dgac

STAC

Aides visuelles pour lutter contre les incursions sur piste

État de l'art et projets

Rapport d'étude

Ressources, territoires, habitats et logement
Énergies et climat
Développement durable
Prévention des risques
Infrastructures, transports et mer

Présent pour l'avenir

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement

service technique de l'Aviation civile

www.stac.aviation-civile.gouv.fr

dgac

STAC

Aides visuelles pour lutter contre les incursions sur piste

État de l'art et projets

Rapport d'étude

Service technique de l'aviation civile
Département Sûreté, Équipements

Rédacteur Vincent SIMONNET

Vérificateurs Myriam CHEZE
Jean-Louis PIRAT

Approbateur Thierry MADIKA

Janvier 2011

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION 4
1.1. PROBLEMATIQUE 4
1.2. POINTS TRAITES DANS LE CADRE DE L'ETUDE 4
1.3. LIMITES DE L'ETUDE 4
2. DOCUMENTS DE REFERENCES 5
3. METHODOLOGIE 5
4. ETAT DE L'ART 5
4.1. MARQUES 5
4.1.1. Préambule 5
4.1.2. Marques de point d'arrêt avant piste 6
4.1.3. Marques d'obligation 6
4.1.4. RWY ahead 7
4.1.5. Voies de service 7
4.2. FEUX 7
4.2.1. Préambule 7
4.2.2. Feux de protection de piste 7
4.2.3. Barres d'arrêt 8
4.2.4. Feux axiaux de voie de circulation 8
4.3. PANNEAUX 8
4.3.1. Préambule 8
4.3.2. Panneaux d'entrée interdite, panneaux d'identification de piste, panneaux de point d'arrêt catégorie I, II ou III, panneaux de point d'arrêt avant piste 9
4.3.3. Panneaux indicateurs de point d'arrêt sur voie de service 9
4.4. ENTRETIEN DES MARQUES, FEUX ET PANNEAUX 9
4.5. SYNTHESE 9
5. PROJETS D'AIDES VISUELLES 9
5.1. BARRE D'ARRÊT 10
5.2. MARQUAGE AXIAL AMÉLIORÉ (ENHANCED TAXIWAY CENTRELINE MARKING) 10
5.2.1. Principe 10
5.2.2. Avis critique 10
5.3. FINAL APPROACH RUNWAY OCCUPANCY SYSTEM (FAROS) 11
5.3.1. Principe 11
5.3.2. Avis critique 11
5.4. RUNWAY STATUS LIGHT SYSTEM (RWSL) 11
5.4.1. Principe 11
5.4.2. Avis critique 13
5.5. MARQUAGE RUNWAY AHEAD 14
5.5.1. Principe 14
5.5.2. Avis critique 14
5.6. RIPCAS (RUNWAY INCURSION PREVENTION AND CREW ALERTING SYSTEM) 14
5.6.1. Principe 14
5.6.2. Avis critique 15
5.7. SYNTHESE 15
6. CONCLUSION 16
6 .1 EFFICACITE/PERTINENCE DES AIDES VISUELLES 16
6.2 PROPOSITIONS D'ACTION 16
6.2.1 Guide 16
6.2.2 Etudes 17

1. Introduction

1.1. Problématique

Dans le cadre de la mise en œuvre du PSE (Programme de Sécurité de l'Etat), DSAC/MEAS a mandaté trois groupes de travail chargés de définir des plans d'actions dans leurs domaines respectifs. L'un de ces groupes de travail, le « GTIP » (groupe de travail incursions sur piste), est chargé de l'étude de l'événement indésirable que constitue « l'incursion sur piste ». DSAC/MEAS souhaite notamment que le GTIP réalise une étude sur les aides visuelles permettant de lutter contre les incursions sur piste. Il a donc été demandé au STAC de réaliser cette étude.

1.2. Points traités dans le cadre de l'étude

Les incursions sur piste sont un risque majeur sur les aéroports.
Les aides visuelles constituent globalement un moyen assez simple de prévenir les incursions sur piste : une marque et/ou un balisage lumineux prévient le pilote de la proximité de la piste. Elles doivent ainsi permettre au pilote ou au conducteur de véhicule de rester toujours pleinement conscient de sa situation. Toutefois, l'efficacité de ces aides peut être réduite par les aléas météorologiques (mauvaise visibilité, contamination de la piste et des voies de circulation). De plus, il apparaît que, même en très bonnes conditions météorologiques, les moyens mis en œuvre en termes d'aides visuelles ne suffisent pas à prévenir l'incursion sur piste.
L'objectif de ce document est donc de présenter un état de l'art des aides visuelles permettant de prévenir les incursions sur piste (état de l'art basé sur la réglementation française et internationale) mais aussi les différents projets ou expérimentations existantes sur le sujet (discutés au VAWG (*visual aids working group*) du *panel aerodrome* de l'OACI).
Avant d'aborder la suite, il convient d'avoir à l'esprit les différents contextes d'exploitation que peut connaître une plateforme aéroportuaire. De façon schématique, on distinguera simplement deux « types » d'exploitation :

- L'exploitation par ce que l'on qualifiera de « conditions d'exploitation dégradées» (conditions LVP (*low visibility procedure*) ou de nuit) où l'attention du pilote est focalisée sur l'axe à tenir au roulage et où les vitesses d'évolution sont faibles. Il est clair que la nuit ne présente pas systématiquement de « mauvaises conditions de visibilité », toutefois, vis-à-vis des aides visuelles, on se retrouve dans une situation d'exploitation relativement proche. Cette formulation par abus de langage n'a ici qu'une valeur organisationnelle des cas de figure.
- L'exploitation par bonnes conditions météorologiques de jour où l'attention du pilote est plus dispersée (son regard porte beaucoup plus loin, sur un champ plus large) et les vitesses d'évolutions sont plus élevées.

De même, les incursions sur piste concernent non seulement les pilotes mais également les conducteurs de véhicules qui évoluent sur l'aire de manœuvre.
En conséquence, il apparaît que les aides visuelles doivent s'adapter à différents contextes environnementaux et différents acteurs. On s'attachera donc dans la suite du document à revenir en permanence sur ces contextes d'exploitation pour juger de la pertinence de l'aide visuelle. Il sera donc mis en évidence dans chaque cas les bénéfices et inconvénients, sommairement justifiés dans ce document, des aides visuelles étudiées. Bénéfices et inconvénients seront ainsi synthétisés dans un simple tableau en fin de paragraphe.

1.3. Limites de l'étude

Le projet concerne une étude visant à lister les aides visuelles utilisées ou envisagées pour lutter contre les incursions sur piste. Toutefois, la fiche de projet [1] référence le produit de cette étude comme un guide (§ exigence interne). Dans l'immédiat, la prestation ne peut que se limiter à fournir un outil de travail au groupe de travail « Incursion sur piste » (GTIP). Le développement d'un guide est une étape à envisager ultérieurement après les travaux du GTIP.
De même, l'étude se limite aux balisages mis en œuvre sur les pistes revêtues. Les bandes gazonnées ne seront pas abordées dans ce document.

2. Documents de références

[1] Fiche projet DSAC-STAC « Etude sur les aides visuelles pour lutter contre les incursions sur piste » du 27 avril 2009
[2] Contrat de service DSAC-STAC
[3] Arrêté du 28 août 2003 modifié – Conditions d'homologation et d'exploitation des aérodromes (CHEA)
[4] OACI Annexe 14 volume I, Cinquième édition, juillet 2009 incluant les amendements 1 à 10-B
[5] FAA Advisory Circular 150/5340-1 : Standards for airport markings
[6] Enhancing Airport Surface Markings to support pilot awarness about runway location, P.M. Moertl, S.L. Estes, C.R. Andrews, O.B. Olmos, MITRE
[7] Effects of a final approach runway occupancy signal (FAROS) on pilots' flight path tracking, traffic detection and air traffic control communications, J. Helleberg, MITRE
[8] VAWG2 IP7, Runway incursion prevention initiative – THL&FAROS
[9] FAA Enginering Brief 64C, RWSL
[10] FAA Advisory Circular 150/5340-30 : Design and installation details for airport visual aids (Appendix 7 : RWSL)
[11] FAA Advisory Circular 150/5345-46 : Specifications for runway and taxiway light fixture
[12] VAWG7 – Compte-rendu de réunion
[13] VAWG5 DP9 – Runway Ahead Markings, Paul Fraser-Bennison UK CAA
[14] VAWG5 – Compte-rendu de reunion
[15] VAWG5 IP3 - Runway Incursion Prevention and Crew Alerting System (RIPCAS), Paolo Mazzaracchio, ENAC Italian CAA
[16] Communiquer par la couleur- Mesurer, reproduire, observer, vivre la couleur, A. Chrisment&P. Durchon, Dr P. Lanthony&I. Tavernier, éditions 3C

3. Méthodologie

La méthodologie utilisée a consisté à extraire des textes réglementaires français et issus de l'OACI les aides visuelles qui peuvent prévenir les incursions sur piste et à analyser leur utilisation.
Pour les projets d'aides visuelles, ils ont été identifiés lors des discussions du groupe de travail Aides Visuelles (VAWG) du panel Aerodrome de l'OACI et sont analysés.
Dans les deux cas, l'analyse experte porte sur la visibilité et la sémantique de l'aide visuelle dans les contextes d'utilisation mentionnés au paragraphe 1.2. L'analyse se fonde principalement sur des informations documentées et, dans la mesure du possible, référencées.
Dans les deux cas, l'analyse ne repose ni sur une collecte de données d'utilisation, ni sur des simulations, ni sur des analyses relatives aux facteurs humains. Par ailleurs, les aides visuelles sont analysées isolément et non comme un système, même si des critères d'harmonisation sont mis en avant.

4. Etat de l'art

Les paragraphes suivants décrivent les différents dispositifs d'aides visuelles actuellement mis en œuvre pour prévenir les incursions sur pistes. Ces dispositifs ont été repertoriés à partir de la réglementation internationale (annexe 14 de l'OACI) et de la réglementation française (CHEA).

4.1. Marques

4.1.1. Préambule

Le balisage par marque est plus utile par bonne condition météorologique de jour. De nuit ou par faible visibilité (conditions LVP), son intérêt est moindre. De même, la visibilité du marquage est réduite par temps de pluie, voire complètement nulle si les surfaces sont recouvertes de neige. La visibilité des marques est similaire pour le pilote et le conducteur de véhicule. Seul le point de vue (beaucoup plus bas dans une voiture que dans un cockpit de gros porteur) peut rendre la lecture des marques d'indication plus problématique pour le conducteur de véhicule. Toutefois, la marque d'indication vient renforcer la signalisation par panneau, voire la suppléer en cas d'impossibilité d'installation d'un panneau. En conséquence, on peut imaginer qu'il est plus aisé pour le conducteur de véhicule de se

perdre sur la plateforme. Toutefois, cela n'engage a priori pas la sécurité vis-à-vis de l'incursion sur piste.
L'annexe 14 (et le CHEA qui reprend les dispositions de l'annexe 14) prévoit une distinction claire entre les marques de voies de circulation (notamment marques axiales et latérales de voie de circulation et de point d'arrêt avant piste, de couleur jaune) et les marques de pistes (notamment marques axiales et latérales, de couleur blanche). Cette distinction importante permet une levée de doute pour le pilote (ou le conducteur de véhicule) et évite par là même des incursions sur pistes. Il faut tout de même noter que certaines marques sont de couleur jaunes sur la piste (aire à portance réduite, prolongement d'arrêt, raccordement aux axes de voie de circulation, aire de demi-tour). Cependant seul le raccordement aux axes de voie de circulation peut porter à confusion car la marque latérale de piste (blanche) peut être interrompue à l'intersection. En conséquence, le changement de couleur marquant l'entrée sur la piste est moins flagrant.

Marques : généralités	
Bénéfices	***Inconvénients***
Distinction piste/voies de circulation	Moins efficace de nuit et par temps de pluie. Inefficace sous la neige.
-	Lisibilité des indications inégale en fonction du point de vue (conducteur de véhicule)
-	-

4.1.2. Marques de point d'arrêt avant piste

Les marques de point d'arrêt « ceinturent » la piste et doivent ainsi prévenir toute incursion intempestive: l'entrée sur la piste est clairement matérialisée.
Il existe deux types de point d'arrêt (dits configuration A et B dans le CHEA et dans l'annexe 14). La configuration A est toujours installée : elle l'est au point d'arrêt le plus proche de la piste en cas de points d'arrêt multiples. La configuration B est utilisée, en cas de points d'arrêts multiples, pour les points d'arrêt les plus éloignés de la piste.
Il est à noter que la multiplication des points d'arrêt nuit à l'efficacité de l'aide visuelle dans la prévention des incursions sur piste. En effet, même si elle est bien visualisée par le pilote (ou le conducteur de véhicule), elle peut être mal interprétée (poursuite du roulage dans l'attente du point d'arrêt suivant). Aussi, il convient de ne pas multiplier le nombre de points d'arrêt avant piste et de les limiter à deux (par accès piste). Une recommandation allant dans ce sens est en cours d'élaboration par le VAWG. Elle est déjà mise en œuvre en France.
Pour les points d'arrêt sur voie de service, le marquage est conforme à la réglementation routière (cf. § 4.1.5).

Marques de point d'arrêt	
Bénéfices	***Inconvénients***
Ceinture la piste	La multiplication des marques de point d'arrêt nuit à leur efficacité

4.1.3. Marques d'obligation

Une marque d'obligation (inscription blanche sur fond rouge) est apposée sur la surface de la chaussée dans le cas où il n'est pas possible d'installer physiquement des panneaux des deux cotés de la voie de circulation (ou en complément des panneaux). Le CHEA prévoit que la marque d'obligation est située à gauche de la marque axiale de voie de circulation (sauf la marque « NO ENTRY » qui peut être centrée). L'annexe 14 prévoit que la marque d'obligation soit centrée (voie de circulation de code A, B, C et D) voire doublée symétriquement à l'axe (code E et F).
La marque d'obligation renforce la signalisation diurne du point d'arrêt.

Marques d'obligation	
Bénéfices	***Inconvénients***
Renforcement diurne du point d'arrêt	Implantation différente dans le CHEA et l'annexe 14

4.1.4. RWY ahead

La marque « RWY AHEAD » est prévue dans le CHEA mais pas retenue dans l'annexe 14 de l'OACI. De fait, son utilisation n'est pas généralisée à travers le monde. Il s'agit d'une inscription blanche sur fond rouge, centrée sur l'axe de voie de circulation, côté voie de circulation. Elle est installée au point d'arrêt avant piste le plus proche de la piste. De fait, elle ne prévient pas forcément l'incursion sur piste (si le point d'arrêt est situé en amont).
Globalement, son efficacité est reconnue pour le marquage complémentaire des points d'arrêt les plus critiques, notamment dans le cas de doublet de pistes. La marque « RWY AHEAD » renforce la signalisation diurne du point d'arrêt. Elle reste toutefois très similaire à une marque d'obligation (cf. § 4.1.3). Ce point est également discuté au § 5.5.
Le fait qu'une aide visuelle n'est pas systématique pose régulièrement le problème de la dilution de l'aide visuelle. Ce problème peut se poser dans le cas du marquage « RWY AHEAD ». La multiplication des marques « RWY AHEAD » peut provoquer un phénomène d'habitude chez les usagers, qui peut être source d'une erreur future, par inattention, dans une configuration où la marque n'est pas en place. Ce débat n'est pas vraiment tranché.

Marques Runway Ahead	
Bénéfices	***Inconvénients***
Renforcement diurne du balisage du point d'arrêt	Non prévu à l'annexe 14 (non généralisé)
-	Fait doublon avec les marques d'obligation

4.1.5. Voies de service

Les voies de service bénéficient d'un marquage aux intersections avec la piste : marque de point d'arrêt sur voie de service. Ces marques ne s'appliquent pas aux pilotes mais aux conducteurs de véhicule. Elles doivent être conformes à la réglementation routière en vigueur. Toutefois, il convient de noter que les voies de service dont l'accès est interdit ne disposent pas de ces marques.

4.2. Feux

4.2.1. Préambule

Vis-à-vis de la prévention des incursions sur piste, les feux de balisage interviennent naturellement par « conditions d'exploitation dégradées » (de nuit ou en condition LVP, cf. § 1.2) mais également par bonne visibilité (de jour). Les moyens utilisés sont, par contre, différents. En effet, de jour par bonne condition de visibilité, ce sont les aides visuelles clignotantes (couleur jaune) qui auront la plus grande efficacité pour alerter le pilote (ou le conducteur de véhicule) de la situation (approche de la piste). En effet, le clignotement jaune est bien visible en vision périphérique. Par très forte luminance, il est évident que les feux seront moins visibles. Les feux fixes rouges ne sont, quant à eux, que d'un intérêt limité par bonne condition de visibilité de jour (avec les performances photométriques actuellement requises). Toutefois, il faut reconnaître que la couleur rouge est plus rapidement reconnue comme telle (cf. [16])
Par temps de pluie ou lorsque que les surfaces sont recouvertes de neige, les feux suppléent aux marques rendues moins voire plus visibles du tout.
Les feux peuvent être encastrés dans la piste ou les voies de circulation. Dans ce cas, ils peuvent temporairement être masqués par de la neige (les feux, même à LED, dégagent une chaleur suffisante pour la faire fondre, dans des délais différents). Les feux peuvent aussi être hors-sol et restent donc visibles même si la piste ou les voies de circulation sont contaminées.
Comme pour les marques, le codage couleur est globalement différent sur la piste et les voies de circulation (à l'exception de vert et du rouge) qui permet une distinction, et le cas échéant une levée de doute, de la zone d'évolution.

4.2.2. Feux de protection de piste

Il y a deux configurations de feux de protection de piste qui permettent de rendre une intersection piste/voie de circulation plus visible. Les feux de protection pistes sont des feux prévus au titre du CHEA et de l'annexe 14. Ce sont donc des configurations normalisées.
Les feux de configuration A sont constitués de deux paires de feux jaunes clignotants de part et d'autre de la voie de circulation. Ces feux sont plus efficaces lorsque le pilote balaie un large champ visuel

(typiquement par bonnes conditions de visibilité). Cette configuration est sans doute un peu moins efficace dans des situations de voie de circulation assez large et d'avion assez bas (le champ visuel est plus resserré).
Les feux de configuration B sont des feux jaunes clignotants encastrés au travers de la voie de circulation. L'efficacité des ces feux est réelle pour améliorer la visibilité du point d'arrêt. Etant en travers de la voie de circulation, le clignotement attire assez facilement l'attention du pilote (ou du conducteur de véhicule) aux abords de la piste. Par contre, ils ne peuvent pas être installés quand une barre d'arrêt est déjà installée.

Feux de protection de piste	
Bénéfices	***Inconvénients***
Renforcement de la visibilité du point d'arrêt	-
Efficace en vision périphérique (par bonnes conditions de visibilité) et en « attention dispersée »	-

4.2.3. Barres d'arrêt

Les barres d'arrêt sont obligatoires sur les aérodromes avec pistes homologuées pour approche de précision catégorie II ou III (sauf conditions particulières). Elles doivent prévenir l'incursion d'avion (ou de véhicule) à moins de 150 mètres de l'axe de piste. Elles prennent la forme de feux rouges continus encastrés en travers de la voie de circulation. Ils sont complétés par deux paires de feux hors-sol de chaque côté de la voie de circulation. Les barres d'arrêt sont prévues au titre du CHEA et de l'annexe 14, avec des conditions de mise en œuvre légèrement différentes.
Ce genre de feux n'est utile que par mauvaises conditions de visibilité. Ils ne sont pas forcément visibles par bonnes conditions de visibilité de jour (avec les performances photométriques actuelles). Toutefois, des études sont en cours pour étendre leur utilisation par toutes conditions de visibilité (cf. 5.1).

Feux : barre d'arrêt	
Bénéfices	***Inconvénients***
Renforcement de la visibilité du point d'arrêt	Obligatoire pour les (limités aux) pistes avec approche Cat II ou cat III et/ou décollage par RVR<150m (hors cas spécifique ; l'annexe 14 les rend obligatoire pour des RVR<550m)

4.2.4. Feux axiaux de voie de circulation

Les feux axiaux de voie de circulation sont des aides précieuses pour le roulage des aéronefs. Ils assurent un guidage sur les voies de circulation à emprunter. Ils sont rendus obligatoires pour des RVR inférieures à 350 mètres. Dans le cadre des incursions sur piste, leur fonctionnement est associé à celui des barres d'arrêt. Un segment de confirmation est éteint quand la barre d'arrêt est allumée. Cela crée naturellement un « espace vide » (sans guidage visuel) qui prévient toute incursion par le pilote ou le conducteur de véhicule. Toutefois, il faut relever qu'une mauvaise installation peut également être génératrice d'incursion sur piste. Le VAWG a en effet relevé de possibles mauvaises installations, mais conformes à la réglementation, qui pouvaient conduire à des informations trompeuses fournies aux pilotes. Aussi, une recommandation est en cours afin de ne pas baliser un axe de voie de circulation en sens interdit (balisage dans le sens praticable uniquement).

Feux axiaux de voie de circulation	
Bénéfices	***Inconvénients***
Fonction de guidage	Installations potentiellement trompeuses
-	Obligatoire par RVR inférieure à 350m

4.3. Panneaux

4.3.1. Préambule

Des panneaux de signalisation sont installés pour donner une instruction obligatoire, des renseignements sur un emplacement ou une destination particulière sur l'aire de mouvement ou pour donner d'autres renseignements nécessaires pour la circulation de surface de l'aérodrome. Les panneaux destinés à être utilisés de nuit avec une piste aux instruments ou lorsque la RVR est inférieure

à 800 mètres sont éclairés. Sur l'aire de mouvement, seuls les panneaux d'obligation comportent la couleur rouge (inscription blanche sur fond rouge). Ils permettent d'attirer l'attention du pilote sur la proximité de la piste et ainsi de lutter contre les incursions sur piste.

4.3.2. Panneaux d'entrée interdite, panneaux d'identification de piste, panneaux de point d'arrêt catégorie I, II ou III, panneaux de point d'arrêt avant piste

Les panneaux sont disposés des deux côtés de la voie de circulation. Les panneaux d'identification de piste et de point d'arrêt catégorie I, II ou III présentent des surfaces importantes. On peut considérer qu'ils peuvent difficilement échapper au champ visuel du pilote. Les panneaux d'entrée interdite et de point d'arrêt avant piste sont plus petits. Il est difficile d'estimer les risques de non perception par le pilote (notamment par très bonnes conditions de visibilité de jour et roulage à vitesse élevée).
Toutefois, vis-à-vis des incursions sur piste, c'est réellement la multiplication des points d'arrêt qui peut poser problème (cf. § 4.1.2).

Panneaux d'obligation	
Bénéfices	***Inconvénients***
Visibilité par le contraste et la surface	-

4.3.3. Panneaux indicateurs de point d'arrêt sur voie de service

Les voies de services bénéficient d'un panneautage aux intersections avec la piste. Ces panneaux ne s'appliquent pas aux pilotes mais aux conducteurs de véhicule. Ils doivent être conformes à la réglementation routière en vigueur. Toutefois, il convient de noter que les voies de service dont l'accès est interdit ne disposent pas de ces panneaux. Les panneaux retro-réfléchissants sont possibles pour une exploitation de nuit.

4.4. Entretien des marques, feux et panneaux

Afin de maintenir dans le temps leurs performances, les aides visuelles (marques, feux et panneaux) font l'objet d'un entretien préventif régulier.

4.5. Synthèse

Le CHEA et l'annexe 14 de l'OACI présentent un large éventail d'aides visuelles permettant de prévenir les incursions sur piste par une bonne signalisation du rapprochement de la piste. Les différentes aides visuelles (marques, feux et panneaux) correspondent à des situations de visibilité différentes.
Cependant, tous les dispositifs prévus par le CHEA et l'annexe 14 ne sont pas forcément mis en œuvre ou pleinement mis en œuvre sur les terrains français. A titre d'exemple, il est possible de généraliser le renforcement de la signalisation d'un point d'arrêt par des marques d'obligation, voire, s'il y a lieu (notamment pour un « hot spot ») d'un marquage RWY AHEAD. Dans le cas d'infrastructures complexes, des feux axiaux allumés par segment peuvent grandement faciliter le guidage des aéronefs au sol et éviter des cheminements erronés, potentiellement à l'origine d'une incursion sur piste. Enfin, les feux de protection de piste configuration B sont peu usités. Ils semblent pourtant donner de bons résultats.
Pour conclure, il convient de rappeler que, même si l'on dresse ici des cas généraux, chaque terrain fait apparaître une problématique qui lui est propre. Il s'avère généralement fructueux de mener au cas par cas les études nécessaires pour trouver, dans le large dispositif d'aides visuelles possibles, le moyen le plus efficace dans le contexte local.

5. Projets d'aides visuelles

Divers projets d'aides visuelles ne figurant pas dans le CHEA et l'annexe 14 de l'OACI sont à l'étude ou en expérimentation à travers le monde. Ce paragraphe résume très brièvement les projets connus, en donne le principe et exprime un avis critique.

5.1. Barre d'arrêt

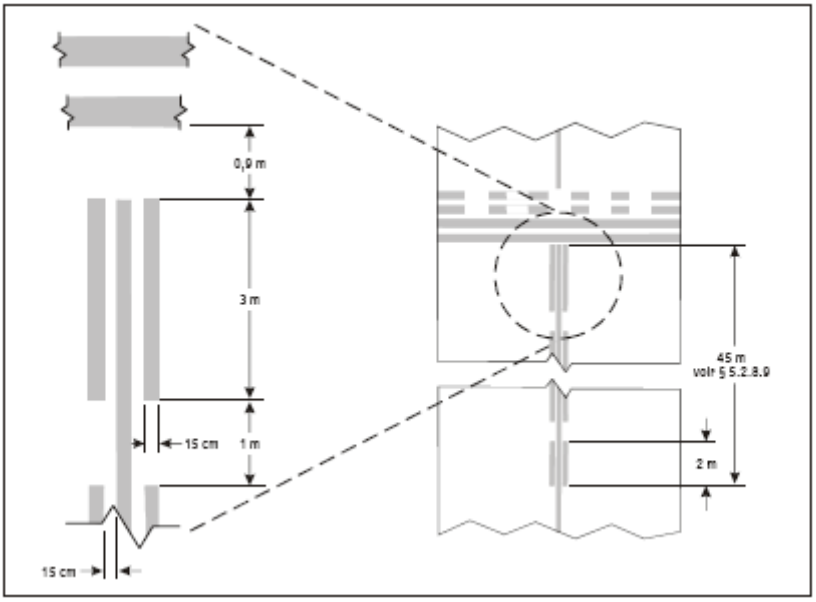
Les barres d'arrêt sont une aide visuelle déjà en place. Toutefois, des études (FAA et Eurocontrol) sont en cours pour étendre leur utilisation 24 heures sur 24. Il convient notamment de revoir les exigences photométriques des feux afin qu'ils soient perçus par forte luminosité.

5.2. Marquage axial amélioré (enhanced taxiway centreline marking)

Note : cette aide visuelle apparaît dans le paragraphe « projet » de ce document. Toutefois, il convient de noter qu'elle vient de faire son apparition dans la cinquième édition de l'annexe 14 (amendement 10-A). Elle n'est, pour le moment, par reprise dans la réglementation française. En conséquence, cette aide visuelle est abordée ici.

5.2.1. Principe

Le principe consiste à mettre en place un marquage axial de taxiway distinct à l'approche des points d'arrêt. Plus précisément, la ligne jaune axiale est complétée de part et d'autre d'un marquage pointillé jaune sur une distance pouvant aller jusqu'à 45 mètres en amont d'un point d'arrêt. Le marquage axial amélioré est illustré dans la figure ci-dessous :



Le projet a été porté par la FAA (cf. [5]) qui l'a mis en œuvre sur des terrains américains (67 terrains les plus denses). L'annexe 14 recommande la mise en place de marques axiales améliorées de voie de circulation « lorsqu'il est nécessaire d'indiquer la proximité d'un point d'arrêt avant piste » (cf. [4]). De fait, l'installation n'est pas obligatoire sur un aérodrome. Toutefois, si elles sont utilisées, elles doivent être présentes à chaque intersection d'une voie de circulation et d'une piste.

5.2.2. Avis critique

Il s'agit d'une aide visuelle supplémentaire qui va surcharger la quantité d'information déjà conséquente au point d'arrêt. Par ailleurs, le marquage amélioré s'étend de 45 mètres à partir du marquage de point d'arrêt schéma A. Cela signifie, pour une piste avec deux points d'arrêt (à 90 et 150 mètres), que le marquage amélioré n'est d'aucune utilité lorsque le point d'arrêt CATIII est actif. La prise en compte par le pilote d'une information complémentaire pas très porteuse de sens, voire porteuse de confusion, n'est pas évidente. De même une application non systématique peut au contraire être génératrice d'incursion sur piste (cette remarque est valable, d'une manière générale, pour toutes les aides visuelles).
Par ailleurs, elle pose des problèmes d'application pratique notamment dans les cas de voie de circulation à 45 mètres d'un point d'arrêt mais conduisant à d'autres lieux de la plateforme (croisements). Dans ce cas, le marquage au sol devient confus.
En résumé, il s'agit d'une surcharge d'information pas forcément évidente à mettre en œuvre et dont les bénéfices ne sont pas évidents. Toutefois, le coût de mise en œuvre est réduit.

5.3. Final Approach Runway Occupancy System (FAROS)

5.3.1. Principe

Le principe consiste à améliorer la conscience de la situation des pilotes en approche finale en alertant lorsque la piste est occupée par clignotement du PAPI. Le concept suppose la mise en place d'un système de détection d'occupation de piste. Il a été développé par la FAA.
Le système est également appelé Flashing PAPI.

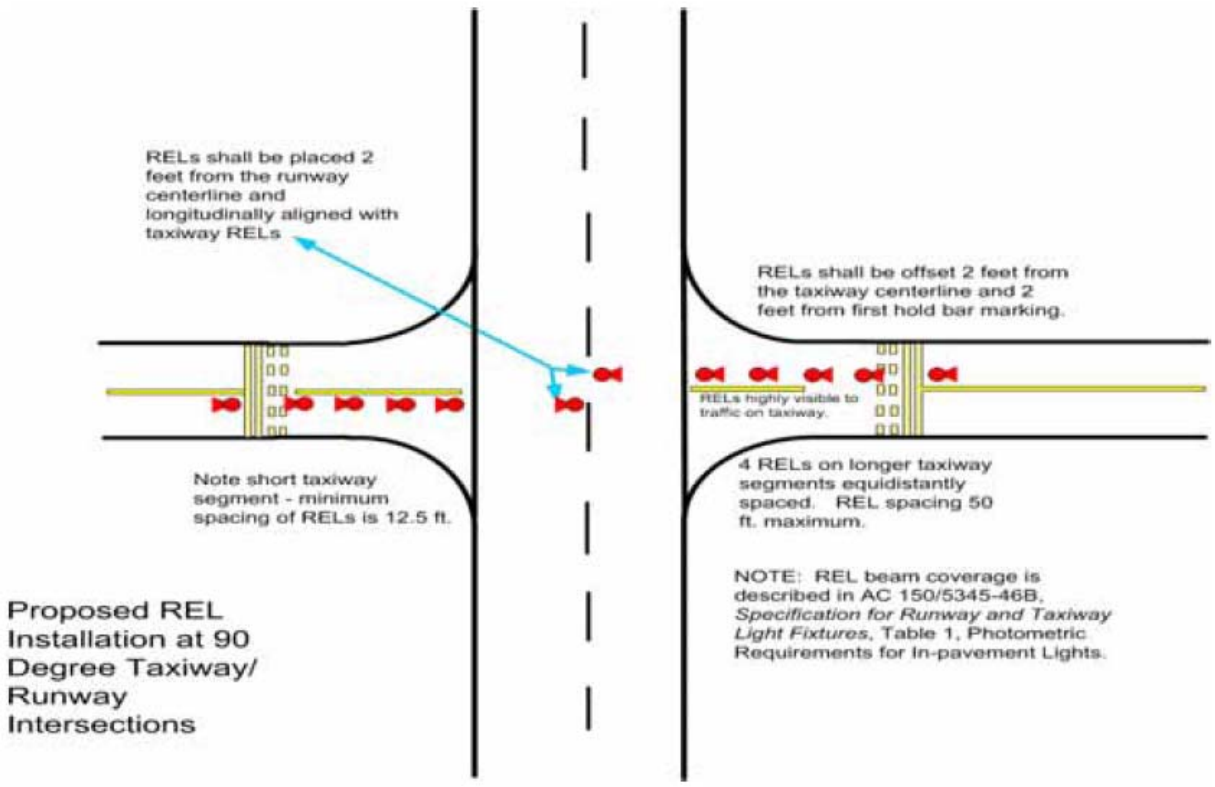
5.3.2. Avis critique

Le concept a été étudié par simulation (cf. [7]). Les résultats ne sont pas très probants mais il faut tenir compte d'un biais de simulation important. Des essais ont également été réalisés sur aéroport (Long Beach, Dallas et peut-être d'autres sites).
Le concept détourne un système existant (le PAPI) de sa fonction première (le guidage sur pente d'approche). Dès lors il faut se méfier de l'impact des modifications sur la tenue des performances les plus importantes. Le VAWG (cf. [8]) s'était inquiété des performances photométriques d'un PAPI clignotant. Le temps de réponse des unités PAPI basées sur des lampes halogène excluaient toute utilisation clignotante du PAPI (en maintenant les performances photométriques requises). Il est rappelé que les performances photométriques élevées sont requises et justifiées pour la perception de la pente d'approche par mauvaises conditions de visibilité, environnement fortement lumineux et à longue distance.
De plus, le concept suppose la mise en place d'un système de détection d'occupation de piste. Un tel système peut être complexe à mettre en œuvre et de fait limité à un nombre restreint d'aéroport au monde du fait de son coût. On ne trouve d'ailleurs pas d'information détaillée (transpondeurs, radar sol etc…) sur le système de surveillance et de détection, élément critique en terme de fiabilité et d'intégrité. Il est mentionné la possibilité de barrières micro-onde, qui controlées par une logique adéquate (pas forcément évidente à mettre au point) pourrait établir l'occupation de la piste.
On peut dès lors également s'interroger si les aides visuelles (support simple de communication) sont le meilleur médium pour faire passer une information aussi complexe à établir.
Enfin, le système n'est valable que dans de relativement bonnes situations météorologiques, quand le PAPI est utilisable.

5.4. Runway Status Light System (RWSL)

5.4.1. Principe

Le principe consiste à améliorer la conscience de la situation du pilote par l'ajout de nouveaux feux de piste et de voie de circulation (cf. [9] et [10]).
Pour prévenir de situations dangereuses liées à l'utilisation de la piste, des feux rouges complémentaires sont installés. Ainsi, des feux rouges supplémentaires (REL : runway entrance lights) sont positionnés en aval du point d'arrêt pour signifier directement au pilote sur le point d'entrer sur la piste (ou même en train d'entrer sur la piste) qu'un autre avion est en cours de décollage (au roulage au décollage, au dessus d'une certaine vitesse) ou en cours d'atterrissage (courte finale) sur cette piste.



Des feux rouges supplémentaires sur l'axe de piste cette fois-ci (THL : take-off hold lights) signalent à l'avion aligné sur la piste, dans le début de piste sur une distance de 450 mètres au moins, que celle-ci n'est pas libre en aval. La signalisation rouge l'engage à interrompre son décollage.

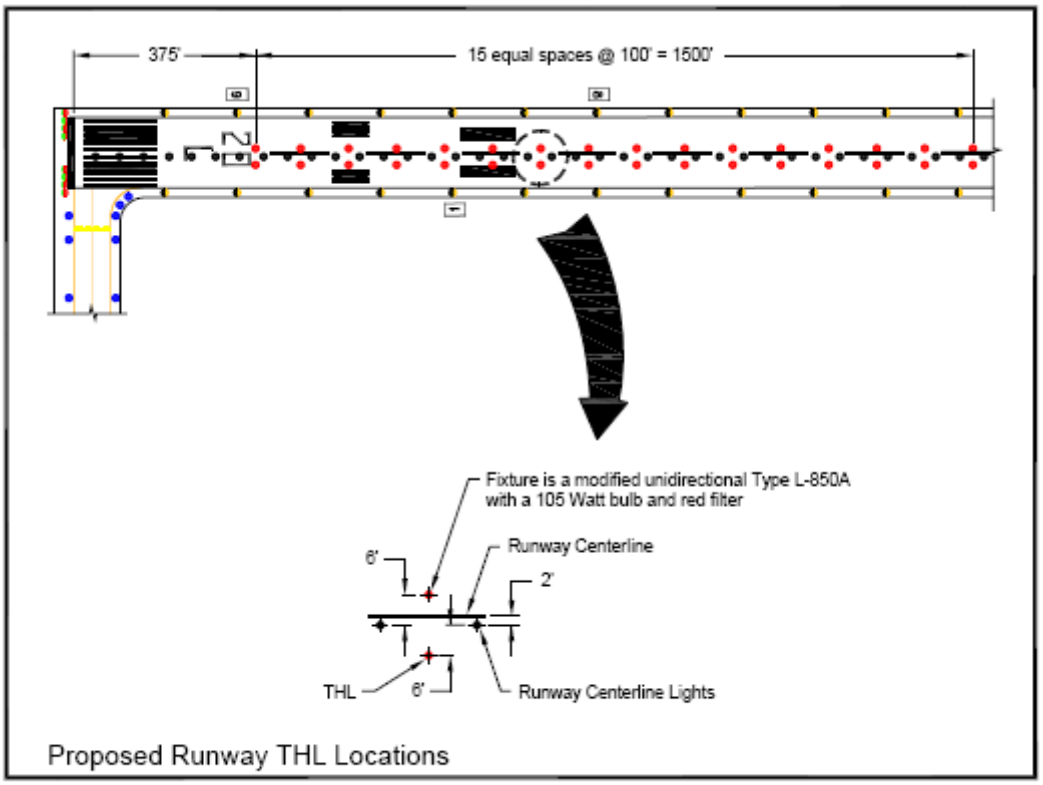


Figure 6. Takeoff/Hold Lights

Le concept suppose la mise en place d'un système mettant en œuvre une logique d'allumage et d'extinction des feux en fonction de la position et du déplacement des aéronefs et véhicules.

Le principe du RWSL provient de la FAA. Il est en service (ou expérimentation) sur les aérodromes de Dallas, San Diego, Los Angeles et Boston. La FAA a décidé d'équiper les principaux aéroports (une vingtaine au total). En France, un projet en cours vise à en installer sur l'aérodrome de Roissy CDG (sur les pistes intérieures).

5.4.2. Avis critique

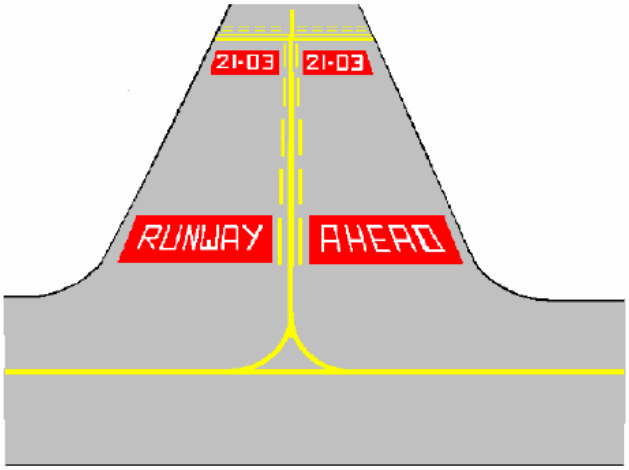
Le concept du RWSL a été discuté au sein du VAWG (cf. [12]). Le concept a fait l'objet d'un accord global. Le VAWG a retenu de promouvoir ce système et de le présenter au panel aérodrome de l'OACI[1].
De part le besoin d'un système de contrôle de mouvements de surface, le coût de mise en œuvre du système RWSL est très important. L'implantation d'un tel système est donc limitée aux aérodromes à très fort trafic, disposant des moyens financiers nécessaires.
Une enquête de la FAA auprès de pilotes fait état d'une réponse favorable en termes de compréhension, acceptabilité et efficacité. La FAA reporte également deux événements d'incursion où les feux THL sont intervenus. Dans les deux cas, il y a eu incursion sur piste. Les feux THL ont permis d'éviter toute conséquence grave (collision de l'appareil au décollage avec l'intrus traversant la piste). Les conditions exactes d'occurrence des incidents ne sont pas connues.
La FAA a défini des performances photométriques spécifiques pour les feu THL et REL (cf. [11]), avec des intensités largement supérieures aux feux de barre d'arrêt, qui remplissent globalement les mêmes fonctions que les feux REL, mais aussi supérieures aux feux d'axe de piste rouges, assez proches quant à eux des THL. Le VAWG n'a pas étudié la technologie sous-jacente de logique de contrôle des feux (hors de son périmètre de compétence) ni réellement les besoins en termes de performances photométriques. Les performances photométriques retenues par le VAWG sont celles requises pour des feux haute intensité d'axe de voie de circulation et de barre d'arrêt dans les sections rectilignes destinées à être utilisés dans des systèmes perfectionnés de contrôle et de guidage des mouvements à la surface aux endroits où des intensités lumineuses supérieures sont nécessaires (figures A2-17 à A2-19 de l'annexe 14 volume I).
Par mauvaises conditions de visibilité, il est clair que le système sera largement perçu par le pilote. Toutefois, ce n'est pas dans ces conditions de visibilité que les incursions sur piste sont les plus nombreuses, au moins en valeur absolue.
Par bonnes conditions météorologiques, il est plus difficile d'envisager une réelle plus-value du concept. En effet, par de bonnes conditions de visibilité, l'attention visuelle du pilote est reportée sur de longue distance : il est peu évident que des feux rouges soient très visibles par forte luminosité. Les aides visuelles clignotantes sont plus remarquables dans le champ visuel périphérique. Enfin, l'installation longitudinale de feux rouges n'est pas la plus significative pour marquer le besoin d'arrêt. Certes, la couleur rouge engage en ce sens. Toutefois, les pilotes sont habitués à rouler le long d'une ligne lumineuse rouge en fin de piste. Une organisation transversale des feux est en ce sens plus significative mais, il est vrai, elle doit être complétée par un autre moyen pour avertir le pilote du danger une fois la ligne traversée.
Enfin, le système RWSL est à envisager dans son ensemble, depuis les moyens de surveillance jusqu'au signal lumineux en passant par les logiques d'analyse et les systèmes de commande. La performance de la chaine complète doit être suffisante pour avertir les pilotes avant la réalisation de l'incursion.

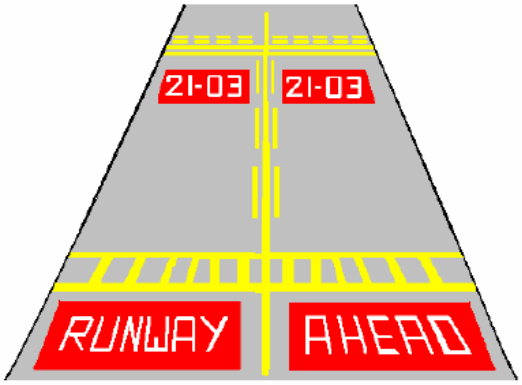
[1] Lors de son 6° groupe plénier celui-ci a résolu d'attendre avant de l'introduire comme nouvelles normes et pratiques recommandées ; en effet bien que le système apparaisse prometteur, il est actuellement en évaluation à Londres-Heathrow, Paris-CDG et Amsterdam-Schiphol. Les avis britanniques et hollandais sont réservés et Eurocontrol qui sponsorise moralement ces évaluations n'a pas soutenu la proposition du VAWG. Lors du dernier panel aerodrome (AP/2) du 10 au 14 octobre 2010, décision a été prise de ne pas introduire de norme et pratiques recommandées relatives au RWSL. Il a cependant été retenu d'introduire des diagrammes de feux dans les pages vertes de l'annexe 14 avec un pratique recommandée demandant une anlayse de risque préalable à l'installation de RWSL.

5.5. Marquage Runway Ahead

5.5.1. Principe

Un marquage « RWY AHEAD » est prévu dans le CHEA mais ne figure pas dans l'annexe 14. L'autorité britannique a quant à elle mis en place, en réponse au plan EAPPRI (European Action Plan for the Prevention of Runway Incursion) un marquage « RUNWAY AHEAD » (différent de celui décrit au paragraphe 4.1.4) illustré dans la figure ci-dessous (inscription blanche sur fond rouge) :





5.5.2. Avis critique

Le projet de marquage RUNWAY AHEAD a été proposé à plusieurs reprises aux réunions du VAWG. La dernière présentation date de juin 2008 (cf. [13]). Les arguments apportés pour la ré-introduction de ce marquage, en complément des marques d'obligation mentionnées au § 4.1.3, reposent sur le fait que ce marquage est beaucoup plus explicite sur le positionnement de l'avion (ou du véhicule) par rapport à la piste. Il est reproché aux marques d'obligation d'être une simple réplication des panneaux, sans apporter une information complémentaire.

Le VAWG a reconnu que le concept d'information de la proximité de la piste en amont du point d'arrêt était intéressante (cf. [14]). Toutefois, le groupe a jugé les couleurs d'obligation (inscription blanche sur fond rouge) inappropriées pour une information donnée en amont du point d'arrêt. Il a été demandé à l'auteur de la proposition de la revoir avec un marquage de couleur jaune/noir. A ce jour, il n'y a eu aucune suite donnée.

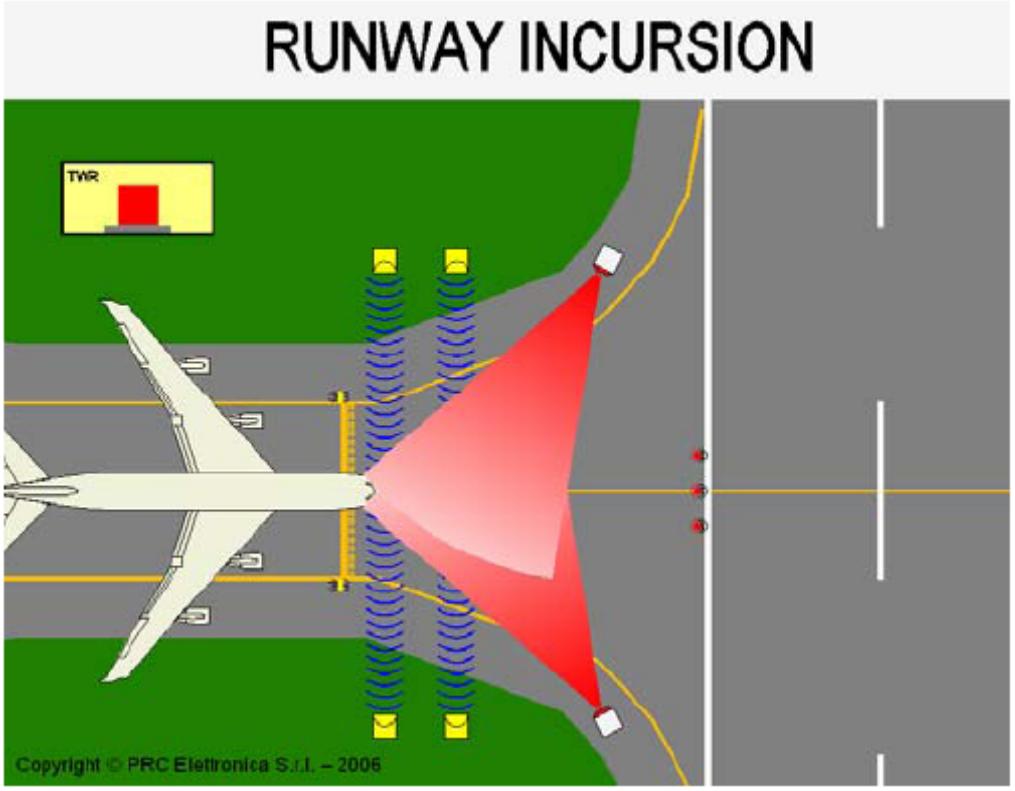
On peut faire remarquer que l'objet de ce principe est relativement similaire au marquage axial amélioré (cf. § 5.2). Le marquage « RUNWAY AHEAD » est peut être plus explicite. Il pourrait donc être utilisé seul ou en complément du marquage axial amélioré.

5.6. RIPCAS (Runway Incursion Prevention and Crew Alerting System)

5.6.1. Principe

Le principe de ce système présenté au VAWG (cf. [15]) consiste à améliorer la rapidité de la réaction face à un franchissement de barre d'arrêt. Le système a été expérimenté à Milan Malpensa.

Le principe réside dans la mise en place d'un capteur à micro-onde, placé après le point d'arrêt, qui commande, en cas de franchissement intempestif, non seulement une alarme contrôleur mais également une alarme directement au pilote (ou au conducteur de véhicule). Pour le pilote (ou le conducteur de véhicule), l'alarme est constituée d'un couple de feux rouges haute intensité à éclats. Les feux sont placés de chaque coté du taxiway. Ils peuvent être renforcés par des feux rouges à éclats encastrés pour améliorer la visibilité du signal. Le montage est illustré dans la figure suivante :



5.6.2. Avis critique

Le système proposé a connu un bon retour à la fois de la part des équipages et des contrôleurs d'après l'enquête réalisée (cf. [15]).
L'utilisation de feux rouges à éclats hors-sol rend possible des intensités lumineuses élevées (plus de 4.000cd d'après [15]) qui permettent d'envisager une utilisation par toute condition météorologique. Les feux encastrés permettent éventuellement un rappel de l'alarme dans l'axe de vue du pilote. Le signal flashant est un très bon signal d'alarme pour le pilote ou le conducteur de véhicule.
Le signal se déclenche seulement quand il y a début d'incursion sur piste. Il n'y a donc pas d'accoutumance possible comme cela est le cas pour les feux REL du système RWSL.
De plus, le coût de mise en œuvre est beaucoup plus limité que la mise en place d'un système de surveillance au sol. Cela permet d'envisager son installation sur des plateformes à trafic moins dense.
Il présente une barrière de sécurité supplémentaire vis-à-vis du franchissement des barres d'arrêt. Le système peut être envisagé à la fois pour les barres d'arrêts commandables et pour les barres d'arrêt fixes. Il est même envisageable de le mettre en place sur des terrains non équipés de barres d'arrêt. Toutefois, il convient de noter que la méthode de travail du contrôleur est modifiée (action manuelle lors d'une clairance d'alignement).

5.7. Synthèse

Les nouveaux concepts proposés font souvent appel à des technologies plus ou moins évoluées :

- Du simple marquage dont le coût est très faible mais qui ne fonctionne qu'en bonnes conditions diurnes : il constitue un complément d'aides visuelles à étudier pour prévenir des incursions sur piste, notamment le marquage RUNWAY AHEAD
- Du système de détection d'intrusion relativement simple à mettre en œuvre, au coût plus élevé (RIPCAS), commandant des feux flash : il intervient en tout début d'incursion sur piste et est à ce titre relativement pédagogique. L'attention des équipages ou des conducteurs de véhicules doit être maintenue sur les aides visuelles usuelles. Par ailleurs, il s'adapte à une large gamme de conditions météorologiques. Son utilisation est, de par son coût, limitée à des plateformes plus grandes. Il nécessite potentiellement une modification des méthodes de travail des contrôleurs.

- Du système de surveillance et de contrôle, au coût vraiment très élevé, commandant une gamme de feux plus étendus (RWSL) : de par son coût, ce système est limité à un nombre restreint d'aéroports. Il constitue une barrière complémentaire pour prévenir des incursions sur piste dans des conditions météorologiques pas forcément encore bien cernées. Il agit également en barrière pour limiter, le cas échéant, les conséquences d'une incursion sur piste.

Le système FAROS n'est, en l'état, pas convaincant.
On se rend compte que les aides visuelles, moyens de communication globalement simples, peuvent ainsi être mises en bout de chaine de systèmes complexes de détection d'intrusion (ou de détection de décollage ou d'atterrissage en cours). Cela permet d'avertir directement le pilote (ou conducteur de véhicule), acteur de premier niveau, qui peut envisager immédiatement une modification de la conduite à tenir. Toutefois, il convient de garder à l'esprit qu'il ne faut pas dégrader les fonctions actuelles des aides visuelles existantes ni surcharger le pilote d'informations diverses au travers d'un medium vecteur de l'information critique de guidage.
D'un autre coté, on peut émettre l'hypothèse de l'affichage (affichage visuel ou signal sonore) d'une information directement dans le cockpit. Cela présente l'intérêt d'ajouter de nouvelles fonctionnalités plus complexes sans toucher aux fonctionnalités basiques du balisage lumineux. Par contre, l'affichage de nouvelles informations dans le cockpit doit s'accompagner de consignes claires et partagées par tous les équipages.

6. Conclusion

6 .1 Efficacité/pertinence des aides visuelles

Au terme de cette étude, il apparaît que les réglementations nationale et internationale prévoient déjà de nombreux dispositifs visuels permettant de lutter contre les incursions sur piste.
Marquage et panneautage restent un moyen simple et globalement efficace de lutte contre les incursions sur piste par bonnes conditions de visibilité de jour. Ils fournissent l'information pertinente au pilote vigilant (à son environnement).
Par mauvaises conditions de visibilité ou de nuit, l'utilisation d'aides visuelles lumineuses s'impose. Le panneautage conserve son intérêt dans la mesure où il est éclairé. Des feux doivent renforcer ou suppléer le marquage.
Dans les deux cas, le pilote doit être conscient de sa situation. Pour cela, il convient d'aborder les aides visuelles sous une approche systémique. Le système constitué par les aides visuelles doit rester suffisamment simple, avec des fonctions clairement définies et compatibles entre elles pour être parfaitement comprises des pilotes et conducteurs de véhicules. Ainsi, la surcharge d'aides visuelles doit être abordée avec précaution afin de ne pas nuire à l'intelligibilité du message (effet « arbre de noël ») d'une part et éviter la sous-vigilance (la multiplication des garde-fous conduit avec le temps à une baisse de vigilance des pilotes) d'autre part. L'acteur humain doit rester au cœur du système dans la mesure où c'est lui qui dirige avion ou véhicule.
Enfin, là ou le risque est le plus important, il convient d'envisager la mise en place de systèmes plus perfectionnés de protection en cas d'intrusion. L'acteur humain reste faillible mais peut néanmoins corriger rapidement son erreur, quand il s'agit de l'acteur de première ligne (pilote ou conducteur de véhicule) si on la lui met en évidence. Sur ces nouveaux systèmes, il n'y a pas d'évaluation méthodique. Ils sont expérimentés avant d'être éventuellement standardisés. L'expérimentation présente malheureusement l'inconvénient d'être biaisée. Les effets immédiats sont entachés d'un effet « nouveauté » profitable dans le court terme (effet placébo) mais pas du tout garanti à plus long terme.

6.2 Propositions d'action

Ce paragraphe recense quelques possibilités d'action pouvant faire suite à cette étude.

6.2.1 Guide

La production d'un guide d'installation de balisage peut être envisagée à la suite de cette étude. Ce guide d'installation prendrait pleinement en considération la problématique des incursions sur piste.
Il serait nécessairement limité à des considérations générales opérationnelles, chaque cas d'étude restant potentiellement spécifique, mais plus détaillées techniquement.

6.2.2 Etudes

Des études complémentaires spécifiques peuvent également être envisagées. Elles pourraient porter sur :

- des nouveaux systèmes de balisage et de détection
- des combinaisons d'aides visuelles (approche systémique et statique) dans différents contextes d'utilisation avec utilisation de moyens de simulations, de retour d'expérience et des méthodes du domaine des facteurs humains
- des combinaisons d'aides visuelles ou non successives (approche systémique et dynamique) déclenchées manuellement ou automatiquement

Ressources, territoires, habitats et logement
Énergies et climat
Développement durable
Prévention des risques
Infrastructures, transports et mer

Présent pour l'avenir

service technique de l'Aviation civile
31, avenue du Maréchal Leclerc
94381 BONNEUIL-SUR-MARNE CEDEX
Tél. 33 (0) 1 49 56 80 00
Fax 33 (0) 1 49 56 82 19

Site de Toulouse
9, avenue du Docteur Maurice Grynfogel - BP 53735
31037 TOULOUSE CEDEX
Tél. 33 (0) 1 49 56 83 00
Fax 33 (0) 1 49 56 83 02

Centre de test de détection d'explosifs
Centre d'essais de lancement de missiles - BP 38
40602 BISCARROSSE CEDEX
Tél. 33 (0) 5 58 83 01 73
Fax 33 (0) 5 58 78 02 02