-6. Distance d'évitement critique

**3.5.4.3** Les limites imposées en matière de test de distance sont destinées à ménager un délai nominal d'avertissement de  $T$  secondes qui permette une manœuvre aboutissant à un écart de  $Dm$  mesuré perpendiculairement au vecteur vitesse relative. Il est possible de démontrer que, pour une rencontre à vitesse relative raisonnablement élevée, l'accélération relative d'un aéronef qui vire est presque perpendiculaire au vecteur vitesse relative. Lorsque la vitesse relative est faible, il peut y avoir une importante composante de l'accélération dans sa direction. On compense la diminution du délai d'avertissement que cause cette composante en adoptant pour la longueur minimale de l'axe principal du volume protégé une valeur supérieure à  $sT$ .

### 3.5.5 TEST D'ALTITUDE

**3.5.5.1** Le test d'altitude a pour objectif d'éliminer les intrus pour lesquels le test de distance est positif mais dont l'aéronef de référence est néanmoins adéquatement séparé suivant la dimension verticale. On se sert du test d'altitude pour réduire la fréquence des alertes, sachant que les distances types de séparation verticale des aéronefs sont normalement bien inférieures aux distances types de séparation horizontale. Il en résulte inévitablement que la protection contre l'accélération, nominalement assurée par le test de distance dans tous les plans, est limitée en



grande partie au plan horizontal. De plus, même en l'absence d'accélération relative, le test d'altitude peut retarder les avertissements s'il est prévu qu'une certaine séparation verticale existera au point de rapprochement maximal. La Figure A-7 est la projection dans un plan vertical du mouvement relatif de deux aéronefs. AOB représente un plan perpendiculaire au vecteur vitesse relative et contenant l'aéronef ACAS. Il peut y avoir une certaine séparation horizontale entre l'intrus et l'aéronef ACAS, de sorte que l'intrus n'est pas nécessairement dans le plan du dessin. Essentiellement, le test d'altitude doit être positif si la distance d'évitement verticale prévue est inférieure à  $Z_m$ . Dans l'application ACAS décrite à la Section 4,  $Z_m$  varie selon l'altitude par tranches de 180 m (600 ft) à 240 m (800 ft).

**3.5.5.2** Puisqu'on s'intéresse principalement aux intrus auxquels correspondent des distances d'évitement prévues inférieures à  $D_m$ , le test d'altitude idéal (combiné à un test de distance idéal) serait positif si, notamment, la projection du vecteur vitesse relative traverse l'aire critique limitée par la courbe continue dans la Figure A-7. Dans la pratique, le test d'altitude et le test de distance décrit au 3.5.1.2 sont généralement positifs si ce vecteur traverse l'aire plus étendue limitée par la courbe formée de tirets. Les intrus qui traversent les zones ombrées déclencheront probablement des alertes inutiles.

**3.5.5.3** Le test d'altitude ne permet pas mieux que le test de distance de prévoir le temps de vol jusqu'au rapprochement maximal. Cela veut dire que, si aucune autre condition n'est fixée, le test de distance détermine l'instant où l'alerte est déclenchée. Cependant, le test d'altitude de l'application ACAS décrite à la Section 4 comporte une particularité supplémentaire visant à prévenir l'éventualité où l'un des aéronefs se mettrait en palier au-dessus ou au-dessous de l'autre et éviterait ainsi de passer tout près. On reconnaît deux types de rencontre : dans une rencontre du premier type la séparation verticale actuelle est inférieure à  $Z_t$  (voir § 4.3.4.2) ; dans une rencontre du second type, la séparation verticale actuelle est supérieure à  $Z_t$  et les aéronefs sont « convergents en altitude ». Pour les rencontres du premier type, le test d'altitude exige seulement qu'il soit prévu qu'il y aura pénétration dans l'aire critique. Une condition supplémentaire s'applique aux rencontres du second type : le temps de vol jusqu'à la même altitude doit être inférieur ou égal à un seuil de temps qui est parfois inférieur à  $T$ , délai d'avertissement nominal. Par conséquent, le délai d'avertissement dépend du test de distance pour les intrus qui, selon les prévisions, doivent franchir l'altitude de l'aéronef ACAS avant le rapprochement maximal tandis que des avertissements sont donnés plus tard pour des franchissements d'altitude ayant lieu au-delà du rapprochement maximal.

### **3.5.6 MENACES ÉTABLIES**

**3.5.6.1** Une menace établie est un intrus qui a été déclaré comme étant une menace et qui justifie un avis de résolution.

**3.5.6.2** C'est seulement dans le cas des nouvelles menaces que le test de distance et le test d'altitude doivent être positifs pendant le même cycle pour qu'un intrus soit déclaré menaçant

(3.5.2.1). Ensuite, on ne fait plus que le test de distance, et un test positif a pour effet de maintenir le caractère menaçant de l'intrus. Le test d'altitude est omis pour la raison qu'une réaction rapide du pilote, ou le fait qu'au début l'intrus était à peine conforme aux critères d'altitude, peut avoir pour effet d'annuler ce caractère menaçant avant le rapprochement maximal.

### 3.5.7 FRÉQUENCE DES ALERTES

**3.5.7.1** Les principales variables qui déterminent la fréquence des alertes sont la vitesse relative, la distance d'évitement et la densité de circulation locale. Les principaux paramètres qui influent sur la fréquence des alertes sont  $T$ ,  $D_m$  et  $Z_m$ . Les fréquences des alertes peuvent être calculées pour une circulation aléatoire de vitesse constante, mais du fait du principe « voir et éviter » et du contrôle de la circulation aérienne (ATC), les calculs sont très difficiles pour la circulation réelle. La Figure A-6 donne des indications sur certaines caractéristiques d'une rencontre qui pourraient déclencher une alerte, bien qu'elle ne soit d'aucune utilité en ce qui concerne le résultat du test d'altitude. On voit par exemple que, pour le niveau de sensibilité 5 (altitudes comprises entre les niveaux de vol 50 et 100), il ne peut pas y avoir d'alerte si la séparation horizontale est supérieure à 5,5 km (3 NM) et la vitesse relative inférieure à 440 m/s (850 kt) environ.

**3.5.7.2** Des simulations effectuées à l'aide de données de surveillance radar au sol et l'expérience initiale acquise à l'aide d'équipements ACAS montrent que la fréquence globale des alertes varie d'une alerte sur 30 heures de vol à une alerte sur 50 heures de vol environ dans des espaces aériens types à grande circulation.

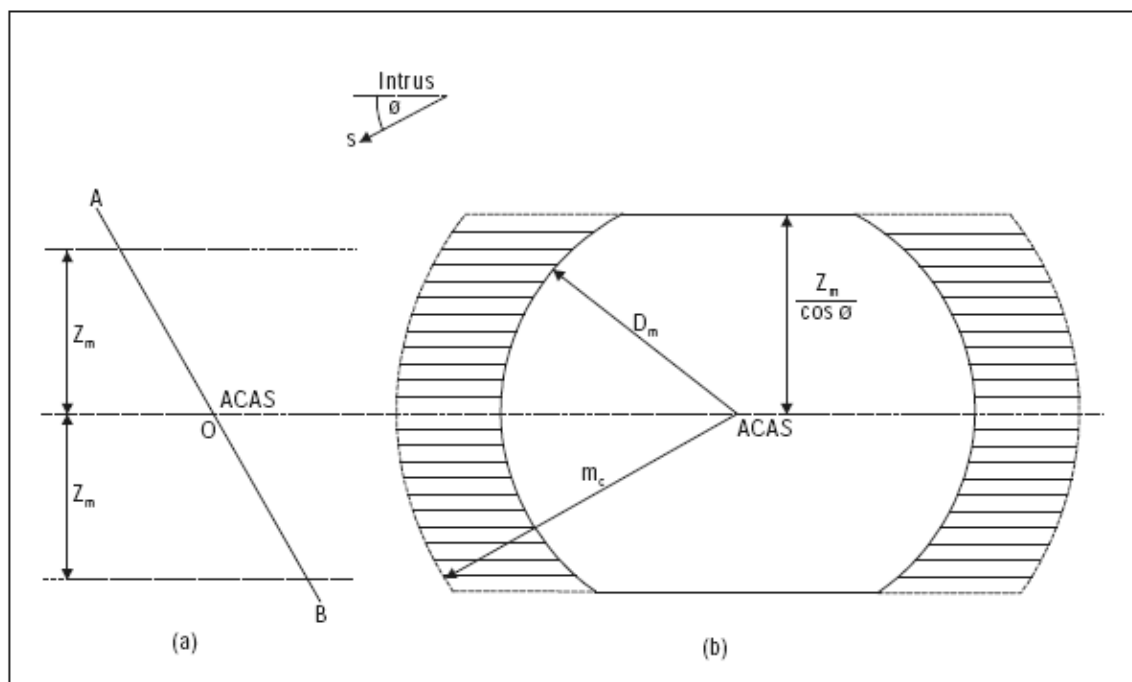


Figure A-7. Aire critique pour le test d'altitude idéal



### **3.5.8 RÉSOLUTION DE CONFLIT**

#### **3.5.8.1 COORDINATION**

Si l'aéronef menaçant est doté d'un ACAS II ou d'un ACAS III, l'ACAS de référence doit assurer une coordination avec l'ACAS de l'aéronef menaçant par l'intermédiaire de la liaison de données mode S afin que des avis de résolution compatibles soient sélectionnés. Le fait que la menace soit équipée d'un ACAS peut aussi avoir une incidence sur la nature de l'avis sélectionné.

#### **3.5.8.2 CLASSIFICATION DES AVIS DE RÉOLUTION (RA)**

**3.5.8.2.1** Les manœuvres d'échappement ACAS sont limitées au plan vertical et peuvent se caractériser par un sens (vers le haut ou vers le bas) et une force. L'objectif d'un avis de résolution « vers le haut » est d'assurer que l'aéronef de référence passera en sécurité au-dessus de la menace. L'objectif d'un avis de résolution « vers le bas » est d'assurer que l'aéronef de référence passera au-dessous de la menace. Exemples de force d'avis de résolution « vers le haut » : « limitez la vitesse verticale » (à une vitesse de descente cible spécifiée), « ne descendez pas » et « montez ». Exemples de force d'avis de résolution « vers le bas » : « limitez la vitesse verticale » (à une vitesse de montée cible spécifiée), « ne montez pas » et « descendez ». Il y a deux types d'avis de résolution : les avis de type « positif », qui préconisent une montée ou une descente à une vitesse donnée, et les avis du type « limite de vitesse verticale », qui invitent l'équipage à éviter les vitesses verticales comprises dans une plage prescrite. Tout avis peut être « correctif » ou « préventif ». Un avis correctif exige que l'aéronef de référence change de vitesse verticale tandis qu'un avis préventif ne le fait pas.

**3.5.8.2.2** On s'attend que les avis de résolution générés soient compatibles avec les limites applicables à la trajectoire de vol à certains régimes en raison de restrictions quant au domaine de vol et en raison de configurations de l'aéronef qui réduisent la capacité de monter. On s'attend aussi que les renseignements dont disposera l'ACAS sur les limites applicables aux manœuvres de l'aéronef représentent une estimation prudente des capacités réelles de l'aéronef. Cela est particulièrement important en ce qui concerne les limites applicables à la montée. Dans le rare cas d'urgence où un avis de résolution « vers le bas » de force élevée passe à « vers le haut », on s'attend que l'aéronef, très souvent, puisse se conformer à l'avis en dépit des limites concernant la montée. Dans le cas contraire, le pilote devrait quand même pouvoir donner suite au moins partiellement à l'inversion en effectuant une mise en palier rapide.

#### **3.5.8.3 SÉPARATION VERTICALE CIBLE**

**3.5.8.3.1** Pour être certain d'éviter une collision, l'ACAS doit assurer, au rapprochement maximal, une véritable séparation verticale qui soit à la mesure des dimensions de l'aéronef et de la pire orientation possible de celui-ci. Comme on ne connaît que l'altitude mesurée, il faut tenir dûment





compte des erreurs altimétriques attribuables aux deux aéronefs. En outre, les manœuvres d'évitement doivent être amorcées avant le rapprochement maximal, de sorte qu'il est possible que ces manœuvres soient fondées sur la séparation verticale prévue au rapprochement maximal, d'où une autre cause d'erreur. Ces considérations amènent à exiger que l'avis de résolution présenté au pilote soit tel que la séparation verticale souhaitée au rapprochement maximal puisse être réalisée dans les délais disponibles. Cette séparation verticale cible,  $A_1$ , doit varier en fonction de l'altitude pour compenser de façon appropriée les erreurs altimétriques. Dans l'application ACAS décrite au 4,  $A_1$  varie par tranches de 90 m (300 ft) à 210 m (700 ft).

**3.5.8.3.2** Il est impossible d'estimer avec précision le temps de vol jusqu'au rapprochement maximal parce que la distance d'évitement n'est pas connue, la menace pourrait évoluer et les observations de la distance sont imparfaites. Toutefois, des limites jugées utiles et acceptables sont les temps de vol jusqu'au rapprochement maximal fondés sur l'hypothèse que la distance d'évitement prendra la plus grande valeur en question ( $D_m$ ) et la valeur zéro, et que toutes les autres sources d'erreur n'ont pas été prises en compte. Cet intervalle est critique pour les rencontres lors desquelles le taux de variation de distance est très faible. Lorsque la séparation verticale est maintenue du début jusqu'à la fin de cet intervalle, on évite au moment de sélectionner l'avis approprié des erreurs d'estimation de l'instant de la distance minimale, erreurs qui peuvent être de grande amplitude. De telles erreurs peuvent résulter de faibles erreurs absolues commises lors de l'estimation du taux de variation de distance. Dans le cas des avis de résolution préventifs, l'hypothèse que le taux de variation changera immédiatement pour prendre la valeur limite préconisée par l'avis de résolution a pour effet que les calculs donnent une limite (supérieure pour les avis « vers le bas », inférieure pour les avis « vers le haut ») de l'altitude de l'aéronef de référence au rapprochement maximal.

#### **3.5.8.4 MINIMUM DE PERTURBATION**

**3.5.8.4.1** En principe, une manœuvre d'échappement plus vigoureuse pourrait permettre d'atteindre les séparations verticales cibles plus grandes, mais le bien-être des passagers, les possibilités de l'aéronef et les écarts par rapport à l'autorisation ATC limitent les manœuvres. Les paramètres ACAS décrits au 4 ci-après sont fondés sur le fait que, selon les prévisions, la vitesse verticale généralement nécessaire pour éviter une collision est de 1 500 ft/min.

**3.5.8.4.2** Le sens et la force initialement choisis pour l'avis de résolution doivent être tels, sauf exceptions ci-dessous, que l'avis exige la plus petite modification possible de la trajectoire de l'aéronef ACAS dans le plan vertical. On s'attend en outre que cet avis soit convenablement atténué, si possible, dans les phases suivantes de la rencontre, et entièrement annulé après obtention de la séparation souhaitée au rapprochement maximal. Il devrait être de toute première importance de limiter toute dérogation à une autorisation ATC.

#### **3.5.8.5 RÉACTION DU PILOTE**



Quelle que soit sa conception, l'ACAS doit adopter certaines hypothèses à propos de la réaction du pilote, qui exerce une si grande influence sur l'efficacité du système. L'application ACAS décrite au 4 utilise un délai de 5 s pour réagir à un nouvel avis et a recours à une accélération verticale égale à  $g/4$  pour atteindre la vitesse d'échappement. Le délai de réaction tombe à 2,5 s en cas de modification d'un avis. Il est possible que l'ACAS n'assure pas une séparation suffisante dans le plan vertical si le temps de réaction du pilote dépasse le délai de réaction pris en compte dans la conception de l'ACAS.

### **3.5.8.6 INTRUS EN VOL EN PALIER**

**3.5.8.6.1** Les intrus qui sont en vol en palier au moment où l'alerte est déclenchée et restent en palier créent peu de difficultés pour l'ACAS. Si l'aéronef de référence est également en vol en palier, la prévision d'altitude est inutile. Il suffit à l'aéronef ACAS de se déplacer dans le sens qui augmente la séparation verticale actuelle pour la porter à la valeur cible. Les obstacles qui pourraient faire entrave à cette logique simple sont la possibilité que l'aéronef ACAS soit incapable de monter ou qu'il ne puisse pas descendre sans danger du fait de la proximité du sol.

**3.5.8.6.2** Les difficultés liées à la limitation des manœuvres disparaissent en grande partie lorsque l'aéronef ACAS est en montée ou en descente, car dans ce cas la séparation peut souvent être obtenue s'il se met simplement en palier. De plus, le problème de prévision sera probablement mineur si des données de haute précision sur l'altitude de l'aéronef de référence alimentent l'ACAS.

### **3.5.8.7 INTRUS EN MONTÉE / DESCENTE**

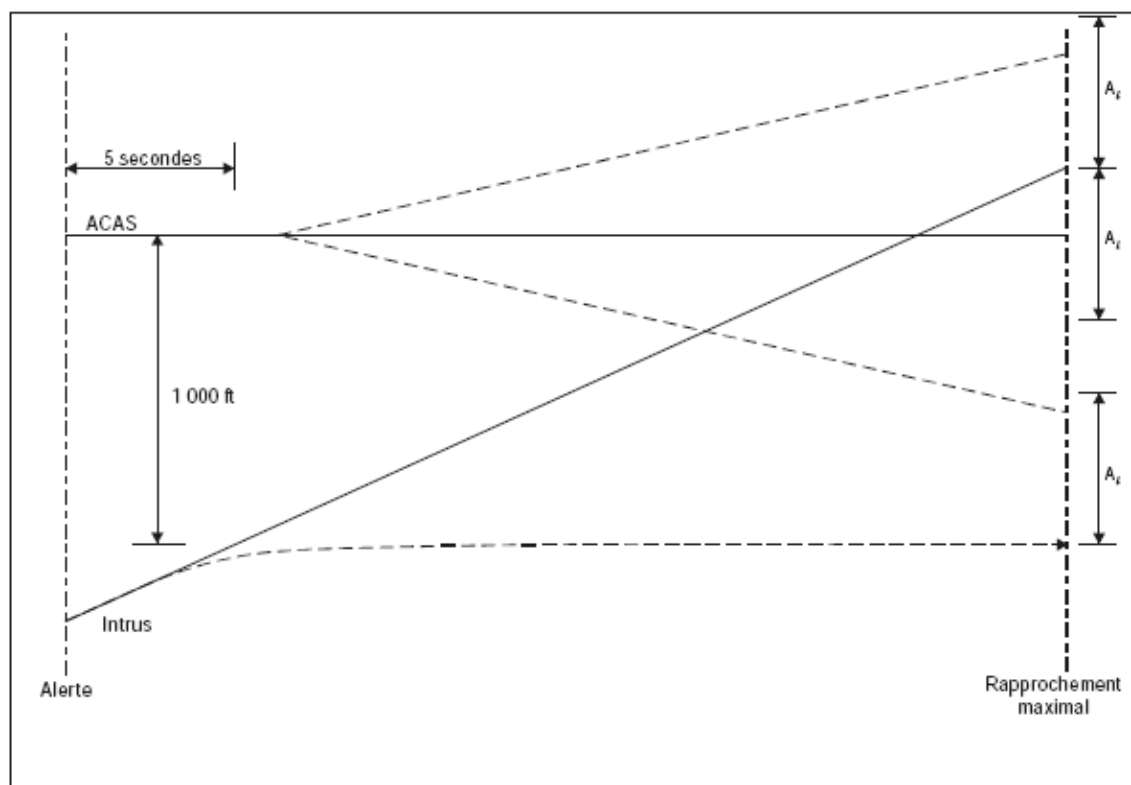
Le cas des intrus qui montent ou descendent est plus difficile à résoudre que celui des intrus en vol en palier. C'est la détermination de la vitesse verticale de ces intrus qui pose souvent un problème. En outre, selon certaines indications, une menace en montée ou en descente qui, d'après les projections, doit passer près de l'aéronef de référence est plus susceptible de se mettre en palier que de maintenir son taux de variation d'altitude observé, donc d'éviter de passer tout près. Pour cette raison, la sélection des avis de résolution par l'ACAS doit être influencée par la probabilité que les menaces se mettent en palier, par exemple à la suite d'instructions du contrôle de la circulation aérienne. Un niveau de confiance « bas » dans le taux de variation d'altitude observé de la menace peut entraîner un sursis de l'avis de résolution en attendant une meilleure valeur estimée du taux.

### **3.5.8.8 AVIS DE RÉOLUTION À FRANCHISSEMENT D'ALTITUDE**

**3.5.8.8.1** Les intrus qui selon les prévisions doivent franchir l'altitude d'un aéronef ACAS font qu'il est très difficile de concevoir un ACAS entièrement efficace parce que ces intrus pourraient se mettre en palier. Des pilotes ont trouvé que certains des avis de résolution à franchissement d'altitude générés de temps à autre allaient à l'encontre « de leur intuition ». En effet, ces avis de résolution exigent que le pilote commence par manœuvrer de manière à se diriger vers l'intrus, ce qui réduit temporairement la séparation verticale. Néanmoins, on a observé des rencontres lors desquelles

des avis de résolution à franchissement d'altitude sont clairement appropriés, et il n'a pas encore été démontré qu'il est souhaitable ou possible d'éviter entièrement ces avis. La fréquence des avis de résolution à franchissement d'altitude dépendra probablement de la « gestion » et du comportement des aéronefs. On sait que les aéronefs qui montent ou descendent rapidement provoquent plus souvent que d'autres aéronefs la génération d'avis de résolution, y compris des avis à franchissement. Approcher rapidement d'un niveau de vol autorisé puis se mettre en palier à proximité immédiate, dans le plan horizontal et dans le plan vertical, d'un autre aéronef comporte des effets possibles qui sont décrits ci-dessous. Les mesures prises pour atténuer ces effets sont décrites au § 3.5.8.9 ci-après.

**3.5.8.8.2** Considérons le scénario de la Figure A-8 ; supposons que l'alerte soit déclenchée pendant que l'intrus se dirige, en montant, vers le niveau de l'aéronef ACAS. Si la montée se poursuit, le meilleur moyen d'échapper à la collision consisterait pour l'aéronef de référence à descendre vers la menace et, ce faisant, à franchir l'altitude de la menace. Une montée pourrait peut-être assurer une marge suffisante mais, à la même vitesse d'échappement, une descente en procurera une plus grande. Si l'aéronef de référence descend effectivement, on voit que la situation devient dangereuse dans le cas où la menace se met en palier au niveau de vol essentiel au-dessous de l'aéronef de référence. Les manœuvres de ce genre sont courantes dans certains espaces aériens contrôlés, car les contrôleurs y ont recours pour faire croiser des aéronefs en sécurité



**Figure A-8. Rencontre à très faible distance provoquée**



avec la séparation verticale nécessaire dans les situations où la séparation horizontale est faible. Un ACAS dont la conception repose sur le choix du sens susceptible d'assurer la plus grande séparation verticale pourrait provoquer une rencontre à très faible distance alors qu'autrement il n'y aurait pas de telle rencontre. Des dispositions doivent être prises pour mettre l'ACAS, autant que possible, à l'abri d'une telle éventualité.

**3.5.8.9 Dispositions destinées à éviter les rencontres à très faible distance.** À défaut de connaître les intentions de la menace, il semble raisonnable de supposer qu'elle continuera à évoluer à sa vitesse verticale actuelle mais sélectionne l'avis de résolution de manière à atténuer l'effet d'une manœuvre probable de la menace. L'ACAS doit comporter d'autres caractéristiques qui interviendront dans l'éventualité où une manœuvre ultérieure de la menace est observée. Par exemple, l'application ACAS décrite à la Section 4 utilise la logique expliquée ci-après.

**3.5.8.9.1 Partialité dans la sélection du sens.** S'il est prévu qu'un avis positif sans franchissement d'altitude assurera au moins une séparation verticale adéquate au point de rapprochement maximal ( $A_1$ ), la préférence est accordée au sens qui empêche les aéronefs de franchir l'altitude l'un de l'autre avant le rapprochement maximal si la menace ne se met pas en palier. Selon certaines indications, dans certaines circonstances, les avis de résolution à franchissement d'altitude causent plus de perturbations que les avis de résolution sans franchissement d'altitude.

**3.5.8.9.2 Avis de résolution à augmentation de taux de variation.** Si, grâce au sens sélectionné selon le processus du 3.5.8.9.1, l'aéronef de référence s'éloigne de la menace, il se peut que la rencontre ne soit pas encore résolue si la menace augmente sa vitesse verticale. En pareil cas, le pilote de l'aéronef ACAS peut être invité à augmenter sa propre vitesse verticale afin de distancer la menace.

**3.5.8.9.3 Test de séparation verticale.** La partialité dans la sélection du sens n'entraînera pas toujours un avis de résolution ayant pour effet d'éloigner de la menace l'aéronef de référence, et le test de séparation verticale est destiné à réduire le risque de rencontre à très faible distance provoquée due à une menace qui se met en palier ou qui réduit sa vitesse verticale. Dans le cadre de ce test, l'émission de l'avis de résolution est retardée pour permettre de déterminer avec une plus grande certitude l'intention de la menace. Il n'est donc pas exclu que ce test risque d'empêcher l'ACAS de résoudre ce cas de rencontre. L'application ACAS décrite au 4 compense ce risque grâce à la logique expliquée ci-après.

**3.5.8.9.3.1** Pour un scénario du type représenté à la Figure A-8, qui concerne une menace animée d'une vitesse verticale significative, l'alerte, si l'émission n'était pas retardée, serait déclenchée alors que les aéronefs seraient encore bien séparés verticalement, par exemple lorsque le délai d'avertissement est de 25 s, que la vitesse verticale est de 900 m/min (3 000 ft/min) et que la séparation initiale est de 380 m (1 250 ft). Si la situation est telle qu'un avis de résolution à franchissement d'altitude s'impose, c'est-à-dire que la partialité dans la sélection du sens est sans effet, l'ACAS diffère l'émission d'un avis en attendant que la séparation verticale actuelle tombe au-



dessous d'un seuil ( $A_c$ ) qui est inférieur à la séparation IFR standard. Si la menace se met effectivement en palier avant de franchir ce seuil, comme cela est très probable, ou bien l'état d'alerte est levé (mises en palier à plus de  $Z_m$ ), ou bien un avis sans franchissement d'altitude sera généré. Autrement, mise à part la possibilité que la menace dépasse son altitude autorisée, tout porte à croire qu'elle poursuit son vol jusqu'au niveau de l'aéronef de référence ou au-dessus de ce niveau ; l'avis à franchissement d'altitude peut alors être émis avec une plus grande confiance. Si la situation est telle qu'un avis de résolution sans franchissement d'altitude s'impose, le test d'altitude utilise un seuil de temps réduit ( $T_v$ ). Ce test de seuil d'altitude (VTT) est destiné à retarder l'avis de résolution juste assez longtemps pour permettre de détecter une manœuvre de mise en palier de l'intrus.

**3.5.8.9.3.2** Le test de séparation verticale était destiné principalement à atténuer les difficultés constatées dans un milieu où tous les vols sont des vols IFR. Il peut sembler souhaitable de sélectionner une valeur de  $A_c$  telle qu'il soit tenu compte des dépassements d'altitude ou même de séparations non IFR. Cependant, il faut étudier attentivement la probabilité que l'ACAS ne soit pas capable de résoudre ces cas de rencontre.

**3.5.8.9.3.3** Le test tire parti de la coopération entre deux aéronefs équipés en faisant en sorte que l'ACAS de l'aéronef en vol en palier diffère la sélection d'un avis de résolution en attendant de recevoir de l'intrus équipé un message de résolution. L'ACAS de l'aéronef intrus choisira presque sûrement de réduire sa propre vitesse verticale, et grâce à la coordination, l'aéronef en palier pourra alors demeurer à son niveau. Dans la pratique, la rencontre sera résolue avec peu de retard, mais le risque de non-résolution est moins sensible au retard parce que les deux aéronefs prennent des mesures d'évitement. Le retard est limité à 3 s, ce qui suffit en temps normal pour que la menace amorce une coordination.

**3.5.8.9.4 Inversion.** Les précautions prises pour éviter les rencontres à très faible distance provoquées décrites ci-dessus ne couvrent pas toutes les situations. Par exemple, dans l'espace aérien où il y a des aéronefs en vol VFR, il arrive qu'une menace se mette en palier avec une séparation nominale de 150 m (500 ft). Le test de séparation verticale pourrait être moins efficace dans ce cas. Lorsque l'ACAS détermine que du fait d'une manœuvre de la menace l'avis de résolution sélectionné à l'origine perd tout effet, le sens de cet avis peut être renversé. L'obligation d'assurer la séparation verticale cible au rapprochement maximal peut être assouplie dans ce cas.

### **3.5.8.10 CAUSES DIVERSES DE RENCONTRES À TRÈS FAIBLE DISTANCE PROVOQUÉES**

**3.5.8.10.1 Erreurs altimétriques.** Le paramètre de séparation en altitude qui représente la séparation verticale cible ( $A_v$ ) doit tenir suffisamment compte des erreurs altimétriques pour qu'il y ait une forte probabilité qu'un aéronef doté d'ACAS ne provoque pas de rencontre à très faible distance là où il n'y en avait réellement pas. Dans le cas des grosses erreurs altimétriques cependant, il reste une faible probabilité qu'une telle rencontre soit provoquée lorsque la séparation est adéquate à l'origine.



De même, il y a une faible probabilité d'incapacité de la part de l'ACAS de résoudre une rencontre à très faible distance à cause d'une erreur altimétrique.

**3.5.8.10.1.1** L'utilisation de données codées en Gilham pour l'aéronef intrus ou pour l'aéronef de référence est une cause particulière d'erreurs dans les comptes rendus d'altitude, et elle a déjà été à l'origine de rencontres à très faible distance provoquées. Dans le cas de l'aéronef de référence, on peut éviter de telles erreurs en utilisant une source d'altitude non codée en Gilham.

### **3.5.8.10.2 Erreurs mode C**

**3.5.8.10.2.1** Lorsqu'elles sont suffisamment importantes, les erreurs que l'on commet en codant l'altitude de la menace en vue de fournir des données mode C peuvent provoquer des rencontres à très faible distance en grande partie de la même façon que de grosses erreurs altimétriques. Ces rencontres seront très peu nombreuses dans les espaces aériens où le contrôle de la circulation aérienne prend des dispositions pour prévenir le pilote que l'altitude signalée d'un aéronef est incorrecte.

**3.5.8.10.2.2** L'erreur mode C est plus grave lorsqu'elle se limite aux bits C. Ces derniers ne sont pas vérifiés par le contrôle de la circulation aérienne, qui se contente normalement de constater qu'un aéronef est à l'intérieur des tolérances spécifiées pour son altitude signalée. Un bit C bloqué ou manquant peut provoquer une erreur ne dépassant pas 30 m (100 ft). Cependant, une telle erreur peut avoir une plus grave incidence sur la vitesse verticale de l'intrus telle qu'elle apparaît à l'ACAS, de sorte qu'elle peut provoquer une rencontre à très faible distance ou entraîner l'incapacité de résoudre une rencontre à très faible distance.

**3.5.8.10.3 Réaction contraire du pilote.** Les manœuvres de sens contraire à celui de l'avis de résolution peuvent donner lieu à une réduction de la séparation verticale avec l'aéronef menaçant ; elles doivent donc être évitées. Cela est particulièrement vrai dans le cas des rencontres coordonnées ACAS-ACAS.

### **3.5.8.11 RENCONTRES DE MULTIPLES AÉRONEFS**

**3.5.8.11.1** L'ACAS tient compte de l'éventualité où trois aéronefs ou plus évoluent à très faible distance les uns des autres, et il doit produire un avis de résolution général qui soit compatible avec chacun des avis qu'il présenterait à propos de chacune des différentes menaces. Dans ces circonstances, on ne peut pas toujours s'attendre que l'aéronef ACAS obtienne une séparation verticale égale à  $A_1$  à l'égard de toutes les menaces.

**3.5.8.11.2** Des simulations effectuées à l'aide de données enregistrées de surveillance radar au sol et l'expérience initiale acquise en cours d'exploitation d'un équipement ACAS montrent que les conflits entre de multiples aéronefs sont rares. De plus, rien n'indique qu'il y ait un effet domino, c'est-à-dire qu'en exécutant une manœuvre pour éviter une menace l'aéronef ACAS rencontre un

 Agence Nationale de l'Aviation Civile du Togo	<b>RANT 10 – PART 4</b> <b>Télécommunications aéronautiques -</b> <b>Systèmes de Surveillance et Anticollision</b> <b>SUPPLEMENT</b>	Page: 63 de 113 Révision: 00 Date: 01/07/2015
---	---	---

troisième aéronef équipé et ainsi de suite. Il pourrait y avoir un tel effet dans un circuit d'attente, mais les renseignements disponibles ne le confirment pas.

### 3.5.9 ESTIMATION DE LA VITESSE VERTICALE

**3.5.9.1** L'algorithme de poursuite dans le plan vertical doit être capable d'utiliser l'altitude quantifiée par tranches de 25 ft ou de 100 ft pour trouver des valeurs estimées des vitesses verticales des aéronefs. Le dispositif de poursuite doit éviter de surestimer la vitesse verticale lorsque l'altitude signalée subit une brusque augmentation parce qu'un aéronef dont la vitesse verticale est faible passe d'une tranche d'altitude à une autre. Il est impossible cependant de limiter la réaction en augmentant simplement le degré de lissage dans le dispositif de poursuite, car celui-ci réagirait lentement alors aux variations effectives de vitesse verticale. Dans le cas de comptes rendus d'altitude quantifiés par tranches de 100 ft, le dispositif de poursuite dans le plan vertical (décrit au 4) utilise des procédures spéciales de mise à jour des pistes, qui suppriment la réaction à une transition d'altitude isolée (compte rendu d'altitude différent du compte rendu d'altitude précédent) sans neutraliser la réaction à l'accélération. Le dispositif de poursuite comporte en outre plusieurs caractéristiques qui contribuent à la fiabilité.

**3.5.9.2** L'algorithme de poursuite dans le plan vertical comporte, entre autres, les caractéristiques clés suivantes :

- a) avant que les programmes de mise à jour n'acceptent un compte rendu d'altitude quelconque pour l'utiliser, des tests déterminent si ce compte rendu semble raisonnable, étant donné la série de comptes rendus reçus précédemment. Si ce compte rendu semble peu raisonnable, il est mis au rebut, bien qu'il puisse servir par la suite à vérifier la vraisemblance de comptes rendus ultérieurs ;
- b) l'algorithme calcule par récurrence la moyenne des temps entre transitions d'altitude plutôt qu'entre comptes rendus d'altitude ;
- c) la poursuite limite strictement la réaction à des transitions d'altitude isolées (c.-à-d. aux transitions qui ne s'inscrivent pas dans le cadre d'une tendance quelconque de l'altitude). En raison d'une transition d'altitude isolée, la vitesse estimée est initialisée à une valeur modérée spécifiée dans le sens de la transition. Cette vitesse estimée diminuera, pour se rapprocher de zéro, à chaque balayage suivant au cours duquel il n'y a pas de transition ;
- d) lorsqu'est observée une transition dans le même sens que la transition précédente, on déclare une tendance. La vitesse verticale est initialisée à une valeur compatible avec l'intervalle de temps séparant ces deux transitions ;



- e) les oscillations de la vitesse qui sont dues à des effets de quantification sont supprimées lorsqu'une tendance ou une piste en palier a été déclarée. Durant une période de tendance, on soumet à des tests les comptes rendus d'altitude selon lesquels il n'y a pas de transition d'altitude pour déterminer si l'absence de transition est compatible avec la vitesse estimée auparavant. En cas d'incompatibilité, la vitesse est repositionnée à une valeur inférieure. En cas de compatibilité, la vitesse reste inchangée ;
- f) lorsqu'une tendance a été déclarée et qu'une transition est observée, un test détermine si cette transition est compatible, à la fois au point de vue sens et au point de vue temps, avec la vitesse estimée précédente. En cas d'incompatibilité, la vitesse est mise à zéro. En cas de compatibilité, elle est mise à jour par lissage. La transition peut être due à une instabilité alors qu'en réalité, la tendance se poursuit ;
- g) à chaque balayage, la poursuite fournit un indice de confiance dans la piste, qui indique dans quelle mesure on peut avoir confiance dans la vitesse verticale estimée. Un « haut » niveau de confiance est déclaré lorsque les récents comptes rendus d'altitude s'accordent avec les valeurs estimées, fournies par la poursuite, de l'altitude comme du taux de variation d'altitude. Un « bas » niveau de confiance est déclaré lorsque les comptes rendus d'altitude ne s'accordent pas, ce manque d'accord laissant supposer qu'il peut y avoir accélération verticale, ou lorsque des comptes rendus d'altitude manquent pendant deux ou plusieurs cycles consécutifs. Un « bas » niveau de confiance pourrait justifier un sursis à la génération d'un avis de résolution ;
- h) la poursuite fixe des limites supérieure et inférieure entre lesquelles se situera probablement la vitesse verticale vraie. On se sert de ces limites de taux de variation d'altitude pour déterminer si la génération d'un avis de résolution doit être retardée et pour évaluer la nécessité d'une inversion lorsque le niveau de confiance dans le taux de variation d'altitude est « bas ».

### **3.5.10 COORDINATION AIR-AIR**

**3.5.10.1 Interrogations de coordination.** Lorsque l'ACAS déclare menaçant un intrus doté du même équipement, des interrogations sont envoyées à cet intrus via la liaison de données 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. La menace équipée accuse toujours réception d'un message de résolution en envoyant une réponse de coordination.

### **3.5.10.2 TRAITEMENT DES INTERROGATIONS DE COORDINATION**





**3.5.10.2.1** L'ACAS traite un message de résolution provenant d'un autre intrus équipé en enregistrant l'avis de résolution complémentaire (RAC) concernant cet intrus et en actualisant l'enregistrement d'avis de résolution complémentaires.

**3.5.10.2.2** L'avis de résolution complémentaire peut concerner le plan vertical (VRC) et/ou le plan horizontal (HRC), selon le cas. Plus précisément, l'information fournie dans l'interrogation mode S est le VRC pour l'ACAS II, et le VRC et/ou l'HCR pour l'ACAS III.

**3.5.10.2.3** L'enregistrement d'avis de résolution complémentaires est composé de tous les RAC actifs (VRC et/ou HRC) que l'ACAS a reçus. 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 ACAS. Chaque fois qu'un RAC est reçu d'un autre ACAS, le bit correspondant dans l'enregistrement est mis à 1. Chaque fois qu'une annulation de RAC est reçue d'un autre ACAS, le bit correspondant est mis à 0 jusqu'à ce qu'un autre ACAS entraîne sa mise à 1.

### **3.5.10.3 SÉQUENCE DE COORDINATION**

La Figure A-9 illustre la séquence des messages de coordination et le traitement correspondant. Lorsque la coordination n'est pas menée à bonne fin, la menace risque de choisir un avis de résolution de sens incompatible.

### **3.5.10.4 PROTOCOLE DE COORDINATION**

**3.5.10.4.1** Après avoir déclaré menaçant un intrus équipé, l'ACAS 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 (voir 3.5.2). Dans l'un et l'autre cas, l'ACAS 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 l'ACAS a choisi de passer au-dessus de la menace, l'avis de résolution complémentaire sera « ne passez pas au-dessus » ; si l'ACAS a choisi de passer en dessous, l'avis complémentaire sera « ne passez pas en dessous ».

**3.5.10.4.2** Dès qu'elle constate que l'aéronef ACAS 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 empêche de communiquer.

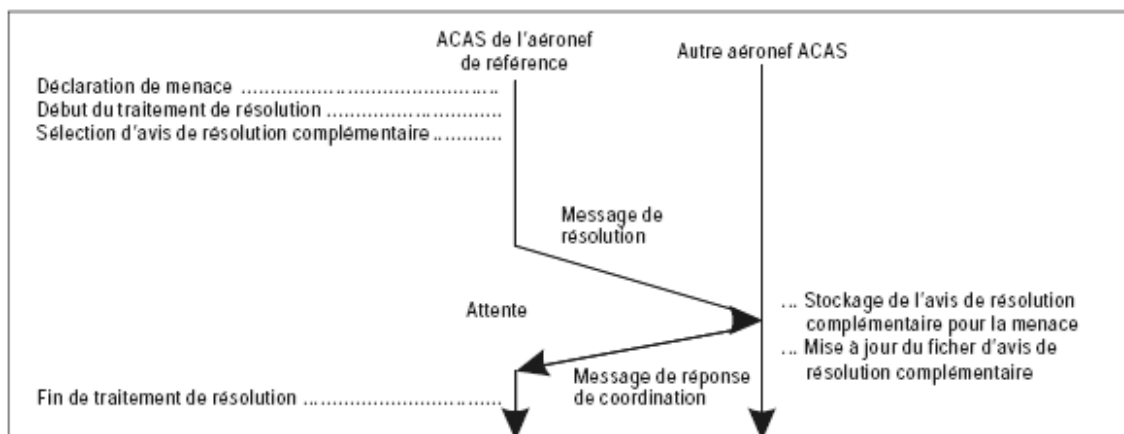


Figure A-9. Séquence de coordination

### 3.5.10.5 PROTECTION DES DONNÉES DE COORDINATION

L'ACAS stocke l'avis de résolution actuel et les avis de résolution complémentaires en vigueur reçus d'autres aéronefs dotés d'ACAS auxquels l'aéronef de référence apparaît comme une menace. Afin que l'information stockée ne soit pas modifiée dans le cadre de la réaction à la présence d'un ou plusieurs ACAS pendant qu'elle sert à la sélection d'un avis de résolution par l'ACAS de référence, les données doivent être protégées de manière à n'être à la disposition que d'un seul ACAS à la fois ou à ne pouvoir être modifiées que dans le cadre de la réaction à la présence d'un ACAS à la fois. Cette protection peut notamment être assurée par une mise en état de verrouillage de coordination toutes les fois que la mémoire est sollicitée par l'ACAS de référence ou que lui sont présentées de nouvelles données provenant d'un ACAS menaçant. Si un message de résolution est reçu pendant qu'il y a un 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 l'ACAS existe parce que les messages de résolution de conflit en entrée sont reçus sans synchronisme avec le traitement ACAS, ce qui interrompt ce traitement.

### 3.5.11 COMMUNICATION AVEC LE SOL

**3.5.11.1 Communication des avis de résolution ACAS aux stations sol.** Toutes les fois qu'il y a un avis de résolution, l'ACAS indique au transpondeur mode S de son aéronef qu'il tient un compte rendu d'avis de résolution à la disposition d'une station sol mode S. Le transpondeur positionne alors un drapeau indiquant qu'un message attend 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 Comm-B. En outre, l'ACAS effectue des diffusions à intervalles de 8 s 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 s précédent, même s'il n'est plus en vigueur. Cela permet de suivre au sol les activités en matière d'avis de résolution ACAS 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 normalement destinées à des installations au sol mais elles sont définies comme étant des transmissions montantes.

**3.5.11.2** *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 ACAS. Dès qu'il reçoit un message de commande de SLC émanant d'une station sol mode S donnée, l'ACAS 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 stations 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 min 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.

### **3.5.12 COMMANDE DE RÉGLAGE DU NIVEAU DE SENSIBILITÉ**

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

- a) valeur générée à l'intérieur de l'ACAS en fonction de la tranche d'altitudes ;
- b) commande émanant d'une station sol mode S (voir 3.5.11.2) ;
- c) commande sélectionnée par le pilote à l'aide d'un commutateur.

L'ACAS 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. Lorsqu'une station sol mode S ou le pilote ne s'intéresse pas particulièrement au réglage du niveau de sensibilité, cette station ou le pilote envoie à l'ACAS la valeur zéro, 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 la commande de SLC de fluctuer lorsque l'aéronef ACAS évolue près d'un seuil d'altitude.



### **3.6 COMPATIBILITE AVEC LE TRANSPONDEUR MODE S EQUIPANT LE MEME AERONEF**

**3.6.1** Le fonctionnement de l'ACAS reste compatible avec celui du transpondeur mode S du fait que leurs activités sont coordonnées par l'intermédiaire du bus de suppression avionique. Le transpondeur mode S est l'objet d'une suppression durant une émission ACAS et pendant un court instant après. Les périodes de suppression types sont a) de 70  $\mu$ s pour l'antenne supérieure et b) de 90  $\mu$ s pour l'antenne inférieure. Ces périodes de suppression empêchent les signaux indirects (multitrajets) résultant de l'interrogation ACAS de déclencher une réponse SSR du transpondeur mode S.

**3.6.2** En ce qui concerne la limitation de la puissance non désirée, les critères sont plus sévères dans le cas d'un transpondeur mode S associé à l'ACAS que ce qui est indiqué au Chapitre 3, au § 3.1.2.10.2.1 ; le but est d'assurer que le transpondeur mode S n'empêchera pas l'ACAS de répondre aux exigences qui le concernent. En supposant une puissance rayonnée non désirée du transpondeur de -70 dBm (Chapitre 4, au § 4.3.11.1) et une isolation de l'antenne reliant le transpondeur à l'ACAS de -20 dBm, le niveau de brouillage présent à l'entrée RF de l'ACAS sera inférieur à -90 dBm.

**3.6.3** Pour assurer la compatibilité, il faut également maintenir à un bas niveau la puissance de fuite de l'émetteur ACAS (voir § 3.2.1).

### **3.7 INDICATIONS DESTINEES A L'EQUIPAGE DE CONDUITE**

#### **3.7.1 AFFICHAGES**

**3.7.1.1** Les mises en œuvre ACAS types présentent les informations des avis de résolution au moyen de un ou de deux affichages. L'affichage d'avis de circulation offre une vue en plan des aéronefs évoluant à proximité. L'affichage d'avis de résolution indique les manœuvres à exécuter ou à éviter dans le plan vertical. L'affichage d'avis de circulation et l'affichage d'avis de résolution peuvent utiliser des indicateurs ou des instruments distincts ou être réunis sur un seul. Les affichages d'informations d'avis de résolution peuvent être présentés sur des écrans équipant déjà les postes de pilotage ou sur un écran prévu exclusivement pour eux.

#### **3.7.1.2 AVIS DE CIRCULATION**

**3.7.1.2.1** L'affichage d'avis de circulation offre une vue en plan des aéronefs évoluant dans le voisinage. Il est destiné à aider l'équipage de conduite à repérer visuellement les aéronefs se trouvant à proximité. Des simulations ont révélé qu'il est difficile pour l'équipage de déchiffrer et d'assimiler des données alphanumériques présentées sous forme de tableau. Ce genre de présentation n'est donc pas recommandé comme moyen principal d'affichage des avis de circulation. L'affichage d'avis de circulation offre les renseignements suivants :

- a) position (distance et gisement) ;
- b) altitude (relative ou absolue, dans le cas d'un intrus qui signale l'altitude) ;

 <p>Agence Nationale de l'Aviation Civile du Togo</p>	<p><b>RANT 10 – PART 4</b></p> <p><b>Télécommunications aéronautiques - Systèmes de Surveillance et Anticollision</b></p> <p><b>SUPPLEMENT</b></p>	<p>Page: 69 de 113</p> <p>Révision: 00</p> <p>Date: 01/07/2015</p>
--	--	--

c) vitesse verticale, dans le cas d'un intrus qui signale la vitesse (montée, descente, en palier).

**3.7.1.2.2** L'affichage d'avis de circulation peut utiliser divers symboles et couleurs pour indiquer le niveau de menace de chaque intrus (c.-à-d. avis de résolution, avis de circulation, aéronef à proximité, etc.). La principale différence qui existe entre les tests donnant lieu à des avis de circulation et les tests de détection des menaces se situe au niveau des valeurs du délai d'avertissement.

**3.7.1.2.3** L'affichage permanent du trafic évoluant à proximité n'est pas obligatoire pour l'ACAS, mais les pilotes ont besoin d'être informés sur ce trafic ainsi que sur les menaces possibles pour être en mesure d'identifier comme menace possible l'aéronef correct. En ce qui concerne le terme « affichage », il ne faut pas conclure que l'affichage visuel est le seul moyen acceptable d'indiquer la position des intrus.

**3.7.1.2.4** Un avis de résolution devrait systématiquement être précédé d'un avis de circulation, mais ce n'est pas toujours possible. En effet, une piste détectée pour la première fois peut présenter d'emblée les critères donnant lieu à un avis de résolution. En outre, une manœuvre soudaine de l'intrus peut faire en sorte que le délai d'avertissement relatif à l'avis de circulation soit inférieur à un cycle.

### **3.7.1.3 AVIS DE RÉOLUTION**

L'affichage d'avis de résolution indique à l'équipage de conduite la vitesse verticale à adopter ou à éviter. L'indication peut être fournie par le variomètre à vitesse instantanée (IVSI) ou l'affichage de vol principal (PFD). Il peut aussi comprendre un moyen permettant de différencier les avis de résolution préventifs des avis de résolution correctifs.

### **3.7.2 ALERTES SONORES ET PARLÉES**

On a recours à des alertes sonores pour prévenir l'équipage de conduite qu'un avis de circulation ou un avis de résolution a été émis. Au moment de choisir les phrases qui serviront aux avis de résolution, il faudra prendre soin de choisir des expressions de nature à limiter la probabilité d'erreur d'interprétation. On utilise également une indication sonore pour annoncer à l'équipage que l'aéronef ACAS n'est pas en conflit avec d'autres aéronefs.



### **3.8 COMMANDE DE L'ACAS PAR L'EQUIPAGE**

On s'attend au minimum que l'équipage dispose d'un moyen manuel de sélectionner un mode AUTOMATIQUE, dans lequel le niveau de sensibilité est déterminé par d'autres commandes, de sélectionner un mode dans lequel seuls des avis de circulation peuvent être émis, ou de sélectionner des niveaux spécifiques de sensibilité, y compris au moins le niveau de sensibilité 1. Lorsque le niveau de sensibilité 1 est sélectionné, l'équipement ACAS est essentiellement en état « d'attente ». On peut désigner cette sélection à l'aide du terme « ATTENTE ». Le niveau de sensibilité en vigueur de l'ACAS peut être différent de celui que l'équipage a choisi. Il faut prévoir un moyen qui indique à l'équipage que l'ACAS est en état d'attente ou qu'il n'émet que des avis de circulation. Les commandes de l'ACAS peuvent être intégrées à celles du transpondeur mode S ou être distinctes. Si elles sont intégrées, il faut que l'équipage dispose d'un moyen de ne faire fonctionner que le transpondeur.

### **3.9 CONTROLE DES PERFORMANCES**

Il est prévu que l'équipement ACAS comprenne une fonction de contrôle automatique des performances destinée à déterminer continuellement l'état technique de toutes les fonctions ACAS critiques sans perturber le fonctionnement normal de cet équipement ou l'interrompre autrement. Il faut prévoir des moyens pour indiquer à l'équipage de conduite l'existence de conditions anormales détectées par la fonction de contrôle.



## 4. ALGORITHMES TYPIQUES ET PARAMÈTRES POUR LA DÉTECTION DE LA MENACE ET LA GÉNÉRATION DES AVIS

*Note 1. — Les caractéristiques de l'ACAS II données ci-dessous décrivent une conception de référence pour la logique anticollision de l'ACAS II. Toutefois, cela n'exclut pas l'utilisation d'autres conceptions aux performances égales ou meilleures.*

*Note 2. — Dans toute la présente section, les variables sont représentées par des symboles mathématiques bas de casse. Les symboles hauts de casse représentent des paramètres. Le point utilisé pour certains paramètres n'indique pas qu'il s'agit de grandeurs obtenues par calcul mais plutôt qu'ils ont les dimensions suggérées par la notation, par exemple distance/temps pour un paramètre de vitesse.*

### 4.1 CARACTERISTIQUES DE PERFORMANCES DE POURSUITE

#### 4.1.1 POURSUITE EN DISTANCE

La distance, le taux de variation de distance et l'accélération en distance ( $r, \dot{r}, \ddot{r}$ ) sont estimés au moyen d'un dispositif de poursuite adaptatif  $\alpha\text{-}\beta\text{-}\gamma$  qui utilise, pour les coefficients  $\alpha, \beta$  et  $\gamma$ , et, des valeurs qui diminuent avec chaque mesure successive de distance jusqu'à ce qu'elles atteignent le minimum (0,40, 0,10 et 0,01, respectivement). L'estimation d'accélération en distance sert à évaluer la distance d'évitement prévue au rapprochement maximal  $m$ , à l'aide de la formule suivante :

$$m^2 = r^2 - \frac{\dot{r}^2}{1 + \ddot{r} / \dot{r}^2}$$

Cette estimation n'est pas effectuée lorsque d'autres calculs indiquent qu'elle pourrait ne pas être fiable en raison de l'ampleur des erreurs d'estimation ou d'une manœuvre possible de l'un des aéronefs dans le plan horizontal. Ces calculs sont fondés sur l'âge de la piste, sur l'exactitude observée des prévisions de distance successives, sur la cohérence observée des estimations d'accélération en distance, sur la cohérence observée d'une seconde piste en distance fondée sur une trajectoire linéarisée qui est compatible avec la précédente estimation de la distance d'évitement, ainsi que sur la cohérence observée d'une piste en gisement approximative.

#### 4.1.2 POURSUITE EN ALTITUDE

**4.1.2.1 Sources de données d'altitude.** L'altitude de l'intrus est extraite de ses comptes rendus mode C ou mode S. L'altitude de l'aéronef de référence provient de la source dont les données forment la base des comptes rendus mode C et mode S de l'aéronef de référence et ses incréments de quantification doivent être aussi petits que possible.



**4.1.2.1.1** *Vraisemblance du compte rendu d'altitude.* Avant qu'un compte rendu d'altitude quelconque soit accepté, un test détermine s'il est vraisemblable. Une fenêtre de vraisemblance est calculée en fonction des valeurs estimées précédentes de l'altitude et du taux de variation d'altitude. Le compte rendu d'altitude est mis au rebut et la piste de données d'altitude mise à jour comme dans le cas d'une absence de compte rendu (§ 4.1.2.3.7) si ce compte rendu ne rentre pas dans la fenêtre de vraisemblance.

**4.1.2.2** *Taux de variation d'altitude de l'aéronef de référence.* Le taux de variation d'altitude de l'aéronef ACAS de référence provient d'une source dont les erreurs sont aussi faibles que possible et ne dépassent en aucun cas les erreurs sur le taux indiqué par le dispositif de poursuite décrit au 4.1.2.3.6.

#### **4.1.2.3 POURSUITE EN ALTITUDE DE L'INTRUS**

##### **4.1.2.3.1 Définitions Relatives à la Poursuite en Altitude**

*Piste à taux de variation établi.* Piste de données d'altitude pour laquelle les derniers comptes rendus d'altitude reçus de l'intrus permettent de conclure que ce dernier monte ou descend à un taux de variation d'altitude constant non égal à zéro.

*Piste à taux de variation non confirmé.* Piste de données d'altitude que les derniers comptes rendus d'altitude reçus de l'intrus ne permettent pas de classer autrement.

*Piste en palier.* Piste de données d'altitude pour laquelle les derniers comptes rendus d'altitude reçus de l'intrus permettent de conclure que ce dernier est en palier.

*Piste nouvelle.* Piste de données d'altitude qui vient d'être produite.

*Piste oscillante.* Piste de données d'altitude pour laquelle les derniers comptes rendus d'altitude reçus de l'intrus oscillent entre deux valeurs ou plus, d'une façon qui permet de conclure que l'intrus est en palier.

*Tendance.* Le taux de variation d'altitude présente une tendance si les deux plus récentes transitions étaient de même sens.

*Transition.* Compte rendu d'altitude relatif à une piste donnée, qui est différent du dernier compte rendu d'altitude vraisemblable relatif à la même piste.

**4.1.2.3.1.1** Quel que soit le cycle de poursuite, il n'y a qu'une seule classification attribuée à chaque piste.

**4.1.2.3.1.2** Toute classification d'une piste est maintenue tant que ne sont pas remplies les conditions d'une autre classification.

**4.1.2.3.2** L'ACAS II assure la poursuite en altitude des intrus. La poursuite se fait sur la base des comptes rendus d'altitude-pression automatiquement transmis par leurs transpondeurs, à l'aide des





comptes rendus d'altitude tels qu'ils sont quantifiés à la réception. Pour chaque intrus pendant chaque cycle, la poursuite fournit des valeurs estimées de l'altitude et du taux de variation d'altitude.

*Note. — La fonction qui associe les données d'altitude mode C avec les pistes est l'objet des dispositions énoncées au Chapitre 4, au § 4.3.2.1. La poursuite verticale spécifiée ci-dessous suppose que cette fonction a été accomplie au préalable.*

**4.1.2.3.2.1** La conception de référence de la poursuite en altitude suppose que pour chaque piste, l'ACAS reçoit des comptes rendus d'altitude à la cadence nominale de un par seconde. Toutefois, des dispositions ont été prévues en cas de comptes rendus manquants, autrement dit pour les cas où l'ACAS n'a pas reçu de compte rendu d'altitude pour une piste donnée avant un cycle de poursuite.

**4.1.2.3.2.2** Les pistes d'altitude d'intrus établies et tenues à jour appartiennent à l'un de deux types. Les pistes dites de 100 ft sont obtenues lorsque les comptes rendus d'altitude sont quantifiés par incréments de 100 ft. Ces pistes sont tenues à jour par un dispositif de poursuite spécialisé appelé dispositif de poursuite en altitude par incréments de 100 ft. Les pistes dites de 25 ft sont obtenues lorsque les comptes rendus d'altitude sont quantifiés par incréments de 25 ft. Ces pistes sont tenues à jour par un dispositif de poursuite spécialisé appelé dispositif de poursuite en altitude par incréments de 25 ft.

**4.1.2.3.2.3** Une logique spéciale fait automatiquement passer les pistes d'altitude des intrus d'un dispositif de poursuite (100 ft) à l'autre (25 ft) à la suite d'un changement confirmé de la quantification des comptes rendus d'altitude. Un changement est considéré comme étant confirmé lorsqu'il a été reçu trois comptes rendus d'altitude valides successifs utilisant la même quantification.

**4.1.2.3.2.4** Lorsqu'il est observé un changement de quantification des comptes rendus d'altitude qui reste à être confirmé, la piste existante est extrapolée et le compte rendu d'altitude stocké provisoirement. Une fois le changement confirmé, la piste est réinitialisée au moyen de la dernière estimation du taux de variation d'altitude établie avant le changement ainsi que de tous les comptes rendus d'altitude stockés provisoirement.

**4.1.2.3.2.5** Le dispositif de poursuite par incréments de 25 ft est un dispositif alpha-bêta adaptatif. Il est brièvement décrit au § 4.1.2.3.5.

**4.1.2.3.2.6** La conception du dispositif de poursuite en altitude par incréments de 100 ft est fondée sur la nécessité d'une estimation stable du taux de variation d'altitude dans les cas où le taux de variation d'altitude réel de l'intrus est inférieur à 100 ft/s, autrement dit inférieur à un intervalle de quantification par cycle de poursuite. Ce dispositif de poursuite estime le taux de variation d'altitude indirectement en évaluant le temps pris pour franchir un intervalle de quantification. Le § 4.1.2.3.6 contient des renseignements supplémentaires sur cette conception.



**4.1.2.3.3** *Confiance dans le taux de variation d'altitude.* Pour chaque intrus pendant chaque cycle, la poursuite qualifie la valeur estimée du taux de variation d'altitude en indiquant le niveau « haut » ou « bas » de confiance (§ 4.1.2.3.6.9 et 4.1.2.3.6.10).

**4.1.2.3.4** *Caractère raisonnable du taux de variation d'altitude.* La poursuite fournit la « meilleure valeur estimée » du taux de variation d'altitude et des limites supérieure et inférieure de ce taux de variation d'altitude qui s'accordent avec les comptes rendus successivement reçus.

#### **4.1.2.3.5 Comptes Rendus d'Altitude Quantifiés Par Incréments de 25 Ft**

**4.1.2.3.5.1** Dans le cas des comptes rendus d'altitude quantifiés par incréments de 25 ft, un dispositif  $\alpha$ - $\beta$  adaptatif est utilisé. Le dispositif est adaptatif dans ce sens qu'il choisit l'un de trois ensembles de valeurs  $\alpha$  et  $\beta$  selon la grandeur de l'erreur de prévision, c.-à-d. de la différence entre l'altitude prévue et l'altitude indiquée dans le compte rendu, et la grandeur de l'estimation du taux de variation. Les valeurs  $\alpha$  et  $\beta$  sont les suivantes :

- $\alpha = 0,4$  et  $\beta = 0,100$  lorsque le taux de variation d'altitude estimé en vigueur est inférieur à 7,0 ft/s ;  
ou
- $\alpha = 0,5$  et  $\beta = 0,167$  lorsque l'erreur de prévision est inférieure à 22,5 ft ; ou
- $\alpha = 0,6$  et  $\beta = 0,257$ .

**4.1.2.3.5.2** Le dispositif de poursuite tient à jour deux ensembles distincts d'estimations d'altitude et de taux de variation d'altitude. Le premier est dérivé directement des équations de lissage  $\alpha$ - $\beta$  normalisées. Il s'agit d'un ensemble purement interne au dispositif. Le second ensemble est constitué des estimations transmises à la logique anticollision. Il diffère du premier comme il est indiqué ci-après. L'estimation d'altitude transférée à la logique est limitée à une valeur se trouvant à moins d'un demi-intervalle de quantification de l'altitude indiquée dans le compte rendu ( $\pm 12,5$  ft). L'estimation du taux de variation d'altitude communiquée à la logique est réglée à zéro lorsque l'estimation interne est inférieure à 2,5 ft/s en valeur absolue, et elle est maintenue à zéro jusqu'à ce que cette estimation soit supérieure à 5,0 ft/s en valeur absolue.

**4.1.2.3.5.3** Le dispositif de poursuite utilise seulement deux des classes de piste définies précédemment, à savoir la piste en palier et la piste à taux de variation établi (§ 4.1.2.3.1). Il déclare qu'une piste est en palier après qu'au moins sept cycles de poursuite se sont écoulés depuis la dernière transition d'altitude (§ 4.1.2.3.1). L'estimation interne du taux de variation est alors remise à zéro. Le dispositif déclare qu'une piste est à taux de variation établi lorsque, après deux transitions d'altitude assez rapprochées, l'estimation interne du taux de variation (et donc l'estimation du taux de variation communiquée à la logique) devient supérieure à 5,0 ft/s.

**4.1.2.3.5.4** Le niveau de confiance dans les estimations est dit « haut » lorsque la piste existe depuis au moins quatre cycles de poursuite et que l'erreur de prévision n'a pas été supérieure à 22,5 ft dans



au moins deux cycles de poursuite successifs. Il est réglé à « bas » lorsque l'erreur de prévision est supérieure à 22,5 ft. Il est également réglé à « bas » si le compte rendu d'altitude n'a pas été reçu pendant deux cycles consécutifs.

**4.1.2.3.6 Comptes rendus d'altitude quantifiée par incréments de 100 ft.** Dans le cas des comptes rendus d'altitude quantifiée par incréments de 100 ft, les performances du dispositif de poursuite verticale sont, à tous égards, égales ou supérieures à celles d'un dispositif de poursuite étalon qui positionne la valeur estimée du taux de variation d'altitude de manière qu'elle soit de signe approprié et de l'amplitude décrite dans ce paragraphe.

**4.1.2.3.6.1 Variables de la poursuite.** Le dispositif de poursuite étalon utilise les variables suivantes :

- $\dot{z}$**  valeur estimée du taux de variation d'altitude, m/s (ft/s) ;
- $\dot{Z}_{gu}$**  voir 4.1.2.3.6.5.1 ;
- $\Delta z$**  différence entre l'altitude indiquée dans le compte rendu actuel et l'altitude indiquée dans le plus récent compte rendu vraisemblable ;
- $T_n$**  1 s ;
- $Q$**  30,5 m (100 ft) ;
- $Tr$**  temps écoulé depuis le plus récent compte rendu vraisemblable, en secondes (s) ;
- $Tp$**  temps écoulé entre les deux plus récentes transitions de niveau d'altitude ou, pour de multiples transitions se produisant en moins d'un cycle, temps moyen entre ces transitions, en secondes (s) ;
- $Tb$**  temps estimé d'occupation du niveau après la plus récente transition, en secondes (s) ;
- $Tbm$**  limite inférieure calculée du temps d'occupation du niveau, en secondes (s) ;
- $\beta$**  coefficient de lissage calculé pour  $tb$  ;
- $\beta_j$**  limite de  $\beta$  déterminée en fonction de  $tb$  ;
- $\beta t$**  nombre de niveaux d'altitude franchis entre les deux plus récentes transitions de niveau d'altitude ;
- $bz$**  nombre de niveaux d'altitude franchis au plus récent taux de variation ;
- $\varepsilon$**  valeur estimée lissée de l'erreur de  $tb$ , en secondes (s) ;
- $dt$**  signe de la plus récente transition d'altitude (' +1 pour une augmentation d'altitude ; = -1 pour une diminution d'altitude) ;
- $x^*$**  valeur de toute variable  $x$  avant mise à jour à la suite d'une transition de niveau d'altitude.



**4.1.2.3.6.2** *Vraisemblance du compte rendu.* Le compte rendu d'altitude est considéré comme vraisemblable si l'une des inégalités ci-dessous est satisfaite :

a)  $\Delta z = 0$

b)  $|\Delta z - \dot{z} \text{ tr}| - Q \text{ tr} / T_n - \dot{Z} \text{gu tr} \leq 0$

**4.1.2.3.6.3** *Système de classification des pistes*

*Piste à taux de variation établi.* Une piste de données d'altitude est dite à taux de variation établi si deux ou plusieurs transitions consécutives sont observées dans le même sens et si le temps entre deux transitions n'est pas assez long pour que la piste soit dite en palier (voir la définition de « piste en palier ») durant cet intervalle, ou si une transition observée est contraire à une tendance existante et que le temps écoulé depuis la dernière transition est plus bref que prévu (§ 4.1.2.3.6.8.1).

*Piste à taux de variation non confirmé.* Une piste de données d'altitude est dite à taux de variation non confirmé si une transition se produit pour une piste nouvelle ou une piste en palier ou s'il se produit une transition contraire à la transition précédente et qu'il y a eu franchissement de plus d'un niveau pour une piste à taux de variation établi, une piste oscillante ou une piste à taux de variation non confirmé.

*Piste en palier.* Une piste de données d'altitude est dite en palier si des comptes rendus sont reçus au même niveau pendant une période plus longue que  $T_1$  après l'instant où devait se produire la transition suivante, si on en attendait, ou pendant une période plus longue que  $T_2$ , qu'une transition ait été attendue ou non (§ 4.1.2.3.6.3.1).

*Piste nouvelle.* Une piste de données d'altitude est dite nouvelle soit durant l'intervalle qui sépare l'instant du premier compte rendu d'altitude de la première transition, soit jusqu'à ce que  $T_2$  soit écoulé (§ 4.1.2.3.6.3.1).

*Piste oscillante.* Une piste de données d'altitude est dite oscillante si une transition se produit en sens opposé à celui de la transition qui précède immédiatement, si un seul niveau a été franchi, si le temps entre deux transitions n'est pas assez long pour que la piste soit dite en palier (voir la définition de « piste en palier ») durant cet intervalle et, si cette piste était dite à taux de variation établi, si le temps écoulé depuis cette transition n'est pas « plus bref que prévu » (§ 4.1.2.3.6.8.1).

**4.1.2.3.6.3.1** Les valeurs suivantes sont utilisées :

$T_1 = 4,0 \text{ s}$

$T_2 = 20 \text{ s}$

**4.1.2.3.6.3.2** Si une piste est déjà dite à taux de variation non confirmé, qu'il se produit une transition contraire à la transition précédente et qu'il y a eu franchissement de plus d'un niveau, le taux de variation d'altitude est déterminé comme si la piste venait juste d'être dite à taux de variation non confirmé (§ 4.1.2.3.6.5).



**4.1.2.3.6.3.3** Les pistes sont classées (§ 4.1.2.3.6.3), afin de déterminer comment de nouvelles mesures devraient être utilisées pour actualiser l'estimation du taux de variation d'altitude. Les transitions entre les classes de pistes sont indiquées dans la Figure A-10.

**4.1.2.3.6.4** L'amplitude du taux de variation est positionnée à zéro si la piste est nouvelle, en palier ou oscillante.

**4.1.2.3.6.4.1** Les quantités  $\varepsilon$  et  $b_z$  sont positionnées à zéro et  $t_b$  à 100 s.

**4.1.2.3.6.4.2** Lorsqu'une piste est dite « en palier », toutes les transitions antérieures et toute tendance actuelle sont ignorées.

**4.1.2.3.6.5** L'amplitude du taux de variation est positionnée à  $\dot{Z}_{gu}$  lorsqu'une piste devient pour la première fois une piste à taux de variation non confirmé, puis à une valeur moindre à chaque cycle que la valeur déterminée pendant le cycle précédent en attendant qu'une autre transition soit observée.

**4.1.2.3.6.5.1**  $\dot{Z}_{gu}$  a la valeur 2,4 m/s (480 ft/min) et la constante de réduction est de 0,9.

**4.1.2.3.6.5.2** Les quantités  $\varepsilon$  et  $b_z$  sont positionnées à zéro et  $t_b$  à  $Q/|\dot{z}|$ .

**4.1.2.3.6.6** Pour les pistes à taux de variation établi, l'amplitude du taux de variation est positionnée au quotient de l'intervalle de quantification par le temps estimé d'occupation du niveau. Le temps d'occupation du niveau est estimé au moment de la réception des transitions dans le sens de la tendance et maintenu constant en attendant que la prochaine transition se produise ou soit en retard (§ 4.1.2.3.6.7).

**4.1.2.3.6.6.1** Les quantités  $\varepsilon$ ,  $b_z$  et  $t_b$  sont positionnées comme suit :

$$\varepsilon = 0, b_z = 1, t_b = \text{maximum}(t_p, 1,4 \text{ s})$$

**4.1.2.3.6.6.2** À moins que la transition ne se produise en avance ou en retard (§ 4.1.2.3.6.6.3), les quantités  $\varepsilon$ ,  $b_z$  et  $t_b$  sont calculées par récurrence moyenne après la troisième transition et les transitions suivantes, comme suit :

$$\varepsilon' = 0,8\varepsilon^* + (t_p - t_b^*)$$

$$\beta_1 = \frac{(t_b^* - T_n)^2}{[(t_b^*)^2 + 64T_n^2]}$$

$$b_z = b_z^* + b_1 \text{ et}$$

$$\beta = \text{maximum}\left(\frac{b_1}{b_z}, \beta_1\right) \text{ et}$$

$$\varepsilon = \varepsilon'$$

pour  $|\varepsilon| \leq 1,35$  (ou 2,85 si la plus récente transition a été observée à la suite d'un ou plusieurs comptes rendus manquants) ;

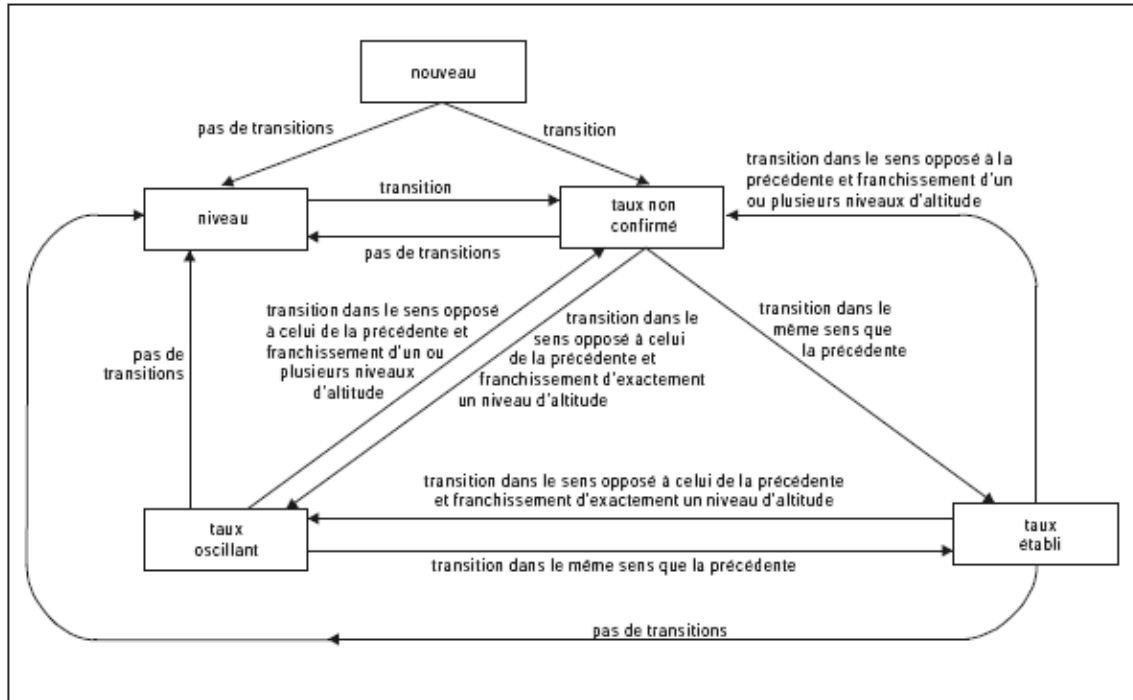


Figure A-10. Changements entre les catégories de pistes

$$b_2 = 3 \text{ et}$$

$$\beta = 0,5 \text{ et}$$

$$\varepsilon = 0,3 \text{ \varepsilon' autrement ;}$$

$$\text{et dans les deux cas : } t_b = t_b^* + \beta (t_p - t_b^*).$$

#### 4.1.2.3.6.6.3 Transitions en avance ou en retard

Si  $|tp - tb^*| > 1,5$  s (ou 3,0 s si la plus récente transition a été observée à la suite d'un ou plusieurs comptes rendus manquants) ou que  $b_t$  ne se trouve pas dans la plage  $(t/t_b^* + 1,1) \geq b_t \geq (t/t_b^* - 1,1)$ , les quantités  $\varepsilon$ ,  $b_z$  et  $t_b$  sont positionnées comme suit :

$$b_2 = 1$$

$$\varepsilon = 0$$

$$t_{\text{min}} = \text{minimum} [(0,7t_p + 0,3t_b^*), 1,4 \text{ s}]$$

$$t_b = \text{maximum} (t_p, t_{\text{min}})$$

Le taux de variation est calculé à l'aide de la relation suivante :  $\dot{z} = d_t Q / t_b$ .

**4.1.2.3.6.7 Transition en retard.** L'amplitude du taux de variation est réduite à chaque cycle par rapport à la valeur obtenue pendant le cycle précédent si des comptes rendus sont reçus au même niveau pendant au moins  $T_3$  après l'heure de la transition attendue suivante (ou  $T_4$  si la plus récente

transition a été observée à la suite d'un ou plusieurs comptes rendus manquants). La valeur de  $t_b$  n'est pas modifiée dans ce cas.

**4.1.2.3.6.7.1** Les valeurs suivantes sont utilisées :

$$T_3 = 1,5 \text{ s}$$

$$T_4 = 3,0 \text{ s}$$

L'expression ci-dessous de la diminution du taux de variation est utilisée :

$$\dot{z} = d_t Q / [t_b + (0,3t_b + 0,5T_n) (0,7 + (t_i - t_b)/T_n)^2]$$

Dans cette expression,  $t_i$  = temps écoulé depuis la plus récente transition, en secondes.

**4.1.2.3.6.7.2** La quantité  $b_z$  est positionnée à maximum ( $2, b_z^* - 1$ ).

**4.1.2.3.6.8** *Transitions dues à une instabilité.* L'amplitude du taux de variation est positionnée à la même valeur que pendant le cycle précédent si une transition contraire à la tendance est observée, la transition immédiatement précédente était conforme à la tendance, il y a eu franchissement d'un seul niveau et le temps écoulé depuis cette transition est « plus bref que prévu ». Cette transition est ensuite traitée comme une transition manquante sauf en ce qui concerne le § 4.1.2.3.4 et le § 4.1.2.3.6.10 (e).

**4.1.2.3.6.8.1** Le temps écoulé depuis la transition immédiatement précédente est déclaré « plus bref que prévu » lorsque  $t_p \leq 0,24 t_b^*$ .

**4.1.2.3.6.8.2** Les quantités  $\varepsilon$ ,  $b_z$  et  $t_b$  restent inchangées.

**4.1.2.3.6.9** *Déclaration d'un haut niveau de confiance dans la piste.* Un « haut » niveau de confiance dans le taux de variation observé est déclaré lorsque le compte rendu d'altitude actuel est vraisemblable et qu'une ou plusieurs des conditions ci-dessous sont remplies :

- a) une nouvelle piste a été observée pendant plus de  $T_5$  (§ 4.1.2.3.6.9.1) sans transition d'altitude ; ou
- b) une piste à taux de variation non confirmé a été observée pendant plus de  $T_6$  (§ 4.1.2.3.6.9.1) sans transition d'altitude ; ou
- c) une piste est dite en palier ; ou
- d) une piste est d'abord dite à taux de variation établi ; ou
- e) pour une piste à taux de variation établi, lorsqu'il y a eu une transition, le rapport du temps de la transition observée au temps de la transition attendue (avant la mise à jour) se situe entre  $\mathfrak{R}_1$  et  $\mathfrak{R}_2$  (§ 4.1.2.3.6.9.1), ou bien la valeur absolue de la différence entre ces



temps est inférieure à  $T_8$ , ou bien le temps écoulé entre la plus récente transition observée et la transition précédente dépasse  $T_8$  (§ 4.1.2.3.6.9.1) ; ou

- f) pour une piste à taux de variation établi, lorsqu'il y a eu transition, le compte rendu précédent était manquant,

$$|t_p - t_b^*| \geq T_7, t_p/t_b^* \geq 1 \text{ et } -t_p - T_9 \leq (t_b - t_p) b_t \leq T_9 ; \text{ ou}$$

- g) une piste est dite oscillante ; ou

- h) le niveau de confiance était précédemment « haut » pendant le traitement du dernier compte rendu d'altitude vraisemblable et les conditions du 4.1.2.3.6.10, (a) à (e), pour une déclaration d'un « bas » niveau de confiance ne sont pas remplies.

**4.1.2.3.6.9.1** Les valeurs suivantes sont utilisées :

$$T_5 = 9 \text{ s}$$

$$T_6 = 9 \text{ s}$$

$$T_7 = 1,1 \text{ s}$$

$$T_8 = 8,5 \text{ s}$$

$$T_9 = 1,25 \text{ s}$$

$$\mathfrak{R}_1 = 2/3$$

$$\mathfrak{R}_2 = 3/2$$

**4.1.2.3.6.10** *Déclaration d'un bas niveau de confiance dans la piste.* Un « bas » niveau de confiance dans le taux de variation observé est déclaré lorsqu'une ou plusieurs des conditions suivantes sont remplies :

- a) pour une piste nouvelle, en attendant que la condition du § 4.1.2.3.6.9, (a), soit remplie ;  
ou
- b) pour une piste à taux de variation non confirmé, en attendant que la condition du § 4.1.2.3.6.9, a (b), soit remplie ; ou
- c) lorsque le temps d'une transition observée, pour une piste à taux de variation établi, ne remplit pas la condition du § 4.1.2.3.6.9, (e) ou (f) ; ou
- d) lorsqu'une transition attendue se produit avec un retard de plus de  $T_{10}$  (§ 4.1.2.3.6.10.1) ;  
ou
- e) pour une piste à taux de variation établi, lorsque la condition du § 4.1.2.3.6.8 est remplie ;  
ou





f) le niveau de confiance était « bas » auparavant et les conditions de déclaration d'un « haut » niveau de confiance ne sont pas remplies (§ 4.1.2.3.6.9).

**4.1.2.3.6.10.1** La valeur  $T_{10} = 0,25$  s est utilisée.

**4.1.2.3.7** *Comptes rendus d'altitude manquants*. Lorsque des comptes rendus d'altitude manquent :

- a) l'estimation précédente du taux de variation d'altitude est maintenue ;
- b) le niveau de confiance dans le taux de variation observé est déclaré « bas » lorsque des comptes rendus d'altitude manquent pendant deux ou plusieurs cycles consécutifs.

## **4.2 AVIS DE CIRCULATION (TA)**

### **4.2.1 GÉNÉRATION D'AVIS DE CIRCULATION**

**4.2.1.1** Un avis de circulation est généré pour un intrus signalant l'altitude mode C lorsqu'un test de distance (§ 4.2.3) et un test d'altitude (§ 4.2.4) sont l'un et l'autre positif pendant le même cycle de fonctionnement.

**4.2.1.2** Un avis de circulation est généré pour un intrus doté d'un transpondeur ne signalant pas l'altitude lorsqu'un test de distance (§ 4.2.3) est positif.

### **4.2.2 DÉLAI D'AVERTISSEMENT POUR LES AVIS DE CIRCULATION**

Pour les intrus signalant l'altitude, le test de distance relatif aux avis de circulation donne le délai nominal d'avertissement suivant :

S	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

Délai d'avertissement

pour les avis de circulation	$T+10$	$T+10$	$T+10$	$T+15$	$T+15$	$T+13$
------------------------------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

où S = niveau de sensibilité.

**4.2.2.1** Les valeurs de  $T$  correspondant aux niveaux de sensibilité 3 à 7 sont celles que spécifie le 4.3.3.3.1. La valeur de  $T$  correspondant au niveau de sensibilité 2 est de 10 s.

### **4.2.3 TEST DE DISTANCE**

Le test de distance a la même forme pour les avis de circulation que pour la détection des menaces (4.3.3). Les valeurs utilisées de  $D_m$  correspondant aux niveaux de sensibilité 3 à 7 sont celles que spécifie le § 4.3.3.1.1, 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 (0,10 NM).



#### 4.2.4 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 conditions sont énoncées aux § 4.3.4.1, 4.3.4.2, 4.3.4.3 et 4.3.4.5. Le seuil de temps jusqu'à la coaltitude est le délai d'avertissement (4.2.2) et les valeurs utilisées pour  $Z_t$  sont les suivantes :

$z_o$ FL	au-dessous de 300	au-dessus de 300
$Z_t$ m	260	370
( $Z_t$ ft	850	1 200)

#### 4.3 DEFINITION DES MENACES

##### 4.3.1 CARACTÉRISTIQUES DE DÉTECTION DES MENACES

**4.3.1.1 Caractéristiques de l'intrus.** Les caractéristiques d'un intrus qui servent à la définition d'une menace sont les suivantes :

- a) altitude observée :  $z_i$
- b) taux de variation d'altitude observé :  $\dot{z}_i$
- c) distance oblique observée :  $r$
- d) taux de variation de distance oblique observé :  $\dot{r}$
- e) niveau de sensibilité de l'ACAS de l'intrus :  $S_i$

Pour un intrus non doté d'ACAS II ou d'ACAS III,  $S_i$  est positionné à la valeur 1.

**4.3.1.2 Caractéristiques de l'aéronef de référence.** Les caractéristiques ci-dessous de l'aéronef de référence servent à la définition des menaces :

- a) altitude :  $z_o$
- b) taux de variation d'altitude :  $\dot{z}_o$
- c) niveau de sensibilité de l'ACAS de référence (4, au § 4.3.4.3) :  $S_o$

**4.3.1.3 Commande de SLC fondée sur la tranche d'altitude.** Pour sélectionner la commande de SLC en fonction de la tranche d'altitude, la logique de référence se conforme aux indications du Tableau A-1.



#### 4.3.2 CRITERES DE DECLARATION DE MENACES.

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 ; et
- b) soit :
  - 1) le test d'altitude est positif ; ou
  - 2) il a été reçu un avis de résolution complémentaire (RAC) à franchissement d'altitude de la menace.

**4.3.2.1 Menace établie.** Une fois établie, la menace le reste pendant les cycles qui se suivent si, au minimum, le test de distance est positif.

Tableau A-1

Tranche d'altitude nominale	Code de commande de SLC	Seuil d'altitude où change la valeur du niveau de sensibilité	Hystérésis
de 0 à 1 000 ft AGL	2	1 000 ft AGL	±100 ft
de 1 000 ft à 2 350 ft AGL	3	2 350 ft AGL	±200 ft
de 2 350 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		

#### 4.3.3 TEST DE DISTANCE

**4.3.3.1 Convergence en distance.** L'aéronef est dit « convergent en distance » si l'estimation du taux de variation de distance est inférieure à  $R_t$ . Dans ce cas, l'estimation du taux de variation de distance utilisé dans le test de distance est le moins élevé entre le taux de variation de distance estimé et  $-R_t$ .

**4.3.3.1.1** La valeur de  $R_t$  est de 3 m/s (6 kt).

**4.3.3.2 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  $P_m$ .

**4.3.3.2.1** Les valeurs de  $P_m$  sont les suivantes :

S	3	4 à 6	7
$P_m$ km <sup>2</sup> /s	0,0069	0,0096	0,0137
$P_m$ NM <sup>2</sup> /s	0,0020	0,0028	0,0040



**4.3.3.3 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 » ; et
- 2) l'inégalité suivante est vérifiée :

$$(r - D_m^2 / r) / |r'| < T ;$$

où  $r' = \text{minimum}(r', -R_t)$  ;

- b) les aéronefs sont « divergents en distance » mais la distance est inférieure à  $D_m$  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  $H_m$  ;

et dans toutes les autres conditions, le test de distance est négatif.

*Note. — L'équation figurant au (a) (2) ci-dessus constitue un test utile pour la situation suivante : 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  $D_m$  et le temps de vol linéaire jusqu'au rapprochement maximal sera inférieur à  $T$ .*

**4.3.3.3.1** Les valeurs des paramètres  $T$ ,  $D_m$  et  $H_m$  sont les suivantes :

S	3	4	5	6	7
$T_s$	15	20	25	30	35
$D_m$ (km)	0,37	0,65	1,0	1,5	2,0
$(D_m$ [NM])	0,20	0,35	0,55	0,80	1,1)
$H_m$ (m)	382	648	1 019	1 483	2 083
$(H_m$ [ft])	1 251	2 126	3 342	4 861	6 683)

#### 4.3.4 TEST D'ALTITUDE

##### 4.3.4.1 DESCRIPTION DES MODALITÉS DE TEST D'ALTITUDE

*Distance verticale d'évitement ( $v_m$ ).* Limite inférieure estimée de la séparation verticale projetée à l'instant estimé de rapprochement maximal.

*Séparation verticale actuelle (a).* Module de la séparation verticale actuelle observée entre l'aéronef de référence et l'intrus.

*Taux de divergence en site(a)*. Taux de variation de  $a$ .

*Temps de vol jusqu'à la même altitude ( $t_v$ )*. Temps estimé qu'il faudra pour parvenir à la même altitude.

*Temps de vol jusqu'au rapprochement maximal ( $t_u, t_m$ )*. Temps estimé qu'il faudra pour parvenir à la distance minimale.

$t_u$  est la valeur maximale (pour un mouvement relatif rectiligne et une distance d'évitement nulle) et  $t_m$  est la valeur minimale (pour un mouvement relatif rectiligne et la distance d'évitement maximale,  $D_m$ ).

**4.3.4.2 Séparation verticale actuelle.** La séparation verticale actuelle est déclarée « faible » si  $a < Z_t$ , où  $Z_t$  est égal à  $Z_m$  (4.3.4.4.2) dans la logique de référence.

#### 4.3.4.3 CONVERGENCE EN ALTITUDE

**4.3.4.3.1**  $\dot{a}$  est calculé comme suit :

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

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

**4.3.4.3.2** L'aéronef est dit « convergent en altitude » si  $\dot{a} < -\dot{Z}_c$ .

**4.3.4.3.3** La valeur de  $Z_c$  est positive et ne dépasse pas 0,3 m/s (60 ft/min).

#### 4.3.4.4 DISTANCE VERTICALE D'ÉVITEMENT

**4.3.4.4.1** Calculer comme suit le temps de vol jusqu'au rapprochement maximal et la distance verticale d'évitement lorsque les aéronefs sont « convergents en distance » ( $\dot{r} \leq 0$ ) :

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

$$\tau_u = \text{minimum}(|r/\dot{r}'|, T)$$

$$\tau_m = \begin{cases} |r - D_m^2/\dot{r}'| \\ \text{pour } r \geq D_m \\ 0 \text{ pour } r < D_m \end{cases}$$

$$v_{m1} = (z_o - z_i) + (\dot{z}_o - \dot{z}_i)\tau_u$$

$$v_{m2} = (z_o - z_i) + (\dot{z}_o - \dot{z}_i)\tau_m$$

$$v_m = 0 \text{ pour } v_{m1}v_{m2} \leq 0, \text{ autrement}$$

$$v_m = \begin{cases} \text{minimum}(v_{m1}, v_{m2}) \text{ pour } v_{m1} > 0 \\ \text{maximum}(v_{m1}, v_{m2}) \text{ pour } v_{m1} < 0 \end{cases}$$



**4.3.4.4.2** La distance verticale d'évitement est déclarée « faible » si  $|v_m| < Z_m$ . Les valeurs maximales de  $Z_m$  sont les suivantes :

$z_o$ FL	moins de 200	de 200 à 420	plus de 420
$Z_m$ (m)	183	213	244
( $Z_m$ [ft])	600	700	800)

**4.3.4.5 TEMPS DE VOL JUSQU'À LA MÊME ALTITUDE**

**4.3.4.5.1** Calculer le temps de vol jusqu'à la même altitude comme suit pour  $\bar{a}$  inférieur à  $-Z_c$  :

$$t_v = -a/\bar{a}$$

*Note.* — $t_v$  ne sert pas si les aéronefs ne sont pas convergents en altitude et en distance.

**4.3.4.5.2**  $t_v$  est déclaré « court » si  $t_v < T_v$  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,  $t_v$  est déclaré « court » si  $t_v < T$ . Les valeurs des paramètres  $T_v$  sont comme suit :

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

**4.3.4.6 Critères applicables au test d'altitude.** Le test d'altitude de la logique de référence est positif lorsque l'une quelconque des trois conditions ci-dessous est remplie :

- a) les aéronefs sont « convergents en distance », la séparation verticale actuelle est « faible » et la distance verticale d'évitement est « faible » ;
  - b) 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 à la même altitude se produira avant le rapprochement maximal ( $t_v < t_u$ ) ;
  - c) 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.



#### **4.4 GENERATION DES AVIS DE RESOLUTION**

##### **4.4.1 Les définitions des types d'avis de résolution figurent en 4, au 4.1.**

##### **4.4.2 SURSIS À LA GÉNÉRATION DES AVIS DE RÉOLUTION**

*Note. — Un avis de résolution doit être généré pour toutes les menaces sauf dans les circonstances ci-dessous ou aux fins de coordination.*

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) il n'a pas été reçu d'avis de résolution complémentaire (RAC) à franchissement d'altitude de la menace ;
- b) soit :
  - 1) le test de séparation verticale (§ 4.4.2.1) est négatif ;
  - 2) 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 (§ 4.4.2.2), que la menace présente un taux de variation d'altitude égal à la limite supérieure applicable à ce taux, égal à la limite inférieure, ou compris à l'intérieur de ces limites (§ 4.1.3.3.4) ;
  - 3) 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.

##### **4.4.2.1 TEST DE SÉPARATION VERTICALE**

**4.4.2.1.1** Le taux de variation d'altitude de l'aéronef de référence est déclaré « faible » si  $|\dot{z}_o| \leq \dot{z}_t$ .

**4.4.2.1.2** Donner à  $Z_t$  la valeur 3,0 m/s (600 ft/min).

**4.4.2.1.3** Le sursis à la déclaration de la menace est déclaré « acceptable » s'il est inférieur à 3,0 s.

**4.4.2.1.4** Le seuil maximal de séparation en altitude,  $A_c$ , est fixé à 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).

**4.4.2.1.5** La séparation en altitude est dite « minimale » lorsqu'elle est égale à 100 ft.

**4.4.2.1.6** Une rencontre est dite « à rapprochement lent » lorsque le taux de variation de distance est supérieur à  $Dm/T$ .

**4.4.2.1.7 Conditions.** Le test de séparation verticale est négatif si la menace est nouvelle et si 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 :

- a) il préconise un franchissement d'altitude, et :
- 1) la séparation verticale actuelle est supérieure à  $A_c$  ; ou
  - 2) la menace est équipée, il n'a pas été reçu d'avis de résolution complémentaire valide de sa part, 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 à la modification de l'avis de résolution existant est « acceptable » ;
- b) il ne peut pas donner lieu au moins à la séparation « minimale » pendant l'intervalle critique si la rencontre n'est pas « à rapprochement lent » ;
- c) il ne peut pas donner lieu au moins à la séparation « minimale » au rapprochement maximal ( $t_u$ ) 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  $D_m$ ,  $t_m$ , est inférieur à 5 s.

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

**4.4.2.2** Donner à  $A_t$  les valeurs suivantes :

$Z_0$	$A_t$ 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)

**4.4.2.2.1** Une hystérésis de  $\pm 500$  ft est appliquée aux limites entre les couches d'altitude adjacentes.

#### **4.4.3 SEPARATION VERTICALE CIBLE.**

La force initiale de l'avis de résolution est choisie de façon à atteindre une séparation verticale cible d'au moins  $A_l$  au rapprochement maximal sauf dans les circonstances indiquées au § 4.4.3.2.

**4.4.3.1** Les valeurs ci-dessous sont données au paramètre  $A_l$  :

$Z_0$	$A_t$ 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)

**4.4.3.1.1** Une hystérésis de  $\pm 500$  ft est appliquée aux limites entre les couches d'altitude adjacentes.

**4.4.3.2** *Séparation verticale insuffisante.* Si les restrictions apportées aux avis de résolution (en 4, aux § 4.3.5 et 4.4.4) empêchent de générer un avis de résolution de nature à assurer une séparation verticale d'au moins  $A_I$  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 de la présente section.

**4.4.3.3** *Intervalle critique.* Les prédictions relatives au rapprochement maximal s'appliquent à la période de temps pendant laquelle il pourrait y avoir collision.

4.4.3.3.1 L'intervalle critique est l'intervalle séparant  $\tau_{mf}$  et  $\tau_{uf}$ , où :

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

$$\tau_{uf} = \text{minimum}(\tau_{uf}^*, |r/\dot{r}|, T_e)$$

$$\tau_{mf} = \text{minimum}(\tau_{mf}^*, |(r - D_m^2/\dot{r})/\dot{r}|)$$

pour  $r \geq D_m$

$$T_{mf} = 0 \text{ pour } r < D_m$$

où  $\tau_{uf}^*$  et  $\tau_{mf}^*$  sont égaux l'un et l'autre à  $T_e$  pour une menace à laquelle le test de distance (4.3.3) vient d'être appliqué et sont respectivement les valeurs de  $\tau_{uf}$  et  $\tau_{mf}$  pendant le cycle précédent autrement.

**4.4.3.3.1.1** Les valeurs suivantes sont données aux paramètres :

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

**4.4.3.4** *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.

**4.4.3.4.1** La séparation verticale prédite repose sur l'hypothèse que la menace maintiendra son taux de variation d'altitude actuel, sauf comme il est décrit au § 4.4.4.4 pour les menaces équipées de l'ACAS.

**4.4.3.5** *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 ACAS II à l'avis de résolution :

a) dans le 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 sélectionné ( $\dot{Z}_g$ ), puis d'un mouvement non accéléré à ce taux.

*Note.* — *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.*

**4.4.3.5.1** Le paramètre  $T_p$ , temps de réaction du pilote, a la valeur 5 s pour la force initiale de l'avis de résolution ou la valeur 2,5 s pour toute force ultérieure de l'avis de résolution.

**4.4.3.5.2** 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 (en 4, au 4.3.5.10).

**4.4.3.5.3** Le paramètre  $Z_g$  a la valeur 0,35g pour un avis de résolution inversé ou un avis de résolution à augmentation du taux de variation, ou 0,25g dans les autres cas.

**4.4.3.5.4** 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.

#### **4.4.4 RESTRICTIONS APPORTÉES AUX AVIS DE RÉOLUTION**

**4.4.4.1** *Gamme de forces possibles des avis de résolution.* La logique de référence a le moyen de présenter les forces d'avis de résolution qu'indique le Tableau A-2 pour résoudre les cas de rencontre d'aéronefs.

**4.4.4.1.1** *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 n'est 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 d'altitude sélectionné,  $\dot{Z}_g$ , pour le porter au-delà de  $\dot{Z}_{clm}$  ou  $\dot{Z}_{des}$ , selon le cas.

**4.4.4.1.1.1** Le taux de variation d'altitude sélectionné est augmenté jusqu'à 13 m/s (2 500 ft/min) lorsque toutes les conditions ci-dessous sont réunies :

- a) un avis de résolution positif de même sens est affiché et l'a été pendant plus d'un cycle, et
- 1) si la menace est équipée 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 » (§ 4.1.2.3.6.9), 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

**Tableau A-2. Options relatives à la force de l'avis de résolution**

<i>Contrainte</i>	<i>Type</i>	$\dot{Z}_g$
<b>Avis « vers le haut »</b>		
Montée accélérée	Positif	$> \dot{Z}_{clm}$
Montée	Positif	$\dot{Z}_{clm}$
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 (-1 000 ft/min)
Ne descendez pas à plus de 10 m/s	VSL	-10 m/s (-2 000 ft/min)
<b>Avis « vers le bas »</b>		
Descente accélérée	Positif	$< \dot{Z}_{des}$
Descendez	Positif	$\dot{Z}_{des}$
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 (+1 000 ft/min)
Ne montez pas à plus de 10 m/s	VSL	+10 m/s (+2 000 ft/min)

- 2) si la menace n'est pas équipée 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 » ;

- b) le temps de vol jusqu'au rapprochement maximal est inférieur à  $T_{ir}$  et supérieur à 4 s ;



- c) l'aéronef de référence est en descente au-dessus de 1 450 ft AGL ou en montée au-dessus de 1 650 ft AGL et les limites de performances de l'aéronef n'empêchent pas d'appliquer les avis de résolution à accroissement de la montée ;
- d) la valeur de  $t_u$  (4.3.4.4.1) ne croît pas ou, si elle croît, la distance à la menace est inférieure à 3,2 km (1,7 NM). Les valeurs ci-après de  $T_{ir}$  sont utilisées :

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

*Note 1. — Grâce à la disposition (2) de (a) 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 (§ 4.4.4.3.1). Pareille situation peut se présenter parce 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 ACAS II pendant chacun des cycles successifs. D'un avis de résolution à augmentation du taux de variation pourrait résulter une séparation verticale supplémentaire.*

*Note 2. — La condition c) prévient les interactions intempestives entre la logique anticollision et le dispositif avertisseur de proximité du sol (GPWS).*

**4.4.4.1.2**  $\dot{Z}_{clm}$  et  $\dot{Z}_{des}$  ont respectivement les valeurs systématiques 7,6 m/s (1 500 ft/min) et -7,6 m/s (-1 500 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 4 400 ft/min ; dans le cas contraire, c'est cette vitesse maximale qui est utilisée.

*Note. — 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 (1 500 ft/min) doivent être neutralisés en permanence pour que les spécifications énoncées en 4 au § 4.3.5.4, puissent être remplies.*

**4.4.4.1.3** *Maintien de l'avis de résolution.* Sous réserve qu'un avis de résolution « vers le bas » ne soit ni généré ni maintenu au-dessous d'une altitude spécifiée (en 4 au § 4.3.5.4.1), l'avis de résolution n'est pas modifié (en 4 au § 4.3.5.6) lorsque l'une quelconque des conditions ci-dessous est remplie :

- a) le test de distance est négatif mais l'intrus demeure menaçant (§ 4.3.5.1.1) ;
- b) il y aura rapprochement maximal dans moins de 2,5 s ;



c) la menace est « divergente en distance » mais l'avis de résolution n'a pas encore été annulé (§ 4.3.5.1.1).

**4.4.4.1.4 Atténuation de l'avis de résolution.** Sous réserve qu'un avis de résolution « vers le bas » n'ait pas été généré à basse altitude (en 4 au § 4.3.5.4.1), un avis de résolution n'est pas atténué (en 4 4.3.5.7) si l'une quelconque des conditions ci-dessous est remplie :

- a) l'avis de résolution est positif et la séparation verticale actuelle est inférieure à  $A_I$  ;
- b) 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 ;
- c) le niveau de confiance dans le taux de variation d'altitude observé de la menace est « bas »
- d) l'avis de résolution limite la vitesse verticale.

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 »).

*Note. — Cette restriction apportée à l'atténuation des avis de résolution ne s'applique pas lorsqu'il s'agit de déclarer un aéronef non menaçant (en 4 au § 4.3.5.1.1).*

**4.4.4.2 Prévention initiale contre le franchissement d'altitude.** Un avis de résolution nouvellement généré est un avis 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  $A_I$  au rapprochement maximal, et
- b) qu'une suite standard ( § 4.4.3.5) donnée à un avis de résolution sans franchissement d'altitude soit de nature à préserver au moins la séparation verticale « minimale » (§ 4.4.2.1) pendant toute la durée de l'intervalle de temps jusqu'au rapprochement maximal.

**4.4.4.3 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, ou l'aéronef menaçant est équipé mais son adresse d'aéronef est supérieure, au moins 9 s se sont écoulées depuis qu'il constitue une menace et l'ACAS 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  $t_u$  (4.3.4.4.1) n'augmente pas déjà au moment où la distance à la menace est de 3,2 km (1,7 NM) ; 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 » ; ou soit il n'a pas 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 des séparations qui paraissent réalisables pour des avis de résolution « vers le haut » et « 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 [§ 4.1.2.3.4]) ; ou
- 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 a franchi 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 et l'aéronef de référence n'a pas encore franchi l'altitude de la menace mais sa vitesse verticale est contraire à l'avis de résolution et l'exécution immédiate d'une manœuvre pour donner suite à l'avis de résolution n'empêcherait pas un franchissement d'altitude avant le rapprochement maximal ; ou
    - la menace n'est pas équipée et la séparation actuelle ne dépasse pas  $A_c$  (§ 4.4.2.1.4), la vitesse verticale de l'aéronef de référence et celle de la menace dépassent 1 000 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).



*Note. — Il est impossible d'inverser le sens d'un avis de résolution pour une menace établie, sauf à des fins de coordination ou parce que la séparation prévue au rapprochement maximal pour le sens actuel est insuffisante (en 4 au § 4.3.5.5).*

**4.4.4.3.1** 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 manœuvre.

#### **4.4.4.4 SELECTION DE LA FORCE DES AVIS DE RESOLUTION SANS FRANCHISSEMENT EMIS A L'EGARD DE MENACES EQUIPEES ACAS.**

Dans un conflit avec une menace équipée ACAS, 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 :

- a) l'aéronef de référence et la menace convergent dans le plan vertical ;
- b) la vitesse verticale de l'aéronef de référence dépasse  $[\dot{Z}_{lo}]$  ;
- c) la vitesse verticale de l'aéronef menaçant est inférieure à  $[\dot{Z}_{lo}]$  ;
- d) la séparation verticale qui serait réalisée au rapprochement maximal si les deux aéronefs se mettaient en palier dépasse  $[Z_{losep}]$ .

**4.4.4.4.1** L'avis de résolution à limite de vitesse verticale de 0 ft/min généré conformément au 4.4.4.4 est retenu si aucun des aéronefs n'accélère verticalement vers l'autre avec une modification du taux supérieure à  $[\dot{Z}]$ . Dans le cas contraire, la logique de référence générera immédiatement un avis de résolution « vers le haut » ou « vers le bas », selon le cas.

**4.4.4.4.2** La valeur de  $[\dot{Z}_{lo}]$  est fixée à 6 m/s (1 000 ft/min) ; la valeur de  $[Z_{losep}]$ , à 244 m (800 ft).



## **5. UTILISATION PAR L'ACAS II DE TECHNIQUES DE SURVEILLANCE HYBRIDE**

### **5.1 APERÇU**

**5.1.1** La surveillance hybride est la technique qu'utilise l'ACAS pour tirer parti des informations de position passives que contiennent les squitters longs. Dans cette technique, l'ACAS valide la position communiquée par le squitter long au moyen d'une mesure active directe de distance. Une validation initiale est effectuée à l'amorçage de la piste. Une revalidation est effectuée toutes les 10 s si l'intrus devient une menace proche en altitude ou en distance. Une surveillance active normale est effectuée une fois par seconde dans le cas des intrus qui deviennent une menace proche à la fois en altitude et en distance. De cette façon, une surveillance passive (une fois validée) est assurée dans le cas des intrus non menaçants, ce qui réduit la cadence d'interrogation de l'ACAS. La surveillance active est appliquée dès qu'un intrus devient une menace proche, ce qui permet de préserver l'indépendance de l'ACAS comme dispositif de surveillance de la sécurité. On trouvera un schéma de principe de l'algorithme de surveillance hybride à la Figure A-11.

**5.1.2** L'altitude figurant dans le compte rendu de position sur squitter long est chargée dans le transpondeur mode S à partir de la même source qui fournit l'altitude communiquée dans la réponse à une interrogation adressée ACAS. L'altitude indiquée dans un compte rendu de position sur squitter long peut donc être utilisée pour mettre à jour l'altitude d'une piste sous surveillance active dans le cas où le transpondeur manque à répondre à des interrogations actives.

### **5.2 CARACTERISTIQUES DE L'EQUIPEMENT DE SURVEILLANCE HYBRIDE**

#### **5.2.1 VALIDATION INITIALE**

**5.2.1.1** L'amorçage d'une piste passive est déclenché par la réception d'un squitter long contenant une adresse de 24 bits qui ne figure pas dans le fichier pistes et qui n'est pas liée à une piste sous surveillance active. Ce dernier cas peut se produire si un squitter court a donné lieu à l'établissement d'une piste active avant la réception de squitters longs contenant des comptes rendus de position.

**5.2.1.2** L'ACAS gère l'acquisition des squitters longs de la même manière que celle des squitters courts. Après réception du nombre requis de squitters au MTL de l'ACAS (le même nombre que celui qui est spécifié pour les squitters courts en 3 au § 3.1.2.8.5), l'ACAS essaie d'établir une surveillance active ; il dispose d'un nombre prescrit de tentatives pour y parvenir. Une tentative réussie donne lieu à l'acquisition d'une piste. En cas d'échec, l'acquisition est abandonnée pour l'adresse d'aéronef en question, puisque les données ADS ne peuvent pas être validées. La poursuite de la réception de squitters longs donne lieu à une autre tentative d'acquisition.

**5.2.1.3** Dans le cas d'un aéronef qui transmet des informations sur squitter long, une réponse d'acquisition réussie permet de valider les informations. Quel que soit le type de squitter (court ou





Agence Nationale de l'Aviation Civile  
du Togo

**RANT 10 – PART 4**  
**Télécommunications aéronautiques -**  
**Systèmes de Surveillance et Anticollision**  
**SUPPLEMENT**

Page: 97 de 113  
Révision: 00  
Date: 01/07/2015

long), les mêmes critères d'acquisition de piste sont appliqués, à savoir le nombre requis de squitters en corrélation et le nombre permis de tentatives d'interrogation.

**5.2.1.4** Une validation initiale de l'information ADS est effectuée à l'amorçage de la piste passive pour déterminer si celle-ci peut être tenue à jour à l'aide de données passives. Une mesure de surveillance active est exécutée au moyen d'une interrogation adressée courte qui contient une commande de liaison inter-ACAS visant à faire insérer le contenu du registre 05 {HEX} (position en vol sur squitter long) dans la réponse. La réponse à cette interrogation contient aussi la vitesse dont l'aéronef est capable et l'altitude barométrique qu'il signale en plus du compte rendu de position en vol ADS-B. La distance relative et le gisement calculés à partir de la position de l'aéronef de référence et de la position communiquée par l'intrus sont comparés aux mesures actives de distance et de gisement, et l'altitude indiquée dans le compte rendu de position est comparée à l'altitude qui est obtenue dans la réponse à l'interrogation active. Si l'information communiquée ne concorde pas avec la distance, le gisement ou l'altitude obtenus grâce à l'interrogation active à l'intérieur des limites recommandées en 4 au § 4.5.1.3.2, la piste est déclarée active, et l'ACAS ne tient plus compte des squitters longs suivants en provenance de l'aéronef en question.

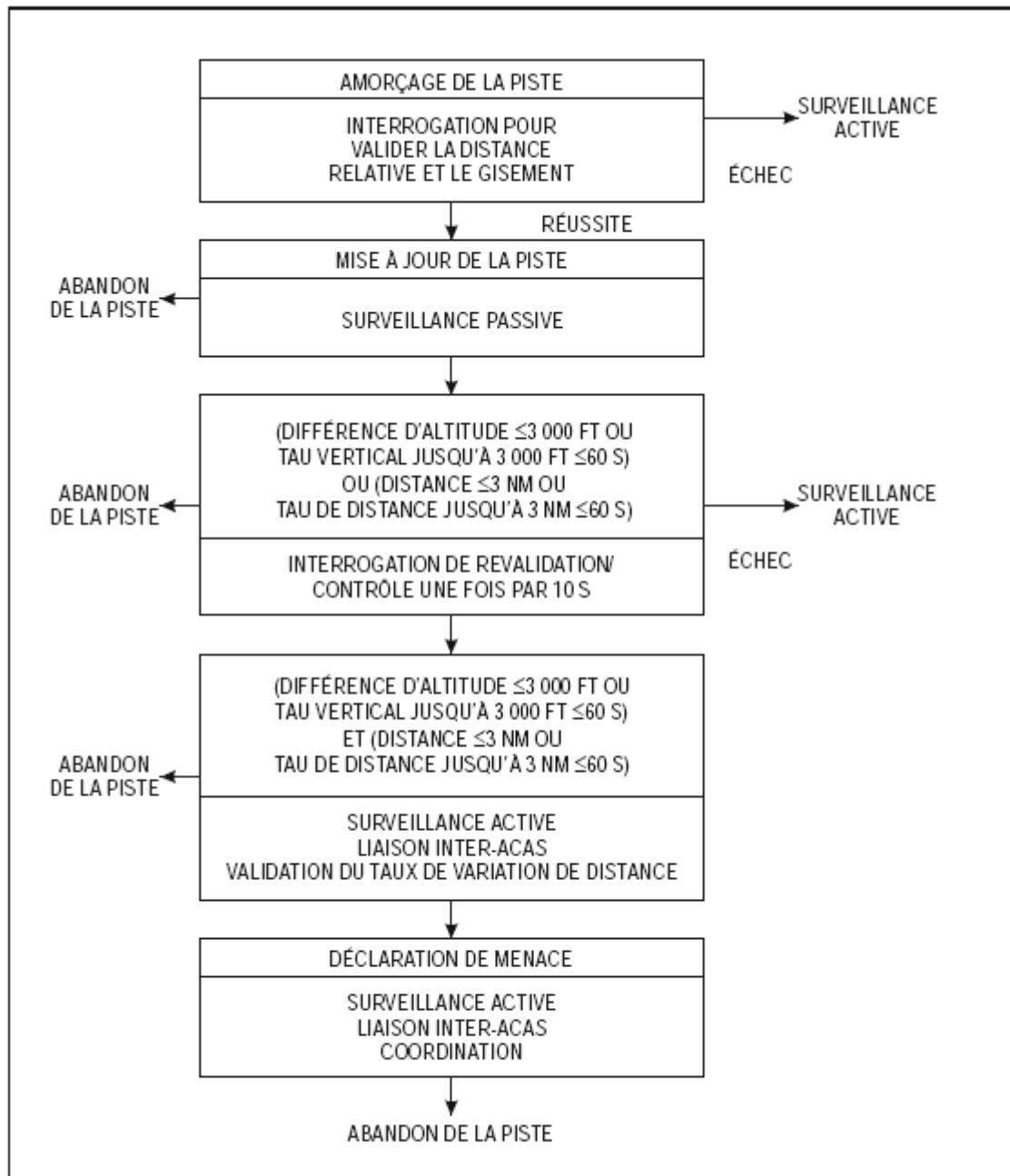


Figure A-11. Algorithme de surveillance hybride de l'ACAS

## 5.2.2 REVALIDATION ET CONTRÔLE

Si la condition suivante est remplie dans le cas d'un aéronef dont l'altitude relative est  $\leq 10\,000$  ft :

(Différence d'altitude de l'intrus  $\leq 3\,000$  ft OU  $TAU$  vertical jusqu'à  $3\,000$  ft  $\leq 60$  s) OU

(Différence de distance  $\leq 3$  NM OU  $TAU$  de distance jusqu'à  $3$  NM  $\leq 60$  s)



une interrogation active sera envoyée toutes les 10 s pour revalider et contrôler de façon continue les comptes rendus de position. Si une différence est détectée, l'aéronef sera déclaré en poursuite active.

### **5.2.3 SURVEILLANCE ACTIVE**

Si la condition suivante est remplie dans le cas d'un aéronef dont l'altitude relative est  $\leq 10\,000$  ft :

(Différence d'altitude de l'intrus  $\leq 3\,000$  ft OU *TAU* vertical jusqu'à  $3\,000$  ft  $\leq 60$  s) ET

(Différence de distance  $\leq 3$  NM OU *TAU* de distance jusqu'à  $3$  NM  $\leq 60$  s)

l'aéronef sera déclaré en poursuite active et la piste sera tenue à jour à l'aide de mesures actives de distance effectuées une fois par seconde.

### **5.2.4 DÉCLARATION D'ÉVALUATION DE LA MENACE**

Si l'aéronef intrus est déclaré « menace » ou « menace potentielle », les mesures actives de distance seront poursuivies.



## **6. PERFORMANCE DE LA LOGIQUE ANTICOLLISION**

### **6.1 OBJET DES SPECIFICATIONS DE PERFORMANCE**

**6.1.1** La logique anticollision de l'ACAS est la partie de l'ACAS qui reçoit les informations relatives aux intrus identifiés (p. ex. tout aéronef pour lequel l'ACAS a établi une piste) et lance des avis anticollision d'après cette information. Il est probable que tout équipement ACAS se présentera sous la forme d'un logiciel ayant pour support un microprocesseur et que ce logiciel mettra en œuvre un ensemble d'algorithmes mathématiques. Ces algorithmes pourront varier d'un ACAS à un autre et les spécifications de performance de la logique anticollision visent à ce que les résultats des algorithmes mathématiques soient acceptables.

**6.1.2** L'élaboration des algorithmes anticollision et leur mise en œuvre sur support logiciel sont considérées comme des processus distincts et les présentes spécifications portent sur les algorithmes même si, en pratique, le logiciel utilisé pour démontrer que les algorithmes sont satisfaisants pourrait être très semblable à celui que comporte l'ACAS. Les spécifications de performance de la logique anticollision n'ont pas pour but de garantir que le logiciel anticollision est satisfaisant en tant que logiciel, encore qu'elles soient indispensables à une telle garantie. On obtiendra un résultat satisfaisant avec le logiciel par le recours, en ce qui le concerne, à des méthodes techniques éprouvées permettant de faire en sorte que les algorithmes sont installés d'une façon fiable.

**6.1.3** Dans deux équipements quelconques, l'interopérabilité des logiques anticollisions est obtenue en s'assurant que leurs avis de résolution sont cohérents et que l'un ou l'autre avis de résolution suffit à lui seul aux besoins de l'ensemble du système. La cohérence fait l'objet de spécifications relatives à la coordination (en 4 aux § 4.3.5.5.1, 4.3.5.8 et 4.3.6.1.3). Que l'un ou l'autre avis de résolution soit suffisant est garanti par les spécifications de performance de la logique anticollision et, en particulier, par l'exigence d'une performance satisfaisante quand l'autre aéronef est doté de l'ACAS mais ne coopère pas selon les dispositions du 4 au § 4.4.2.1 (j) (2).

**6.1.4** Les spécifications de performance visent à ce qu'on ait partout l'assurance que la logique ACAS en question a dans l'ensemble une performance qui se compare à celle des autres logiques ACAS, ou qui leur est supérieure. Elles ne définissent pas la performance de la logique dans un espace aérien particulier. Pour de nombreuses raisons, la meilleure méthode de détermination ou d'étude de la performance d'une logique d'ACAS dans un tel espace aérien se réalise par simulation d'après les données des radars au sol de l'ATC. On trouvera plus de détails sur cette possibilité au § 6.4.4.



## **6.2 CONDITIONS D'APPLICATION DES SPECIFICATIONS**

### **6.2.1 COMMENTAIRES**

Les conditions énoncées au § 4.4.2 du chapitre 4, ont pour but de définir les exigences ultérieures mais la performance doit être satisfaisante dans toutes les conditions normales d'exploitation. La démonstration doit être faite en variant les conditions de calcul des mesures de performance d'une manière qui reproduise les variations normales prévues et en s'assurant que les mesures de performance calculées sont robustes, c'est-à-dire qu'elles ne se dégradent pas de façon marquée à mesure que les conditions hypothétiques se détériorent.

### **6.2.2 ERREURS DE SURVEILLANCE**

**6.2.2.1** Les erreurs de surveillance peuvent prendre un certain nombre de formes :

- a) une piste n'est pas formée pour l'intrus ;
- b) une piste est formée tardivement ;
- c) une piste est abandonnée prématurément ;
- d) une piste est formée mais il n'y a pas de comptes rendus à chaque cycle ;
- e) les comptes rendus, de distance par exemple, sont sujets aux erreurs de mesure.

**6.2.2.2** Toute évaluation de l'efficacité générale de l'ACAS doit tenir compte d'une carence de formation des pistes [point (a)] mais il n'y a pas lieu de prouver que la logique est efficace quand elle n'a pas de données.

**6.2.2.3** La formation tardive de piste [point (b)] pourrait retarder le lancement des avis de résolution (peut-être parce que les divers suiveurs de la logique n'ont pas convergé et que, suscitant peu de confiance, l'avis de résolution est retardé) ou donner lieu à un avis de résolution initial inapproprié (peut-être parce que la sortie des suiveurs est utilisée avant convergence). Le mieux serait de déterminer la fréquence de formation tardive des pistes du véritable système de surveillance à utiliser avec la logique en cours d'essai.

**6.2.2.4** Une fois qu'une piste est formée, les comptes rendus manquants peuvent en altérer la précision ou faire que cette piste suscite peu de confiance, deux possibilités qui pourraient retarder l'avis de résolution initial, aboutissant à un avis de résolution inapproprié ou à des modifications de sursis d'un avis de résolution après qu'il a été produit. Le mieux serait de déterminer la fréquence des comptes rendus manquants du véritable système de surveillance à utiliser avec la logique en cours d'essai. La probabilité qu'un compte rendu manque pendant un cycle donné sera fonction de la distance de l'intrus, de l'altitude et du fait qu'un compte rendu manquait ou non dans le cycle précédent.

**6.2.2.5** En réalité, les erreurs de mesure de gisement dépendent beaucoup de la cellule d'un aéronef et de l'emplacement de l'antenne ACAS, ainsi que de celui des autres antennes, de même que des



protubérances de ladite cellule .Les mesures de gisement sont en fait si médiocres que les premiers modèles d'ACAS ne les utilisaient pas dans leur logique anticollision. Un modèle ultérieur, qui comporte un filtre neutralisant les avis de résolution quand la séquence des mesures de distance révèle une distance horizontale d'évitement significative, utilisait les mesures de gisement et de leur cadence de variation pour s'assurer qu'aucun des aéronefs n'accélère ; le filtre est inhibé si les mesures de gisement ne sont pas compatibles avec la distance d'évitement décelée. Les dispositions du 4 au § 4.4.2, ont trait à cette sorte de particularité de la logique.

**6.2.2.6** Il est des plus improbable qu'une quelconque installation ACAS permette des mesures de gisement d'une précision suffisante pour constituer la base première d'un filtre de distance d'évitement ou de tout autre élément d'une logique d'évitement des collisions.

**6.2.2.7** Les mesures de distance et de gisement servent aussi à déterminer la position relative de l'intrus pour l'afficher sur l'écran de trafic. Les conditions de cette utilisation sont beaucoup moins strictes que celles de la logique anticollision, et les modèles mentionnés aux § 4.4.2.2 et 4.4.2.3 du chapitre 4, ne font pas intervenir de gisement à cette fin.

### **6.2.3 QUANTIFICATION DE L'ALTITUDE**

**6.2.3.1** L'altitude de l'intrus devrait pouvoir être connue, puisque le mode C ou le mode S en rend compte, et être exprimée par incréments de 100 ft ou de 25 ft. Le 4 § 4.4.2.1 (c), précise que les incréments de 100 ft sont supposés servir à confirmer que les spécifications de performance sont satisfaisantes. La performance de la logique anticollision devrait être meilleure quand on connaît l'altitude de l'intrus par incréments de 25 ft, ce qu'il est souhaitable de confirmer.

**6.2.3.2** Dans la plupart des cas, l'ACAS sera informé de l'altitude de l'aéronef de référence par une mesure antérieure à la formation d'un compte rendu mode C ou S et, d'après le 4, c'est de cette hypothèse qu'on part au § 4.4.2.1 (d). Dans le cas des installations pour lesquelles la mesure de l'altitude d'origine ne peut être fournie à l'ACAS, la logique anticollision utilisera les comptes rendus en mode C ou S provenant de l'aéronef de référence. La performance de la logique devrait en pâtir mais il faut selon le 4 § 4.4.2.1.1, que ce soit dans une mesure acceptable. La logique n'est pas supposée satisfaire aux spécifications de performance quand les comptes rendus d'altitude (contrairement aux mesures) servent à l'aéronef de référence. Le test vise à s'assurer que les mesures qui en découlent sont jugées acceptables étant donné qu'elles proviennent d'une installation où il a fallu, pour la performance, accepter un compromis en utilisant des données d'entrée qui ne satisfont pas aux spécifications ordinaires ; il sert aussi à montrer si la logique est ou non indûment sensible à la quantification par incréments des données d'altitude de l'aéronef de référence.



#### **6.2.4 MODÈLE D'ERREUR ALTIMÉTRIQUE TYPE**

**6.2.4.1** Le modèle d'erreur altimétrique type est nécessaire pour le calcul des effets de l'ACAS sur le risque de collision (§ 6.3.2). Bien qu'il soit basé sur les résultats constatés au moyen des altimètres en service, il n'est pas destiné à servir de référence pour l'enregistrement de ces résultats. Moins encore y a-t-il une spécification implicite selon laquelle les altimètres doivent présenter les performances décrites dans le modèle, qu'ils soient ou non utilisés avec l'ACAS. Le modèle n'est normalisé que pour définir les conditions dans lesquelles s'appliquent les spécifications de performance de la logique anticollision.

**6.2.4.2** Le modèle montre la distribution hypothétique des erreurs de mesures altimétriques. Il exclut l'effet de la quantification par incréments qui est nécessaire pour créer les comptes rendus d'altitude en mode C ou S. Cependant, le calcul de l'effet de l'ACAS sur le risque de collision doit entièrement tenir compte de cette quantification, résultat qui doit être obtenu par celle des mesures de l'altitude simulée, les comptes rendus simulés ainsi obtenus étant fournis à la logique simulée de l'ACAS.

**6.2.4.3** Les simulations de l'effet de l'ACAS supposeront une connaissance précise des altitudes mesurées des aéronefs. Leurs altitudes réelles ne sont connues ni de l'ATC ni des aéronefs ; elles sont la somme de la mesure simulée et de l'erreur altimétrique aléatoire. Dans chaque rencontre où la distance horizontale d'évitement est très faible, il existe un certain risque de collision lié à la probabilité que la différence des altitudes réelles des deux aéronefs est assez petite pour qu'ils puissent se heurter. Ainsi, le calcul de l'effet de l'ACAS sur le risque de collision (§ 6.3.2) fait intervenir la distribution statistique de l'erreur que comporte la différence mesurée des altitudes des deux aéronefs : la convolution de deux distributions statistiques, une pour chaque aéronef.

**6.2.4.4** Pour le modèle d'erreur altimétrique type dont fait état le 4 § 4.4.2.4, la probabilité que la séparation verticale réelle  $d$  soit inférieure à la valeur seuil  $h$  (qui est supposée être de 100 ft au 6.3.2) se présente comme suit :

pour  $\lambda_1 = \lambda_2$  et  $a \geq h$

$$Prob(|d| \leq h) = \frac{1}{4\lambda} \exp\left(\frac{-(a+h)}{\lambda}\right) \left[ \exp\left(\frac{2h}{\lambda}\right) (2\lambda + a - h) - (2\lambda + a + h) \right]$$

pour  $\lambda_1 = \lambda_2$  et  $a < h$

$$Prob(|d| \leq h) = 1 - \frac{1}{4\lambda} \exp\left(\frac{-(a+h)}{\lambda}\right) \left[ \exp\left(\frac{2a}{\lambda}\right) (2\lambda - a + h) + (2\lambda + a + h) \right]$$

pour  $\lambda_1 \neq \lambda_2$  et  $a \geq h$

$$Prob(|d| \leq h) = \frac{\lambda_1^2 \exp\left(\frac{-a}{\lambda_1}\right) \sinh\left(\frac{h}{\lambda_1}\right) - \lambda_2^2 \exp\left(\frac{-a}{\lambda_2}\right) \sinh\left(\frac{h}{\lambda_2}\right)}{\lambda_1^2 - \lambda_2^2}$$

pour  $\lambda_1 \neq \lambda_2$  et  $a < h$

$$Prob(|d| \leq h) = \frac{\lambda_1^2 \left[ 1 - \exp\left(\frac{-h}{\lambda_1}\right) \cosh\left(\frac{a}{\lambda_1}\right) \right] - \lambda_2^2 \left[ 1 - \exp\left(\frac{-h}{\lambda_2}\right) \cosh\left(\frac{a}{\lambda_2}\right) \right]}{\lambda_1^2 - \lambda_2^2}$$

où  $\lambda_1$  et  $\lambda_2$  sont les valeurs de  $\lambda$  des deux aéronefs et où, comme au § 6.3.2,  $a$  est la séparation verticale apparente, c'est-à-dire la séparation en altitude telle qu'elle est mesurée par les altimètres des deux aéronefs.

## 6.2.5 MODÈLE DE PILOTE TYPE

**6.2.5.1** Le modèle de pilote type reproduit avec une probabilité plausible la réaction normale d'un pilote aux avis de résolution. Il ne comporte cependant pas toute la gamme des réactions possibles, par exemple les réactions lentes, qui compromettent l'évitement d'une collision, et les réactions d'une violence excessive, qui aboutissent à d'importants écarts par rapport aux données d'une autorisation. Parfois, l'absence de réaction ou la décision de gagner le niveau de vol suivant pour donner suite à un avis de résolution « vers le haut » n'est pas ce qui convient à l'évaluation de la logique, mais les modifications apportées ultérieurement à ce modèle montreront si cette logique dépend ou non outre mesure de la précision de réaction du pilote.

**6.2.5.2** Au § 4.4.3 du chapitre 4 — Réduction du risque de collision, il est question des anomalies de réaction de pilotage, à savoir :

- le pilote réagit lentement, donnant suite à l'avis de résolution initial en 8 s et à l'avis de résolution modifié en 5 s ;
- le pilote recherche une vitesse verticale insuffisante, par exemple 200 ft/min de moins que la vitesse voulue.

**6.2.5.3** Au § 4.4.4 du chapitre 4 — Compatibilité avec la gestion du trafic aérien (ATM), il est question d'une réaction excessive, à savoir :





- a) le pilote réagit rapidement, donnant suite à l'avis de résolution initial en 3 s et à l'avis de résolution modifié en 1 s ;
- b) le pilote recherche une vitesse verticale excessive, par exemple 500 ft/min de plus que la vitesse verticale voulue ;
- c) le pilote ne réagit pas aux avis de résolution qui s'atténuent.

**6.2.5.4** La logique n'est pas supposée satisfaire aux spécifications de performance quand le pilote réagit comme on le décrit ci-dessus, mais le calcul des mesures de performance fondées sur ces réactions hors normes du pilote donnera un certain aperçu de la sensibilité de la logique à la précision de la réaction de ce pilote. Le test permet de savoir si les modifications apportées aux mesures sont jugées acceptables alors qu'elles résultent de réactions imprécises, et si elles indiquent que la logique est anormalement sensible à la réaction escomptée de la part du pilote.

#### **6.2.6 MODÈLE DE RENCONTRE TYPE**

**6.2.6.1** Il existe en fait deux modèles de rencontre, un pour servir aux calculs du rapport de risque (quand la distance horizontale d'évitement est faible) et l'autre pour servir à évaluer la compatibilité de conception de la logique avec l'ATM (quand la distance horizontale d'évitement peut être comparable au minimum de séparation horizontale de l'ATC). Ainsi empêche-t-on ce qui serait autrement une simplification inacceptable : que les deux modèles traitent indépendamment des caractéristiques horizontales et verticales des rencontres.

**6.2.6.2** Le modèle de rencontre type est le résultat de l'analyse d'un grand nombre de données de radars au sol recueillies dans deux États. On peut donc s'attendre à ce que les mesures des performances calculées au moyen de ce modèle reflètent la réalité opérationnelle, même si le but des calculs n'est pas là. Les données analysées ont fait ressortir des variations vraiment considérables dans les caractéristiques de l'espace aérien, variations exprimées dans le modèle de rencontre, selon l'emplacement du radar dont les données sont originaires. Les caractéristiques des données provenant des deux États étaient radicalement différentes, ce qui montre qu'un modèle de rencontre type ne peut pas fournir des prévisions de performance valables pour n'importe quel emplacement particulier. Mais comme il est indispensable à la définition d'une performance type, le modèle type est considéré comme suffisamment complexe et représentatif.

**6.2.6.3** Pour déterminer les paramètres du modèle de rencontre type (§ 4.4.2.6 du chapitre 4), par exemple les pondérations relatives des classes de rencontre, celles-ci ont été reconstituées à partir des données des radars au sol. Cela a nécessité une nouvelle interprétation des particularités de ces rencontres, comme le montrent les exemples ci-après.

**6.2.6.3.1** La définition de la « couche d'altitude » donnée pour le modèle de rencontre type (§ 4.4.1 du Chapitre 4) est simple parce qu'il s'agit seulement de normaliser la logique anticollision. Quand, lors des rencontres réelles observées par les données des radars au sol, le niveau du sol ne



correspondait pas à une altitude-pression de 0 ft, il a fallu distinguer entre la hauteur au-dessus du sol et l'altitude-pression par rapport au niveau moyen de la mer (MSL). La méthode utilisée pour déterminer la couche d'altitude appropriée à une rencontre constatée par les données d'un radar réel a conduit à opter pour la couche 1 si la rencontre se produisait à moins de 2 300 ft au-dessus du niveau du sol (AGL) et à recourir à l'altitude-pression pour déterminer dans les autres cas le MSL. Aux emplacements d'altitude élevée, il manquait parfois une ou plusieurs couches.

**6.2.6.3.2** Les taux de variation d'altitude d'un aéronef au commencement et à la fin d'une rencontre,  $\dot{z}_1$  et  $\dot{z}_2$ , sont dans le modèle de rencontre type des valeurs considérées à des moments précis, par exemple  $tca - 35$  s et  $tca + 5$  s. Pendant le traitement des données de rencontres réellement décelées par les radars au sol, les valeurs attribuées à  $\dot{z}_1$  et  $\dot{z}_2$  ont été les taux moyens de variation d'altitude au cours des 10 premières secondes, c'est-à-dire [ $tca - 40$  s,  $tca - 30$  s], et des 10 dernières secondes, c'est-à-dire [ $tca$ ,  $tca + 10$  s], de la rencontre.

**6.2.6.3.3** De la même façon, le  $tca$  a été dans les rencontres réelles l'instant réel du rapprochement maximal et la  $hmd$  la séparation horizontale réelle au point de rapprochement maximal. La distance verticale d'évitement,  $vmd$ , était soit la séparation verticale au point de rapprochement maximal, pour les rencontres dans lesquelles  $hmd \geq 500$  ft, soit la séparation verticale minimale pendant la période de temps au cours de laquelle la séparation horizontale de deux aéronefs était inférieure à 500 ft.

**6.2.6.3.4** Certains éléments du modèle de rencontre type, par exemple l'amplitude des modifications de vitesse pendant la rencontre, n'ont pas pu être déterminés d'après l'examen des données des radars au sol (à cause de la nature de ces données) et il a fallu pour les préciser s'en remettre à des principes d'explication générale de la dynamique des aéronefs.

**6.2.6.3.5** Pour mettre en perspective le manque de correspondance précise entre les rencontres modélisées et celles qu'on observe par les données radar, il faut se rappeler que le modèle de rencontre type a pour but de servir de base de normalisation des performances de la logique anticollision. Ceci étant, si aucun effort de réalisme n'a été négligé pour que le modèle soit aussi fidèle que possible à la réalité opérationnelle, une fidélité rigoureuse n'est pas nécessaire et elle n'a pas été recherchée. Ce n'est pas une raison pour utiliser un autre modèle ; le seul modèle qui soit valable pour l'évaluation de la performance de la logique anticollision compte tenu des contraintes énoncées ici est le modèle défini ici à cette fin.

**6.2.6.4** Toute construction d'un modèle de rencontre type qui peut être prouvé équivalent à celui qui est spécifié au § 4.4.2.6 Chapitre 4, est acceptable. On trouvera ci-après deux exemples de ce genre d'équivalence.

**6.2.6.4.1** Le § 4.4.2.6.1 du Chapitre 4, préconise que les mesures de performance soient calculées sur des ensembles de rencontres créés, que définissent des caractéristiques approchées (portant spécifiquement sur la mise en ordre des adresses d'aéronefs, la couche d'altitude, la classe de rencontre et la valeur approximative de la distance verticale d'évitement), et que les résultats

obtenus au moyen de ces ensembles soient combinés par pondération selon les indications du Chapitre 4 § 4.4.2.6.2. Ce qui suppose autant de simulations de types relativement rares de rencontres, par exemple les rencontres avec franchissement d'altitude, que de types de rencontres plus communs, par exemple les rencontres sans un tel franchissement. Cette méthode permet de s'assurer que toute la gamme des possibilités de chaque ensemble est étudiée comme il convient. Le même résultat peut cependant être obtenu par la création d'un certain nombre de rencontres qui, pour chaque ensemble, est proportionnel à la pondération spécifiée, toutes les rencontres étant regroupées dans un ensemble beaucoup plus important. Avec cette autre méthode, il faut seulement se rappeler que le nombre total de rencontres doit être assez important pour que, considérés isolément, les résultats d'ensembles plus petits soient statistiquement fiables.

**6.2.6.4.2** Les distributions statistiques de chacun des taux de variation de vitesse verticale ont été prévues avec l'obligation de choisir d'abord un intervalle dans lequel la valeur finale doit se trouver, après quoi la valeur finale est choisie selon un processus de distribution qui est uniforme dans l'intervalle. Il ne s'agit là que d'obtenir une présentation claire des tables du Chapitre 4, (§ 4.4.2.6.3.2.4). On pourrait tout aussi bien choisir la valeur directement, par une distribution statistique linéaire dans chacun des intervalles, pour laquelle la probabilité totale augmente à chaque intervalle d'une quantité égale à la probabilité spécifiée pour cet intervalle.

**6.2.6.5** Dans le modèle de rencontre type, les rencontres sont construites en partant de la fiction d'un rapprochement maximal vers l'extérieur. Le moment de ce rapprochement maximal imaginaire, qui est fixe, est appelé « *tca* » dans le Chapitre 4 au § 4.4.2.6. Dans le plan vertical, les taux de variation de vitesse verticale de 35 s avant le *tca* et de 5 s après le *tca* sont choisis et au besoin regroupés par période d'accélération, après quoi les altitudes des trajectoires sont fixées avec au *tca* la séparation verticale obligatoirement égale à la valeur choisie pour la « *vmd* ». Dans le plan horizontal, les valeurs choisies pour la « *hmd* », l'angle de rapprochement et les vitesses des aéronefs définissent les trajectoires relatives des deux aéronefs au moment du *tca*. Les virages et les modifications de vitesse des aéronefs sont alors imposés par la modification des trajectoires avant et après le *tca*. À la fin de ce processus, le moment du rapprochement maximal ne fait qu'approcher le *tca*.

## **6.2.7 ÉQUIPEMENT ACAS DE L'INTRUS**

**6.2.7.1** Les normes spécifient trois ensembles de conditions en ce qui concerne l'équipement de l'intrus et la manière dont l'aéronef intrus doit être supposé se comporter :

- a) dans chaque rencontre, l'autre aéronef n'est pas équipé ;
- b) l'autre aéronef est équipé de l'ACAS mais il suit une trajectoire identique à celle d'une rencontre non équipée ;

 <p>Agence Nationale de l'Aviation Civile du Togo</p>	<p><b>RANT 10 – PART 4</b></p> <p><b>Télécommunications aéronautiques - Systèmes de Surveillance et Anticollision</b></p> <p><b>SUPPLEMENT</b></p>	<p>Page: 108 de 113</p> <p>Révision: 00</p> <p>Date: 01/07/2015</p>
--	--	---

c) l'autre aéronef est équipé d'un ACAS ayant une logique anticollision identique à celle de l'ACAS de référence.

**6.2.7.2** Dans le premier cas (a), la logique fonctionne de façon satisfaisante pendant les rencontres avec un intrus non équipé. Les deux autres cas mettent la logique anticollision à l'épreuve quand l'autre aéronef est équipé mais ils le font à partir de perspectives différentes. Dans le cas (b) la logique opère assurément de façon satisfaisante sous contraintes du processus de coordination tandis que dans le cas (c) les avantages à escompter du fait de l'équipement des deux aéronefs sont effectivement obtenus.

**6.2.7.3** Les conditions fixées pour le cas (b) ont pour but de permettre à l'ACAS de référence de choisir son avis de résolution initial mais pour appliquer ensuite les hypothèses plausibles les plus pessimistes au sujet des conséquences d'un besoin de coordination de la performance de la logique de l'ACAS de référence. Quand l'aéronef de référence a l'adresse d'aéronef inférieure, les conditions du test impliquent que le sens de l'avis de résolution ne peut être inversé. De plus, l'intrus ne lance ni un avis de résolution ni un avis de résolution complémentaire (RAC) tant que l'avis de résolution de l'ACAS de référence n'est pas annoncé parce qu'un modèle de conception ancienne prévoyait un délai de coordination initiale (dont le but consistait à permettre la coordination et à éviter au pilote le spectacle de rapides changements d'avis de résolution) ; il s'agit de faire en sorte que la performance soit satisfaisante malgré les effets nuisibles d'un tel délai.

**6.2.7.4** Dans le cas (c), il faut que le comportement des deux aéronefs soit parfaitement coopératif mais le fait que les deux ACAS utilisent la logique dont il s'agit donne l'assurance que la mesure de performance répond à cette logique et que celle-ci est efficace.

**6.2.7.5** Comme on vient de le voir, les spécifications de performance visent à s'assurer d'un fonctionnement satisfaisant de la logique et non pas de l'ensemble du système. Dans la mesure où il est capable d'interpréter plus largement les avantages du système complet dans un environnement opérationnel, le cas (c) pourrait être considéré comme correspondant à la mesure de performance la plus vraisemblable dans une rencontre ACAS-ACAS. Dans le cas(b), le comportement de la logique est pire que dans celui où l'intrus n'est pas équipé parce que ce cas ne suscite que les contraintes imposées par la coordination. Cependant, le fait que la coopération d'un intrus ne peut pas être garantie, et qu'à l'occasion certains pilotes ne répondront pas aux avis de résolution, signifie que les trois mesures présentent chacune un intérêt opérationnel.

## **6.3 REDUCTION DU RISQUE DE COLLISION**

### **6.3.1 STATUT DU RAPPORT DE RISQUE DE LA LOGIQUE**

**6.3.1.1** Le rapport de risque calculé pour les besoins du Chapitre 4 au § 4.4.3, est une mesure de la performance de la logique et non de l'ACAS tout entier. Par exemple, l'ACAS peut empêcher une collision en incitant le pilote à rechercher visuellement l'intrus et à l'apercevoir et il peut échouer



parce qu'une piste n'est pas établie ou parce que le pilote ne tient pas compte de l'avis de résolution ; ce sont ces aspects du système total qui ne sont pas reflétés dans les calculs nécessités pour le Chapitre 4 au § 4.4.3.

**6.3.1.2** Quand on envisage la pertinence des chiffres du « rapport de risque de la logique » calculés pour le Chapitre 4 au § 4.4.3, pour les opérations ou les décisions organisationnelles, il pourrait être utile de ne voir en eux que la crédibilité qu'on peut attacher aux avis de résolution. Ils font ressortir l'effet que le respect d'un avis de résolution aura sur le risque immédiat de collision quand, au moment de son lancement, le pilote n'a pas d'informations autres que l'avis de résolution pour prendre la décision de se conformer à l'avis de résolution ou de ne pas en tenir compte. Grosso modo, le risque de collision que suscite l'ACAS découle du fait de se conformer à l'avis de résolution, si bien que le rapport de risque de la logique exagère ce « rapport de risque induit » ; d'un autre côté, il exagère aussi l'aptitude de l'ACAS à empêcher les collisions étant donné les nombreux autres modes de panne de l'ensemble du système.

**6.3.1.3** Les chiffres calculés pour les besoins du § 4.4.3 - Chapitre 4, ne permettent pas de se faire une idée de l'effet de l'ACAS sur le risque général de collision dans un espace aérien, ni de se représenter celui auquel un transporteur aérien est exposé.

## **6.3.2 CALCUL DU RAPPORT DE RISQUE DE LA LOGIQUE**

**6.3.2.1** Le rapport de risque  $R$  peut s'écrire :

$$R = \frac{\sum \text{probabilité d'une collision avec ACAS}}{\sum \text{probabilité d'une collision sans ACAS}}$$

la sommation portant sur toutes les rencontres ou, de manière plus pratique, sur toutes les rencontres qui contribuent au risque total de collision, avec ou sans ACAS. La nécessité que les caractéristiques et les statistiques des rencontres soient représentatives des réalités de l'exploitation fait l'objet d'un travail de normalisation au § 4.4.2.6 Chapitre 4, et est commentée au § 6.2.6.

**6.3.2.2** Le risque estimé de collision dépend de l'interprétation du mot « collision ». Si ce problème est largement évité dès lors qu'on se représente le besoin comme le rapport entre les risques de collision avec et sans ACAS, il importe de tenir compte avec réalisme des dimensions de l'aéronef le plus gros. Il serait raisonnable de considérer une séparation verticale de moins de 100 ft entre les points centraux des deux aéronefs comme assez petite pour permettre une collision. Des distances d'évitement sensiblement plus importantes ne seraient pas à conseiller pour se trouver dans une situation proche du risque de collisions car il a été constaté que le rapport de risque calculé dépend de la définition de la « collision ».

**6.3.2.3** Si l'on considère comme approximation le fait qu'une collision se produit quand

$|d| < 100 \text{ ft}$ ,  $d$  étant la séparation verticale effective Alors

$$R = \frac{\sum \text{prob}(|d| < 100 \text{ ft avec ACAS})}{\sum \text{prob}(|d| < 100 \text{ ft sans ACAS})}$$

où la sommation porte maintenant sur toutes les rencontres avec distance horizontale d'évitement nulle ou extrêmement faible.

**6.3.2.4** Faisons maintenant intervenir  $e$ , l'erreur altimétrique, et  $a$ , la séparation verticale apparente, et notons que

$$a = d + e$$

$a$  étant essentiellement la séparation en altitude que mesurent les altimètres. Il ne devrait pas être nécessaire de considérer les erreurs de quantification par incréments parce que dans les simulations informatiques les indications altimétriques modélisées peuvent être connues avec une précision arbitraire. Elles sont quantifiées avant d'être fournies à l'ACAS sous forme de comptes rendus modélisés en mode C, que l'ACAS poursuit. C'est pourquoi l'exigence du § 4.4.2 du Chapitre 4, exclut les effets de quantification par incréments.

**6.3.2.5** Définissons  $a$  avec comme étant la séparation verticale apparente avec l'ACAS et  $a$  sans la séparation verticale apparente sans ACAS. Nous avons :

$|d| < 100 \text{ ft avec ACAS}$

si et seulement si  $|a_{avec} - e| < 100 \text{ ft}$

c'est-à-dire  $a_{avec} - 100 \text{ ft} < e < a_{avec} + 100 \text{ ft}$

et pareillement,

$|d| < 100 \text{ ft sans ACAS}$

si et seulement si  $a_{sans} - 100 \text{ ft} < e < a_{sans} + 100 \text{ ft}$

**6.3.2.6** Le rapport de risque est donc déterminé par

$$R = \frac{\sum \text{prob}(a_{avec} - 100 \text{ ft} < e < a_{avec} + 100 \text{ ft})}{\sum \text{prob}(a_{sans} - 100 \text{ ft} < e < a_{sans} + 100 \text{ ft})}$$

Si l'on adopte cette équation pour calculer le rapport de risque, les valeurs de  $a_{avec}$  et  $a_{sans}$  doivent être déterminées pour un ensemble de rencontres qui est parfaitement représentatif de toutes les rencontres en puissance dans lesquelles il existe à la fois le risque de collision sans ACAS et le risque que l'ACAS provoque une collision. Une fois connues ces valeurs hypothétiques de séparation mesurée en altitude, la connaissance des erreurs de mesure en site complète le calcul.

### 6.3.3 RISQUE INDUIT ET NON RÉSOLU

**6.3.3.1** Il ne suffit pas de démontrer que l'ACAS empêchera les collisions qui pourraient se produire sans lui. Le risque que la logique de l'ACAS puisse causer des collisions dans des circonstances par



ailleurs sans danger doit être entièrement envisagé, ne serait-ce que parce que dans l'espace aérien organisé le nombre de rencontres pouvant comporter un risque induit dépasse de beaucoup le nombre de quasi-collisions.

**6.3.3.2** La limite supérieure du rapport de risque de la logique normalisée au § 4.4.3 Chapitre 4, place effectivement une limite supérieure approximative au risque de collision qu'entraîne l'ACAS. Bien que l'ACAS puisse provoquer une collision pour d'autres erreurs, par exemple parce que des pilotes manœuvrant à la suite d'un avis de circulation ou d'un avis de résolution dirigent leurs aéronefs vers la trajectoire d'un troisième aéronef qui n'a pas été vu, le risque induit tient surtout au fait de se conformer aux avis de résolution. En conditions opérationnelles, le fait de ne pas susciter un avis de résolution ou de ne pas se conformer à celui-ci réduira le risque de collision induite (même s'il augmente le risque absolu).

**6.3.3.3** Ce qu'il faut, c'est que la logique soit conçue pour réduire le risque de collision et aucune distinction n'est faite entre le risque induit par la logique et le risque que celle-ci est incapable de supprimer. Il est possible d'établir une telle distinction, et même de subdiviser le risque en faisant la part de ce qui est dû à une erreur altimétrique et de ce qui est dû à une carence fonctionnelle de la logique, mais on estime que cet exercice présente peu d'intérêt pour la conception de celle-ci.

#### **6.3.4 UTILISATION DES DONNÉES DES RADARS AU SOL POUR CALCULER LE RAPPORT DE RISQUE**

On peut prendre comme base des calculs de sécurité mentionnés au § 6.3.2 les rencontres observées par les données des radars au sol. Il est cependant difficile d'en interpréter les résultats car ces calculs concernent des événements extrêmement rares et, même si l'on exploite de nombreux mois de données, les trajectoires doivent être modifiées pour intégrer un risque de collision que ne présentaient pas les rencontres réelles. Il est plus commode d'utiliser les données radar pour documenter le choix des pondérations à attribuer aux diverses classes de rencontre du modèle de rencontre, et de produire ainsi une version du modèle de rencontre idéalisé plus représentative de l'espace aérien dont il s'agit que le modèle type présenté ici.

### **6.4 COMPATIBILITE AVEC L'ATM**

#### **6.4.1 TAUX D'ALERTE NUISIBLES**

**6.4.1.1** L'ACAS doit diagnostiquer un risque de collision imminente d'après une information incomplète. De plus, cette information doit être indépendante de celle qui constitue la base même de la séparation des aéronefs. Il s'ensuit que les rencontres donneront lieu à des alertes quand, d'un point de vue opérationnel, il semblerait qu'il n'y ait pas de risque de collision. Selon le § 4.4.4.1 Chapitre 4, il faut que ces alertes nuisibles soient aussi peu fréquentes que possible.



**6.4.1.2** La spécification d'un avis de résolution nuisible dont fait état le § 4.4.4.1.2 Chapitre 4, est formulée avec l'idée qu'un avis de résolution est nuisible s'il n'est pas évident qu'une séparation normale réglementaire est perdue. Il faut en outre que le seuil de séparation horizontale soit suffisamment précis pour nécessiter l'emploi d'un filtre de distance horizontale d'évitement. Le seuil de séparation horizontale a été fixé à 40 % d'une séparation normale et le seuil de séparation verticale à une valeur basée sur une tolérance, de la part de l'ATC, d'écart de 200 ft par rapport à l'altitude autorisée.

#### **6.4.2 SÉLECTION DU SENS COMPATIBLE**

L'exigence formulée au § 4.4.4.2 Chapitre 4, qui ne vise pas à brider la manière avec laquelle les rencontres dangereuses sont résolues, est plutôt basée sur l'idée selon laquelle la plupart des avis de résolution sont susceptibles d'être lancés dans des rencontres sans danger de collision. Elle place une limite statistique sur la fréquence à laquelle l'ACAS perturbe l'ATC ou le vol normal des aéronefs en intervertissant la séparation verticale de deux d'entre eux.

#### **6.4.3 ÉCARTS CAUSÉS PAR L'ACAS**

Les restrictions relatives aux écarts qu'on peut causer en se conformant aux avis de résolution (§ 4.4.4.3 - Chapitre 4) limitent les perturbations apportées à l'exploitation normale des aéronefs et aux services de l'ATC. Alors que les écarts par rapport aux altitudes autorisées ont de toute évidence des conséquences néfastes pour l'ATC, d'autres écarts, par exemple ceux qu'entraîne un avis de résolution « vers le haut » quand l'aéronef est en descente, pourraient être considérés comme aussi graves par l'ATC.

#### **6.4.4 EMPLOI DES DONNÉES RADAR REÇUES AU SOL OU DU MODÈLE DE RENCONTRE TYPE**

**6.4.4.1** Le respect de l'exigence de compatibilité avec l'ATM peut être testé de façon plus convaincante par des simulations basées sur les reconstitutions de rencontres réelles en vol qui se produisent dans l'espace exploré par les radars au sol de l'ATC, pourvu que seule une faible proportion des aéronefs ainsi observés soit équipée de l'ACAS. Cependant, les résultats de telles simulations d'après des données réelles restitueront les particularités de l'espace aérien (ou des espaces aériens) dans lesquels les données ont été recueillies, de même que celles de la logique anticollision employée. Ainsi existe-t-il des difficultés pratiques considérables quant à l'utilisation des données de rencontres réelles pour valider la logique anticollision, et les dispositions du § 4.4.4 Chapitre 4, supposent le recours à des rencontres factices d'après le modèle de rencontre type dont fait état le § 4.4.2.6. Chapitre 4.

**6.4.4.2** L'emploi du modèle de rencontre type pour obtenir les mesures de performance qui définissent le fonctionnement de la logique anticollision ne fourniront à cet égard qu'une preuve





indirecte dans le cas d'un espace aérien particulier. On conseille aux autorités qui ont accès aux données des radars au sol et veulent comprendre l'interaction de l'ACAS avec les pratiques de l'ATC local de recourir à des simulations basées sur leurs données des radars au sol plutôt que sur le modèle de rencontre type. Ce faisant, elles doivent noter que les résultats peuvent être perturbés si les aéronefs observés sont déjà équipés de l'ACAS. Il sera par ailleurs nécessaire de recueillir suffisamment de données pour que les avis de résolution simulés d'après les données soient statistiquement représentatifs ; ainsi, les données recueillies pendant 100 jours dans un État contenaient très peu d'exemples de certains types d'avis de résolution.

#### **6.5 VALEUR RELATIVE DES OBJECTIFS CONFLICTUELS**

La conception de la logique anticollision de l'ACAS doit constituer un moyen terme acceptable entre la réduction du risque de collisions et les perturbations causées par les alertes de l'ACAS. Les exigences relatives au risque de collisions (§ 4.4.3 Chapitre 4) et à la perturbation de l'ATC (§ 4.4.4 Chapitre 4) constituent les exigences minimales de ce qu'on sait pouvoir réaliser en mettant en œuvre un système prototype. D'autres conceptions ne sont acceptables que s'il peut être démontré que les risques de collision et de perturbation de l'ATC ont été chacun réduits le plus possible dans le contexte de la nécessité que l'autre le soit également.