

CHAPITRE 2

DESCRIPTION DES PRINCIPES RETENUS POUR LA PROTECTION DES PROCÉDURES

2.1 GÉNÉRALITÉS

Il faut admettre qu'il ne peut y avoir de protection **absolue**. Toute protection repose sur certaines **hypothèses** relatives à la précision des aides radio à la navigation, à la conduite du vol, aux **performances** des aéronefs et aux facteurs **météorologiques** (vent, température...).

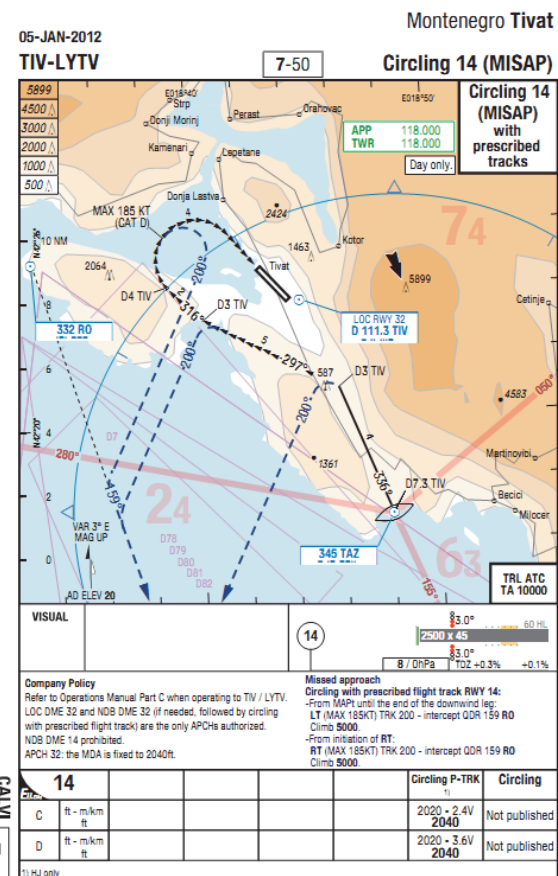
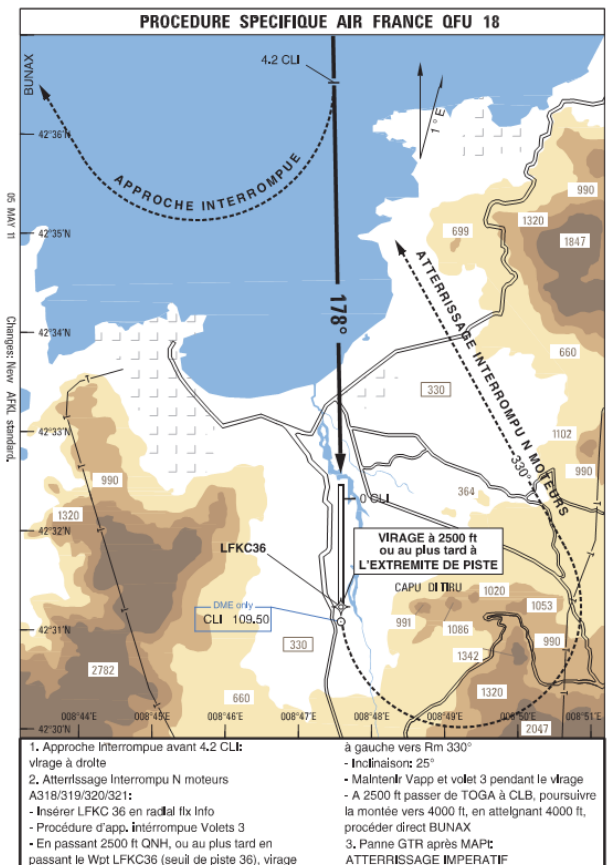
Les méthodes de construction employées ont elles-mêmes leurs limites. Certaines simplifications sont nécessaires. Certaines méthodes sont plus sophistiquées que d'autres. Malgré ces limites, l'expérience montre qu'en définitive, un haut niveau de sécurité est assuré. Dans ce chapitre, il est d'abord développé la notion de validité d'une protection, avant d'analyser chacun des paramètres servant au calcul des protections des procédures pour en déduire les conséquences pratiques pour l'utilisateur.

2.2 VALIDITÉ DES PROTECTIONS

Il est évident que les protections n'ont de validité que dans la mesure où certaines conditions élémentaires sont remplies :

- fonctionnement correct des aides radio à la navigation au sol et satellitaires, des instruments à bord de l'avion (les performances prises en compte sont les performances minimales exigées par la réglementation), et
- respect par le pilote des règles de l'art du pilotage (maintien suffisamment précis des paramètres de vol, pas d'erreur grossière comme un virage en sens contraire de celui spécifié...etc.).

De plus, il est important de noter qu'il appartient à l'exploitant de prévoir des procédures pour les situations anormales et les conditions d'urgence (Exemple de procédure Air France ci-après pour Calvi et Europe Airpost pour Tivat)



Takeoff Performance Computation : B737-300 CFM56-3_22K 5 TO

Synchro 05/03/2012

Airport Information

Airport: LFML
Runway: 13L
Condition: DRY
Pavement: NORMAL
Wind (TKTS): 000/00 HW 0 XW 0
OAT (°C): 15
QNH (HPa): 1013

Maximum Take Off Power

Full Thrust	OAT	MTOW	V1	Vr	V2	ZAC
	15	57221	159	164	171	1800

Calculate

MEL/CDL
APT INFO
NOTAM
ADD AIRPORT
LOADSHEET
DATA RECORD
LANDING
Exit

Airplane Configuration

Rating: FULL TO
Flaps: 5
A/C Bleed: AUTO
A/I: OFF
CG Position (%mac): STANDARD
Planned Weight (kg):
Assumed Temp(°C):

Assumed Temp

EFP : 'AT D 6.5 ML (ABEAM MRM) TURN RIGHT HDG 230. DO NOT FLY N OF RWY 13L EXTENDED RWY CENTERLINE.'

Flight Number: FPO
F-GZTA

Ci-contre un exemple de calcul de procédure N -1 moteur pour la piste 13 gauche de Marseille Provence (B737-300).

2.3 DIFFÉRENTES MÉTHODES UTILISÉES

Ces réserves formulées, examinons comment sont pris en compte les différents paramètres précédemment cités pour le calcul des protections. On peut distinguer schématiquement les méthodes "dogmatique", "arithmétique" et "statistique" et les méthodes utilisant une combinaison des précédentes.

Méthode dogmatique

Elle consiste à retenir des largeurs ou des marges forfaitaires dont la valeur a été jugée et s'est avérée suffisamment grande pour tenir compte d'écarts importants par rapport à la trajectoire nominale.

Exemple : cette méthode est utilisée pour définir la largeur des aires secondaires entourant les aires d'inversion, des zones tampon entourant les aires d'attente, et dans une certaine mesure : les aires d'arrivée et d'approche initiale, les marges de franchissement d'obstacles en approche classique.

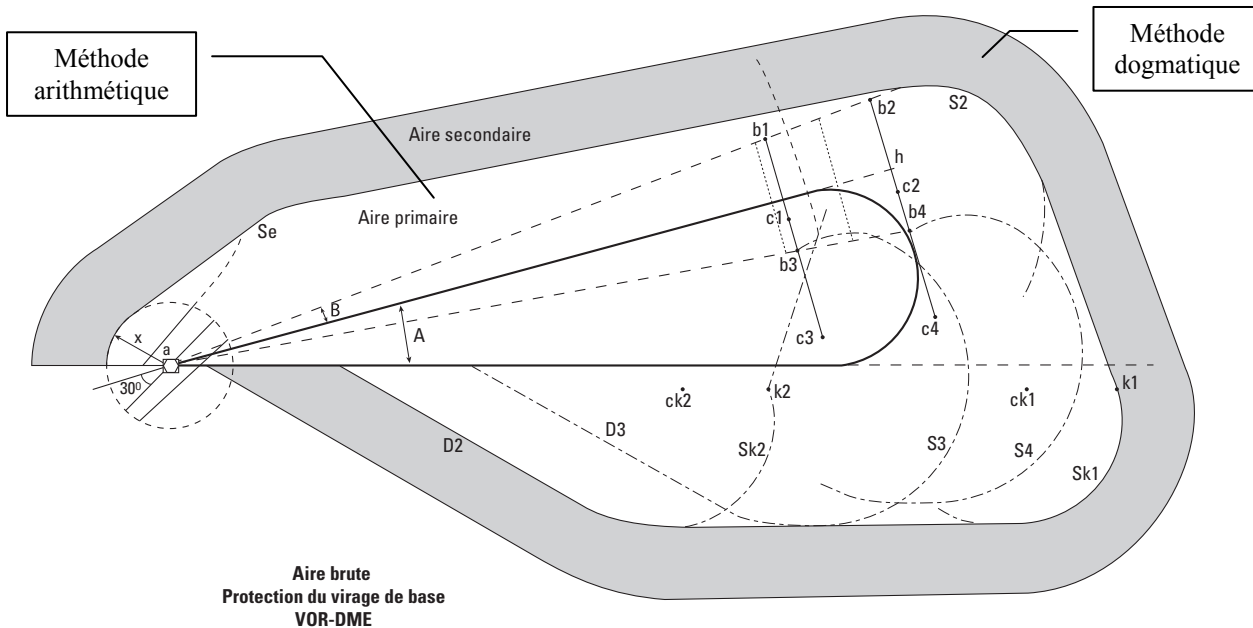
Méthodes arithmétiques

Méthode additive

Elle consiste à recenser l'ensemble des écarts possibles, à fixer pour chacun une valeur maximale, puis à considérer que ces écarts **s'additionnent** (cas le plus défavorable) et à obtenir ainsi l'enveloppe des positions extrêmes pouvant être atteintes par un aéronef dans le cas le plus défavorable.

Pour certains paramètres, la valeur maximale (ou minimale) est censée ne jamais être dépassée (ex : vitesse maximale, inclinaison minimale). Le pilote devra donc impérativement respecter ces valeurs limites. Pour les autres, la valeur limite est censée ne pas être dépassée dans un certain pourcentage des cas (ex : - la valeur maximale du vent prise en compte est une valeur statistique à 95 %, - la précision d'une installation VOR ou NDB et basée sur des valeurs statistiques à 95 % - l'évasement de l'aire, sur des valeurs statistiques à 99,7 %).

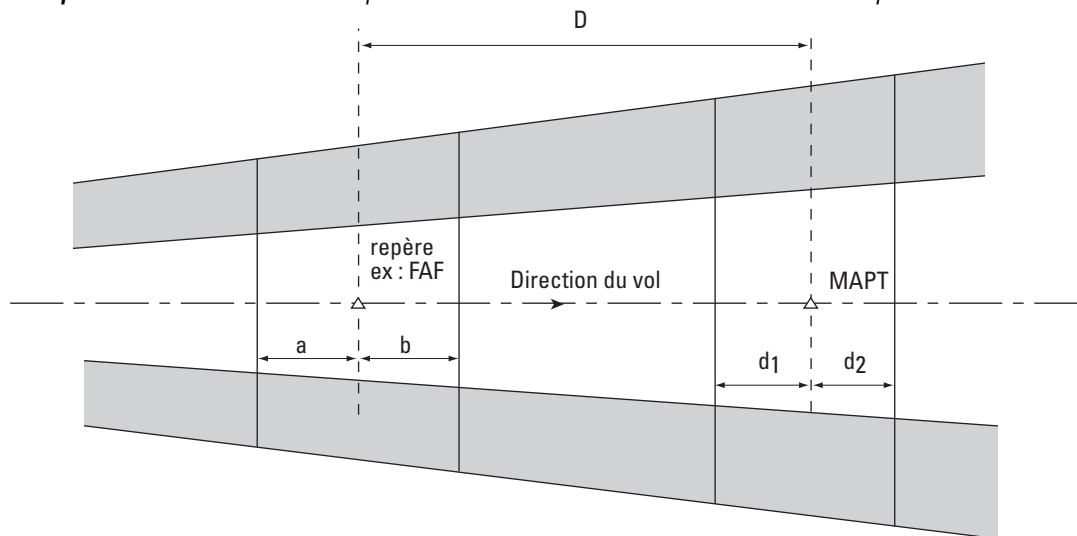
Exemple : cette méthode est utilisée pour établir les aires d'approche interrompue avec virage, les aires de base des inversions, des attentes



Méthode de la somme quadratique

Une autre méthode consiste à admettre qu'il est peu probable que tous les écarts se produisent dans le même sens et simultanément et qu'en plus, l'effet du vent atteigne à ce moment sa valeur maximale. Il est alors possible de combiner les écarts se rapportant à des variables indépendantes, non plus de manière additive, mais selon une somme quadratique (racine carrée de la somme des carrés).

Exemple : cette méthode est utilisée pour déterminer l'aire de tolérance d'un MAPT défini par une distance.



Aire de tolérance d'un MAPT défini par sa distance par rapport à un repère (ex. : FAF)

Lorsque le MAPT est situé à une distance D (NM) du FAF ou d'un repère de descente, il convient de tenir compte des facteurs ci-dessous pour déterminer l'aire de tolérance du point d'approche interrompue :

- Tolérance du FAF (ou du repère) ;
- L'effet d'un vent de 30 nœuds subi pendant la durée de parcours du segment d'approche finale ;
- La distance correspondant à une tolérance de - 10 secondes à + 13 secondes comprenant la tolérance de minutage de ± 10 secondes et le temps de réaction du pilote de + 3 s.

Une somme quadratique est réalisée sur la base de ces trois facteurs.

Dans la figure ci-dessus les paramètres suivants sont utilisés :

a = distance entre le point amont de la tolérance de FAF et le FAF ;

b = distance entre le FAF et le point aval de la tolérance de FAF ;

D = distance du FAF au MAPT nominal ;

VV_{MIN} = valeur la plus faible de VI en approche finale pour la catégorie d'aéronefs convertie en VV compte tenu de l'altitude de l'aérodrome et de la température ISA – 10° ;

VV_{MAX} = valeur la plus grande de VI en approche finale pour la catégorie d'aéronefs convertie en VV compte tenu de l'altitude de l'aérodrome et de la température ISA + 15°.

Calcul de la distance entre le MAPT amont et le MAPT nominal

$$X1 = \sqrt{a^2 + (VV_{MIN} \times 10/3600)^2 + (30 \times D/VV_{MIN})^2}$$

$$X2 = \sqrt{a^2 + (VV_{MAX} \times 10/3600)^2 + (30 \times D/VV_{MAX})^2}$$

d₁ = distance entre le MAPT amont et le MAPT nominal = max {X1 ; X2}

Calcul de la distance entre le MAPT nominal et le MAPT aval

$$X3 = \sqrt{b^2 + (VV_{MIN} \times 13/3600)^2 + (30 \times D/VV_{MIN})^2}$$

$$X4 = \sqrt{b^2 + (VV_{MAX} \times 13/3600)^2 + (30 \times D/VV_{MAX})^2}$$

d₂ = distance entre le MAPT nominal et le MAPT aval = max {X3 ; X4}

Méthode statistique

La méthode statistique consiste à déterminer, sur un **échantillon** représentatif, l'enveloppe des trajectoires suivies par les aéronefs.

Ceci peut être fait de manière entièrement théorique (modèle mathématique) ou en utilisant des observations réelles (par ex : enregistrements radar) ou encore à l'aide de simulateurs de vol.

L'intérêt de cette méthode est qu'on peut alors prétendre chiffrer le niveau de sécurité assuré par la protection (enveloppe des trajectoires) ainsi déterminé ; en revanche, son inconvénient est de nécessiter des études longues et coûteuses.

Exemple : cette méthode a été utilisée pour mettre au point le CRM (Collision Risk Model) permettant, dans le cas d'une approche ILS, de déterminer le risque de collision pour une OCH donnée, le risque admissible étant fixé à 10⁻⁷ (risque d'une collision pour 10 millions d'approches).

Ci-dessous, un aperçu du bilan des risques fournit par le logiciel CRM de l'OACI.

		Résultat	Risque total	Remarque
Catégorie C	<input checked="" type="checkbox"/> Minimum	168	9.42 E-08	Antenne GP
	<input checked="" type="checkbox"/> Spécifiée	200.00	8.92 E-10	Antenne GP
Catégorie D	<input checked="" type="checkbox"/> Minimum	183	9.71 E-08	Antenne GP
	<input checked="" type="checkbox"/> Spécifiée	200.00	1.02 E-08	Antenne GP

Conclusion

Hormis le cas de l'ILS/MLS, il n'est pas possible actuellement de chiffrer précisément la probabilité de sortir d'une aire de protection et d'entrer en collision avec un obstacle. Il faut retenir que cette probabilité est très faible, à condition de ne pas commettre d'erreurs grossières et de ne pas dépasser les valeurs maximales spécifiées (ex : vitesse maximale imposée au cours d'une phase).

Il est donc indispensable que le pilote ait une discipline de vol visant plus particulièrement à ne pas s'autoriser les erreurs qu'il peut maîtriser (tenue de cap, alignement, inclinaison, vitesse, chronométrage...).

2.4 ANALYSE DES PARAMÈTRES ET FACTEURS RETENUS POUR LE CALCUL DES PROTECTIONS

2.4.1 Vent

Afin de garantir la protection de l'aéronef quelles que soient les conditions de vent rencontrées, les aires de protection sont établies soit en prenant en compte l'effet non corrigé d'un vent omnidirectionnel, déterminé à partir de données statistiques et en fonction de l'altitude, soit à partir de valeurs forfaitaires constantes en fonction de la phase de vol.

Les valeurs statistiques retenues pour la France métropolitaine varient de 1.5 fois l'altitude + 36 kt en dessous de 14000 ft, à 2,5 fois l'altitude + 22 kt entre 15000 ft et 31000 ft, pour atteindre 100 kt au dessus de 31000 ft. Pour les départements d'outre-mer, le vent statistique retenu par l'OACI, 2 fois l'altitude + 47 kt est utilisé.

Une valeur forfaitaire de 30 kt est utilisée pour les procédures de départ, les phases d'approche finale, d'approche interrompue et de segment à l'estime. Pour les manœuvres à vue libre, cette valeur est réduite à 25 kt. Dans les phases d'approche finale, d'approche interrompue et de départ initial, une valeur forfaitaire de 10 kt est prise en compte dans le calcul de la tolérance de vol le long de la trajectoire.

Des valeurs différentes peuvent être adoptées si des statistiques météorologiques particulières le permettent.

Lors de l'étude de procédure, le vent traversier n'est pas considéré lorsque la trajectoire est radioguidée.

Conséquences pratiques

Lorsque le pilote évolue sans chercher à corriger les effets de vent, l'aéronef reste à l'intérieur des aires de protection, mais l'efficacité opérationnelle de la manœuvre (trajectoire compatible avec la phase suivante, réussite de la transition à vue et de l'atterrissage, etc...) ne peut être garantie. De même, si le tronçon suivant bénéficie d'un guidage radioélectrique, les corrections qui seront alors nécessaires risquent d'être de grande amplitude, ou délicates à exécuter.

Le pilote a donc intérêt à corriger les effets du vent connu. Dans ce cas, il est impératif que le sens de la correction soit juste. En effet, une correction inverse équivaldrait à amplifier l'effet de vent. En cas de doute sur le vent (à l'altitude de vol), et donc sur le sens de la correction, mieux vaut s'abstenir.

Une correction dans le bon sens et convenablement adaptée permet d'améliorer l'efficacité opérationnelle en maintenant l'aéronef "sur le trait". Les tronçons suivants pourront ainsi être abordés sans problème particulier, et les corrections à faire pour rejoindre les axes radioélectriques seront faibles.

Dans tous les cas, le pilote a donc intérêt à corriger les effets du vent connu. Le sens de la correction est toujours plus important que sa valeur.

2.4.2 Tolérance de cap

Sur les tronçons de trajectoire rectiligne où un guidage radioélectrique n'est pas possible, le pilote est censé suivre une route magnétique spécifiée. Indépendamment de l'effet du vent on tient compte, pour la construction des aires de protection, d'une erreur forfaitaire dans le cap suivi.

Cette erreur est la conséquence de la combinaison de plusieurs erreurs élémentaires : inexactitude éventuelle de la déclinaison magnétique, erreur du système de mesure du cap magnétique (compas magnétique, vanne de flux...), erreur dans la transmission de l'information (synchro, recalage manuel du gyro directionnel...) et imprécision de pilotage.

L'erreur globale est considérée comme inférieure ou égale à $\pm 5^\circ$.

Conséquences pratiques

La valeur globale de l'erreur admise ($\pm 5^\circ$) tenant compte d'erreurs élémentaires dont le pilote n'a pas connaissance, il doit, dans tous les cas, manœuvrer pour tenir le cap choisi avec la meilleure précision possible. L'idéal étant : écart lu égal à zéro.

2.4.3 Délais de perception des repères, délais de mise en virage

Perception

Un délai de **6 s** est pris en compte pour la perception des repères. Ce délai de perception se traduit par une tolérance de position qui vient s'ajouter aux incertitudes précédentes. Dans le cas de l'approche interrompue (MAPT ou TP), ce délai est réduit à **3 s**.

Mise en virage

Lorsqu'un virage doit être initié au passage d'un repère, ou au bout d'un segment minuté, on retient un délai maximum de **5 s** pour obtenir l'inclinaison de 25°.

Dans le cas de l'approche interrompue, ce délai est réduit à **3 s** pour une inclinaison de 15°.

Remarque : Dans le cas d'un virage à un point de cheminement «par le travers» (trajectoire RNAV), il n'est pas considéré de délai de mise en virage, le système RNAV étant supposé en tenir compte.

Conséquences pratiques

Les délais de mise en virage sont des éléments de calcul et ne doivent en aucun cas être considérés comme des tolérances par le pilote. Par ailleurs, pour la mise en virage, compte tenu du mode de calcul, il n'est pas prévu que le pilote cherche à virer avant la perception du repère de virage.

2.4.4 Température

Les dimensions dans le **plan horizontal** des aires de protection sont normalement établies en considérant une température supérieure de 15° à la température standard au niveau considéré. Toutefois, dans certains cas particuliers, l'existence de statistiques de température peut être utilisée pour la prise en considération d'une température maximale différente de celle qui résulterait de l'application de la règle énoncée plus haut.

Note : voir le chapitre 4.2 en ce qui concerne les conséquences de la température sur les marges minimales de franchissement d'obstacles dans le **plan vertical**.

2.4.5 Vitesse

Les performances des aéronefs ont une incidence directe sur l'exécution de certaines manœuvres. L'élément le plus important à cet égard est la vitesse. Les catégories d'aéronefs typiques indiquées au tableau ci-après sont fondées sur leur vitesse en approche finale.

Pour chaque phase de l'approche et chaque catégorie d'aéronefs sont définies des plages de vitesses indiquées (VI) (mentionnées dans le tableau ci-après), tenant compte des vitesses qui sont nécessaires lorsque l'aéronef exécute les manœuvres spécifiées. Dans les calculs utilisés pour la construction des procédures, on fait intervenir la vitesse propre, cette dernière étant déterminée à partir de la vitesse indiquée, en fonction de l'altitude et de la température considérées.

H Catégories d'aéronefs et vitesses indiquées correspondantes pour les différents segments de la procédure

Définition des catégories		Plages des vitesses utilisées pour la protection des procédures				
Catégorie d'aéronef	Vat (a)	Vitesse d'approche initiale (b) mini/maxi	Vitesse d'approche finale mini/maxi	Vitesse maxi pour manœuvres à vue (MVI ou MVL)	Vitesse maximale pour approche interrompue	
					initiale et intermédiaire	finale
A	< 91	90/150	70/110	110	110	110
B	91/120	120/180 (170-(b))	85/130	135	130	150
C	121/140	160/240 (220-(b))	115/160	180	160	240
D, DL (c)	141/165	185/250 (220-(b))	130/185	205	185	265
E	166/210	185/250 (220-(b))	155/230	240	230	275

(les vitesses sont exprimées en nœuds)

(a) Vat = égale à la vitesse de décrochage V_{so} multipliée par 1,3 ou à la vitesse de décrochage V_{s1g} multipliée par 1,23 dans la configuration d'atterrissage à la masse maximale certifiée à l'atterrissage suivant le cas.

(b) vitesse maximale pour procédures d'inversion ou en hippodrome.

(c) Les différences entre les catégories d'aéronefs D et DL concernent les conditions normalisées (dimensions) pour les approches ILS/MLS.

Ainsi, pour la détermination de l'OCH d'une procédure ILS, une catégorie d'aéronefs DL a été créée. Dès lors, la dimension des aéronefs à prendre en compte dans le calcul de l'OCA/H est définie dans le tableau suivant :

H

Catégorie d'aéronefs	Demi-Envergure (m)	Distance verticale entre la trajectoire des roues et la trajectoire de l'antenne de radioalignement de descente (m)
A,B	30	6
C,D	32,5	7
DL	40	8

Note : L'OCA/H pour les aéronefs de la catégorie DL est publiée quand nécessaire.

Le changement ne concerne pas les catégories d'aéronefs A et B.

La révision des OCH et des minimums opérationnels associés si nécessaire, pour les catégories d'aéronefs C et D sera effectuée de manière progressive :

- pour l'élaboration de nouvelles procédures, les nouvelles dimensions sont prises en compte.
- pour les procédures existantes, la révision s'effectue selon un programme préétabli.

Pour un segment particulier, l'emploi d'une procédure peut être limité à une vitesse V_I maximale différente de celles mentionnées dans le tableau. Toute restriction de vitesse est systématiquement publiée.

Les vitesses indiquées ci-dessus sont celles de la réglementation française. Le document de l'OACI (PANS-OPS DOC 8168 Volume II) présente quelques différences qu'il est bon de connaître puisqu'un grand nombre d'États appliquent strictement les spécifications de l'OACI. Dans la colonne "vitesse d'approche initiale", on peut noter les différences suivantes :

Cat A : 90/150 (110 (b))

Cat B : 120/180 (140 (b))

Cat C, D, E : il n'est pas prévu de limitation de vitesse pour les procédures d'inversion ou en hippodrome.

Pour la catégorie A et dans les colonnes "finale (maxi)", "manœuvres à vue" et "approche interrompue initiale et intermédiaire", remplacer 110 par 100.

Enfin, certains pays appliquent comme la France, une réglementation nationale présentant des différences par rapport à l'OACI. Celles-ci sont normalement indiquées dans l'AIP partie GEN 1.7 du pays concerné en application des recommandations de l'Annexe 15 de l'OACI

H Vitesse d'attente

La vitesse maximale prise en compte est la vitesse propre correspondant à la vitesse indiquée figurant dans le tableau ci-après :

Altitude pression en centaines de pieds	Vitesse indiquée normale (kt)	Vitesse indiquée en turbulence (a)
0 à 140	230 (170 (b))	230 (170 (b))
150 à 200	240	La plus faible des deux vitesses 280 kt ou MACH 0,8
210 à 340	265	
supérieure à 340	MACH 0,83	MACH 0,83

(a) : La vitesse réservée pour les conditions de turbulence ne sera utilisée pour l'attente qu'après autorisation de l'ATC, sauf si les publications qui s'y rapportent indiquent que l'aire d'attente convient aux aéronefs évoluant à ces vitesses élevées d'attente.

(b) : Vitesse indiquée pour Cat A et B.

Conséquences pratiques

Les vitesses maximales **d'attente, d'hippodrome et d'inversion** sont systématiquement publiées mais les autres vitesses ne le sont pas si elles respectent le tableau (seules les restrictions de vitesses sont publiées). Le pilote doit donc s'efforcer de connaître les plages de vitesse pour la catégorie d'aéronef qui le concerne.

2.4.6 Inclinaison

Dans l'établissement des procédures et des aires associées, les rayons de virage sont calculés pour une inclinaison de 25° ou un taux de virage de 3°/s (si l'inclinaison qui en résulte est inférieure à 25°).

Pour les départs initiaux et l'approche interrompue l'inclinaison considérée est de 15°. Les manœuvres à vue libres considèrent un angle de 20°.

Remarque : lors de l'exécution de manœuvres à vue imposées (VPT), il n'est pas tenu compte de la cadence à 3°/s et seule l'inclinaison de 25° est considérée.

Conséquences pratiques

Pour les phases autres que les manœuvres à vue, le pilote doit maintenir une inclinaison égale ou supérieure à celle résultant des hypothèses retenues.

Dans le cas des manœuvres à vue (circling), l'essentiel est :

- pour une trajectoire imposée (VPT voir § 4.6) : de suivre au plus près la trajectoire imposée ;
- pour une trajectoire libre (MVL voir § 4.6) : de rester dans les limites de l'aire (une évolution normale le permet, l'aire étant confortablement dimensionnée).