

Chapitre 3
Aire de manœuvre

3-1 Caractéristiques géométriques

3-1-1 Piste et bandes de piste

A - LA PISTE

A - LA PISTE



Aéroport de Tahiti - Faaa

A-1 ORIENTATION DE LA PISTE

Plusieurs facteurs influent sur le choix de l'implantation et de l'**orientation d'une piste**, parmi lesquels on peut citer :

- les considérations environnementales dont notamment celles concernant le bruit*.
- les considérations météorologiques et plus particulièrement la répartition des vents de laquelle résulte le coefficient théorique d'utilisation de la piste dont le calcul est détaillé dans le § A-1-1 et l'incidence de brouillards localisés,
- la topographie de l'emplacement de l'aérodrome ainsi que de ses abords et notamment la présence d'obstacles,
- la nature et le volume de la circulation aérienne résultant de la proximité d'autres aérodromes ou de voies aériennes,
- les considérations relatives aux performances des aéronefs,

D'une manière générale, les pistes devraient être orientées de telle façon que les avions ne survolent pas des zones à forte densité de population et évitent les obstacles. Par ailleurs, elles devront autant que possible être orientées dans la direction des vents dominants. Cet aspect technique est détaillé dans le sous-paragraphe suivant mais le projecteur devra garder à l'esprit que les autres facteurs devront être également étudiés.

A-1-1 COEFFICIENT THÉORIQUE D'UTILISATION D'UNE PISTE

D'une manière générale, les pistes sont préférentiellement orientées dans la direction des vents dominants.

Les décollages et atterrissages s'effectuent généralement face au vent. Toutefois, il est possible pour un avion de décoller ou d'atterrir avec une légère composante de vent arrière lorsque cette dernière ne dépasse pas une valeur figurant dans le manuel de vol. Cette possibilité est intéressante à l'atterrissage, lorsque les minima opérationnels associés à un **QFU**** correspondant à la manœuvre envisagée sont moins contraignant que ceux liés au sens opposé, et, au décollage, dans un souci de réduction du parcours au sol ou en vol.

S'agissant de l'**influence du vent** sur l'orientation à donner à une piste, l'élément important est le vent traversier, terme sous lequel est désignée la composante du vent perpendiculaire à l'axe de la piste. Les manœuvres d'atterrissage et de décollage deviennent en effet difficiles, voire dangereuses (principalement pour certains avions à faible masse et à train

* On se référera utilement à cet égard au chapitre 15 de la présente Instruction.

** appellation provenant de l'ancien code radio dénommé code Q et correspondant à l'orientation magnétique de la piste

d'atterrissage à voie étroite), lorsque le vent traversier dépasse une valeur limite.

De manière à apprécier l'adéquation d'une orientation envisagée en fonction d'autres critères, on se réfère au **coefficient théorique d'utilisation** de la piste, qui est la valeur, exprimée en pour-cent, du rapport du nombre N_f d'observations favorables pour lesquelles la vitesse du vent traversier reste inférieure à cette vitesse limite sur le nombre total N d'observations :

$$C = 100 \times \frac{N_f}{N}$$

A-1-2 VALEUR MINIMALE SOUHAITABLE DU COEFFICIENT D'UTILISATION

À un **chiffre de code** donné correspond une vitesse limite du vent traversier à laquelle est associé un coefficient global d'utilisation minimal souhaitable. Ces données sont présentées dans le tableau 3-1.

En fait, aux vitesses limites, que donne le tableau ci-dessous pour le choix de l'orientation à donner à une piste, se substituent, pour le pilote, les limites propres à son appareil. Ainsi pour un Airbus A 320, la limitation traversière passe de 29 nœuds, pour une piste sèche, à 15 nœuds pour une piste inondée (plus de 3 mm d'accumulation d'eau sur 25 % ou plus de la surface de la piste).

Il convient donc, pour une piste projetée de chiffre de code donné, de faire une étude ayant pour objet de vérifier la validité de l'orientation envisagée en fonction de la direction et de la vitesse des vents relevées par la station météorologique la plus proche de l'aérodrome ou la plus significative.

Un exemple de ce type de relevé est donné par le tableau 3-2.

Dans ce tableau sont reportées, en fonction des directions exprimées en degrés géographiques, les fréquences moyennes, ramenées en pour mille, des vitesses de vent supérieures aux valeurs prises pour ordonnées.

Entre 1951 et 1980 la station météorologique a comptabilisé 86 387 observations de vent.

Les astérisques, qui sont portés dans le tableau 3-2, signifient que la fréquence moyenne n'est pas nulle mais inférieure à 0,5 pour mille.

On notera enfin, dans l'exemple pris ici que les fréquences reportées ne totalisent que 941 pour mille, ce qui signifie que les 59 pour mille manquants concernent des vitesses observées inférieures à 1 m/s (vent calme).

L'exploitation manuelle de ce relevé statistique utilise pour support une **grille vitesse - azimut** constituée par une série de cercles concentriques, ayant pour rayons les vitesses constituant les ordonnées du tableau, ainsi que par les axes correspondant aux azimuts figurant en abscisses du même tableau.

Il suffit, pour obtenir le nombre N_f correspondant à la vitesse à ne pas dépasser, d'encadrer le cercle ayant pour rayon la valeur de cette même vitesse par les deux tangentes parallèles à l'axe de la piste et de totaliser les nombres d'occurrences extraits du tableau statistique et correspondant à tous les points figuratifs vitesse - azimut compris entre ces deux tangentes* .

Exploitant l'exemple renseignant le tableau 3-2, la grille vitesse - azimut, reproduite par la figure 3-3, se place dans le cas d'un aérodrome dont le chiffre de code a la valeur 2, à laquelle correspond, par suite, une vitesse limite de vent traversier de 7 m/s.

Ainsi, dans l'exemple choisi, les cas défavorables apparaissent-ils comme représentant 56 pour mille du nombre des observations effectuées et conduisent-ils à un coefficient théorique d'utilisation de

$$[(1\ 000 - 56) / 1\ 000] \times 100 = 94 \%$$

* En pratique, il est plus intéressant de décompter les observations défavorables (situées à l'extérieur des deux tangentes)

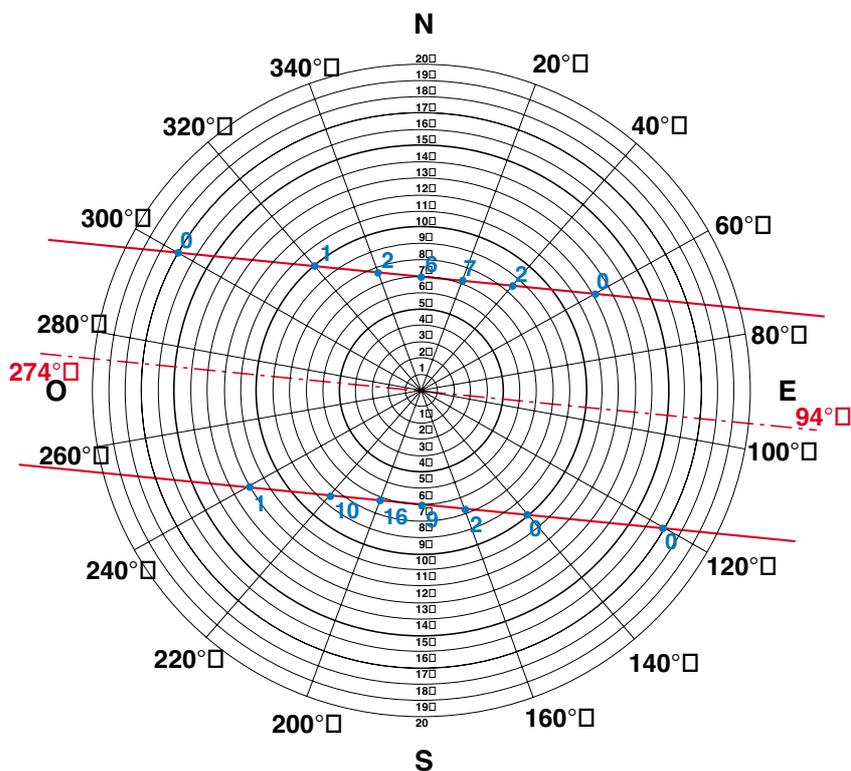
Code chiffre	Vitesse limite du vent traversier	Coefficient global d'utilisation minimal
1	5 m/s ou 10 nœuds	70 %
2	7 m/s ou 14 nœuds	80 %
3	10 m/s ou 20 nœuds	95 %
4	13 m/s ou 26 nœuds	95 %

3-1 Coefficient d'utilisation en fonction du code chiffre

Direction des vents

vent(m/s)	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	TOTAL
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	*	0	0	*	0	0	*
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	*	0	*	0	*	0	0	*
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	*	*	*	0	0	*	0	0	*
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	*	0	*	0	0	*	0	0	*
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	*	*	*	*	*	0	*	0	0	*
16	0	0	0	0	0	0	0	0	*	*	*	*	*	*	0	*	*	0	*
15	0	0	0	0	0	0	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
14	0	0	0	0	0	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1
13	*	*	*	*	*	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2
12	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1	1	1	*	*	*	*	*	*	4
11	*	*	*	*	*	*	*	*	1	2	2	1	1	1	*	*	*	*	8
10	1	1	*	*	*	*	*	*	2	4	4	2	1	1	1	1	*	1	18
9	2	1	1	*	*	*	*	1	3	6	7	4	3	2	2	1	1	1	35
8	4	3	1	1	1	*	1	2	5	11	12	8	6	4	3	3	2	3	69
7	8	6	3	2	2	1	1	3	9	18	20	14	11	7	5	5	4	6	126
6	15	10	6	4	3	2	3	6	16	27	29	23	19	13	9	9	9	12	216
5	25	17	10	9	7	5	5	10	24	39	42	35	30	21	15	15	16	23	347
4	37	26	16	14	11	8	9	15	33	50	55	47	43	32	22	23	25	37	502
3	51	35	24	21	17	13	13	20	41	60	66	60	58	43	30	32	37	53	675
2	64	45	31	27	23	17	18	25	49	69	76	71	72	55	39	42	49	67	839
1	70	51	36	32	27	20	21	29	53	73	81	78	80	63	45	48	57	75	941

3-2 Tableau des vents de la station météorologique de Chartres



Orientation géographique = Orientation magnétique (096°) - Déclinaison magnétique (2° W) = 94°

3-3 Calcul du coefficient théorique d'utilisation

Pour des études comportant plusieurs orientations possibles de pistes, il est préférable d'utiliser un programme développé par le S.T.B.A. permettant de calculer les coefficients d'utilisation et d'avoir une représentation graphique de ces derniers en fonction de l'orientation des pistes.

Il y a toutefois lieu de noter que la méthode qui vient d'être exposée connaît un certain nombre de limites.

C'est ainsi que le mode même de relevé des statistiques « fréquence - vitesse - azimut » introduit dans le calcul une cause d'erreurs non négligeable du fait des espacements entre relevés et de la non constance, pendant ceux-ci, de l'orientation et de la vitesse du vent.

De plus, ce coefficient d'utilisation de piste est établi à partir de statistiques portant sur de nombreuses années sans distinction des jours d'observation alors que la répartition du vent suivant des aires différentes obéit parfois à des lois saisonnières ou diurnes. Tel est par exemple le cas du mistral qui est beaucoup plus violent à midi qu'à huit heures ou dix-huit heures. Il se peut donc qu'un coefficient calculé sur une année entière soit satisfaisant mais que les cas de vent traversier dépassant la limite fixée soient répartis sur un nombre réduit de semaines, de jours voire d'heures, pendant lesquels la demande de trafic peut être d'importance très variable.

Il faut donc parfois approfondir l'analyse des statistiques sur des durées plus réduites que celles de l'année pour vérifier que l'orientation adoptée ne gêne pas excessivement l'exploitation de l'aérodrome pendant certaines périodes.

Il est à noter, par ailleurs, que ce coefficient est calculé sans tenir compte d'autres facteurs (visibilité, hauteur du plafond,...) pouvant influencer sur l'utilisation de la piste alors qu'il peut être intéressant, par exemple, de connaître la force des vents par mauvaise visibilité.

Le calcul du coefficient d'utilisation de piste ne donne donc qu'une indication. L'orientation théoriquement idéale, issue de ce calcul, ne doit pas être systématiquement imposée. Il est rappelé que d'autres considérations (obstacles, nuisances sonores, impacts financiers,...) doivent également être prises en compte pour déterminer l'orientation définitive.

Enfin, le caractère-même de la vitesse limite du vent traversier reste quelque peu conventionnel. Une erreur, en plus ou en moins, de trois unités sur le pourcentage d'utilisation ne doit donc pas être considérée comme anormale.

A-2 LONGUEUR DE LA PISTE

A-2-1 MÉTHODE DE DÉTERMINATION

Les indications données dans le présent paragraphe sur la détermination de la **longueur d'une piste** n'ont pour objectif que de mettre en lumière la logique d'une méthode nécessitant l'intervention d'un service ou d'un organisme expert et de fournir, en les définissant, les termes utilisés par les documents techniques auxquels fait appel sa mise en œuvre,

A-2-1-1 DISTANCE DE DÉCOLLAGE

Sauf cas de certains appareils plus exigeants à l'atterrissage, les **performances au décollage** des avions devant utiliser la piste sont généralement ici l'élément déterminant.

Le décollage d'un avion est la succession d'événements intervenant depuis son lâcher de freins (L.F.) jusqu'à ce qu'il ait atteint une hauteur de 35 ft (10,70 m)*.

La première partie du décollage est une phase d'accélération au sol qui se prolonge jusqu'à ce que l'aéronef ait atteint sa **vitesse de rotation** (V_R) à laquelle le pilote amorce le cabrage de son appareil. Celui-ci continue alors à rouler sur son train principal jusqu'à ce que soit atteinte la vitesse à laquelle l'avion quitte le sol.

La **vitesse de sécurité au décollage**, qui garantit le respect de la pente de montée minimale réglemen-

tairement requise au décollage, doit être atteinte au plus tard à la hauteur de 35 ft. Liée aux performances de l'avion en montée, cette vitesse V_2 est déterminée en considérant qu'une panne du moteur critique intervient au moment le plus défavorable.

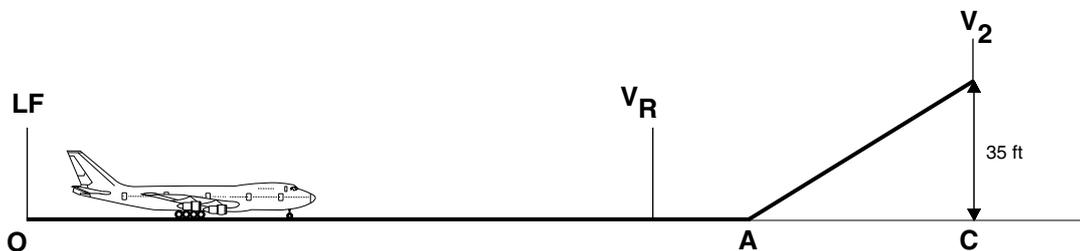
La distance $O C$ de la figure 3-4 correspond à la distance nécessaire, pour un type d'appareil donné, à une masse donnée et dans les conditions extérieures (pente du terrain, altitude, température et vent) de l'aérodrome, pour effectuer un décollage tous moteurs en fonctionnement.

Afin de garantir une marge de sécurité et par convention, la longueur d'**aménagement**** de piste à prévoir pour ce décollage est le produit par 1,15 de la longueur du segment $O C$.

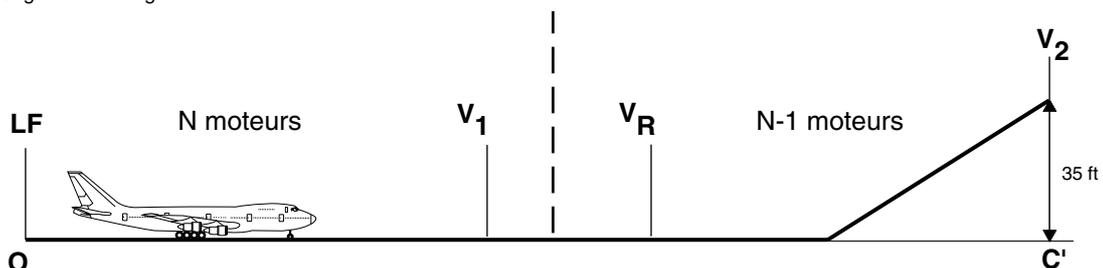
Toujours pour des raisons de sécurité, il est nécessaire de prendre en compte l'éventualité d'une panne de moteur pour déterminer la longueur d'**aménagement** de piste nécessaire au décollage.

* En toute rigueur, il est précisé ici que ne sont pris en compte, pour l'ensemble du § A-2-1, que les avions lourds, c'est à dire d'une masse maximale au décollage de plus de 5 700 kg, exceptés les « commutés » (avions bimoteurs, équipés de turbo propulseurs, de 9 sièges passagers au plus et de masse maximale au décollage de 8 618 kg ou moins) et les avions équipés de moteurs à pistons.

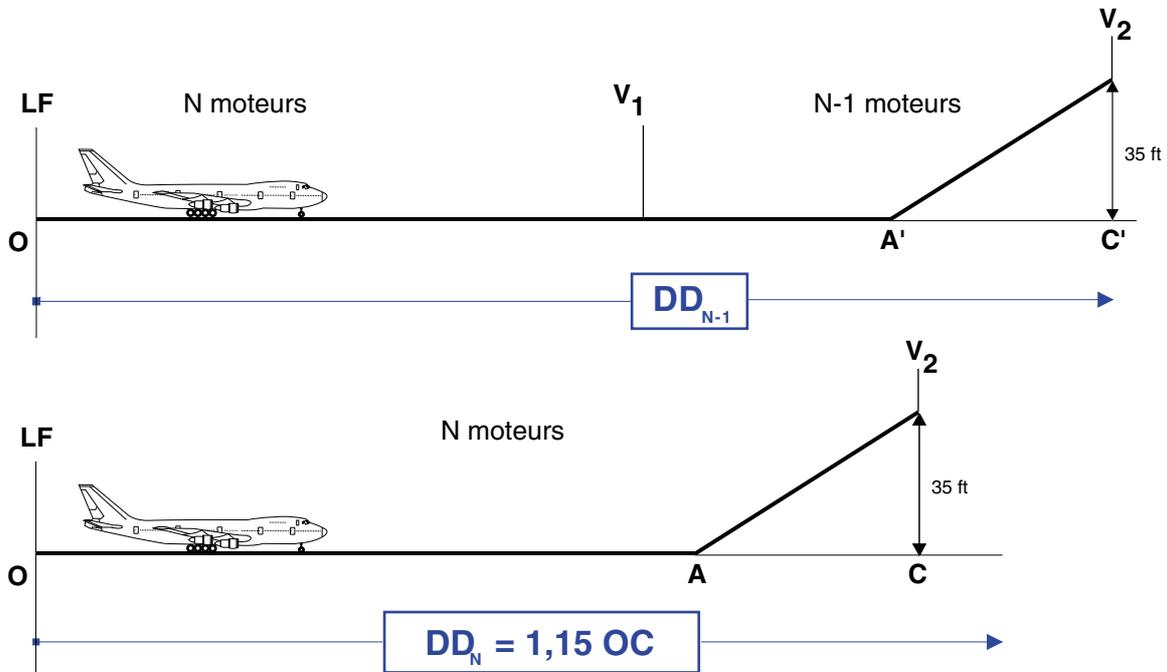
** le mot « aménagement » est ici souligné pour indiquer qu'aucune distinction n'est encore faite à cette étape de la méthode entre piste elle-même et ses prolongements éventuels.



3-4 Phasage du décollage d'un aéronef



3-5 Phasage d'un décollage poursuivi après une panne de moteur



3-6 Distance de décollage = sup. (DD_{N-1} , DD_N)

Il convient ainsi que la longueur, qui sera donnée à la piste, permette au pilote de ce même appareil, chargé dans les mêmes conditions, de choisir une vitesse V_1 telle que, si une défaillance de moteur intervenait avant que celle-ci soit atteinte, il soit tenu d'interrompre le décollage et que, si cette vitesse était dépassée, il n'ait d'autre choix que de poursuivre le décollage.

On conçoit, à l'examen de la figure 3-5, que la longueur OC' soit maximale lorsque la défaillance de moteur intervient au moment où la vitesse V_1 , dite **vitesse de décision**, est atteinte.

La longueur d'aménagement* de piste à prévoir pour le décollage du type d'appareil considéré devra donc être la plus longue distance choisie entre $1,15 \times OC$ et OC' correspondant aux vitesses indiquées sur la figure 3-6. La plus longue de ces deux distances est dite **distance de décollage**.

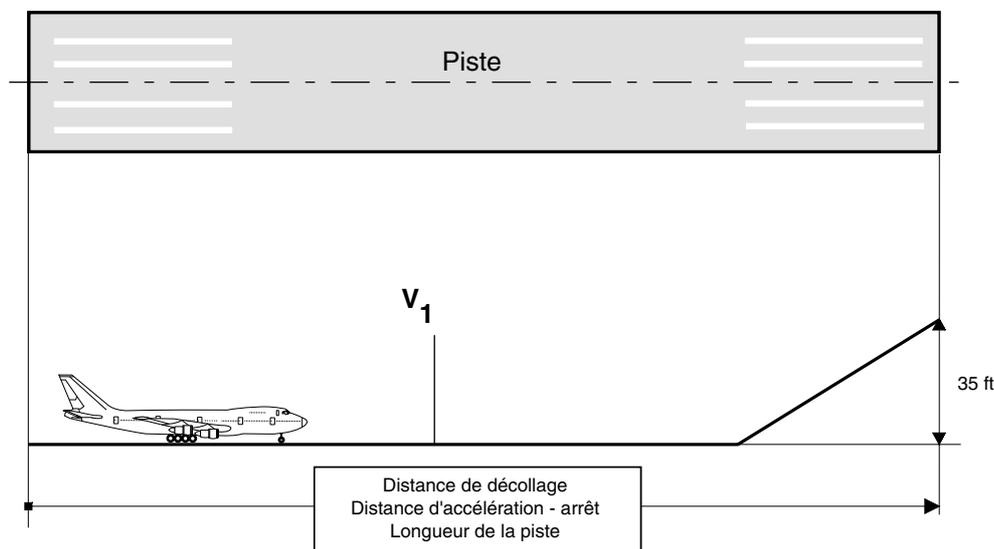
* cf. note page précédente

** Il sera vérifié, à cette occasion, qu'une décision d'interruption de décollage à V_1 , pour une autre cause que celle d'une défaillance moteur, ne conduit pas à une distance accélération - arrêt plus importante qu'il conviendrait alors de retenir.

Remarque : La présence d'obstacles significatifs aux abords de l'aérodrome devra être prise en compte afin de vérifier que l'avion au décollage survole ces obstacles avec la marge de sécurité réglementaire de 35 ft, tout en considérant la panne d'un moteur au moment le plus critique. En effet, la pente de montée nécessaire pour le franchissement des obstacles pourra impliquer une vitesse V_2 plus importante, qui aura pour conséquence d'augmenter la distance de décollage.

A-2-1-2 DISTANCE D'ACCÉLÉRATION-ARRÊT

La longueur de piste devant être aménagée pour ce type d'avion devra naturellement aussi être au moins égale à la **distance d'accélération-arrêt** nécessaire, depuis le lâcher de freins, pour immobiliser l'appareil si, la défaillance de l'un de ses moteurs intervenant au moment le plus défavorable où la vitesse de décision est atteinte**, le pilote décidait non pas de poursuivre le décollage mais de l'interrompre.



3-7 Longueur de piste équilibrée

A-2-1-3 INFLUENCE DE LA VITESSE DE DÉCISION

Il est évident que la distance d'accélération - arrêt est d'autant plus longue que la vitesse de décision retenue est plus élevée.

Sauf lorsque DD_N demeure ou devient supérieure à DD_{N-1}^* , la distance de décollage est, à l'inverse, d'autant plus courte que la vitesse de décision retenue est plus élevée.

Ainsi est-il notamment possible, pour un avion donné exploité dans des conditions données, de choisir la vitesse de décision V_1 telle que la distance de décollage soit égale à la distance accélération-arrêt. On parle alors de longueur de piste équilibrée.

A-2-1-4 CHOIX D'UNE LONGUEUR DE PISTE ÉQUILIBRÉE

Les types d'avion au départ envisagés par l'étude de trafic de l'aérodrome pourront être comparés entre eux en fonction de leurs longueurs de piste équilibrée correspondante.

Ainsi pourra-t-il être, à l'examen de cette distribution, renoncé par avance à satisfaire intégralement les exigences des avions qui paraissent devoir présenter un caractère exceptionnel.

A-2-1-5 PROLONGEMENT DÉGAGÉ ET PROLONGEMENT D'ARRÊT

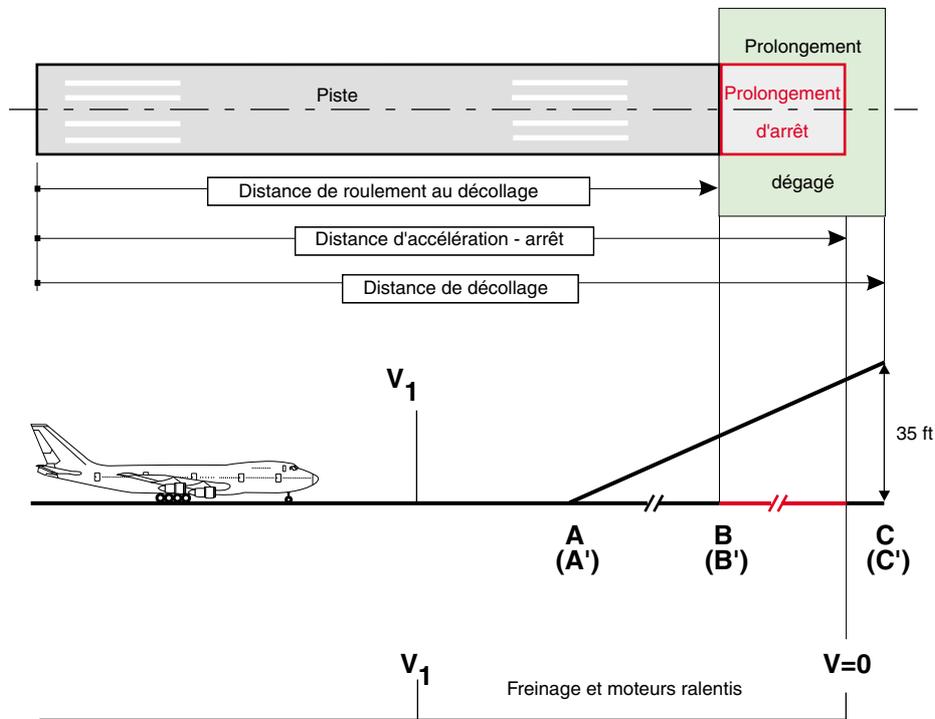
Pour des raisons de sécurité, la partie de la piste devant être aménagée en pleine épaisseur corres-

pond, non pas à la distance $O A'$ (ou $1,15 \times O A$, si cette distance est plus grande) des figures précédentes, mais à la distance de roulement au décollage. Cette distance de roulement au décollage est définie, de manière analogue à la distance de décollage, comme étant la plus grande des distances entre une distance de roulement au décollage tous moteurs en fonctionnement (1,15 fois la distance entre le point de lâcher de freins et le point B équidistant de A et C) et une distance de roulement au décollage prenant en compte la panne d'un moteur (distance entre le point de lâcher de freins et le point B' équidistant de A' et C').

La superposition des procédures limites de roulement au décollage, de décollage et d'accélération-arrêt correspondant à une même vitesse V_1 permet de distinguer plusieurs parties sur la projection au sol de la trajectoire de décollage, à savoir :

- une première partie, normalement utilisée au décollage, qui correspond à la distance de roulement au décollage,
- une deuxième partie, seulement survolée pendant une procédure normale de décollage, qui correspond à l'excès de distance de décollage sur la distance de roulement au décollage,
- une troisième partie construite au-delà de la distance de roulement au décollage, qui sera utilisée uniquement dans le cas d'une accélération arrêt.

*cf. figure 3-6



3-8 Les différentes sections d'aménagement optimisé de la piste

La deuxième partie, qui doit **seulement** avoir certaines caractéristiques permettant son survol, est appelée **prolongement dégagé**. La troisième partie, qui peut être construite de façon plus économique que la piste proprement dite, est appelée **prolongement d'arrêt**.

Il est donc possible d'optimiser économiquement la longueur de piste à aménager, en déterminant des longueurs de prolongements dégagés et / ou d'arrêt permettant d'améliorer les limitations au décollage des avions critiques devant utiliser l'aérodrome.

Il est conseillé, pour l'étude complexe qui vient d'être décrite, de faire appel à l'assistance du S.T.B.A., qui interviendra lui-même en relation avec le Service de la Formation Aéronautique et du Contrôle Technique (S.F.A.C.T.).

A-2-1-6 DISTANCE D'ATTERRISSAGE

Quoique l'atterrissage ne soit généralement pas déterminant pour le calcul de longueur des pistes, il conviendra, dans chaque cas, de vérifier qu'il en est bien ainsi. Cette vérification se reportera à nouveau aux performances publiées de l'avion

considéré, étant précisé qu'on appelle **distance d'atterrissage** la distance horizontale nécessaire à cet avion pour atterrir et s'arrêter à partir d'un point situé à la verticale du **seuil de piste** à 50 ft (15 m) au-dessus de l'aire d'atterrissage (cf. figure 3-9).

Par convention, la longueur de piste nécessaire à l'atterrissage est égale à la distance d'atterrissage multipliée par un coefficient de sécurité de 1/0,6, pour les avions équipés de turboréacteurs ou de moteurs à pistons, et de 1/0,7 pour les avions équipés de turbopropulseurs.

A-2-2 COEFFICIENTS DE CORRECTION

La méthode décrite au paragraphe précédent n'a motif à être intégralement déroulée que lorsque la détermination de la longueur de la piste repose sur des choix économiques importants.

Ainsi notamment est-elle disproportionnée dans le cas des petits aérodromes destinés à être ouverts à l'aviation générale, qui ne reçoivent d'ailleurs généralement que des avions monomoteurs.

Dans un cas comme dans l'autre, il y aura toutefois lieu d'appliquer, successivement, aux « lon-



3-9 Distance d'atterrissage

guez de base» données par les catalogues d'avions (lesquelles se placent dans les **conditions standard*** de température et de pression ainsi que dans le cas où la pente est nulle), les différents **coefficients de correction** appelés par l'emplacement de l'aérodrome et par ses contraintes topographiques.

Ces coefficients de correction sont donc respectivement :

-le **coefficient de correction d'altitude** $(1 + n_1/100)$ pour le calcul duquel n_1 a pour valeur

$$n_1 = 7 h/300$$

h étant l'**altitude de référence****, exprimée en mètres, de l'aérodrome ;

-le **coefficient de correction de température** $(1 + n_2/100)$ pour le calcul duquel n_2 a pour valeur $n_2 = T - t$

T , température de l'aérodrome, étant la moyenne mensuelle des températures maximales quotidiennes, exprimées en degrés Celsius, du mois le plus chaud de l'année (ce dernier étant celui pour lequel la température moyenne mensuelle est la plus élevée),
 t , température en atmosphère type à l'altitude de l'aérodrome, ayant pour valeur exprimée en degrés Celsius : $t = 15^\circ - 0,0065 h$;

-le **coefficient de pente** $(1 + n_3/100)$ pour le calcul duquel $n_3 = 10 p$

p , pente moyenne de la piste exprimée en pour-cent, étant obtenue en divisant la différence d'altitude entre le point le plus haut et le point le plus bas par la longueur de la piste.

La longueur de piste obtenue en appliquant le

coefficient global

$$N = (1 + n_1/100) (1 + n_2/100) (1 + n_3/100)$$

doit encore, dans le **cas d'une piste gazonnée**, être majorée afin de tenir compte aussi bien de l'augmentation du frottement de roulement au décollage que de la diminution du frottement de glissement au cours de l'accélération-arrêt ou à l'atterrissage. En l'absence d'indications particulières sur ce point, la longueur de piste recevra une nouvelle **augmentation forfaitaire de 10 %**.

On portera attention à ce que les coefficients de correction, qui viennent d'être indiqués, ne sont valables que lorsque la correction cumulée d'altitude et de température ne dépasse pas 35 % :

$$(1 + n_1/100) (1 + n_2/100) \leq 1,35$$

Dans le cas contraire, une étude particulière s'impose pour laquelle il est conseillé de faire appel au S.T.B.A.

En deçà de son seuil de validité, il convient enfin de retenir que la correction ci-dessus est maximale en ce qu'elle prend en compte une température supérieure à celle qui règne le plus souvent sur l'aérodrome. Le choix d'un coefficient plus faible pourra donc, si besoin était, être envisagé en concertation avec le S.T.B.A.

* température de $15^\circ C$ et pression atmosphérique de 1 013 hPa

** dite également altitude de l'aérodrome, est l'altitude du point le plus élevé de l'aire d'atterrissage arrondie au mètre près

A-2-3 DISTANCES DÉCLARÉES

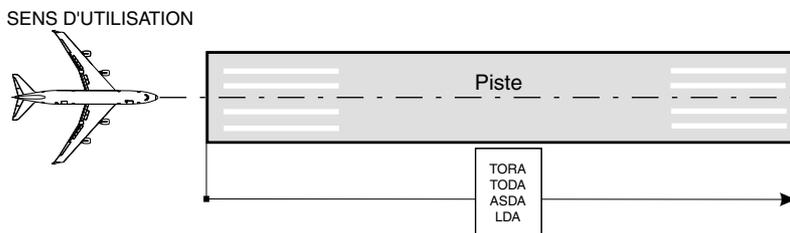
Afin d'informer les utilisateurs d'un aérodrome des conséquences résultant de l'existence de seuils décalés, de prolongements d'arrêt et de prolongements dégagés, quatre « distances déclarées » sont publiées **pour chaque sens d'utilisation** de chacune des pistes de cet aérodrome. Il s'agit de :

- la **TORA***, **distance de roulement utilisable au décollage**, qui est la longueur déclarée comme telle,
- la **TODA****, **distance utilisable au décollage**, qui ajoute à la TORA la longueur du prolongement dégagé, s'il y en a un,
- l'**ASDA*****, **distance utilisable pour l'accélération - arrêt**, qui ajoute à la TORA la longueur du prolongement d'arrêt, s'il y en a un,
- la **LDA******, **distance utilisable à l'atterrissage**, qui est la longueur de piste déclarée comme étant

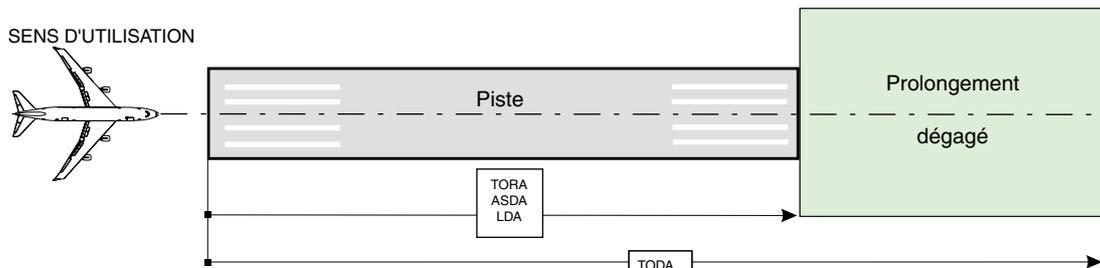
utilisable et convenant pour le roulement au sol d'un avion à l'atterrissage.

Les figures 3-10 schématisent les situations élémentaires faisant intervenir séparément, la seconde, l'existence d'un prolongement dégagé, la troisième, celle d'un prolongement d'arrêt, et, la quatrième, celle de **tiroirs** générés par des **seuils décalés**. La figure 3-11 illustre par contre, à titre d'exemple, la combinaison maximale.

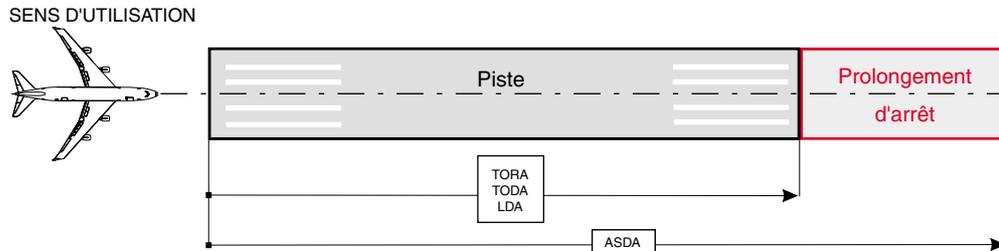
-
- * Take-off Run Available
 - ** Take-Off Distance Available
 - *** Accelerate Stop Distance Available
 - **** Landing Distance Available



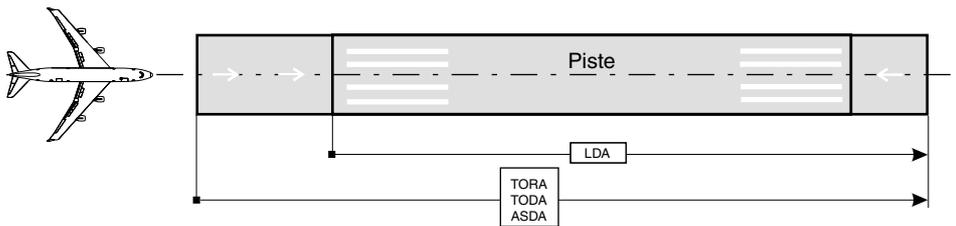
3-10 a La piste ne comporte ni prolongement d'arrêt ni prolongement dégagé, le seuil étant lui-même situé à l'extrémité de la piste. Les quatre distances déclarées ont alors la même valeur pour le sens d'utilisation concerné



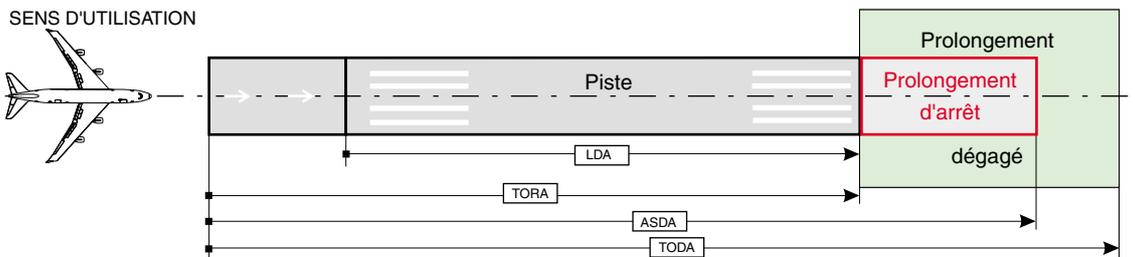
3-10 b La piste comporte un prolongement dégagé. La TODA inclut alors la longueur du prolongement dégagé



3-10 c La piste comporte un prolongement d'arrêt. L'ASDA comprend alors la longueur du prolongement d'arrêt



3-10 d La piste comprend un seuil décalé à chaque seuil de piste. La LDA exclut alors la longueur du tirage



3-11 Cas d'une piste comportant un seuil décalé, un prolongement d'arrêt et un prolongement dégagé



Aéroport de Pau-Pyrénées



Aérodrome de Saint-Cyr-l'École

Photothèque STBA / A. PARINGAUX

Photothèque STBA / A. PARINGAUX

A-3 LARGEUR DE LA PISTE

A-3-1 PISTE REVÊTUE

La **largeur** d'une **piste revêtue** ne doit pas être inférieure à la dimension spécifiée dans le tableau 3-12.

Code Chiffre	Code Lettre					
	A	B	C	D	E	F
1 (a)	18 m	18 m	23 m	-	-	-
2 (a)	23 m	23 m	30 m	-	-	-
3	30 m	30 m	30 m	45 m	-	-
4	-	-	45 m	45 m	45 m	60 m

(a) La largeur d'une piste avec approche de précision ne doit pas être inférieure à 30 m lorsque le chiffre de code est 1 ou 2.

3-12 Largeurs de piste en fonction des codes chiffre et lettre

Note : Les combinaisons de chiffres et de lettres de code correspondant aux largeurs spécifiées ont été établies en fonction des caractéristiques d'aéronefs types.

A-3-2 PISTE NON REVÊTUE

La **largeur** minimale d'une **piste non revêtue** est de 50 m ou de 80 m selon qu'il s'agit d'une piste pour avions ou d'une **piste pour planeurs** .

Note : Une largeur plus importante pourra notamment être retenue lorsque l'aérodrome est le siège d'un grand nombre de mouvements d'avions. Il est en effet alors possible d'utiliser alternativement un côté ou l'autre de la piste pendant le temps suffisant à permettre une reconstitution de la végétation.

A-4 PROFIL EN LONG DE LA PISTE

A-4-1 PENTES LONGITUDINALES

La **pente** moyenne **longitudinale**, obtenue en divisant, par la longueur de la piste, la différence entre les altitudes maximale et minimale mesurées sur son axe ne doit pas dépasser la valeur spécifiée dans le tableau 3-13 a :

Code chiffre			
1	2	3	4
2%	2%	1%	1%

3-13 a Pente longitudinale moyenne d'une piste

Aucune portion du **profil en long** de la piste ne doit en outre présenter une pente longitudinale dépassant la valeur spécifiée dans le tableau 3-13 b :

Code chiffre			
1	2	3	4
2%(a)	2%(a)	1,5%	1,25%

(a) pour les pistes non revêtues cette valeur est également recommandée

3-13 b Pente longitudinale maximale d'une piste

De plus, pour permettre l'exécution des **approches de précision de catégories II et III**, aucune portion des 900 premiers mètres de la piste du côté de l'approche aux instruments ne doit présenter de pente longitudinale supérieure à 0,8% en valeur absolue. Il est, de plus, recommandé que le profil en long de ces 900 premiers mètres de la piste soit sensiblement horizontal.

Cette même restriction est applicable aux pistes équipées pour les approches de précision de catégorie I et utilisables pour les entraînements aux atterrissages automatiques.

En outre, sur les premier et dernier quarts de la longueur de la piste, la pente longitudinale ne doit pas dépasser 0,8% dans les cas suivants :

- lorsque le chiffre de code est 3 et avec une approche de précision de catégorie II ou III,
- lorsque le chiffre de code est 4.

A-4-2 CHANGEMENTS DE PENTE LONGITUDINALE

Les ondulations et les changements de pente marqués et rapprochés le long d'une piste sont à éviter.

Lorsqu'il ne peut être évité, un changement de **pente longitudinale** ne doit pas excéder, entre deux pentes successives, la valeur spécifiée dans le tableau 3-14 a :

Code chiffre			
1	2	3	4
2%	2%	1,5%	1,5%

3-14 a Pente longitudinale maximale d'une piste

Le passage d'une pente à une autre doit alors être réalisé par des courbes de raccordement dont les rayons de courbure doivent être supérieurs aux valeurs présentées dans le tableau 3-14 b :

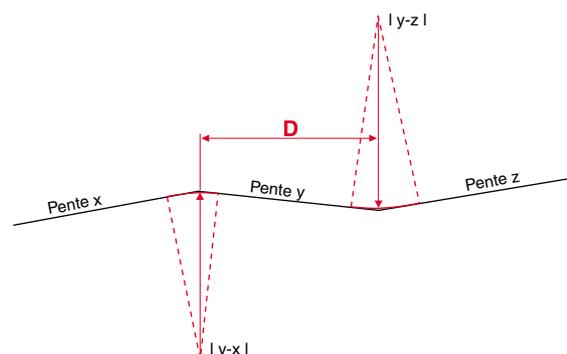
	Code chiffre			
	1	2	3	4
rayon de courbure minimal (en m)	7 500	7 500	15 000	30 000

3-14 b Rayon de courbure minimal de raccordement

Mesurée comme indiqué et schématisé ci-après, la distance entre deux changements de pente successifs ne doit pas être inférieure à la plus grande des valeurs suivantes :

$$D \geq 45 \text{ m,}$$

$$D \geq (|y-x| + |y-z|) \times R_{\text{minimal}}$$



3-15 Calcul de D distance entre deux changements de pente

A-4-3 DISTANCE DE VISIBILITÉ

*Il est recommandé que, lorsqu'ils sont inévitables, les changements de pente longitudinale soient tels que la **distance de visibilité** soit préservée dans les conditions ci-après :*

- lorsque la **lettre de code** de l'aérodrome est A, tout point situé à 1,5 m au-dessus d'une piste soit visible de tout autre point situé également à 1,5 m au-dessus de la piste jusqu'à une distance au moins égale à la moitié de la longueur de la piste,
- lorsque la lettre de code de l'aérodrome est B, tout point situé à 2 m au-dessus d'une piste soit visible de tout autre point situé également à 2 m au-dessus de la piste jusqu'à une distance au moins égale à la moitié de la longueur de la piste,
- lorsque la lettre de code de l'aérodrome est C, D, E et F, tout point situé à 3 m au-dessus d'une piste soit visible de tout autre point situé également à 3 m au-dessus de la piste jusqu'à une distance au moins égale à la moitié de la longueur de la piste.

A-4-4 CONDITIONS DE VISIBILITÉ RADIO-ÉLECTRIQUE

*Pour permettre une bonne qualité de réception des signaux émis par le **localizer**, le profil en long doit permettre la **visibilité radioélectrique** directe sur toute la largeur de la piste entre :*

- d'une part, les points d'une droite horizontale perpendiculaire à la piste, passant par le point situé sur l'axe de piste à 1 mètre au-dessus de la base du réseau aérien du localizer,
- d'autre part, les points des droites horizontales perpendiculaires à l'axe de piste, passant par tous les points de la trajectoire de l'aéronef où doit être assuré le guidage **I.L.S.** jusqu'aux points de la droite horizontale située à la verticale du seuil opposé à :
 - 15 m en **catégories I et II d'approche de précision**,
 - 6 m en **catégorie III**.

Ces conditions sont illustrées dans la figure 3-108 du paragraphe J-1-6.

A-5 PROFILS EN TRAVERS DE LA PISTE

Les **profils en travers** des **pistes** sont de préférence composés de deux versants plans symétriques formant toit afin de limiter la longueur d'écoulement des eaux de pluie.

On peut toutefois admettre des profils en travers à deux pentes dissymétriques dans le cas d'un élargissement de la piste si le fait d'effectuer celui-ci d'un seul côté conduit à une diminution sensible du volume des travaux.

On peut également admettre des profils en travers à un versant plan unique, notamment en cas de vent traversier fréquent où un tel profil, descendant dans le sens de ce vent traversier, facilite l'écoulement des eaux de pluie.

La détermination des pentes, à donner aux versants plans, résulte d'un compromis entre deux exigences contradictoires. Si en effet une piste doit être aussi plate que possible afin de faciliter la circulation des avions et diminuer la fatigue de leurs trains d'atterrissage, elle doit par contre présenter des pentes suffisantes pour assurer l'évacuation des eaux de pluie, dans le double but d'éviter les phénomènes de **glissance**, et **d'hydroplanage** et de limiter la percolation d'eau dans le corps de piste.

L'idéal est que la pente transversale soit, pour les pistes revêtues, de :

Code lettre					
A	B	C	D	E	F
2%	2%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%

3-16 Profil en travers maximal pour une piste revêtue

Bien qu'étant plus perméables, les **pistes non revêtues** ne permettent pas un écoulement aussi rapide des eaux de pluie. Leurs pentes transversales doivent donc être plus importantes que celles des pistes revêtues. Elles sont comprises entre 2,5% et 3%.

Recommandations particulières :

- Il convient qu'en tout point d'une piste la pente transversale soit au moins égale - et même de préférence supérieure - à la pente longitudinale afin de limiter le parcours des eaux de ruissellement sur la chaussée. C'est ainsi que, dans les cas où le profil en long des pistes de code A, B ou C présente des pentes supérieures à 1,5%, on est conduit à adopter des pentes transversales pouvant atteindre 2%.

- Lors du renforcement d'une piste présentant un profil en toit symétrique, on peut admettre des pentes transversales allant jusqu'à 2,5% en dehors d'une bande centrale d'une largeur au moins égale aux deux tiers de celle de la piste, si ce choix permet d'éviter la reprise des accotements et du balisage latéral éventuel.

- Le profil en travers est en principe le même sur toute la longueur de la piste. Lorsqu'il ne peut en être ainsi, il convient de s'assurer que tout profil en long de la piste satisfait aux dispositions énoncées pour le profil en long de l'axe.

A-6 TABLEAU RÉCAPITULATIF

Les caractéristiques géométriques stipulées ci-dessus sont, par commodité, regroupées dans le tableau 3-17.

	Code lettre						Code chiffre
	A	B	C	D	E	F	
LARGEUR DES PISTES							
<i>Piste équipée pour les approches de précision</i>	30 m	30 m	30 m	-	-	-	1
	30 m	30 m	30 m	-	-	-	2
	30 m	30 m	30 m	45 m	-	-	3
	-	-	45 m	45 m	45 m	60 m	4
<i>Piste revêtue équipée pour les approches classiques et à vue</i>	18 m	18 m	23 m	-	-	-	1
	23 m	23 m	30 m	-	-	-	2
	30 m	30 m	30 m	45 m	-	-	3
	-	-	45 m	45 m	45 m	60 m	4
<i>Piste non revêtue</i>	50 m	50 m	-	-	-	-	1 et 2
	80 m	80 m	-	-	-	-	Planeur
PROFIL EN LONG							
<i>Pente longitudinale moyenne</i>							
	2%	2%	2%	-	-	-	1
	2%	2%	2%	-	-	-	2
	1%	1%	1%	1%	-	-	3
	-	-	1%	1%	1%	1%	4
<i>Pente longitudinale ponctuelle</i>							
	2%	2%	2%	-	-	-	1
	2%	2%	2%	-	-	-	2
	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	-	-	3
	-	-	1,25%	1,25%	1,25%	1,25%	4
<i>Changement de pente longitudinale</i>							
	2%	2%	2%	-	-	-	1
	2%	2%	2%	-	-	-	2
	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	-	-	3
	-	-	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	4
<i>Rayon de raccordement minimum</i>							
	7 500 m	7 500 m	7 500 m	-	-	-	1
	7 500 m	7 500 m	7 500 m	-	-	-	2
	15 000 m	15 000 m	15 000 m	15 000 m	-	-	3
	-	-	30 000 m	30 000 m	30 000 m	30 000 m	4
<i>Hauteur au-dessus de la piste (Distance de visibilité)</i>	1,5 m	2 m	3 m	3 m	3 m	3 m	1, 2, 3, 4
PROFILS EN TRAVERS							
<i>Pentes transversales</i>	2%	2%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1, 2, 3, 4

3-17 Tableau récapitulatif des principales caractéristiques géométriques d'une piste

A-7 CROISEMENTS DE PISTES



Aéroport de Saint-Denis - Gillot

Photothèque STBA / A. PARINGAUX

Les ***croisements de pistes*** ne permettent pas de satisfaire toutes les règles de profil en long et de profil en travers applicables à chacune des deux pistes.

Il convient alors, tout en assurant l'écoulement des eaux de pluie, d'appliquer prioritairement aux profils en long de chaque piste les dispositions correspondant à son ***code de référence***. Dans le

cas du croisement de deux pistes de codes différents, on peut toutefois admettre des aménagements du profil en long de la piste de code inférieur, et en particulier une réduction des rayons de courbure des courbes de raccordement.



Photothèque STBA / A. PARRINGAUX

Aéroport de Lyon-Satolas. Doublet de pistes rapprochées



Photothèque STBA / J.-C. ROMANO

Aérodrome de La-Roche-sur-Yon - Les-Ajoncs. Doublet de pistes de codes différents

A-8 PISTES PARALLÈLES

Les dispositions énoncées ci-après positionnent une piste par rapport à toute autre lui étant parallèle et s'appliquent, par suite, quel que soit le nombre de celles-ci.

Les **pistes parallèles** peuvent être décalées longitudinalement de manière à :

- tenir compte des contraintes dues aux turbulences de sillage,
- réduire les temps de circulation au sol et d'augmenter ainsi la capacité du dispositif de pistes.

Ce décalage permet également de prendre en compte les contraintes physiques et environnementales du site.

Les valeurs données dans les paragraphes ci-dessous s'appliquent sur tous les aérodromes, qu'ils soient contrôlés ou non.

Un **doublet de pistes parallèles** est caractérisé, d'une part par l'utilisation à laquelle est destinée chacune des deux pistes (doublet spécialisé, doublet banalisé ou indépendant, doublet de pistes de codes différents pouvant être elles-mêmes à vue ou aux instruments), d'autre part par l'écartement des deux axes (doublet rapproché ou éloigné).

A-8-1 DOUBLET SPÉCIALISÉ

Il s'agit d'un doublet dans lequel l'une des pistes est exclusivement réservée aux atterrissages tandis que l'autre n'est utilisée que pour les décollages. Cette spécialisation peut être valable quel que soit le seuil utilisé (dans ce cas, la piste réservée aux atterrissages peut être plus courte) ou associée à un seul des deux seuils (pour des raisons de bruit, par exemple).

Par ailleurs, il est recommandé, dans le cas d'un doublet spécialisé, que la piste réservée aux décollages soit la plus proche de la zone des installations.

A-8-2 DOUBLET BANALISÉ OU INDÉPENDANT

Il s'agit d'un doublet sur lequel les atterrissages et les décollages s'effectuent indifféremment sur l'une ou l'autre piste.

A-8-3 DOUBLET DE PISTES DE CODES DIFFÉRENTS

Il s'agit d'un doublet dans lequel la piste principale est destinée à une certaine catégorie d'aéronefs (commerciaux, rapides, à réacteurs,...) tandis que la piste secondaire est réservée aux avions les moins contraignants. Cette disposition de pistes est fréquemment adoptée sur les aérodromes où l'activité d'aviation légère est importante.

A-8-4 DOUBLET ÉLOIGNÉ

Le doublet éloigné est généralement destiné à pouvoir être utilisé en toutes conditions météorologiques.

Dans le cas d'installations de pistes parallèles destinées à être utilisées dans des conditions de vol aux instruments, la distance minimale à respecter entre les axes de piste doit être de :

- 1 035 m* pour les approches parallèles indépendantes**,
- 900 m pour les approches parallèles interdépendantes***,
- 750 m pour les départs parallèles indépendants,



Photothèque STBA / A. PARINGAUX

Aéroport de Marseille-Provence. Doublet spécialisé

- 750 m pour des atterrissages sur une piste et des décollages simultanés sur l'autre.

Exceptionnellement et sur la base d'une étude particulière, des pistes parallèles dont la distance entre axes est inférieure aux valeurs ci-dessus pourront éventuellement être exploitées après approbation des services compétents de la circulation aérienne.

Dans le dernier des quatre cas ci-dessus, la distance nécessaire entre les deux pistes doit être augmentée de 30 m pour chaque décalage vers l'aval de 150 m du seuil de la piste à l'atterrissage par rapport à l'extrémité amont de celle réservée au décollage et peut être diminuée de 30 m pour chaque décalage vers l'amont de 150 m du seuil de la piste à l'atterrissage par rapport à la même extrémité amont de celle réservée au décollage. Il conviendra toutefois en ce dernier cas de respecter un écartement minimal de 300 mètres.

Le schéma 3-18 présente la configuration possible d'un doublet spécialisé éloigné.



Photothèque IGN

Aéroport de Paris-CDG. Doublet éloigné (1998)

A-8-5 DOUBLET RAPPROCHÉ

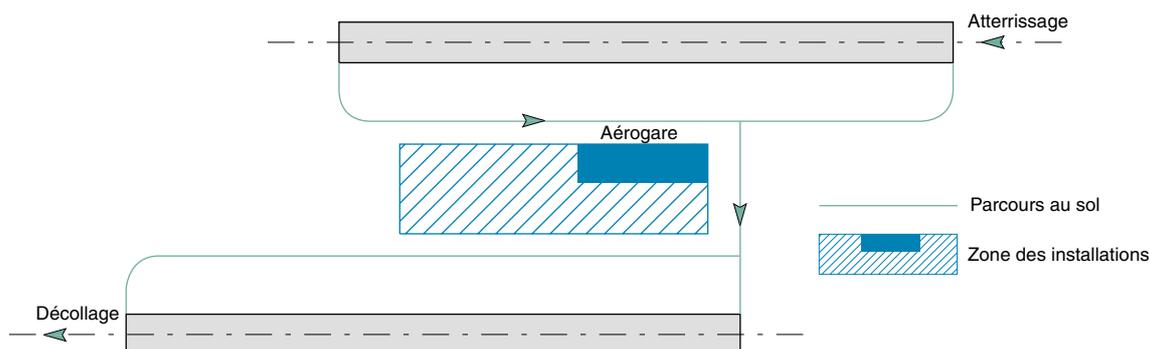
Dans le cas où le doublet serait utilisé pour des vols simultanés en conditions de vol à vue, la distance minimale à respecter entre axes de pistes est de :

- 120 m lorsque le chiffre de code est 1 et que les deux pistes sont ou bien revêtues et de longueurs inférieures à 1000 m ou bien non revêtues,
- 150 m lorsque le chiffre de code le plus élevé est 2 et que l'une des pistes est revêtue et de longueur égale ou supérieure à 1000 m mais inférieure à 1500 m, l'autre piste répondant aux mêmes critères ou étant non revêtue,
- 210 m lorsque le chiffre de code le plus élevé est 3 ou 4 et que l'une au moins des pistes est revêtue et de longueur égale ou supérieure à 1500 m.

* Le CHEA (arrêté du 25 août 97) mentionnait provisoirement une valeur de 1 500 m.

** Approches simultanées en direction de pistes aux instruments parallèles ou quasi parallèles, sans minimum réglementaire de séparation radar entre les avions se trouvant à la verticale des prolongements des axes de pistes adjacentes.

*** Approches simultanées en direction de pistes aux instruments parallèles ou quasi parallèles, avec minimum de séparation radar obligatoire entre les avions se trouvant à la verticale des prolongements des axes de pistes adjacentes.



3-18 Exemple d'un doublet spécialisé éloigné

Cependant, sur un aérodrome où se déroulent seulement des vols VFR de jour, des valeurs différentes peuvent être définies, après étude spécifique, pour les aéronefs monomoteurs à hélice et les planeurs.

Ces distances minimales sont toutefois insuffisantes pour permettre l'insertion d'une voie de circulation parallèle entre les pistes, insertion constituant un élément de sécurité important.

Dans le cas d'un doublet spécialisé utilisé en conditions de vol aux instruments, une étude spécifique est nécessaire pour déterminer l'écartement minimal entre axes devant être respecté.

Les éléments qui influent sur la distance minimale entre les deux axes de piste d'un doublet spécialisé rapproché, utilisé en conditions de vol aux instruments, sont :

- les caractéristiques des aéronefs qui utilisent ou utiliseront les pistes, en particulier la longueur de l'aéronef (70 m pour un B 747, 84 m pour l'avion futur défini par l'OACI),
- les marges latérales à respecter en fonction des conditions d'utilisation des pistes, qui sont de 150 m, pour une piste d'atterrissage avec

approche aux instruments, et de 90 m pour une piste de décollage,

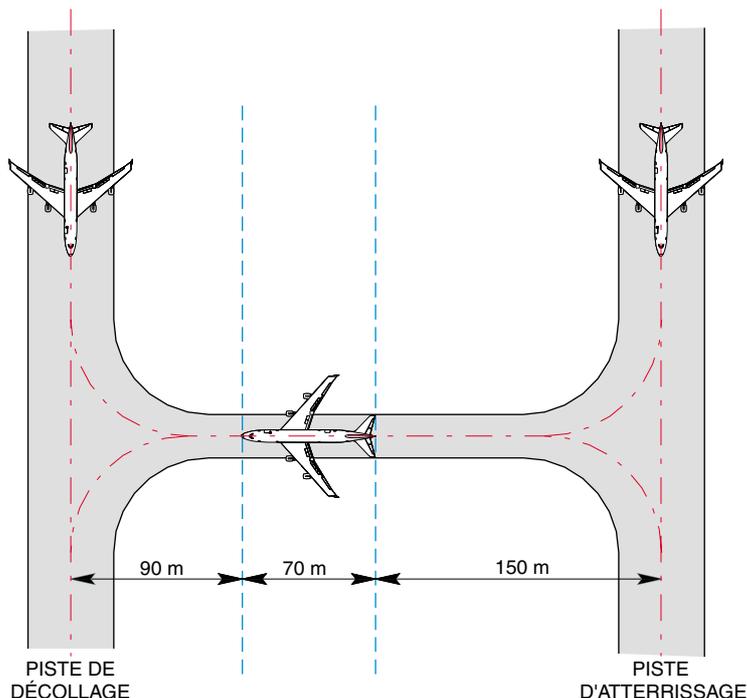
- les conditions opérationnelles d'utilisation des pistes.

C'est ainsi que, résultant de l'addition des éléments suivants :

- distance à laquelle doit se trouver la dérive de l'avion ayant atterri par rapport à l'axe de la piste utilisée pour l'atterrissage aux instruments (150 m),
- distance à laquelle doit se trouver le nez de l'avion par rapport à l'axe de la piste utilisée au décollage (90 m),
- longueur de l'avion futur (84 m),

une distance de 324 m devrait permettre à un aéronef à l'atterrissage, de type avion futur, après avoir dégagé la piste perpendiculairement ou suivant un angle de 45° par rapport aux axes du doublet, d'attendre qu'un décollage en cours sur l'autre piste soit terminé avant de la traverser. Cette même distance devrait aussi permettre de pouvoir sans attendre autoriser un autre appareil à atterrir sur la piste spécialisée.

La distance précédente est réduite à 310 m lorsque l'appareil pris en compte est un B 747 de 70 m de longueur.



3-19 Calcul de la distance minimale entre 2 pistes parallèles avec un avion de longueur 70 mètres

Les distances ainsi déterminées ne sont toutefois valables que lorsque :

- les pistes du doublet ne sont pas séparées par une voie de circulation centrale,
- un seul mouvement a lieu à la fois (décollage ou atterrissage),
- les pistes ne sont utilisées que pour des **approches classiques** ou de **précision de catégorie I** et des décollages classiques.

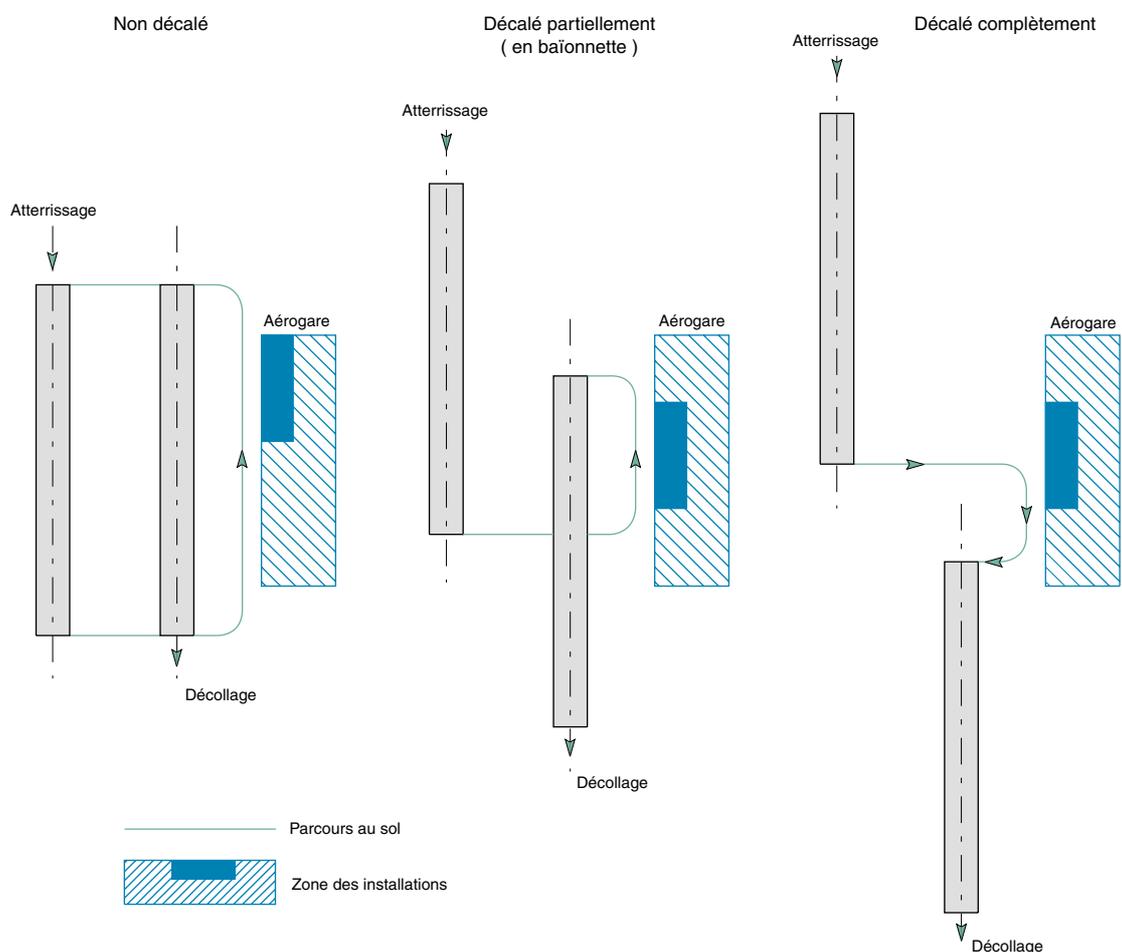
Le calcul de la distance de 310 m entre axes est schématisé par le croquis 3-19.

L'expérience tend à démontrer que, sur le plan de la sécurité aérienne, il est très important que les deux pistes du doublet rapproché aient leurs seuils positionnés de telle manière qu'aucune confusion ne soit possible de la part des pilotes des aéronefs

à l'atterrissage. Pour ce faire, il est recommandé que le seuil de piste d'atterrissage soit placé au moins sur la même ligne que celui de la piste de décollage, ou mieux, en amont de celui-ci.

Il convient également de signaler qu'un vent traversier peut induire des turbulences de sillage lorsque les distances entre axes deviennent faibles, notamment lorsque les pistes sont indépendantes et utilisées en conditions de vol à vue.

Il est également souligné que, **dans le cas des pistes utilisées aux instruments en catégorie II/III**, le rayonnement simultané de deux **localizers** émettant dans le même sens sur deux pistes parallèles distantes de moins de 500 m ne peut être autorisé qu'après étude effectuée par le STNA. De même, le rayonnement simultané de



3-20 Différentes configurations des infrastructures dans le cas d'un doublet rapproché

deux localizers d'une même piste ou de deux localizers émettant en sens inverse sur deux pistes rapprochées, dont la distance entre axes est inférieure à 500 m, ne peut être autorisé si la visibilité est inférieure à 1500 m et le plafond à 400 ft.

Les schémas de la figure 3-20 donnent quelques indications sur les configurations de pistes et de voies de circulation pour un doublet rapproché.

A-8-6 BANDE COMPOSITE

*Lorsque, sur un aérodrome de code chiffre 1 ou 2, il est projeté d'aménager, selon une même direction d'axe, deux pistes différentes, dont une au moins non revêtue, ces deux pistes peuvent être accolées bord à bord et constituer une **bande composite** si l'écartement minimal correspondant à un doublet ne peut être assuré.*

Ce dispositif rend impossible l'utilisation simultanée des pistes, limite par suite la capacité du système, et ne se justifie que si le trafic d'aviation d'affaires est réduit ou décalé dans le temps par rapport à l'aviation légère.



Aérodrome de Laval - Entrammes. Bande composite

Photographie STBA / G. NEEF

A-9 ACCOTEMENTS DE PISTE

A-9-1 GÉNÉRALITÉS

Les *accotements* d'une piste ou d'un prolongement d'arrêt doivent être aménagés ou construits de manière à réduire au minimum, pour un avion qui s'écarte de la piste ou d'un prolongement d'arrêt, les risques qu'il pourrait encourir du fait d'un défaut de portance du sol en place ou du manque de cohésion de ce dernier pouvant entraîner l'ingestion de matériaux par les turbomachines.

Le traitement des accotements doit également être conçu de manière à supporter le poids des véhicules terrestres qui peuvent y circuler.

Un défaut de contraste entre l'aspect de la surface de piste et celui de la bande peut résulter du traitement auquel ont été soumis les accotements, soit en vue d'obtenir la force portante requise, soit pour éviter l'ingestion de matériaux. On pourra alors ou bien rétablir le contraste entre la surface de la piste et celle de la bande par traitement de la surface, ou bien apposer des marques latérales de piste.

A-9-2 LARGEUR

Des accotements de piste s'étendent symétriquement de part et d'autre de la piste de telle sorte que la largeur totale de celle-ci et de ses accotements ne soit pas inférieure à 60 m lorsque la lettre de code est D ou E et à 75 m lorsque la lettre de code est F.

A-9-3 PENTES

Au raccordement de la piste et de son accotement, la surface de ce dernier doit être de niveau avec celle de la piste et sa pente transversale ne pas dépasser 2,5%.

Une pente négative allant jusqu'à 5 % peut toutefois être mise en œuvre sur les 3 premiers mètres d'accotements à l'extérieur du bord de piste afin de faciliter l'écoulement des eaux ou bien, lorsqu'il s'agit d'un renforcement de la piste, de se raccorder plus rapidement à l'existant.

A-10 PROLONGEMENT D'ARRÊT



Aéroport de Strasbourg - Entzheim. Prolongement d'arrêt au seuil 05

A-10-1 LARGEUR

Le *prolongement d'arrêt* aura la même largeur que la piste à laquelle il est associé.

A-10-2 PENTES

Les pentes et les changements de pente sur un prolongement d'arrêt, de même qu'à son raccordement avec la piste doivent être conformes aux spécifications applicables à la piste à laquelle le prolongement d'arrêt est associé et ce à deux exceptions près, à savoir que :

- il n'est pas nécessaire d'appliquer au prolongement d'arrêt la limitation à 0,8 %, à laquelle peut être soumise la pente longitudinale des extrémités de piste*,
- à la jonction de la piste et du prolongement d'arrêt, comme sur toute la longueur de ce dernier, le rayon de courbure minimal du raccordement de deux pentes longitudinales successives peut atteindre 10 000 m lorsque le chiffre de code est 3 ou 4, et 5 000 m, lorsqu'il est 1 ou 2.

Recommandation particulière

Le prolongement d'arrêt peut être déclaré en prolongement dégagé. Dans ce cas, il y a lieu de veiller à ce que les pentes respectent les règles s'appliquant aux prolongements dégagés.

* cf. § A-4-1, 3e alinea

A-11 PROLONGEMENT DÉGAGÉ



Aéroport de Quimper - Pluguffan. Prolongement dégagé pour le décollage au QFU 04

Photographie STBA / A. PARINGAUX

A-11-1 LONGUEUR

La longueur d'un **prolongement dégagé** ne doit pas dépasser la moitié de la **distance de roulement utilisable au décollage (TORA)**. En pratique, la longueur optimale du prolongement dégagé est souvent voisine de 10% de la longueur de la piste*.

A-11-2 LARGEUR

La largeur d'un prolongement dégagé est fixée à 150 mètres. Cette dimension peut toutefois être réduite à la largeur de la **bande** dans le cas où celle-ci est de dimension moindre.

A-11-3 PENTES

À l'intérieur des limites d'un prolongement dégagé, aucun point du sol ne doit faire saillie au-dessus d'un plan incliné à 1,25 % et s'appuyant à sa partie inférieure sur une droite horizontale

-perpendiculaire au plan vertical passant par l'axe de la piste

et

-passant par le point marquant sur l'axe l'extrémité de la **distance de roulement utilisable au décollage**.

La règle de pente qui précède n'exclut pas que, en raison des pentes transversales de la piste, de ses accotements ou de la bande, la droite d'appui du plan au-dessous duquel doit rester le prolongement dégagé puisse se trouver elle-même au-dessous du niveau de la piste, de ses accotements ou de la bande. Cette même règle n'implique pas que ces surfaces doivent être nivelées à la hauteur de la partie basse de ce plan ni que, à moins qu'ils ne soient jugés dangereux pour les avions, le relief ou

les objets, qui font saillie au-dessus de ce plan au-delà de l'extrémité de la bande, doivent être supprimés dès lors qu'ils demeurent en dessous du niveau de la bande.

Les changements brusques de pente **positive** doivent être évités lorsque la pente, sur le sol d'un prolongement dégagé, est relativement faible ou lorsque la pente moyenne est positive. En tel cas, dans la partie du prolongement dégagé située à moins de 22,5 m de part et d'autre du prolongement de l'axe de la piste, les pentes et changements de pente ainsi que la transition entre la piste et le prolongement dégagé doivent, d'une manière générale, être semblables aux pentes et changements de pente de la piste à laquelle est associé ce prolongement dégagé. Cette règle n'interdit pas toutefois l'existence de dépressions isolées comme, par exemple, celle de tranchées traversant le prolongement dégagé.

A-11-4 TRAITEMENT DES OBSTACLES

Hormis le matériel et les installations nécessaires aux besoins de la navigation aérienne, il convient de considérer comme obstacle et de supprimer tout objet situé sur un prolongement dégagé et susceptible de constituer un danger pour les avions.

Tout matériel ou toute installation, nécessaire aux besoins de la navigation aérienne et qui doit être placé sur un prolongement dégagé, doit avoir une masse et une hauteur aussi faibles que possible, être de conception et de monture fragibles, et être placé de manière à réduire le plus possible le danger qu'il pourrait présenter pour les aéronefs.

Il est recommandé, **chaque fois que cela s'avère possible**, d'inclure le prolongement dégagé dans le **périmètre d'appui des dégagements aéronautiques**.

* cf. chapitre 12 relatif aux dégagements aéronautiques

A-12 AIRE D'EMPLOI DU RADIOALTIMÈTRE

Pour le bon fonctionnement des radioaltimètres de bord, le terrain situé en amont du seuil d'atterrissage, sous la dernière partie de l'approche finale, doit présenter des profils en long et en travers uniformes et, autant que possible, horizontaux.

*En cas d'impossibilité, il conviendra de s'attacher à ce que la pente de l'**aire d'emploi du radioaltimètre** soit aussi régulière que possible, la pente moyenne tolérable pouvant être d'autant plus forte que cette régularité sera mieux assurée.*

En particulier, lorsqu'une piste doit être équipée pour des approches de précision de catégorie II et III, dans la zone rectangulaire de 60 m de largeur sur 300 m en amont du seuil d'atterrissage, le sol :

- ne doit pas avoir une pente longitudinale moyenne excédant en valeur absolue 2%,*

- ne doit pas présenter de pentes locales excédant 5% en valeur absolue,*

- ne doit pas présenter de dénivellations locales de plus d'un mètre.*

Lorsque la zone en amont du seuil ne peut répondre à ces critères, une étude spécifique doit être effectuée (ex : création d'un plan sol artificiel, essais en vol).

Il est recommandé de respecter les mêmes spécifications dans une zone rectangulaire de 60 m de largeur sur 400 m en amont de la bande précédente.

A-13 RAQUETTE DE RETOURNEMENT



Aéroport de Lille - Lesquin. Raquette de retournement au seuil 08

Pour les appareils ne pouvant effectuer un demi-tour sur la largeur de la piste, il est nécessaire de mettre en place une surlargeur de chaussée de forme particulière constituant une **raquette de retournement**.

L'objet d'une telle raquette est donc de permettre à un avion donné de faire demi-tour sur la piste et de se retrouver aligné sur l'axe de celle-ci, en perdant le moins possible de longueur de piste, si cette manœuvre précède un décollage.

Le tracé d'une raquette est guidé par les principes qui déterminent le tracé des voies de circulation ou des pistes (marge aux abords des voies, accotements stabilisés,...) et, par des conditions complémentaires de sécurité lorsqu'elles sont situées en extrémité de piste (protections des antennes de l'I.L.S. et du sol hors piste contre le souffle des réacteurs,...).

On détermine le tracé de principe de la raquette en admettant que l'avion se déplace à très faible vitesse.

On distingue plusieurs parties sur le tracé de la raquette. Dans un premier temps, l'avion s'écarte de l'axe de la piste en suivant une ligne formant un angle γ avec cet axe (la valeur de 30° est conseillée pour cet angle). La partie rectiligne de la surlargeur constituée par la raquette (segment de droite N'P' sur le schéma 3-22) doit se trouver à une distance de l'axe dévié égale à une demi-largeur de la voie hors-tout du train principal augmentée de la **marge de dégagement** e_R correspondant aux voies de relation et dont la valeur, donnée par le tableau 3-33 (p. 3-39), est rappelée dans le tableau 3-21 ci-après.

L'avion s'avance ainsi en suivant la droite MP. Quand le centre du train d'atterrissage se trouve au point N, l'avion peut effectuer sa rotation jusqu'à se retrouver aligné sur l'axe de la piste. R étant la valeur du rayon de rotation de l'axe de l'avion, la distance MN doit être égale à $R/\text{tg}(\gamma/2)$ pour que cette manœuvre soit réalisable. L'avion pivote autour de son centre instantané de rotation O, avec le braquage opérationnel maximum autorisé du train avant faisant un angle β^* dont dépend la valeur du rayon de rotation R du train principal**. La partie courbe de la raquette P'PQ est un arc de cercle dont le centre est confondu avec le centre instantané de rotation de l'avion et de rayon égal à la distance entre celui-ci et la position de l'œil du pilote augmentée d'une marge de sécurité spécifique e' , dont la valeur est donnée par le tableau 3-21. Enfin, après avoir tourné d'un angle de $(180^\circ + \gamma)$, l'avion est axé sur la piste.

* Il faut souligner que les compagnies imposent, dans certains cas, des valeurs de l'angle de braquage β inférieures aux maxima relevés dans les manuels « Airport Planning ». Ces contraintes peuvent imposer un agrandissement de la raquette.

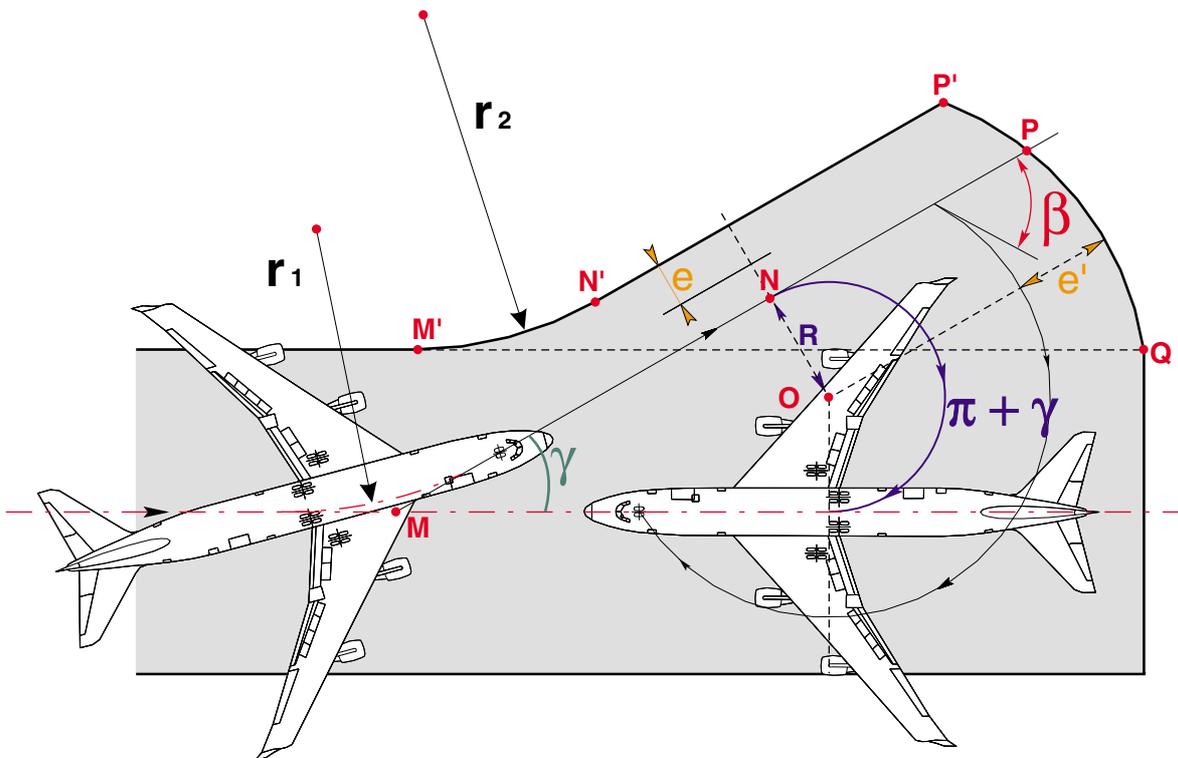
** On se rapportera utilement, pour la description de la rotation de l'avion, à celle qui est donnée ci-après au § 4-2-3.

	Code lettre					
	A	B	C	D	E	F
Marge e_R	1,50 m	2,25 m	3 m (a) ou 4,50 m (b)	4,50 m	4,50 m	4,50 m
Marge e'	1,50 m	2,25 m	5,70 m (a) ou 8,80 m (b)	8,80 m	8,80 m	8,80 m

(a) si la raquette est destinée à des avions dont l'empannement est inférieur à 18 m

(b) si la raquette est destinée à des avions dont l'empannement est supérieur ou égal à 18 m

3-21 Marges de sécurité pour les raquettes de retournement



3-22 Principe du tracé d'une raquette de retournement

Le tracé de principe de la raquette s'établit en raccordant aux bords de piste et le segment de droite $N'P'$ et l'arc de cercle $P'PQ$. Le rayon du congé de raccordement (r_2) entre le bord de piste et le bord rectiligne de la raquette sera pris égal à 50 m pour les avions de code lettre D, E, F et de 30 m pour les avions de code lettre A, B, C. Le rayon de raccordement (r_1) entre l'axe de piste et l'axe dévié de la raquette aura quant à lui une valeur de 30 m au moins (si possible 50 m) pour les avions de code lettre D, E, F et de 20 m (si possible 30 m) au moins pour les avions de code lettre A, B, C.

Le tracé de principe est schématisé par le croquis 3-22.

Recommandations particulières :

- Du fait de la difficulté à réaliser un freinage précis sur un sol mouillé et par sécurité dans les cas de mauvaise visibilité, la marge spécifique e' est majorée par rapport aux valeurs données par le tableau 3-21.

- On s'efforcera de protéger les accotements de la raquette (mise en place de matériaux enrobés) contre le souffle des réacteurs (protection identique à celle préconisée pour les voies de circulation).

- Une protection particulière de l'extrémité de la raquette contre les effets de souffle des réacteurs est à prévoir. On s'efforcera de revêtir la zone en extrémité de piste sur une aire susceptible d'être soumise à un flux de la part des réacteurs excédant les 150 km/h.

- S'il est prévu d'installer à terme une voie de circulation parallèle à la piste, il est judicieux d'implanter la raquette du même côté par rapport à la piste. Sinon, la raquette sera placée du côté gauche de la chaussée.

Remarques importantes :

- On détermine généralement le tracé d'une raquette en se référant à l'avion possédant les caractéristiques les plus contraignantes (largeur hors-tout du train principal, empatement important, faible rayon de braquage).

- Toutefois un avion peut posséder une voie hors-tout de train principal très importante et être ainsi déterminant pour la position du segment de droite $N'P'$ de la raquette mais en revanche avoir un faible rayon de rotation et n'être pas l'avion le plus contraignant pour d'autres caractéristiques géométriques de la raquette (sa profondeur et celles permettant le tracé de la partie courbe $P'PQ$).

B - LES BANDES DE PISTE

B - LES BANDES DE PISTE

La piste, ainsi que les prolongements d'arrêt et les prolongements dégagés qu'elle peut comporter, est placée à l'intérieur d'une **bande** dite également « **bande dégagée de piste** ». Cette bande est destinée à :

- réduire les risques de dommage auxquels est exposé un aéronef qui sort accidentellement de la piste,
- assurer la protection des aéronefs qui survolent cette aire au cours des opérations de décollage ou d'atterrissage*.

B-1 LONGUEUR DE LA BANDE

Une bande de piste doit s'étendre en amont du seuil et au-delà de l'extrémité de la piste ou du prolongement d'arrêt jusqu'à une distance **d** d'au moins :

	Code chiffre			
	1	2	3	4
Piste exploitée aux instruments	60	60	60	60
Piste revêtue exploitée à vue	30	60	60	60
Piste non revêtue	0	0	-	-

3-23 Distance d en amont du seuil (valeurs exprimées en mètres)

Ces longueurs peuvent être déclarées en **prolongement dégagé**. Dans ce cas, il y a lieu de veiller à ce que les pentes respectent les règles précédemment énoncées à leur sujet**.

B-2 LARGEUR DE LA BANDE

La largeur d'une **bande de piste** dépend des conditions d'utilisation pour lesquelles la piste est prévue. Ainsi sera-t-elle au moins égale aux valeurs du tableau 3-24.

	Code chiffre			
	1	2	3	4
Piste exploitée aux instruments	150	150	300	300
Piste exploitée à vue	60(a)	80	150	150

(a) 80 m pour les pistes pour planeurs

3-24 Largeur d'une bande (valeurs exprimées en mètres)



Aéroport de Biarritz - Bayonne - Anglet. Piste et bande au seuil 27

Si la longueur du prolongement dégagé est supérieure à celles énoncées dans le tableau ci-dessus, alors la longueur de la bande de piste doit s'étendre jusqu'à l'extrémité du prolongement dégagé.

* cf. chapitre 12, § 12-1-3

** cf. § A-11-3 ci-dessus

B-3 BANDE AMÉNAGÉE

La **bande aménagée de piste** est la partie de la bande englobant la piste - ainsi que le(s) prolongement(s) d'arrêt, lorsqu'il(s) existe(nt) - et dont la surface est aménagée pour accepter le roulement accidentel d'un avion.

La bande aménagée doit s'étendre sur toute la longueur de la bande.

La largeur de la bande aménagée dépend des conditions d'utilisation pour lesquelles la piste est prévue.

Elle sera au moins de :

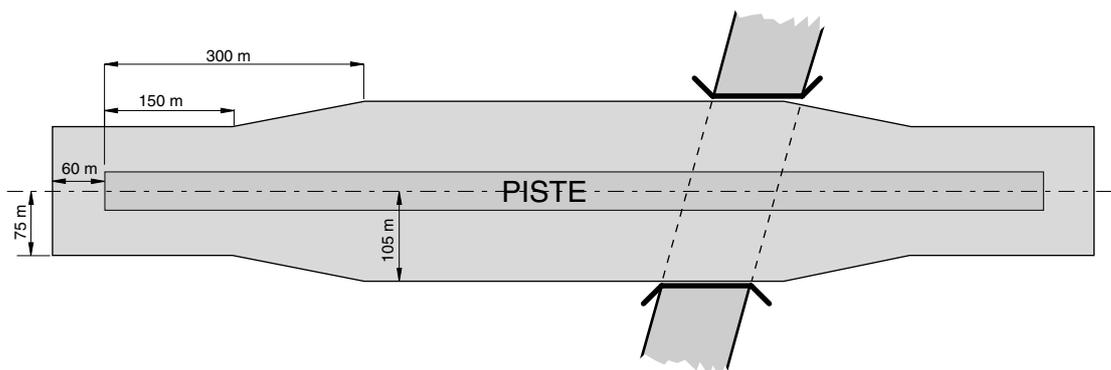
	Code chiffre			
	1	2	3	4
Piste exploitée aux instruments	80	80	150	150
Piste exploitée à vue	60(a)	80	150	150

(a) 50 m pour les pistes non revêtues et 80 m pour les pistes pour planeurs

3-25 Largeur d'une bande aménagée (valeurs exprimées en mètres)

Dans le cas où la piste passe au-dessus d'une route, d'une voie ferrée, ..., la largeur de l'**ouvrage d'art** est définie comme indiqué par le schéma 3-26. La partie supérieure de cet ouvrage doit alors respecter les conditions imposées aux bandes aménagées.

Il est recommandé que, sur la bande aménagée, les changements de pente soient aussi graduels que possible, tout changement brusque ou inversion soudaine de la pente devant être évité.



3-26 Zone à respecter par les ouvrages d'art

S'agissant des **pistes non revêtues**, aucune distinction n'est à faire entre les pistes elles-mêmes et leurs bandes aménagées. Les autres caractéristiques des pistes destinées au lancement des planeurs, soit au treuil, soit en vol remorqué, sont celles de pistes non revêtues pour avions. Dès que le nombre de planeurs à mettre en piste dépasse six unités, il est judicieux d'aménager sur un bord et à une petite distance (150 m environ) de l'extrémité de piste une aire d'attente de 20 m de profondeur et dont la longueur dépend du nombre de planeurs à stocker.

B-4 PENTES DE LA BANDE

Les *profils en long et en travers des bandes de piste* doivent répondre à des conditions plus exigeantes dans la partie aménagée que dans la partie simplement dégagée.

B-4-1 PENTES LONGITUDINALES

Hors partie aménagée, la pente longitudinale ne devra pas dépasser :

- 1,5% lorsque le chiffre de code est 4,
- 1,75% lorsque le chiffre de code est 3,
- 2% lorsque le chiffre de code est 1 ou 2*.

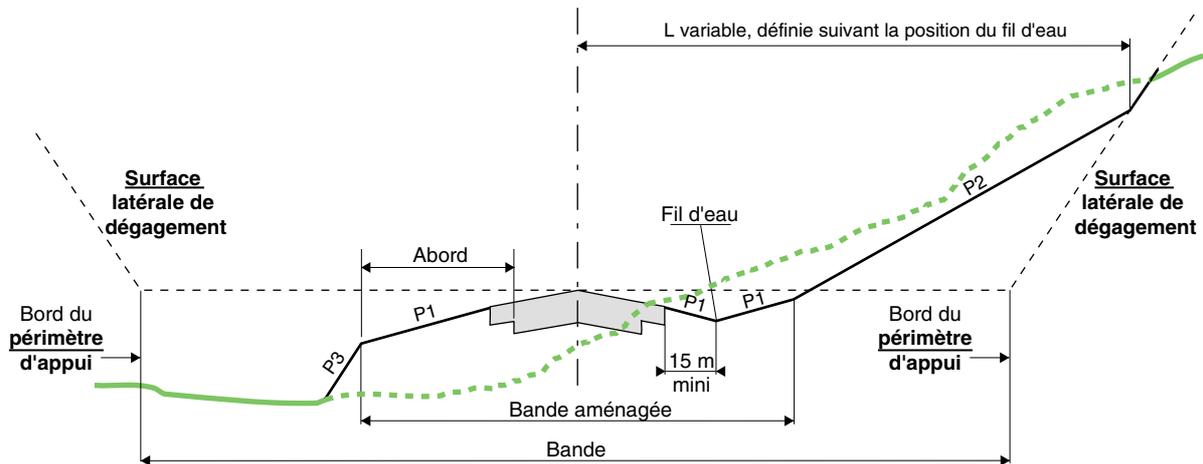
B-4-2 PROFIL EN TRAVERS DE LA BANDE

Sur la bande aménagée, les pentes transversales doivent être suffisantes pour empêcher toute accumulation d'eau à la surface sans pour autant dépasser les valeurs de :

- 2,5 % lorsque le chiffre de code est 3 ou 4,
- 3 % lorsque le chiffre de code est 1 ou 2.

La figure 3-27 et le tableau qui lui est associé définissent les pentes transversales ne devant pas être dépassées sur la bande.

* cette valeur est également recommandée pour les pistes non revêtues



code chiffre	1 et 2	3 et 4
P1	3%	2,5%
P2	-	5%
P3	pente d'équilibre des talus	

3-27 Pentes maximales admissibles pour le profil en travers d'une bande

B-5 TABLEAU RÉCAPITULATIF

L'ensemble des caractéristiques géométriques des bandes de piste est regroupé dans le tableau 3-28.

CODE CHIFFRE	1	2	3	4
Longueur minimale				
<i>Piste exploitée aux instruments</i>	<i>Piste + PA + 120 m (a)</i>			
<i>Piste revêtue exploitée à vue</i>	<i>Piste + PA + 60 m (b)</i>	<i>Piste + PA + 120 m (a)</i>	<i>Piste + PA + 120 m (a)</i>	<i>Piste + PA + 120 m (a)</i>
<i>Piste non revêtue</i>	<i>Piste + PA + PD</i>	<i>Piste + PA + PD</i>	-	-
Largeur				
<i>Piste exploitée aux instruments</i>	$\geq 150\text{ m}$	$\geq 150\text{ m}$	$\geq 300\text{ m}$	$\geq 300\text{ m}$
<i>Piste exploitée à vue</i>	$\geq 60\text{ m (c)}$	$\geq 80\text{ m}$	$\geq 150\text{ m}$	$\geq 150\text{ m}$
Largeur de la partie aménagée				
<i>Piste exploitée aux instruments</i>	$\geq 80\text{ m}$	$\geq 80\text{ m}$	$\geq 150\text{ m}$	$\geq 150\text{ m}$
<i>Piste exploitée à vue</i>	$\geq 60\text{ m (c) (d)}$	$\geq 80\text{ m}$	$\geq 150\text{ m}$	$\geq 150\text{ m}$
Pentes longitudinales des parties dégagée et aménagée	$\leq 2\%$	$\leq 2\%$	$\leq 1,75\%$	$\leq 1,5\%$
Pentes transversales de la partie aménagée	$\leq 3\%$	$\leq 3\%$	$\leq 2,5\%$	$\leq 2,5\%$

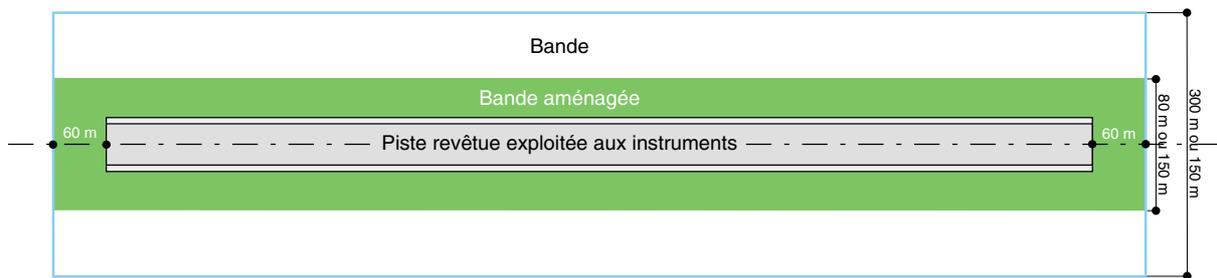
PA : longueur du ou des prolongement(s) d'arrêt
 PD : longueur du ou des prolongement(s) dégagé(s)

- (a) si la piste possède un prolongement dégagé ($\geq 60\text{ m}$) à un seuil, la longueur de la bande sera de : piste + PD + 60m, si la piste possède un prolongement dégagé ($\geq 60\text{ m}$) à chaque seuil, la longueur de la bande sera de : piste + PD₁ + PD₂
- (b) si la piste possède un prolongement dégagé ($\geq 30\text{ m}$) à un seuil, la longueur de la bande sera de : piste + PD + 30m, si la piste possède un prolongement dégagé ($\geq 30\text{ m}$) à chaque seuil, la longueur de la bande sera de : piste + PD₁ + PD₂
- (c) 80 m pour les pistes pour planeurs
- (d) 50 m pour les pistes non revêtues pour avions

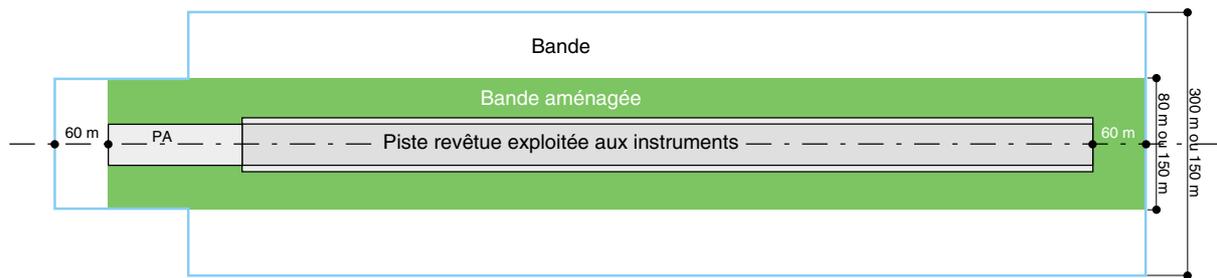
3-28 Tableau récapitulatif des caractéristiques géométriques des bandes

B-6 DIFFÉRENTES CONFIGURATIONS DE BANDES

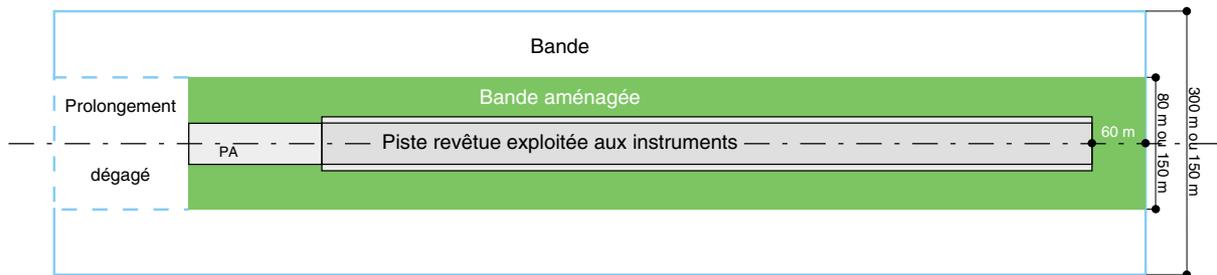
Les figures 3-29-a à 3-29-d présentent dans différentes configurations non exhaustives les longueurs et largeurs des bandes et bandes aménagées associées aux pistes.



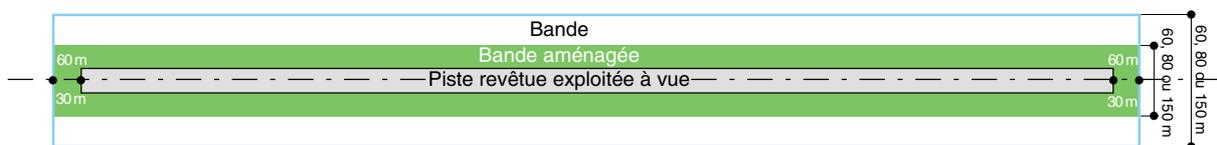
3-29-a Piste exploitée aux instruments avec un dispositif équilibré



3-29-b Piste exploitée aux instruments avec un prolongement d'arrêt



3-29-c Piste exploitée aux instruments avec un prolongement d'arrêt et un prolongement dégagé



3-29-d Piste revêtue à vue avec un dispositif équilibré

B-7 CAS PARTICULIER D'UNE BANDE COMPOSITE

La largeur de bande associée à une **bande composite** est telle que ses bords se trouvent par rapport à l'axe de chaque piste à la distance minimale donnée par le tableau 3-30 :

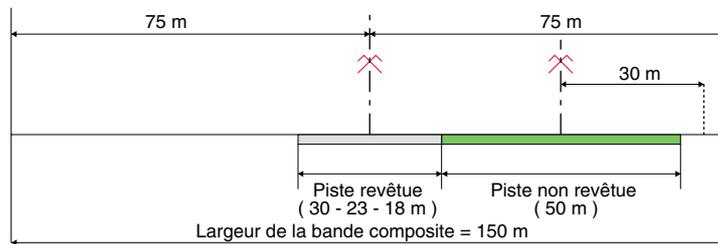
La vue en plan et le profil en travers type des principales situations pouvant se présenter sont fournis par les figures 3-31-a à 3-31-e.

Code chiffre	Utilisation	Code lettre		
		A	B	C
1	aux instruments	75	75	75
	à vue	30	30	30
	planeurs	40		
2	aux instruments	75	75	75
	à vue	40	40	40
	planeurs	40		

3-30 Distance minimale du bord de bande composite à chaque piste (valeurs exprimées en mètres)



Vue en plan

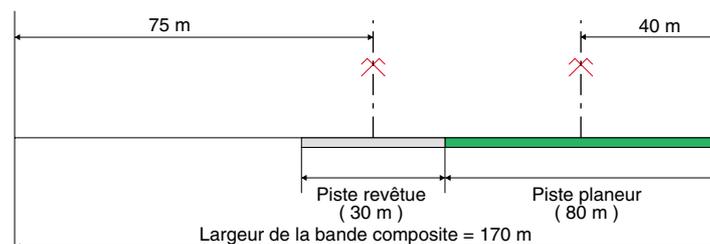


Profil en travers

3-31-a Exemple d'une bande composite possédant une piste exploitée aux instruments revêtue et une piste non revêtue pour avions

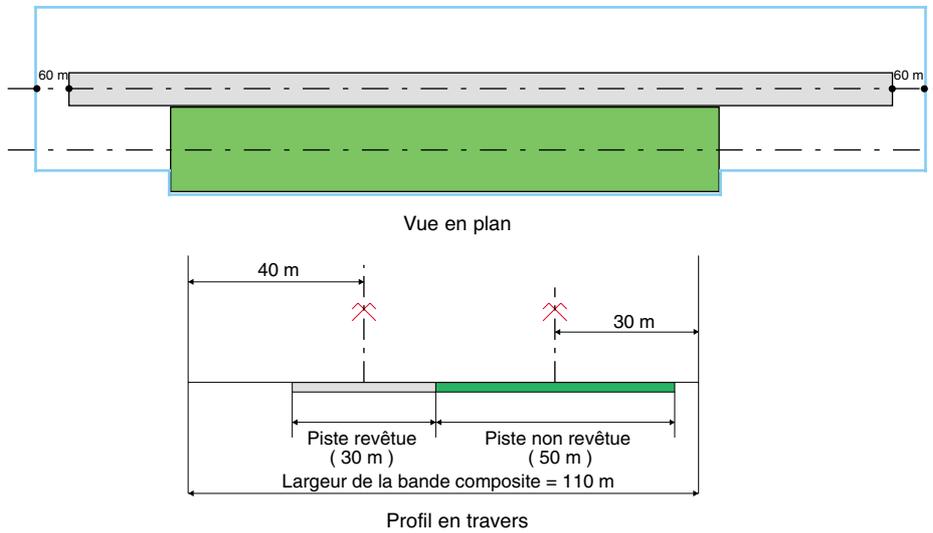


Vue en plan

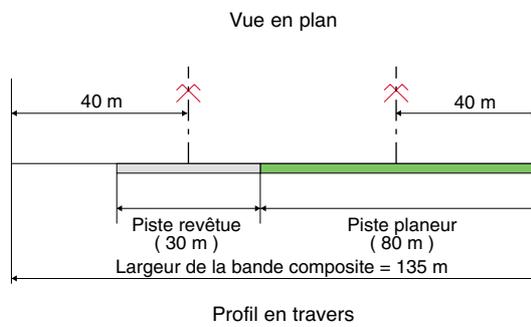


Profil en travers

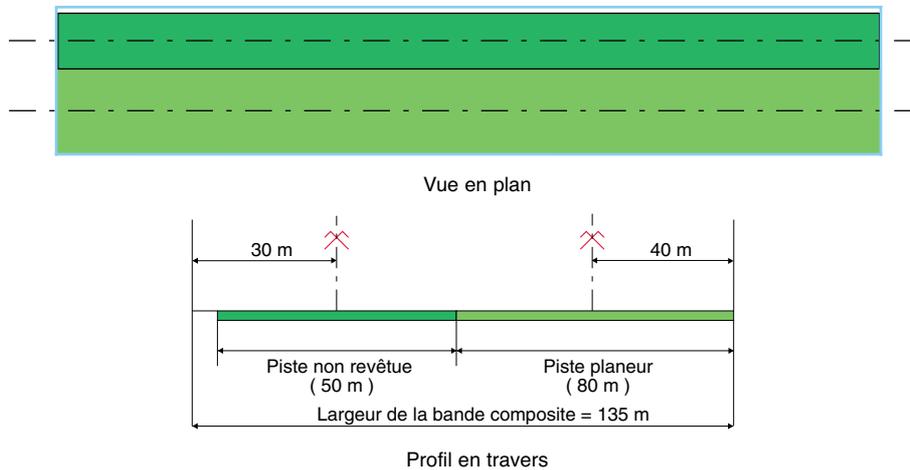
3-31-b Exemple d'une bande composite possédant une piste revêtue exploitée aux instruments et une piste pour planeurs



3-31-c Exemple d'une bande composite possédant une piste revêtue exploitée à vue et une piste non revêtue pour avions



3-31-d Exemple d'une bande composite possédant une piste revêtue exploitée à vue et une piste pour planeurs



3-31-e Exemple d'une bande composite possédant une piste non revêtue pour avions et une piste pour planeurs

B-8 AIRE DE SÉCURITÉ D'EXTRÉMITÉ DE PISTE



Aéroport de Clermont-Ferrand - Aulnat. Aire de sécurité d'extrémité de piste au seuil 08

Photographie STBA / A. PARINGAUX

Symétrique par rapport au prolongement de l'axe de la piste et adjacente extérieurement à l'extrémité de la bande, l'aire de sécurité d'extrémité de piste est principalement destinée à réduire les risques de dommages matériels au cas où un avion dépasserait l'extrémité de piste en fin d'atterrissage.*

Il est recommandé d'aménager une aire de sécurité d'extrémité de piste à chaque extrémité de la bande de piste, lorsque :

- le code chiffre est 3 ou 4,
- le code chiffre est 1 ou 2 et que la piste est équipée aux instruments.

*Lorsqu'une **aire de sécurité d'extrémité de piste** est aménagée, tout objet situé sur celle-ci et susceptible de constituer un danger pour les avions doit être enlevé. Tout matériel ou toute installation nécessaire aux besoins de la navigation aérienne et qui ne peut être placé hors de l'aire de sécurité d'extrémité de piste doit avoir une masse et une hauteur aussi faibles que possible, être de conception et de monture frangibles et être placé de manière à réduire le plus possible le danger qu'il pourrait présenter pour les aéronefs.*

B-8-1 DIMENSIONS

Lorsqu'une aire de sécurité d'extrémité de piste est aménagée, il est recommandé qu'elle s'étende à partir de l'extrémité d'une bande de piste sur une distance aussi grande que possible et au moins égale à 90m.

Il est recommandé que cette aire ait une largeur au moins égale au double de celle de la piste correspondante.

B-8-2 PENTES

Lorsqu'une aire de sécurité d'extrémité de piste est aménagée, il est recommandé qu'aucune partie de celle-ci ne fasse saillie au-dessus de la surface d'approche ou de montée au décollage.

B-8-2-1 PENTES LONGITUDINALES

Les pentes longitudinales d'une aire de sécurité d'extrémité de piste ne devraient pas excéder une valeur négative de 5% en s'éloignant de l'extrémité de la piste. Les changements de pente doivent être aussi progressifs que possible et exclure tout changement brusque et inversion soudaine.

B-8-2-2 PENTES TRANSVERSALES

Il est recommandé que les pentes transversales d'une aire de sécurité d'extrémité de piste ne dépassent pas une valeur positive ou négative de 5%. Les changements de pente doivent être aussi progressifs que possible.

* à la différence du prolongement d'arrêt dont l'aménagement est lié à la manœuvre d'accélération-arrêt

3-1-2 Les voies de circulation et leurs bandes

C - LES VOIES DE CIRCULATION

C - LES VOIES DE CIRCULATION



Aéroport de Paris-Orly. Système de pistes et de voies de relation

Les **voies de desserte** appartenant à l'**aire de trafic**, seules seront considérées ci-après les **voies de relation**, dont l'ensemble appartient à l'**aire de manœuvre** et doit permettre une liaison aussi directe que possible entre les différents points de l'**aire de mouvement** afin de réduire au maximum le temps de roulage au sol des aéronefs (économie de carburant, gain de temps) et de contribuer à accroître la capacité du système.

Les concepts étant toutefois les mêmes, ils ne font pas l'objet d'autres développements dans la partie que cette nouvelle édition de l'I.T.A.C. consacre à l'aire de trafic. Il y est par contre fait renvoi à ceux auxquels il est procédé ci-après afin d'éclairer la signification des caractéristiques qui y sont données. Ces dernières ne sont d'ailleurs différentes de celles livrées ici qu'en ce que les vitesses de déplacement des avions sont plus faibles sur l'aire de trafic que sur l'aire de manœuvre.

Hors influence de proximité d'une piste ou de sa bande, les caractéristiques géométriques des voies de circulation ne sont commandées que par la **lettre de code** de l'aérodrome dont, pour chacune d'elles, le tableau 3-32 rappelle* les plages d'envergures et de largeurs de train des avions critiques appelés à y circuler.

Ce même tableau est complété par l'indication des types d'avions critiques les plus fréquents (existants ou prévus) auxquels s'appliquent tous les minima et maxima donnés dans ce qui suit, y compris lorsque la proximité d'une piste introduit la prise en compte du **chiffre de code**. Au cas toutefois où un avion de type particulier viendrait à devoir fréquenter de manière permanente un aérodrome, certains parmi ces minima et maxima pourraient être relevés en conséquence.

* cf. ci-dessus Chapitre 2 - § 2-4

Code Lettre	A	B	C	D	E	F
<i>Avions critiques</i>	<i>Avions légers</i>	<i>CRJ-200/X Gulfstream II/IV</i>	<i>A-320/321 B-737 MD-80/90</i>	<i>A-300/310 B-757/767 DC-10 MD-11</i>	<i>A-330/340 B-747 B-777</i>	<i>Avions du futur (a)</i>
<i>Envergure prise pour base</i>	<i>< 15 m</i>	<i>15 à 24 m</i>	<i>24 à 36 m</i>	<i>36 à 52 m</i>	<i>52 à 65 m</i>	<i>65 à 80 m</i>
<i>Largeur du train principal prise pour base</i>	<i>< 4,5 m</i>	<i>4,5 à 6 m</i>	<i>6 à 9 m</i>	<i>9 à 14 m</i>	<i>9 à 14 m</i>	<i>9 à 16 m</i>

(a) A 3XX, NLA (New Large Aircraft)

3-32 Avions critiques par code lettre

C-1 TRACÉ DES VOIES DE RELATION

Destinées à permettre le déplacement rapide des aéronefs, les voies de relation doivent être le plus rectiligne possible et ne comporter qu'un minimum de courbes.

C-2 LARGEUR DES VOIES DE RELATION

La largeur d'une voie de relation doit être au moins telle que, le poste de pilotage de l'avion le plus exigeant devant l'emprunter étant supposé se déplacer à la verticale de l'axe de cette voie de relation, le flanc extérieur des roues de son train principal laisse entre lui et le bord de chaussée une distance respectant la **marge de dégagement** (dite également **écart latéral admissible**) e_R donnée par le tableau 3-33.

Code lettre	Dégagement e_R
A	1,5 m
B	2,25 m
C	3 m, si la voie de relation est destinée à des avions dont l'empattement est inférieur à 18 m ; 4,5 m, si la voie de relation est destinée à des avions dont l'empattement est égal ou supérieur à 18 m.
D	4,5 m
E	4,5 m
F	4,5 m

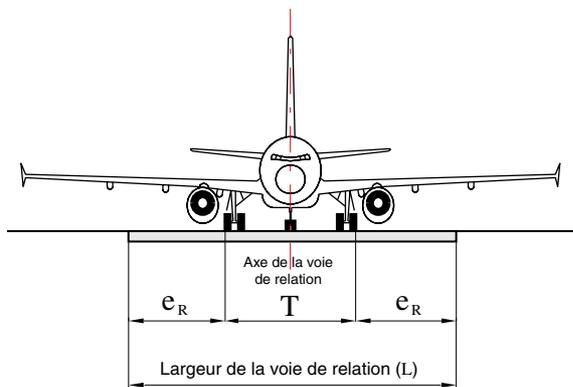
3-33 Écart latéral admissible s'appliquant aux voies de relations

C-2-1 SECTIONS RECTILIGNES - LARGEUR DE BASE

En section rectiligne, la largeur minimale L d'une **voie de relation** est obtenue en ajoutant deux fois la marge de dégagement (ou écart latéral) e_R à la largeur hors tout T du train principal de l'avion le plus pénalisant.

La largeur minimale ($L = T + 2 e_R$) d'une voie de relation en section rectiligne est schématisée par le croquis 3-34.

La borne supérieure de la plage de largeur de train principal prise pour base de chaque **lettre de code** permet ainsi de faire correspondre à cette dernière une largeur minimale, dite **largeur de base**, figurant dans le tableau 3-35.



3-34 Détermination de la largeur d'une voie de circulation

Code lettre	Largeur (L) des voies de relation
A	7,5 m
B	10,5 m
C	15 m si la voie de relation est destinée aux avions dont l'empattement est inférieur à 18 m (marge de 3 m), 18 m si la voie de relation est destinée aux avions dont l'empattement est égal ou supérieur à 18 m (marge de 4,5 m).
D (a)	18 m si la voie de relation est destinée aux avions dont la largeur hors tout du train principal est inférieure à 9 m 23 m si la voie de relation est destinée aux avions dont la largeur hors tout du train principal est supérieure ou égale à 9 m
E	23 m
F	25 m

(a) la distinction faite ici tient à ce que la largeur hors tout T du train principal des avions relevant du code lettre **D** ne se situe pas toujours, pour ce critère, dans l'intervalle correspondant à ce même code lettre

3-35 Largeurs des voies de relation

**C-2-2 SECTIONS COURBES - SURLARGEURS
- CONGÉS D'INTERSECTION**

Dans les courbes, il convient de prévoir une **surlargeur** suffisante pour que, compte tenu du code de référence de l'aérodrome, les appareils pouvant y être accueillis respectent les marges de dégagement correspondant à la lettre de code.

La détermination des surlargeurs en section courbe doit faire l'objet d'une étude spécifique. Celle-ci passe par le choix préalable du rayon R du cercle de raccordement d'axes, à l'aplomb duquel sont supposés devoir rester les postes de pilotage des avions qui emprunteront la **voie de relation** et notamment de celui dont les caractéristiques doivent servir à la délimitation de la surlargeur.

Les valeurs minimales, qui peuvent être données à ce rayon R , correspondent ainsi au cas où le rayon du bord intérieur de la voie de relation serait, avant introduction de la surlargeur, pris égal au rayon minimal pouvant être donné aux congés d'intersection.

En effet, les intersections de voies de circulation entre elles ou avec une piste ou une aire, impliquent qu'un aéronef puisse y effectuer un changement de direction. On admet que celui-ci est effectué à vitesse réduite en faisant suivre au poste de pilotage une portion de circonférence correspondant à un **congé de raccordement** dont le rayon r est, selon la lettre de code retenue, supérieur aux valeurs minimales donnée par le tableau 3-36.

Code lettre	Rayons intérieurs de congé minimaux
A	15 m
B	20 m
C	30 m
D	50 m
E	50 m
F	≥ 50 m

3-36 Rayons minimaux des congés de raccordement

Pour tout changement de direction, il convient de s'assurer que les marges de dégagement sont bien respectées et de prévoir au besoin un rayon de congé plus important ou une surlargeur déterminée comme indiqué ci-après.

Le cas d'une intersection entre deux voies de relation et celui d'une intersection entre piste et voie de relation sont, à titre indicatif, schématisés par les figures 3-37a et b.



Aéroport de Marseille-Provence. Surlargeurs et section courbe

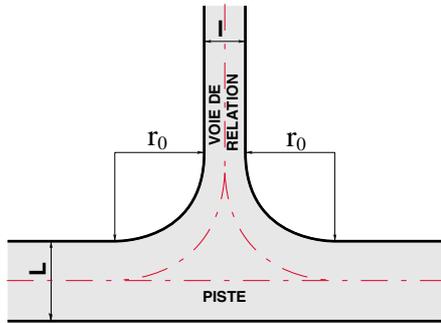
Le choix étant fait d'un rayon R raccordant deux sections d'axe rectilignes, la surlargeur à donner à l'intérieur de la courbe est alors déterminée par une méthode graphique illustrée par la figure 3-38. Cette construction par points prend pour hypothèse que, en toute position de son déplacement, le point central A_n du train principal $G_n D_n$ se déplace sur la droite joignant A_n à la position suivante M_{n+1} du poste de pilotage sur le raccordement d'axes.

Le déplacement de l'avion le long de la courbe permet de tracer la ligne parcourue par le flanc extérieur de l'atterrisseur intérieur au virage puis, par introduction de la marge de dégagement e_R , de définir la surface susceptible d'être parcourue par l'avion.

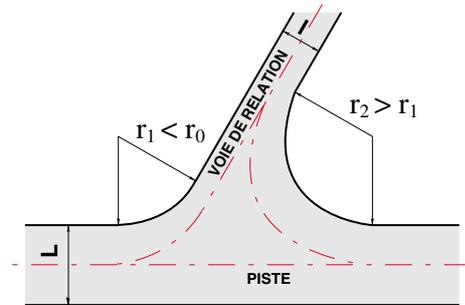
Les zones de la voie de circulation nécessitant une surlargeur s'en déduisent par comparaison au tracé circulaire initialement retenu pour le bord de la voie.

Le choix du pas de déplacement de l'avion A_n , A_{n+1} conditionne la précision du tracé de la surlargeur. L'utilisation du programme informatique, dont s'est doté le S.T.B.A., permet d'automatiser le tracé optimisé des surlargeurs.

Il convient encore de ne pas perdre de vue qu'une voie de circulation peut être utilisée dans les deux sens. En tel cas, la surlargeur à implanter sera l'enveloppe des deux constructions correspondantes.

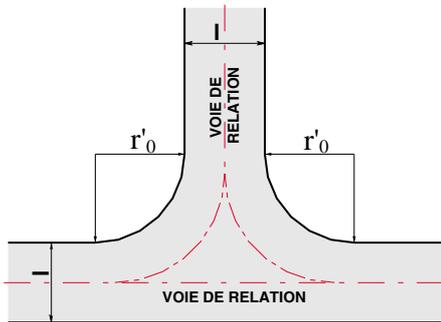


SORTIE A 90°

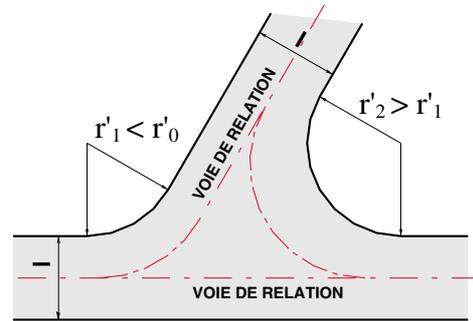


SORTIE A 60°

3-37 a Intersection entre une piste et une voie de relation à 90° et 60°

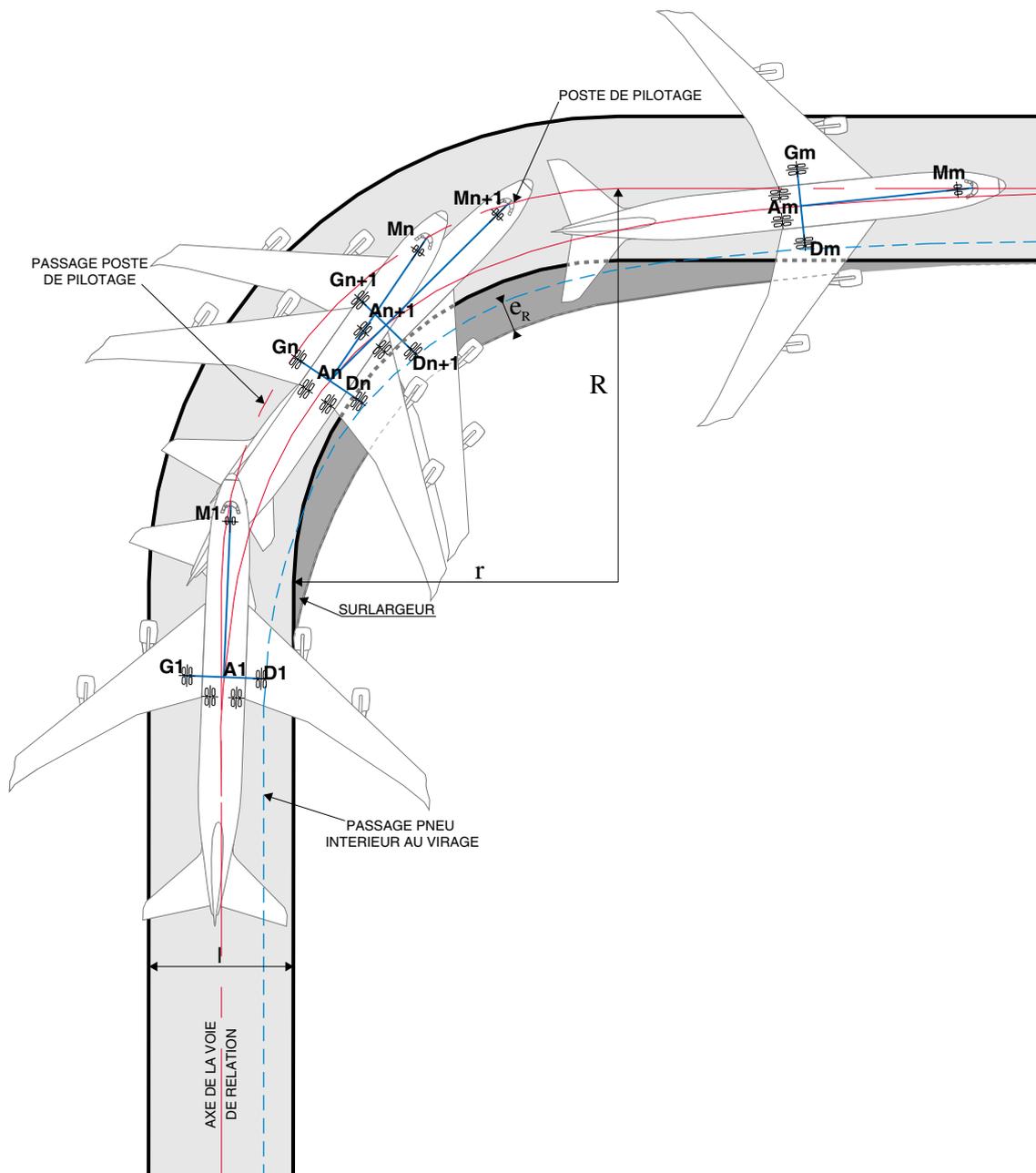


SORTIE A 90°



SORTIE A 60°

3-37 b Intersection entre deux voies de relation à 90° et 60°



3-38 Construction par points de la surlargeur en courbe d'une voie de relation

C-3 PENTES DES VOIES DE RELATION

C-3-1 PROFIL EN LONG

C-3-1-1 PENTE LONGITUDINALE

La **pente longitudinale** d'une **voie de relation** n'excèdera pas les valeurs suivantes :

- 3 % pour les lettres de code A et B,
- 1,5 % pour les lettres de code C, D, E et F.

Note : Pour les gros porteurs, une pente de l'ordre de 1 % est recommandée en D, E et F compte tenu en particulier de la masse des avions à pleine charge. Dans le cas où, pour des questions financières ou techniques, il n'est pas envisageable de descendre en deçà de 1,5 %, le projeteur devra s'attacher autant que faire se peut à ne pas appliquer cette pente sur des distances trop longues.

C-3-1-2 CHANGEMENT DE PENTE

Tout changement de **pente longitudinale** doit s'effectuer de manière à ce que le passage d'une pente à une autre soit réalisé par des surfaces courbes dont la pente ne variera pas de plus de :

- 1% par 25 m (rayon de courbure minimal de 2500 m) pour les lettres de code A et B,
- 1% par 30 m (rayon de courbure minimal de 3000 m) pour les lettres de code C, D, E et F.

C-3-1-3 DISTANCE DE VISIBILITÉ

Lorsqu'un changement de pente sur une voie de relation est inévitable, la **distance de visibilité** doit être préservée de manière telle que, de tout point situé à une hauteur de :

- 1,5 m au-dessus de la voie de relation, il soit possible de voir toute la surface de cette même voie sur une distance d'au moins 150 m lorsque la lettre de code est A ;
- 2 m au-dessus de la voie de relation, il soit possible de voir toute la surface de cette même voie sur une distance d'au moins 200 m lorsque la lettre de code est B ;
- 3 m au-dessus de la voie de relation, il soit possible de voir toute la surface de cette même voie sur une distance d'au moins 300 m, lorsque la lettre de code est C, D, E ou F.

C-3-2 PROFILS EN TRAVERS

De même que pour les pistes, les **profils en travers** des voies de relation sont de préférence composés de 2 versants plans symétriques formant toit. On peut toutefois, pour eux aussi, admettre des profils en travers à pente unique, ou encore à 2 versants dissymétriques, si ces solutions conduisent à une diminution sensible du volume des travaux.

Les pentes transversales d'une voie de relation doivent être suffisantes pour éviter l'accumulation des eaux sur la chaussée.

Pour les voies de relation revêtues, les valeurs maximales à prendre en compte sont celles données par le tableau 3-39.

	Code lettre					
	A	B	C	D	E	F
Pente	2%	2%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%

3-39 Pentes maximales des profils en travers des voies de relation revêtues

Pour les voies de relation non revêtues de code A, elles doivent être comprises entre 2,5% et 3%.

La vitesse des aéronefs étant relativement faible, elle ne nécessite pas d'aménagement de dévers dans les courbes. Toutefois, en cas de passage d'un profil symétrique à deux versants à un profil à pente unique en section courante, la variation de la pente transversale doit s'effectuer sur une distance suffisante permettant de respecter la règle de changement de pente.

C-4 ACCOTEMENTS DES VOIES DE RELATION



Photothèque STBA / A. PARINGAUX

Aéroport de Marseille-Provence. Accotements d'une voie de relation

Désignée sous l'appellation de **bande aménagée de voie de relation**, la partie aménagée d'une voie de relation comprend la voie de relation elle-même et les parties traitées de part et d'autre en accotements de façon à éviter les projections ou ingestions de corps étrangers dans les groupes motopropulseurs et à permettre la circulation des véhicules terrestres de maintenance et d'entretien.

Les **accotements de voies de relation** doivent avoir les largeurs minimales suivantes :

Code lettre	Largeur minimale d'un accotement	Largeur minimale de la bande aménagée L_{BA}
A	4,5 m (a)	16,5 m
B	7,25 m (a)	25 m
C	7,5 m	30 ou 33 m (b)
D	10 m	38 ou 43 m (b)
E	10,5 m	44 m
F	17,5 m	60 m

(a) Les accotements des voies de relation correspondant aux codes-lettre A et B seront simplement nivelés

(b) cf. conditions d'applications précisées dans le tableau 3-35

3-40 Largeur des accotements et de la bande aménagée

Les largeurs minimales données par le tableau 3-40 assurent en général une marge de 5 m entre le réacteur extérieur de l'avion et le bord de la surface traitée en accotement, le poste de pilotage étant supposé se déplacer à la verticale de l'axe de la voie de circulation.

Afin toutefois d'assurer cette marge de 5 m pour les réacteurs extérieurs des B 747 et des quadri-réacteurs de la nouvelle génération, tels l'Airbus A 340, la largeur des accotements devra, dans certaines configurations et utilisations, être portée à 16 m, dans la mesure, bien entendu où ces configurations ou utilisations impliquent la mise en fonctionnement des réacteurs extérieurs.

Dans les régions où il est possible de maintenir en permanence du fait du climat et de la nature du sol une surface engazonnée d'une qualité permettant de prévenir les phénomènes d'ingestion et de projection, on pourra se dispenser de réaliser les revêtements d'accotements, ou en limiter aussi bien la largeur que les zones d'application. Toutefois, les abords ainsi aménagés nécessitent un entretien beaucoup plus fréquent que les surfaces traitées. Une étude comparative est donc particulièrement recommandée chaque fois que le

choix entre l'un et l'autre de ces procédés devra être fait.

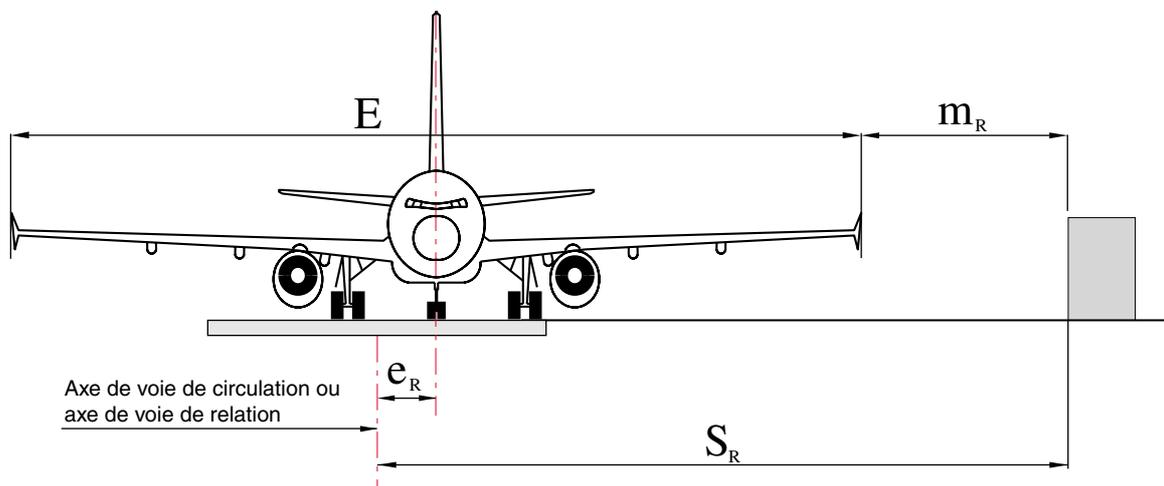
En outre, en certains points particuliers de l'aire de mouvement (virages, aires d'attente, points d'arrêt) où la poussée des réacteurs peut être supérieure à celle exercée en section courante, il pourra être nécessaire de traiter les zones adjacentes les plus fortement exposées.

Afin de faciliter l'écoulement des eaux, la pente des accotements et du terrain avoisinant sera, sur une distance au moins égale à 15 m du bord de la voie de circulation, comprise entre 3% et 5%, pour les lettres de code A et B, et entre 2,5% et 5%, pour les lettres de code C, D, E et F.

Il est recommandé que cette pente soit descendante à partir du bord de la voie de circulation, sauf circonstances particulières s'y opposant et nécessitant alors une étude spécifique. Tel sera, par exemple, le cas d'une voie de circulation en déblais pour laquelle il peut être plus économique de réaliser un caniveau en bordure de voie.

D - BANDE DE VOIE DE RELATION

D-1 MARGE DE SÉPARATION



3-41 Distance minimale entre l'axe de la voie de relation et un objet

La bande d'une voie de relation, dite également **bande dégagée** de la voie de relation, s'étend de part et d'autre de l'axe de cette voie, sur une largeur assurant une marge de séparation m_R entre tout obstacle extérieur et l'extrémité d'aile de l'appareil critique en circulation.

La **marge de séparation** m_R devant être ménagée a, selon le code lettre de l'aérodrome, pour valeur celle donnée dans le tableau 3-42.

En section rectiligne, la distance minimale S_R

	Code lettre					
	A	B	C	D	E	F
Marges de séparation m_R	4,5 m	7,25 m	7,5 m	10 m	10,5 m	10,5 m

3-42 Marges de séparation m_R

entre l'axe d'une voie de relation et un obstacle est par suite donnée par la relation :

$$S_R = \frac{E}{2} + M_R \text{ (avec } M_R = m_R + e_R \text{)}$$

Code Lettre	1/2 envergure $0,5 E$	Marge de séparation m_R	Ecart latéral e_R	Marge de sécurité M_R	Distance minimale S_R entre axe de voie de relation et un objet	Largeur de bande L_R
A	7,5 m	4,5 m	1,5 m	6 m	13,5 m	27 m
B	12 m	7,25 m	2,25 m	9,5 m	21,5 m	43 m
C	18 m	7,5 m	3 m (a) ou 4,5 m	10,5 m (a) ou 12 m	28,5 m (a) ou 30 m	57 m (a) ou 60 m
D	26 m	10 m	4,5 m	14,5 m	40,5 m	81 m
E	32,5 m	10,5 m	4,5 m	15 m	47,5 m	95 m
F	40 m	10,5 m	4,5 m	15 m	55 m	110 m

(a) Si la voie de relation est destinée à des avions dont l'empattement est inférieur strictement à 18 m

3-43 Tableau récapitulatif des marges des voies de relation par rapport à un objet

dans laquelle E est l'envergure de l'avion, e_R est l'**écart latéral**.

Le calcul de la distance minimale S_R est, pour chaque lettre de code, développé dans le tableau 3-44 page suivante.

Dans les courbes, une étude spécifique devra être effectuée au cas par cas pour s'assurer du respect de la marge de séparation ou de sécurité requise en fonction des caractéristiques de la voie considérée.

Le double de la distance minimale S_R constitue par définition la **largeur de la bande de voie de relation** L_R , dont les différentes valeurs possibles sont également rassemblées dans le tableau 3-43.

Pour les parties de voie de circulation ayant une double fonction (voie de relation et voie de dessert), on appliquera les marges relatives aux voies de relation compte tenu de ce qu'il n'y a pas, sur ces dernières, de réduction possible de la vitesse de circulation.

D-2 PROFILS EN TRAVERS DE LA BANDE DE VOIE DE RELATION

*A l'intérieur d'une **bande dégagée de voie de relation**, aucun point du terrain hors chaussée ne doit se situer au-dessus d'un segment de droite issu du bord de la voie selon une pente positive de 7%.*

*Sur la part de bande dégagée de voie de relation située en deçà du bord extérieur de la **bande aménagée**, aucune partie de terrain, montant en s'éloignant de la voie de relation, ne doit s'élever selon une pente supérieure à 5%*

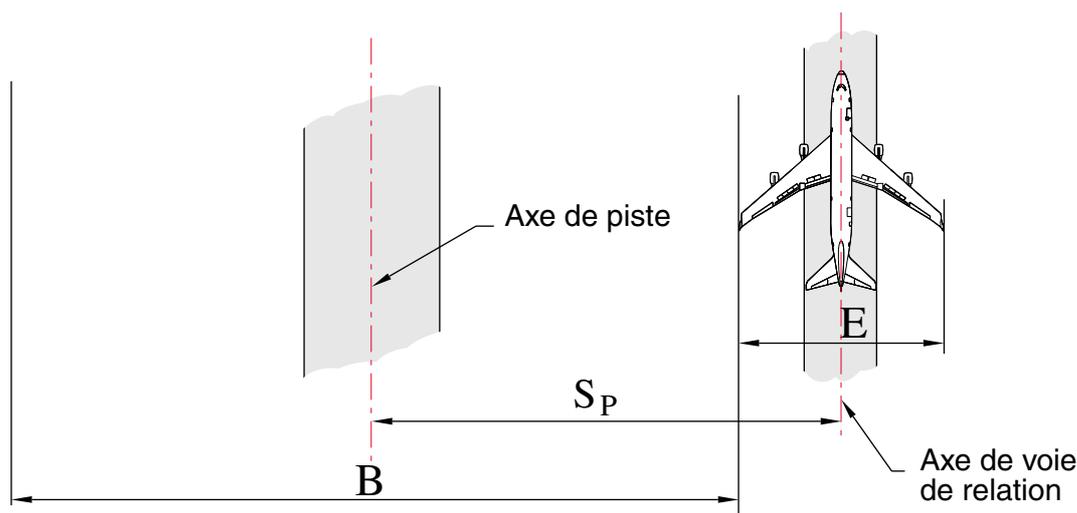
D-3 VOIES DE RELATION À CARACTÉRISTIQUES RÉDUITES

Certaines voies de relation d'un aérodrome donné peuvent être réservées à des avions susceptibles d'utiliser normalement des aérodromes de code de référence inférieur. Elles auront alors les caractéristiques liées à ces derniers.

Tel est le cas, par exemple, d'un aérodrome dont les caractéristiques de la piste ont été déterminées

par référence à la lettre de code C, mais possédant une zone d'installations destinée uniquement à des avions d'aéro-club. Les voies de circulation desservant uniquement cette zone pourront alors être dimensionnées sur la base des caractéristiques liées à la lettre de code A.

D-4 IMPLANTATION D'UNE VOIE DE RELATION



3-44 Distance séparant axes de piste et de voie de relation

D-4-1 IMPLANTATION PAR RAPPORT À UNE PISTE

Obliger un appareil, circulant sur une voie de relation à respecter les **dégagements** des pistes desservies, aurait pour conséquence, compte tenu des hauteurs des empennages verticaux des avions (environ 20 m pour un B-747), d'éloigner considérablement des pistes les voies de relation.

La règle adoptée est par suite la suivante :

L'implantation de l'axe d'une **voie de relation** par rapport à l'axe d'une piste doit être telle que le bout d'aile de l'avion critique en mouvement sur cette voie de relation ne pénètre pas dans la **bande dégagée de la piste**, lorsque celle-ci est exploitée aux instruments ou dans la **bande aménagée de la piste**, lorsque celle-ci est utilisée à vue.

Cette condition préserve les possibilités d'atterrissage et de décollage sur la piste à laquelle la voie de relation est associée et permet de calculer l'**espacement minimal** S_p devant être ménagé entre axes de **piste et de voie de relation** par application de la relation suivante :

$$S_p = \frac{B+E}{2}$$

dans laquelle

B est, selon les cas, la largeur de la bande dégagée ou aménagée encadrant la piste,

E est l'envergure de l'avion le plus pénalisant.

La distance S_p séparant un axe de voie de relation

d'un axe de piste appartenant à un aéroport de code de référence donné ne sera par suite pas inférieure aux valeurs données par celui des tableaux 3-45-a et 3-45-b correspondant au mode d'exploitation de la piste.

Code chiffre	Code lettre					
	A	B	C	D	E	F
1	82,5 m	87 m	93 m-	-	-	-
2	82,5 m	87 m	93 m-	-	-	-
3	-	-	168 m	176 m	-	-
4	-	-	-	176 m	182,5 m	190 m

3-45-a Valeurs de S_p pour les pistes exploitées aux instruments

Code chiffre	Code lettre					
	A	B	C	D	E	F
1	37,5 m	42 m	48 m-	-	-	-
2	47,5 m	52 m	58 m-	-	-	-
3	-	-	93 m	101 m	-	-
4	-	-	-	101 m	107,5 m	115 m

3-45-b Valeurs de S_p pour les pistes utilisées à vue

Dans le cas où une piste est ou doit être pourvue de **voies de sortie rapide**, une étude particulière est nécessaire afin de prévoir une distance de décélération suffisante sur la voie de sortie avant sa jonction avec la voie de relation, étude de laquelle pourra résulter un entre-axe plus important que la valeur extraite des tableaux précédents.

D-4-2 IMPLANTATION PAR RAPPORT À UNE VOIE DE RELATION PARALLÈLE

La distance S_c entre axes de deux voies de relation résulte de la conjugaison de leurs demi-bandes de manière à ne conserver entre elles qu'une seule fois la **marge de sécurité** M_R par rapport à un obstacle.

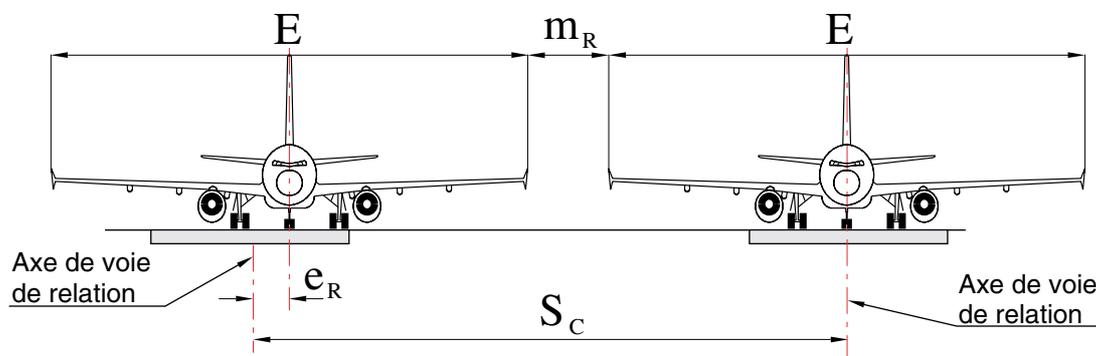
L'**espacement** minimal S_c entre axes de deux voies de relation parallèles est, par suite, donné par la relation :

$$S_c = E + M_R \text{ (avec } M_R = m_R + e_R \text{)}$$

où m_R est la **marge de séparation** et e_R est l'**écart latéral** admissible.

La distance S_c séparant deux axes de voies de relation parallèles est donnée dans le tableau 3-47.

Dans le cas de deux voies de circulation parallèles de lettres de code différentes ou de nature différente (voie de relation - voie de desserte), on appliquera l'envergure propre à chacun des codes considérés pour déterminer la valeur de l'espacement.



3-46 Distance S_c de séparation entre deux voies de relation

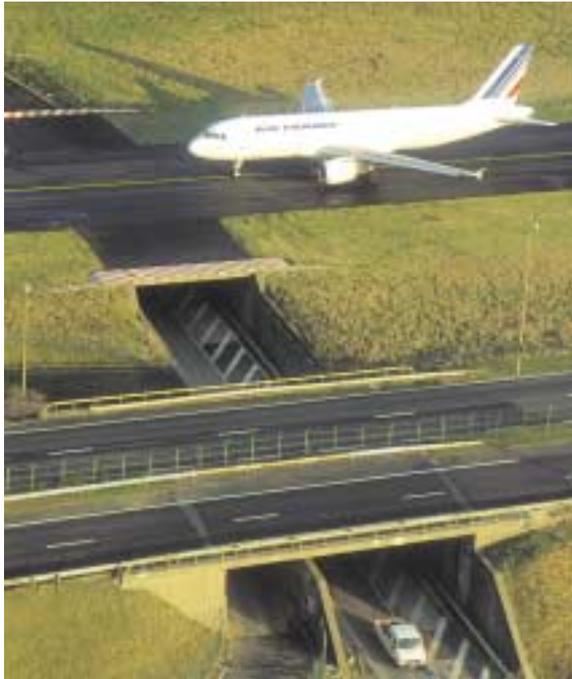
Code Lettre	Envergure	Marge de séparation m_R	Marge de dégagement (ou écart latéral) e_R	Marge de sécurité M_R	Espacement S_c
A	15 m	4,5 m	1,5 m	6 m	21 m
B	24 m	7,25 m	2,25 m	9,5 m	33,5 m
C	36 m	7,5 m	3 m (a) ou 4,5 m	10,5 m (a) ou 12 m	46,5 m (a) ou 48 m
D	52 m	10 m	4,5 m	14,5 m	66,5 m
E	65 m	10,5 m	4,5 m	15 m	80 m
F	80 m	10,5 m	4,5 m	15 m	95 m

(a) si les voies de relation sont destinées à des avions dont l'empannage est inférieur strictement à 18 m

Note : dans la mesure du possible - systématiquement dans le cas d'un aéroport nouveau - il sera tenu compte du développement futur de l'aéroport et l'on retiendra les valeurs ci-dessus même si l'avion critique permet de réduire cet espacement.

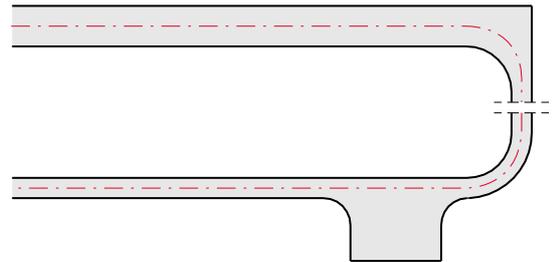
3-47 Tableau récapitulatif des marges entre deux voies de relation

D-5 SECTIONS PARTICULIÈRES D'UNE VOIE DE RELATION



Aéroport de Paris-CDG. Pont de voie de relation

Photographie STBA / A. PARRINGAUX



3-48 Exemple d'aire d'attente

D-5-3 CONDITIONS RELATIVES AUX AIDES RADIOÉLECTRIQUES

*Le tracé des voies de relation et des aires d'attente doit être étudié pour que les aéronefs circulant sur ces voies ou en attente respectent les diverses **servitudes radioélectriques**. Il y a notamment lieu de considérer avec soin le cas des émetteurs de l'I.L.S. (localizer et glide) surtout dans le cas particulier où le glide est situé entre la piste et les voies de relation.*

Dans le cas de l'approche de précision, le respect de la condition précédente peut ne pas suffire pour garantir le bon fonctionnement de l'I.L.S. Il y a lieu de consulter le Service Technique de la Navigation Aérienne sur les éventuelles conditions supplémentaires qui peuvent alors être imposées.

D-5-1 PONT DE VOIE DE RELATION

*La largeur, mesurée perpendiculairement à l'axe, d'un **pont de voie de relation**, conçu pour supporter des avions, ne sera pas inférieure à celle de la bande aménagée de voie de relation sauf si une protection latérale est assurée par une méthode éprouvée ne présentant aucun danger pour les avions auxquels la voie est destinée.*

Pour le code F et en l'absence d'éléments plus précis sur les caractéristiques du futur très gros porteur, on adoptera une largeur de 60 m.

D-5-2 AIRES D'ATTENTE

*Dans le cas où l'**aire d'attente** est constituée par un élargissement de la voie, son dimensionnement doit respecter les caractéristiques des aires de stationnement. Dans le cas où l'aire d'attente est formée par un ensemble de voies, la distance entre axes de ces voies doit permettre de respecter les marges de sécurité définies précédemment.*

D-6 TABLEAU RECAPITULATIF

Les caractéristiques géométriques stipulées ci-dessus sont, par commodité, regroupées dans le tableau 3-49.

	Code lettre					
	A	B	C	D	E	F
LARGEUR DES VOIES						
DE RELATION						
Marges des abords (écart latéral) e_R	1,5 m	2,25 m	3 m (a) ou 4,5 m	4,5 m	4,5 m	4,5 m
Largeur de base (L)	7,5 m	10,5 m	15 m (a) ou 18 m	18 m (b) ou 23 m	23 m	25 m
Congés (rayon intérieur minimal)	15 m	20 m	30 m	50 m	50 m	≥ 50 m
PROFILS EN LONG						
Pentes moyennes (maxima)	3%	3%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%
Changement de pente (maxima)	1% par 25 m	1% par 25 m	1% par 30 m	1% par 30 m	1% par 30 m	1% par 30 m
Rayon de raccordement minimal	2500 m	2500 m	3000 m	3000 m	3000 m	3000 m
Distance de visibilité	$h=1,5$ m $D=150$ m	$h=2$ m $D=200$ m	$h=3$ m $D=300$ m	$h=3$ m $D=300$ m	$h=3$ m $D=300$ m	$h=3$ m $D=300$ m
PROFILS EN TRAVERS						
Pente transversale minimale	2% (c)	2%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%
ACCOTEMENTS DES VOIES						
DE RELATION						
Largeur minimale	4,5 m	7,25 m	7,5 m	10 m	10,5 m	17,5 m
Pente des abords	$3\% \leq p \leq 5\%$	$3\% \leq p \leq 5\%$	$2,5\% \leq p \leq 5\%$			
Etat de surface	Non traitée	Non traitée	Traitée	Traitée	Traitée	Traitée
BANDE DES VOIES						
Marges de sécurité (M_R)	6 m	9,5 m	10,5 m (a) ou 12 m	14,5 m	15 m	15 m
Largeur (L_R)	27 m	43 m	57 m (a) ou 60 m	81 m	95 m	110 m
Largeur de la bande aménagée (L_{BA})	16,5 m	25 m	30 m (a) ou 33 m	38 m (b) ou 43 m	44 m	60 m

(a) Si la voie de relation est destinée à des avions dont l'empannement est inférieur strictement à 18 m

(b) Si la voie de relation est destinée à des avions dont la largeur hors tout du train principal est inférieure strictement à 9 m

(c) 2,5% à 3% pour les voies non revêtues

3-49 Tableau récapitulatif

D-7 VOIES DE SORTIE RAPIDE DE PISTES



Aéroport de Paris-CDG. Voies de sortie rapide de piste

Photographie ADP / J. J. MOREAU

D-7-1 GÉNÉRALITÉS

Une **voie de sortie rapide** est une voie de relation raccordée à une piste suivant un angle aigu et conçue de manière à permettre à un avion qui atterrit de dégager la piste à une vitesse plus élevée que celle permise par les autres voies de sortie (généralement perpendiculaires à la piste), ce qui réduit la durée d'occupation de la piste et augmente, par conséquent, la capacité de l'aérodrome.

La position d'une voie de sortie de piste est déterminée par :

- la distance du seuil de piste au point de toucher des roues,
- la distance de roulement à l'atterrissage, nécessaire à la réduction de vitesse à une valeur résiduelle compatible avec le début du virage,
- la distance entre le début du virage sur l'axe de piste et l'axe de sortie.

La première de ces trois distances ne peut être évaluée que de façon statistique et son optimisation étudiée dans le cadre d'une **étude de capacité**.

La deuxième peut être calculée à partir de :

- la vitesse au toucher des roues,
- la vitesse de sortie requise.

La troisième est calculée en fonction du rayon de virage adopté.

Parmi les nombreux paramètres intervenant dans cette détermination, on peut citer le type d'avion, la vitesse d'approche, le mode de pilotage, la vitesse et la direction du vent, la température, la pente de la piste, son état et sa situation (sèche ou humide), l'altitude de l'aérodrome.

Il est donc difficile de définir un emplacement

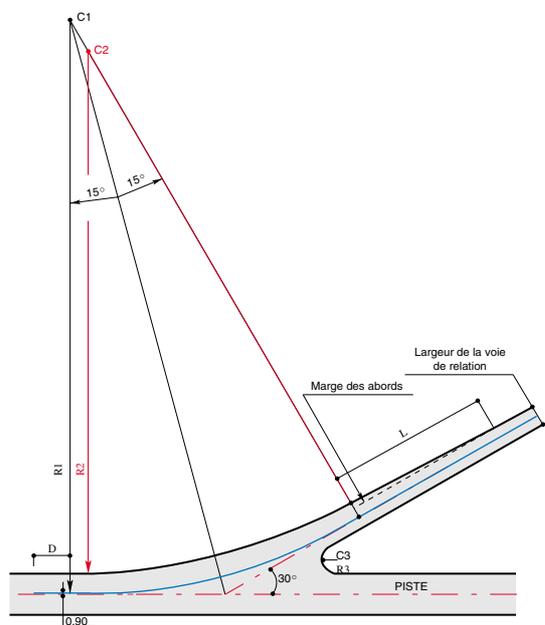
idéal des sorties de piste pour un type d'avion et à plus forte raison pour tous les avions d'une même catégorie. La sélection finale du ou des emplacements optimaux doit être adaptée aux exigences globales de la planification et tenir compte d'autres facteurs, tels que :

- l'emplacement de l'aérogare et des aires de trafic,
- l'emplacement des autres pistes et de leurs voies de sortie.

Une étude spécifique est donc nécessaire et peut être réalisée par le S.T.B.A. ou les S.S.B.A.-S.O. et S.E.

À titre indicatif, les ordres de grandeur des distances du seuil au point de sortie (origine du virage de sortie sur l'axe de la piste peuvent être les suivants :

- 1 000 m pour les avions de type ATR-42,
- 1 400 m pour les avions de types A-320, B 767,
- 1 500 m pour les avions de types DC-10, A 300, A-310, B-737,
- 2 000 m pour les avions de type B 747.



N.B. : la distance 0,90 m est la largeur du marquage au sol des voies de relation

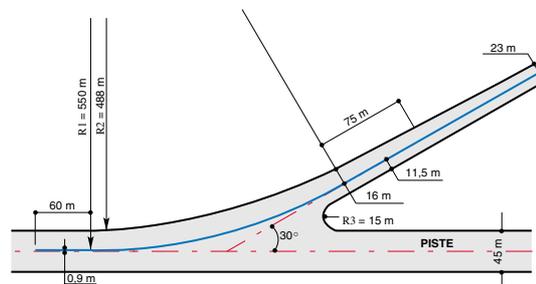
3-50 Principe de dimensionnement d'une sortie rapide

D-7-2 CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT

La première démarche consiste à déterminer l'avion « critique » ou la famille d'avions pour lesquels la **voie de sortie rapide** doit être conçue.

Plusieurs paramètres interviennent dans le tracé de la sortie rapide (cf. figure 3-50) à savoir :

- l'angle de la voie de sortie rapide, qui, est réduit à 45°, 30°, voire même 20° (valeur usuelle : 30°).
- le rayon du cercle de raccordement R_1 des axes de la piste et de la voie de sortie lequel est près de dix fois supérieur au rayon minimal habituel des lignes de guidage.
- le congé de raccordement qui comprend :
 - d'un côté, un arc de cercle de rayon R_2 , tangent au bord de piste et un segment de droite de longueur L , ramenant la surlargeur de chaussée à une valeur nulle sur la voie de circulation,



3-51 Voie de sortie rapide pour un code chiffre 4

- de l'autre côté, un arc de cercle de rayon R_3 ,
 - la section rectiligne L , après la section courbe, qui doit permettre aux avions de s'immobiliser avant une intersection avec une autre voie de relation.

À l'intersection de la voie de sortie rapide et de la piste, la marque axiale de la voie de sortie rapide est raccordée à la marque d'axe de piste et est prolongée parallèlement à celle-ci sur une distance D en amont du point de tangence T , la distance entre ces 2 marques étant de 0,90 m (3 pieds.)

Le tableau 3-52 donne les valeurs qu'il convient d'attribuer à ces différents paramètres, tandis que la figure 3-51 choisit pour exemple le cas d'une sortie rapide correspondant à un chiffre de code égal à 4.

Code chiffre	Code lettre	D	R_1	R_2	R_3	L	Marge des abords
1 et 2	A	30 m	275 m	253 m	5 m	35 m	1,5 m
	B						2,25 m
	C						3 m
3 et 4	D, E et F	60 m	550 m	488 m	15 m	75 m	4,5 m

3-52 Dimensionnement d'une sortie rapide

D-7-3 NOMBRE DE VOIES DE SORTIE RAPIDE

*Le nombre de **voies de sortie rapide** à prévoir est fonction de la population d'avions à recevoir sur l'aérodrome, laquelle peut être déterminée pour le moyen terme avec une relative précision.*

Il est nécessaire d'étudier dans quelles mesures :

- le nombre d'avions susceptibles d'utiliser la sortie intermédiaire justifie l'investissement,*
- le gain de temps pour rejoindre le poste de stationnement justifie la réalisation de la sortie.*

*En effet, si l'implantation de la sortie est telle que le parcours entre cette sortie et l'**aire de trafic** comporte plusieurs virages sur les voies de relation, le pilote devra circuler à une vitesse relativement faible. Le temps de parcours peut être alors*

supérieur à celui effectué sur une voie de relation rectiligne. Ce cas peut être celui d'un aérodrome où les installations terminales sont situées vers l'extrémité de piste. Sauf alors si le temps d'occupation de la piste est critique, ce qui est rare, il est plus avantageux pour le pilote de sortir en bout de piste et de rejoindre directement son poste de stationnement plutôt que de sortir en un point intermédiaire.

Un cas particulier est celui d'une piste construite en première phase avec une longueur inférieure à sa valeur définitive. Il est alors intéressant de déterminer si la voie de sortie située à l'extrémité provisoire de la piste pourra ultérieurement servir de sortie intermédiaire.

3-2 Équipements de l'aire de manœuvre

3-2-1 Le balisage

E - BALISAGE NON LUMINEUX

E - BALISAGE NON LUMINEUX



Aéroport de Nice - Côte-d'Azur. Balisage de piste au seuil 05L

Le balisage non lumineux peut être réalisé soit par des **marques**, soit par des **balises** et **marques** suivant qu'il s'agit de parties **revêtues** ou **non revêtues**.

Les **marques** ne font pas saillie sur la surface qui les porte et sont visibles en vol.

Les **balises** font saillie au-dessus du sol, émergent de la végétation éventuelle et sont visibles pendant le roulement.

En cas de voisinage d'aires revêtues et d'aires non revêtues, une étude d'adaptation des deux systèmes de balisage pourra être faite par le S.T.N.A.

E-1 BALISAGE DES PISTES ET VOIES DE RELATION REVÊTUES

Les **marques de balisage** sont de couleur blanche sur la piste et de couleur jaune sur les voies de circulation* et les postes de stationnement d'aéronef.

Toutefois, les marques sont de couleur jaune, même sur une piste :

- sur les aires à portance réduite, **prolongement d'arrêt** en particulier,
- lorsqu'elles matérialisent les raccordements aux axes des voies de circulation,
- sur les **raquettes de retournement**, lorsqu'elles matérialisent le raccordement à l'axe de piste après que l'avion a effectué un demi-tour.

* sauf cas, devant toujours faire l'objet d'une étude spécifique, de dédoublement d'une voie de circulation destiné, sur un aéroport, à fort trafic, à permettre à certains avions de se croiser au roulage à proximité d'une aire de stationnement. Le dédoublement sera alors matérialisé par deux lignes, respectivement orange et bleue, situées de part et d'autre de la ligne axiale jaune originelle de la voie de circulation.

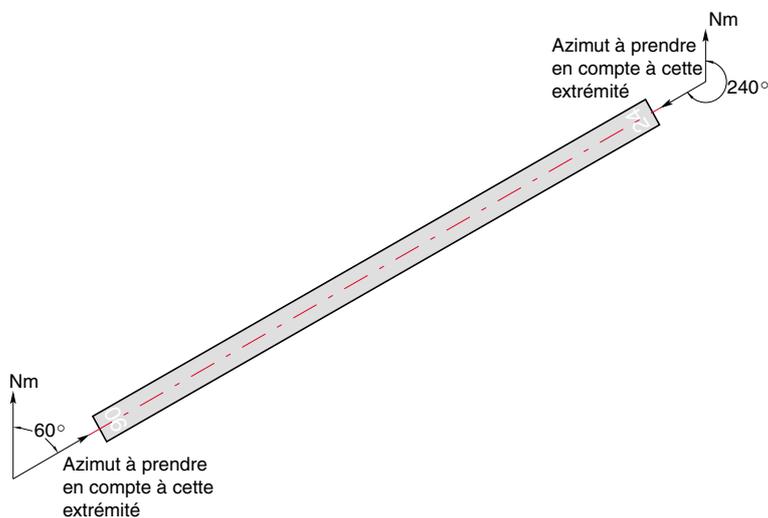
La conception et l'entretien de ces marques doivent garantir un contraste suffisant. En particulier dans le cas des chaussées de couleur claire, les marques ressortent mieux si elles sont entourées d'un liseré noir.

E-1-1 MARQUES DE PISTE

E-1-1-1 MARQUES D'IDENTIFICATION

Les **marques d'identification** de piste doivent être apposées aux seuils des pistes revêtues.

Les marques d'identification de piste sont constituées sur chaque seuil par un nombre à deux chiffres.



3-53 Détermination des marques d'identification de piste

Fixé par l'autorité aéronautique, ce nombre de deux chiffres est le nombre entier de 01 à 36 le plus proche du dixième de l'azimut magnétique de l'axe de la piste pris dans le sens de l'atterrissage sur ce seuil et mesuré en degrés à partir du nord magnétique dans le sens des aiguilles d'une montre. Dans les cas où le nombre obtenu est inférieur à dix, ce nombre est précédé d'un zéro.

Dans le cas de pistes parallèles, le **numéro d'identification** de la piste est accompagné d'une lettre qui est, de gauche à droite pour un observateur regardant dans le sens de l'approche :

Nombre de pistes parallèles	Lettres
deux	L puis R
trois	L puis C puis R
quatre	L puis R puis L puis R
cinq	L puis C puis R puis L puis R
ou	L puis R puis L puis C puis R
six	L puis C puis R puis L puis C puis R

La figure 3-54 précise la forme et les dimensions des chiffres et des lettres, tandis que la figure 3-55 définit la position à donner au numéro d'identification par rapport à l'axe de la piste. Pour les pistes dont la largeur est inférieure à 30 m, les dimensions indiquées sur les figures 3-54 et 3-55 peuvent être réduites de moitié.

E-1-1-2 MARQUES DE SEUIL

Toutes les pistes revêtues doivent être dotées de **marques de seuil**.

Les marques de seuil commencent à 6 m en aval du seuil et sont constituées par des bandes de 30 m de longueur, parallèles à l'axe de la piste et disposées symétriquement par rapport à cet axe.

La largeur de la piste détermine le nombre de bandes, leur largeur et l'espacement entre deux bandes consécutives.

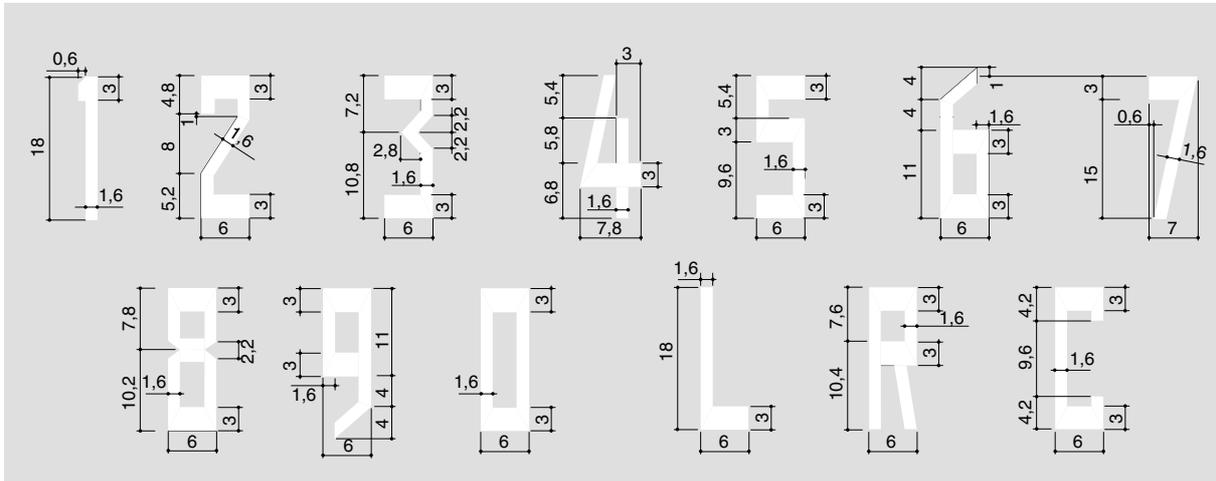
Seront ainsi disposées (2n) bandes de largeur (a), espacées de (a), sauf au centre où cet espacement est porté à (2a). Les deux bandes extrêmes se trouvent ainsi à une distance (d) du bord de piste (comme indiqué dans la figure 3-56).

Le nombre de bandes ainsi que leurs largeurs et espacements exprimés en mètres sont donnés dans le tableau 3-57.

La figure 3-58 indique notamment les positions relatives des marques d'identification et des marques de seuil.

À noter que le graphisme donné par la figure 3-54 pour le chiffre « 9 » conduit, lorsqu'il entre dans un numéro d'identification, à réduire de 1 m sa distance au seuil.

À noter également qu'indépendamment de l'existence ou non d'un balisage lumineux, des **feux à éclats** peuvent encadrer le marquage de seuil afin d'en renforcer la visibilité.



3-54 Formes et dimensions des lettres et des chiffres des marques d'identification de piste (valeurs exprimées en mètres)

- Cas général : 0,2,3,5,6,7,8,9

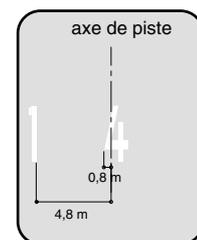
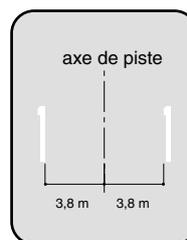
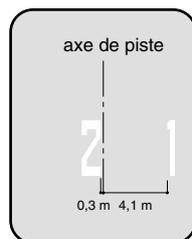
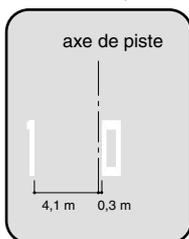
- Chiffre 4 : pistes 04, 14, 24, 34



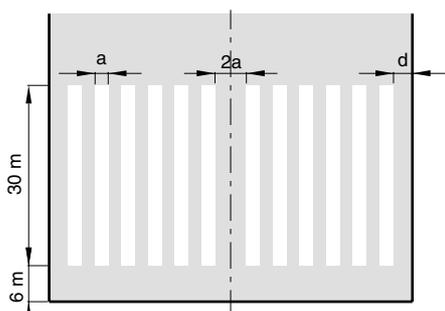
- Exceptions : chiffres 1 et 4

Chiffre 1 : pistes 1 , 01, 21, 31

- Nombres particuliers



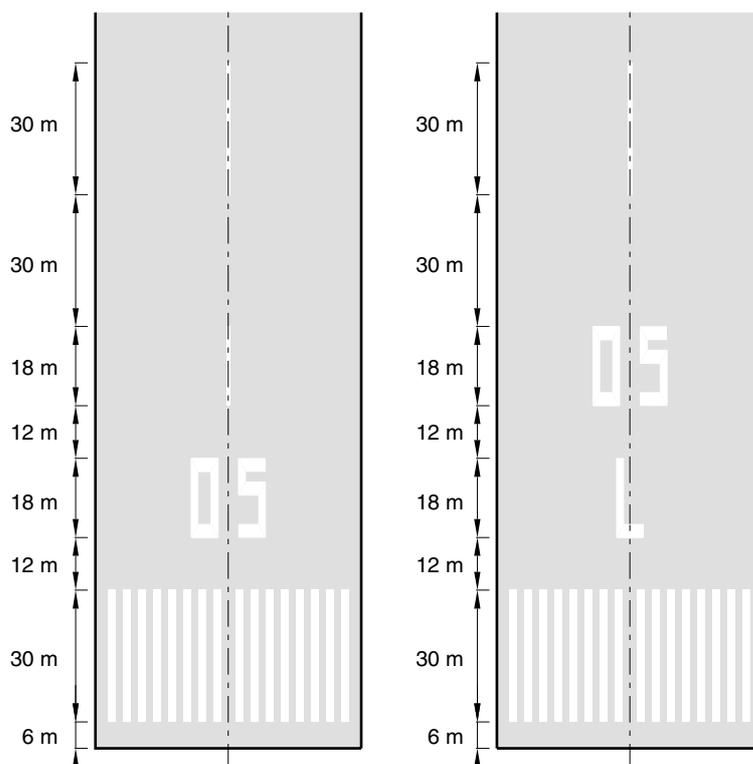
3-55 Position du numéro d'identification par rapport à l'axe de la piste



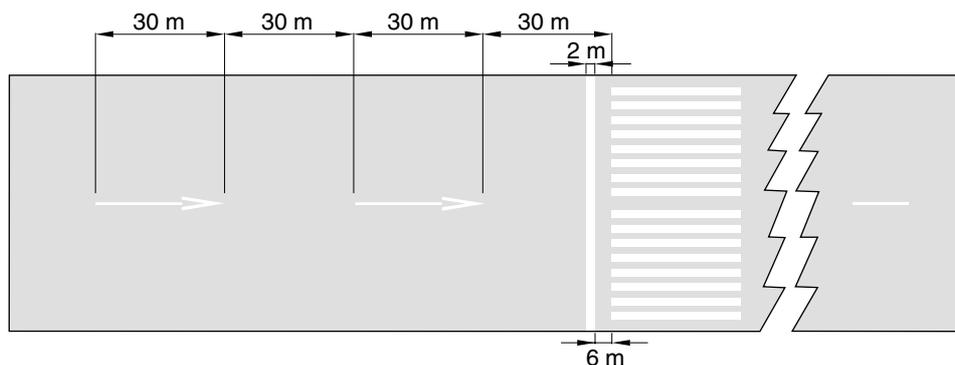
3-56 Disposition des marques de seuil d'une piste de 45 m (2 x 6 bandes)

Largueur de piste	2n	a	d
18 m	4	1,5 m	3 m
23 m	6	1,5 m	2,5 m
30 m	8	1,5 m	3 m
45 m	12	1,7 m	2,1 m
60 m	16	1,7 m	2,8 m

3-57 Nombre de bandes, largeur et espacement d'une marque de seuil



3-58 Marques de seuil, d'identification et d'axe de piste (distances exprimées en mètres)



3-59 Marquage d'un seuil décalé en permanence

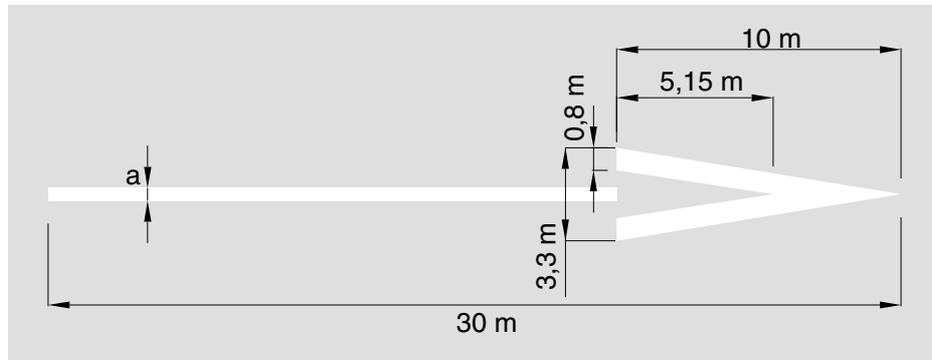
En cas de **seuil décalé** en permanence, le marquage précédent est, comme indiqué sur la figure 3-59, complété par :

- une bande transversale de 2 m de largeur sur toute la largeur de piste à l'emplacement du seuil décalé, le début de la marque étant au nouveau seuil,
- des flèches de 30 m de longueur, axées sur l'axe de la piste et régulièrement disposées tous les 30 m jusqu'à l'extrémité de la piste afin d'indiquer que

cette partie de la piste est utilisable comme tiroir pour le roulement au décollage*.

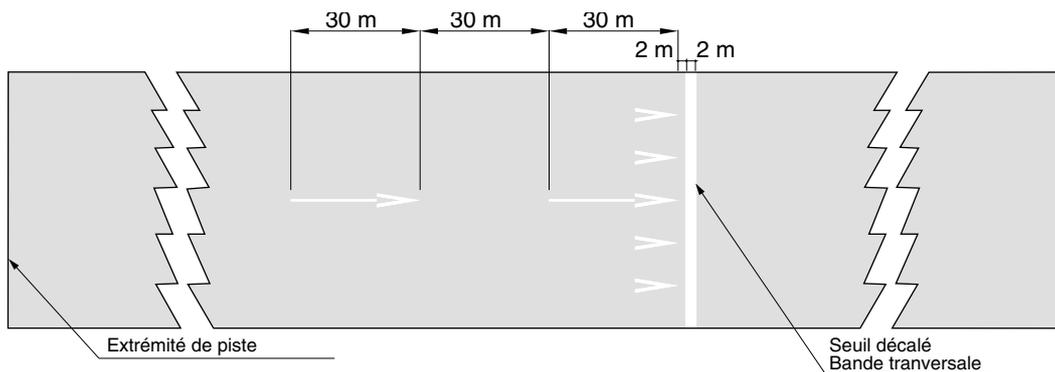
La figure 3-60 donne le détail de cette flèche.

* Si cette portion amont de la piste n'est pas interdite aux aéro-nefs, elle est en effet marquée par les marques d'emploi limité appropriées.



$a = 0,45$ m si la largeur du trait d'axe de piste est de $0,90$ m ;
 $a = 0,30$ m si la largeur du trait d'axe de piste est de $0,45$ m ;
 $a = 0,20$ m si la largeur du trait d'axe de piste est de $0,30$ m.

3-60 Flèche d'axe en amont d'un seuil décalé



3-61 Marquage d'un seuil décalé temporairement

En cas de seuil décalé temporairement, c'est à dire à l'occasion de travaux effectués sur l'aérodrome ou à l'extérieur de son enceinte, deux configurations peuvent être adoptées selon l'importance des travaux et leur durée, mais aussi selon qu'il est nécessaire ou non de fournir des indications visuelles complètes.

La figure 3-61 décrit la première de ces deux configurations possibles.

Cette première configuration ne peut être adoptée que dans le cas de travaux de courte durée du fait de sa simplicité et de sa rapidité de mise en œuvre. Une bande transversale de 2 m de largeur est apposée sur toute la largeur de la piste ; elle est précédée de flèches espacées de 30 m et de pointes de flèches dont les extrémités sont placées à 2 m du seuil.

Identique à celle à adopter en cas de seuil décalé en permanence, la seconde configuration est celle qu'il convient de retenir pour des travaux de longue durée.

Afin qu'il ne puisse y avoir de confusion pour les pilotes, le balisage de piste précédant* le seuil décalé doit, dans chacune des deux configurations temporaires, ou bien être effacé, ou bien être caché, ou bien encore voir son information occultée par celle d'un dispositif fournissant des indications adéquates plus voyantes.

Dans tous les cas, une étude doit être effectuée pour permettre de déterminer la configuration et le balisage appropriés.

* Il peut parfois s'avérer également nécessaire de masquer aussi une partie du balisage à l'aval du seuil de piste. Tel est le cas, par exemple, lorsque les marques à apposer se trouveraient mêlées à d'autres marques.

E-1-1-3 MARQUES D'AXE

Toutes les pistes revêtues doivent être dotées de marques d'axe.

Ces marques sont constituées par une ligne discontinue de traits, de 30 m de longueur, espacés de 30 m et centrés sur l'axe de la piste.

La largeur des traits est fonction de la catégorie d'exploitation de la piste, les valeurs suivantes étant à adopter :

- 0,30 m pour les pistes à vue,
- 0,45 m pour les pistes avec approche classique et les pistes avec approche de précision de catégorie I,
- 0,90 m pour les pistes avec approche de précision de catégorie II ou III.

Comme indiqué précédemment sur la figure 3-58, les marques d'axe de piste débutent à une distance du seuil de piste qui dépend du nombre de pistes, à savoir :

- 78 m pour une piste unique, étant alors observé que le premier trait ne mesure que 18 m,
- 126 m pour des pistes parallèles.

Lorsque la position des seuils ne permet pas un ajustement normal à mi-piste, un trait de longueur différente, mais qui ne doit pas excéder 60 m, peut être utilisé pour effectuer cet ajustement.

E-1-1-4 MARQUES LATÉRALES

Des marques latérales de piste doivent être apposées entre les seuils d'une piste revêtue lorsque le contraste entre les bords de la piste et les accotements ou le terrain environnant n'est pas suffisant. Tel est également le cas lorsque l'on réduit la largeur d'une piste.

Les marques latérales de piste se présentent sous la forme d'une ligne continue tracée entre les deux seuils le long du bord de piste de telle sorte, en général, que la limite extérieure de cette bande coïncide avec ledit bord de piste. Sortent du cas général les pistes dont la largeur est supérieure à 60 m, pour lesquelles les marques latérales sont apposées à 30 m de l'axe de la piste.

Pour les pistes dont la largeur est supérieure ou égale à 30 m, les marques latérales auront une largeur de 0,90 m. Pour les autres, cette largeur est ramenée à 0,45 m.



Aéroport de Lille - Lesquin. Marques au seuil 26

Photographie STBA / A. PARINGAUX

E-1-1-5 MARQUES DE POINT CIBLE

Utilisées à l'atterrissage en liaison avec les marques de seuil, les marques de point cible ont pour objet d'aider le pilote à suivre une trajectoire normale de descente.

Des marques de point cible doivent être apposées sur toutes les pistes de longueur supérieure ou égale à 1 500 m.

Comme indiqué sur la figure 3-63, les marques de point cible sont constituées d'une paire de marques rectangulaires disposées longitudinalement et symétriquement par rapport à l'axe de la piste.

Chacun de ces deux rectangles a une longueur de 45 m et une largeur dépendant de celle de la piste, à savoir de :

- 9 m, lorsque la largeur de la piste est supérieure ou égale à 45 m,
- 6 m dans le cas contraire.

L'écartement entre côtés intérieurs de ces deux rectangles est de 18 m.

La distance longitudinale entre le seuil de piste et la limite amont de la marque de point cible est égale à :

- 300 m lorsque la longueur disponible à l'atterrissage est inférieure ou égale à 2 400 m,
- 400 m lorsque celle-ci est supérieure à 2 400 m.

Toutefois, si un **P.A.P.I.** est installé, la limite amont du point cible doit être aussi proche que possible de la position de celui-ci sans pour autant que cette harmonisation conduise à rapprocher la limite amont du point cible à moins de 300 m du seuil.

E-1-1-6 MARQUES DE ZONE DE TOUCHER DES ROUES

Les **marques de zone de toucher des roues** fournissent au pilote les éléments de guidage pour la prise de contact avec la surface de la piste et des indications de distance par rapport au seuil.

Comme indiqué sur la figure 3-62, les marques de zone de toucher des roues sont constituées de paires de marques rectangulaires de 22,50 m de longueur, disposées parallèlement à l'axe de la piste, symétriquement par rapport à cet axe et à une distance de 18 m entre côtés intérieurs des marques d'une même paire.

Ces paires de marques sont disposées à intervalles longitudinaux de 150 m à partir du seuil de piste, le début de la marque étant pris comme référence de position. Ne doivent cependant pas être apposées les paires qui coïncident avec une marque de point cible ou en sont éloignées de moins de 50 m. Dans ces deux derniers cas, la distance entre les deux marques de toucher des roues encadrant la marque de point cible est de 300 m.

Lorsqu'une piste n'est ouverte que dans un seul sens aux approches de précision, la **distance utilisable à l'atterrissage** dans ce sens détermine le nombre de paires de marques à apposer.

Lorsqu'une piste est ouverte dans les deux sens aux approches de précision, c'est la distance entre seuils qui détermine ce nombre.

Dans un cas comme dans l'autre, le nombre de paires sera de :

- trois paires quand la longueur (ou la distance) est supérieure ou égale à 1 200 m et inférieure à 1 500 m,
- quatre paires quand la longueur (ou la distance) est supérieure ou égale à 1 500 m et inférieure ou égale à 2 400 m,



Aéroport de Lille - Lesquin. Marque de point cible et glide

Photographie STBA / A. PARINGAUX

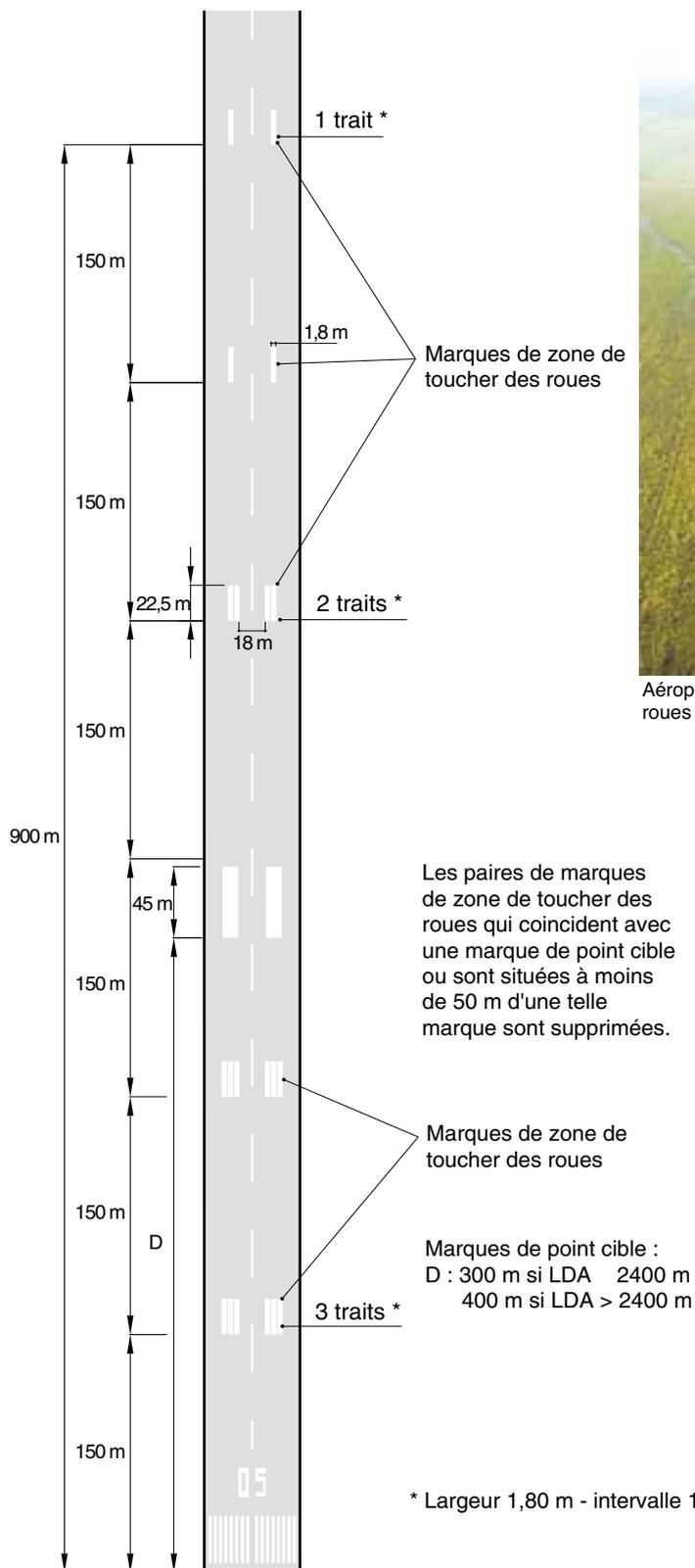
- six paires quand la longueur (ou la distance) est supérieure à 2 400 m.

Sur les pistes avec **approche de précision de catégorie I** de longueur inférieure ou égale à 2 400 m, chaque paire est formée d'une simple bande de part et d'autre de l'axe de piste.

Sur les pistes de catégorie I de longueur supérieure à 2 400 m et sur les pistes de catégorie II / III, les marques comportent un codage de distance tel qu'à partir du seuil :

- les deux premières paires soient chacune formées de 3 bandes de part et d'autre de l'axe de la piste,
- les deux paires intermédiaires soient chacune formées de deux bandes de part et d'autre de l'axe de la piste,
- les deux dernières paires soient chacune formées d'une simple bande de part et d'autre de l'axe de la piste.

Chaque bande mesure 1,80 m de largeur et deux bandes voisines sont séparées de 1,50 m.



Aéroport de Lille - Lesquin. Marques de zone de toucher des roues et marques de point cible

Photographie STBA / A. PARINGAUX

3-62 Marques de point cible et de zone de toucher de roues (avec codage de distances)

E-1-1-7 BALISAGE SIMPLIFIÉ*

Les pistes en matériaux enrobés noirs, exploitées à vue et aux instruments (à l'exclusion des approches de précision), de même que les pistes en béton hydraulique, exploitées à vue uniquement, peuvent recevoir un **balisage simplifié** pour les marques de seuil, les marques de point cible et les marques d'axe de la piste.

Le balisage simplifié est un procédé qui consiste à diviser une bande de balisage en plusieurs bandes identiques.

Les valeurs à adopter pour chaque type de marques sont les suivantes :

-marques de seuil :

bandes de 1,50 m : 3 bandes de 30 cm,
2 espaces de 30 cm.

bandes de 1,70 m : 2 bandes latérales de 25 cm,
3 bandes de 20 cm,
4 espaces de 15 cm.

-marques d'axe de piste :

de 0,45 m : 2 bandes de 15 cm,
1 espace de 15 cm.

de 0,30 m : 2 bandes de 10 cm,
1 espace de 10 cm.

-marques de point cible :

de 9 m de largeur : 5 bandes de 1 m,
4 espaces de 1 m.

de 6 m de largeur : 3 bandes de 1,20 m,
2 espaces de 1,20 m.

Ce type de balisage présente les avantages suivants :

-atténuation des phénomènes de faïençage des peintures liés aux écarts thermiques entre les surfaces peintes et les surfaces non peintes et, par conséquent, aux dilatations thermiques différentes,

-économie de peinture (en partie contrebalancée par la difficulté de mise en œuvre),

-meilleur coefficient de frottement longitudinal,

-meilleure adaptation à l'emploi d'engins routiers de marquage,

-meilleure identification du marquage lorsque la chaussée est partiellement ou légèrement recouverte de neige,

-neige et glace fondent sur ces marques à un rythme plus proche de celui observable sur les surfaces non peintes, évitant ainsi la formation de plaques de glace isolées sur la zone de toucher des roues et sur l'axe de la piste.

* dit également « canadien »



Aéroport de Paris-Orly. Marques de voie de relation

E-1-2 MARQUES DE VOIES DE RELATION**E-1-2-1 MARQUES AXIALES**

Toutes les voies de relation des pistes revêtues doivent être dotées de **marques d'axes**.

Une marque axiale de voie de relation est constituée par une ligne d'une largeur minimale de 0,15 m. Cette ligne est continue sauf lorsque :

- elle coupe une **marque de point d'arrêt**, sur laquelle elle s'interrompt comme indiqué sur la figure 3-65,

- elle aboutit sur une **marque de seuil** de piste, auquel cas elle s'interrompt à 3 m de la bande la plus excentrée de celle-ci comme indiqué sur la figure 3-63.

La marque axiale est apposée le long de l'axe de la voie de relation dans ses parties rectilignes. Dans les courbes, la marque axiale prolonge la ligne tracée en partie rectiligne, en demeurant à une distance constante du bord extérieur du virage.

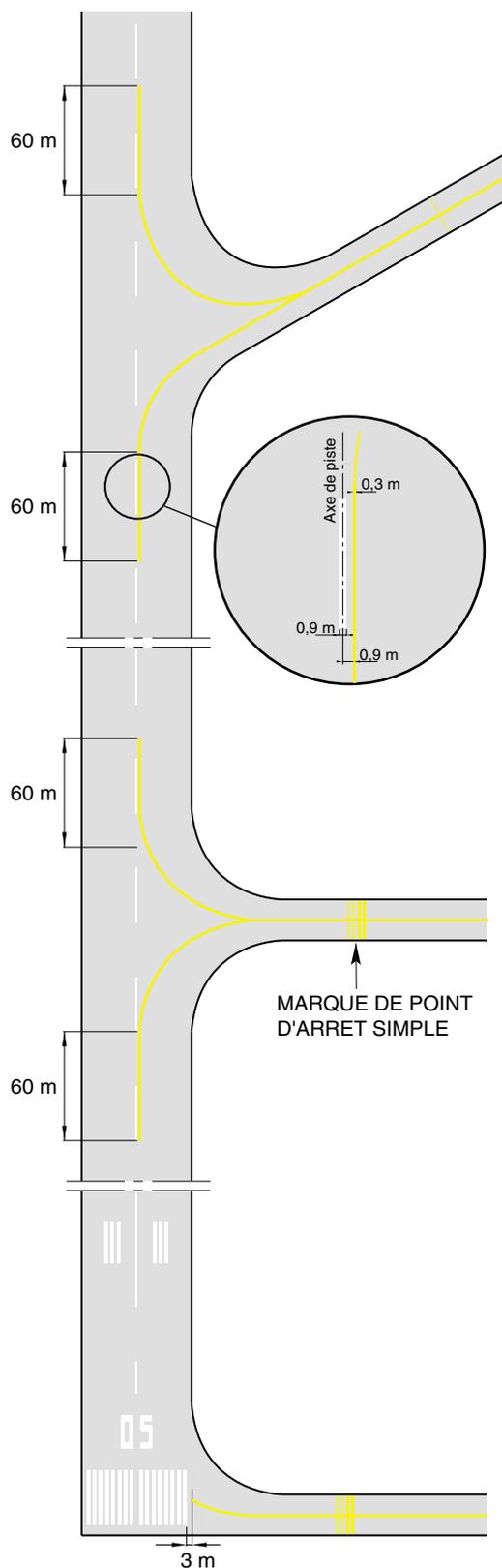
À l'intersection d'une voie de relation et d'une piste, la marque axiale de la voie de relation est raccordée à celle de la piste et est prolongée parallèlement à celle-ci sur une distance de 30 m (pour les codes lettres A, B et C) ou de 60 m (pour les codes lettres D, E et F) au-delà du point de tangence, la distance entre axes des deux marques étant de 0,90 m.

E-1-2-2 MARQUES D'INTERSECTION

Des **marques d'intersection** de voies de relation doivent être apposées lorsque :

- les caractéristiques de l'intersection sont telles qu'un pilote peut éprouver des difficultés à apprécier sa séparation latérale avec le trafic croisé,

- les impératifs du contrôle de circulation au sol conduisent à utiliser très souvent ces marques,



3-63 Marques axiales de voies de relation

- une des voies de relation est considérée comme prioritaire.

Placée perpendiculairement à l'axe de la voie de relation, à une distance de la voie sécante assurant la marge de sécurité nécessaire, une marque d'intersection est, comme indiqué sur la figure 3-64, constituée par une ligne simple discontinue, éléments ont une longueur de 0,90 m, une largeur de 0,30 m et sont espacés de 0,90 m.

E-1-2-3 MARQUES DE POINT D'ARRÊT

Des marques de **point d'arrêt** doivent être apposées sur les voies de relation à certains emplacements déterminés, au-delà desquels un aéronef ou un véhicule ne doit pas passer sauf à en avoir reçu l'autorisation de l'organisme de contrôle ou, en l'absence de contrôle, à avoir assuré lui-même sa sécurité.

Il existe deux types de **marques de point d'arrêt**. Le premier consiste en quatre bandes, disposées perpendiculairement à l'axe de la voie de circulation, larges de 0,15 m et espacées de 0,15 m ; comme indiqué sur la figure 3-65, deux de ces quatre bandes sont continues et les deux autres sont constituées d'éléments de 0,90 m de longueur espacés de 0,90 m.

Cette marque est à apposer :

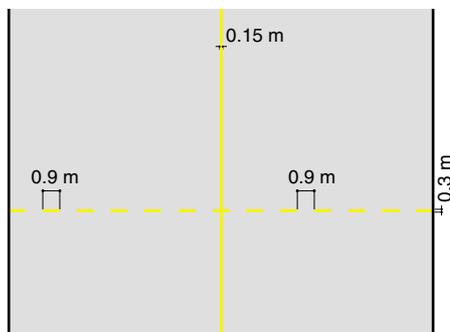
- à l'intersection d'une voie de relation avec une piste et matérialise alors un **point d'arrêt simple** correspondant au cas où il n'y a qu'un seul point d'arrêt ou à celui où le **point d'arrêt Cat II / III** doit être distingué de ce point. Il est mis en place afin que les aéronefs ou véhicules roulant vers la piste ne constituent pas une gêne pour les appareils au décollage ou à l'atterrissage.

- sur une voie de relation pour matérialiser, hors intersection avec une piste, un **point d'arrêt de circulation** mis en place pour des raisons opérationnelles telles celles visant à organiser la circulation au sol des aéronefs ou à définir des zones de responsabilités.

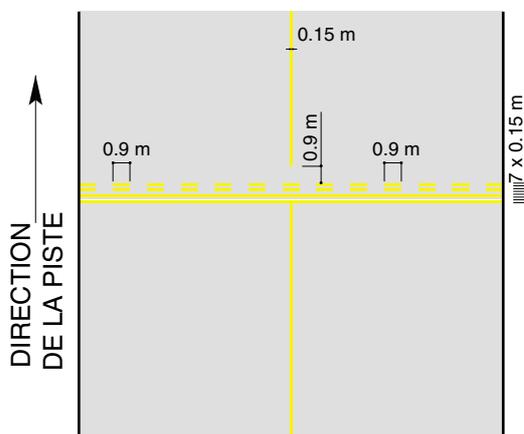
Dans le cas d'un point d'arrêt simple, la marque de point d'arrêt doit être apposée à une distance du bord de piste au moins égale à :

- 30 m pour une piste à vue de longueur inférieure à 1 000 m*,
- 50 m pour une piste à vue de longueur égale ou supérieure à 1 000 m,

* Cette même distance de 30 m s'applique au cas d'une voie de relation revêtue desservant une piste à vue non revêtue.



3-64 Marque d'intersection de voie de relation



3-65 Marque de point d'arrêt simple

et à une distance de l'axe de piste au moins égale à 75 m lorsque la piste est utilisée pour les **approches classiques**.

Sur une voie de relation desservant une piste ouverte aux approches de précision de catégorie I, la marque de point d'arrêt simple sera, si possible, apposée à au moins 150 m de l'axe de la piste. L'apposition d'un point d'arrêt simple à moins de 150 m de l'axe d'une piste ouverte aux approches de précision de catégorie I peut être retenue sans toutefois être à moins de 90 m de l'axe de la piste, lorsqu'elle est utilisée par des **avions de catégorie D**, et, à moins de 75 m, lorsqu'elle l'est par des **avions de catégorie A, B ou C**.

Les **catégories d'avions** sont définies ci-après en fonction de $V = 1,3$ fois leur vitesse de décrochage dans la configuration d'atterrissage à la masse maximale :

- catégorie A : $V < 169$ km/h (91 kt)
- catégorie B : 169 km/h (91 kt) $\leq V < 224$ km/h (121 kt)
- catégorie C : 224 km/h (121 kt) $\leq V < 261$ km/h (141 kt)
- catégorie D : 261 km/h (141 kt) $\leq V < 307$ km/h (166 kt)



Aéroport de Tahiti - Faaa. Marques de point d'arrêt

Les avions représentatifs de chacune de ces catégories sont donnés dans le tableau 3-67.

Catégories			
A	B	C	D
BN-2A	ATR 42/72	A-300/310	B-747
Dash-7	Dash-8	A-319/320/321	B-777
DHC-6	Dornier 228/328	A-330/340	Concorde
	Fokker 50	B-737/757/767	DC-10-30/40
		B-747-SP	
		DC-10-10	
		Fokker 100	

3-66 Avions représentatifs des groupes

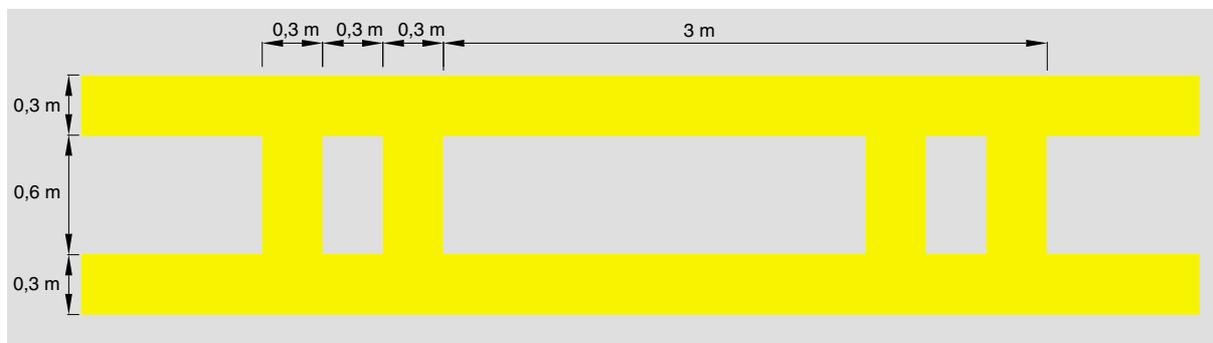
Le second type de marques de **point d'arrêt** est celui du **point d'arrêt spécifique Cat II ou III**. Il est à apposer sur les voies de relation où le fait d'apposer une marque unique matérialisant un point d'arrêt toutes catégories confondues pourrait être pénalisant lorsque des approches de précision de catégorie II ou III ne sont pas en cours.

Les marques de point d'arrêt de catégorie II ou III sont en effet à au moins 150 m de l'axe de la piste. Elles sont en outre positionnées de manière à ce que :

- aucune partie d'un aéronef à l'arrêt ne fasse saillie à l'intérieur des **surfaces O.F.Z.** associées aux atterrissages de catégorie II ou III,
- un aéronef à l'arrêt ne perturbe pas le fonctionnement des aides radioélectriques (respect des **aires critiques** et si possible des **aires sensibles***).

La marque de point d'arrêt spécifique Cat II ou III a la forme et les dimensions données par les figures 3-67 et 3-68.

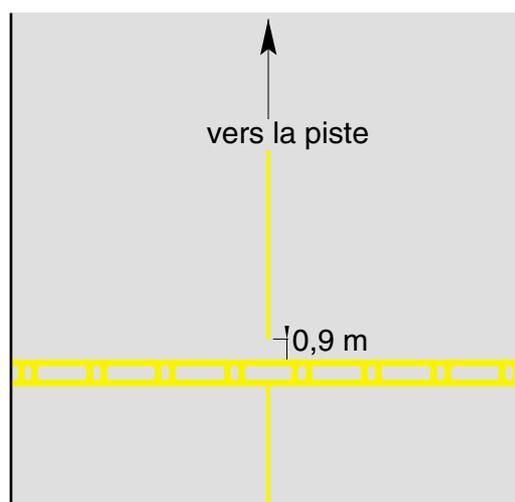
* cf. § J-1-5 ci-après



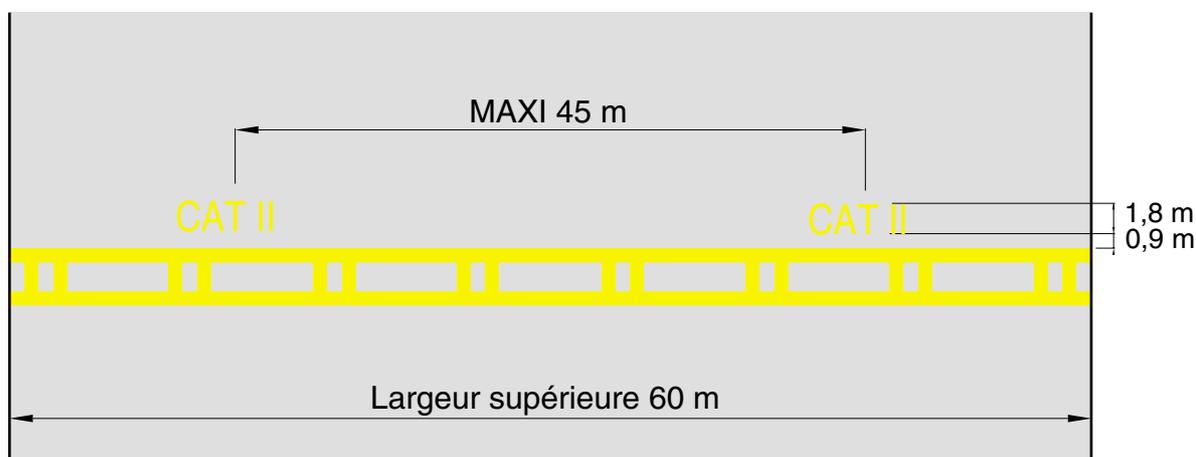
3-67 Détail d'une marque de point d'arrêt spécifique Cat II ou III (valeurs exprimées en mètres)

Lorsqu'une marque de point d'arrêt de catégorie II ou III est placée à un endroit où sa longueur excéderait 60 m, les inscriptions CAT II ou CAT III doivent, selon le cas, être apposées le long de la marque, avec un intervalle de 45 m au maximum entre les inscriptions successives. Les lettres doivent mesurer 1,80 m de hauteur au minimum et être placées à 0,90 m au maximum au-delà de la marque de point d'arrêt. La figure 3-69 ci-dessous correspond à ce cas.

Le marquage des points d'arrêt en amont d'une piste ouverte aux approches de précision de catégorie II ou III doit être complété par des panneaux d'obligation spécifiques.



3-68 Marque de point d'arrêt spécifique Cat II ou III correspondant à une largeur de voie de relation inférieure à 60 m



3-69 Marque de point d'arrêt spécifique Cat II ou III correspondant à une largeur de voie de relation supérieure à 60 m



Photographie STBA / G. NEEEL

Aérodrome de Coulommiers.-Voisins. Marques de zone inutilisable sur une piste



Photographie STBA / A. PARINGAUX

Aéroport de Nice - Côte-d'Azur. Marque de zone inutilisable sur une voie de relation

E-1-3 BALISAGE DE ZONE D'EMPLOI LIMITÉ

E-1-3-1 BALISAGE DE ZONE INUTILISABLE

Le balisage de zone inutilisable doit être apposé sur les parties de piste ou de voie de relation dont l'utilisation est interdite.

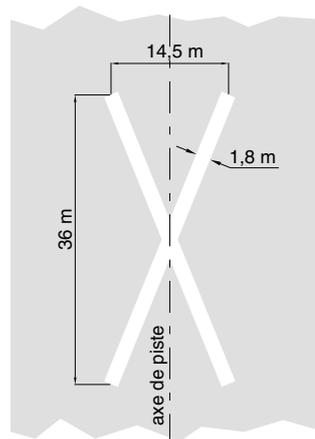
Ces marques peuvent toutefois ne pas être apposées lorsque la fermeture est temporaire et que les usagers sont informés par radiotéléphonie et par NOTAM si le préavis le permet*.

Les **marques de zone inutilisable** sont constituées par des croix, de couleur blanche sur une piste et de couleur jaune sur une voie de relation. Centrées sur l'axe, elles sont disposées à chaque extrémité de la portion interdite. Des marques supplémentaires doivent toutefois, si besoin est, être apposées de manière régulière sur une piste afin d'éviter que l'intervalle entre deux marques successives excède 300 m. Les marques de zone inutilisable ont les dimensions indiquées sur la figure 3-70, lorsqu'elles sont destinées à une piste, et sur la figure 3-71, lorsqu'elles le sont à une voie de circulation.

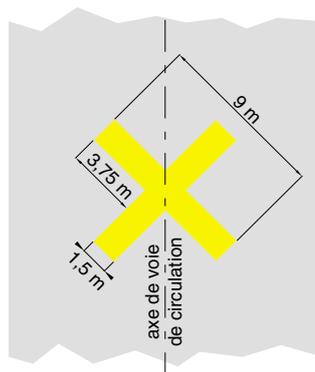
Il est possible d'utiliser, pour signaler les pistes fermées en totalité, des **croix lumineuses** pour renforcer les dispositifs mis en œuvre. Ces croix ne constituent qu'un dispositif supplémentaire qui doit s'insérer dans un ensemble de mesures telles que :

- apposition de marques de zone inutilisable définie à la figure 3-70,
- publication d'un NOTAM,
- arrêt des moyens de guidage radioélectrique et lumineux.

* NOTAM (notice to airmen) : avis donnant des renseignements sur l'établissement, l'état ou la modification d'une installation, d'un service, d'une procédure aéronautique ou d'un danger pour la navigation aérienne.



3-70 Marque de zone inutilisable apposable sur une piste



3-71 Marque de zone inutilisable apposable sur une voie de relation

Les croix lumineuses utilisées doivent être d'un type agréé par le S.T.N.A.

Les croix, supports des feux, sont de forme dite de Saint-André. Elles sont constituées de deux

branches perpendiculaires de même longueur se coupant en leur milieu, chaque branche ayant une longueur d'environ 6 m.

L'ensemble frangible est disposé dans un plan perpendiculaire à la trajectoire des aéronefs en courte finale, et de sorte qu'une bissectrice des branches se trouve dans le plan vertical passant par l'axe de piste.

Les feux sont des feux conformes à ceux d'une approche de catégorie II/III. Ils sont orientés dans le sens de l'approche et munis d'un filtre jaune. Un feu est placé au centre de la croix et trois sont régulièrement espacés d'environ 1 m sur chaque demi-branche

Les feux doivent clignoter en mode synchrone avec une fréquence de battement comprise entre 40 et 80 éclats par minute.

La croix est installée sur l'axe de piste en aval du seuil et, si possible à une distance de celui-ci comprise entre 10 et 75 m. Elle peut être installée sur une remorque mobile.

E-1-3-2 MARQUES DÉLIMITANT UNE SURFACE À FAIBLE RÉSISTANCE

Lorsqu'un accotement de voie de relation, de plate-forme d'attente, d'aire de trafic ou toute autre surface à faible résistance ne peut être aisément distingué des surfaces portantes et que son

utilisation par des aéronefs risque de causer des dommages à ces derniers, la limite entre cette surface et les surfaces portantes doit être indiquée par une marque constituée par deux bandes continues de couleur jaune de 0,15 m de largeur et espacées de 0,15 m.

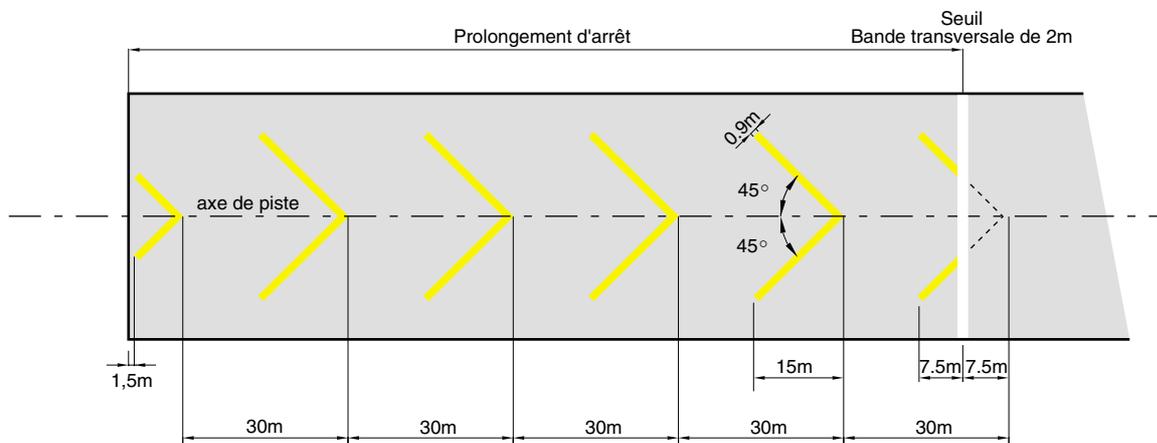
Une marque délimitant une **surface à faible résistance** est disposée de manière telle que son bord extérieur coïncide approximativement avec celui de la surface portante.

E-1-3-3 MARQUES DE PROLONGEMENT D'ARRÊT

Des marques de prolongement d'arrêt doivent être apposées sur tous les prolongements d'arrêt de longueur supérieure ou égale à 100 m.

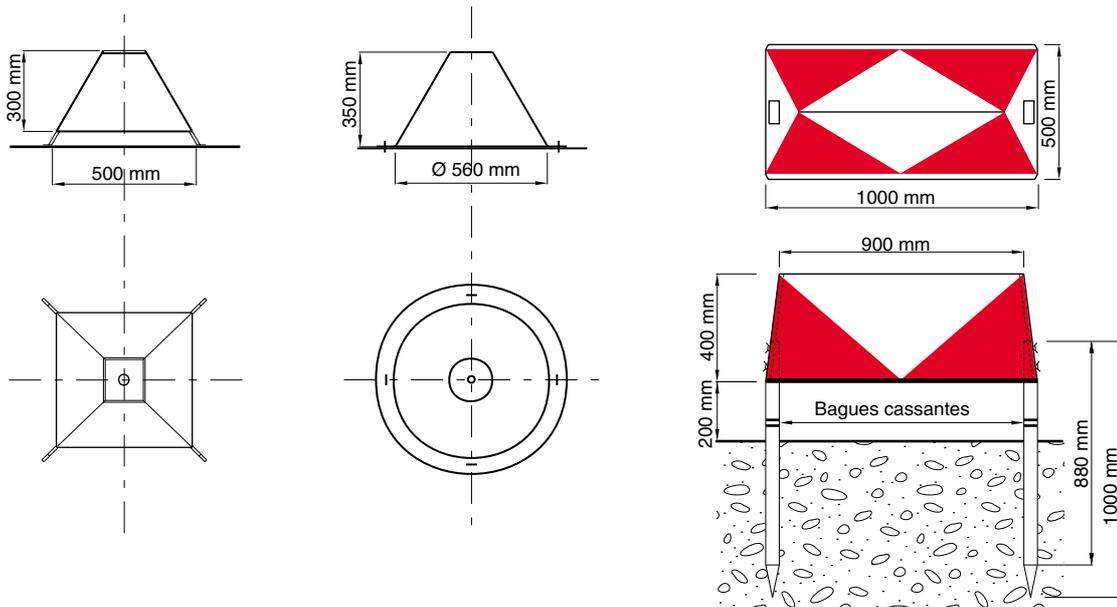
Ces marques sont constituées par des chevrons de couleur jaune dont la pointe est dirigée vers le seuil de piste. Centrés sur l'axe de la piste, ces chevrons ont 0,9 m d'épaisseur de trait, 15 m d'empannage longitudinal et sont séparés de 30 m entre pointes.

Le premier chevron est disposé de manière telle que sa pointe dépasse de 7,5 m le seuil de piste, seule par contre la partie située en amont du seuil étant dessinée. Les autres chevrons se succédant ensuite tous les 30 m, le marquage du prolongement d'arrêt s'arrête, dans tous les cas, 1,5 m avant l'extrémité de ce dernier comme indiqué sur la figure 3-72.



3-72 Marques de prolongement d'arrêt

E-2 BALISAGE DES PISTES ET VOIES DE RELATION NON REVÊTUES



3-73 Balise pyramidale
(blanche ou jaune)

3-74 Balise tronconique
(blanche ou jaune)

3-75 Balise en forme de dièdre

La délimitation des aires non revêtues utilise des balises qui sont selon le cas :

- pyramidales ou tronconiques, blanches pour les pistes, jaunes pour les voies de circulation,
- en forme de dièdres, de couleurs blanche et rouge, aux extrémités de pistes.

Les figures 3-73 à 3-75 précisent les formes et dimensions de ces balises qui peuvent être en bois, en métal ou en matière plastique. Elles doivent émerger de la végétation basse afin d'être visibles en observation oblique. Elles doivent enfin être aisément renversables ou frangibles de manière à ne pas détériorer un avion léger qui viendrait à les heurter.

Peintes sur des éléments de surface bétonnés soigneusement arasés au niveau du sol, des marques complètent le **balisage des pistes non revêtues**. La figure 3-76 précise les formes de ces marques ainsi que leurs dimensions correspondant au cas d'une piste pour avions.

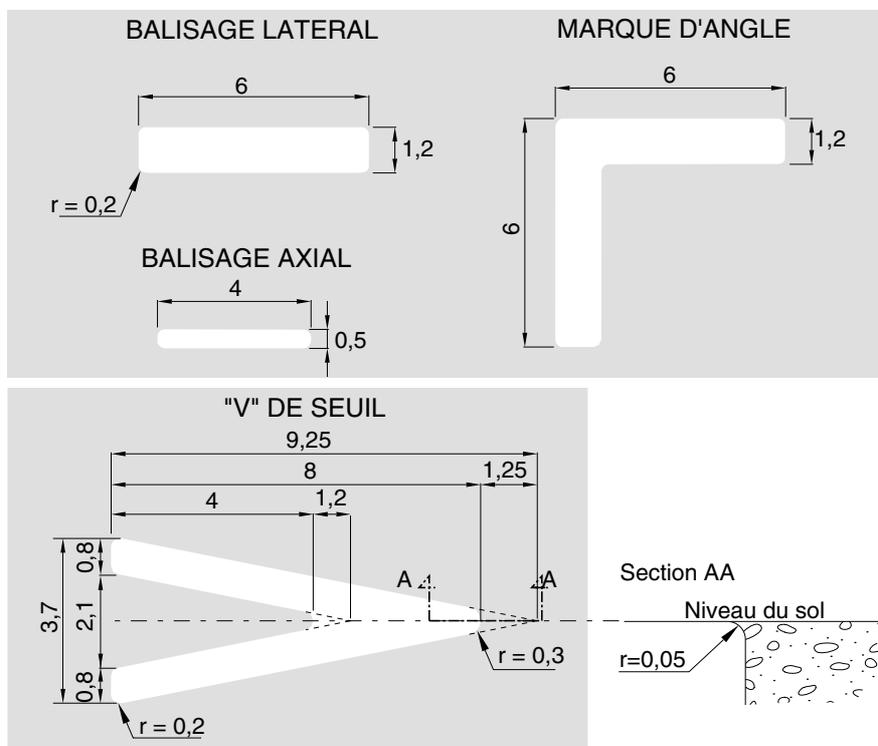
E-2-1 BALISAGE DES PISTES NON REVÊTUES

E-2-1-1 PISTES POUR AVIONS

Les pistes non revêtues pour avions sont repérées par des balises et par des marques de couleur blanche, les unes et les autres devant être disposées comme suit :

- sur les grands côtés de la piste, des balises blanches, pyramidales ou tronconiques, régulièrement espacées d'environ 60 m et des marques rectangulaires de 6 m de longueur et de 1,2 m de largeur, espacées d'environ 200 m ou disposées à raison d'une marque pour trois balises,
- sur chacun des quatre angles, une marque en forme de « L » doublée par deux balises dièdres,
- à chaque seuil de piste, une marque rectangulaire de mêmes dimensions qu'en bords de piste, centrée sur l'axe et perpendiculaire à celui-ci.

Le balisage axial, qui est facultatif, est constitué par des marques rectangulaires de couleur blanche, espacées de 100 m environ, de 4 m de longueur et de 0,5 m de largeur.



3-76 Marques pour le balisage des pistes non revêtues (dimensions correspondant au cas des pistes pour avions, exprimées en mètres)

S'il existe un **seuil décalé**, des marques en « V » doivent en préciser l'emplacement à raison de :

- 3 pour les pistes de 80 m à 100 m de largeur,
- 2 pour les pistes de largeur inférieure à 80 m.

Les figures 3-77 et 3-78 illustrent et précisent les dispositions ci-dessus. Il est à souligner qu'il n'existe pas de différence de marquage pour les seuils décalés permanents et temporaires.

La figure 3-79 traite enfin du cas de deux pistes pour avions sécantes non revêtues dont les angles sont marqués par des « L » d'ouvertures appropriées et dont les branches ont les mêmes dimensions qu'en extrémités de piste.

E-2-1-2 PISTES POUR PLANEURS

Les pistes pour planeurs sont délimitées par des marques blanches, à l'exclusion de balises qui pourraient endommager les appareils. Ces marques, de 4 m de longueur et de 1 m de largeur, sont disposées selon le même schéma que pour les pistes pour avions. L'espacement entre marques prendra par contre la longueur de 100 m comme maximum sur les grands côtés de la piste.

Dans un système de pistes sécantes comportant une ou plusieurs pistes pour planeurs, il conviendra de veiller à ce qu'aucune des balises délimitant les pistes pour avions ne soit à moins de 10 m des bords de la ou des pistes pour planeurs.

Les pistes pour planeurs ne comportent pas de balisage axial.

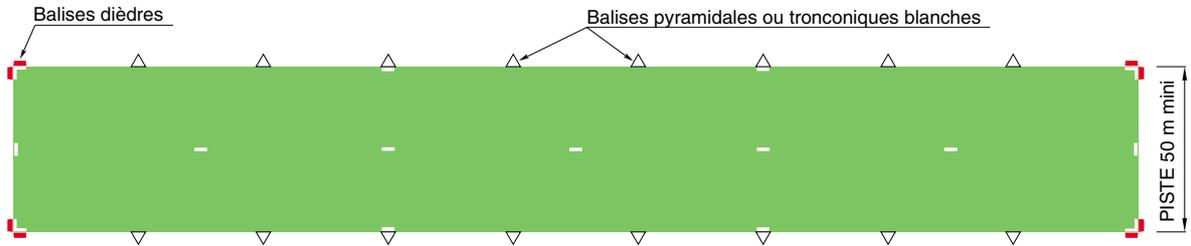
En cas de décalage de seuil, l'emplacement de celui-ci ne doit être marqué que par un seul « V ».

E-2-1-3 PISTES À UTILISATION MIXTE

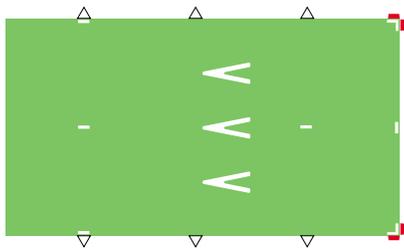
Lorsque la même piste est destinée à être utilisée, tantôt par des avions, tantôt par des planeurs, son balisage sera celui prescrit pour les pistes avions*.

Bien que non parfaitement satisfaisante pour les planeurs, du fait de la présence des balises, cette règle est préférable à celle inverse pour les avions.

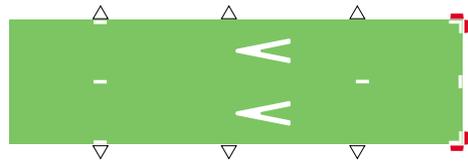
* Il est rappelé ici que, à l'inverse, la largeur de la piste doit être supérieure au minimum de 80 m exigé pour les pistes pour planeurs (cf. § A-3-2).



3-77 Balisage d'une piste pour avions non revêue

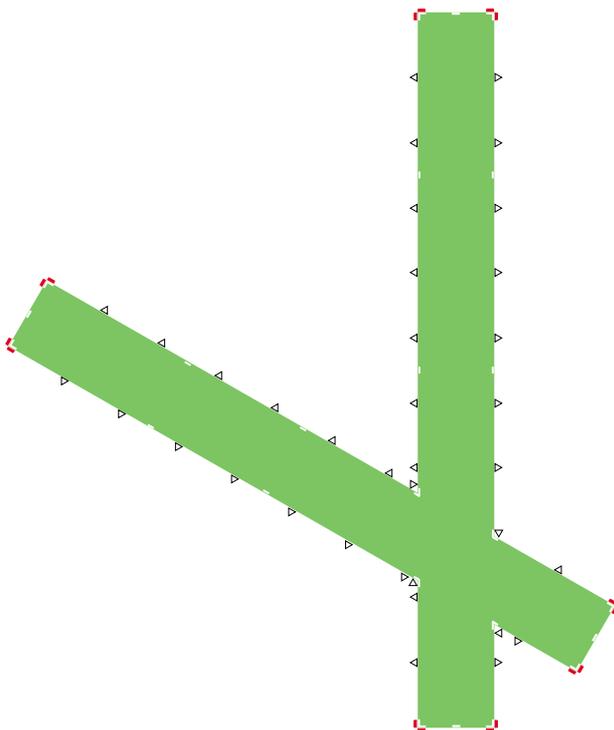


Piste de 80 à 100 m de largeur



Piste de largeur < 80 m

3-78 Marquage des seuils décalés sur pistes pour avions non revêtues



3-79 Balisage de deux pistes pour avions sécantes non revêtues

E-2-1-4 MARQUES DE ZONE INUTILISABLE

Les zones inutilisables de l'aire de manœuvre sont marquées par des croix de couleur blanche. Le modèle à adopter est le même que celui décrit pour les pistes et aires revêtues. Les branches auront toutefois ici 6 m de longueur et 1 m de largeur. Les marques peuvent être de constitution identique à celle des autres marques de piste, soit utiliser, en situation provisoire, tout autre dispositif adapté tel que des bandes de toile fixées au sol.

E-2-1-5 BANDES ET ABORDS DE PISTE

Les limites des **bandes** des pistes revêtues ou non revêtues ne sont pas balisées.

S'agissant de la bande aménagée, il est rappelé qu'elle est confondue avec la piste dans le cas où celle-ci n'est pas revêtue.

E-2-1-6 PISTES PARALLÈLES

Lorsque l'écartement des deux pistes est tel qu'elles peuvent être considérées comme étant utilisables simultanément et indépendamment l'une de l'autre, chacune d'elles est balisée selon sa spécification avions ou planeurs.

Au cas contraire, on s'assurera qu'il est bien possible de placer des balises sur le bord et aux extrémités de chaque piste pour avions du côté de l'autre piste tout en respectant les dégagements de cette dernière et, par suite, de baliser chaque piste selon sa spécification.

Dans la négative, on étudiera la possibilité de raccorder les pistes entre elles - par extension de leurs largeurs notamment - de manière à réaliser un ensemble composite pour lequel les dispositions à adopter sont décrites ci-après.

Si, pour une raison quelconque (présence d'un fossé, d'une dénivellation,...), cette solution s'avère irréalisable, chaque piste recevra le marquage de sa spécification, l'ensemble étant balisé comme dans le cas des **bandes composites**.

E-2-1-7 BALISAGE DES BANDES COMPOSITES

Le marquage d'une piste pour avions revêtue appartenant à une **bande composite** ne se distingue en rien de celui d'une piste revêtue prise individuellement.

De la même manière, le marquage d'une (ou de) piste(s) non revêtue(s) appartenant à une bande composite est de même configuration que celle s'appliquant à cette (ou à ces) piste(s) prise(s) individuellement. Toutefois, le bord commun à une piste pour avions non revêtue et à une piste pour planeurs recevra le marquage correspondant à la piste pour avions, tandis que celui commun à une piste revêtue et à une piste non revêtue ne recevra d'autres marques que celles portées sur la piste revêtue.

La référence aux figures 3-80-a à 3-80-c permet de se placer dans chacune des configurations possibles de bandes composites.

E-2-2 BALISAGE DES VOIES DE RELATION NON REVÊTUES

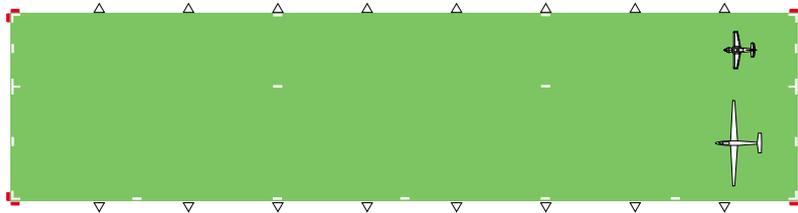
Le **balisage d'une voie de relation non revêtue** n'est pas impératif si cette voie, en principe de 15 m à 20 m de largeur, est accolée à une piste et peut être facilement distinguée.

Toutefois et comme représenté sur la figure 3-81, le bord extérieur d'une voie de relation accolée à une piste sera délimité par des balises de couleur jaune s'il est à proximité de la limite d'emprise de l'aérodrome ou s'il côtoie un fossé, une barrière ou une zone où le roulement de l'avion s'avérerait dangereux.

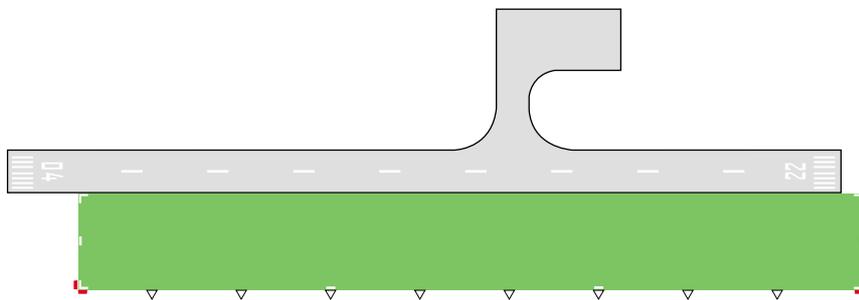
Comme également indiqué sur la figure 3-80, un balisage de délimitation doit être réalisé par des balises jaunes en bordure de toute voie de relation non accolée à une piste ainsi qu'en limite de l'aire de stationnement desservie par cette voie.

Afin d'éviter toute confusion avec les pistes, les voies de relation ne seront en aucun cas délimitées par des balises ou des marques blanches.

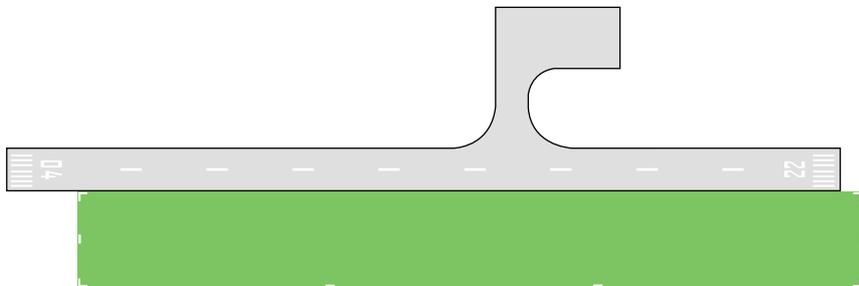
Enfin, aucune balise de délimitation de voie de relation ne devra se trouver à moins de 10 m de la limite d'une piste pour planeurs.



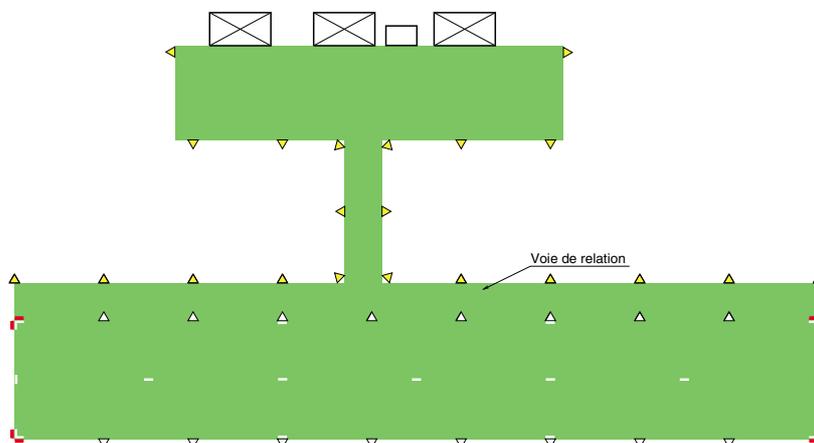
3-80-a Bande composite constituée par une piste non revêtue pour avions et une piste pour planeurs supposées être de la même longueur



3-80-b Bande composite constituée par une piste revêtue et une piste non revêtue pour avions



3-80-c Bande composite constituée par une piste revêtue et une piste planeurs



3-81 Piste non revêtue pour avions à laquelle est accolée une voie de relation nécessitant balisage

F - BALISAGE LUMINEUX

F - BALISAGE LUMINEUX



Aéroport de Clermont-Ferrand - Aulnat. Ligne d'approche et balisage de piste

Le balisage lumineux permet de reconstituer artificiellement les références visuelles minimales nécessaires aux manœuvres d'approche, d'atterrissage, de circulation au sol et de décollage.

Tous les matériels nécessaires à l'équipement des pistes utilisées aux instruments ou en VFR de nuit doivent être agréés par le Service Technique de la Navigation Aérienne (S.T.N.A.).

Le balisage lumineux peut être à **basse intensité (BI)** tant que la piste n'est pas munie de **ligne d'approche**. Il doit être à **haute intensité (HI)** dans le cas contraire y compris en catégorie III où la ligne d'approche n'est pas obligatoire ; il sera néanmoins alors d'intensité variable afin de pouvoir s'adapter aux conditions de visibilité.

Les dispositifs de **balisage lumineux de la piste** comportent :

- le **balisage de bord de piste** constitué par des feux de couleur blanche, pouvant être remplacés par :

- des feux de couleur jaune sur le dernier tiers de la longueur de la piste ou sur ses 600 derniers mètres si celle-ci a plus de 1 800 m de longueur,

- des feux de couleur rouge en amont d'un

- **seuil décalé**, devant toutefois rester visibles en blanc dans le sens opposé à celui de l'utilisation du tiroir,

- le **balisage d'extrémité de piste** constitué par des feux de couleur rouge,

- le **balisage de seuil de piste** constitué par des feux de couleur verte et éventuellement renforcé par des feux à éclats simultanés de couleur blanche,

- le **balisage d'axe de piste** constitué par des feux espacés de 15 m*. Ils sont de couleur blanche à partir du seuil amont jusqu'à un point situé à 900m** de l'extrémité aval au delà duquel ils alternent avec des feux de couleur rouge jusqu'à un point situé à 300 m de l'extrémité aval à partir duquel ils sont de couleur rouge,

- le **balisage des zones de toucher de roues** constitué par des barrettes de couleur blanche,

- le **balisage de prolongement d'arrêt** destiné à être utilisé de nuit est constitué par des feux unidirectionnels fixes, visibles en rouge dans le sens d'utilisation, disposés latéralement dans l'alignement des feux de bords de piste et en extrémité

* l'ancien espacement de 7,5 m restant, à la date de publication de la présente Instruction, accepté jusqu'au renouvellement de l'installation

** jusqu'au point médian de la partie de piste utilisable pour l'atterrissage, lorsque la piste a moins de 1 800 m de longueur



Aéroport de Paris-CDG. Ligne d'approche et balisage lumineux

perpendiculairement à son axe (les indications données par la figure 3-83 quant à l'emplacement et l'espacement des feux de bords et d'extrémité de piste s'appliquent à ceux de prolongement d'arrêt),

- **le dispositif lumineux d'approche** constitué par une ligne de feux ou de barrettes de couleur blanche prolongeant l'axe de piste et de barres transversales également équipées de feux de couleur blanche,

- **le balisage lumineux des voies de circulation*** constitué de feux de couleur bleue en rives complétés éventuellement par des feux, naturellement encastrés, de couleur verte en ligne axiale, l'existence de celle-ci rendant alors facultatifs les feux latéraux.

La figure 3-83 rassemble les éléments ci-dessus dans la configuration minimale correspondant à une piste utilisable dans des conditions de vol à vue de nuit ou offrant au mieux des conditions d'approche classique aux instruments.

Pour assurer un degré de sécurité suffisante, les feux d'une même fonction, pour les principaux dispositifs utilisés, sont répartis sur plusieurs **boucles** enchevêtrées (deux au moins), de telle sorte qu'en cas de panne partielle, la configura-

*pour les voies de relation et voies de dessertes



Aéroport de Brest - Guipavas. Ligne d'approche, P.A.P.I. et balisage lumineux

tion dégradée du dispositif soit telle qu'elle donne au pilote les indications suffisantes pour continuer ou interrompre l'évolution en cours. En ce qui concerne le balisage axial de voie de circulation et les lignes d'approche simplifiées, il n'est pas obligatoire de répartir les feux sur plusieurs boucles enchevêtrées. Seule, en effet, la régularité du trafic est, en cas de panne, en jeu.

Le tableau 3-82 mentionne les équipements pour lesquels une **alimentation électrique secourue** est exigée.

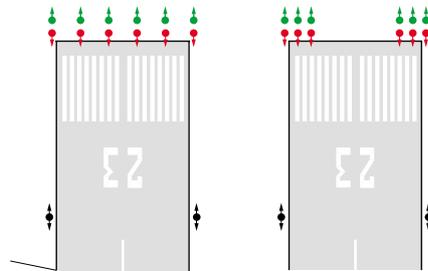
Équipements	Temps maximum de commutation
- ligne d'approche (sauf 420 derniers mètres pour Cat II/III) - bord de piste (a) - voie de circulation (sauf sorties rapides)	15 s
- 420 derniers mètres pour Cat II/III - dispositif de renforcement Cat II (barrettes) - seuil de piste - extrémité de piste - axe de piste - zone de toucher des roues - barres d'arrêt - sorties rapides	1 s ou 15 s suivant les conditions d'exploitation

(a) pour les pistes utilisées pour les décollages avec R.V.R. < 550 m et en l'absence de balisage d'axe de piste, le temps maximum de commutation de ce balisage dépend des conditions d'exploitation (1s ou 15 s)

3-82 Balisage lumineux pour lequel une alimentation électrique secourue est exigée

Seuil en extrémité de piste

- feux de couleur verte destinés à être vus dans le sens de l'approche et couplés avec les feux d'extrémités de piste.



Extrémité de piste

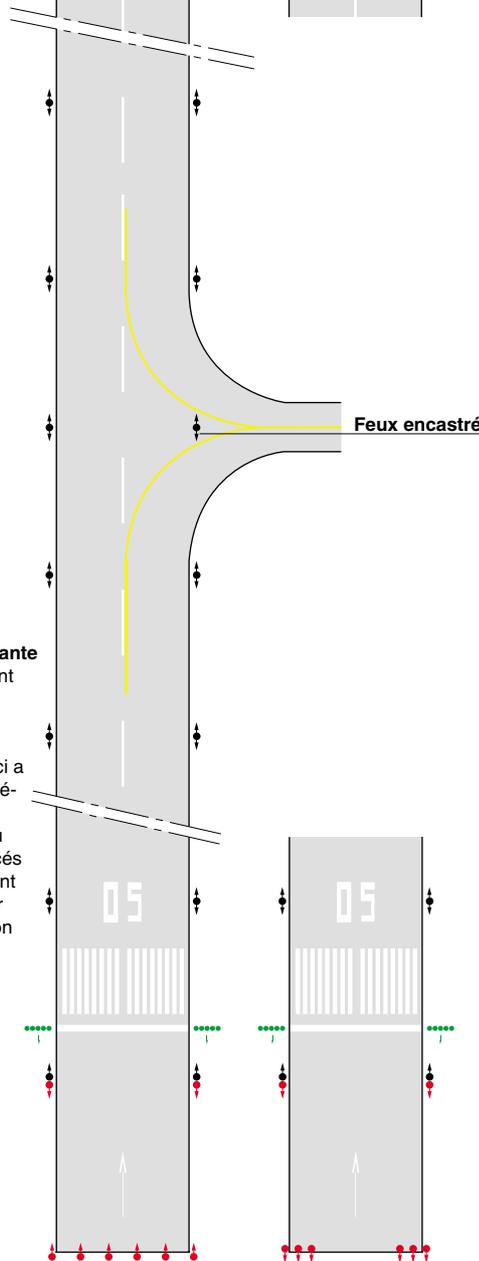
- feux de couleur rouge éclairant en direction de la piste,
 - au moins au nombre de 6, ces feux sont disposés perpendiculairement à l'axe de la piste et à 3 m au plus au delà de son extrémité selon deux configurations possibles :
 - à intervalles réguliers de l'une à l'autre des deux lignes de balisage de bords de piste,
 - répartis en deux groupes espacés régulièrement de part et d'autre d'une porte de longueur égale à la moitié de la distance séparant les deux rangées de feux de bord de piste.

Bords de piste en section courante

- feux de couleur blanche (pouvant être remplacés par des feux de couleur jaune sur le dernier tiers de la longueur de la piste ou sur ses 600 derniers mètres si celle-ci a plus de 1800 m de longueur) généralement alignés à 1,5 m (en tout état de cause à moins de 3 m) du bord de piste et également espacés de moins de 60 m (leur écartement uniforme est dicté par la longueur de la piste ainsi que par la position des raccordements de voies de relation ou celle éventuelle de seuils décalés).

Bords de piste en amont d'un seuil décalé

- feux de couleur rouge vus du côté de l'approche.



Photothèque ADP

Seuil décalé

- la configuration d'extrémité de piste est naturellement adaptable ; les feux disposés alors sur le seuil décalé doivent toutefois être encastrés de manière à préserver l'utilisation au décollage de la partie de la piste située en amont du dit seuil décalé,
 - en dispositif simplifié utilisant des balises non encastrées, la configuration normale, utilisée en extrémité de piste, étant alors remplacée, au droit d'un seuil décalé, par deux barres de flanc composées chacune de 5 feux répartis perpendiculairement à l'axe de la piste sur au moins 10 m à partir de l'alignement du balisage de bord de piste.

F-1 AÉRODROMES NON ÉQUIPÉS POUR L'APPROCHE AUX INSTRUMENTS



Balisage de seuil de piste



Feu de balisage

Le but du dispositif est de fournir au pilote les informations visuelles complémentaires (localisation et délimitation de la piste) nécessaires à la conduite des évolutions, des manœuvres d'approche et d'atterrissage effectuées de nuit par conditions de bonne visibilité.

Tel qu'il est schématisé sur la figure 3-83, le **balisage lumineux BI**, dont doit au moins être équipée une piste utilisable dans des **conditions d'exploitation de vol à vue de nuit**, comprend :

- un **balisage de bord de piste** symétrique dont les feux blancs, généralement alignés à 1,50 m du bord de la piste et en tout état de cause à moins de 3,00 m de celui-ci, sont également espacés de moins de 60 m,
- un **balisage d'extrémité de piste** comprenant au moins 6 feux rouges directionnels disposés perpendiculairement à l'axe de la piste et à 3,00 m au plus au-delà de son extrémité et ce selon deux configurations possibles :
 - à intervalles réguliers de l'une à l'autre des deux lignes de balisage de bord de piste,
 - répartis en deux groupes espacés régulièrement de part et d'autre d'une porte de largeur égale à la moitié de la distance séparant les deux lignes de feux de bord de piste,
- un **balisage de seuil de piste** dont les 6 feux verts directionnels sont associés à ceux du balisage

d'extrémité de piste lorsque seuil et extrémité sont confondus ; en cas de **seuil décalé**, le même schéma reste possible pour les feux de seuil mais implique que les feux soient encastrés de manière à préserver l'utilisation du **tiroir** (la configuration ménageant une porte peut être considérée comme étant alors adaptée*) ; un dispositif simplifié consiste à remplacer les balises de seuil encastrées par deux barres de flanc composées chacune de 5 feux répartis perpendiculairement à l'axe de la piste sur au moins 10 m à partir de chaque alignement du balisage de bord de piste ; deux feux à éclats simultanés peuvent encore encadrer et renforcer le balisage de seuil de piste. S'agissant d'une configuration minimale, aucune règle n'est énoncée ci-dessus qui concernerait le **balisage lumineux des voies de circulation**.

Le balisage des bords de voies de circulation sera constitué par des plots rétro réfléchissants de couleur bleue si le balisage lumineux n'est pas installé.

Les feux (ou des plots réfléchissants) de couleur bleue seront disposés en bordure des voies de circulation selon la règle des 3 m et 60 m s'appliquant aux feux de bords de piste. L'espacement entre feux sera par contre réduit dans les courbes de manière à ce que celles-ci soient nettement perceptibles.

Le but du dispositif est de fournir au pilote les

* Elle l'est également, pour la même raison, lorsque la piste comporte un prolongement d'arrêt.

F-2 AÉRODROMES ÉQUIPÉS POUR UNE APPROCHE CLASSIQUE

informations visuelles complémentaires (localisation et délimitation de la piste) nécessaires à la conduite des manœuvres d'approche et d'atterrissage effectuées pendant et après une approche aux instruments hors des minima opérationnels d'une approche de précision.

*Le **balisage lumineux** BI minimal, dont doit au moins être équipée une piste pour une **approche classique**, est celui d'une piste utilisable dans des conditions de vol à vue de nuit. Deux **feux à éclats simultanés** pourront toutefois - et devront même, afin de permettre certains décalages d'approche - encadrer et renforcer le balisage lumineux de seuil de piste.*

Il n'est normalement pas prévu d'installer de dispositif lumineux d'approche pour les pistes non ouvertes à celles de précision. Toutefois, lorsqu'une

*piste ouverte à une approche classique sera équipée d'une **ligne d'approche**, celle-ci devra être conforme à l'une des configurations prévues pour les approches de précision de catégorie I. Le balisage de piste devra alors être constitué de feux H.I. et répondre, lui-aussi, aux spécifications correspondant à l'approche de catégorie I.*

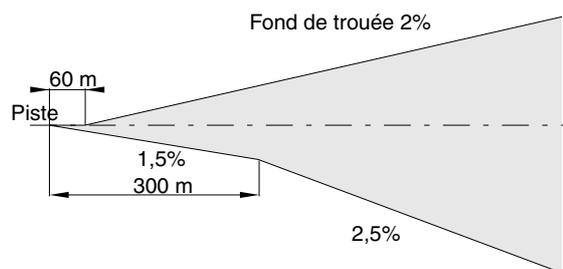
Il n'est normalement pas non plus prévu d'équiper d'une ligne axiale lumineuse les pistes non ouvertes aux approches de précision. Toutefois, un balisage axial pourra, en complément d'un balisage H.I., équiper une piste ouverte à une approche classique dans le but de réduire les minima opérationnels au décollage. Eux aussi à haute intensité, les feux d'axe seront alors espacés de 15 m ou de 30 m suivant les minima recherchés.

F-3 AÉRODROMES ÉQUIPÉS POUR UNE APPROCHE DE PRÉCISION



Balisage lumineux d'approche de précision

Photographie ADP / J.-J. MOREAU



3-84 Zone d'implantation dans un plan vertical

F-3-1 DISPOSITIONS ASSOCIÉES À L'APPROCHE DE PRÉCISION DE CATÉGORIE I

F-3-1-1 DISPOSITIF LUMINEUX D'APPROCHE

Compte-tenu de la distance du seuil correspondant à la hauteur de décision, la longueur de **ligne d'approche** est de 900 m en configuration dite normale, laquelle, ainsi que schématisé par la figure 3-85, comprend :

- une ligne axiale composée, tous les 30 m, de :
 - un seul feu sur ses 300 premiers mètres,
 - un groupe de deux feux sur ses 300 m intermédiaires,
 - un groupe de trois feux sur ses 300 derniers mètres,
- un ensemble de barres transversales à 150 m, 300 m, 450 m, 600 m et 750 m complétant respectivement la ligne axiale de deux fois quatre, cinq, six, sept et huit feux.

De couleur blanche, les feux constituant la ligne d'approche sont à haute intensité. Ils sont, autant que faire se peut, disposés dans un même plan proche du plan horizontal passant par le centre de la ligne de seuil. Lorsque le seuil est décalé, les feux d'approche doivent naturellement, en dépit de cette recommandation, être encastrés entre ce seuil et l'extrémité correspondante de la piste.

Le dispositif ci-dessus peut être renforcé par une ligne de **feux à éclats** séquentiels du début de la ligne d'approche jusqu'au seuil.

Lorsqu'une ligne d'approche de 900 m ne peut être réalisée, sa configuration peut être simplifiée au prix de restrictions opérationnelles.

La configuration simplifiée minimale d'une ligne d'approche a une longueur de 420 m. Elle ne conserve de la configuration normale de la figure 3-85 que la barre transversale à 300 m ainsi que les feux axiaux de rangs pairs jusqu'à 420 m du seuil. Tous les feux axiaux ainsi conservés restent ou deviennent des feux uniques.

Entre configurations minimale et normale, la ligne axiale à feux uniques du dispositif lumineux d'approche peut être prolongée, selon le même pas de 60 m, soit jusqu'à 600 m du seuil, soit jusqu'à 720 m. Dans ce dernier cas, le dispositif doit être complété par la barre transversale à 600 m.

Toute configuration simplifiée, qui ne pourrait s'inscrire dans le schéma d'élaboration ci-dessus, devra faire l'objet d'une étude particulière sanctionnée par l'autorité aéronautique territorialement compétente. Dans le cas notamment où cette autorité assortirait de restrictions opérationnelles son acceptation d'absence de ligne d'approche, des feux à éclats devront obligatoirement compléter la ligne de seuil.

Les tolérances d'implantation du dispositif d'approche dans un plan vertical défini par le seuil et l'axe de piste sont indiquées dans la figure 3-84.

F-3-1-2 BALISAGE LUMINEUX DE PISTE

Les feux de **balisage de piste avec approche de précision de catégorie I** sont, comme ceux du dispositif lumineux d'approche, à haute intensité*.

La configuration minimale décrite pour les pistes utilisables à vue de nuit et schématisée par la figure 3-83 s'applique également aux pistes avec approche de précision de catégorie I, sauf pour les feux de seuil de piste dont le nombre doit être au moins égal à celui nécessaire à une disposition à intervalles égaux de 3 m entre les deux lignes de feux de bord de piste.

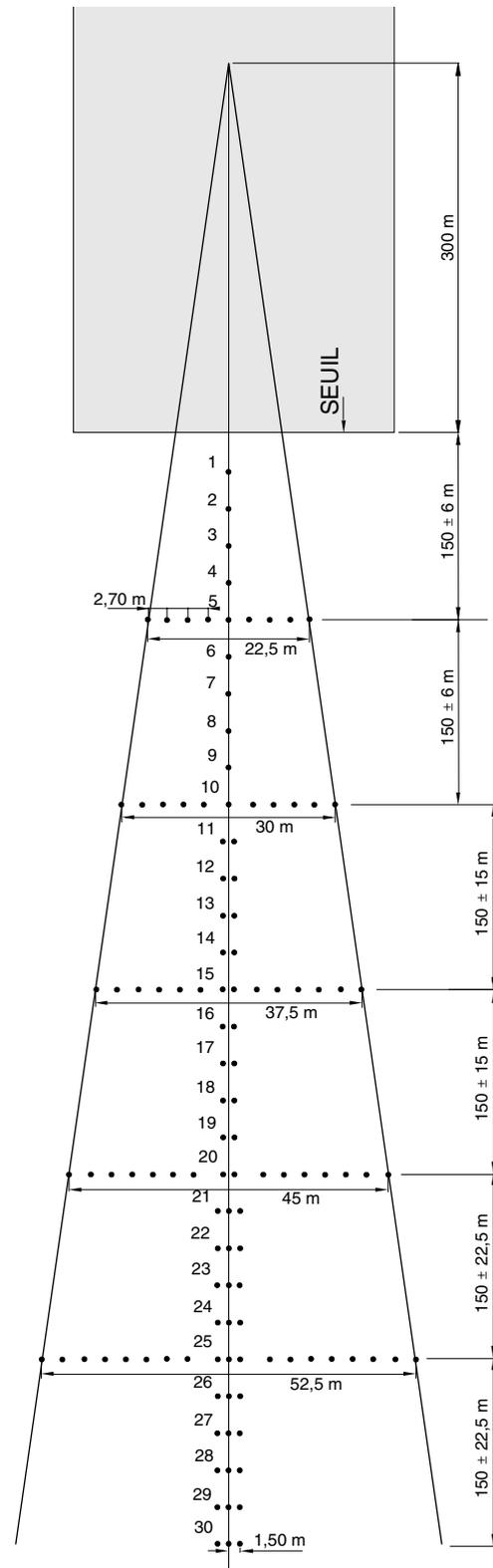
Combinée à celle des feux d'extrémités, toujours au nombre de six, la disposition des feux de seuil correspond à l'une ou l'autre des deux configurations décrites par la figure 3-86.

Chacune des deux configurations feux de seuil - feux d'extrémité peut être complétée par deux barres de flanc composée chacune d'au moins cinq feux de couleurs verte répartis eux-mêmes sur une largeur d'au moins 10 m à partir de chaque alignement du balisage de bord de piste.

Ces configurations de balisage de seuil sont transposables au cas d'un seuil décalé sous réserve naturellement d'utiliser des feux encastrés.

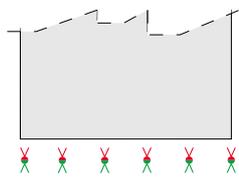
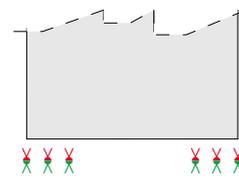
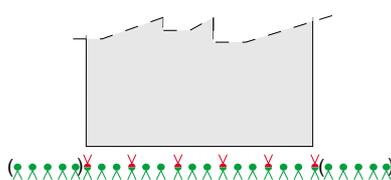
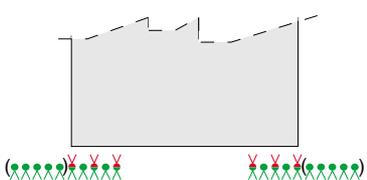
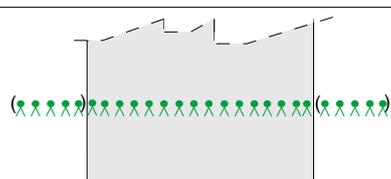
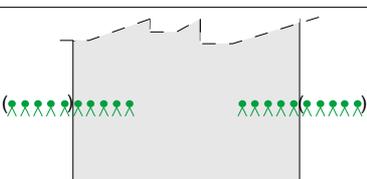
L'ensemble des dispositions qui viennent d'être décrites peut encore être avantageusement complété par :

- une ligne axiale qui n'est obligatoire que pour les approches de catégories II et III,
- deux feux à éclats blancs encadrant la ligne de feux de seuil.



3-85 Dispositif lumineux d'approche pour une piste avec approche de précision de catégorie I

* Pour les pistes sans ligne d'approche, sur lesquelles un balisage de piste B.I. serait déjà installé, celui-ci demeurerait, à la date de publication de la présente Instruction, accepté jusqu'au renouvellement de l'installation.

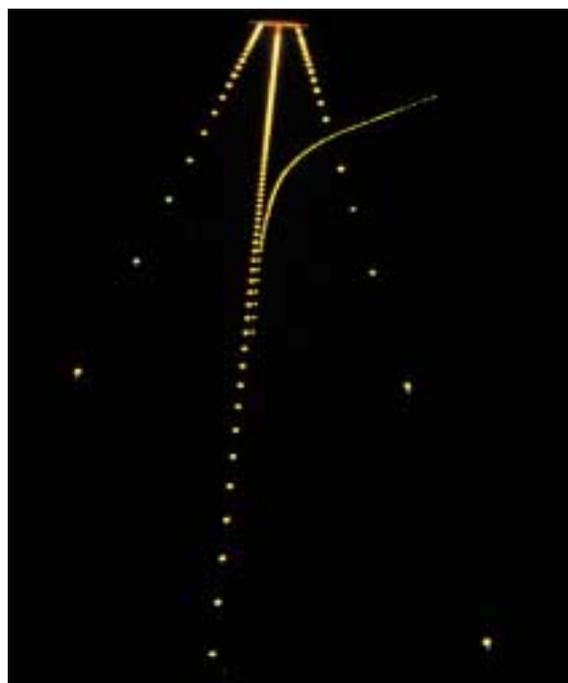
	FEUX D'EXTRÉMITÉ DE PISTE		
SEUIL À L'EXTRÉMITÉ DE PISTE	FEUX DE SEUIL D'EXTRÉMITÉ DE PISTE		
SEUIL DÉCALÉ PAR RAPPORT À L'EXTRÉMITÉ DE PISTE	FEUX DE SEUIL DE PISTE		

3-86 Feux de seuils et d'extrémités de piste avec approche de précision de catégorie I

F-3-1-3 BALISAGE LUMINEUX DES VOIES DE RELATION

Le **balisage lumineux axial** des voies de relation desservant une piste avec approche de précision de **catégorie I** n'est impérativement à prévoir qu'à leur raccordement avec l'axe de la piste à la double condition qu'il s'agisse d'une **voie de sortie rapide** de piste et que la piste soit elle-même pourvue d'un balisage axial. Le raccordement avec le balisage axial de la piste s'effectue alors selon une parallèle distante d'au moins 0,6 m de celui-ci. La section balisée court d'un point situé sur la piste à au moins 60 m du début du virage de sortie et se poursuit, sur la voie de relation, jusqu'au point où l'avion doit avoir atteint sa vitesse normale de circulation au sol et au moins jusqu'en limite de bande. Sur toute cette section, les feux sont des feux HI fixes, espacés de 15 m au maximum et alternativement de couleurs verte et jaune dans le sens de la sortie. Ce balisage peut enfin être renforcé par des plots rétro réfléchissants.

En cas d'absence de balisage axial, des feux basse intensité de couleur bleue doivent être disposés en bordure des voies de relation selon la règle des 3 m et 60 m s'appliquant au balisage de bord de piste. L'espacement entre feux sera par contre réduit dans les courbes de manière à ce que celles-ci soient nettement perceptibles.



Aéroport de Paris-CDG. Ligne d'approche et balisage lumineux

Photothèque ADP / J.-J. MOREAU

F-3-2 DISPOSITIONS ASSOCIÉES À L'APPROCHE DE PRÉCISION DE CATÉGORIE II

F-3-2-1 DISPOSITIF LUMINEUX D'APPROCHE

Bien que la distance du seuil à laquelle doit être prise la décision d'atterrissage soit plus courte que pour une approche de catégorie I, il est recommandé de conserver 900 m de longueur de **ligne d'approche** afin de permettre également le guidage en conditions de catégorie I.

Contribuant par contre à permettre l'atterrissage dans des conditions de visibilité plus perturbées, le dispositif lumineux d'approche doit, de manière non contradictoire, être renforcé sur la longueur où il est effectivement utilisé en **catégorie II**. C'est ainsi que du seuil de piste jusqu'à celui précédant la barre transversale des 300 m, les feux axiaux se voient substituer chacun une barrette blanche, perpendiculaire à l'axe et composée de 5 feux, elle-même encadrée par 2 barrettes latérales rouges, composées l'une et l'autre de 3 feux et disposées perpendiculairement à l'axe de la piste dans le prolongement des barrettes de toucher des roues.

La barre transversale à 150 m assure la continuité des barrettes axiale et latérales à l'aide de feux blancs H.I.

À partir et au-delà de la barre transversale à 300 m, les configurations normale et simplifiée du dispositif lumineux d'approche sont identiques à celles correspondant à l'exploitation en catégorie I.

Enfin, lorsque le dispositif ci-dessus est renforcé par une ligne de feux à éclats séquentiels, celle-ci doit s'arrêter à 300 m du seuil.

F-3-2-2 BALISAGE LUMINEUX DE PISTE

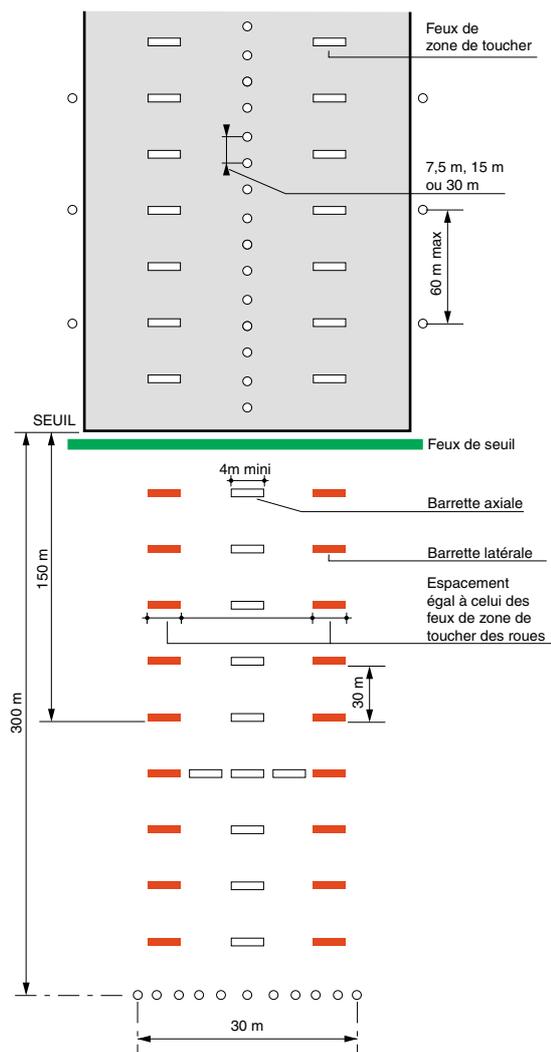
Les feux de **balisage de piste avec approche de précision de catégorie II** sont à haute intensité.

La configuration réglementaire décrite pour les piste avec approche de précision de catégorie I s'applique à celles utilisables en catégorie II à la nuance près que les feux de seuil ne peuvent ici qu'être effectivement disposés à intervalles égaux de 3 m au plus entre les deux rangées de feux de bords de piste.

De même que pour l'approche de précision de catégorie I, la ligne de feux de seuils de piste peut, en catégorie II, être complétée par deux barres de flanc composées, chacune, d'au moins cinq feux



Aéroport de Limoges - Bellegarde. Plan de sol artificiel installé au seuil 22



3-87 Trois cents derniers mètres du dispositif lumineux d'approche correspondant à une approche de précision de catégorie II



Aéroport d'Annecy - Meythet. Balise lumineuse de voie de relation

Photographie STBA / A. PARINGAUX

de couleur verte répartis eux-mêmes sur une longueur d'au moins 10 m à partir de l'alignement du balisage de bord de piste.

L'approche de précision de catégorie II appelle par contre obligatoirement l'installation d'un balisage d'axe de piste selon une ligne qui, lorsqu'elle ne peut être confondue avec l'axe réel de la piste, doit lui rester parallèle à moins de 60 cm. Ces feux seront disposés à partir du seuil jusqu'à l'extrémité, à intervalles d'environ 7,5 m, 15 m ou 30 m. La ligne axiale peut être renforcée par des plots rétro réfléchissants.

Le balisage de zone de toucher de roues, se présentant sous forme de barrettes de trois feux de couleur blanche espacés de 1,5 m au plus qui doivent être installés sur les pistes avec approches de catégorie II depuis le seuil de piste et jusqu'à 900 m de celui-ci*.

Ces barrettes sont disposées transversalement et symétriquement par rapport à l'axe de la piste, la distance entre feux les plus rapprochés d'une paire de barrettes étant de 18 m.

L'espacement longitudinal entre paires de barrettes est de 30 m ou de 60 m selon que le minimum fixé de **portée visuelle de piste** (R.V.R.) est

inférieur ou bien supérieur ou égal à 125 m. Ces barrettes doivent être alimentées par deux boucles enchevêtrées dans le premier cas et par trois dans le second.

Le **balisage axial des sorties de piste**, qui sont effectivement utilisées dans les conditions de catégorie II, est à prévoir dans tous les cas et non plus seulement pour les **sorties rapides de piste**. Pour ces dernières, l'origine de la section balisée est celle décrite pour l'approche de précision de catégorie I. Pour les sorties de piste normales, également utilisées dans les conditions de catégorie II, le balisage axial de sortie de piste débute toujours à moins de 0,6 m du balisage axial de la piste mais cette fois au point où la marque axiale de la voie de relation commence à s'incurver en s'écartant de l'axe de la piste. Il est constitué de feux H.I. de couleur alternativement verte et jaune dans le sens de sortie, uniformément verte, par contre, dans le sens inverse et espacés de 15 m au maximum. Dans un cas comme dans l'autre, le balisage axial de sortie de piste se prolonge au moins jusqu'à la limite de la bande dégagée. S'il se trouvait que cette limite soit à l'intérieur d'une **aire sensible I.L.S.**, le balisage axial de sortie de piste serait prolongé jusqu'à sortir de ladite aire sensible.

Au balisage axial des sorties de piste de catégorie II (et III) est associée la signalisation d'indication de **dégagement de bande**.

F-3-2-3 BALISAGE LUMINEUX DES VOIES DE RELATION

Hors sorties de piste, le **balisage axial des voies de relation** desservant une piste avec approche de précision de catégorie II n'est impérativement à prévoir qu'au droit des intersections complexes. Les feux sont alors des feux fixes H.I. de couleur verte espacés de 30 m au maximum.

Comme pour un aérodrome avec approche de catégorie I, des feux basse intensité de couleur bleue, facultatifs en cas de balisage axial, sont disposés en bordure des voies de relation selon la règle des 3 m et 60 m s'appliquant aux feux de bords de piste. L'espacement entre feux sera par contre réduit dans les courbes de manière à ce que celles-ci soient nettement perceptibles.

L'implantation d'une barre d'arrêt est obligatoire à chaque **point d'arrêt "CAT II"**. Cette implantation est également obligatoire sur les autres voies

* la zone ainsi marquée ne dépassera toutefois pas la moitié de la longueur de la piste lorsque celle-ci est inférieure à 1 800 m

de relation menant à la piste, à une distance d'au moins 150 m de l'axe de celle-ci, sauf sur les aérodromes à faible trafic où la circulation sur l'aire de manœuvre est limitée à un aéronef à la fois.

Une **barre lumineuse d'arrêt** est composée :

- de feux de couleur rouge visibles uniquement dans le sens entrant vers la piste, espacés latéralement entre eux de 3 m et disposés perpendiculairement à l'axe de la voie de relation au voisinage immédiat de la marque d'arrêt "CAT II",
- de deux paires de feux rouges hors sol (ayant les mêmes caractéristiques) implantés à chaque extrémité de la barre d'arrêt à un minimum de 3 m du bord de la voie de relation.

L'ensemble de la barre d'arrêt est mis en service lorsque la **R.V.R.** descend en-dessous d'une valeur fixée par les consignes de l'aérodrome et

qui ne peut être inférieure à 400 m (valeur recommandée : 800 m).

L'allumage de la barre d'arrêt est :

- ou bien commandable depuis la tour de contrôle (sur les voies d'accès "CAT II" ainsi que sur celles utilisables en conditions de mauvaise visibilité) et est alors associé à un segment de confirmation de 90 m, composé d'au moins trois feux verts axiaux disposés en aval de la barre et qui ne s'allument que lorsque l'extinction de celle-ci est commandée depuis la tour,
- ou bien permanent (pour les autres voies d'accès), le balisage axial en aval de la barre d'arrêt étant unidirectionnel sur 90 m de manière à n'être pas visible dans le sens entrant.



Aéroport de Brest - Guipavas. Ligne d'approche de catégorie III

F-3-3 DISPOSITIONS ASSOCIÉES À L'APPROCHE DE PRÉCISION DE CATÉGORIE III

F-3-3-1 DISPOSITIF LUMINEUX D'APPROCHE

Non indispensable, compte tenu de la faible valeur de la hauteur de décision, pour une exploitation dans les conditions de la **catégorie III**, la **ligne d'approche**, si elle est installée, devra permettre l'exploitation dans des conditions de catégories I et II.

F-3-3-2 BALISAGE LUMINEUX DE PISTE

Le **balisage lumineux de piste** prescrit pour une exploitation dans les conditions de catégorie II est utilisable pour une exploitation dans les conditions de la catégorie III, sauf en ce qui concerne les feux d'axe de piste qui sont espacés de 7,5 m ou 15 m uniquement.

F-3-3-3 BALISAGE LUMINEUX DES VOIES DE RELATION

Le **balisage lumineux** des voies de relation d'un aéroport exploité en approche de **catégorie III** comprend le balisage axial d'un **cheminement unique** d'accès et de sortie entre la piste et l'aire de manœuvre.

Le balisage axial d'autres cheminements suppose par contre l'installation de dispositifs, tels que radars, nécessaires à la surveillance de la circu-



Feu de balisage

lation au sol. Les voies de relation n'appartenant pas à ce(s) cheminement(s) ne peuvent être utilisées que lorsque la **portée visuelle de piste** est supérieure ou égale à 150 m.

Le raccordement à la piste de ce(s) cheminement(s) obéit (obéissent) aux dispositions associées, pour les sorties de piste, à l'approche de précision de catégorie II.

Hors section(s) de raccordement, le balisage axial de ce(s) cheminement(s) est composé de feux HI de couleur verte disposés avec les espacements minimaux définis dans le tableau 3-88 ci-après.

Du fait de leur balisage axial, le balisage des bords de voie de circulation est facultatif sur ce(s) cheminement(s). En son absence, il est recommandé de substituer aux feux des plots rétro réfléchissants.

Les règles prescrites, quant au balisage lumineux des points d'arrêt, pour la catégorie II sont intégralement transposables à la catégorie III.

R.V.R. (en m)	Zones	Espacement des feux
R.V.R. < 125	Zone difficile	7,5 m
	Zone moyenne	15 m
	Autres	30 m
125 ≤ R.V.R. < 150	Zone difficile	≤15 m
	Zone moyenne	30 m
	Autres	60 m
150 ≤ R.V.R. < 400	Zone difficile	30 m
	Zone moyenne	30 m
	Autres	60 m

Zone difficile : Aires sensibles, intersections de voies, virages (rayon de virage inférieur à 400 m),

Zone moyenne : Lignes droites de voies de circulation mal délimitées physiquement ou let marquage sol déficient (par exemple traversées de surfaces bétonnées),

Autres : Lignes droites de voies de circulation physiquement bien délimitées avec marquage au sol efficace.

3-88 Espacement minimal des feux HI du balisage axial

F-4 PISTES SPÉCIALISÉES AU DÉCOLLAGE

Le **balisage lumineux** d'une **piste spécialisée au décollage** est conforme à celui de la piste associée pour les atterrissages.

Pour une **R.V.R.** < 400 m :

- les marques de point d'arrêt sont situées par rapport à l'axe de la piste à :

- 75 m pour les **avions de catégories A, B et C**,
- 90 m pour les avions de catégorie D.

- des panneaux spéciaux peuvent être implantés lorsqu'un décollage peut débuter en un point différent de l'extrémité de piste,

- les feux d'axe de piste sont toutefois obligatoires pour les décollages à faible visibilité quand la portée visuelle de piste est inférieure à 250 m pour les avions de catégories A, B ou C et à 300 m pour les avions de catégorie D.

Pour une R.V.R. < 150 m :

- la largeur de piste est ≥ 45 m,

- le **QFU** utilisé doit être équipé d'un localizer,

- les marques, panneaux et balisage lumineux sont identiques à ceux exigés pour une approche de précision de catégorie III,

- le balisage des voies de relation doit comporter une ligne axiale d'entrée de piste équipée de feux de couleur verte,

- deux **transmissomètres** doivent être implantés au seuil et à mi-piste,

- une telle procédure n'est pas possible sur les aérodromes avec un service A.F.I.S.*

* Airfield Flight Information Service (service d'information de vol d'aérodrome)

3-2-2 La signalisation

Certaines consignes en vol et au sol sont portées à la connaissance des pilotes depuis ou sur les aérodromes au moyen de différents signaux lumineux ou non. Ces signaux sont :

- soit installés sur une aire à signaux ou en tout autre endroit approprié de l'aérodrome,*
- soit adressés d'un autre endroit par un agent du contrôle de la circulation aérienne de l'aérodrome.*

Il n'est ici traité que de la signalisation fixe s'adressant à la circulation aérienne et à celle destinée à la circulation au sol. Les signaux n'entrant pas dans ce cadre sortent en effet du champ de la présente Instruction.

G - SIGNALISATION POUR LA CIRCULATION AÉRIENNE

G - SIGNALISATION POUR LA CIRCULATION AÉRIENNE



Aérodrome de Chavenay - Villepreux. Aire à signaux

Première information visuelle pouvant être donnée aux pilotes, le nom de l'aérodrome peut être marqué au sol, ou peint sur le toit d'un hangar, en lettres capitales de dimensions au moins égales à 2 m pour la hauteur et de 1,5 m pour la largeur. Ces lettres sont blanches ou d'une couleur tranchant nettement avec le fond sur lequel elles sont inscrites.

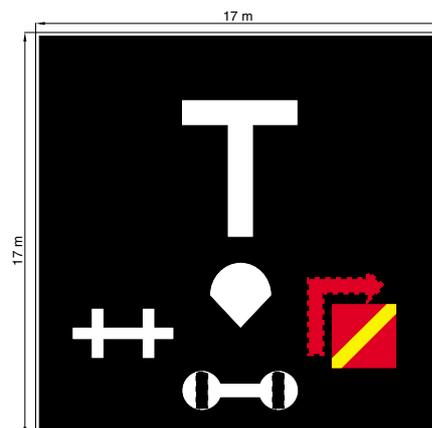
La direction et la force du vent sont données par une manche à vent dont le modèle, agréé par le Service Technique de la Navigation Aérienne, se compose d'un tronc de cône en étoffe de 4,25 m de longueur, de 1 m de diamètre d'entrée et de 0,4 m de diamètre de sortie, il comporte 5 bandes alternées (3 rouges et 2 blanches). Monté sur une girouette, l'ensemble doit être installé, en dehors de toute bande dégagée, à 100 mètres au moins des bâtiments afin d'éviter les remous que ceux-ci peuvent générer. La manche à vent doit enfin être éclairée sur les aérodromes ouverts aux vols de nuit.

Lorsqu'une aire à signaux est aménagée, la manche à vent sera installée à 25 m de celle-ci et disposée dans l'alignement du Té d'atterrissage, orienté lui-même parallèlement à la direction principale d'envol.

L'aménagement d'une aire à signaux ne se justifie

toutefois plus aujourd'hui que lorsque l'aérodrome ne dispose ni d'une tour de contrôle ni d'un service d'information en vol ou lorsqu'il est utilisé par des aéronefs qui ne sont pas dotés d'un équipement de radiocommunication. Ces conditions étant remplies, la décision d'aménager une aire à signaux présuppose encore que les signaux qu'elle destine aux pilotes puissent être constamment mis en accord avec les consignes à leur donner.

Par contre, lorsque décision est prise d'aménager une aire à signaux, celle-ci devra l'être conformément aux dispositions décrites par la présente



3-89 Aire à signaux

Instruction.

Une **aire à signaux** est constituée par un carré de 17 m de côté, de couleur noire (mâchefer ou produit bitumineux) et délimitée par une bordure blanche d'au moins 0,3 m. L'un des côtés du carré est parallèle à l'axe de la piste principale. La figure 3-89 précise la disposition intérieure à adopter.

Le **Té d'atterrissage** est un appareil en forme de «T», mobile autour d'un axe vertical et que l'on oriente de manière à ce que la grande barre soit parallèle à l'axe de la piste en service, la petite barre indiquant quant à elle le sens d'utilisation de cette dernière. Le Té reproduit ainsi grossièrement un avion orienté dans le sens de l'atterrissage.

Plusieurs types de Tés d'atterrissage, dont celui représenté par la figure 3-90, ont reçu l'homologation du S.T.N.A., de qui il est, le cas échéant, recommandé de se rapprocher, tout système de fortune étant formellement proscrit.

Les autres signaux pouvant figurer dans l'aire à signaux sont :

- le signal « Attention », qui a la forme d'un carré de 3 m de côté disposé à côté du Té d'atterrissage, est de couleur rouge et porte une diagonale jaune de 0,5 m de largeur,
- le même signal « Attention » qui, lorsqu'il reçoit une seconde diagonale jaune, se transforme en panneau d'interdiction d'atterrir sur l'aérodrome

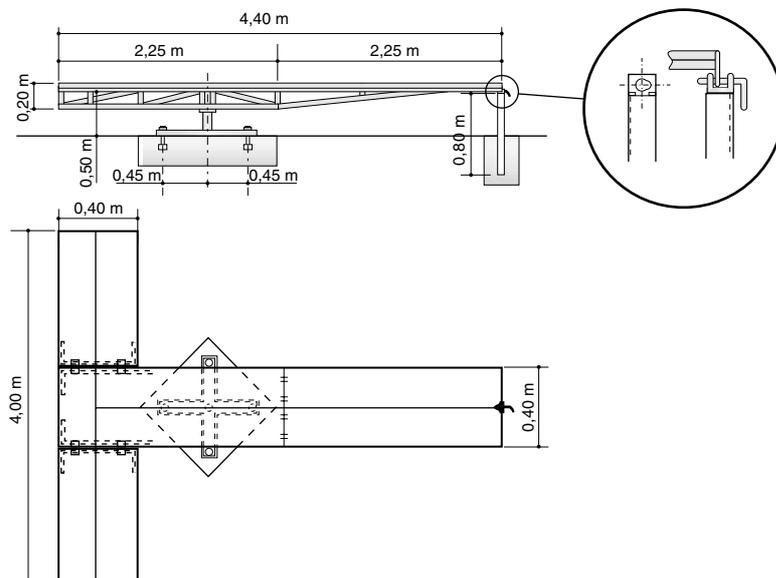
pour quelque cause que ce soit*,

- la flèche rouge de virage à droite qui, accolée au panneau « Attention », indique que le tour de piste se fait à droite,
- le signal blanc « Parachute » qui, lorsqu'il est posé, signale un largage en cours,
- la double croix blanche de 4 m x 2 m qui, lorsqu'elle est posée, indique des vols de planeurs en cours,
- l'haltère blanc qui fait connaître que la circulation n'est autorisée que sur les aires de manœuvre balisées (s'agissant d'une disposition généralement permanente, le panneau peut être réalisé en béton),
- l'haltère blanc barré de noir qui indique par contre que la circulation est possible en dehors des aires de manœuvre balisées,
- le « H » blanc qui indique des vols d'hélicoptères.

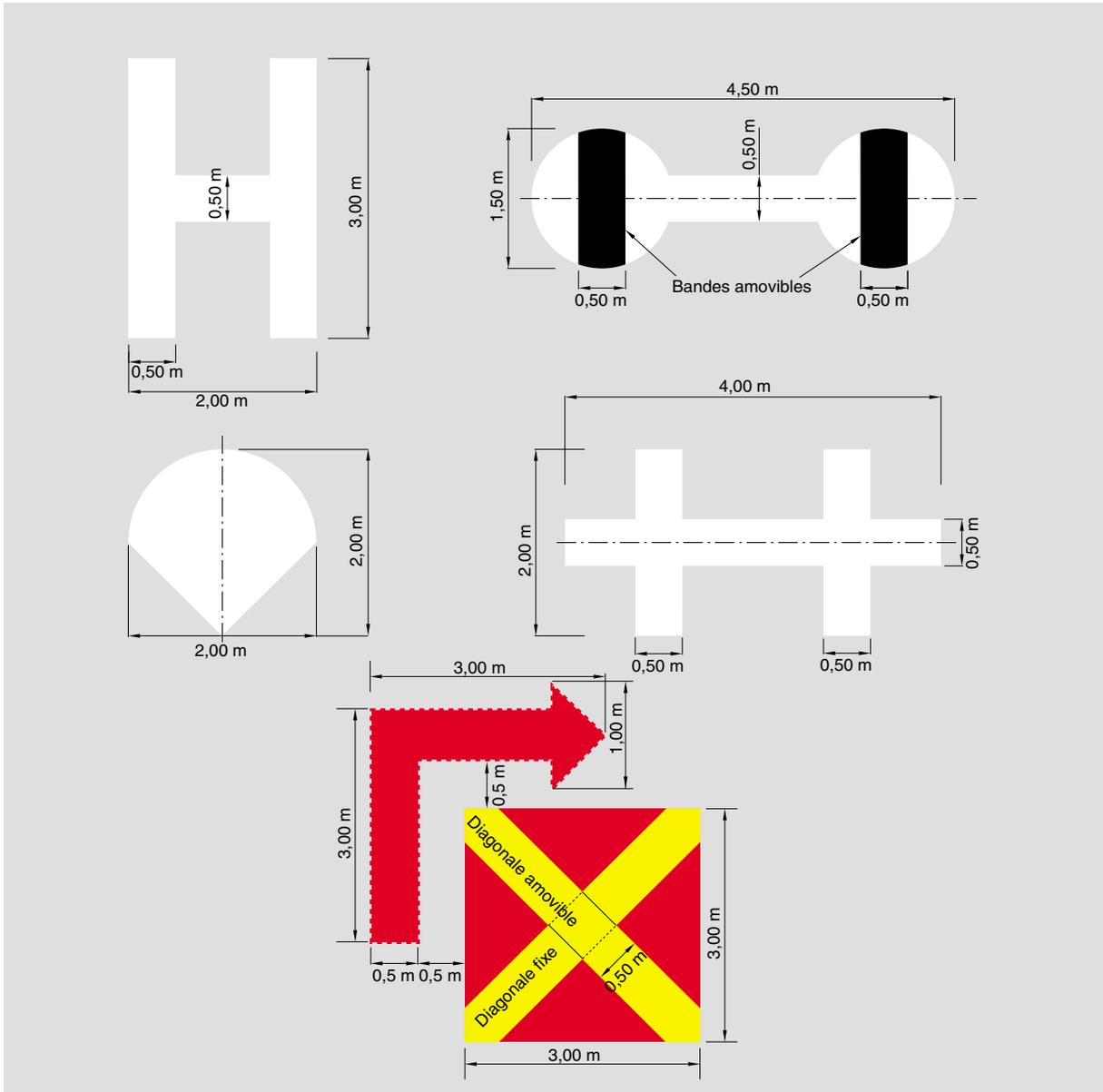
Les dimensions des signaux ci-dessus sont données par la figure 3-91.

* Dans le cas d'une fermeture totale de l'aérodrome, l'interdiction d'atterrir est, par mesure de sécurité, signalée simultanément par des marques de zone inutilisable.

Dans le cas où une partie seulement de l'aérodrome serait interdite aux aéronefs, il convient d'appliquer les dispositions de la circulaire AC n° 18 du 4 juin 1970 (référence n° 3719/DBA/6 et n° 20278/DNA/2) bien que celle-ci ne traite que des précautions à prendre à l'occasion de travaux sur l'aérodrome.



3-90 Té d'atterrissage de type «aéro-club»



3-91 Éléments constitutifs de l'aire signaux

H - SIGNALISATION POUR LA CIRCULATION AU SOL

H - SIGNALISATION POUR LA CIRCULATION AU SOL

H-1 DISPOSITIONS COMMUNES

Elle est assurée par des **panneaux de signalisation** parmi lesquels sont distingués :

- les **panneaux d'obligation**, d'installation impérative sur toutes les pistes utilisées aux instruments ainsi que, sous forme simplifiée, sur les pistes utilisées uniquement à vue appartenant aux aérodromes contrôlés,
- les **panneaux d'indication**, d'installation facultative.

Les panneaux de signalisation sont placés de manière à être facilement visibles pour le pilote d'un aéronef et à ne pas masquer les feux éventuellement associés. C'est ainsi qu'afin d'assurer au pilote leur meilleure lisibilité :

- les panneaux sont disposés perpendiculairement à l'axe de la voie lorsqu'ils doivent être lus dans les deux sens,
- ils forment avec l'axe de la voie un angle de 75°, lorsqu'ils ne doivent être lus que dans un sens.

Les panneaux de signalisation sont montés sur des bases légères et fragibles. Parmi les solutions possibles, une bague cassante en alliage léger peut être insérée dans un support constitué, soit d'un tube en métal protégé scellé dans un massif en béton, soit d'un tripode boulonné sur ce massif.

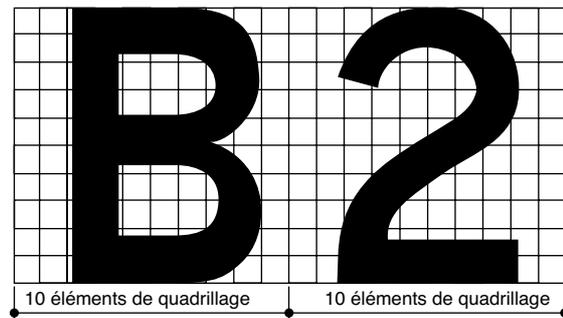
Les panneaux de signalisation sont éclairés lorsqu'ils sont utilisés de nuit de même que de jour par visibilité inférieure à 800 m.

Toutefois, l'instruction ou le renseignement donné par un panneau de signalisation est valable que celui-ci soit éteint ou éclairé.

Les panneaux de signalisation ont la forme d'un rectangle de grand axe horizontal, chaque lettre ou chiffre, dont le graphisme est donné en figure 3-93, s'inscrivant dans un carré comme indiqué sur la figure 3-92.

Le tableau 3-94-b donne, en fonction de la longueur de piste et du type de panneau :

- la hauteur de l'inscription H1,
- la hauteur de la façade du panneau H2,
- la hauteur maximale H3 du panneau installé au-dessus du niveau de la piste ou de la voie de circulation afin de laisser une garde suffisante aux hélices et aux fuseaux moteurs des aéronefs (une hauteur supérieure peut être tolérée lorsque le panneau est éloigné de la voie de circulation et



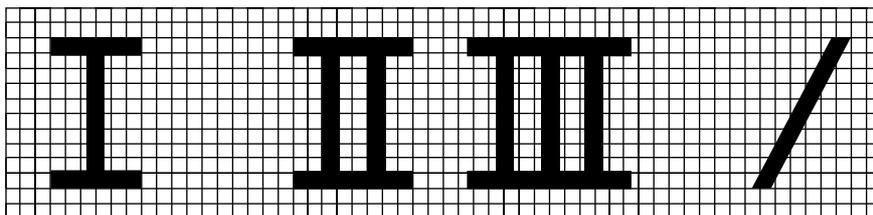
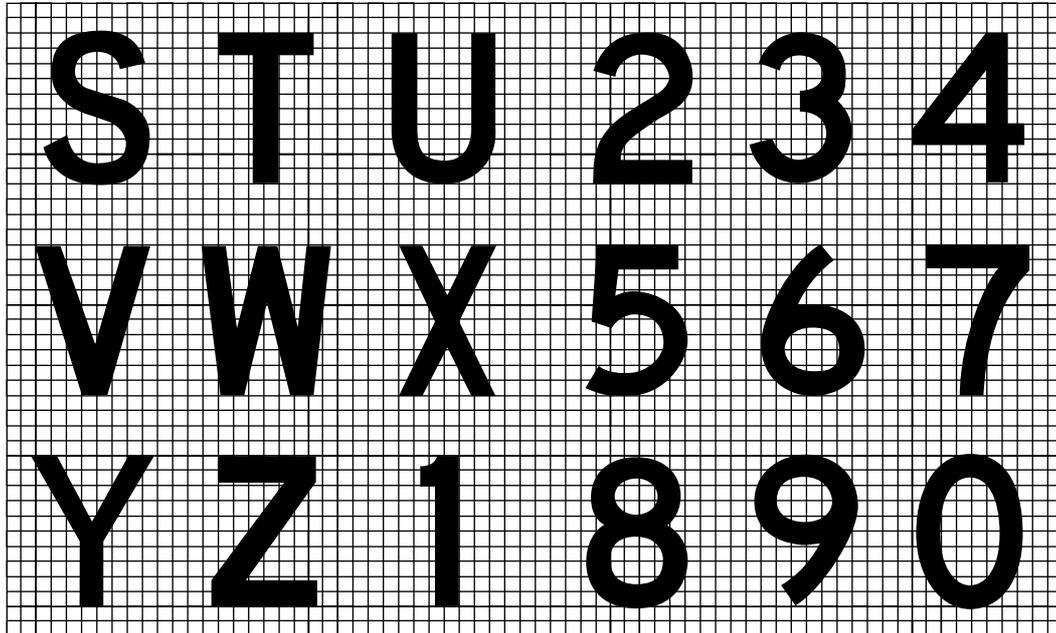
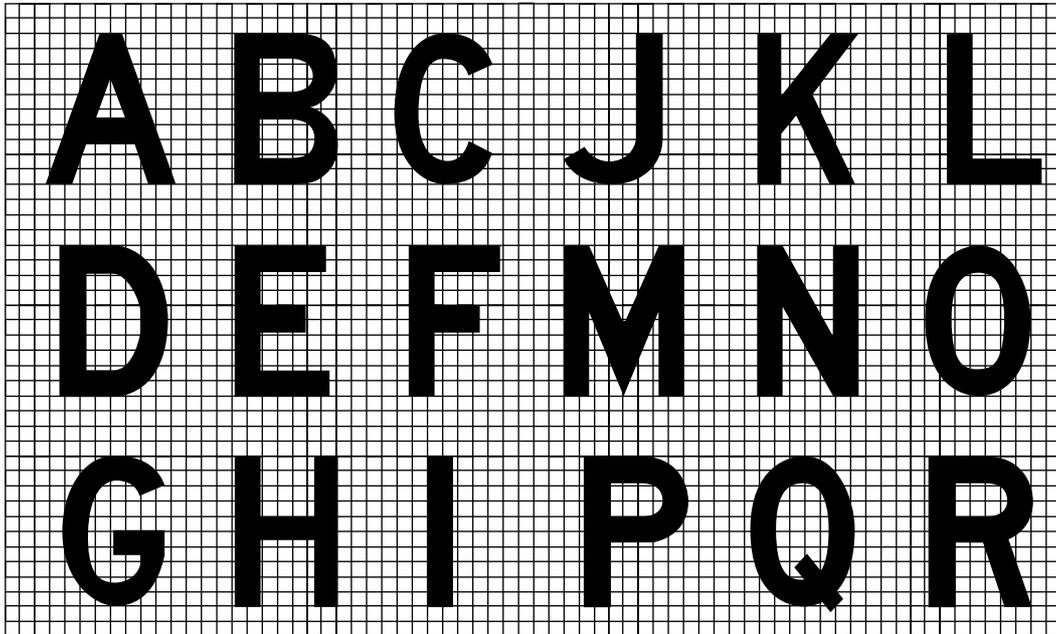
3-92 Assemblage des caractères

- respecte les dégagements de celle-ci),
- la distance d'implantation par rapport à la piste ou à la voie de circulation.

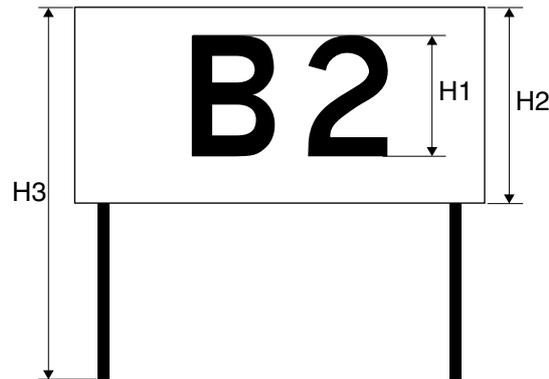
L'alimentation électrique des panneaux de signalisation est réalisée :

- en parallèle (220 V ou 127 V alternatif) à l'aide d'un éclairage incandescent ou fluorescent,
- en série (lampe 6,6 A) par l'intermédiaire d'un transformateur d'isolement inséré dans une boucle du balisage.

Le choix du circuit d'alimentation dépend des contraintes opérationnelles de fonctionnement, de la configuration du site et de la technologie utilisée.



3-93 Graphisme des caractères entrant dans la composition des panneaux de signalisation



3-94-a Descriptif du panneau

Longueur de piste (m)	Types de panneaux	Distances (m)						
		Hauteurs (cm)			Distance entre le bord de la voie de circulation et le bord du panneau		Distance entre le bord de la piste et le bord du panneau	
		H1	H2	H3 (max)	mini	maxi	mini	maxi
≤ 2400	Panneaux d'indication Panneaux d'obligation (option 1)	20	40	70 (a)	5	11	5	10
	Panneaux d'obligation (option 2 recommandée)	30	60	90				
> 2400	Panneaux d'indication	30	60	90				
	Panneaux d'obligation	40	80	110	11	21	8	15

(a) Une hauteur maximale de 80 cm est tolérée pour les installations antérieures au 1er janvier 1996.

3-94-b Hauteurs et distances d'implantation des panneaux de signalisation

H-2 PANNEAUX D'INDICATION



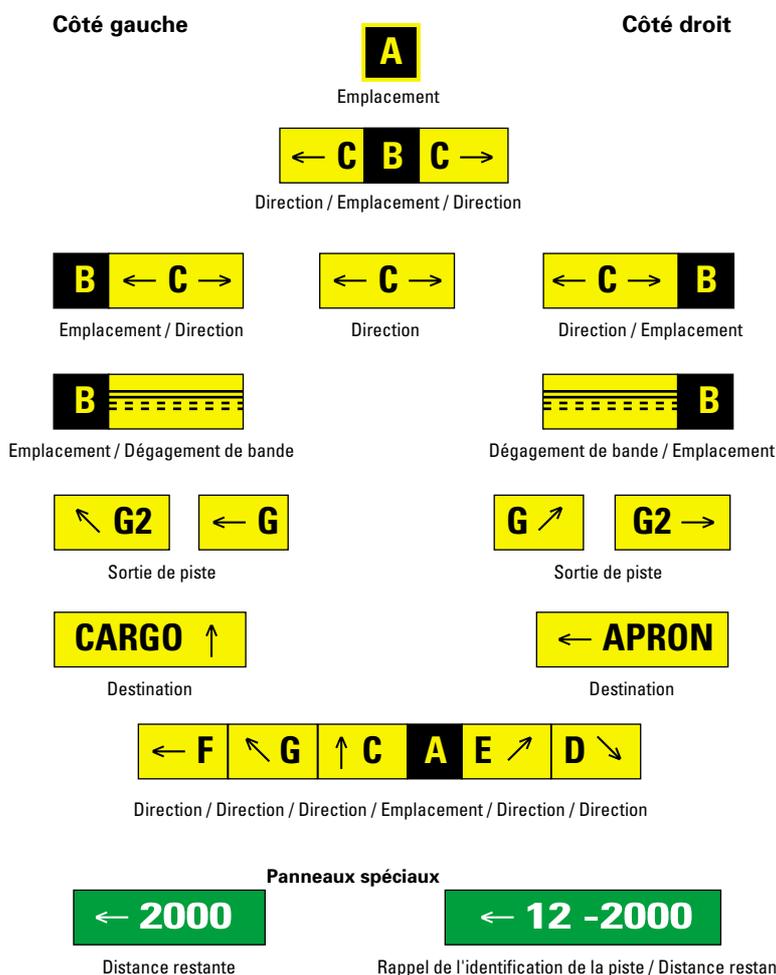
Aéroport d'Anney - Meythet. Panneaux d'indication de direction

Les **panneaux d'indication** servent à indiquer une direction, un emplacement, un dégagement de bande, une sortie de piste, une destination, une information spéciale ou à rappeler une fréquence.

Les voies de circulation sont identifiées par un indicatif comprenant une lettre éventuellement suivie d'un numéro. Les lettres sont représentées en majuscules, le I, le O et le X ne devant pas être utilisés. Les numéros choisis seront quant à eux différents de ceux d'identification des pistes de l'aérodrome.

Les panneaux d'indication installés doivent avoir une alimentation électrique secourue avec un temps maximum de commutation de 15 s.

La figure 3-95 donne quelques exemples de panneaux d'indication dont les différents types font ensuite chacun l'objet d'une présentation séparée.



H-2-1 PANNEAUX D'EMPLACEMENT

Les panneaux d'emplacement portent une inscription jaune sur fond noir.

Ils sont utilisés pour indiquer un endroit précis sur l'aérodrome. Ainsi peuvent-ils, par exemple, rappeler, par son indicatif, la voie de circulation sur laquelle se trouve un aéronef à l'intersection de celle-ci avec une piste ou une autre voie de circulation.

Comme indiqué sur les figures 3-95 et 3-100, les panneaux d'emplacement sont généralement accolés à des panneaux « d'indication » de direction et de dégagement de bande ainsi qu'à des panneaux « d'obligation » d'arrêt.

Les panneaux d'emplacement sont les seuls panneaux d'indication co-implantables avec les panneaux d'obligation.

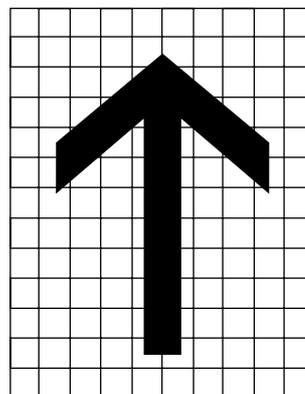
Lorsqu'ils sont utilisés seuls, les panneaux d'emplacement portent une bordure jaune.

H-2-2 PANNEAUX DE DIRECTION

Les **panneaux de direction** portent une inscription noire sur fond jaune.

Les panneaux de direction portent une flèche indiquant la direction à suivre, flèche dont le graphisme est donné par la figure 3-96.

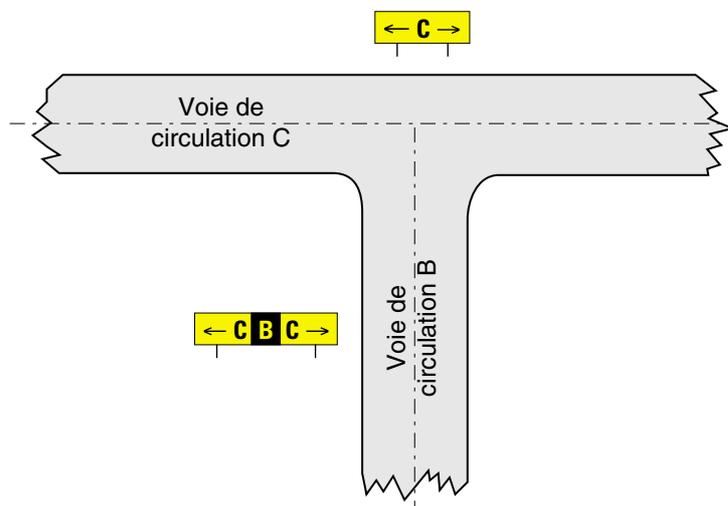
Lorsque cette direction est à gauche, la flèche doit être placée du côté gauche du panneau. Lorsque cette direction est à droite, la flèche doit être placée du côté droit du panneau. Une flèche verticale, placée sur le côté du panneau, indique que



3-96 Flèche de direction (graphisme)

l'aéronef doit continuer en ligne droite.

Placés avant les intersections, les panneaux de direction sont disposés du côté gauche de la voie de circulation depuis laquelle ils doivent être lus. Dans le cas d'une intersection en « T » de deux voies de circulation, un autre panneau de direction est, comme indiqué sur la figure 3-97, placé dans l'axe de la voie adjacente sur le bord opposé de la voie rencontrée.



3-97 Cas d'une intersection en « T »

H-2-3 PANNEAUX DE DESTINATION

Les panneaux de destination portent une inscription noire sur fond jaune.

Ils sont utilisés pour indiquer la direction à suivre pour atteindre une zone déterminée de l'aérodrome. Les aires de trafic spécialisées reçoivent, à cet effet, les désignations suivantes :

- aires générales **RAMP**
- de stationnement, de petit **ou**
- entretien et de chargement **APRON**
- aires de stationnement **PARK ou**
- réservées aux aéronefs **PARKING**
- zones civiles sur les **CIVIL**
- aérodromes mixtes
- zones militaires sur les **MIL**
- aérodromes mixtes
- aires de manutention du fret **CARGO**
- zones internationales **INTL**
- aires de point fixe **FIX**
- aires d'avitaillement en **FUEL**
- carburant ou de service
- hangar ou zone de hangars **HGR**

La direction à suivre est indiquée par une flèche selon la règle de positionnement applicable aux panneaux de direction.

A la différence par contre des panneaux de direction, les panneaux de destination ne doivent pas être accolés à un panneau d'emplacement ni même implantés à proximité d'un tel panneau.

H-2-4 PANNEAUX INDICATEURS DE DÉGAGEMENT DE BANDE

Les panneaux indicateurs de dégagement de bande sont installés de part et d'autre des sorties de pistes homologuées pour des approches de pré-

cision de catégorie II ou III ou pour des décollages de précision, afin d'indiquer à un pilote sortant de la piste qu'il franchit la limite de bande.

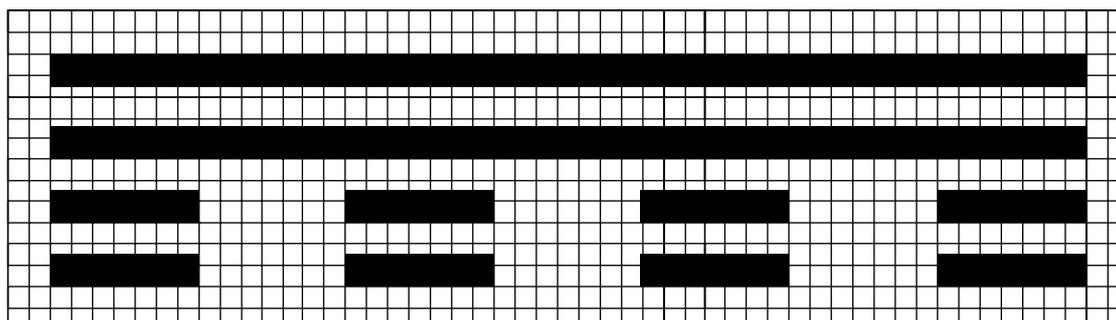
L'implantation de panneaux indicateurs de dégagement de bande est à relier au balisage axial de ces sorties de piste.

Les panneaux indicateurs de dégagement de bande portent une inscription noire sur fond jaune dont le graphisme est décrit par la figure 3-98.

H-2-5 PANNEAUX INDICATEURS DE SORTIE DE PISTE

Un panneau indicateur de sortie de piste est installé lorsqu'il existe un besoin opérationnel d'identifier une sortie de piste. Disposé, conformément aux indications du tableau 3-94-b ci-dessus, sur le bord de piste où s'effectue la sortie, il est situé à au moins 60 m en amont du point de tangence du raccordement d'axes. Il convient d'en installer un pour chaque sens de piste utilisable.

Les panneaux de sortie de piste, dont la configuration est donnée par la figure 3-95, portent une inscription noire sur fond jaune.

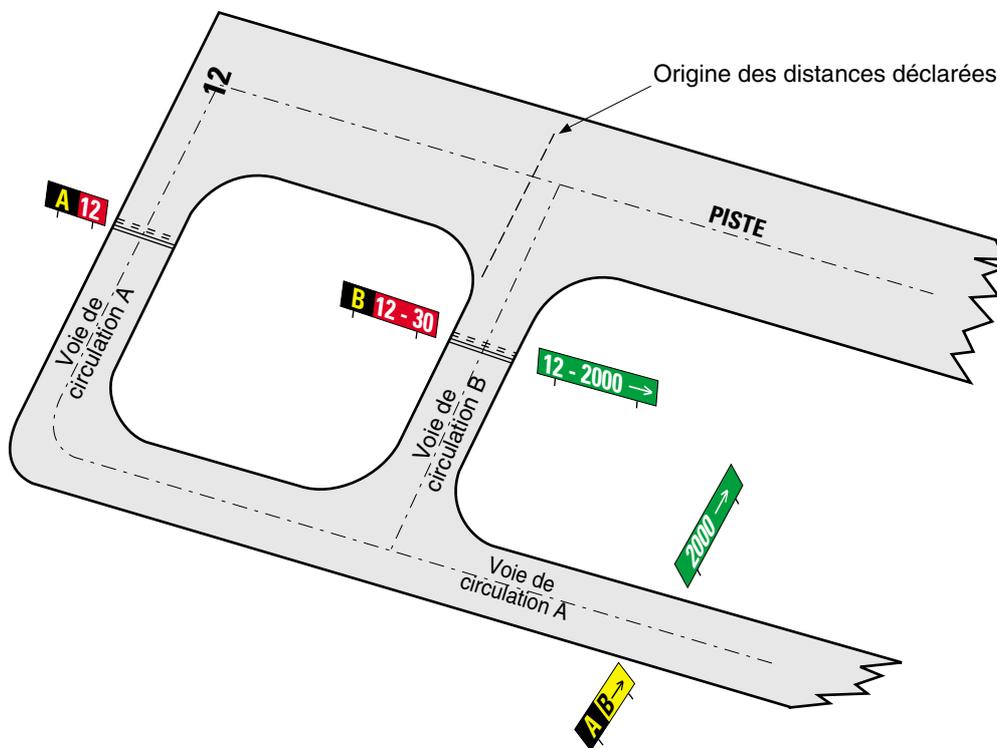


3-98 Panneau indicateur de dégagement de bande (graphisme)

H-2-6 PANNEAUX SPÉCIAUX

Les **panneaux spéciaux**, dont la configuration est également donnée par la figure 3-93, portent une inscription blanche sur fond vert et peuvent être utilisés lorsqu'il convient de signaler la possibilité de commencer le décollage en un point de la piste autre que son extrémité.

Ainsi, par exemple, sur la figure 3-99, les panneaux situés sur la voie A puis la voie B indiquent la direction puis l'emplacement d'un point intermédiaire laissant 2000 m de longueur de piste au décollage.



3-99 Panneaux spéciaux indiquant la longueur de roulement utilisable au décollage

H-3 PANNEAUX D'OBLIGATION

Les **panneaux d'obligation** sont destinés à signaler un emplacement au-delà duquel un aéronef ou un véhicule ne doit pas passer sauf à en avoir reçu l'autorisation contraire du contrôle ou, en l'absence de contrôle, à avoir assuré lui-même sa sécurité.

Tous les matériels nécessaires à l'équipement des pistes utilisées aux instruments ou en VFR de nuit doivent être agréés par le STNA.

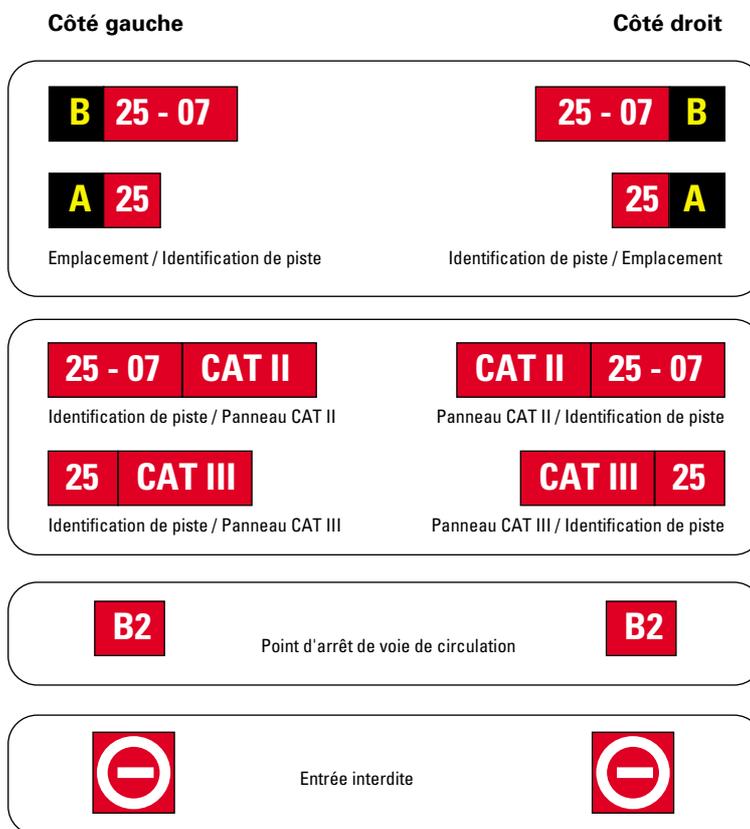
Les panneaux d'obligation comprennent les panneaux d'arrêt, les panneaux d'interdiction et les panneaux CAT II et CAT III.

Les panneaux d'obligation installés doivent avoir une alimentation électrique secourue avec un temps maximum de commutation dépendant des conditions d'exploitation (1s ou 15s).

La figure 3-100 reproduit les différents types de panneaux d'obligation dont chacun fait ensuite l'objet d'une présentation séparée.

Les panneaux d'obligation portent une inscription blanche sur fond rouge. Le rouge adopté doit diffuser au moins 20 % du flux lumineux en blanc et rentrer dans les normes définies par le diagramme de la Commission Internationale de l'Éclairage qui précise les limites du rouge aéronautique, panneau éteint ou éclairé.

Les panneaux d'obligation comprennent les panneaux d'arrêt et les panneaux d'entrée interdite.



3-100 Panneaux d'obligation



Identification de la piste 15 L exploitée en catégorie II

Photographie ADB

H-3-1 PANNEAUX D'ARRÊT

Un **panneau d'arrêt** est disposé :

- dans le prolongement des **marques de point d'arrêt** voie de relation-piste et ce au moins sur le côté gauche de la voie de relation,
- dans le prolongement, lorsqu'elles existent, des **marques d'intersection** voie de circulation-voie de circulation et ce au moins sur le côté gauche de celles-ci.

Le panneau d'arrêt (co-implanté, sauf double emploi, avec le panneau d'indication d'emplacement correspondant à la voie de relation utilisée) porte les inscriptions suivantes :

- lorsque le point d'arrêt se trouve avant l'entrée sur une piste :
 - le numéro à deux chiffres d'identification du seuil de la piste dans le cas d'un point d'arrêt situé sur une voie de relation aboutissant à une extrémité de piste,
 - les deux numéros à deux chiffres d'identification de la piste dans le cas d'un point d'arrêt situé sur une voie de relation intermédiaire,
- pour les autres points d'arrêt, un indicatif composé de la dénomination de la voie de relation suivie d'un chiffre désignant l'emplacement où l'on doit s'arrêter.

H-3-2 PANNEAUX CAT II ET CAT III

La marque de point d'arrêt simple à l'entrée d'une piste utilisée en condition d'approche de catégorie II ou III doit être complétée par une signalisation par panneau(x) d'arrêt. Ce ou ces panneaux doivent toutefois être, dans ce cas, renforcés par deux feux superposés de couleur jaune clignotant en alternance et placés soit à proximité du panneau, entre celui-ci et la voie de circulation, soit dans le panneau du côté de la voie de relation. Ces pan-

neaux doivent, de plus, être éclairés de l'intérieur.

Les marques de point d'arrêt spécifique, dites de catégorie II ou III, sont, elles, complétées par des **panneaux de point d'arrêt de CAT II ou CAT III** disposés de part et d'autre de la voie de relation face à la direction d'approche vers la piste. Ces panneaux, représentés sur la figure 3-100, portent l'inscription « CAT II » pour signaler un point d'arrêt de catégorie II et « CAT III » pour signaler un point d'arrêt de catégories II et III.

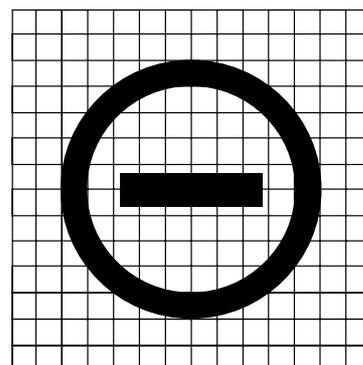
Les panneaux de point d'arrêt de catégorie III doivent être renforcés par deux feux superposés de couleur jaune clignotant en alternance et placés soit à proximité du panneau, entre celui-ci et la voie de relation, soit dans le panneau du côté de la voie de relation. Ces panneaux doivent, de plus, être éclairés de l'intérieur.

L'alimentation électrique des feux clignotants de couleur jaune sera réalisée simultanément soit avec le balisage axial de la voie de relation soit avec le balisage latéral de la piste.

H-3-3 PANNEAUX D'ENTRÉE INTERDITE

Un **panneau d'entrée interdite** est disposé chaque fois que l'entrée dans une zone donnée est interdite de façon permanente. Ainsi en est-il, par exemple, à la sortie d'une voie de circulation à sens unique. Ce panneau est disposé des deux côtés de la voie de circulation, à l'entrée de la zone dont l'accès est interdit.

Le panneau d'entrée interdite porte une indication constituée d'une barre horizontale de couleur blanche sur fond rouge circulaire dont le graphisme est précisé par la figure 3-101.



3-101 Panneau d'entrée interdite (graphisme)

3-2-3 Les aides à l'approche et à l'atterrissage

I - INDICATEURS VISUELS DE PENTE D'APPROCHE

I - INDICATEURS VISUELS DE PENTE D'APPROCHE



Aéroport de Saint-Denis - Gillot. P.A.P.I.

La fonction des **indicateurs visuels de pente d'approche** est de fournir une **aide visuelle** au pilote dont l'appareil est en approche finale. Ils lui permettent de savoir si sa trajectoire est dans un plan de descente plus ou moins pentu que celui qui est considéré comme nominal.

La **trajectoire nominale** est l'une des trajectoires possibles des aéronefs, qui est prise comme référence. Elle n'est définie que là où l'organisation de la navigation des aéronefs le nécessite. Les éléments de cette organisation sont alors conçus pour que les aéronefs suivent cette trajectoire nominale.

L'implantation d'indicateurs visuels de pente d'approche est nécessaire lorsque les conditions particulières d'environnement rendent, pour le pilote, ou bien difficile le contrôle visuel de sa pente d'approche (survol d'un plan d'eau ou d'un terrain sans source lumineuse de nuit), ou bien dangereux un écart vertical inhabituel par rapport au **plan nominal de descente**.

Normalisé par l'O.A.C.I., le **dispositif P.A.P.I.** (Precision Approach Path Indicator) a fait l'objet de la part du Ministère des Transports d'une instruction relative à son implantation et son installation sur les aéroports*.

Le système **A.P.A.P.I.**** est une version simplifiée du P.A.P.I., à laquelle il ne peut être recouru que si l'implantation d'un P.A.P.I. est physiquement impossible.

Ces deux dispositifs sont les seuls indicateurs visuels de pente d'approche que l'on installe désormais sur les aéroports français. Le système V.A.S.I.S. (Visual Approach Slope Indicator System) auquel se substitue totalement aujourd'hui le système P.A.P.I. n'est pour cette raison pas traité dans la présente instruction

* Réf : 20580/DNA/2A du 8 juin 1993, disponible au Service de l'Information Aéronautique

** Abbreviated Precision Approach Path Indicator

I-1 PRINCIPE GENERAL

Le **dispositif P.A.P.I.** standard est constitué d'une barre de quatre unités lumineuses alignées perpendiculairement à la piste, sur le côté gauche de l'avion à l'atterrissage lorsque cette implantation est possible. Cette barre matérialise théoriquement l'intersection, avec le sol, du plan nominal de descente perçu par le pilote.

Lorsque l'aéronef en approche suit le plan nominal de descente, le pilote voit deux feux rouges (les plus proches du bord de piste) et deux feux blancs. Si la trajectoire quitte le plan vers le haut, il voit trois feux blancs et un feu rouge, puis (encore plus haut) quatre feux blancs.

Si la trajectoire quitte le plan vers le bas, il voit trois feux rouges et un feu blanc, puis (encore plus bas) quatre feux rouges.

Pour ce faire chaque unité émet, en direction de la trajectoire d'approche, un faisceau lumineux rouge dans sa partie inférieure et blanc dans sa partie supérieure. La transition entre la lumière rouge et la lumière blanche est franche (2 à 3 minutes d'angle). Elle constitue le plan de calage en site de l'unité.

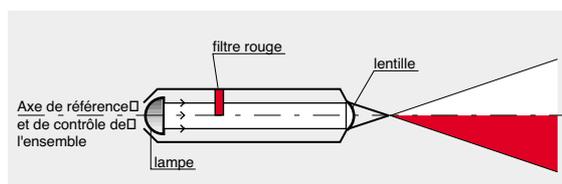
Les deux unités lumineuses situées au milieu de l'ensemble ont des calages qui encadrent le site du plan nominal de descente, de ± 10 minutes d'angle (+10 minutes pour celle des deux qui est la plus proche de la piste). Les deux unités situées aux extrémités de l'ensemble ont des calages en site qui encadrent le site du plan nominal de descente, de ± 30 minutes d'angle.

Ainsi, lorsque l'avion s'écarte d'un angle de plus de 30 minutes par rapport au plan nominal, les 4 unités lumineuses constituant le P.A.P.I. auront la même couleur (rouge si l'on est au-dessous et blanc si l'on est au-dessus).

Le système simplifié appelé **A.P.A.P.I.**, qui n'est installé qu'en cas d'impossibilité physique d'implanter un dispositif P.A.P.I., est composé d'une barre de seulement deux unités lumineuses.

Les calages en site de ces deux unités encadrent le site du plan nominal de descente de ± 15 minutes d'angle.

Le calage en site des unités lumineuses ainsi que la distance* entre leur alignement et le seuil de



3-102 Schéma d'une unité lumineuse

piste découlent géométriquement de la position du plan nominal de descente des yeux du pilote. Ce plan est déterminé de façon à ce qu'un aéronef suivant la trajectoire nominale :

- franchisse avec une marge suffisante, compte tenu de la réglementation, les obstacles situés dans une aire de protection**,
- passe entièrement au dessus du seuil de piste à une hauteur suffisante, et ce quel que soit le type d'appareil parmi ceux qui sont appelés à fréquenter l'aérodrome.

La distance du système au seuil de piste est généralement comprise entre 200 et 400 m.

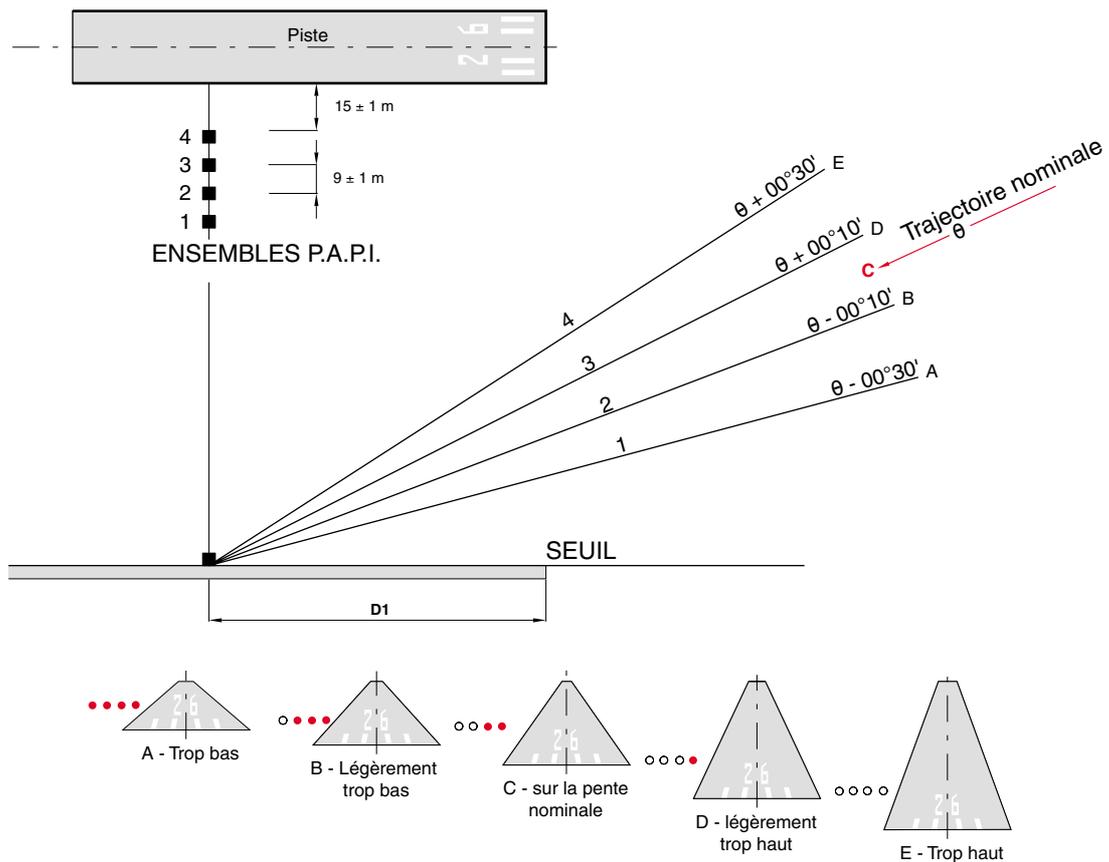
Lorsque la piste est équipée d'un I.L.S., l'emplacement et le calage en site des ensembles lumineux sont déterminés de telle manière que la pente d'approche visuelle soit aussi proche que possible de l'alignement de descente de l'I.L.S.

Le positionnement du plan nominal de descente perçu par le pilote est déterminé par les services compétents (S.T.N.A., Directions de l'Aviation Civile, Services de l'Aviation Civile outre-mer), le S.T.B.A. ou les S.S.B.A. se chargeant de déterminer le seuil décalé à cet équipement.

* repéré par D1 sur la figure 3-103 ci-après

** on se référera utilement à cet égard au chapitre 12 qui préciera les dégagements devant être ménagés pour les aides visuelles à l'atterrissage

I-2 INSTALLATION



3-103 Angle de calage en site des unités lumineuses d'un dispositif P.A.P.I.

I-2-1 POSITIONNEMENT

L'alignement des quatre éléments lumineux du **dispositif P.A.P.I.** est placé à une distance du seuil de piste déterminée comme indiqué précédemment.

Cet alignement est perpendiculaire à l'axe d'approche et il est horizontal. Il peut être nécessaire d'effectuer des terrassements si le profil en travers l'y oblige.

L'axe de l'élément lumineux le plus proche de la piste est situé à 15 mètres (± 1 m) du bord de celle-ci. Les axes des différents éléments lumineux sont distants de 9 mètres (± 1 m). Ces distances sont respectivement de 10 mètres et 6 mètres dans le cas d'un A.P.A.P.I.

Aucun ensemble ne devra se trouver à moins de 9 m pour les petits aérodromes et de 14 m pour les grands d'une voie de circulation, d'une aire de trafic ou d'une autre piste.



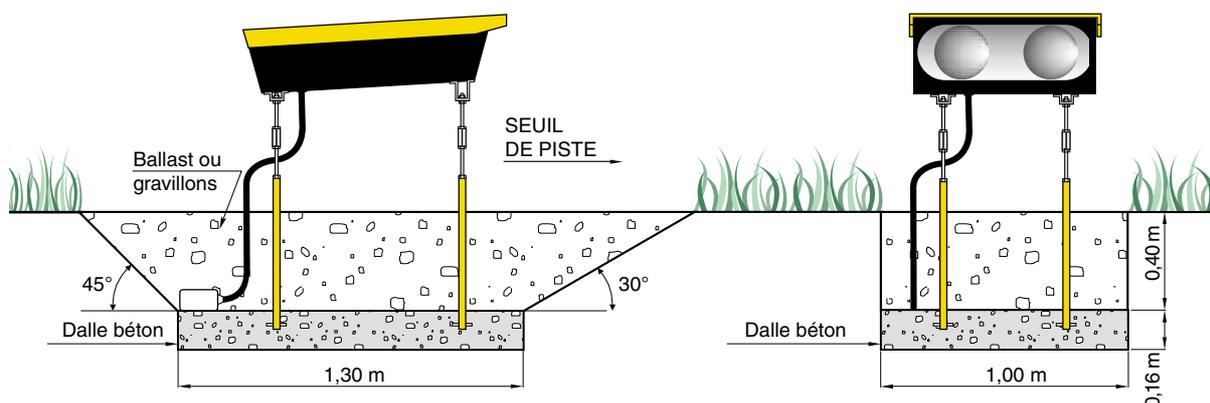
Photographie STBA / A. PARINGAUX

Élément lumineux d'un P.A.P.I. et son socle

I-2-2 SOCLE

Chaque unité lumineuse sera fixée rigidement par l'intermédiaire d'un ou plusieurs pieds supports sur un socle constitué par un massif de béton enterré. L'ensemble sera réalisé de façon à présenter une stabilité maximale et un danger minimal pour un avion qui viendrait à le heurter.

Dans le cas général, une dalle, coulée en fond de fouille conformément à la figure 3-104, permettra de répondre aux objectifs précédents.



3-104 Fixation au sol

I-2-3 FIXATION

Le ou les éléments de fixation seront scellés dans le massif de béton. Leur positionnement sera tel que les unités lumineuses soient dans un même plan vertical perpendiculaire à l'axe de la piste (tolérance ± 5 cm), et dans un même plan (tolérance $\pm 2,5$ cm) horizontal (tolérance $\pm 1,25\%$ de pente transversale maximale uniformément répartie le long des ensembles).

Leur positionnement sera tel que les unités lumineuses soient calées en azimuth parallèlement à l'axe de la piste (tolérance 1°).

I-2-4 FRANGIBILITÉ ET RÉSISTANCE AU SOUFFLE

Les unités lumineuses seront installées à la plus faible hauteur possible au-dessus du sol qui garantisse leur visibilité dans toutes les directions utiles pour un pilote en approche. La hauteur hors-sol totale ne devra pas dépasser 0,9 m.

Les unités lumineuses seront fixées sur leur socle par l'intermédiaire de bagues cassantes, assurant le détachement de l'ensemble en cas de collision par un avion.

La conception des unités lumineuses et de leur fixation sera telle qu'aucune variation permanente détectable de leur angle de calage ne se produise en cas d'exposition normale au souffle des réacteurs ou à des vents forts.

I-2-5 ALIMENTATION ÉLECTRIQUE

*L'alimentation électrique des quatre unités lumineuses constitutives d'un dispositif **P.A.P.I.** sera assurée par une boucle série unique refermée sur un seul régulateur d'intensité.*

Chaque lampe sera alimentée par l'intermédiaire d'un transformateur d'isolement de puissance convenable. La masse métallique de chaque unité lumineuse sera raccordée à la cosse de masse de l'un de ses transformateurs d'isolement. Le régulateur sera doté d'au moins quatre niveaux d'intensité électrique correspondant à une intensité lumineuse émise égale à 100%, 30%, 10% et 3% environ de l'intensité maximale.

Les transformateurs d'isolement et les connexions sont logés dans un regard au pied du massif en béton. Le câble d'alimentation est placé dans une tranchée de 60 cm de profondeur avec lit de sable et film de signalisation.

L'alimentation électrique, comme celle d'autres installations dites « de navigation aérienne », doit bénéficier d'une alimentation de secours. La commutation de l'une à l'autre doit être conçue pour que le temps maximal de commutation soit de 15 secondes.

I-2-6 RÉGLAGE DES ANGLES DE CALAGE EN SITE

*Les réglages d'un dispositif **P.A.P.I.** seront effectués à l'installation à l'aide du dispositif fourni par le constructeur et en suivant scrupuleusement les indications données par ce dernier.*

La mesure du calage en site de chaque unité lumineuse devra être effectuée avec une précision de ± 1 minute d'arc.

Le réglage de l'horizontalité transverse de l'unité lumineuse devra être réalisé au préalable, avec une précision de ± 4 minutes d'arc au moins.

Lorsque le principe de réglage de l'angle de site et/ou de l'horizontalité transverse fait intervenir la longueur des pieds supports, on veillera à ce que l'opération de calage respecte, en ce qui concerne les hauteurs relatives des unités lumineuses, les tolérances fixées au paragraphe précédent relatif aux fixations (les centres optiques des lentilles étant pris comme référence).

Lorsque le nombre de pieds supports est supérieur à trois, on veillera à ce que l'opération de calage n'introduise pas de contrainte mécanique de torsion dans le corps de l'unité lumineuse.

I-2-7 MISE EN SERVICE ET MAINTENANCE

Lors de la mise en service du P.A.P.I., les services de l'Aviation Civile compétents effectueront un contrôle complet de l'installation au sol et en vol.

Par la suite, un contrôle périodique au sol sera entrepris tous les ans par les services locaux chargés de la maintenance de ces équipements et habilités par les services de l'Aviation Civile. Il pourra être complété avantageusement par un vol de contrôle simplifié.

J - AIDES RADIOÉLECTRIQUES

J - AIDES RADIOÉLECTRIQUES

Sont d'abord abordés ci-après les dispositifs utilisés pour permettre aux aéronefs d'exécuter des approches finales dites « de précision ».

Sont traitées ensuite les autres **aides radioélectriques**, qui permettent notamment, dans des conditions de vol aux instruments, le ralliement de l'aérodrome et le début de la procédure d'approche, que celle-ci soit ou non « de précision ».

Le tableau 3-105 mentionne les équipements pour lesquels une alimentation électrique secourue est exigée.

Équipements	Temps maximum de commutation
ILS	1 s ou 15 s (suivant les conditions d'exploitation)
Localizer	
Glide	
Radioborne(s)	
DME	
Radar panoramique	
VOR	
NDB ou L	
VDF	

3-105 Aides radioélectriques pour lesquelles une alimentation électrique secourue est exigée



Aéroport de Biarritz - Bayonne - Anglet. Antenne de localizer

J-1 L'I.L.S.

J-1-1 INTRODUCTION

Le système d'approche aux instruments I.L.S. (Instrument Landing System) est presque le seul à être aujourd'hui utilisé par les aéronefs qui exécutent des approches finales de « précision ». Ultérieurement, un dispositif utilisant des informations satellitaires sera vraisemblablement développé.

Le système **I.L.S.** est constitué par un ensemble d'émetteurs radioélectriques, qui émet dans la direction de la trajectoire d'approche finale. Le signal radioélectrique émis n'est pas le même dans toutes les directions, il est une fonction de l'azimut et du site de la direction d'émission. L'aéronef en approche est équipé d'un récepteur qui analyse le signal reçu et en déduit l'azimut et le site de sa position par rapport à ceux de la **trajectoire nominale** d'approche finale.

Le dispositif comprend aussi un système donnant au pilote une indication de distance à parcourir jusqu'à la piste.

J-1-2 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

L'I.L.S. est constitué de deux sous-systèmes bien distincts auxquels est adjoint le dispositif donnant une indication de distance.

Le **localizer** (radioalignement de piste) émet des signaux dont la fréquence appartient à la bande V.H.F. (Very High Frequency). Son antenne est située généralement dans l'axe de la trajectoire finale, au delà de l'extrémité de piste. Il émet un signal qui est fonction de l'azimut vers lequel il est émis. En recevant et en traitant ce signal, l'équipement embarqué permet au pilote de situer la position de l'aéronef à droite ou à gauche du plan vertical de la trajectoire d'approche nominale,

Le **glide** (radioalignement de descente) émet des signaux dont la fréquence appartient à la bande U-H-F- (Ultra High Frequency). Ses antennes sont implantées dans le « plan de descente », qui contient la trajectoire finale nominale, sur son intersection avec le sol à côté de la piste (laquelle intersection est perpendiculaire à l'axe de piste). Il émet un signal qui dépend du site vers lequel il



Aéroport de Saint-Denis - Gillot. Antenne du glide

Photographie STBA / A. PAFINGAUX

est émis. En recevant et en traitant ce signal, l'équipement embarqué permet au pilote de situer la position de l'aéronef au-dessus ou au-dessous du plan de descente de la trajectoire d'approche nominale. L'angle de ce plan avec l'horizontale est généralement de 3°. Il peut être supérieur (dans certains cas 4,6°) si des conditions particulières, telles que le relief environnant ou les nuisances sonores, conduisent à retenir une trajectoire d'approche aussi inclinée.

Des indications ponctuelles de distance au seuil de piste sont normalement fournies par les **radio-bornes** V.H.F. : radioborne extérieure (OM)*, radioborne intermédiaire (MM)* et éventuellement radioborne intérieure (IM)*. La tendance est maintenant d'installer plutôt un système de mesure de distance **D.M.E.****, implanté au voisinage de la piste, qui fournit au pilote une information continue de distance .

J-1-3 LES RÉFÉRENCES RÉGLEMENTAIRES : CONDITIONS D'HOMOLOGATION.

Pour que la piste soit utilisée avec son I.L.S. et sa procédure d'approche de précision, il faut qu'il y ait eu une décision d'homologation, prise par l'autorité compétente.

Les spécifications à satisfaire pour cela sont indiquées dans l'arrêté du 25 août 1997 relatif aux conditions d'homologation et aux procédures d'exploitation des aérodromes (document distribué par le Service de l'Information Aéronautique).

Elles portent sur :

- les dégagements de l'aérodrome et le franchissement des obstacles,
- les caractéristiques physiques de la piste et de la bande,
- l'alimentation électrique,
- l'équipement en aides radioélectriques à l'atterrissage,
- l'équipement en aides visuelles à l'atterrissage,
- les mesures de visibilité et de la base des nuages,
- les procédures d'exploitation.

Elles dépendent de la catégorie d'approche de précision que l'on prévoit d'utiliser sur l'aérodrome.

La décision d'homologation est, selon le cas, prise par :

- le Directeur de l'Aviation Civile territorialement compétent pour les homologations de catégorie I,
- le Directeur de la Navigation Aérienne pour les homologations de catégorie II et III.

J-1-4 LES SPÉCIFICATIONS À SATISFAIRE

Celles-ci concernent :

- les dégagements de l'aérodrome et les franchissements d'obstacles***,
- les caractéristiques physiques de la piste et de la bande****,
- l'alimentation électrique,
- l'équipement I.L.S.

Les spécifications relatives à l'alimentation électrique sont celles qui s'appliquent à l'ensemble des installations dites de « navigation aérienne ».

* OM : Outer Marker ; MM : Middle Marker ; IM : Inner Marker

** D.M.E. : Distance Measuring Equipment (cf ci-après § J-2)

*** Cf. ci-après chapitre 12 concernant les dégagements

**** Cf. ci-dessus § 3-1-1

Le temps de commutation du dispositif d'alimentation normale sur l'alimentation de secours doit être, au plus, selon la catégorie d'approche, de 15 s (R.V.R. \geq 800 m) ou de 1 s (R.V.R. $<$ 800 m). La tour de contrôle doit bénéficier d'un retour des informations de fonctionnement des installations essentielles à l'exécution des approches.

S'agissant des spécifications portant sur l'équipement I.L.S., celui-ci doit être d'un modèle agréé par le Service Technique de la Navigation Aérienne. Il existe une classification des équipements I.L.S. qui en caractérise le niveau de performance par un sigle de trois caractères.

Le premier caractère dépend de la qualité du signal radioélectrique émis. En France, il correspond à la catégorie d'approche de précision pour lequel il est prévu (I, II ou III).

Le deuxième caractère caractérise l'étendue de la partie de trajectoire où le signal est reçu avec la précision requise pour la catégorie III. C'est une lettre conforme à une codification établie par l'O.A.C.I. Selon la classe de l'équipement, la limite de cette partie de trajectoire peut être, par exemple, avant le seuil de piste, au seuil de piste, ou 900 m au delà du seuil ou 600 m avant l'extrémité opposée de la piste.

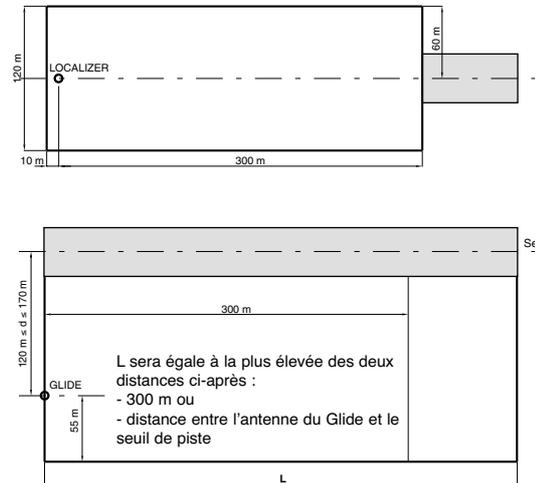
Le troisième caractère caractérise le niveau de continuité de service et le niveau d'intégrité du signal fourni par l'I.L.S. C'est un chiffre qui peut prendre les valeurs allant de 1 à 4. La signification de ces valeurs est définie dans l'arrêté du 25 août 1997. À chaque valeur est associée une spécification de performance portant sur le temps moyen entre deux interruptions de service et sur la probabilité pour que le signal soit erroné pendant une approche.

À chaque catégorie d'approche de précision correspond une spécification portant sur la classe de l'I.L.S. à installer.

J-1-5 AIRES CRITIQUES ET SENSIBLES.

Pour prévenir le risque de brouillage des signaux I.L.S. du fait d'une propagation à trajets multiples provenant de réflexions sur des objets mobiles de grande dimension au sol, on limite la circulation à l'intérieur d'**aires de protection** qui sont de deux types : critiques et sensibles.

Les **aires critiques** entourent les antennes des émet-



3-106 Délimitation des aires critiques de l'I.L.S.

teurs. Les véhicules ou aéronefs au sol peuvent, s'ils roulent à l'intérieur de celle-ci, causer des perturbations inacceptables dans les performances de l'I.L.S. La dimension et la forme de ces aires sont précisées dans la figure 3-106. S'il n'est pas possible de respecter ces dimensions, une étude spécifique devra être entreprise par l'autorité compétente.

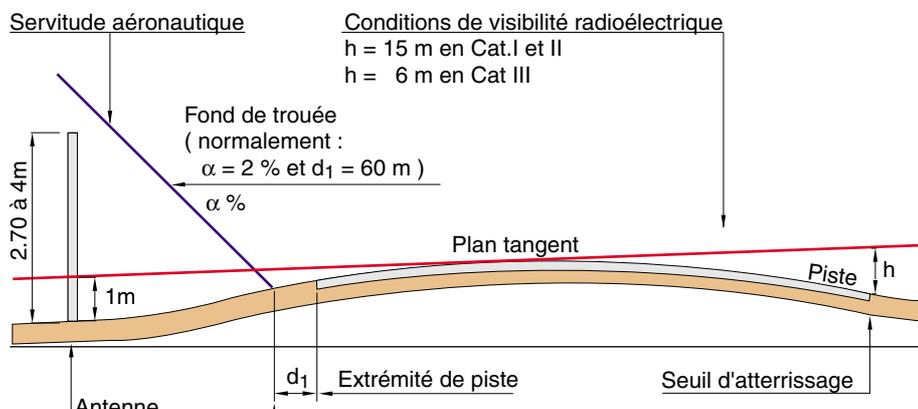
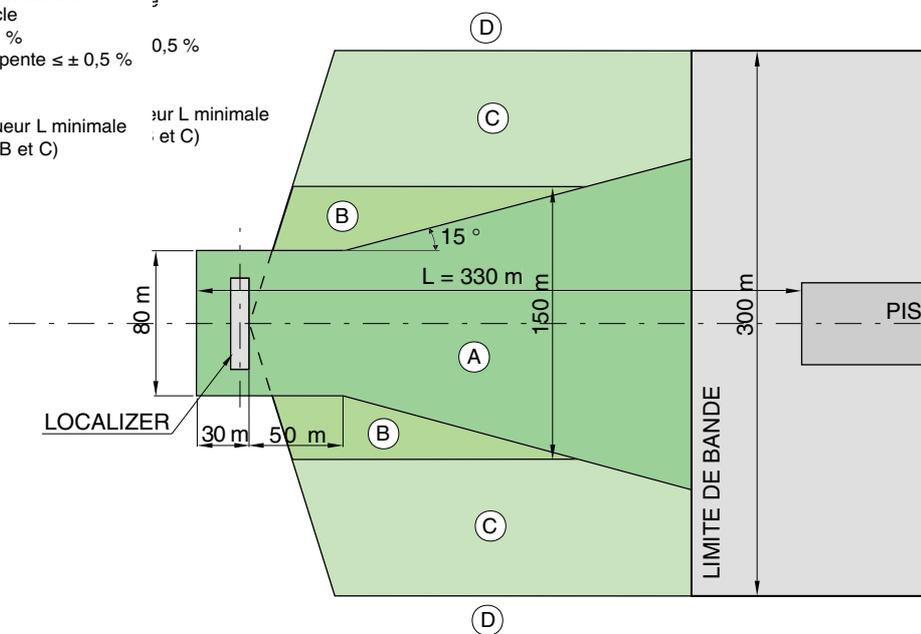
Si l'aérodrome est destiné à permettre des approches de précision limitées à la catégorie I, il n'est pas nécessaire de protéger les aires critiques à l'aide de barrières. Leurs limites doivent toutefois être matérialisées, pour les usagers de leur chaussée d'accès afin de leur indiquer qu'ils pénètrent dans les aires critiques de l'I.L.S. (pancarte perméable aux ondes radioélectriques portant l'inscription suivante : « ENTRÉE DANS UNE AIRE CRITIQUE I.L.S. »).

Si l'aérodrome est destiné à permettre des approches de catégorie II ou III, les aires critiques doivent être protégées par des barrières frangibles sans effet sur le rayonnement de l'I.L.S. Cette protection doit également être assurée sur les voies d'accès (chaînette en plastique). L'accès des aires critiques est strictement interdit lors d'approches de précision de catégorie II ou III.

Les **aires sensibles** sont des aires qui s'étendent au delà des aires critiques, et dans lesquelles les véhicules ou aéronefs en stationnement ou en mouvement, peuvent affecter les performances de l'I.L.S. Leur dimension dépend, entre autres, du type d'équipement I.L.S., de la catégorie d'ap-

Conditions de dégagement et de nivellement

- Conditions de dégagement et de nivellement
- Zone A** : surface unie sans obstacle
pente longitudinale $\leq \pm 1\%$
profil en travers en toit - pente $\leq \pm 0,5\%$
 - Zone B** : $\leq 2,5\%$
 - Zone C** : $+ 5\%$ à $- 20\%$
 - Zone D** : aucun nivellement (longueur L minimale fixée par les contraintes B et C)



3-107 Conditions d'implantation d'un localizer

proche ainsi que de la dimension et de la position des véhicules ou des aéronefs.

L'étude des dispositions opérationnelles relatives à ces aires sensibles, et des spécifications qui en découlent vis à vis de l'aménagement de l'aérodrome, devra être conduite par l'autorité compétente en liaison avec le S.T.N.A.

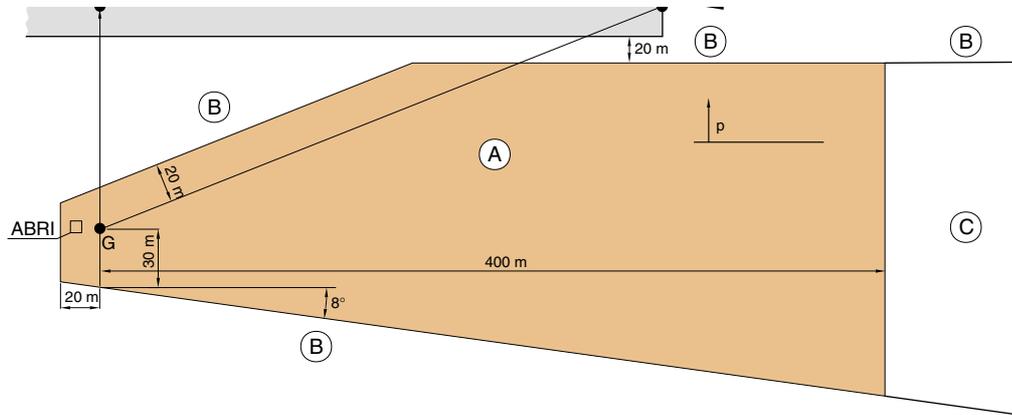
En particulier, l'accès à ces zones étant strictement interdit lors d'approches de précision de catégorie II ou III, il appartient au responsable local de définir les consignes particulières relatives à la circulation sur les routes de servitude pouvant exister.

J-1-6 CONDITIONS D'IMPLANTATION

L'implantation d'un **localizer** exige la prise en compte de trois sortes de contraintes :

- les conditions d'aménagement des terrains devant les aériens,
- les conditions de **visibilité radioélectrique**,
- le respect, par les antennes et bâtiments des règles aéronautiques relatives aux zones dégagées d'obstacle.

La figure 3-107 précise l'ensemble des spécifications qu'il y a lieu de respecter. Toute dérogation à ces règles devra être soumise au Service Technique de la Navigation Aérienne.



Zone A : Zone plane (pente longitudinale et transversale constante se rapprochant au mieux du terrain naturel) nivellement obligatoire.

Zone B : Normes habituelles ou servitudes de bandes.

Zone C : Nivellement facultatif mais souhaitable.

Distance AG nominale 150 m (mini 120 - maxi 170)

Distance AS = $15 + a - a' - (GA \cdot p) / \text{tg } \theta$

15 = hauteur de passage au seuil en mètres
 a = altitude seuil (S)
 a' = altitude glide (G)
 15 = hauteur de passage au seuil en mètres
 a = altitude seuil (S)
 a' = altitude glide (G)
 p = pente latérale de la surface de réflexion
 θ = angle de descente

Tolérances de nivellement :

- aspérités inférieures à 10 cm jusqu'à 100 m de G.
- aspérités inférieures à 1/1000 de la distance à G au-delà.

3-108 Conditions d'implantation d'un glide

L'implantation d'un **glide** exige l'aménagement d'une plate-forme soigneusement nivelée car ce matériel peut utiliser le sol comme surface de réflexion des ondes rayonnées.

La figure 3-108 indique les directives nécessaires à l'implantation et les spécifications de nivellement.

Les spécifications d'installation, telles que dimension et nature des plates-formes supports des aériens, des abris, des chemins d'accès et des chemins pour les mesures sont établies par le Service Technique de la Navigation Aérienne, sur la base des spécifications d'installation édictées par le fabricant du matériel I.L.S.

J-1-7 DÉGAGEMENT D'OBSTACLES À LA PROPAGATION RADIOÉLECTRIQUE ET SERVITUDES

Outre les conditions d'implantation ci-dessus indiquées, il y a lieu de prévoir que des zones soient sans obstacle à la propagation des ondes radioélectriques émises par l'I.L.S. Leur enveloppe et les contraintes qu'elles imposent, peuvent être modulées et adaptées selon le type d'antenne I.L.S.,

la catégorie d'approche prévue, l'environnement et le relief. Elles sont, pour chaque cas, définies par le Service Technique de la Navigation Aérienne, qui établit les **servitudes radioélectriques** nécessaires pour leur respect, lesquelles font l'objet d'un décret. L'élaboration de ces plans est détaillée dans le chapitre 12 de la présente Instruction.

J-1-8 PROTECTION CONTRE LA Foudre

L'implantation d'un **système I.L.S.** sur un site particulièrement exposé à la foudre ou un terrain de mauvaise conductivité doit faire l'objet d'une étude préalable. L'évolution de la technologie expose en effet les matériels installés à des mises hors service préjudiciables en cas de coup de foudre direct ou de propagation de surtensions.

Dans l'attente de protections adéquates incorporées aux équipements, à l'étude actuellement, des dispositions, parfois préliminaires à tout autre, sont en certains cas nécessaires. Elles consistent en :

- la réalisation d'un réseau de terre équipotentiel par ceinturage et épis rayonnants enterrés selon un plan type d'exécution,
- la séparation des circuits énergie et télécom-

mande afin d'éviter toute interférence nuisible entre fonctions différentes,

- l'utilisation de câbles blindés ou amortisseurs de surtensions,

- à l'arrivée dans les caissons, l'utilisation de cheminements différents pour la distribution d'énergie aux éléments essentiels (baies I.L.S. et chargeurs) et aux équipements annexes pour la climatisation, le chauffage, l'éclairage, la ventilation ou aux instruments de mesures. Ceci permet d'insérer une protection spécialisée sur le matériel le plus important dans la chaîne émission.

Il faut noter qu'en chaque cas la réalisation d'une telle protection est un compromis entre l'étendue des travaux à réaliser, compte tenu des conditions locales d'implantation, et le gain de continuité de fonctionnement espéré, étant entendu que, par ailleurs, les travaux minimaux à réaliser sont moins pénalisants techniquement et économiquement pour une installation nouvelle. Pour l'étude et la réalisation de ces travaux complexes, il y aura lieu de consulter le Service Technique de la Navigation Aérienne.

J-2 LE D.M.E.

J-2-1 INTRODUCTION

Le système **D.M.E.** (*Distance Measuring Equipment*) a pour vocation de fournir au pilote une mesure de la distance qui sépare son aéronef d'une station au sol sélectionnée par lui.

Il complète le système V.O.R., décrit au paragraphe suivant, qui, lui, a pour vocation de fournir au pilote une indication de la direction à prendre pour se diriger vers une station au sol. C'est pour cela que les équipements D.M.E. sont généralement associés (et coimplantés) à des équipements V.O.R, que l'on appelle alors des V.O.R.- D.M.E.

Des équipements D.M.E. sont également associés (et coimplantés) à des équipements I.L.S. Ils fournissent alors au pilote en approche finale, bien mieux que les traditionnelles **radiobornes V.H.F.**, une mesure de la distance à parcourir jusqu'à la piste.

J-2-2 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Le système **D.M.E.** peut être comparé au radar secondaire qui mesure la distance des aéronefs en émettant un signal d'interrogation codé normalisé sur une fréquence radio bien définie, et en mesurant le temps écoulé jusqu'à la réception des signaux de réponse, également codés et normalisés, émis par les transpondeurs embarqués sur les aéronefs. La différence est que, dans le système

D.M.E., le transpondeur est la station au sol, et l'équipement d'interrogation et de mesure est embarqué sur l'aéronef.

Les signaux radios du D.M.E. appartiennent à la même bande de fréquence U.H.F. (*Ultra High Frequency*) que ceux du radar. Mais ces fréquences n'apparaissent pas dans les publications aéronautiques. Chaque canal de la bande de fréquence a été apparié (par l'O.A.C.I.) à un canal de la bande de fréquence V.H.F. réservée pour les V.O.R. et les I.L.S. Comme un D.M.E. est toujours installé en association avec l'un ou l'autre de ces appareils, seuls sont connues des pilotes, et affichées par eux, les fréquences V.H.F. de fonctionnement de ces derniers. Le matériel embarqué fait la transposition.

J-2-3 CONDITIONS D'IMPLANTATION

On voit que l'appareillage au sol d'un système **D.M.E.** est de faible importance puisqu'il se limite à un transpondeur. Son antenne peut être installée sur le même mât que celles de l'I.L.S. ou du V.O.R. auquel il est associé, ou à proximité. Le choix de l'implantation, l'étude des conditions locales de propagation radioélectrique, les spécifications d'installation, et d'alimentation électrique, sont fournies par le service technique qui a la charge de la mise en place et de la mise en fonctionnement de l'équipement.

J-3 LE V.O.R.



Aéroport de Strasbourg - Entzheim. V.O.R.

Photographie STBA / D.E. STRASBOURG

J-3-1 INTRODUCTION

Le système **V.O.R.** (V.H.F. Omnidirectional Range) a pour vocation de fournir aux pilotes, qui volent avec un plan de vol I.F.R., des signaux radioélectriques leur permettant de maintenir leur aéronef sur sa route, de rallier l'aérodrome de destination, et d'exécuter le début de la procédure d'approche. Les V.O.R. utilisés pour le ralliement et la procédure d'approche d'un aérodrome sont installés à l'intérieur de son emprise, ou à proximité. Les V.O.R. qui balisent les itinéraires « en route » sont installés en pleine campagne, sur des sites choisis pour leur situation par rapport aux itinéraires à baliser et leur aptitude à la diffusion d'ondes radioélectriques.

J-3-2 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

La partie au sol du système **V.O.R.** est un émetteur radioélectrique avec une antenne omnidirectionnelle. Il émet un signal dont la fréquence appartient à la bande V.H.F. (Very High Frequency). Ce dernier est fonction de la direction dans laquelle il est émis, et, plus précisément, de l'angle entre cette direction et celle du nord magnétique.

En recevant et en traitant ce signal, l'équipement embarqué permet au pilote de connaître la direction à prendre pour se diriger vers l'emplacement de la station-sol.

J-3-3 CONDITIONS D'IMPLANTATION

Le site d'implantation de l'émetteur V.O.R. doit être soigneusement recherché et choisi pour que la propagation des signaux radioélectriques puisse se faire dans les conditions les plus favorables possibles. Ce choix est fait par le service technique qui a la charge de la mise en place et de la mise en fonctionnement du V.O.R.

L'implantation du système **V.O.R.** nécessite un terrain de 120 x 120 mètres. Ce terrain doit être aussi plat que possible (pente inférieure à 1 %).

Les travaux de génie civil nécessaires à l'implantation sont les suivants :

- aplanissement de la plate-forme, si nécessaire,
- pose d'une clôture non métallique sur la périphérie du terrain lorsque le V.O.R. est implanté en dehors des limites de l'aérodrome,
- confection d'une voie d'accès jusqu'au centre du terrain où sera installé le caisson préfabriqué abritant les équipements électroniques,
- confection d'une aire de roulage autour de la station pour véhicules légers, et réalisation de chemins d'accès aux équipements de contrôle du V.O.R.

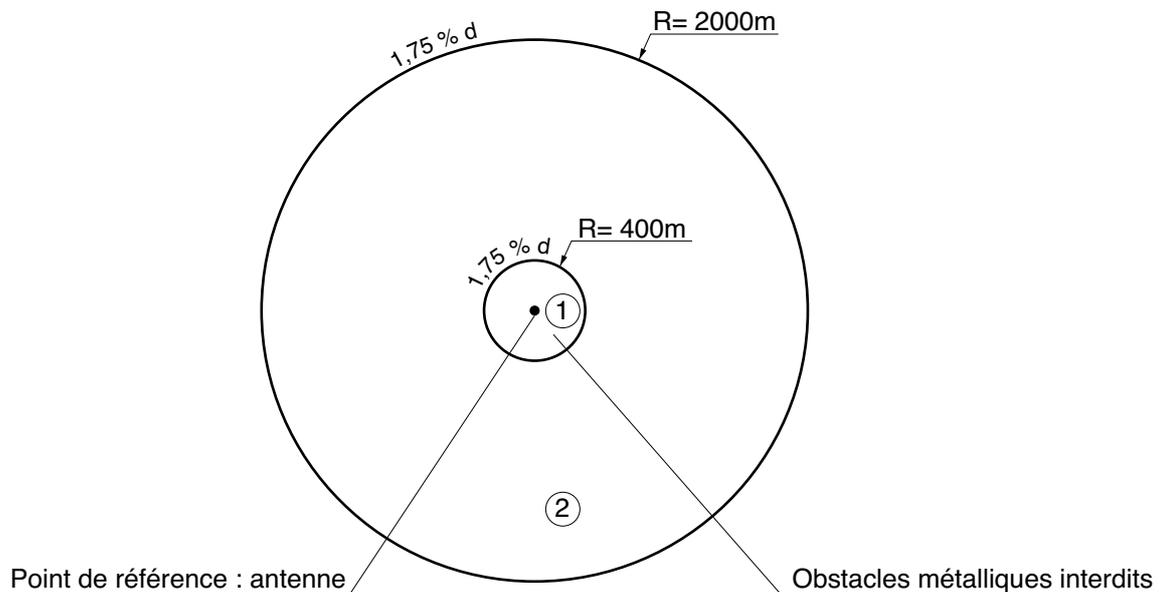
Outre les conditions d'implantation ci-dessus indiquées, il y a lieu de prévoir que des zones soient sans obstacle à la propagation des ondes radioélectriques émises par le V.O.R. Leur enveloppe, et les contraintes qu'elles imposent, sont précisées dans la figure 3-109. Le Service Technique de la Navigation Aérienne établit les servitudes radioélectriques nécessaires à leur respect qui font l'objet d'un décret.

Les spécifications relatives à l'alimentation électrique sont, lorsque le V.O.R. est installé sur ou à proximité d'un aérodrome, indiquées dans l'arrêté du 25 août 1997 relatif aux conditions d'homologation et d'exploitation des aérodromes.

L'alimentation électrique doit être complétée par une alimentation de secours. Le temps de commutation du dispositif d'alimentation normale sur l'alimentation de secours doit être, au plus, de 15s. De plus, si l'aérodrome est l'objet d'approches « de précision » (utilisant un I.L.S.), la tour de contrôle doit bénéficier d'un retour des informations relatives au fonctionnement des

équipements essentiels à l'exécution des approches. Le temps de commutation du dispositif d'alimentation normale sur l'alimentation de secours doit être, au plus, de 15 s ($R.V.R. \geq 800m$) ou 1 s ($R.V.R. < 800m$).

Pour les équipements implantés hors aérodrome, l'alimentation électrique est réalisée en souterrain à partir d'un poste MT/BT en limite d'emprise, rattaché au réseau EDF. L'énergie nécessaire est de 16 KVA en tenant compte des servitudes (chauffage par exemple). Le secours EDF est assuré au moyen de batteries installées dans un caisson à proximité du V.O.R.



Interdictions et limitations

- ① ZONE PRIMAIRE : Création d'ouvrages métalliques et excavations interdites.
Obstacles d'une autre nature limités à une hauteur hors sol égale à 1,75 % de d.
- ② ZONE SECONDAIRE : Obstacles de toute nature limités à une hauteur hors sol égale à 1,75 % de d.
- d : Distance séparant l'obstacle du point de référence (Antenne)

3-2-4 Les équipements météorologiques

La détermination des paramètres de l'observation météorologique à usage aéronautique fait appel, là où elle est nécessaire, à un équipement instrumental spécifique qui assure, automatiquement et en temps réel, l'acquisition, le traitement et la diffusion des paramètres opérationnels vers les organismes concernés de la Navigation Aérienne. Les matériels à utiliser sont définis par Météo-France. Des notices éditées par sa Direction des Systèmes d'Observation (D.S.O.), définissent les contraintes d'installation de chacun des modules à installer.

Ces modules sont implantés :

- à proximité des pistes, pour ceux assurant les mesures représentatives des conditions météorologiques rencontrées par le pilote pendant les phases de décollage ou d'atterrissage (mesure de vent, de visibilité horizontale et de hauteur de base des nuages),
- dans le **parc à instruments**, dont l'emplacement est défini en accord avec Météo-France, pour ceux assurant les mesures représentatives du site (température de l'air et du point de rosée notamment).

Également caractéristique du site, la pression atmosphérique peut être relevée dans la zone des installations, en particulier à la station météorologique de l'aérodrome ou dans un local technique de la Navigation Aérienne lorsque cette station n'existe pas.

En complément aux spécifications fournies par les notices éditées par la D.S.O., une alimentation électrique de secours de chaque module doit être définie et mise en œuvre pour pallier la disparition ou la dégradation de la source d'énergie principale. Elle doit être conforme à la réglementation nationale qui définit, en fonction des conditions d'exploitation de l'aérodrome :

- les délais de commutation de l'alimentation de secours (1 ou 15 secondes),
- la nécessité d'un retour global ou individualisé vers la tour de contrôle informant de l'état des installations essentielles à l'exécution d'approches de précision,
- la liste des installations pour lesquelles un secours est exigé.

Appartiennent à la catégorie des « capteurs

météorologiques de pistes », ceux dédiés à la caractérisation du vent par la projection horizontale de son vecteur vitesse dont la direction et l'intensité sont respectivement relevée et mesurée à 10 m au-dessus du sol, par une girouette et un anémomètre.

La **girouette** à drapeau mobile est équipée d'un codeur optique à 36 directions qui délivre celle instantanée du vent.

L'**anémomètre** est un capteur à coupelles qui fournit, toutes les demi-secondes, la vitesse instantanée du vent.

Une unité de traitement gère l'acquisition synchrone des deux capteurs et calcule tous les paramètres représentatifs du vecteur vent.

Dans le cas d'une exploitation locale, les caractéristiques du vent en surface transmises au pilote doivent être représentatives de la zone de toucher des roues à l'atterrissage et des conditions le long de la piste pendant le décollage. Cet objectif peut conduire à multiplier le nombre de capteurs lorsque la topographie locale provoque, dans certaines conditions météorologiques, des différences notables du vent en surface le long de la piste. Si besoin est, des implantations à 300 m des seuils de piste et vers le milieu de celle-ci devront être réalisées.

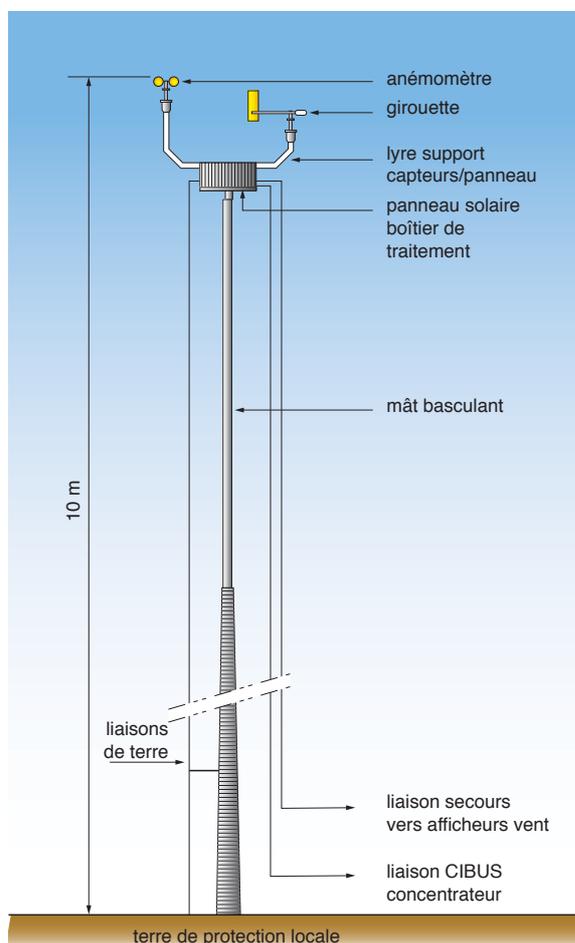
Chaque pylône anémométrique doit être installé en un point garantissant la représentativité de la mesure qui ne doit pas être affectée par des obstacles proches agissant sur l'écoulement du vent. Il doit pour cela se situer à une distance au moins égale à 10 fois la hauteur de tout obstacle situé à l'intérieur d'un cercle centré sur le pylône et de 300 m de rayon. Toutefois, afin de tenir compte des conditions réelles souvent rencontrées, notamment la présence d'antennes et de leurs annexes qui ne perturbent pas la mesure de façon significative, la contrainte ne s'applique pas aux obstacles :

- a) de hauteur inférieure à 3 m, quelle que soit leur largeur angulaire,
- b) de hauteur inférieure à 5,50 m si leur largeur angulaire est inférieure à 10 degrés,
- c) de hauteur quelconque s'ils sont distants du pylône d'au moins 15 fois leur largeur (obstacles minces).

L'installation du pylône anémométrique de piste doit obéir aux contraintes régissant l'implantation d'obstacles à proximité des pistes. Le choix d'une structure frangible ne peut être envisagé que si elle garantit la bonne tenue du pylône sous un vent de 250 km/h. Un balisage lumineux de sécurité peut être implanté au sommet du pylône sous réserve que son positionnement relatif par rapport aux capteurs ne perturbe pas les mesures (installation sous les vents dominants à une hauteur inférieure à celle des capteurs en dérogation aux pratiques usuelles).

Le pylône anémométrique doit permettre un accès aux capteurs pour les opérations d'orientation de la girouette et de maintenance. Le pylône peut être fixe avec une plate-forme supérieure ou être rabattable.

Appartiennent également à la catégorie des « capteurs météorologiques de pistes », ceux dédiés à la



3-110 Pylône anémométrique

mesure de la visibilité horizontale qui déterminent la plus grande distance à laquelle un objet donné peut être vu et identifié. Il s'agira, de jour, d'un objet noir de dimensions appropriées observé sur fond de ciel ou de brouillard, de nuit, de sources lumineuses d'intensité modérée.

La visibilité horizontale peut être déterminée visuellement par un observateur à partir d'objets sélectionnés selon leurs caractéristiques géométriques et photométriques et dont la distance au point d'observation est connue. La valeur retenue et transmise, appelée visibilité météorologique (V.I.S.), est, en principe, la plus faible du tour d'horizon.

Ainsi déterminée la visibilité dépend d'une propriété caractéristique de l'atmosphère qui est sa transparence mais elle est aussi influencée par de nombreux facteurs physiques et subjectifs liés à l'objet observé et à l'observateur. L'évaluation instrumentale de la visibilité sera déterminée à partir de calculs faisant intervenir différents facteurs et notamment, la mesure du coefficient de transmission ou d'extinction de l'atmosphère.

Le terme générique de **visibilimètre** désigne les deux types d'appareils qui peuvent être utilisés pour mesurer le coefficient de transmission ou d'extinction de l'atmosphère : le transmissomètre et le diffusomètre. La gamme de mesure du transmissomètre est généralement comprise entre 200 et 1 500 m, celle du diffusomètre l'étant entre 50 et 10 000 m. Le visibilimètre est utilisé pour déterminer la **portée visuelle** de piste* qui est définie comme étant la distance jusqu'à laquelle un pilote d'aéronef (placé dans l'axe de la piste) peut voir les marques sur la surface de la piste ou les feux la délimitant ou balisant sa ligne axiale. La portée visuelle de piste est transmise à la tour de contrôle lorsqu'elle est ou devient inférieure à 1 500 m.

La décision d'installer soit des diffusomètres, soit des transmissomètres est prise conjointement par Météo-France et la direction de la navigation aérienne au vu des performances des équipements et compte tenu des exigences de précision en termes de R.V.R. pour les opérations de décollage ou d'atterrissage sur les pistes avec approches de précision de catégorie I, II ou III.

Deux visibilimètres, au seuil et à mi-piste, sont

* également appelée R.V.R. (Runway Visual Range)

obligatoires pour des approches de précision de catégories II ou III. Un troisième visibilimètre est installé à l'extrémité de piste pour le décollage par faible visibilité. Ce visibilimètre peut être l'instrument de seuil pour le QFU opposé.

Un visibilimètre en seuil de piste est recommandé pour des approches de précision de catégorie I en cas de trafic commercial régulier.

Le choix du point d'implantation du visibilimètre doit permettre d'obtenir une information représentative de ce que voit le pilote tout en respectant les servitudes aéronautiques de dégagement et les servitudes radioélectriques. Le compromis retenu conduit à installer les capteurs à une distance latérale comprise entre 120 m et 170 m de l'axe de piste.

Le visibilimètre de seuil de piste est à implanter longitudinalement en principe derrière le glide de l'I.L.S.*, ce qui le situe à environ 300 m en aval du seuil de piste. Cette implantation permet de disposer à proximité de l'appareil de la puissance électrique nécessaire et de pouvoir éventuellement utiliser des câbles de télémesures existants. Cependant, lorsque le glide est éloigné de plus de 400 m du seuil de piste, le visibilimètre peut être implanté de l'autre côté de la piste à 300 m en aval du seuil.

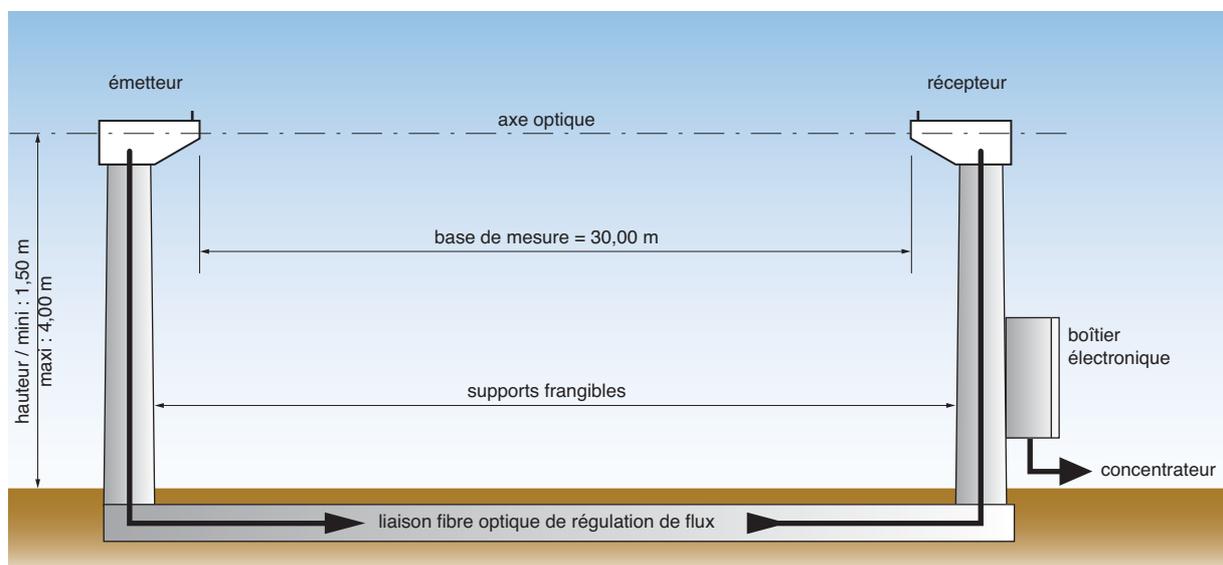
* cf. chapitre J-1-2

Le visibilimètre médian doit être placé entre 1 000 et 1 800 m du seuil (distance mesurée parallèlement à la piste). Toutefois, pour les pistes utilisées dans les deux sens en approche de catégories II ou III, un seul visibilimètre peut être installé vers le milieu de la piste. S'il est par contre choisi d'équiper la piste par deux visibilimètres médians, chacun d'eux pourra être implanté de part et d'autre de celle-ci. Dans tous les cas, la distance par rapport à l'axe de piste doit être comprise entre 120 et 170 m.

Les capteurs doivent être placés à une hauteur de 2,50 m au-dessus du niveau de la piste mesuré dans le même profil en travers. Toutefois, afin d'éviter que les performances du capteur soient dégradées, la hauteur du support du visibilimètre doit être comprise entre 1,5 m et 4 m.

D'une manière générale, il est conseillé d'implanter le ou les visibilimètres de façon à réduire au maximum les risques d'incompatibilité radioélectrique avec les antennes de l'I.L.S. ou du V.O.R. Dans le cas où aucune solution ne se dégagerait simplement, on consultera le Service Technique de la Navigation Aérienne (STNA).

- Le **transmissomètre** mesure directement l'atténuation d'un faisceau lumineux de référence qui se propage dans l'atmosphère entre un projecteur (qui émet ce faisceau lumineux dans le spectre visible) et un récepteur (qui mesure le flux lumi-



3-111 Schéma d'un transmissomètre



Photographie METEO-FRANCE

Transmissomètre

neux résiduel). Cet appareil est, par son principe de mesure directe de la transmission atmosphérique, plus précis qu'un diffusomètre. Il impose toutefois des contraintes fortes de maintenance et d'entretien.

- Un transmissomètre est alimenté par une source d'énergie $220\text{ V} \pm 10\%$, 2 KVA. La lampe du projecteur doit être protégée contre les surtensions de commutation de source d'énergie par un dispositif installé en amont du transmissomètre et défini en fonction des caractéristiques du secours d'alimentation du site.

- Le **diffusomètre** utilise la diffusion arrière. Le faisceau lumineux est concentré sur un petit volume situé en avant du projecteur, le récepteur, placé sous l'émetteur (ou à côté de celui-ci), reçoit la lumière rétrodiffusée par le volume examiné suivant un angle défini par la géométrie optique du capteur. Cette technique permet l'intégration dans un même boîtier de l'émetteur et du récepteur et réduit ainsi les coûts du matériel et des infrastructures. L'étalonnage de ce capteur est possible dans des conditions moins contrai-



Photographie METEO-FRANCE

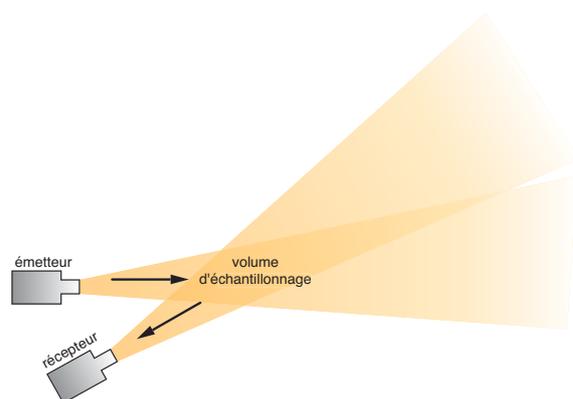
Diffusomètre

gnantes que pour le transmissomètre. Les contraintes d'entretien sont également moindres.

Le diffusomètre détermine donc la visibilité à partir d'un petit volume d'atmosphère. La détermination d'une visibilité de plusieurs kilomètres à partir d'un échantillon localisé de quelques litres suppose une homogénéité de l'atmosphère. Afin d'éviter la gestion de multiples valeurs, un seul diffusomètre est implanté en un lieu jugé représentatif de l'aérodrome.

La technologie de mesure mise en œuvre impose les contraintes définies ci-dessous :

- aire stabilisée horizontale (ou de déclivité $< 10^\circ$ compensée à la réalisation du socle),
- éviter les zones où le revêtement du sol est trop clair au profit de zones gazonnées rases, la croissance de la végétation étant limitée à une hauteur maximale de 20 cm,
- aire non inondable et hors trajets de ruissellement des eaux ou résidus industriels,
- environnement atmosphérique limitant les salissures des optiques,
- surface dégagée de tout obstacle dans une zone d'environ 200 m^2 à l'Est du capteur, pour éviter des réflexions lumineuses parasites dans l'axe optique du récepteur.



3-112 Schéma de principe du diffusomètre

Autres « capteurs météorologiques de piste », les capteurs de hauteur de la base des nuages réalisent la mesure du temps séparant l'émission verticale depuis le sol d'une impulsion lumineuse de courte durée de la réception au sol de la même impulsion après rétrodiffusion par la base du nuage. Un traitement du signal reçu permet de déduire la hauteur de la base des nuages, à partir du profil de rétrodiffusion.

Le **télémètre de nuages** délivre, toutes les minutes, la hauteur de la base des nuages. Son domaine de mesure s'étend soit de 10 à 1 500 m, soit de 10 à 3 500 m.

Un télémètre de nuages est obligatoire sur les aérodromes comportant une approche de précision de catégories II et III et recommandé sur ceux desservis par des lignes commerciales régulières, qu'ils comportent une approche de précision de catégorie I ou une approche classique.

Sur l'aérodrome, le télémètre peut être implanté aux environs de la radioborne intermédiaire (MM) (*) ou le plus près possible de l'endroit où le pilote atteint ses minima opérationnels si la piste est dotée d'une approche de précision ou d'une approche classique directe. Lorsqu'il n'existe pas de radioborne intermédiaire, il doit être placé le plus près possible du seuil de piste.

Il peut également être implanté dans le parc à instruments lorsque celui-ci n'est pas situé trop loin de la piste si celle-ci n'est pas desservie par une procédure d'approche directe et qu'il existe une approche classique suivie d'une manœuvre à vue autorisée de nuit.

Le télémètre de nuages est installé sur un socle de béton horizontal.

Le champ optique du capteur doit être dégagé de tout obstacle diffusant et de source lumineuse artificielle. En cas de proximité d'équipements utilisant des sources de lumière infrarouge, les positionnements relatifs devront être étudiés pour éviter les perturbations mutuelles par propagations directes et diffuses dans l'atmosphère.

Appartiennent à la catégorie des « capteurs météorologiques de la plate-forme », ceux dédiés à la mesure de la température et de l'humidité.

Les capteurs placés à l'intérieur d'un abri situé dans le **parc à instruments** sont en principe installés à une hauteur standard de 1,5 m. La hauteur ne doit être en aucun cas inférieure à 1,5 m. Une hauteur supérieure (jusqu'à 2 m) est admissible et n'a pas d'influence majeure sur la mesure.

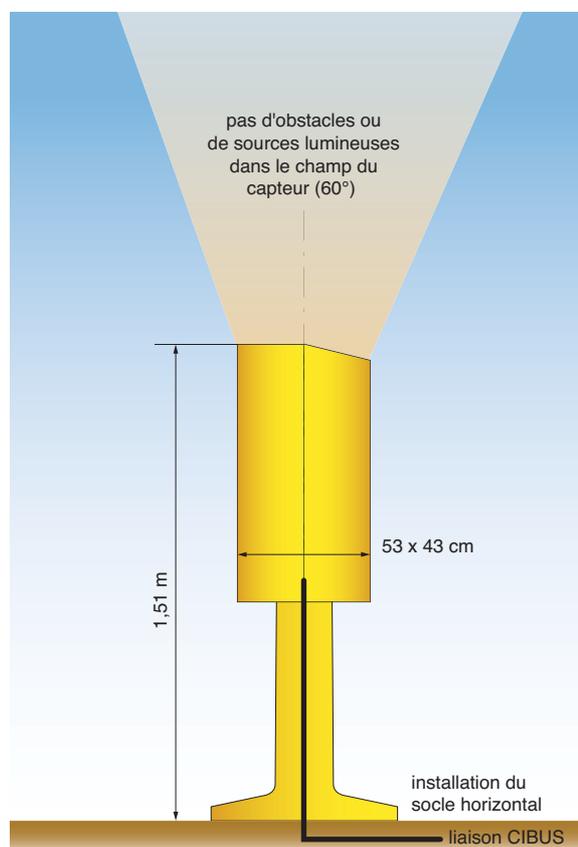
Les caractéristiques de la masse d'air ne doivent pas être perturbées par son passage au-dessus de surfaces non représentatives du sol naturel de la région.

Ces contraintes conduisent à planter les capteurs :

- à plus de 30 m de sources de chaleur artificielles ou réfléchissantes (bâtiment, aires bétonnées, parking, etc.);
- à plus de 30 m d'étendues d'eau (sauf si elles sont représentatives);
- à l'écart de toute ombre portée (autre que celle d'un relief naturel représentatif) lorsque la hauteur du soleil est supérieure à 5°.

Une source de chaleur (ou une étendue d'eau) est considérée comme gênante si elle occupe une portion de surface supérieure à 10 % dans un cercle de rayon de 30 m autour de l'abri, ou une portion de 5 % dans un rayon de 5 à 10 m, ou une portion non nulle dans un rayon de 5 m.

Appartiennent également à la catégorie des « capteurs météorologiques de la plate-forme », ceux dédiés à la **mesure d'insolation** et de rayonnement, à savoir l'héliographe automatique destiné à mesu-



3-113 Télémètre de nuages laser

* cf. chapitre J-1-2



Télé-mètre

Photographie METEO-FRANCE

rer la durée d'insolation et le pyranomètre pour la mesure de l'intensité de la radiation solaire.

Dans l'**héliographe** le capteur est constitué par une fibre optique en rotation qui intercepte le rayonnement solaire. Celui-ci est ensuite comparé au seuil de 120 W/m^2 qui détermine s'il y a ou non-insolation. L'instrument, orienté vers le sud, est placé sur un socle de $200 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$, au sommet d'un pilier d'1 m de hauteur à un endroit parfaitement dégagé d'où le soleil doit pouvoir être toujours visible dès que sa hauteur dépasse 5° au-dessus de l'horizon.

Pour le **pyranomètre** l'élément de mesure est une thermopile qui délivre une tension électrique proportionnelle à l'écart de température existant entre une surface noire absorbante et une surface blanche réfléchissante. Il se présente sous la forme d'un disque de 40 mm de diamètre protégé par une coupelle en verre au centre d'une platine circulaire placée sur un pilier de section $210 \text{ mm} \times 210 \text{ mm}$ et de 1 m de hauteur environ. La hauteur angulaire des obstacles doit être supérieure à 5° dans tous les secteurs.

Pour l'un et l'autre instrument, la présence d'obstacles minces sera généralement tolérée. Si les masques sont trop importants les appareils peuvent être installés dans un endroit plus convenable, au sommet d'un bâtiment, par exemple.

En outre, sur un petit nombre de plates-formes, des **mesures** en altitude **par radiosondage** sont effectuées. Les paramètres mesurés sont le vent, la pression, la température et l'humidité en fonction de l'altitude. Ces mesures sont fondamentales pour l'établissement des cartes en altitude. Elles sont effectuées par un équipage léger (quelques centaines de grammes) entraîné par un ballon de vitesse ascensionnelle quasiment constante (proche de 300 m à la minute) et transmises au sol en temps réel. Le ballon est localisé par le système de radionavigation LORAN-C ou par GPS. Le moment délicat est le lâcher du ballon, notamment par vent fort, qui exige une zone bien dégagée autour du point de lancer, afin d'éviter l'accrochage de l'équipage. La même zone peut servir à des mesures de vent de basses couches réalisées par PILOT optique (lâcher de ballon suivi par un théodolite optique).