



MINISTÈRE
CHARGÉ
DES TRANSPORTS

*Liberté
Égalité
Fraternité*



MAINTENANCE DE L'ALIMENTATION ÉLECTRIQUE ET DU BALISAGE LUMINEUX DES AÉRODROMES

GUIDE TECHNIQUE



Avertissement

Le présent document n'a aucune visée prescriptive et ne peut se substituer à la réglementation en vigueur. C'est un outil d'aide à la décision des acteurs de la communauté aéronautique qui restent pleinement responsables des choix réalisés dans le cadre de leurs projets. Ce document recense un ensemble de bonnes pratiques et/ou d'éventuelles recommandations dans un contexte français. Dans tous les cas, il conviendra toujours de se référer à l'ensemble des textes réglementaires applicables.

En aucun cas le Service Technique de l'Aviation Civile ne pourra être tenu responsable des choix faits sur la base de ce document ou de tout dommage de quelque nature qu'il soit résultant de l'interprétation des éléments présentés.

MAINTENANCE DE L'ALIMENTATION ÉLECTRIQUE ET DU BALISAGE LUMINEUX DES AÉRODROMES

GUIDE TECHNIQUE

service technique de l'Aviation civile

Département Sûreté, Équipements

RÉDACTEURS

Patrick **VERGER**

Ludovic **LEGRAND**

Valérie **FOK BOR**

Avec l'aimable participation de Monsieur **Christian ATLANI**, expert en prévention du risque électrique pour le compte de l'AFNOR et de la CEI ; Corédacteur de la norme NF C18-510.

Ludovic LEGRAND est chef de la subdivision « Énergie et balisage » au sein de la division « Équipements » du STAC, notamment en charge d'activités relatives à l'alimentation électrique et au balisage lumineux des aérodromes. Titulaire d'un BTS Électrotechnique et d'un diplôme d'ingénieur électronicien des systèmes de la sécurité aérienne obtenu à l'École Nationale de l'Aviation Civile (ENAC), il rejoint le STAC après quelques années d'activité en tant qu'ingénieur électronicien pour le compte du Service de la Navigation Aérienne (SNA) Région Parisienne. Ayant débuté sa carrière comme technicien de maintenance sur les installations d'énergie et de balisage lumineux des aérodromes du Grand Ouest de la France, il participe actuellement aux travaux de normalisation relatifs à ce domaine et menés par l'Association française de normalisation (AFNOR) et le Comité Électrotechnique International (CEI).

Patrick VERGER, est l'adjoint du chef de la division « Équipements » du STAC. Il a exercé une longue et riche carrière au sein du Service Technique de la Navigation Aérienne (STNA) et de services de la navigation aérienne en qualité de chef de projet dans la mise en œuvre d'installations d'alimentation électrique et de balisage lumineux d'aérodrome. Arrivé au STAC en 2007, il est à l'origine des premiers audits dans le domaine de l'alimentation électrique et du balisage lumineux des aérodromes et a dispensé les premières formations dans cette spécialité à l'École Nationale de l'Aviation Civile (ENAC).

Valérie FOK BOR, est cheffe de programme au sein de la division « Équipements » du STAC. Titulaire du diplôme d'ingénieur d'études et d'exploitation de l'aviation civile, elle est, depuis 2018, membre du Visual Aids Working Group (VAWG), groupe de travail de l'OACI responsable de l'évolution de la réglementation internationale relative aux aides visuelles aéronautiques. Elle participe également aux travaux de mise à jour de la réglementation française relative aux aides visuelles aéronautiques. Arrivée au STAC en 2012 en tant que cheffe de la subdivision Aides visuelles, elle a contribué à l'organisation des activités d'essais photométriques et colorimétriques conduits sur les feux de balisage aéronautiques et à l'obtention de l'accréditation de la subdivision selon le référentiel ISO 17025 pour la réalisation de ces essais.



SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	11
1.1 CONTEXTE	11
1.2. OBJET	11
1.3. CHAMP D'APPLICATION	12
1.4. LIMITES	12
1.5. AVERTISSEMENT	12
2. RÉFÉRENCES ET DÉFINITIONS	13
2.1. BIBLIOGRAPHIE/WEBOGRAPHIE	13
2.2. RÉGLEMENTATION FRANÇAISE	14
2.3. RÉGLEMENTATION EUROPÉENNE	15
2.4. RÉGLEMENTATION INTERNATIONALE	16
2.5. DÉFINITIONS	16
3. PROTECTION DES TRAVAILLEURS INTERVENANT SUR LES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE OU DE BALISAGE LUMINEUX DES AÉRODROMES	22
3.1. FORMATION INITIALE ET MAINTIEN DE COMPÉTENCES	22
3.2. HABILITATIONS ÉLECTRIQUES	22
3.3. PROCÉDURES SPÉCIFIQUES AUX OPÉRATIONS SUR LES CIRCUITS SÉRIE DE BALISAGE LUMINEUX D'AÉRODROME	24
3.3.1. PROCÉDURES DE SÉCURITÉ	25
3.3.2. PROCÉDURES D'INTERVENTION	30

SOMMAIRE

3.4. PROCÉDURES DE SURVEILLANCE	33
3.4.1. CAS GÉNÉRAL	33
3.4.2. CAS PARTICULIER DES CIRCUITS SÉRIE DE BALISAGE LUMINEUX D'AÉRODROME	33
3.5. VÉRIFICATIONS RÉGLEMENTAIRES OBLIGATOIRES	35
3.5.1. CAS GÉNÉRAL	35
3.5.2. CAS PARTICULIER DES CIRCUITS SÉRIE DE BALISAGE LUMINEUX D'AÉRODROME	35
4. CONCEPT DE MAINTENANCE	36
4.1. DÉFINITION	36
4.2. NORMES APPLICABLES	36
4.3. TYPES DE MAINTENANCE	36
4.4. NIVEAUX DE MAINTENANCE	37
4.5. PLAN DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE	38
5. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE DES AÉRODROMES	39
5.1. CONCEPTION DU RÉSEAU DE DISTRIBUTION ÉLECTRIQUE	39
5.1.1. DISTRIBUTION ÉLECTRIQUE EN BASSE TENSION (BT)	39
5.1.2. DISTRIBUTION ÉLECTRIQUE EN HAUTE TENSION (HT)	40
5.2. EXIGENCES FONCTIONNELLES	42
5.2.1. CONCEPTION DES SYSTÈMES D'ALIMENTATION ÉLECTRIQUE	42
5.2.2. DÉLAI DE COMMUTATION	42

SOMMAIRE

5.3. MOYENS DE CONFORMITÉ	45
5.3.1. CONCEPTION DES SYSTÈMES D'ALIMENTATION	45
5.3.2. DÉLAI DE COMMUTATION	46
5.4. OPÉRATIONS DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE RECOMMANDÉES	49
5.4.1. LOCAUX ÉLECTRIQUES	49
5.4.2. CELLULES HT ET RÉSEAUX HT	52
5.4.3. TRANSFORMATEURS	54
5.4.4. GROUPES ÉLECTROGÈNES	56
5.4.5. TABLEAU GÉNÉRAL BASSE TENSION (TGBT), TABLEAUX DE DISTRIBUTION BASSE TENSION (TDBT) ET RÉSEAUX BASSE TENSION (BT)	58
5.4.6. COMMUTATEURS STATIQUES	61
5.4.7. ALIMENTATION SANS INTERRUPTION (ASI)	62
5.4.8. CAS PARTICULIER D'UNE ASI DYNAMIQUE HYBRIDE (SYSTÈME NO-BREAK)	63
5.4.9. SYSTÈMES DE PROTECTION CONTRE LA Foudre (SPF)	64
5.4.10. COMPENSATEURS D'ÉNERGIE RÉACTIVE	67
5.4.11. COMPENSATEURS ACTIFS D'HARMONIQUES	68
5.4.12. AUTOMATES PROGRAMMABLES INDUSTRIELS (API)	69
5.4.13. UNITÉS D'ALIMENTATION ÉLECTRIQUE 24V OU 48V (COURANT CONTINU)	70
5.4.14. SYSTÈMES D'ALIMENTATION ÉLECTRIQUE DU BALISAGE LUMINEUX	72

SOMMAIRE

6. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS DE BALISAGE LUMINEUX DES AÉRODROMES	74
6.1. RECOMMANDATIONS DE CONCEPTION	74
6.2. EXIGENCES FONCTIONNELLES	74
6.2.1. INSTALLATION INITIALE SUR SITE	74
6.2.2. OBJECTIFS DE MAINTENANCE	75
6.3. OPÉRATIONS DE MAINTENANCE RECOMMANDÉES	80
6.3.1. RÉGULATEURS À COURANT CONSTANT (CCR)	80
6.3.2. CIRCUITS TRÈS BASSE TENSION DE SÉCURITÉ (TBTS) ET CIRCUITS TRÈS BASSE TENSION DE PROTECTION (TBTP)	82
6.3.3. SYSTÈMES DE TÉLÉCOMMANDE ET TÉLÉSURVEILLANCE DES DISPOSITIFS LUMINEUX DE BALISAGE	83
6.3.4. SYSTÈMES DE CONTRÔLE ET DE GUIDAGE DES MOUVEMENTS À LA SURFACE (SMGSC) ET SYSTÈMES PERFECTIONNÉS DE CONTRÔLE ET DE GUIDAGE DES MOUVEMENTS À LA SURFACE (A-SMGCS)	87
6.3.5. INFRASTRUCTURES DE BALISAGE LUMINEUX	88
6.3.6. PANNEAUX LUMINEUX DE SIGNALISATION D'AÉRODROME	92
6.3.7. FEUX DE POINT D'ATTENTE SUR VOIE DE SERVICE	94
6.3.8. FEUX DE BALISAGE (SAUF FEUX DE POINT D'ATTENTE SUR VOIE DE SERVICE)	94
6.3.9. PAPI (PRECISION APPROACH PATH INDICATOR)	102
6.4. PROBLÉMATIQUES SPÉCIFIQUES AUX INSTALLATIONS DE BALISAGE LUMINEUX À LED	109
6.4.1. GÉNÉRALITÉS	109
6.4.2. AUGMENTATION POSSIBLE DU DÉLAI DE COMMUTATION	110
6.4.3. PERTURBATIONS HARMONIQUES ET NÉCESSITÉ D'ADAPTER LA PUISSANCE DES RÉGULATEURS À COURANT CONSTANT	111
6.4.4. ÉBLOUISSEMENT DES PILOTES ET NÉCESSITÉ D'ADAPTATION DU COURANT D'ALIMENTATION (BRILLANCE)	111

SOMMAIRE

7. ANNEXES	112
7.1. EXEMPLE DE PLAN DE FORMATION D'UN AGENT DE MAINTENANCE INTERVENANT SUR LES CIRCUITS SÉRIE DE BALISAGE LUMINEUX D'AÉRODROME	112
7.2. NORMES APPLICABLES POUR LES CÂBLES ET LES TRANSFORMATEURS D'ISOLEMENT DES CIRCUITS D'ALIMENTATION ÉLECTRIQUE DES DISPOSITIFS LUMINEUX DE BALISAGE D'AÉRODROME	114
7.3. FORMULAIRE D'ESSAI SPÉCIALISÉ DE VÉRIFICATION DE LA FIABILITÉ DES SYSTÈMES D'ALIMENTATION ÉLECTRIQUE DU BALISAGE LUMINEUX D'AÉRODROME	115
7.4. FORMULAIRE D'ESSAI FONCTIONNEL DE VÉRIFICATION DU RETOUR D'INFORMATION SUR L'ÉTAT DE FONCTIONNEMENT DES RÉGULATEURS D'ALIMENTATION DES DISPOSITIFS LUMINEUX DE BALISAGE	116
7.5. RÉSISTANCE D'ISOLEMENT, RÉSISTANCE DE CONTINUITÉ ÉLECTRIQUE ET CHARGE D'UNE BOUCLE PRIMAIRE D'ALIMENTATION DES DISPOSITIFS LUMINEUX DE BALISAGE D'AÉRODROME	117
7.5.1. MESURE DE LA RÉSISTANCE D'ISOLEMENT	117
7.5.2. MESURE DE LA RÉSISTANCE DE CONTINUITÉ ÉLECTRIQUE	118
7.5.3. ÉVALUATION THÉORIQUE DE LA CHARGE	119
7.5.4. EXEMPLE DE FORMULAIRES	120
7.6. RÉCAPITULATIF DES OPÉRATIONS DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE RECOMMANDÉES POUR LES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE ET DE BALISAGE LUMINEUX	122
7.6.1. RÉCAPITULATIF PAR TYPE D'INSTALLATIONS	122
7.6.2. RÉCAPITULATIF PAR PÉRIODICITÉ	126
7.7. GRANDEURS PHOTOMÉTRIQUES	130
7.7.1. FLUX LUMINEUX	130
7.7.2. INTENSITÉ LUMINEUSE	130
7.7.3. ÉCLAIREMENT LUMINEUX	131

SOMMAIRE

7.8. MÉTHODE DE MESURE DE L'INTENSITÉ LUMINEUSE EN LABORATOIRE	131
7.9. DISPOSITIFS LUMINEUX DE BALISAGE D'UNE PISTE AVEC APPROCHE DE PRÉCISION	133
7.10. CALAGE HORIZONTAL ET VERTICAL DES FEUX DE BALISAGE D'AÉRODROME	134
7.10.1. DÉFINITIONS	134
7.10.2. EXIGENCES	135
7.10.3. MÉTHODES	135
7.11. MÉTHODES DE MESURE DE L'ANGLE DE CALAGE EN SITE D'UNE UNITÉ LUMINEUSE D'UN DISPOSITIF PAPI (MÉTHODES DIFFÉRENTES DE CELLE DU CLINOMÈTRE/DE L'ALIDADE)	144
7.11.1. MÉTHODE DE CONTRÔLE EN VOL (PAR SINUSOÏDES)	144
7.11.2. MÉTHODE DE LA NACELLE	145
7.11.3. MÉTHODE DU DRONE	147
7.11.4. MÉTHODE DE L'ANALYSE D'IMAGE	149
7.11.5. NOMBRE DE MESURES	150
7.11.6. DURÉE D'IMMOBILISATION DE LA PISTE	150
7.12. GLOSSAIRE	151
7.13. TABLE DES ILLUSTRATIONS	153
7.14. TABLE DES TABLEAUX	157

RÉSUMÉ - MOTS-CLÉS

RÉSUMÉ

Ce guide a pour but de décrire les bonnes pratiques et procédures de maintenance préventive qu'il est conseillé d'instaurer sur l'ensemble des installations d'énergie et de balisage lumineux d'aérodrome.

En garantissant la disponibilité et la fiabilité des installations, le respect des indications contenues dans ce document devrait assurer un niveau de sécurité suffisant pour les aéronefs évoluant sur l'aérodrome ainsi que la protection des agents de maintenance contre les risques électriques.

Destiné aux équipes de maintenances travaillant pour le compte des exploitants d'aérodrome et aux agents des autorités de surveillance de l'aviation civile, ce guide décrit notamment :

- ▶ les formations des agents amenés à intervenir sur les installations d'énergie et de balisage lumineux d'aérodrome,
- ▶ les procédures et périodicités des opérations de maintenance,
- ▶ les vérifications réglementaires obligatoires des installations électriques,
- ▶ les niveaux de performance de la maintenance à atteindre en termes d'objectifs qualitatifs (maintien des caractéristiques fonctionnelles des installations) et quantitatifs (maintien des pourcentages minimaux de feux de balisage en service).

MOTS-CLÉS

Maintenance, électricité, balisage lumineux, alimentation électrique

EXECUTIVE SUMMARY

This manual aims at describing the good practices and the procedures of preventive maintenance that should be implemented on all airfield lighting systems and related power supply systems.

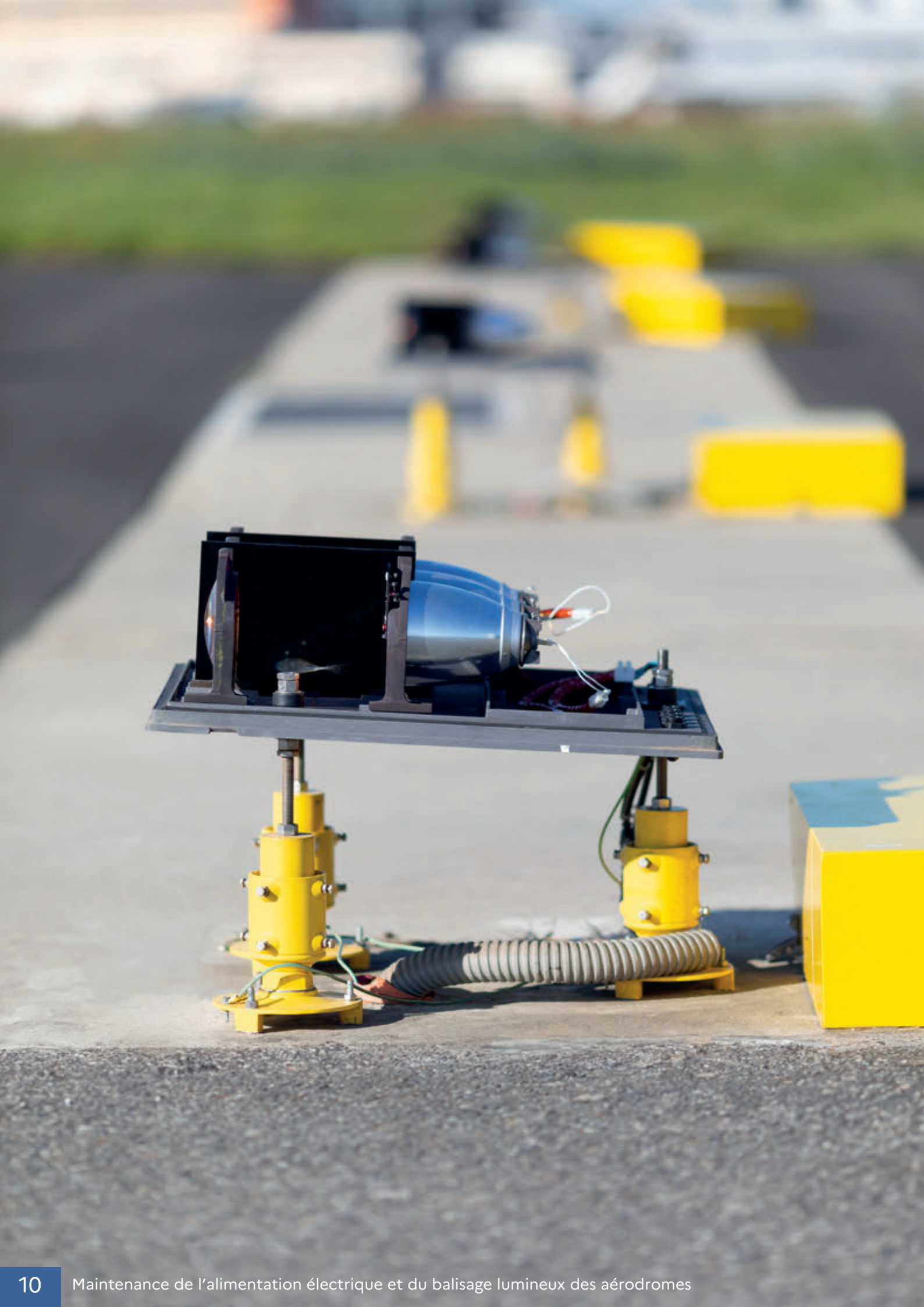
By guaranteeing the adequate availability and reliability of systems, complying with the guidance material contained in this document should ensure a sufficient level of safety for aircraft operations on the manoeuvring area and protect maintenance operators against electrical risks.

Intended for maintenance staff working for aerodrome operators as well as employees of civil aviation supervisory authorities, this manual describes, among other things, as follows:

- ▶ *the training program of maintenance operators working on airfield lighting systems and related power supply systems,*
- ▶ *the procedures and periodicities of maintenance operations,*
- ▶ *the regulatory required checks to be performed on electrical systems,*
- ▶ *the maintenance performance objectives to be reached in terms of qualitative objectives (maintaining the initial functions of the systems) and quantitative objectives (maintaining the minimum percentages of serviceable airfield lights).*

KEYWORDS

Maintenance, electricity, airfield lighting, power supply



1. INTRODUCTION

1.1. CONTEXTE

Les opérations de maintenance des installations d'énergie et de balisage lumineux d'un aérodrome s'inscrivent dans l'objectif de maintien en conditions opérationnelles des infrastructures des aires de mouvement de l'aérodrome. Elles comprennent l'ensemble des mesures permettant de maintenir ou de rétablir l'état fonctionnel des installations, d'en évaluer la conformité aux référentiels réglementaires applicables et globalement de réduire les risques de défaillances d'exploitation.

Les opérations de maintenance des installations d'énergie et de balisage lumineux d'un aérodrome peuvent se décliner en :

- ▶ inspections;
- ▶ opérations d'entretien courant et révisions;
- ▶ réparations.

Dans tous les cas, le programme de maintenance des installations d'énergie et de balisage lumineux d'un aérodrome devra établir :

- ▶ un schéma organisationnel qui le situe dans la structure générale de l'aérodrome, qui définit les rôles et responsabilités des intervenants et décrit les moyens humains et matériels;
- ▶ des procédures et consignes pour définir les interventions sur site, les modes opératoires, les retours d'expérience et le report des événements;
- ▶ une documentation technique régulièrement mise à jour et structurée: plans et synoptiques d'ensemble, plans et schémas des sous-systèmes, documentations techniques et notices des matériels installés, formulaires de suivi et d'évolution des matériels; et
- ▶ des plans de formation et d'évaluation des compétences et qualifications requises pour l'accomplissement des tâches à exécuter.

1.2. OBJET

Ce document a pour vocation à servir de guide et ne saurait être considéré comme un texte réglementaire. Il remplace le guide de maintenance du balisage lumineux des aérodromes publié par le STAC en 2013 et constitue une mise à jour de la version publiée en janvier 2022.

Les spécifications du présent document ont pour objectifs de :

- ▶ définir les objectifs recommandés de niveau de performance de l'entretien des installations d'énergie et de balisage lumineux d'un aérodrome, en décrivant les inspections, actions d'entretien courant et révisions:
 - ▶ objectifs de performance qualitatifs: maintien des caractéristiques fonctionnelles des installations,
 - ▶ objectifs de performance quantitatifs: maintien des pourcentages minimaux de feux de balisage en service, chaque pourcentage minimal variant en fonction du dispositif lumineux et de la catégorie d'exploitation de la piste avec approche de précision.
- ▶ décrire les procédures à mettre en place et équipements de protection à porter pour assurer aux agents de maintenance un niveau de sécurité maximale.

1. INTRODUCTION

1.3. CHAMP D'APPLICATION

Les installations d'énergie et de balisage lumineux d'aérodrome comprennent non seulement des éléments en bout de chaîne, comme les feux ou les panneaux lumineux de signalisation d'aérodrome, mais aussi les systèmes d'alimentation électrique ainsi que les systèmes de contrôle et de télécommande.

Le contenu de ce document s'applique aux installations permanentes (par opposition à temporaires) d'énergie et de balisage lumineux d'aérodrome à l'exclusion des installations de balisage lumineux des obstacles. Seules les inspections, les actions d'entretien courant et les révisions (i.e. opérations de maintenance préventive) sont décrites dans ce document.

Le présent guide est destiné :

- ▶ aux exploitants d'aérodromes (services en charge de la maintenance des installations de balisage lumineux et/ou des installations électriques associées);
- ▶ aux entreprises proposant des services de maintenance préventive et curative sur les installations d'énergie et de balisage lumineux des aérodromes; et
- ▶ aux services de l'Aviation civile et du ministère des Armées concernés par la surveillance et/ou la maintenance des installations d'énergie et de balisage lumineux sur les aérodromes.

Il donne des éléments indicatifs pour organiser et planifier les actions de maintenance préventive et certaines actions de maintenance corrective. Des dispositions différentes peuvent être appliquées, sous réserve de garantir un niveau de performance équivalent.

1.4. LIMITES

Tout défaut portant atteinte au respect des exigences fonctionnelles concernant les installations d'alimentation électrique ou les dispositifs de balisage lumineux d'un aérodrome doit être corrigé avant de poursuivre l'exploitation de la piste.

Dans le cas où la remise en état ne pourrait être réalisée immédiatement, les nouvelles conditions d'exploitation de la piste doivent être conformes aux exigences du règlement AIR-OPS (règlement UE n° 965/2012 de la Commission) applicables en situation dégradée :

- ▶ *Annex IV (Part – CAT), Subpart B (Operating procedures), Section 1 (Motor-powered aircraft), CAT.OP.MPA.110 (Aerodrome operating minima);*
- ▶ *Annex V (Part – SPA), Subpart E (Low visibility operations), SPA.LVO.130. (Minimum equipment).*

1.5. AVERTISSEMENT

Les textes réglementaires et normes inscrits au présent document ne sont stipulés qu'à titre informel. La liste des textes n'est pas exhaustive. Les textes réglementaires et normes peuvent évoluer, l'utilisateur de ce guide devra s'assurer du bien-fondé de ceux-ci.

2. RÉFÉRENCES ET DÉFINITIONS

2.1. BIBLIOGRAPHIE/WEBOGRAPHIE

- ▶ Guide technique de l'état de l'art de l'installation du balisage lumineux sur les aérodromes, STAC, 2020.
- ▶ Guide technique relatif à l'implantation, l'installation et la maintenance des PAPI, STAC, 2017.
- ▶ Note technique d'information sur le contrôle du serrage des fixations des feux de balisage lumineux d'aérodrome, STAC, 2015.
- ▶ Note technique d'information sur les particularités des feux à technologie LED à prendre en compte lors de leur installation, STAC, 2014.
- ▶ Guide technique de maintenance du balisage lumineux des aérodromes, STAC, 2011 (Rédacteurs: ABADIE Michel, DRÉANO Christian, MANACH Jacques, MOAL Pierre Yvon, VERGER Patrick).
- ▶ Guide technique GUIDELEC, Ministère de la Défense, Direction Centrale de l'Infrastructure de l'Air, 2003.
- ▶ Installations dans les centres de la navigation aérienne, Spécifications générales, SPEC 20, DTI, 2020.
- ▶ Guide d'aide à la protection contre la foudre sur les Installation de la navigation aérienne, DTI, 2020.
- ▶ Site internet du STAC : <https://www.stac.aviation-civile.gouv.fr>
- ▶ Site internet de la librairie aéronautique de la DGAC : <http://www.libelaero.fr>

2. RÉFÉRENCES ET DÉFINITIONS

2.2. RÉGLEMENTATION FRANÇAISE

- ▶ Arrêté du 28 août 2003 relatif aux Conditions d'Homologation et aux procédures d'Exploitation des Aérodrômes (CHEA).
- ▶ Arrêté du 9 juin 2021 relatif aux inspections de l'aire de mouvement d'un aéroport, à l'évaluation et à la communication de l'état de surface des pistes.
- ▶ Arrêté du 22 décembre 2011 relatif aux critères de compétence des personnes chargées d'effectuer les vérifications périodiques des installations électriques et de mettre en œuvre les processus de vérification des installations électriques temporaires.
- ▶ Arrêté du 26 décembre 2011 relatif aux vérifications ou processus de vérification des installations électriques ainsi qu'au contenu des rapports correspondants.
- ▶ Arrêté du 19 avril 2012 relatif aux normes d'installation intéressant les installations électriques des bâtiments destinés à recevoir des travailleurs.
- ▶ Code du Travail - Articles R.4215-2, R.4226-1 à R.4226-21, R.4722-26 et textes d'application associés.
- ▶ Instruction N° 20580/DNA/2A du 8 juin 1993 modifiée relative à l'implantation et à l'installation des PAPI et APAPI sur les aérodrômes, 3^{ème} édition du 7 juin 2004.
- ▶ Norme NF C13-100 (Avril 2015) - Postes de livraison alimentés par un réseau public de distribution HTA (jusqu'à 33 kV).
- ▶ Norme NF C13-200 (Juin 2018) - Installations électriques à haute tension pour les sites de production d'énergie électrique, les sites industriels, tertiaires et agricoles.
- ▶ Norme NF C15-100 (Juin 2005) - Installations électriques à basse tension.
- ▶ Norme UTE C15-443: Protection des installations électriques basse tension contre les surtensions d'origine atmosphérique ou dues à des manœuvres - Choix et installation des parafoudres.
- ▶ Norme NF C17-102: Systèmes de protection contre la foudre à dispositif d'amorçage (paratonnerres).
- ▶ Norme NF C18-505-X: Travaux sous tension sur les installations électriques basse tension - Mesures de préventions mises en œuvre.
- ▶ Norme NF C18-510: 2012 et ses amendements A1: 2020 et A2: 2023 : Opérations sur les ouvrages et installations électriques et dans un environnement électrique – Prévention du risque électrique.
- ▶ Norme NF C33-212: Câbles isolés et leurs accessoires pour réseaux d'énergie - Câbles pour circuits primaires de balisage d'aéroport - tension assignée $U_0/U (U_m) = 1/1 (1,2)$ kV.
- ▶ Norme NF C33-224: Câbles isolés et leurs accessoires pour réseaux d'énergie - Câbles pour circuits primaires de balisage d'aéroport - tension assignée $U_0/U (U_m) = 3,6/6 (7,2)$ kV.
- ▶ Norme NF C33-225: Câbles isolés et leurs accessoires pour réseaux d'énergie - Câbles pour circuits primaires de balisage d'aéroport - tension assignée $U_0/U (U_m) = 6/10 (12)$ kV.
- ▶ Norme NF X60-000 (Avril 2016): Maintenance industrielle - Fonction maintenance.
- ▶ Norme NF EN 13306: Maintenance – Terminologie de la maintenance.
- ▶ Norme NF EN 50164: Composants de protection contre la foudre (CPF).
- ▶ Norme NF EN 61643: Parafoudres basse-tension.
 - ▶ Partie 11: parafoudres connectés aux systèmes basse tension - Exigences et méthodes d'essai
 - ▶ Partie 12: Parafoudres connectés aux réseaux de distribution à basse tension – Principes de choix et d'application
- ▶ Norme NF EN 62305: Protection contre la foudre – Partie 3: Dommages physiques sur les structures et risques humains.

2. RÉFÉRENCES ET DÉFINITIONS

2.3. RÉGLEMENTATION EUROPÉENNE

- ▶ Règlement (UE) n° 2018/1139 du Parlement européen et du Conseil du 4 juillet 2018 concernant des règles communes dans le domaine de l'aviation civile et instituant une Agence de l'Union européenne pour la sécurité aérienne, et modifiant les règlements (CE) n° 2111/2005, (CE) n° 1008/2008, (UE) n° 996/2010, (UE) n° 376/2014 et les directives 2014/30/UE et 2014/53/UE du Parlement européen et du Conseil, et abrogeant les règlements (CE) n° 552/2004 et (CE) n° 216/2008 du Parlement européen et du Conseil ainsi que le règlement (CEE) n° 3922/91 du Conseil.
- ▶ Règlement (UE) n° 139/2014 modifié de la Commission du 12 février 2014 établissant des exigences et des procédures administratives relatives aux aérodromes conformément au règlement (CE) n° 216/2008 du Parlement européen et du Conseil.
- ▶ Decision 2014/013/R (modified) of the Executive Director of the Agency of 27 February 2014 adopting Certification Specifications and Guidance Material for Aerodromes Design (CS-ADR-DSN - Initial Issue).
- ▶ Decision 2014/012/R (modified) of the Executive Director of the Agency of 27 February 2014 adopting Acceptable Means of Compliance and Guidance Material to Regulation (EU) n° 139/2014 (Initial Issue).
- ▶ Easy Access Rules for Aerodromes (Règlement (UE) n° 139/2014) publié en juin 2021.
 - ▶ Annex IV (Part-ADR.OPS) – Subpart C (Aerodrome maintenance ADR.OPS.C) – ADR.OPS.C.015 (Maintenance of visual aids and electrical systems).
 - ▶ CS-ADR-DSN (Certification Specifications and Guidance Material for Aerodromes Design), Issue 5 - Chapters M (Visual aids for navigation - Lights), N (Visual aids for navigation - Signs) and S (Electrical systems).
- ▶ Règlement (UE) n° 965/2012 de la Commission du 5 octobre 2012 établissant les exigences techniques et les procédures administratives applicables aux opérations aériennes, conformément au règlement (CE) n° 216/2008 du Parlement européen et du Conseil.
- ▶ Easy Access Rules for Air Operations « EAR for Air OPS » (Règlement (UE) n° 965/2012) publié en décembre 2021

2. RÉFÉRENCES ET DÉFINITIONS

2.4. RÉGLEMENTATION INTERNATIONALE

OACI (Organisation de l'Aviation Civile Internationale)

- ▶ Annexe 14 à la Convention relative à l'aviation civile internationale – Volume I (Conception et exploitation technique des aérodromes), 8^{ème} édition, juillet 2018
- ▶ Doc 9157 : Manuel de conception des aérodromes - Partie 4 (Aides Visuelles), 5^{ème} édition, 2021.
- ▶ Doc 9157 : Manuel de conception des aérodromes - Partie 5 (Installations électriques), 2^{ème} édition, 2017.
- ▶ Doc 9137 – AN/898 : Manuel des services d'aéroport - Partie 9 (Maintenance), 1^{ère} édition, 1984.
- ▶ Doc 9981 : Procédures pour les services de la navigation aérienne – Aérodromes, 3^{ème} édition, 2020.
- ▶ Doc 9476 : Manuel sur les systèmes de guidage et de contrôle de la circulation de surface (SMGCS), – 1^{ère} édition, réimprimée en juin 2007, comprenant les amendements n° 1 et n° 2.
- ▶ Doc 9365 : Manuel des opérations tout temps, 4^{ème} édition, 2017.

CEI (Commission Electrotechnique Internationale)

- ▶ IEC 61821: 2011 : Installations électriques pour l'éclairage et le balisage des aérodromes - Maintenance des circuits série à courant constant pour le balisage aéronautique au sol.
- ▶ IEC 61822: 2009 : Installations électriques pour l'éclairage et le balisage des aérodromes - Régulateurs à courant constant.
- ▶ IEC 61823: 2002 : Installations électriques pour l'éclairage et le balisage des aérodromes - Transformateurs d'isolement.
- ▶ IEC 62870: 2015 : Installations électriques pour l'éclairage et le balisage des aérodromes – Circuits secondaires de sécurité dans des circuits série – Exigences générales de sécurité.
- ▶ IEC TS 61827: 2004 : Installations électriques pour l'éclairage et le balisage des aérodromes – Caractéristiques des feux encastrés et hors sol utilisés sur les aérodromes et les hélistations.
- ▶ IEC TS 62143: 2002 : Installations électriques pour l'éclairage et le balisage des aérodromes - Systèmes de balisage aéronautique au sol – Lignes directrices pour l'établissement d'une méthodologie pour le cycle de vie de sécurité

2.5. DÉFINITIONS

Un Glossaire des abréviations est disponible en annexe 7.12.

Aire de manœuvre

Partie d'un aérodrome à utiliser pour les décollages, les atterrissages et la circulation des aéronefs à la surface, à l'exclusion des aires de trafic.

Aire de mouvement

Partie d'un aérodrome à utiliser pour les décollages, les atterrissages et la circulation des aéronefs à la surface, et qui comprend l'aire de manœuvre et les aires de trafic.

2. RÉFÉRENCES ET DÉFINITIONS

Aire de trafic

Aire définie, sur un aérodrome terrestre, destinée aux aéronefs pendant l'embarquement ou le débarquement des voyageurs, le chargement ou le déchargement de la poste ou du fret, l'avitaillement ou la reprise de carburant, le stationnement ou l'entretien.

Alimentation électrique

Ensemble des systèmes fournissant l'énergie nécessaire au fonctionnement des installations de navigation aérienne. On distingue deux sources d'alimentation électriques :

- ▶ une source d'alimentation électrique principale devant être appropriée et assurer la sécurité du fonctionnement des installations de navigation aérienne ;
- ▶ une source d'alimentation électrique auxiliaire pouvant être requise pour certaines installations de navigation aérienne, en fonction des conditions d'exploitation de la piste. Lorsque cette dernière est installée, elle doit être automatiquement raccordée aux installations de navigation aérienne en cas de panne de la source d'alimentation électrique principale.

Barres d'arrêt

Ensemble de feux lumineux rouges encastrés, alignés et uniformément espacés, disposés en travers de la voie de circulation, au point où l'on désire que la circulation s'arrête, et visibles dans la ou les directions d'approche de l'intersection ou du point d'attente avant piste.

Note :

- ▶ Une barre d'arrêt peut être complétée par deux paires de feux rouges hors-sol.
- ▶ Une barre d'arrêt commandable doit être couplée avec les feux axiaux de voie de circulation installés en aval de la barre d'arrêt sur une distance de 90 m, de sorte que, lorsque la barre d'arrêt est allumée, ces feux axiaux de voie de circulation sont éteints, et vice versa.
- ▶ Une barre d'arrêt éteinte doit être automatiquement ré-allumée après le passage de l'aéronef autorisé à pénétrer sur la piste.



Figure 1: Barre d'arrêt – Aérodrome de Beauvais.

2. RÉFÉRENCES ET DÉFINITIONS

Barrette

Ensemble composé d'au moins trois feux aéronautiques à la surface, très rapprochés et disposés en une ligne droite transversale de telle façon qu'à une certaine distance, il donne l'impression d'une courte barre lumineuse.

Chiffre de code d'une piste

Chiffre déterminé d'après le Tableau 1 et correspondant à la plus grande des distances de référence des avions auxquels la piste est destinée.

Chiffre de code	Distance de référence de l'avion
1	< 800 m
2	≥ 800 m et < 1200 m
3	≥ 1200 m et < 1800 m
4	≥ 1800 m

Tableau 1: Chiffres de code d'une piste.

Délai de commutation (d'un feu)

Temps nécessaire pour que l'intensité lumineuse effective d'un feu, mesurée dans une direction donnée, baisse au-dessous de 50 % et revienne à 50 % pendant un passage d'une source d'énergie à une autre, lorsque le feu fonctionne à des intensités lumineuse de 25 % ou plus.

Densité de la circulation d'aérodrome

- ▶ Faible: Lorsque le nombre de mouvements à l'heure de pointe moyenne n'est pas supérieur à 15 mouvements par piste, ou lorsqu'il est généralement inférieur à un total de 20 mouvements sur l'aérodrome.
- ▶ Moyenne: Lorsque le nombre de mouvements à l'heure de pointe moyenne est de l'ordre de 16 à 25 mouvements par piste, ou lorsqu'il y a généralement un total de 20 à 35 mouvements sur l'aérodrome.
- ▶ Forte: Lorsque le nombre de mouvements à l'heure de pointe moyenne est de l'ordre de 26 mouvements par piste ou plus, ou lorsqu'il est généralement supérieur à un total de 35 mouvements sur l'aérodrome.

Note:

- ▶ Le nombre de mouvements à l'heure de pointe moyenne correspond à la moyenne arithmétique, pour l'ensemble de l'année, du nombre de mouvements pendant l'heure la plus occupée de la journée.
- ▶ Décollages et atterrissages constituent des mouvements.

Installations de balisage lumineux d'aérodrome

Ensemble des installations d'un aérodrome permettant de donner une aide visuelle lumineuse au pilote afin qu'il puisse assurer en toute sécurité un mouvement (roulage, atterrissage ou décollage) sur un aérodrome.

On distingue trois types d'installations de balisage lumineux:

- ▶ les installations permettant la télécommande et la télésurveillance des dispositifs lumineux de balisage d'aérodrome: systèmes IHM (Interface Homme Machine) et systèmes d'automatisme;
- ▶ les installations en poste électrique: régulateurs à courant constant (CCR);
- ▶ les installations sur les aires de manœuvre: câbles, regards, transformateurs d'isolement (TI), feux de balisage et panneaux lumineux de signalisation d'aérodrome.

Chaque type d'installations de balisage lumineux présente des caractéristiques spécifiques qui nécessitent des actions de maintenance spécifiques.

2. RÉFÉRENCES ET DÉFINITIONS

Équipement de protection individuelle (EPI)

Équipement conçu et fabriqué pour être porté ou tenu par une personne en vue de la protéger contre un ou plusieurs risques pour sa santé ou sa sécurité.

Note :

Pour les opérations électriques, le terme « tenu » a été supprimé afin d'éviter toute confusion avec les outils à main.

Feu hors service

Feu dont l'intensité lumineuse moyenne du faisceau principal est inférieure à 50 % de la valeur spécifiée dans la figure appropriée de l'Appendice 2 de l'Annexe 14 de l'OACI.

Cette notion est à considérer en termes de maintenance et non en termes d'exploitation.

Exemple :

Un feu d'axe de piste dont la valeur minimale requise pour l'intensité lumineuse moyenne du faisceau principal est de 5000 candelas (cd) sera déclaré hors service lorsque la valeur mesurée sera inférieure à 2500 cd.

Feux de protection de piste

Feux destinés à avertir les pilotes et les conducteurs de véhicules qu'ils sont sur le point de s'engager sur une piste en service.

Note :

Les feux de protection de piste sont jaunes et clignotants.

On distingue deux types de configuration : la configuration A avec des feux hors-sol et la configuration B avec des feux encastrés.



Figure 2: Feux de protection de piste.

2. RÉFÉRENCES ET DÉFINITIONS

Point d'attente avant piste

Point désigné en vue de protéger une piste, une surface de limitation d'obstacles ou une zone critique/sensible d'ILS/MLS (Instrument Landing System/Microwave Landing System) auquel les aéronefs et véhicules circulant à la surface s'arrêteront et attendront, sauf autorisation contraire de la tour de contrôle d'aérodrome.

Poste (d'un réseau électrique)

Partie d'un réseau électrique, située en un même lieu, comprenant principalement les extrémités des lignes de transport ou de distribution, de l'appareillage électrique, des bâtiments, et, éventuellement, des transformateurs. Un poste comprend généralement les dispositifs destinés à la sécurité et à la conduite du réseau (par exemple les protections).



Figure 3: Poste électrique relatif au balisage lumineux – Aérodrome de Paris CDG.

Poste source (Poste de transformation HTB/HTA)

Poste comprenant des transformateurs de puissance permettant l'interconnexion des réseaux haute tension (HTB) et moyenne tension (HTA). Poste alimenté par un réseau haute tension HTB et à partir duquel l'énergie électrique est réduite en tension avant d'être distribuée aux différentes installations électriques de l'aérodrome.



Figure 4: Poste source – Aérodrome de Châlons Vatry.

2. RÉFÉRENCES ET DÉFINITIONS

Système de guidage et de contrôle de la circulation de surface (SMGCS)

Système d'aides, d'installations, de procédures et de règlements conçus pour répondre aux besoins de guidage et de contrôle ou de régulation d'un aéronef depuis la piste d'atterrissage jusqu'à son poste de stationnement sur l'aire de trafic, puis de ce poste jusqu'à la piste de décollage ainsi que les autres déplacements qu'il peut effectuer à la surface de l'aérodrome, par exemple entre une aire d'entretien et une aire de trafic ou d'une aire de trafic à une autre, d'une manière compatible avec les nécessités opérationnelles de l'aérodrome.

Il consiste en une combinaison appropriée d'aides visuelles et non visuelles, de procédures et de moyens de contrôle, de régulation, de gestion et d'information.

Domaines de tension

Le classement des tensions nominales est effectué, dans le présent document, par domaine de tension (voir Tableau 2).

En basse tension et en exploitation normale, la tension réelle d'un ouvrage ou d'une partie d'ouvrage peut excéder de 10 % au maximum sa valeur nominale, sans que cela entraîne une modification du domaine de tension.

Note :

Le terme « ouvrage » indique qu'il s'agit du réseau d'alimentation des installations électriques. Cette classification s'applique aussi aux installations électriques.

Domaines de tension		Valeur de la tension nominale U_n (Volts)	
		En courant alternatif	En courant continu lisse ⁽¹⁾
Très basse tension (domaine TBT)		$U_n \leq 50$	$U_n \leq 120$
Basse tension (domaine BT)		$50 < U_n \leq 1000$	$120 < U_n \leq 1500$
Haute tension	HTA	$1000 < U_n \leq 50\,000$	$1500 < U_n \leq 75\,000$
	HTB	$U_n > 50\,000$	$U_n > 75\,000$

(1) Le courant continu lisse est celui défini conventionnellement par un taux d'ondulation non supérieur à 10 % en valeur efficace, la valeur maximale de crête ne devant pas être supérieure à 15 %. Pour les autres courants continus, les valeurs des tensions nominales sont les mêmes que pour le courant alternatif.

Tableau 2 : Domaines de tensions (Extrait de la norme NF C18-510).

3. PROTECTION DES TRAVAILLEURS INTERVENANT SUR LES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE OU DE BALISAGE

L'ensemble des prescriptions pour la prévention des risques électriques lors des opérations sur les ouvrages ou les installations électriques ou dans un environnement électrique est regroupé dans la norme NF C18-510: 2012 et ses amendements A1: 2020 et A2: 2023 (article R4544-3 du Code du travail).

3.1. FORMATION INITIALE ET MAINTIEN DE COMPÉTENCES

Tout agent exécutant des tâches spécifiques liées aux activités de conception, d'installation, d'essais et de maintenance des installations d'énergie ou de balisage lumineux d'un aérodrome doit être dûment formé, qualifié et expérimenté pour l'exécution de ces tâches.

La formation théorique et pratique, l'expérience, la compétence et les qualifications de tout agent exécutant des tâches spécifiques liées aux activités de conception, d'installation, d'essais et de maintenance des installations d'alimentation électrique ou de balisage lumineux d'un aérodrome doivent être justifiées par son employeur.

Le suivi de la formation, de l'expérience, de la compétence et des qualifications de tout agent exécutant des tâches spécifiques liées aux activités de conception, d'installation, d'essais et de maintenance des installations d'alimentation électrique ou de balisage lumineux d'un aérodrome doivent assurer l'acquisition et le maintien des principales compétences suivantes :

- ▶ compétences techniques appropriées au domaine ;
- ▶ connaissance des dangers spécifiques relatifs aux circuits série de balisage lumineux d'aérodrome ;
- ▶ connaissance des procédures de sécurité appropriées pour les interventions sur les circuits série de balisage lumineux d'aérodrome ; et
- ▶ connaissance du cadre réglementaire en matière de sécurité.

Indépendamment des diverses formations relatives aux installations d'énergie d'un aérodrome, les agents travaillant sur les circuits série à courant constant pour le balisage lumineux d'aérodrome doivent connaître les principes techniques propres au balisage lumineux d'aérodrome, les risques inhérents ainsi que les procédures de sécurité associées.

Un suivi du maintien des compétences doit être mis en place par l'employeur et enregistré dans un document approprié tenu par le chef d'établissement ou son délégué.

Un exemple de plan de formation d'un agent de maintenance intervenant sur les circuits série à courant constant pour le balisage lumineux d'aérodrome est disponible en section 7.1.

3.2. HABILITATIONS ÉLECTRIQUES

En cas de présence de risque électrique (choc électrique ou court-circuit), l'employeur doit habiliter et maintenir l'habilitation de ses agents.

L'habilitation est la reconnaissance, par l'employeur, de la capacité d'une personne placée sous son autorité à accomplir, en sécurité vis-à-vis du risque électrique, les tâches qui lui sont confiées.

Les agents travaillant sur des circuits série à courant constant pour le balisage lumineux d'aérodrome doivent être détenteurs d'une habilitation électrique appropriée en état de validité.

3. PROTECTION DES TRAVAILLEURS INTERVENANT SUR LES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE OU DE BALISAGE

À l'issue de la formation adaptée, l'employeur doit délivrer une habilitation électrique à chacune des personnes placées sous son autorité, lorsqu'elles réalisent des opérations d'ordre électrique ou d'ordre non électrique nécessitant une habilitation.

Le titre d'habilitation électrique doit comporter les indications suivantes :

- ▶ les renseignements relatifs à l'employeur et au titulaire, la signature de l'employeur qui délivre le titre, la signature du titulaire qui vaut accusé de réception et la date de délivrance,
- ▶ le ou les symboles d'habilitation attribués (cf. Tableau 3),
- ▶ pour chaque symbole, la délimitation du champ d'application de l'habilitation, à moins qu'elle ne soit portée sur un document annexe cité dans le titre d'habilitation, ainsi que le(s) tension(s) et les installations concernées, et
- ▶ les indications supplémentaires qui peuvent compléter chaque symbole d'habilitation, les opérations confiées et les restrictions éventuelles.

L'absence d'une indication a valeur d'interdiction.

1 ^{er} caractère: Domaine de tension	2 nd caractère: Type d'opération	3 ^{ème} caractère: Lettre additionnelle (complète, si nécessaire, les travaux)	Attribut: (complète, si nécessaire, les caractères précédents)
B Basse tension (BT) et très basse tension (TBT)	0 Travaux d'ordre non électrique (Exécutant ou chargé de chantier)	V Travaux dans la zone de voisinage renforcé HT (zone 2) ou travaux d'ordre électrique hors tension dans la zone de voisinage renforcé BT (zone 4)	Écriture en clair du type d'opération, d'essai, de mesurage, de vérification ou de manœuvre
	1 Travaux d'ordre électrique (Exécutant)		
2 Travaux d'ordre électrique (Chargé de travaux)	T Travaux sous tension		
	N Nettoyage sous tension		
	X Opérations spéciales		
H Haute tension	R Interventions BT générales	-	
	S Interventions BT élémentaires		
	C Consignation		
	E Opérations spécifiques: essai, mesurage, vérifi- cation ou manœuvre		
	P Opérations élémentaires photovoltaïques		

Tableau 3 : Signification des éléments des symboles d'habilitation (Extrait de la norme NF C18-510).

3. PROTECTION DES TRAVAILLEURS INTERVENANT SUR LES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE OU DE BALISAGE

Les agents travaillant sur des circuits série à courant constant pour le balisage lumineux d'aérodrome doivent être détenteurs d'une habilitation électrique appropriée en état de validité.

Symboles d'habilitation pour les opérations d'ordre électrique en très basse et basse tension :

- ▶ Travaux hors tension: B1 pour un exécutant et B2 pour un chargé de travaux.
- ▶ Travaux au voisinage: B1V pour un exécutant et B2V pour un chargé de travaux.
- ▶ Travaux sous tension pour le remplacement d'une lampe ou d'un feu de balisage d'aérodrome: B1X « FBA », pour un exécutant et B2X « FBA » pour un chargé de travaux.

Note :

La lettre X indique qu'il s'agit d'opérations différentes des opérations traditionnelles définies par la norme NF C18-510: 2012. Le terme « FBA » désigne les opérations sur les feux de balisage lumineux d'aérodrome connectés en série.

- ▶ Interventions générales basse tension: BR, symbole à compléter par:
 - ▶ les restrictions en courant, tension et section de conducteur pour les connexions et les déconnexions, et
 - ▶ la mention « champ d'application photovoltaïque », le cas échéant.

Symboles d'habilitation pour les opérations d'ordre électrique en haute tension A :

- ▶ Travaux hors tension: H1 ou H1V pour un exécutant et H2 ou H2V pour un chargé de travaux.
- ▶ Travaux sur les circuits série primaires et secondaires de balisage lumineux d'aérodrome : H1 (CSB) pour un exécutant et H2 (CSB) pour un chargé de travaux.

Note :

Le terme « CSB » désigne les opérations sur les circuits série primaires et secondaires de balisage lumineux d'aérodrome.

3.3. PROCÉDURES SPÉCIFIQUES AUX OPÉRATIONS SUR LES CIRCUITS SÉRIE DE BALISAGE LUMINEUX D'AÉRODROME

Certaines exigences du Code du travail ne peuvent pas être satisfaites pour la réalisation d'opérations sur les circuits série de balisage lumineux d'aérodrome en raison de leurs particularités techniques de conception et leurs objectifs opérationnels.

Des procédures spécifiques dites « compensatoires » pour la réalisation d'opérations sur les circuits série de balisage lumineux d'aérodrome doivent donc être mises en place afin d'assurer une protection maximale aux agents en charge de leur maintenance.

Les dispositions de la présente section sont basées sur les principes de sécurité définis dans la norme NF C18-510: 2012 et ses amendements A1: 2020 et A2: 2023. Certaines dispositions sont extraites ou inspirées de la norme IEC 61821: 2011.

3. PROTECTION DES TRAVAILLEURS INTERVENANT SUR LES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE OU DE BALISAGE

3.3.1. PROCÉDURES DE SÉCURITÉ

3.3.1.1. CONDUITE PRÉALABLE D'UNE ANALYSE DE RISQUE ÉLECTRIQUE

Avant tous travaux ou toute intervention sur un circuit série de balisage lumineux d'aérodrome, le chef d'établissement ou son représentant doit réaliser une analyse de risque électrique afin d'identifier et d'évaluer les dangers potentiels associés à la réalisation des travaux ou de l'intervention. Cette analyse de risque électrique doit inclure une inspection visuelle des installations électriques et doit permettre de déterminer l'habilitation électrique et les Équipements de Protection Individuelle (EPI) requis pour réaliser les travaux ou l'intervention en toute sécurité.

Dans le cas de travaux sous tension, l'analyse de risque électrique doit se poursuivre pendant toute la durée des travaux.

L'analyse de risque électrique, une fois complétée, doit être intégrée dans le Document Unique d'Évaluation des Risques Professionnels (DUERP), document requis par le Code du travail et répertoriant l'ensemble des risques professionnels auxquels sont exposés les travailleurs. Elle doit être revue et mise à jour périodiquement et à la suite de tout événement ayant porté atteinte à l'intégrité physique d'une personne.

Les résultats de l'analyse de risque électrique doivent être pris en considération par l'exploitant d'aérodrome pour la mise en place de procédures de sécurité adaptées aux travaux ou à l'intervention réalisés.

3.3.1.2. DÉTERMINATION DU TYPE « HORS TENSION », « AU VOISINAGE » OU « SOUS TENSION » DES TRAVAUX ÉLECTRIQUES

3.3.1.2.1. TRAVAUX HORS TENSION

D'une manière générale, les travaux sur les circuits série de balisage lumineux d'aérodrome doivent être exécutés hors tension ou hors courant, sauf impossibilité technique.

Les travaux hors tension doivent être réalisés après consignation ou mise hors tension des installations électriques. Une installation électrique doit toujours être présumée connectée au réseau et sous tension jusqu'à confirmation de sa consignation électrique.

3.3.1.2.2. TRAVAUX AU VOISINAGE

En présence d'une ou plusieurs pièces nues sous tension dans la zone de travail, la procédure de travail au voisinage doit être appliquée. Elle se décline par la mise hors de portée des pièces nues sous tension par pose d'un obstacle (écran ou enveloppe à caractéristique mécanique solide empêchant toute approche), par éloignement (d'une distance dans l'air suffisante pour éviter tout contact) ou par isolation (pose d'un dispositif isolant).

Les zones de voisinage sont définies par la norme NF C18-510 en fonction de la tension électrique de l'installation. En basse tension, la zone de voisinage simple est définie entre 0,30 m et 3 m et la zone de voisinage renforcée, entre 0 m et 0,30 m. En haute tension et jusqu'à 20 000 V, la zone de voisinage simple est définie entre 2 m et 3 m et la zone de voisinage renforcé, entre 0,60 m et 2 m.

3. PROTECTION DES TRAVAILLEURS INTERVENANT SUR LES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE OU DE BALISAGE

3.3.1.2.3. TRAVAUX SOUS TENSION

Les travaux sous tension ne peuvent être autorisés que sur les circuits secondaires des transformateurs d'isolement des circuits série de balisage lumineux d'aérodrome (cf. section 3.3.2.3.4). Les modes opératoires définis dans la série de normes NF C18-505-X doivent être appliqués.

3.3.1.3. IDENTIFICATION DES CIRCUITS

Tout équipement électrique situé dans la zone de travaux ou d'intervention doit être identifié avant tous travaux ou toute intervention sur un circuit série de balisage lumineux d'aérodrome.

Lors de travaux ou d'une intervention dans une chambre de tirage ou un regard, les câbles sur lesquels les travaux ou l'intervention sont réalisés ainsi que les autres câbles doivent être identifiés des deux manières suivantes :

- ▶ visuellement, grâce à la marque d'identification apposée lors de leur installation, et
- ▶ électriquement, par mises hors et sous tension successives de la boucle avec vérifications d'absence d'intensité au moyen d'une pince ampèremétrique.

3.3.1.4. SIGNALISATION DE LA ZONE DE TRAVAUX OU D'INTERVENTION

La zone de travaux ou d'intervention doit être délimitée à l'aide de barrières appropriées, et signalée par des écriteaux de sécurité appropriés. Des écriteaux de sécurité doivent également être fixés sur tous les appareillages de commutation contrôlant un équipement électrique ayant été mécaniquement consigné et sur lequel les travaux ou l'intervention ont lieu.

3.3.1.5. MISE HORS DE PORTÉE DES PARTIES ACTIVES DES CIRCUITS

Les parties actives des circuits de balisage lumineux d'aérodrome doivent être mises hors de portée des agents, aussi bien sur les régulateurs que sur les câbles. Cependant, le remplacement d'une lampe ou d'un feu de balisage d'aérodrome peut être réalisé avec le régulateur sous tension (cf. section 3.3.2.3.2).

3. PROTECTION DES TRAVAILLEURS INTERVENANT SUR LES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE OU DE BALISAGE

3.3.1.6. MISE À LA TERRE

Avant tous travaux ou toute intervention sur un circuit série primaire de balisage lumineux, la mise à la terre de celui-ci doit être réalisée à la sortie du régulateur.

Pour les installations électriques en cours de construction à la date de publication du présent guide, la mise à la terre doit être obtenue par un dispositif (commutateur de mise à la terre) intégré à l'installation.

Pour les installations électriques déjà existantes à la date de publication du présent guide et ne comportant pas de dispositif intégré, la mise à la terre doit être réalisée par un ou des dispositifs portatifs de mise à la terre et en court-circuit adaptés aux tensions et courants de court-circuit mis en jeu et à la durée d'élimination d'un défaut. Le débranchement délibéré d'un tel dispositif ne doit être possible qu'avec intervention de l'opérateur l'ayant installé. L'étau de terre doit être connecté en premier, avant la conduite des travaux ou de l'intervention puis doit être déconnecté en dernier, une fois les travaux ou l'intervention terminés.

3.3.1.7. VÉRIFICATION D'ABSENCE DE TENSION OU D'INTENSITÉ

Avant tous travaux ou toute intervention sur un circuit série primaire de balisage lumineux d'aérodrome :

- ▶ une vérification d'absence de tension doit être réalisée en sortie du régulateur, avec un dispositif conçu à cet effet, adapté aux plages de tension de sortie du régulateur et conforme aux normes applicables aux détecteurs de tension; cette vérification d'absence de tension ne doit pas être réalisée au moyen d'un voltmètre; et
- ▶ une vérification d'absence d'intensité doit être réalisée sur le câble, au point d'intervention, soit à l'aide d'une seule pince ampèremétrique de calibre adapté dans le cadre d'un constat de changement d'état en vue d'un repérage du circuit, soit à l'aide de deux pinces ampèremétriques dans les autres cas.

3.3.1.8. UTILISATION D'OUTILS ET D'ÉQUIPEMENTS D'ESSAI ADAPTÉS

Les outils et équipements d'essai doivent être adaptés aux travaux ou à l'intervention à effectuer ainsi qu'aux diverses conditions météorologiques rencontrées sur l'aérodrome. Les équipements d'essais doivent posséder un certificat de vérification en état de validité et être en bon état de fonctionnement. Les dispositifs utilisés pour réaliser une vérification d'absence de tension ou d'intensité doivent être testés avant et après utilisation.

3. PROTECTION DES TRAVAILLEURS INTERVENANT SUR LES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE OU DE BALISAGE

3.3.1.9. UTILISATION D'ÉQUIPEMENTS DE PROTECTION INDIVIDUELLE ET COLLECTIVE

Des Equipements de Protection Individuelle (EPI) et des Equipements de Protection Collective (EPC) conformes aux normes en vigueur doivent être disponibles à tout moment et adaptés au domaine de tension sur lequel l'agent réalise les travaux ou l'intervention.

Pour le remplacement d'une lampe ou d'un feu de balisage d'aérodrome sous tension (opération en basse tension), les équipements suivants doivent a minima être utilisés :

- ▶ une paire de gants isolants en composite de classe électrique 00 et de longueur spéciale de 410 mm,
- ▶ un tabouret bas isolant de classe électrique 00 ou 0,
- ▶ une paire de chaussures isolantes ou de surchaussures isolantes de classe électrique 0,
- ▶ une paire de lunettes anti-ultraviolet (UV),
- ▶ un vêtement de travail, et
- ▶ des outils isolants ou isolés 1000 V.

Les équipements de protection isolants doivent être qualifiés pour être utilisés en milieu mouillé. Les équipements de protection doivent être conformes aux normes applicables en vigueur ou, en l'absence de norme applicable, aux spécifications techniques du fabricant. Dans tous les cas, les procédures d'emploi, d'entretien, de stockage, de vérification et les limites d'utilisation des équipements de protection doivent tenir compte des prescriptions de la notice d'instructions du fabricant. Les classes électriques des équipements de protection en matériau isolant sont explicitées dans le Tableau 4.

Classe électrique	Tension maximale autorisée (Volts)	
	Courant alternatif (Valeur efficace)	Courant continu
00	500	750
0	1000	1500
1	7 500	11 250
2	17 000	25 500
3	26 500	39 750
4	36 000	54 000

Tableau 4: Tension maximale d'utilisation des gants de protection en matériau isolant.

3. PROTECTION DES TRAVAILLEURS INTERVENANT SUR LES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE OU DE BALISAGE

3.3.1.10. PRISE EN COMPTE DES CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES LOCALES

Les procédures d'intervention dans les zones exposées aux conditions météorologiques locales, comme les regards ou les chambres de tirage, doivent prendre en compte les conditions climatiques défavorables. Aucune intervention sur un circuit série de balisage lumineux d'aérodrome ne peut être réalisée en cas d'activité atmosphérique orageuse. Avant toute intervention dans un regard ou une chambre de tirage, l'eau recouvrant les installations électriques doit être évacuée. La pompe doit présenter un indice de protection contre la pénétration d'eau et doit être de classe III.

Le remplacement d'une lampe ou d'un feu de balisage d'aérodrome peut être réalisé sous tension et en atmosphère humide ou mouillée en utilisant les équipements isolants listés à la section 3.3.1.9.

3.3.1.11. ENREGISTREMENT DES TRAVAUX OU DE L'INTERVENTION

Tous travaux ou toute intervention réalisés sur un circuit série de balisage lumineux d'aérodrome doivent être enregistrés dans un journal de bord ou autre type de document approprié. Chaque enregistrement doit être identifié à l'aide d'une référence unique, doit être disponible (ainsi que l'ensemble de la documentation technique associée) et doit comprendre les éléments suivants :

- ▶ la nature des travaux ou de l'intervention,
- ▶ les résultats de toute mesure et de tout essai,
- ▶ les détails de toute réparation ou mesure corrective,
- ▶ la date, et l'horaire (heure, minutes) de début des travaux ou de l'intervention,
- ▶ le nom des personnes ayant réalisé les travaux,
- ▶ la date et l'horaire de fin des travaux ou d'intervention.

Le processus de transmission des informations doit garantir que l'émetteur et le récepteur ont bien compris le message et sont d'accord sur l'opération à exécuter.

3.3.1.12. DÉLIVRANCE D'UNE AUTORISATION DE TRAVAIL

Une autorisation de travail doit être délivrée par le chef d'établissement ou son représentant, préalablement à tous travaux ou toute intervention, à tout agent en charge de travaux électriques ou d'une intervention sur les installations de balisage lumineux d'aérodrome. Elle doit demeurer valide pendant toute la durée des travaux ou de l'intervention. Elle peut être spécifique à une tâche ou commune à un ensemble de tâches.

Dans le cadre du remplacement d'une lampe ou d'un feu de balisage d'aérodrome, l'autorisation de travail doit être délivrée lors de la prise de poste des agents affectés à cette tâche.

3.3.1.13. DÉLIVRANCE D'UN ORDRE DE TRAVAIL

Un ordre de travail spécifique doit être délivré, préalablement à tous travaux ou toute intervention, à tout agent en charge de travaux sous tension ou d'une intervention sur un circuit série primaire de balisage lumineux d'aérodrome.

3. PROTECTION DES TRAVAILLEURS INTERVENANT SUR LES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE OU DE BALISAGE

3.3.2. PROCÉDURES D'INTERVENTION

3.3.2.1. DÉFINITION

Conformément à la réglementation française, le terme « intervention » couvre les « travaux » et les « interventions BT générales » définis par la norme NF C 18-510.

3.3.2.2. MANUEL DE PROCÉDURES D'INTERVENTION

Des fiches de procédure décrivant la méthode d'intervention doivent être réalisées à l'initiative du chef d'établissement ou de son représentant et mises à la disposition de tous les agents intervenant sur les circuits de balisage lumineux. Ces fiches doivent être regroupées dans un manuel. Elles doivent être conformes aux réglementations applicables.

3.3.2.3. EXEMPLES DE PROCÉDURES D'INTERVENTION

3.3.2.3.1. INTERVENTION SUR UN CIRCUIT PRIMAIRE

Toute intervention sur un circuit série primaire de balisage lumineux d'aéroport doit être réalisée après sa consignation électrique et mécanique. Les procédures de sécurité suivantes doivent être respectées avant de débiter l'intervention.

- ▶ Les agents en charge de l'intervention doivent être titulaires de la ou les habilitations électriques requises (cf. section 3.2);
- ▶ Les agents en charge de l'intervention doivent être titulaires d'un ordre de travail.
- ▶ Les agents en charge de l'intervention doivent situer, consulter et analyser la documentation applicable (plans, schémas, notices techniques, fiche(s) de procédure).
- ▶ Les agents en charge de l'intervention doivent situer et identifier les installations électriques liées à l'intervention ainsi que les différents circuits traversant le regard ou la chambre de tirage si l'intervention a lieu dans un regard ou une chambre de tirage, comme indiqué à la section 3.3.1.3.
- ▶ Pour une intervention dans un regard ou une chambre de tirage, la mise hors tension de tous les circuits transitant dans celui ou celle-ci doit être privilégiée. Par ailleurs, toute boucle d'alimentation du balisage lumineux équipée de connecteurs et transitant dans le regard ou la chambre de tirage doit être impérativement consignée. Toutefois, les câbles non équipés de connecteurs et présentant une bonne intégrité physique peuvent être laissés sous tension. Dans ce cas, la procédure d'intervention doit le stipuler et préciser les mesures de sécurité à mettre en place.
- ▶ Les agents en charge de l'intervention doivent situer les outils et les équipements d'essais.
- ▶ Les agents en charge de l'intervention doivent tester les équipements d'essais.

3. PROTECTION DES TRAVAILLEURS INTERVENANT SUR LES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE OU DE BALISAGE

- ▶ Les agents en charge de l'intervention doivent identifier et traiter tout danger potentiel, notamment la présence d'eau dans un regard ou une chambre de tirage, la survenue d'une activité atmosphérique orageuse (cf. section 3.3.1.10) et la présence de câbles d'autres circuits, sous tension et qui pourraient présenter des parties actives accessibles (cf. section 3.3.1.5).
- ▶ Le système de contrôle et de commande des installations électriques objets de l'intervention doit être mis hors service.
- ▶ L'unité d'alimentation basse tension du régulateur doit être consignée.
- ▶ Le circuit série primaire objet de l'intervention doit être consigné et mis à la terre en sortie du régulateur à courant constant, en utilisant des EPI adaptés au domaine de tension (cf. sections 3.3.1.6 et 3.3.1.9).
- ▶ Une vérification d'absence de tension sur le circuit série primaire objet de l'intervention doit être réalisée en sortie du régulateur à courant constant, avec des équipements adaptés au domaine de tension.
- ▶ Une vérification d'absence d'intensité sur le circuit primaire objet de l'intervention doit être réalisée au point d'intervention, à l'aide de deux pinces ampèremétriques. L'intervention doit être réalisée par deux agents (un agent intervenant et un agent assurant la surveillance). Toutefois, après consignation de tous les circuits de balisage lumineux de l'aérodrome, l'intervention peut être réalisée par un agent seul si ce dernier est habilité à travailler seul. Une procédure spécifique d'intervention doit alors, dans ce cas précis, être mise en place par le chef d'établissement ou son représentant.

3.3.2.3.2. REMPLACEMENT D'UNE LAMPE OU D'UN FEU DE BALISAGE D'AÉRODROME

Les agents en charge du remplacement d'une lampe ou d'un feu de balisage d'aérodrome doivent être titulaires d'une autorisation de travail (délivrée lors de la prise de poste) et d'une habilitation spécifique telle que décrite à l'article 3.2.

Une ou des fiches de procédure d'intervention doivent être réalisées par le chef d'établissement ou son représentant pour ce type d'intervention. Le remplacement d'une lampe ou d'un feu de balisage d'aérodrome devrait être réalisé après mise hors tension du ou des régulateurs d'alimentation et après vérification qu'aucune remise sous tension du circuit n'est possible lors de l'intervention.

Pour les installations électriques déjà existantes à la date du présent guide, aucun remplacement de lampe ou de feu de balisage d'aérodrome sous tension ne doit être réalisé si les parties métalliques (embase et partie optique) du feu d'aérodrome ne sont pas reliées à la terre.

Dans le cas où le remplacement d'une lampe ou d'un feu de balisage d'aérodrome est réalisé avec le régulateur sous tension, une analyse de risque doit être réalisée par le chef d'établissement ou son représentant et une fiche de procédure d'intervention doit être mise en place. Dans ce cas, des EPI (gants isolants composites, chaussures ou surchaussures isolantes, lunettes anti-UV) et/ou des EPC (mini-tabouret isolant) et des outils à main isolants ou isolés doivent être mis à disposition des agents de maintenance. Les EPI et les EPC doivent faire l'objet d'une vérification visuelle avant utilisation.

3. PROTECTION DES TRAVAILLEURS INTERVENANT SUR LES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE OU DE BALISAGE

3.3.2.3.3. INTERVENTION SUR LES CIRCUITS DE TERRE

Les circuits de terre des installations électriques ont pour objet de protéger les personnes et les biens, en évacuant les courants de défaut et en limitant les montées en potentiel, notamment en cas de défaut d'isolement, de foudre, d'induction, de courants vagabonds ou de manœuvres.

Par nature, les conducteurs de mise à la terre de protection (conducteurs PE), à l'exception des conducteurs associant à la fois les fonctions de conducteurs de mise à la terre de protection et de conducteurs de neutre (conducteurs PEN), ne sont pas considérés comme des conducteurs actifs. Cependant, ils sont parcourus en permanence par des courants d'intensité variable, qui peuvent être très importants, par exemple en cas d'orage. Ils présentent, de ce fait, des risques de choc électrique, lors des opérations de raccordement, de mesurage ou de maintenance. Pour ces raisons, les opérations réalisées sur un circuit de terre sont considérées comme des interventions d'ordre électrique.

Les opérations de démontage, de raccordement et de mesurage électrique à réaliser sur un circuit de terre sont autorisées sous condition que les agents de maintenance soient dûment formés et habilités.

Des dispositions doivent être respectées afin d'assurer en permanence :

- ▶ l'écoulement des courants soit par l'intermédiaire d'un shunt, soit par connexion avec une prise de terre de section suffisante préalablement identifiée,
- ▶ l'équipotentialité des postes de travail, afin d'éviter notamment que l'opérateur soit simultanément en contact avec deux masses ou deux circuits de terre distincts pouvant présenter une différence de potentiel dangereuse.

Dans le cas des installations électriques, toute opération d'ouverture d'un circuit de terre doit être précédée de la pose d'un shunt capable d'évacuer l'intensité de ce circuit. En cas d'impossibilité de pose de shunt, l'opérateur doit porter des équipements de protection individuelle adaptés et prendre toutes les dispositions nécessaires pour ne pas toucher simultanément deux circuits de terre distincts.

3.3.2.3.4. TRAVAUX SOUS TENSION

Les travaux sous tension ne sont autorisés que sur les circuits secondaires des transformateurs d'isolement des circuits de balisage lumineux, après la conduite préalable d'une analyse de risque électrique et la mise en place de procédures de sécurité adaptées par le chef d'établissement ou son représentant. L'analyse de risque électrique doit se poursuivre pendant toute la durée des travaux sous tension.

Les agents en charge de travaux sous tension doivent posséder une formation spécifique dispensée dans un organisme de formation agréé, avoir reçu un ordre de travail sous tension ainsi qu'une autorisation de travail délivrée par le chef d'établissement ou son représentant.

Des dispositions particulières différentes doivent être respectées pour le remplacement d'une lampe ou d'un feu de balisage d'aérodrome sous tension (cf. section 3.3.2.3.2.).

3. PROTECTION DES TRAVAILLEURS INTERVENANT SUR LES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE OU DE BALISAGE

3.4. PROCÉDURES DE SURVEILLANCE

3.4.1. CAS GÉNÉRAL

Une surveillance rigoureuse des installations d'énergie et de balisage lumineux d'aérodrome, telle que définie dans les sections 5 et 6, doit être mise en place afin d'assurer un niveau de protection optimal des agents en charge de leur maintenance.

3.4.2. CAS PARTICULIER DES CIRCUITS SÉRIE DE BALISAGE LUMINEUX D'AÉRODROME

La surveillance des circuits série de balisage lumineux d'aérodrome doit être assurée par les agents en charge de la maintenance du balisage lumineux. L'enregistrement des différentes actions de surveillance doit être accessible à tout agent intervenant sur ces circuits. La périodicité des différentes actions de surveillance doit être définie par le chef d'établissement ou son représentant. Cette surveillance doit être réalisée en tant que de besoin, et doit assurer, dans les meilleurs délais, la suppression des défauts et des anomalies affectant les circuits de balisage lumineux.

Les différentes actions de surveillance concernent les éléments suivants :

- ▶ les parties actives des circuits afin de garantir la protection des agents contre les contacts directs (cf. section 3.4.2.1),
- ▶ le réseau de liaisons équipotentielles afin de garantir la protection des agents contre les contacts indirects (cf. section 3.4.2.2),
- ▶ la résistance d'isolement des circuits série primaires (cf. section 7.5.1),
- ▶ la résistance de continuité électrique des circuits série primaires (cf. section 7.5.2),
- ▶ la mise à jour des plans et schémas des circuits,
- ▶ l'identification des infrastructures,
- ▶ les connexions HTA des régulateurs à courant constant (cf. section 6.3.1).

3.4.2.1. PROTECTION CONTRE LES CONTACTS DIRECTS

La mise hors de portée des parties actives des régulateurs, des câbles et des feux doit être réalisée.

3. PROTECTION DES TRAVAILLEURS INTERVENANT SUR LES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE OU DE BALISAGE

3.4.2.2. PROTECTION CONTRE LES CONTACTS INDIRECTS

Sur les installations en cours de réalisation à la date de publication du présent guide, toutes les masses métalliques y compris celles des parties optiques des feux encastrés doivent être reliées à un réseau de liaisons équipotentielles de protection. Le câble en cuivre nu du réseau de liaisons équipotentielles doit être lui-même connecté à une borne d'équipotentialité raccordée à la terre locale.

Sur les installations existantes à la date de publication de ce guide, aucun changement de lampe ou de feu de balisage d'aérodrome sous tension ne doit être réalisé si les parties métalliques (embase et partie optique) du feu ne sont pas reliées à la terre.

Une vérification des raccordements à la terre et des liaisons équipotentielles doit être réalisée annuellement par échantillonnage.

3.4.2.3. MESURE DE LA RÉSISTANCE D'ISOLEMENT DES CIRCUITS PRIMAIRES

Une mesure de la résistance d'isolement de chaque circuit série primaire de balisage lumineux doit être réalisée chaque semestre conformément à l'article 6.3.1.4.

La valeur minimale mesurée de la résistance d'isolement ne doit pas être inférieure à la valeur théorique calculée conformément à la méthode décrite en section 7.5.1.2. Dans le cas où la valeur minimale mesurée est inférieure à la valeur théorique calculée, une action de maintenance doit être entreprise. En cas d'impossibilité de remonter la valeur de la résistance d'isolement dans les meilleurs délais, une analyse de risque électrique doit être conduite et une procédure spécifique de sécurité d'intervention doit alors être mise en place par le chef d'établissement ou son représentant.

3. PROTECTION DES TRAVAILLEURS INTERVENANT SUR LES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE OU DE BALISAGE

3.5. VÉRIFICATIONS RÉGLEMENTAIRES OBLIGATOIRES

3.5.1. CAS GÉNÉRAL

Hors du périmètre des opérations de maintenance, des vérifications initiales et périodiques doivent être réalisées par un organisme accrédité par le Comité Français d'Accréditation (COFRAC) ou par un employé qualifié de l'entreprise, répondant aux critères de compétence fixés par l'arrêté du 22 décembre 2011 relatif aux critères de compétence des personnes chargées d'effectuer les vérifications périodiques des installations électriques et de mettre en œuvre les processus de vérification des installations électriques temporaires.

La liste des principaux éléments à examiner et les méthodes de vérification associées sont définies par l'arrêté du 26 décembre 2011 relatif aux vérifications ou processus de vérification des installations électriques ainsi qu'au contenu des rapports correspondants.

3.5.2. CAS PARTICULIER DES CIRCUITS SÉRIE DE BALISAGE LUMINEUX D'AÉRODROME

Compte tenu de la spécificité des circuits série primaires et secondaires de balisage lumineux d'aérodrome, les points listés ci-dessous (extraits du tableau de choix des méthodes de l'arrêté du 26 décembre 2011 relatif aux vérifications ou processus de vérification des installations électriques ainsi qu'au contenu des rapports correspondants) ne sont pas à examiner :

- ▶ en ce qui concerne les conditions générales d'installation :
 - ▶ les coupures d'urgence,
- ▶ en ce qui concerne les protections contre les risques de chocs électriques :
 - ▶ les prises de terre,
 - ▶ les conducteurs de protection et les liaisons équipotentielles,
- ▶ en ce qui concerne les protections contre les risques de brûlures, d'incendie et d'explosion :
 - ▶ les protections contre les surcharges et les courts-circuits,
 - ▶ les pouvoirs de coupure.

4. CONCEPT DE MAINTENANCE

4.1. DÉFINITION

Selon la norme NF X60-000 d'avril 2016 la maintenance désigne l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destiné à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise.

4.2. NORMES APPLICABLES

- ▶ NF EN 13306: Maintenance - Terminologie de la maintenance
- ▶ NF X60-000 (Avril 2016): Maintenance industrielle - Fonction maintenance

4.3. TYPES DE MAINTENANCE

Deux types d'actions de maintenance complémentaires doivent être menés en parallèle.

- ▶ **la maintenance préventive** est destinée à évaluer et/ou atténuer la dégradation et réduire la probabilité de défaillance d'un bien. La maintenance préventive se subdivise elle-même en différents types:
 - ▶ la maintenance systématique, exécutée à intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien;
 - ▶ la maintenance conditionnelle, incluant l'évaluation et l'analyse de l'état réel du bien ainsi que les éventuelles actions de maintenance qui en découlent; et
 - ▶ la maintenance prévisionnelle, découlant de la surveillance continue et de l'analyse de l'état réel du bien (caractéristiques et paramètres significatifs de sa dégradation).
- ▶ **la maintenance corrective** est exécutée après détection d'une panne et est destinée à rétablir un bien dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise. La maintenance corrective est elle-même subdivisée en différents types:
 - ▶ la maintenance corrective différée qui n'est pas exécutée immédiatement après la détection d'une panne, mais est retardée en accord avec des règles de maintenance données; et
 - ▶ la maintenance corrective d'urgence exécutée sans délai après détection d'une panne afin d'éviter des conséquences inacceptables.

Les paragraphes suivants présentent des concepts qui figurent aux sections 1.4.3 et 1.4.4 du Doc 9137 de l'OACI (Manuel des services d'aéroport), 9^{ème} partie (Maintenance).

- ▶ Le concept d'inspection désigne toutes les mesures de vérification et d'évaluation de l'état de fonctionnement d'un élément, y compris les contrôles isolés et les vérifications périodiques. Ces dernières sont effectuées conformément au "plan de maintenance préventive" qui doit définir la préparation et les modalités de la vérification, de même que les mécanismes de compte rendu et d'évaluation des résultats. Sur la base de cette évaluation, l'exploitant détermine s'il faut effectuer des opérations supplémentaires d'entretien ou même des réparations.
- ▶ Le concept d'entretien courant et révision englobe toutes les actions réalisées pour maintenir ou remettre en état de marche une installation ou un appareil. Ces dernières sont effectuées conformément au "plan de maintenance préventive" qui doit préciser la périodicité des opérations d'entretien, la nature de ces opérations et les moyens utilisés pour indiquer que l'installation ou l'appareil est conforme.

4. CONCEPT DE MAINTENANCE

4.4. NIVEAUX DE MAINTENANCE

Selon la norme NF X60-000, les opérations de maintenance peuvent être classifiées par niveaux présentés de manière simplifiée comme suit :

Opérations de maintenance	Niveau de maintenance	Classification AFNOR
Action simple	I	Utilisateur
Opération courante	II	Agent qualifié
Opération « Spécialisée »	III	Technicien qualifié
Intervention spécifique	IV	Technicien ou équipe spécialisée
Rénovation/Reconstruction	V	Constructeur, service ou société spécialisée

Tableau 5: Classification des opérations de maintenance par niveau suivant la norme NF X60-000.

- ▶ **Opérations de maintenance de niveau 1:** Actions simples qui peuvent être effectuées par l'utilisateur/agent, à l'aide d'instructions simples et sans outillage autre que celui intégré au bien.
- ▶ **Opérations de maintenance de niveau 2:** Opérations courantes effectuées par un agent qualifié/technique, avec des procédures détaillées et un outillage léger.
- ▶ **Opérations de maintenance de niveau 3:** Opérations de technicité générale effectuées par un technicien qualifié, avec des procédures complexes et un outillage portatif complexe.
- ▶ **Opérations de maintenance de niveau 4:** Opérations techniques de spécialité effectuées, par un technicien ou une équipe spécialisée, maîtrisant une technique ou technologie particulière, avec des instructions générales ou particulières de maintenance et un outillage portatif spécialisé.
- ▶ **Opérations de maintenance de niveau 5:** Rénovation, reconstruction, remplacement d'une installation, d'un équipement, d'une pièce de structure ou de fonctionnement, selon un processus proche de sa fabrication ou de son assemblage initial.

4. CONCEPT DE MAINTENANCE

4.5. PLAN DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE

Compte tenu de l'impact de l'état des installations d'énergie et de balisage lumineux sur la sécurité des opérations aériennes, les exploitants d'aérodromes doivent mettre en place un plan de maintenance préventive structuré et documenté décrivant les activités, les occurrences, les instructions, les ressources et la durée nécessaire des opérations de maintenance.

Le plan de maintenance préventive doit être structuré et scrupuleusement respecté. Il doit permettre d'atteindre les objectifs suivants :

- ▶ protéger les personnes et les biens, notamment assurer la sécurité des agents de maintenance,
- ▶ éviter toute perte de capacité d'exploitation, assurer la continuité des opérations aériennes, maintenir la qualité de service requise (contractuellement ou réglementairement) et garantir la satisfaction des usagers,
- ▶ améliorer la fiabilité et le rendement des installations, anticiper et empêcher leurs éventuelles pannes, garantir leur utilisation à long terme, par la surveillance de leur état,
- ▶ diminuer les coûts de maintenance,
- ▶ optimiser la gestion des stocks et des achats de pièces de remplacement, et
- ▶ synthétiser les instructions de maintenance.

L'objectif principal du plan de maintenance préventive des installations électriques et de balisage lumineux de l'aérodrome est leur maintien dans un état qui ne porte pas atteinte à la sécurité des opérations aériennes.

Par ailleurs, le plan de maintenance préventive doit être établi après analyse (audit) des installations, de la politique de maintenance et des objectifs de sécurité de l'aérodrome. Il doit être adapté à la complexité et à la quantité d'installations et aux moyens humains et financiers de l'aérodrome permettant d'en assurer le suivi. Il doit être mis à jour régulièrement. Il doit être intégré dans un contrat de maintenance dans le cas d'une sous-traitance des opérations de maintenance.

Divers outils et méthodes peuvent être utilisés pour son élaboration : la technique d'évaluation et d'examen de programmes « Program Evaluation and Review Technic » (PERT), le diagramme de Gantt, la Méthode d'Evaluation des Risques Industriels des Dysfonctionnements des Equipements (MERIDE), Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC), etc. Par ailleurs, les logiciels de Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur (GMAO) sont spécialement conçus pour assister les agents de maintenance dans leurs activités.

5. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE DES AÉRODROMES

5.1. CONCEPTION DU RÉSEAU DE DISTRIBUTION ÉLECTRIQUE

Quel que soit l'opérateur, l'énergie électrique est distribuée aux clients, en règle générale, à deux grandeurs de tension :

- ▶ HTA (20 000 V) ;
- ▶ BT (240/410 V).

Suivant sa consommation en énergie et le niveau de sûreté de fonctionnement souhaité, l'architecture du réseau de distribution électrique d'un aéroport peut varier du plus simple au plus élaboré.

5.1.1. DISTRIBUTION ÉLECTRIQUE EN BASSE TENSION (BT)

Les aéroports ne nécessitant pas une consommation électrique trop importante sont, en règle générale, alimentés en basse tension. Les coûts d'entretien et les besoins en main-d'œuvre qualifiée sont, dans ce cas, très nettement réduits.

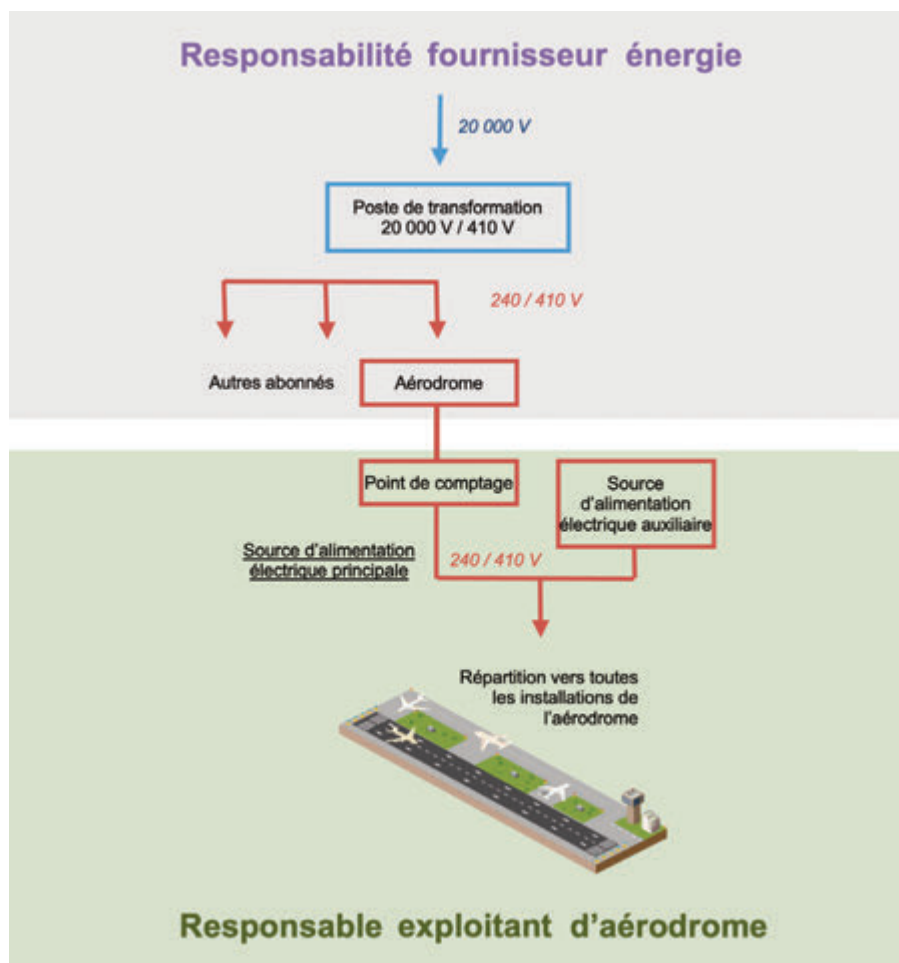


Figure 5: Exemple de réseau de distribution électrique sur un aéroport alimenté en basse tension.

5. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE DES AERODROMES

5.1.2. DISTRIBUTION ÉLECTRIQUE EN HAUTE TENSION (HTA)

Comme toutes les entreprises industrielles ou tertiaires, les aéroports atteignant une certaine consommation électrique sont, en règle générale, alimentés par une ou plusieurs sources haute tension 20 kV (HTA).

Ainsi, les aéroports concernés ne sont pas limités en puissance et bénéficient d'une tarification plus économique. Ils peuvent en outre choisir leur schéma de liaison du neutre à la terre.

Sur les aéroports très étendus, un réseau interne de distribution HTA (5,5 kV à 20 kV) est généralement mis en place. L'alimentation de chaque installation électrique est alors effectuée par un poste de transformation HTA/BT disposé au plus près des éléments consommateurs d'énergie et contenant les appareils indispensables à leur bon fonctionnement.

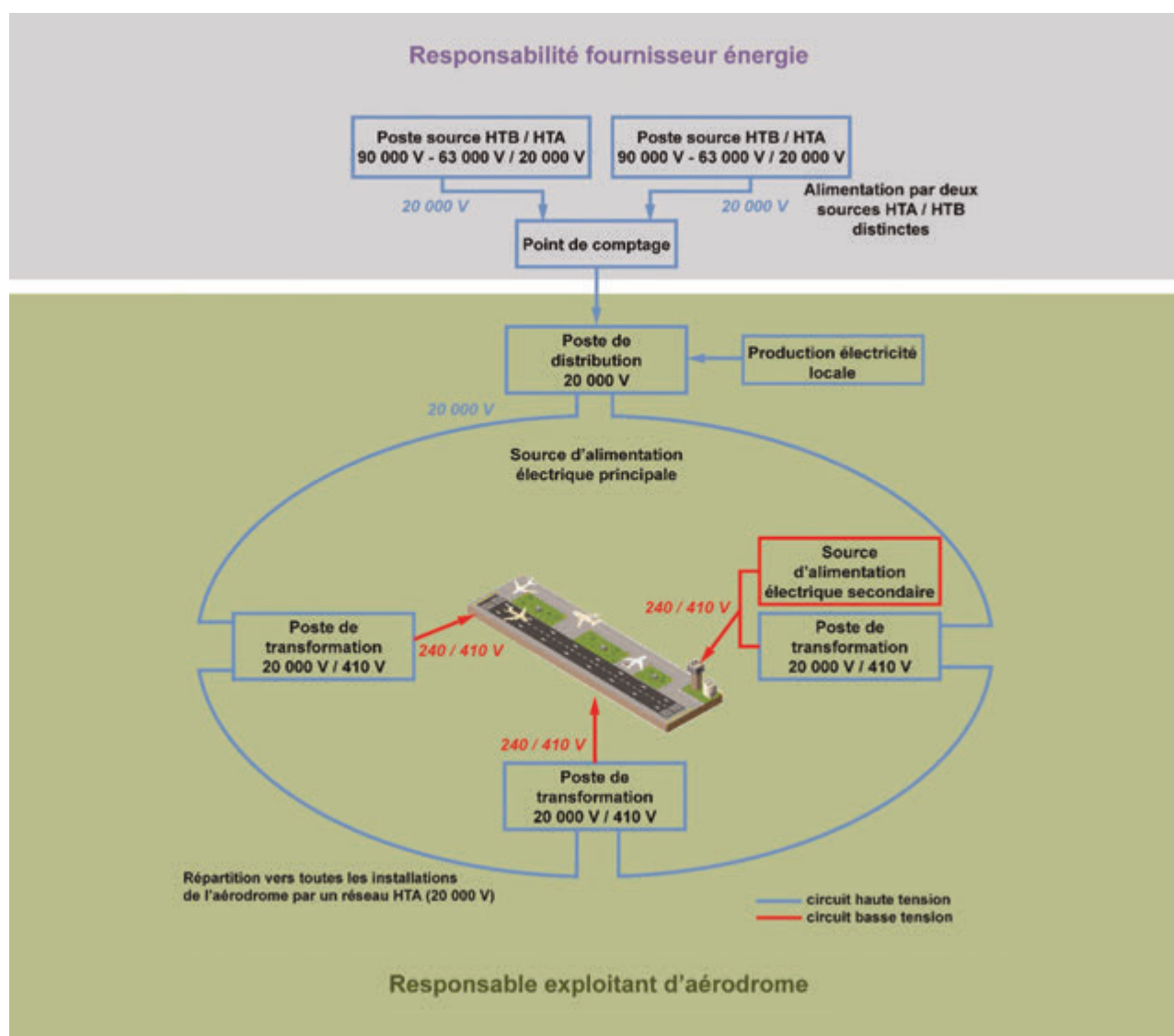


Figure 6: Exemple de réseau de distribution électrique sur un aéroport alimenté en haute tension.

5. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE DES AERODROMES

Différents types de connexion entre le poste de transformation HTA/BT et le réseau interne de distribution en HTA sont possibles. Voici les plus courantes :

- ▶ le **raccordement en antenne**: le poste de transformation HTA/BT est raccordé au réseau interne de distribution en HTA au moyen d'une seule canalisation;
- ▶ le **raccordement en boucle (ou coupure d'artère)**: le poste de transformation HTA/BT est inséré en série sur un départ HTA;
- ▶ le **raccordement en double dérivation**: le poste de transformation HTA/BT est raccordé au réseau interne de distribution en HTA par deux câbles posés en parallèle, l'un de travail et l'autre de secours, chacun de ces câbles étant en dérivation sur l'artère qui l'alimente, ce qui permet d'assurer une très bonne continuité de service.

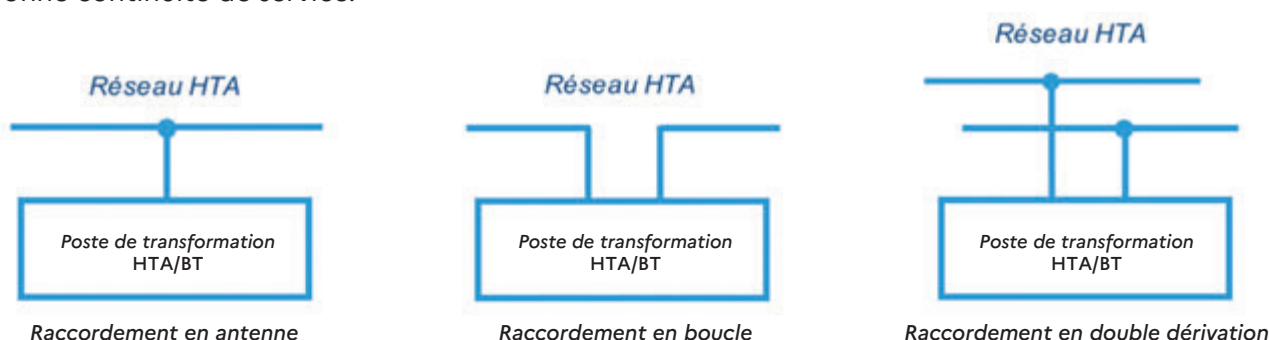


Figure 7 : Différents types de connexion entre le poste de transformation HTA/BT et le réseau interne de distribution en HTA.



Figure 8 : Réseau interne de distribution interne en HTA – Aéroport de Nice.

5. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE DES AÉRODROMES

5.2. EXIGENCES FONCTIONNELLES

5.2.1. CONCEPTION DES SYSTÈMES D'ALIMENTATION ÉLECTRIQUE

Les systèmes d'alimentation électrique des aides visuelles et des aides de radionavigation des aérodromes doivent être conçus et réalisés de telle manière qu'en cas de panne d'équipement, il ne soit pas donné d'indications visuelles et non visuelles inadéquates ou trompeuses aux pilotes.

La sécurité de l'exploitation d'un aérodrome dépend de la qualité de l'alimentation électrique. L'ensemble des systèmes d'alimentation électrique peut comprendre des connexions à une ou plusieurs sources d'énergie extérieures et à un ou plusieurs générateurs locaux.

L'aérodrome doit disposer d'une source d'alimentation électrique principale (= source normale) appropriée permettant d'assurer la sécurité du fonctionnement des installations de la navigation aérienne. Une source d'alimentation électrique auxiliaire (= source de secours) peut être fournie afin d'assurer la continuité de l'alimentation électrique en cas de panne de la source principale d'alimentation électrique ou de perturbation en tension ou en fréquence.

5.2.2. DÉLAI DE COMMUTATION

5.2.2.1. DÉFINITION

Le délai de commutation concerne uniquement l'alimentation électrique des feux de balisage lumineux d'aérodrome.

Le délai de commutation correspond à l'intervalle de temps nécessaire pour que l'intensité lumineuse d'un feu, mesurée dans une direction donnée, baisse au-dessous de 50 % et revienne à 50 % de sa valeur initiale, pendant un passage d'une source d'énergie à une autre.

Le délai de commutation dépend donc des durées suivantes :

- ▶ le temps de détection et de traitement de la panne de la source normale d'alimentation électrique,
- ▶ le délai de disponibilité de la source d'alimentation électrique auxiliaire,
- ▶ le temps de transfert de la source normale d'alimentation électrique vers la source d'alimentation électrique de secours,
- ▶ le temps de redémarrage de l'unité d'alimentation électrique (CCR, générateur de tension, ...) du feu de balisage lumineux,
- ▶ le temps de rallumage du feu de balisage lumineux.

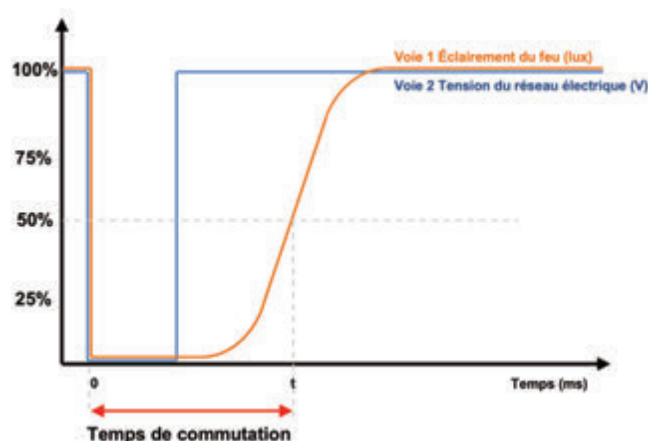


Figure 9: Délai de commutation.

5. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE DES AÉRODROMES

5.2.2.2. EXIGENCES RÉGLEMENTAIRES SELON LES CONDITIONS D'EXPLOITATION DE LA PISTE

5.2.2.2.1. RÉFÉRENTIEL RÉGLEMENTAIRE FRANÇAIS (ARRÊTÉ CHEA)

Conditions d'exploitation de la piste		Approche classique	Approche de précision, catégorie I		Approche de précision, catégorie II ou III	Piste réservée aux décollages	
			RVR \geq 800 m	550 m \leq RVR < 800 m		RVR < 800 m (nuit) ou RVR < 400 m (jour)	RVR \geq 800 m (nuit) ou RVR \geq 400 m (jour)
Aides visuelles lumineuses	Derniers 420 m du dispositif lumineux d'approche	15 s si installés	15 s si installés	15 s	1 s	-	-
	Autres parties du dispositif lumineux d'approche				15 s		
Feux de bord, seuil ou extrémité de piste		15 s	15 s	1 s	1 s	1 s	15 s
Feux d'axe de piste		15 s si installés	15 s si installés		1 s	1 s	15 s si installés
Feux de zone de toucher des roues		15 s si installés	15 s si installés		1 s	-	-
Feux de voie de sortie rapide		15 s si installés	15 s	1 s	1 s	-	-
Panneaux d'obligation		15 s	15 s	1 s	1 s	1 s	15 s
Feux de barre d'arrêt		-	-	-	1 s	1 s	15 s

Tableau 6: Délai de commutation exigé par la réglementation française (arrêté CHEA) pour les aides visuelles de balisage lumineux, selon les conditions d'exploitation de la piste.

Note :

L'ensemble des autres aides visuelles lumineuses (feux d'identification du seuil de piste, PAPI, panneaux d'indication, feux de protection de piste, feux de voie de circulation autres que feux de voie de sortie rapide, feux de balisage d'obstacle) doivent satisfaire à un délai de commutation inférieur à 15 secondes quelles que soient les conditions d'exploitation de la piste.

5. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE DES AERODROMES

5.2.2.2. RÉFÉRENTIEL RÉGLEMENTAIRE DE L'AESA

Aides visuelles lumineuses		Conditions d'exploitation de la piste	Approche classique	Approche de précision, catégorie I	Approche de précision, catégorie II ou III	Piste réservée aux décollages	
						RVR < 800 m	RVR ≥ 800 m
Feux du dispositif lumineux d'approche	Demiers 300 m du dispositif lumineux d'approche		15 s	15 s	1 s	-	-
	Autres parties du dispositif lumineux d'approche				15 s		
PAPI			15 s ⁽¹⁾⁽²⁾	15 s ⁽¹⁾⁽²⁾	-	-	-
Feux de bord de piste			15 s ⁽²⁾	15 s ⁽²⁾	15 s	1 s en l'absence de feux d'axe de piste 15 s sinon	Aussi court que possible
Feux de seuil de piste			15 s ⁽²⁾	15 s ⁽²⁾	1 s	1 s	Aussi court que possible
Feux d'extrémité de piste			15 s ⁽²⁾	15 s	1 s	1 s	Aussi court que possible
Feux d'axe de piste			-	-	1 s	1 s	Aussi court que possible
Feux de zone de toucher des roues			-	-	1 s	-	-
Panneaux et feux de voie de circulation essentielle			-	15 s ⁽¹⁾	15 s	15 s ⁽¹⁾	Aussi court que possible
Feux de barre d'arrêt			-	-	1 s	1 s	Aussi court que possible

Tableau 7 : Délai de commutation exigé par la réglementation AESA pour les aides visuelles lumineuses de balisage lumineux, selon les conditions d'exploitation de la piste.

(1) Dotés d'une source d'alimentation électrique auxiliaire si leur fonctionnement est indispensable à la sécurité des vols

(2) Une seconde en cas d'approche réalisée au-dessus d'un terrain dangereux ou escarpé.

5. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE DES AÉRODROMES

5.3. MOYENS DE CONFORMITÉ

5.3.1. CONCEPTION DES SYSTÈMES D'ALIMENTATION

L'alimentation électrique principale peut être assurée par une ou plusieurs lignes du réseau public, par une centrale autonome de production, ou par une combinaison des deux.

L'alimentation électrique auxiliaire peut être assurée par :

- ▶ un ou plusieurs groupes électrogènes,
- ▶ des batteries d'accumulateurs elles-mêmes secourues dans le cas d'installations nécessitant une continuité impérative de l'alimentation électrique,
- ▶ une ligne supplémentaire du réseau public dont l'indépendance vis-à-vis de la source d'alimentation électrique principale doit être garantie par le ou (les) fournisseur(s), ou
- ▶ une combinaison des différentes sources d'alimentation électrique auxiliaire listées précédemment.

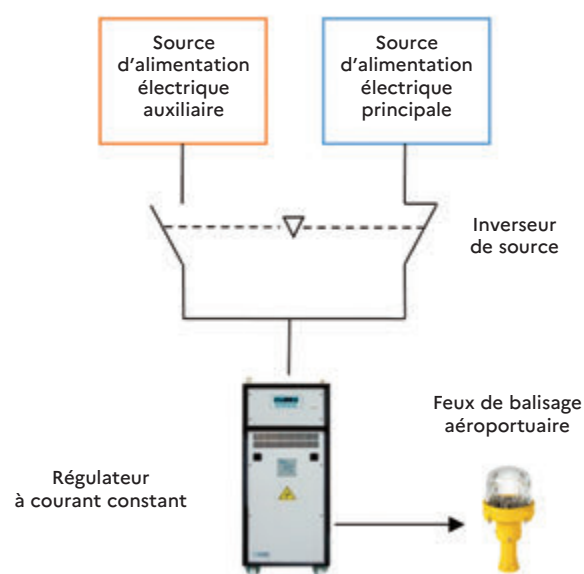


Figure 10: Schéma fonctionnel d'un système d'alimentation électrique du balisage lumineux comportant une source auxiliaire.

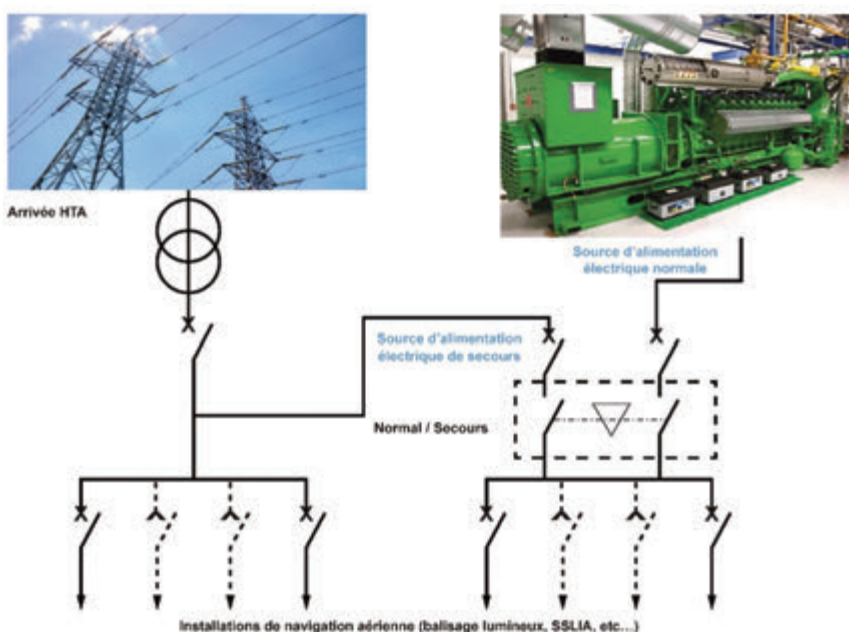


Figure 11: Exemple de réseau d'alimentation électrique pour les installations de navigation aérienne d'un aéroport.

Les sources d'alimentation électrique normale et auxiliaire peuvent ainsi combiner les sources suivantes :

- ▶ une source du réseau public et une source locale (groupe électrogène ou autre),
- ▶ deux sources du réseau public sous réserve qu'elles soient alimentées par deux postes (source distincte), via deux réseaux différents,
- ▶ deux sources locales (groupes électrogènes ou autre).

5. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE DES AÉRODROMES

5.3.2. DÉLAI DE COMMUTATION

Quelle que soit l'option choisie, le délai maximal de commutation doit satisfaire aux exigences applicables dépendant des conditions d'exploitation de la piste.

Quand le délai de commutation est trop long, il peut être réduit via plusieurs méthodes afin d'assurer la continuité des opérations aériennes sur l'aérodrome, en cas de conditions météorologiques dégradées.

5.3.2.1. UTILISATION DU MODE « SECOURS INVERSÉ »

Lorsque la source d'alimentation électrique auxiliaire est de type groupe électrogène, la durée de démarrage du groupe électrogène ne permet pas de respecter un délai de commutation d'une seconde. En conséquence, lorsque les conditions de visibilité nécessitent un délai de commutation inférieur à une seconde ou en cas de doute sur la fiabilité de la source d'alimentation électrique principale, le contrôleur aérien peut éventuellement actionner le mode de fonctionnement appelé « secours inversé ».

Dans ce cas, le groupe électrogène démarre, prend en charge l'alimentation électrique du balisage lumineux et devient la source normale. La source auxiliaire est alors assurée par le réseau public. En l'absence de la durée de démarrage du groupe électrogène et grâce à la rapidité de basculement des contacteurs de l'inverseur de source automatique, le délai de commutation est alors considérablement réduit.

5.3.2.2. UTILISATION D'INVERSEURS DE SOURCES STATIQUES

Contrairement aux inverseurs de source dynamiques équipés de contacts mobiles commandés par des bobines et des systèmes à ressorts et tringleries, les inverseurs de source statiques utilisent des composants électroniques (semi-conducteurs de puissance). La durée de transfert de source d'alimentation électrique peut ainsi être réduite à la période d'une onde sinusoïdale de fréquence 50 Hz (soit 20 ms).

5.3.2.3. UTILISATION D'UNE ALIMENTATION SANS INTERRUPTION (ASI)

Étant capable de fournir un courant alternatif sans interruption quoiqu'il se produise sur le réseau d'alimentation électrique, une ASI permet de s'affranchir de toute coupure ou microcoupure d'alimentation électrique.

Une ASI comprend et met en cascade les dispositifs suivants :

- ▶ un redresseur convertissant le courant alternatif d'alimentation en courant continu,
- ▶ un dispositif de stockage d'énergie (batteries d'accumulateurs, supercondensateurs, bobines supraconductrices, volant d'inertie, moteur ou machine à inertie, gaz comprimé, etc.),
- ▶ un onduleur, convertissant le courant continu issu du dispositif de stockage d'énergie en courant alternatif.

En fonctionnement nominal, une ASI emmagasine de l'énergie : le redresseur charge le dispositif de stockage d'énergie tandis que le balisage lumineux et le redresseur sont alimentés par la source principale. En cas de dysfonctionnement de courte durée de la source principale, l'énergie stockée est restituée : le balisage lumineux est alimenté par l'onduleur qui est lui-même alimenté par le dispositif de stockage d'énergie.

5. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE DES AÉRODROMES

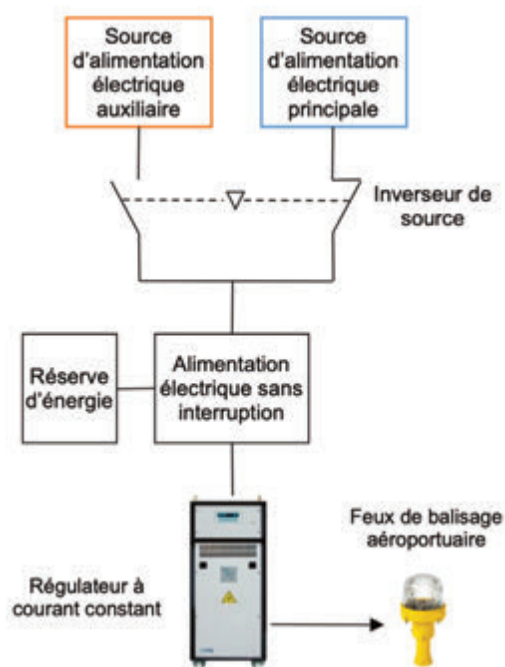


Figure 12: Schéma fonctionnel d'un système d'alimentation électrique du balisage lumineux d'aérodrome comportant une ASI.

Il existe également des ASI à double conversion qui comprennent un commutateur de dérivation automatique transférant la charge à une autre source d'alimentation électrique en cas de dysfonctionnement interne de l'ASI.

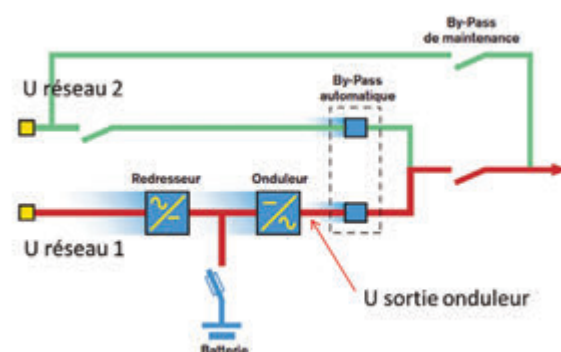


Figure 13: Schéma fonctionnel d'une ASI statique à double conversion.

5.3.2.4. UTILISATION D'UNE ASI DYNAMIQUE HYBRIDE (SYSTÈME NO-BREAK)

Étant capable de fournir un courant alternatif sans interruption et adapté aux charges sensibles aux perturbations électriques, une ASI dynamique hybride permet de s'affranchir de toute coupure ou microcoupure d'alimentation électrique et de toute perturbation électrique.

Le courant délivré par une ASI dynamique hybride est de très grande qualité (régulé en tension et sans perturbations harmoniques) et peut, en conséquence, être utilisé pour alimenter des installations sensibles aux perturbations électriques.

À la différence des autres ASI, une ASI dynamique hybride intègre un onduleur, un volant d'inertie (accumulateur d'énergie cinétique), un ensemble moteur-générateur et une alimentation électrique auxiliaire (généralement un générateur entraîné par un moteur diesel).

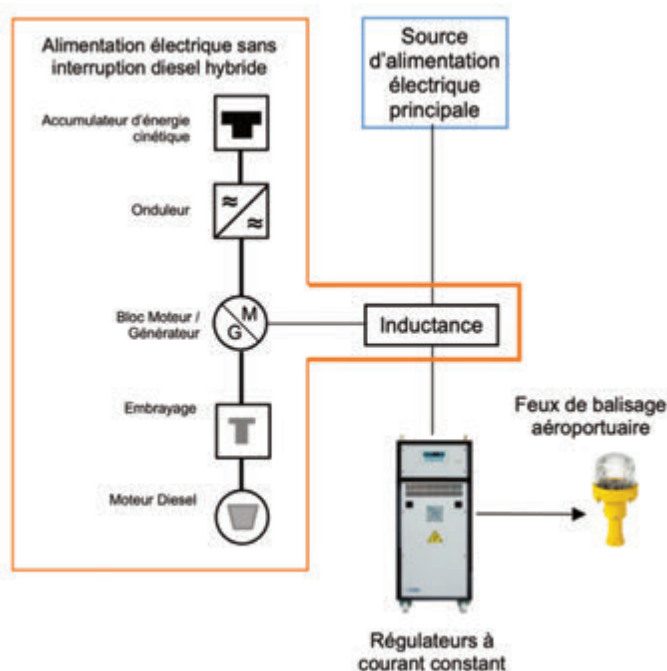


Figure 14: Schéma fonctionnel d'un système d'alimentation électrique du balisage lumineux d'aérodrome comportant une ASI dynamique hybride diesel

5. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE DES AERODROMES

L'ensemble moteur-générateur est connecté à la source principale d'alimentation électrique via une inductance. Il absorbe les perturbations harmoniques induites par la charge et fournit à la charge un signal parfaitement sinusoïdal. Certaines ASI dynamiques hybrides disposent d'un ensemble moteur-générateur à enroulements séparés, incorporés dans un même stator et excités par un même rotor.

En mode de fonctionnement normal, le balisage lumineux ainsi que l'ensemble moteur-générateur sont alimentés par la source principale d'alimentation électrique tandis que le volant d'inertie stocke de l'énergie cinétique.

En cas de panne de la source principale d'alimentation électrique, le balisage lumineux est alimenté par l'ensemble moteur-générateur qui est lui-même alimenté par l'un des deux dispositifs suivants :

- ▶ l'accumulateur d'énergie cinétique, dans le cas d'une microcoupure, ou
- ▶ le moteur diesel, dans le cas d'une coupure plus longue (de l'ordre de plusieurs secondes).

En cas de dysfonctionnement interne de l'ASI dynamique hybride, un commutateur de dérivation automatique transfère la charge à la source principale d'alimentation électrique.



Figure 15: ASI dynamique hybride diesel avec accumulateur d'énergie cinétique (Source: HITEC Power Protection).

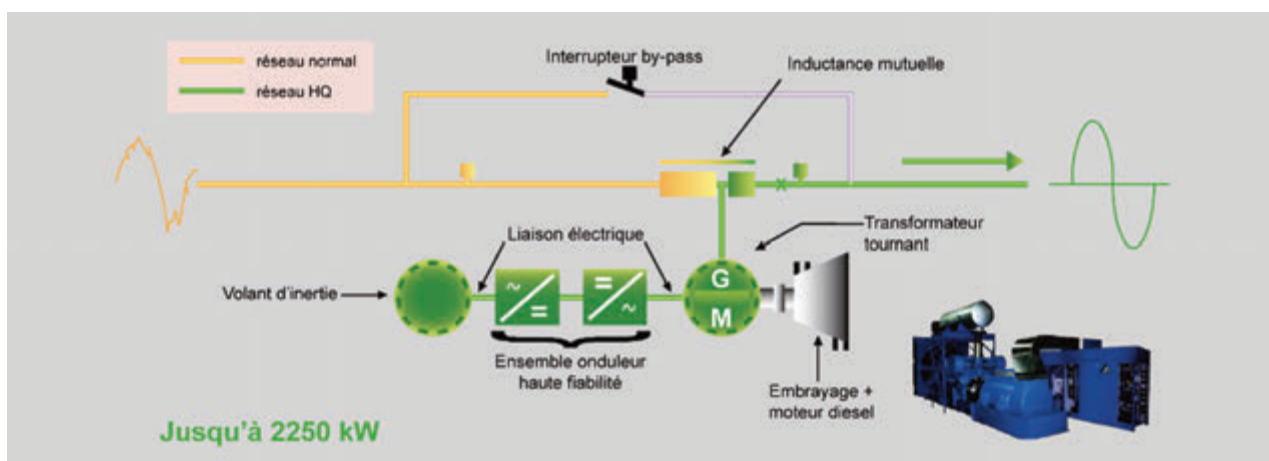


Figure 16: Schéma fonctionnel d'une ASI dynamique hybride diesel avec accumulateur d'énergie cinétique (Source: Piller).

5. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE DES AÉRODROMES

5.4. OPÉRATIONS DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE RECOMMANDÉES

Deux récapitulatifs des opérations de maintenance préventive recommandées pour les installations d'énergie d'un aérodrome sont fournis en section 7.6 (un récapitulatif par type d'installation et un récapitulatif par périodicité).

5.4.1. LOCAUX ÉLECTRIQUES

5.4.1.1. GÉNÉRALITÉS

Pour des installations électriques étendues, la distribution du réseau électrique peut être répartie dans plusieurs locaux électriques (postes de distribution électrique, locaux pour les régulateurs, etc.) alimentés en HTA ou en BT.

Afin d'assurer la fiabilité des installations de balisage lumineux, les équipements électriques installés dans les locaux électriques devraient fonctionner dans un environnement sec et propre, en respectant les conditions de température et d'hygrométrie définies par les constructeurs.

La configuration des locaux électriques devrait être rationnelle et fonctionnelle et devrait garantir des conditions de sécurité suffisantes et adaptées aux agents de maintenance intervenant sur ces installations électriques en cas de panne.



Figure 17: Poste électrique pour l'alimentation des dispositifs de balisage lumineux – Aéroport de Paris Orly.

5. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE DES AÉRODROMES

5.4.1.2. CAHIER DE SUIVI

Les actions de maintenance (préventives et correctives) devraient être consignées dans un cahier de suivi (un par local électrique) ou dans la GMAO. Ce cahier de suivi devrait permettre de tracer de manière synthétique toutes les interventions exécutées dans le local électrique et devrait, pour toute intervention, contenir au minimum les informations suivantes :

- ▶ la date et l'heure d'entrée
- ▶ les noms et signatures de l'ensemble des personnes présentes,
- ▶ la raison de la visite,
- ▶ une description sommaire de l'intervention,
- ▶ les références de l'intervention s'il s'agit d'une intervention programmée,
- ▶ l'heure de sortie.



Figure 18: Poste électrique pour l'alimentation électrique des dispositifs de balisage lumineux – Aéroport de Toulouse Blagnac.

5. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE DES AERODROMES

5.4.1.3. POINTS DE CONTRÔLE

Les points suivants devraient être vérifiés visuellement dans un local électrique pour atteindre l'objectif défini à la section 5.4.1.1 :

- ▶ l'état général :
 - ▶ la propreté du sol, des murs, etc.,
 - ▶ l'étanchéité : absence d'infiltration d'eau et absence d'écoulement d'eau sur les appareils électriques,
 - ▶ la ventilation et/ou la climatisation,
 - ▶ l'absence de matériels encombrant les allées, et
 - ▶ l'absence de rongeurs ou d'oiseaux,
- ▶ la disponibilité et la mise à jour de la documentation :
 - ▶ les schémas et synoptiques des installations,
 - ▶ les étiquettes d'identification des équipements,
 - ▶ le cahier de suivi des interventions de maintenance,
- ▶ la disponibilité et la conformité aux normes applicables des EPI,
- ▶ le rangement approprié et l'accessibilité des pièces de rechange,
- ▶ l'état général des caniveaux et la présence obligatoire de plaques de couverture,
- ▶ le bon fonctionnement du dispositif d'éclairage autonome de secours.

D'autres équipements de sécurité (détecteurs d'incendie, détecteurs de fuite sur citerne, détecteurs d'intrusion, extincteurs, etc.) doivent être vérifiés mais n'entrent pas dans le champ d'application du présent guide.

5.4.1.4. PÉRIODICITÉ

Un examen visuel semestriel devrait être réalisé sur les différents points listés précédemment pour un local électrique. Cette périodicité devrait être adaptée aux modifications éventuelles apportées aux infrastructures du local électrique ou à la présence ou non de machines thermiques (groupes électrogènes ou autres). Un contrôle visuel global du local électrique devrait être réalisé par les agents de maintenance à chaque intervention dans ce dernier.

5. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE DES AÉRODROMES

5.4.2. CELLULES HT ET RÉSEAUX HT

5.4.2.1. GÉNÉRALITÉS

Les postes de distribution HTA ou de transformation HTA/BT sont équipés de cellules préfabriquées remplissant chacune une fonction distincte (arrivée, sectionnement, protection HT, protection BT, etc.).

Chaque cellule peut être dotée de sectionneurs, interrupteurs-sectionneurs, disjoncteurs, contacteurs, fusibles, etc.



Figure 19: Poste HTA – Aéroport de Marseille.

5.4.2.2. NORMES APPLICABLES

- ▶ NF C13-100 (Avril 2015): Postes de livraison alimentés par un réseau public de distribution HTA (jusqu'à 33 kV)
- ▶ NF C13-200 (Juin 2018): Installations électriques à haute tension pour les sites de production d'énergie électrique, les sites industriels, tertiaires et agricoles
- ▶ NFC15-100 (Juin 2005): Installations électriques à basse tension

5. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE DES AERODROMES

5.4.2.3. LISTE DES OPÉRATIONS DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE

Le programme de maintenance préventive des cellules HT et réseaux HT devrait comporter les opérations suivantes :

- ▶ les opérations périodiques de maintenance préventive autres que les opérations de niveau I, II, III ou IV
 - ▶ test des cycles d'ouverture et de fermeture des sectionneurs et des disjoncteurs,
 - ▶ inspection visuelle des conditions ambiantes d'exploitation (température, hygrométrie, ventilation, etc.)

- ▶ les opérations de maintenance préventive de niveau I, II, III ou IV :
 - ▶ identification des différents réseaux,
 - ▶ dépoussiérage,
 - ▶ contrôle visuel (points de rouille),
 - ▶ contrôle du serrage des connexions,
 - ▶ contrôle, nettoyage et lubrification des pinces d'embrochage,
 - ▶ contrôle des verrouillages,
 - ▶ contrôle du bon fonctionnement, nettoyage et lubrification des organes de commande et de manœuvre,
 - ▶ remplacement des pièces d'usure,
 - ▶ mesure des temps d'ouverture/fermeture,
 - ▶ vérification de la simultanéité des contacts,
 - ▶ mesure des résistances de contact,
 - ▶ contrôle des niveaux d'huile ou pression SF6,
 - ▶ vérification des relais de protection,
 - ▶ vérification et essai des signalisations électriques,
 - ▶ etc.

5.4.2.4. PÉRIODICITÉS DES OPÉRATIONS DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE

La périodicité des opérations de maintenance préventive des cellules HT et des réseaux HT devrait être définie conformément aux préconisations du constructeur. Les opérations de maintenance préventive de niveau I, II, III ou IV devraient être réalisées tous les trois ans et les autres opérations périodiques de maintenance préventive, annuellement.

5. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE DES AERODROMES

5.4.3. TRANSFORMATEURS

5.4.3.1. GÉNÉRALITÉS

Le transformateur fait partie des équipements les plus importants et critiques d'une installation électrique. En cas de panne d'un transformateur, les répercussions peuvent être très importantes (coupure du système d'alimentation électrique de tout ou partie de l'installation électrique, incendie, etc.).

Étant notamment très sensible à la foudre, aux surtensions, aux températures élevées, au vieillissement des composants et à la pollution, sa maintenance est une nécessité pour la sécurité et la continuité de l'exploitation de l'aérodrome.

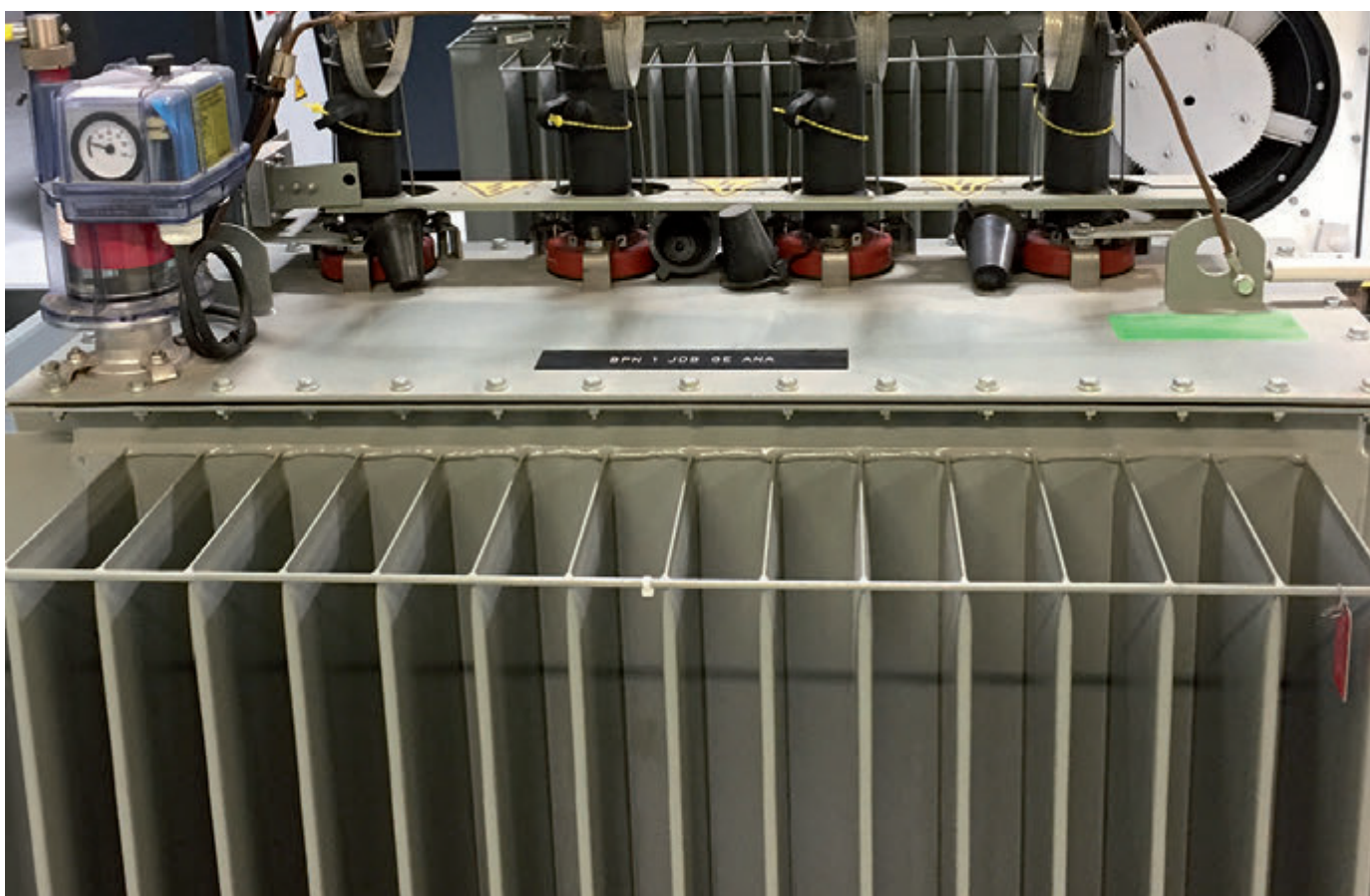


Figure 20: Transformateur BT/HTA – Aéroport de Nice.

5. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE DES AERODROMES

5.4.3.2. LISTE DES OPÉRATIONS DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE

Le programme de maintenance préventive des transformateurs devrait comporter les opérations suivantes (de niveau I, II, III ou IV) :

- ▶ nettoyage général,
- ▶ pour les transformateurs à huile, contrôle visuel de l'absence de fuites,
- ▶ contrôle visuel de l'absence de rouille,
- ▶ contrôle du serrage des connexions,
- ▶ contrôle des liaisons équipotentielles,
- ▶ contrôle des verrouillages,
- ▶ recherche de points chauds dus à une mauvaise connexion, une surcharge ou un déséquilibre de phases,
- ▶ vérification des protections,
- ▶ mesure de la résistance d'isolement,
- ▶ mesure des rapports de transformation,
- ▶ mesure du facteur de puissance (diagnostic des isolants afin de prévenir un éventuel défaut),
- ▶ contrôle du niveau d'huile,
- ▶ remplacement des joints (cuve, passe-barres, bornes embrochables, etc.),
- ▶ analyse de l'huile.

5.4.3.3. PÉRIODICITÉS DES OPÉRATIONS DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE

La périodicité des opérations de maintenance préventive des transformateurs devrait être réalisée conformément aux préconisations du constructeur. Les opérations de maintenance préventive de niveau I, II, III ou IV devraient être réalisées tous les trois ans.

5. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE DES AÉRODROMES

5.4.4. GROUPES ÉLECTROGÈNES

5.4.4.1. GÉNÉRALITÉS

Compte tenu de l'importance d'une source d'alimentation électrique auxiliaire pour maintenir l'exploitation de l'aérodrome quelles que soient les conditions de visibilité, un entretien régulier des groupes électrogènes doit être réalisé. Il contribue à rallonger leur durée de vie tout en assurant leur disponibilité et leur bon fonctionnement.

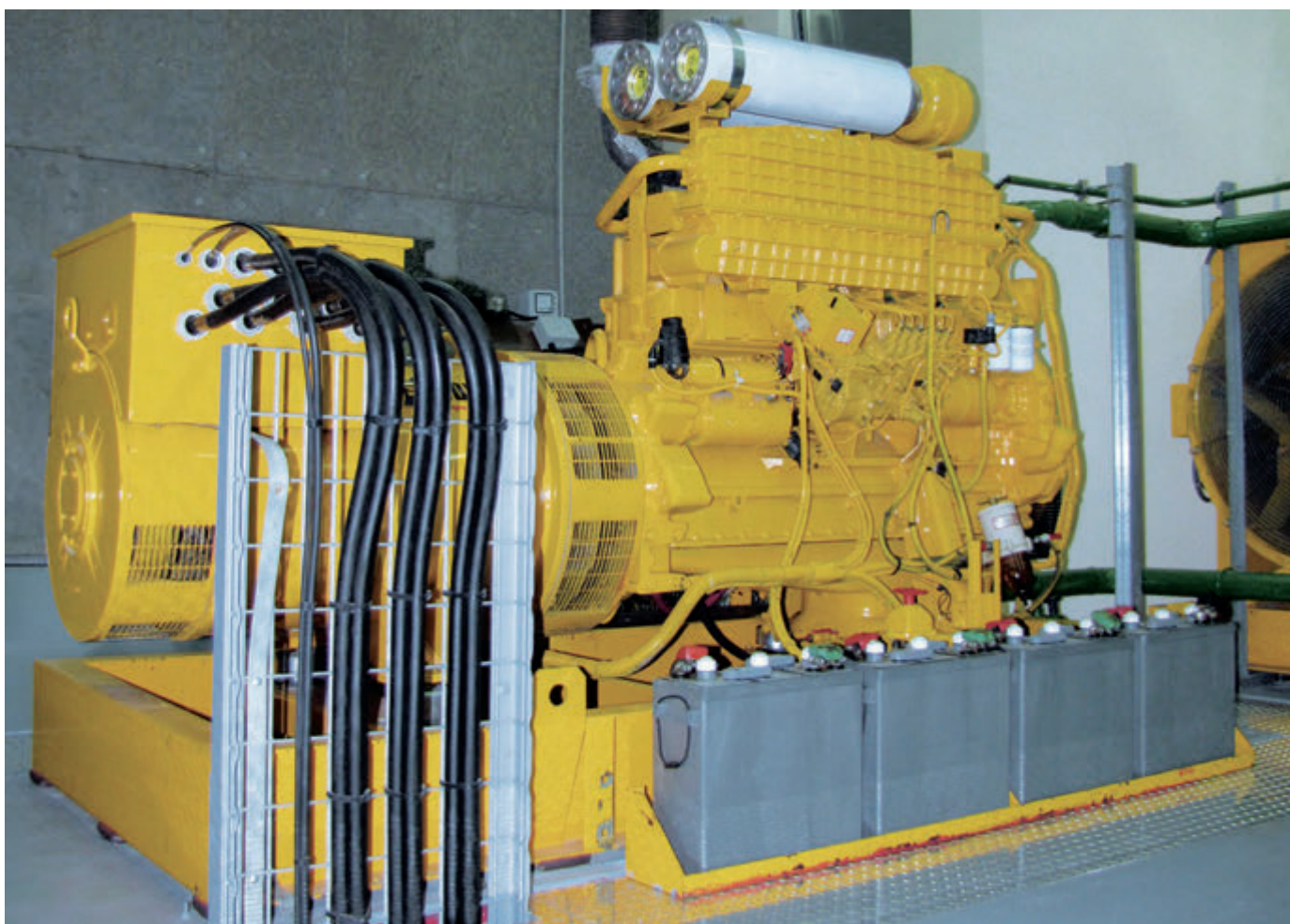


Figure 21: Groupe électrogène 400 kV.A – Aérodrome de Saint Pierre.

5. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE DES AERODROMES

5.4.4.2. LISTE DES OPÉRATIONS DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE

Le programme de maintenance préventive du groupe électrogène devrait comporter a minima les opérations suivantes :

- ▶ vérification de l'état général,
- ▶ vérification, à l'aide d'une clef dynamométrique, des couples de serrage des connexions des équipements électriques,
- ▶ vérification de l'état de charge de la batterie,
- ▶ vérification du niveau de l'électrolyte,
- ▶ nettoyage des bornes de la batterie,
- ▶ vérification du circuit d'air comprimé (compresseur, fut sous pression, conduites) si démarrage pneumatique,
- ▶ vérification de l'état des équipements électriques,
- ▶ nettoyage des relais et des contacteurs,
- ▶ essai de fonctionnement en conditions réelles d'exploitation avec les installations de balisage lumineux en service au niveau maximal de brillance.

Le programme de maintenance préventive du moteur diesel d'un groupe électrogène devrait comporter les opérations suivantes (liste non exhaustive, donnée à titre indicatif) :

- ▶ contrôle des niveaux d'huile et de liquide de refroidissement,
- ▶ contrôle du filtre à air,
- ▶ contrôle du filtre à carburant,
- ▶ essai de fonctionnement en régime nominal et à 50-70 % de la charge maximale, pendant 30 minutes minimum,
- ▶ vidange de l'huile du moteur et remplacement du filtre à huile,
- ▶ remplacement du ou des éléments du filtre à carburant,
- ▶ contrôle du système d'aération,
- ▶ contrôle des supports,
- ▶ contrôle des connexions de raccordement à la masse,
- ▶ contrôle de la tension de la courroie et du tendeur automatique,
- ▶ contrôle du circuit de refroidissement,
- ▶ contrôle du système d'admission,
- ▶ contrôle des échappements,
- ▶ contrôle et réglage du régime moteur,
- ▶ vidange et rinçage du circuit de refroidissement,
- ▶ réglage du jeu des soupapes,
- ▶ remplacement des injecteurs,
- ▶ vérification du réservoir de stockage et du réservoir journalier,
- ▶ vérification des circuits des fluides.

5. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE DES AÉRODROMES

5.4.4.3. PÉRIODICITÉS DES OPÉRATIONS DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE

Un plan de maintenance préventive décrivant la fréquence et la nature des opérations de maintenance préventive à effectuer pour les groupes électrogènes devrait être établi conformément aux préconisations du constructeur et en fonction du nombre d'heures de fonctionnement et des conditions ambiantes d'exploitation.

Les opérations de maintenance préventive de premier niveau (vérification des témoins, niveaux d'huile et essais de fonctionnement) devraient être réalisées toutes les semaines (ou 10 heures de fonctionnement environ). Les opérations de maintenance de niveau II ou plus (vidange de l'huile du moteur, remplacement des filtres, etc.) devraient être réalisées tous les ans (ou 500 heures de fonctionnement environ).

5.4.5. TABLEAUX GÉNÉRAUX BASSE TENSION (TGBT), TABLEAUX DE DISTRIBUTION BASSE TENSION (TDBT) ET RÉSEAUX BASSE TENSION (BT)

5.4.5.1. GÉNÉRALITÉS

Le TGBT constitue le point central de la distribution électrique d'une installation. Il peut être composé d'un ou plusieurs TDBT. Il doit assurer les fonctions suivantes :

- ▶ répartir le courant électrique vers tous les circuits à alimenter,
- ▶ protéger les lignes et les équipements de la distribution électrique,
- ▶ protéger les personnes.

Le TGBT peut être doublé pour assurer une redondance de l'alimentation électrique. Il peut alimenter des circuits en direct ou par l'intermédiaire d'un ou de plusieurs TDBT installés en cascade et constituant un réseau BT.

Pour les installations électriques étendues, chaque local ou poste électrique peut être équipé d'un ou de plusieurs TGBT.



Figure 22: TGBT – Aéroport de Paris Orly.

5. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE DES AÉRODROMES

Les équipements de piste connectés en parallèle tels que mentionnés à la section suivante sont généralement :

- ▶ les feux à éclats tels que les feux d'identification du seuil de piste et les feux séquentiels à éclats de ligne axiale d'approche,
- ▶ les feux d'obstacles,
- ▶ les indicateurs de direction du vent, et
- ▶ les alimentations électriques 24 V ou 48 V (courant continu).

Pour certains aérodromes, les aides lumineuses suivantes peuvent également être connectées en parallèle :

- ▶ les panneaux lumineux,
- ▶ les feux de protection de piste (alimentés éventuellement au travers de cellules de tension élévatrice ou abaisseur).



Figure 23: Tableaux de distribution électrique des panneaux et feux de protection de piste.

5. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE DES AERODROMES

5.4.5.2. LISTE DES OPÉRATIONS DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE

Le programme de maintenance préventive des TGBT, TDBT et réseaux BT devrait comporter les opérations suivantes :

- ▶ contrôle de l'état général et nettoyage des tableaux de distribution électrique,
- ▶ contrôle des appareillages des tableaux de distribution électrique, des ventilations et des canalisations des réseaux BT,
- ▶ vérification de la disponibilité, de la mise à jour, par les agents de maintenance, et de la conformité des plans et schémas,
- ▶ contrôle des indices de protection et des dispositifs de verrouillage,
- ▶ contrôle de l'état général et du serrage des jeux de barres et des bornes, inspection thermographique des points chauds,
- ▶ contrôle du serrage des conducteurs des câbles aux tableaux de distribution,
- ▶ contrôle du freinage des câbles,
- ▶ contrôle des embrochages (parties fixes et mécanismes),
- ▶ vérification des contrôleurs d'isolement (en cas de régime de neutre IT),
- ▶ vérification des voyants lumineux de signalisation et des indications des centrales de mesure,
- ▶ essais mécanique et électrique des appareillages (commandes, verrouillages, ...),
- ▶ mesure de la résistance de la prise de terre,
- ▶ mesure de la résistance d'isolement des jeux de barre (support, disposition, ...),
- ▶ mesure de la résistance d'isolement entre conducteurs de phase et de neutre et entre conducteurs de terre et de phase des départs des équipements distants alimentés en parallèle,
- ▶ mesure de la résistance de continuité des liaisons équipotentielles des départs des équipements distants alimentés en parallèle, et
- ▶ mesure de la résistance de continuité des conducteurs de protection des départs des équipements distants alimentés en parallèle.

5.4.5.3. PÉRIODICITÉS DES OPÉRATIONS DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE

Les opérations de maintenance préventive des TGBT, TDBT et réseaux BT telles que listées précédemment devraient être réalisées tous les ans.

Certains équipements (masterpack, inverseurs de source, commutateurs statiques, ...) peuvent faire l'objet d'opérations de maintenance préventive spécifiques supplémentaires définies par le constructeur.

Une étude du vieillissement des tableaux de distribution électrique et de leurs composants devrait être effectuée avec une périodicité décennale.

5. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE DES AÉRODROMES

5.4.6. COMMUTATEURS STATIQUES

5.4.6.1. GÉNÉRALITÉS

Les commutateurs statiques sont utilisés afin d'assurer des temps de détection et de transfert plus rapides que ceux des commutateurs électromécaniques.

Cela peut permettre, dans certains cas, de satisfaire à l'exigence de délai de commutation inférieur à une seconde lorsque les sources principale et auxiliaire d'alimentation électrique sont utilisées en mode « secours inversé » (voir article 5.3.2.1). Les commutateurs statiques peuvent également être utilisés en association avec deux sources indépendantes d'alimentation électrique afin d'assurer l'exigence de redondance d'alimentation électrique, en garantissant la séparation complète d'une des deux sources du circuit de distribution, quel que soit le mode de fonctionnement.

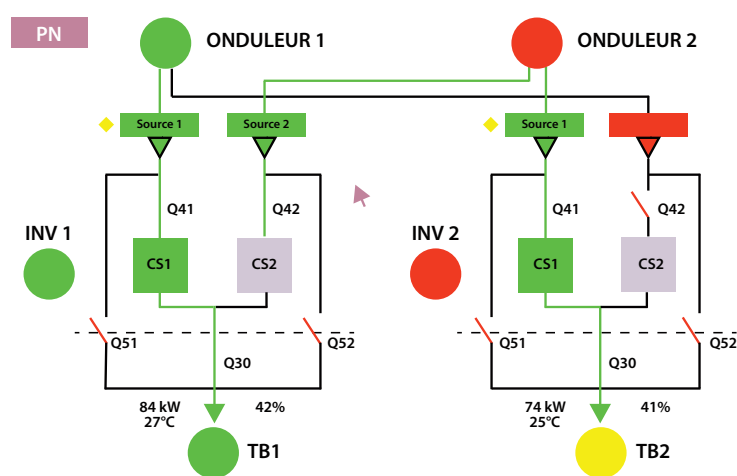


Figure 24: Supervision des commutateurs statiques – Aéroport de Lyon.

5.4.6.2. LISTE DES OPÉRATIONS DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE

Le programme de maintenance préventive des commutateurs statiques devrait comporter les opérations suivantes :

- ▶ mesure des courants et tensions de charge,
- ▶ vérification des composants,
- ▶ nettoyage et dépeussierage des parties internes et externes,
- ▶ vérification du serrage des connexions,
- ▶ manœuvre des commutateurs de dérivation (by-pass),
- ▶ visualisation des journaux d'événements et des alarmes,
- ▶ vérification des voyants lumineux de signalisation,
- ▶ mise à jour des logiciels.

5.4.6.3. PÉRIODICITÉ DES OPÉRATIONS DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE

Les opérations de maintenance préventive des commutateurs statiques devraient être réalisées annuellement (conformément aux préconisations du constructeur), par un technicien qualifié.

5. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE DES AERODROMES

5.4.7. ALIMENTATION SANS INTERRUPTION (ASI)

5.4.7.1. GÉNÉRALITÉS

La durée de vie utile d'une ASI dépend de plusieurs facteurs, notamment des caractéristiques de la charge (taux d'utilisation, linéarité et variabilité) et des conditions ambiantes d'exploitation (température, humidité, niveau de pollution).

La température nominale de fonctionnement des batteries est d'environ 25 °C (donnée constructeur). Un fonctionnement des batteries en dessous ou au-dessus de cette température a un impact non négligeable sur leur durée de vie et le coût de leur maintenance. Pour rappel, un écart de +/- 5 °C réduit leur durée de vie d'un facteur de 2.

Pour garantir le bon fonctionnement d'une ASI et assurer la continuité de l'alimentation électrique des équipements, une maintenance périodique régulière de l'ASI est essentielle.

5.4.7.2. LISTE DES OPÉRATIONS DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE

Le programme de maintenance préventive d'une ASI devrait comporter les opérations suivantes :

- ▶ tests d'autonomie en conditions réelles d'exploitation avec les installations de balisage lumineux en service au niveau maximal de brillance,
- ▶ opérations périodiques de maintenance préventive autres que les opérations de niveau I, II, III ou IV :
 - ▶ inspection visuelle des conditions d'exploitation (température, hygrométrie, ventilation, etc.)
 - ▶ tests de l'IHM,
 - ▶ relevé et analyse des historiques.
- ▶ opérations de maintenance préventive de niveau I, II, III ou IV :
 - ▶ mesure des courants et tensions d'entrée et de sortie,
 - ▶ mesure de la puissance,
 - ▶ recherche des « points chauds »,
 - ▶ essai du commutateur interne de dérivation (by-pass),
 - ▶ vérification des composants,
 - ▶ nettoyage et dépoussiérage des parties internes et externes,
 - ▶ vérification du serrage des connexions,
 - ▶ contrôle et, si besoin, remplacement des batteries,
 - ▶ mise à jour des logiciels.



Figure 25: ASI – Aéroport de Saint Denis La Réunion.

5. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE DES AERODROMES

5.4.7.3. PÉRIODICITÉS DES OPÉRATIONS DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE

Un plan de maintenance préventive décrivant la fréquence et nature des opérations de maintenance préventive à effectuer pour une ASI devrait être établi conformément aux préconisations du constructeur.

Les tests d'autonomie devraient être effectués tous les six mois. Les opérations de maintenance préventive de niveau I, II, III ou IV devraient être réalisées tous les ans. Les autres opérations périodiques de maintenance préventive devraient être réalisées toutes les deux semaines.

Les relevés de mesures électriques peuvent être réalisés à partir de la centrale de mesure de l'ASI.

5.4.8. CAS PARTICULIER D'UNE ASI DYNAMIQUE HYBRIDE (SYSTÈMES NO BREAK)

5.4.8.1. SOUS-TRAITANCE DES OPÉRATIONS DE MAINTENANCE

Le degré de complexité et de criticité d'une ASI dynamique hybride implique une prise en charge des opérations de maintenance préventive et curative par une société spécialisée (généralement le constructeur de l'ASI dynamique hybride).



Figure 26: Système no-break en container – Aéroport de Toulouse Blagnac.

5. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE DES AÉRODROMES

Le contrat de maintenance devrait comporter les exigences suivantes pour le sous-traitant en charge de la maintenance.

- ▶ Le sous-traitant devrait élaborer son propre programme de maintenance préventive (inspections visuelle électrique et mécanique, remplacement des fluides, des filtres et des pièces d'usure, opérations de révision mécanique, etc.).
- ▶ Le sous-traitant devrait planifier les opérations de maintenance préventive en accord avec l'exploitant d'aérodrome.
- ▶ Le sous-traitant devrait assurer un service de dépannage dans le délai minimum négocié avec l'exploitant d'aérodrome.
- ▶ Le sous-traitant devrait former les agents de maintenance de l'exploitant d'aérodrome pour la conduite des opérations de surveillance et des éventuelles opérations de maintenance de niveau 1.

Certaines opérations de maintenance préventive devraient cependant être réalisées par les agents de maintenance de l'exploitant d'aérodrome :

- ▶ opérations de maintenance préventive de premier niveau (vérification des témoins lumineux, vérification des indications des centrales de mesure, vérification de l'absence de fuites, etc.),
- ▶ vérification de bon fonctionnement avec les installations de balisage lumineux en service au niveau maximal de brillance.

5.4.8.2. PÉRIODICITÉS DES OPÉRATIONS DE MAINTENANCE

Les opérations de maintenance préventive de premier niveau devraient être réalisées avec une périodicité hebdomadaire. Les opérations de vérification de bon fonctionnement avec les installations de balisage lumineux en service au niveau maximal de brillance devraient être réalisées avec une périodicité mensuelle.

5.4.9. SYSTÈMES DE PROTECTION CONTRE LA Foudre (SPF)

5.4.9.1. NORMES EN VIGUEUR

- ▶ NF C15-100 (Juin 2005) : Installations électriques à basse tension.
- ▶ NF EN 62305 : Protection contre la foudre - Partie 3 : Dommages physiques sur les structures et risques humains.
- ▶ NF EN 61643 : Parafoudres basse-tension.
 - ▶ Partie 11 : Parafoudres connectés aux systèmes basse tension - Exigences et méthodes d'essai.
 - ▶ Partie 12 : Parafoudres connectés aux réseaux de distribution à basse tension – Principes de choix et d'application.
- ▶ NF EN 50164 : Composants de protection contre la foudre (CPF).
- ▶ NF C17-102 : Systèmes de protection contre la foudre à dispositif d'amorçage (paratonnerres).
- ▶ UTE C15-443 : Protection des installations électriques à basse tension contre les surtensions d'origine atmosphérique ou dues à des manœuvres - Choix et installation des parafoudres.

5. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE DES AÉRODROMES

5.4.9.2. GÉNÉRALITÉS

Les systèmes de protection contre la foudre comprennent les Installations Extérieures de Protection contre la Foudre (IEPF) et les Installations Intérieures de Protection contre la Foudre (IIPF).

Les IEPF, plus communément appelées paratonnerres sont destinées à intercepter les impacts directs de foudre et à disperser le courant de foudre dans la terre sans dommage pour la structure et sans surtension dangereuse pour les personnes. Une IEPF est constituée des éléments suivants :

- ▶ un système de capture destiné à être le point d'impact privilégié de la foudre,
- ▶ des conducteurs de descente assurant l'écoulement des courants de foudre vers le sol,
- ▶ une prise de terre assurant la dissipation des courants de foudre tout en limitant les risques pour les systèmes et les personnes à proximité des installations.



Figure 27: IEPF et système de capture – Aéroport de Toulouse Blagnac.

Une IIPF est constituée d'un réseau d'équipotentialité et de Dispositifs de Protection contre les Surtensions (DPS, plus communément appelés parafoudres).

Une IIPF est destinée à réduire, en partie, les effets indirects de la foudre à savoir :

- ▶ les surtensions transitoires,
- ▶ l'induction électromagnétique,
- ▶ les étincelages à l'origine de risques d'incendie, d'explosion, de pollution électromagnétique ou chimique.

5. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE DES AERODROMES

Tout SPF installé doit être classé suivant un Niveau de Protection contre la Foudre (NPF) allant de I à IV, défini par la norme NF EN 62305 et lié aux probabilités de dommages physiques ou de défaillances des réseaux internes en cas de d'impact sur les installations.

Les composants d'un SPF peuvent perdre de leur efficacité au fil des années en raison de la corrosion, des dommages liés aux intempéries, des dommages mécaniques et des dommages dus aux impacts de foudre. Ils devraient donc faire l'objet d'un entretien régulier afin de s'assurer qu'ils ne sont pas détériorés et qu'ils continuent de satisfaire aux exigences pour lesquelles ils ont été conçus.

5.4.9.3. LISTE DES OPÉRATIONS DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE

Intégré au plan de maintenance préventive de l'aérodrome, le programme de maintenance préventive des SPF devrait comporter les opérations suivantes :

- ▶ vérification de tous les conducteurs et composants,
- ▶ mesure de la continuité électrique,
- ▶ mesure de la résistance du réseau de prises de terre,
- ▶ vérification des fixations (serrage) des composants et des conducteurs,
- ▶ vérifications des protections mécaniques des composants et conducteurs,
- ▶ vérification destinée à s'assurer que l'efficacité du SPF n'a pas été réduite après ajouts ou modifications de la structure et de ses installations,
- ▶ vérification suivant la notice du constructeur du système de signalisation qui donne l'état du parafoudre, et
- ▶ vérification des disjoncteurs associés aux parafoudres.

Par ailleurs, des vérifications supplémentaires doivent être réalisées par des organismes spécialisés conformément à la norme NF EN 62305-3

5.4.9.4. PÉRIODICITÉS DES OPÉRATIONS DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE

Lors de la conception d'un SPF, le plan de maintenance préventive et la programmation des opérations nécessaires devraient être élaborés et coordonnés par l'installateur ou le concepteur en accord avec l'exploitant d'aérodrome.

La périodicité des vérifications supplémentaires devant être réalisées par des organismes spécialisés conformément à la norme NF EN 62305-3 dépend du type et de la situation géographique des installations.

5. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE DES AÉRODROMES

5.4.10. COMPENSATEURS D'ÉNERGIE RÉACTIVE

5.4.10.1. GÉNÉRALITÉS

Certains exploitants d'aérodromes font le choix d'équiper leurs installations électriques de condensateurs de stockage d'énergie, principalement en BT, afin de réduire la composante réactive de leur puissance apparente consommée. La puissance active disponible est ainsi augmentée ce qui présente les trois avantages suivants :

- ▶ réduction de la consommation d'énergie,
- ▶ réduction de la taille des installations (section des câbles, perte en ligne, chute de tension), et
- ▶ contribution à la préservation de l'environnement.



Figure 28: Batterie de condensateurs BT – Aéroport de Tahiti FAA'A

5.4.10.2. LISTE DES OPÉRATIONS DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE

Le plan de maintenance préventive des compensateurs d'énergie réactive devrait comporter les opérations suivantes :

- ▶ inspection visuelle des conditions ambiantes d'exploitation (température, hygrométrie, ventilation, etc.), de l'enveloppe et de l'ensemble des éléments,
- ▶ nettoyage et dépoussiérage des parties internes et externes,
- ▶ contrôle du serrage des connexions,
- ▶ contrôle des réglages,
- ▶ relevé et analyse des alarmes du contrôleur,
- ▶ contrôle des protections,
- ▶ vérification de l'état des condensateurs,
- ▶ vérification des relais de protection,
- ▶ mesure de la tension et du courant électriques des gradins.

5. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE DES AÉRODROMES

5.4.10.3. PÉRIODICITÉS DES OPÉRATIONS DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE

La périodicité des opérations de maintenance préventive des compensateurs d'énergie réactive peut varier selon l'intensité d'utilisation et les conditions ambiantes d'exploitation. Les opérations de maintenance préventive devraient être réalisées par un technicien qualifié, annuellement (conformément aux préconisations du constructeur).

5.4.11. COMPENSATEURS ACTIFS D'HARMONIQUES

5.4.11.1. GÉNÉRALITÉS

Les régulateurs à courant constant sont des charges déformantes (non linéaires) absorbant des courants non sinusoïdaux qui, compte tenu des impédances des circuits, déforment l'onde sinusoïdale de tension. Il s'agit du phénomène de perturbation harmonique des réseaux. Certains exploitants d'aérodrome mettent en place des équipements de filtrage des harmoniques afin d'atteindre les objectifs suivants :

- ▶ éviter les déclenchements intempestifs des protections,
- ▶ assurer le bon fonctionnement des installations
- ▶ diminuer la consommation d'énergie
- ▶ réduire les dépenses de maintenance des installations.



Figure 29: Compensateur actif d'harmoniques SineWave 60 A – Aéroport de Paris CDG.

5. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE DES AERODROMES

5.4.11.2. LISTE DES OPÉRATIONS DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE

Le programme de maintenance préventive des compensateurs actifs d'harmoniques devrait comporter les opérations suivantes :

- ▶ mesure des courants et tensions de charge,
- ▶ mesure du spectre des courants de charge,
- ▶ recherche de « points chauds »,
- ▶ vérification des composants,
- ▶ nettoyage et dépoussiérage des parties internes et externes,
- ▶ serrage des connexions,
- ▶ contrôle du paramétrage
- ▶ vérification des voyants de signalisation,
- ▶ mise à jour des logiciels.

5.4.11.3. PÉRIODICITÉ DES OPÉRATIONS DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE

Les opérations de maintenance préventive devraient être réalisées par un technicien qualifié, annuellement (conformément aux préconisations du constructeur).

5.4.12. AUTOMATES PROGRAMMABLES INDUSTRIELS (API)

5.4.12.1. GÉNÉRALITÉS

Un API est un dispositif électronique programmable destiné à automatiser des processus tels que la commande et le contrôle des installations de balisage lumineux, la gestion des sources principale et auxiliaire d'alimentation électrique.

Un programme de maintenance préventive des API devrait être mis en place afin d'augmenter leur durée de vie et de minimiser les risques de dysfonctionnement des systèmes automatisés.



Figure 30: API – Aéroport de Nice.

5. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE DES AERODROMES

5.4.12.2. LISTE DES OPÉRATIONS DE MAINTENANCE PRÉVENTIVES

Le plan de maintenance préventive des API devrait comporter les opérations suivantes :

- ▶ contrôle des conditions ambiantes d'exploitation (température, humidité, ventilation...),
- ▶ contrôle de l'espace environnant de dissipation de chaleur,
- ▶ dépoussiérage et nettoyage,
- ▶ vérification des indicateurs LED situés au niveau de la façade,
- ▶ vérification des voyants et de la batterie du système d'alimentation,
- ▶ vérification de la tension d'alimentation,
- ▶ remplacement de la pile (conformément à la périodicité préconisée par le constructeur),
- ▶ vérification des connectiques,
- ▶ vérification de la disponibilité d'une copie du programme à jour,
- ▶ vérification du lot de pièces de rechange.

5.4.12.3. PÉRIODICITÉ DES OPÉRATIONS DE MAINTENANCE

Les opérations de maintenance préventive des API devraient être réalisées annuellement.

5.4.13. UNITÉS D'ALIMENTATION ÉLECTRIQUE 24 V OU 48 V (COURANT CONTINU)

5.4.13.1. GÉNÉRALITÉS

L'alimentation électrique des systèmes de contrôle et de commande des installations d'énergie et de balisage lumineux d'aérodrome (systèmes d'IHM, platines de balisage, API, etc.) peut être assurée en 24 V ou 48 V, courant continu. Des unités d'alimentation spécifiques équipées de batteries peuvent donc être installées pour alimenter ces systèmes.

Compte tenu de l'importance de ces systèmes, leurs unités d'alimentation devraient être doublées afin d'assurer la continuité de leur alimentation en cas de panne d'une des unités. De plus, les opérations de maintenance préventive devraient être rigoureusement réalisées afin de limiter les risques de défaillance.

5. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE DES AÉRODROMES

5.4.13.2. LISTE DES OPÉRATIONS DE MAINTENANCE PRÉVENTIVES

Le programme de maintenance préventive des unités d'alimentation 24 V ou 48 V, courant continu, devrait comporter les opérations suivantes (de niveau I, II, III ou IV) :

- ▶ contrôle des conditions ambiantes d'exploitation (température, humidité, ventilation, etc.),
- ▶ contrôle de l'espace environnant de dissipation de chaleur,
- ▶ dépoussiérage et nettoyage des parties internes et externes,
- ▶ vérification des systèmes d'IHM,
- ▶ mesure de la tension d'alimentation,
- ▶ mesure de la tension de sortie,
- ▶ vérification des voyants lumineux et de l'afficheur situé au niveau de la façade du redresseur,
- ▶ vérification des connectiques,
- ▶ test d'autonomie et, si nécessaire, remplacement des batteries.



Figure 31: Redresseur/Chargeur 24 V DC - Aéroport de Toulouse Blagnac.

5.4.13.3. PÉRIODICITÉ DES OPÉRATIONS DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE

Les opérations de maintenance préventive de niveau II, III ou IV pour les unités d'alimentation électrique 24 V ou 48 V, courant continu, devraient être réalisées tous les ans. Les opérations périodiques de maintenance préventive de niveau I devraient être réalisées toutes les deux semaines (conformément aux préconisations du constructeur).

5. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE DES AÉRODROMES

5.4.14. SYSTÈMES D'ALIMENTATION ÉLECTRIQUE DU BALISAGE LUMINEUX

Dans le cadre du programme de maintenance préventive, l'exploitant d'aérodrome devrait réaliser périodiquement des essais de routine et des essais spécialisés sur les systèmes d'alimentation électrique du balisage lumineux afin de s'assurer de leur fiabilité.

Les essais de routine et les essais spécialisés réalisés sur les systèmes d'alimentation électrique du balisage lumineux afin de s'assurer de leur fiabilité devraient être réalisés dans leurs différentes configurations possibles de fonctionnement.

5.4.14.1. ESSAIS DE ROUTINE

Les essais de routine réalisés sur les systèmes d'alimentation électrique du balisage lumineux afin de s'assurer de leur fiabilité sont les suivants :

- ▶ essais de démarrage des groupes électrogènes (à pleine charge), et
- ▶ vérification de la conformité des retours d'information en tour de contrôle d'aérodrome et en supervision.

5.4.14.2. ESSAIS SPÉCIALISÉS

Les essais spécialisés réalisés sur les systèmes d'alimentation électrique du balisage lumineux afin de s'assurer de leur fiabilité sont les suivants :

- ▶ essai de reprise de la source auxiliaire d'alimentation électrique sur défaut de la source normale en conditions normales d'exploitation (i.e. installations de balisage lumineux allumés), et
- ▶ essai du mode « secours inversé » avec fonctionnement des dispositifs lumineux de balisage lumineux et simulation de panne du groupe électrogène.

Lors des essais spécialisés réalisés sur les systèmes d'alimentation électrique du balisage lumineux afin de s'assurer de leur fiabilité, la conformité des retours d'information en tour de contrôle d'aérodrome et en supervision devrait être vérifiée et les grandeurs suivantes devraient être mesurées et enregistrées :

- ▶ le délai de commutation, (cf. section 5.4.14.3. pour la méthode de mesure), et
- ▶ les grandeurs électriques telles que puissance active, puissance réactive, intensité et tension électrique, facteur de puissance, etc..

En fonction du nombre de sources d'alimentation électrique (groupes électrogènes, ASI, ASI dynamiques hybrides) et des différentes configurations possibles de fonctionnement des systèmes d'alimentation électrique du balisage lumineux, de nombreux essais peuvent être nécessaires afin de s'assurer de la disponibilité des sources auxiliaires, quelles que soient les conditions d'exploitation.

Des exemples de formulaires d'essais spécialisés réalisés sur les systèmes d'alimentation électrique du balisage lumineux afin de vérifier leur fiabilité sont fournis en section 7.3.

5. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE DES AÉRODROMES

5.4.14.3. MÉTHODE DE MESURE DU DÉLAI DE COMMUTATION

La mesure du délai de commutation doit être réalisée à partir de la mesure de l'intensité lumineuse du feu de balisage.

Compte tenu des conséquences en termes d'exploitation, la mesure du délai de commutation sur un feu faisant partie d'un dispositif lumineux essentiel de balisage d'aérodrome tel qu'un feu de bord de piste peut être réalisée sur un feu provisoirement connecté à la boucle d'alimentation du dispositif lumineux de balisage, dans le local du régulateur d'alimentation de la boucle. L'intensité lumineuse se déduit de l'éclairement lumineux qui peut être mesuré par un luxmètre. Un appareil spécifique d'enregistrement (enregistreur ou oscilloscope numérique) peut être connecté au luxmètre (pour mesure de l'éclairement lumineux) et également au réseau électrique secouru (pour mesure de la tension électrique) afin de comparer le délai de commutation au délai de coupure électrique.

Un tel protocole de mesure peut être mis en œuvre pour les feux essentiels de balisage d'aérodrome, tels que les feux de balisage de bord de piste pour une approche de précision de catégorie I, les feux de balisage d'axe de piste ou les feux de balisage de la zone de toucher des roues pour une approche de précision de catégorie II ou III.

Le présent protocole de mesure peut être mis en œuvre plusieurs fois sur le même circuit ou bien sur tout autre circuit s'il comporte un modèle différent de régulateur ou de feux à LED.

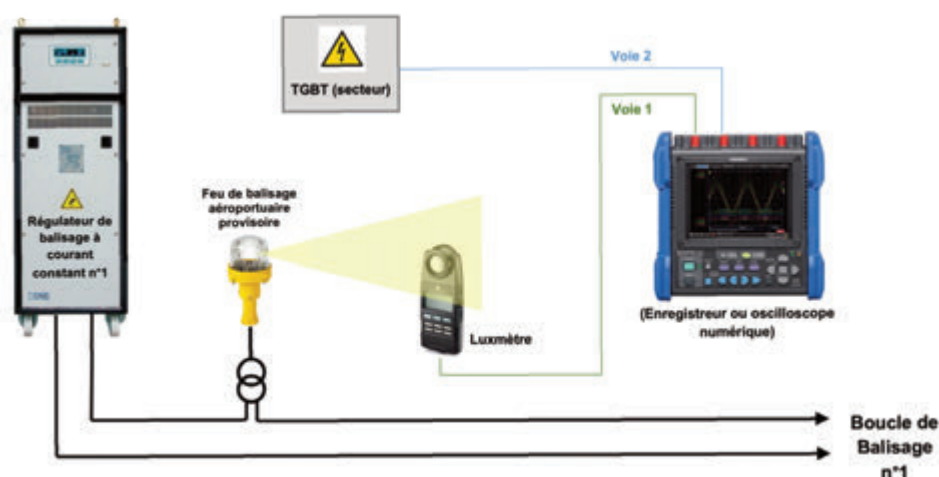


Figure 32: Principe de mesure du délai de commutation.

5.4.14.4. PÉRIODICITÉS DES ESSAIS

Le plan de maintenance préventive des systèmes d'alimentation électrique du balisage lumineux devrait définir le calendrier des essais de routine et des essais spécialisés visant à vérifier leur fiabilité.

Les essais de routine devraient être réalisés mensuellement. Les essais spécialisés, comprenant notamment la mesure du délai de commutation, devraient être réalisés tous les trois ans ou après chaque changement significatif sur les systèmes d'alimentation électrique (modification de la distribution électrique, remplacement d'un groupe électrogène, modification d'un ou plusieurs éléments de l'automatisme, remplacement d'un régulateur à courant constant ou de l'ensemble des feux de balisage alimentés sur une même boucle, ...) susceptible de modifier le fonctionnement des automatismes ou la consommation électrique.

6. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS DE BALISAGE LUMINEUX DES AERODROMES

6.1. RECOMMANDATIONS DE CONCEPTION

Les méthodes et bonnes pratiques recommandées pour la conception des diverses installations de balisage lumineux d'aérodrome sont décrites dans le guide technique rédigé conjointement par le STAC et l'UAF-FA: "État de l'art de l'installation du balisage lumineux sur les aérodromes", disponible sur le site internet du STAC et sur www.libelaero.fr.

6.2. EXIGENCES FONCTIONNELLES

6.2.1. INSTALLATION INITIALE SUR SITE

Pour une installation initiale sur site, les performances photométriques et colorimétriques des feux et des panneaux de balisage lumineux d'aérodrome doivent être conformes aux spécifications de l'Annexe 14 de l'OACI, Volume I, reprises par la réglementation européenne de l'AESA.

Sur les aérodromes français où la réglementation de l'AESA s'applique, la conformité des feux et panneaux lumineux de balisage peut être démontrée par l'un des documents suivants :

- ▶ un certificat de conformité de type délivré par le Service Technique de l'Aviation Civile (STAC)¹,
- ▶ un rapport d'essai délivré par un organisme détenteur d'une accréditation selon la norme NF EN ISO/CEI 17 025 pour la réalisation d'essais de colorimétrie et de photométrie.

Sur les aérodromes français où l'arrêté français du 28 août 2003 relatif aux Conditions d'Homologation et aux procédures d'Exploitation des Aéroports (CHEA) s'applique, la conformité des feux et panneaux de balisage lumineux déjà installés à la date de rédaction du présent guide doit être démontrée par un certificat de conformité de type délivré par le STAC.

Des informations détaillées sur la méthode de mesure en laboratoire de l'intensité lumineuse des feux de balisage lumineux d'aérodrome sont fournies en section 7.8. Des informations détaillées sur les exigences et la méthode de calage en azimut et en site des feux de balisage lumineux d'aérodrome sont fournies en section 7.10.



Figure 33: Exemples de feux de balisage lumineux d'aérodrome.

⁽¹⁾ La liste des feux et panneaux lumineux certifiés par le STAC est disponible sur le site du STAC (www.stac.aviation-civile.gouv.fr).

6. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS DE BALISAGE LUMINEUX DES AERODROMES

6.2.2. OBJECTIFS DE MAINTENANCE

6.2.2.1. GÉNÉRALITÉS

Un système d'entretien préventif des aides visuelles lumineuses doit être mis en place pour assurer leur fiabilité i.e. pour les maintenir dans un état qui ne nuise pas à la sécurité, à la régularité ou à l'efficacité de la navigation aérienne.

Les présentes spécifications ont pour objet de définir les niveaux de performance visés de l'entretien. Elles n'ont pas pour objet de définir si un dispositif lumineux est opérationnellement hors service. Les pourcentages admissibles de feux hors service sont définis avec l'objectif de ne pas induire une altération de la configuration fondamentale du dispositif lumineux, afin d'assurer la continuité du guidage.

Un feu doit être jugé hors service lorsque l'intensité lumineuse moyenne du faisceau principal est inférieure à 50 % de la valeur requise pour une installation sur site, telle qu'indiquée dans le Tableau 8 pour une piste à approche de précision, conformément à l'Appendice 2 de l'Annexe 14, Volume I, de l'OACI.

Feux de balisage d'aérodrome	Valeur minimale requise d'intensité lumineuse moyenne du faisceau principal (cd)	
	Installation initiale sur site	Objectif de maintenance
Feux de ligne axiale ou de barre transversale d'approche (lumière blanche)	20 000	10 000
Feux de barrette latérale d'approche (lumière rouge)	5 000	2 500
Feux de seuil de piste	10 000	5 000
Feux de bord de piste	Lumière blanche	10 000
	Lumière jaune	4 000
	Lumière rouge	1 500
Feux d'axe de piste (lumière blanche)	5 000	2 500
Feux d'axe de piste (lumière rouge)	750	375
Feux de zone de toucher de roues	5 000	2 500
Feux d'extrémité de piste	2 500	1 250

Tableau 8 : Valeurs minimales requises d'intensité lumineuse moyenne du faisceau principal des feux de balisage d'approche ou de piste avec approche de précision (pour une installation sur site ou en tant qu'objectifs de maintenance).

Les pourcentages maximaux admissibles de feux hors service sont uniquement spécifiés pour les pistes à approche de précision et les pistes réservées aux décollages, avec l'objectif de ne pas induire une altération de la configuration fondamentale du dispositif lumineux, afin d'assurer la continuité du guidage.

Les pourcentages maximaux admissibles de feux hors services indiqués dans les sections 6.2.2.1 à 6.2.2.5 doivent être convertis en nombres maximaux de feux hors service, par piste et par dispositif lumineux de balisage, en arrondissant aux nombres entiers inférieurs les plus proches.

6. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS DE BALISAGE LUMINEUX DES AERODROMES

En complément des pourcentages maximaux admissibles de feux hors service, des restrictions supplémentaires concernant la contiguïté des feux hors service s'appliquent par dispositif lumineux de balisage, afin d'assurer la continuité du guidage. En ce qui concerne les barrettes, les barres transversales et les feux de bord de piste, les feux sont considérés comme contigus s'ils sont situés consécutivement et :

- ▶ transversalement : dans la même barrette ou la même barre transversale,
- ▶ longitudinalement : dans la même rangée de feux de bord de piste ou de barrettes.

Aucun pourcentage maximal admissible de feux hors service, aucune restriction ne sont définis pour les feux d'approche à éclats séquentiels, les feux de bord de voie de circulation, les feux de prolongement d'arrêt, les feux de zone inutilisable et les feux d'obstacles.

6.2.2.2. PISTE AVEC APPROCHE DE PRÉCISION DE CATÉGORIE I

Aucun pourcentage maximal admissible de feux hors service, aucune restriction ne sont définis pour les feux d'axe de voie de circulation autre que de voie de sortie rapide, associée à une piste avec approche de précision de catégorie I.

Dispositif lumineux de balisage d'aérodrome	Restrictions en termes de feux hors service	
	Pourcentage maximal admissible	Restrictions supplémentaires
Dispositif lumineux d'approche	15%	L'existence de deux feux contigus hors service ne doit pas être permise.
PAPI	Nil	L'existence de plus d'un feu hors service ne doit pas être permise.
Feux de seuil de piste	15%	L'existence de deux feux contigus hors service ne doit pas être permise.
Feux de bord de piste	15%	L'existence de deux feux contigus hors service ne doit pas être permise.
Feux d'axe de piste, si installés	15%	L'existence de deux feux contigus hors service ne doit pas être permise.
Feux d'extrémité de piste	15%	L'existence de deux feux contigus hors service ne doit pas être permise.
Feux à éclats d'identification du seuil de piste (RTIL), si installés	Nil	Les feux doivent être synchronisés et doivent être conçus de sorte à s'éteindre automatiquement en cas de panne de l'un des feux
Feux d'axe de voie de sortie rapide, si installés	Nil	L'existence de deux feux contigus hors service ne doit pas être permise.
Feux (hors sol) de protection de piste, configuration A	Nil	L'existence de plus d'un feu hors service ne doit pas être permise.
Feux encastrés de protection de piste, configuration B	Nil	L'existence de deux feux contigus hors service ne doit pas être permise. L'existence de plus de deux feux hors service ne doit pas être permise.
Feux de point d'arrêt intermédiaire	Nil	L'existence de plus d'un feu hors service ne doit pas être permise.
Panneaux d'obligation	Nil	La lisibilité du message ne doit pas être altéré et les deux panneaux installés de part et d'autre de la voie de circulation ne doivent pas comporter de dégradations.
Panneaux d'indication	Nil	La lisibilité du message ne doit pas être altérée.

Tableau 9: Pourcentages maximaux admissibles de feux hors service et restrictions associées pour une piste avec approche de précision de catégorie I.

6. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS DE BALISAGE LUMINEUX DES AERODROMES

6.2.2.3. PISTE AVEC APPROCHE DE PRÉCISION DE CATÉGORIE II OU III

Dispositif lumineux de balisage d'aérodrome		Restrictions en termes de feux hors service	
		Pourcentage maximal admissible	Restrictions supplémentaires
450 derniers mètres du dispositif lumineux d'approche		5%	L'existence de deux feux contigus hors service ne doit pas être permise.
Dispositif lumineux d'approche en amont des 450 derniers mètres		15%	L'existence de deux feux contigus hors service ne doit pas être permise.
PAPI		Nil	L'existence de plus d'un feu hors service ne doit pas être permise.
Feux de seuil de piste		5%	L'existence de deux feux contigus hors service ne doit pas être permise.
Feux de bord de piste		5%	L'existence de deux feux contigus hors service ne doit pas être permise.
Feux d'axe de piste		5%	L'existence de deux feux contigus hors service ne doit pas être permise.
Feux de zone de toucher des roues		10%	L'existence de plus d'un feu hors service par barrette ne doit pas être permise.* L'existence de deux feux consécutifs hors service ne doit pas être permise.
Feux d'extrémité de piste		15%	L'existence de deux feux contigus hors service ne doit pas être permise.
Feux à éclats d'identification de piste (RTIL)		Nil	Les feux doivent être synchronisés et doivent être conçus de sorte à s'éteindre automatiquement en cas de panne de l'un des feux.
Feux d'axe de voie de circulation	Voies de sortie rapide**	10%	L'existence de deux feux contigus hors service ne doit pas être permise.
	Voies de circulation utilisée par RVR < 350 m	Nil	L'existence de deux feux contigus hors service ne doit pas être permise.
	Autres voies de circulation	Nil	L'existence de trois feux contigus hors service ne doit pas être permise.
Feux de barres d'arrêt		Nil	L'existence de deux feux contigus hors service ne doit pas être permise. L'existence de plus de deux feux hors service ne doit pas être permise.
Feux d'axe de voie de circulation au-delà d'une barre d'arrêt (segment de confirmation)		Nil	L'existence de deux feux consécutifs hors service ne doit pas être permise. L'existence de plus de deux feux hors service ne doit pas être permise.
Feux (hors sol) de protection de piste, configuration A		Nil	L'existence de plus d'un feu hors service ne doit pas être permise.
Feux (encastrés) de protection de piste, configuration B		Nil	L'existence de deux feux contigus hors service ne doit pas être permise. L'existence de plus de deux feux hors service ne doit pas être permise.
Feux de point d'arrêt intermédiaire		Nil	L'existence de plus d'un feu hors service ne doit pas être permise.
Panneaux d'obligation		Nil	La lisibilité du message ne doit pas être altérée et les deux panneaux installés de part de d'autre de la voie de circulation ne doivent pas comporter de dégradations.
Panneaux d'indication		Nil	La lisibilité du message ne doit pas être altérée.

*Une barrette de zone de toucher est l'ensemble constitué par au moins 3 feux de zone de toucher des roues installés d'un côté de l'axe de piste.

** Seulement les feux alternativement jaunes et verts : du premier feu vert près de l'axe de piste jusqu'au feu jaune le plus proche du périmètre de la zone critique/sensible ILS/MLS ou de la limite inférieure de la surface intérieure de transition si cette dernière est plus éloignée de la piste.

Tableau 10: Pourcentages maximaux admissibles de feux hors service et restrictions associées pour une piste avec approche de précision de catégorie II ou III.

6. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS DE BALISAGE LUMINEUX DES AERODROMES

6.2.2.4. PISTE RÉSERVÉE AUX DÉCOLLAGES AVEC RVR < 550 M

Dispositif lumineux de balisage d'aérodrome		Restrictions en termes de feux hors service	
		Pourcentage maximal admissible	Restrictions supplémentaires
Feux de bord de piste		5%	L'existence de deux feux contigus hors service ne doit pas être permise.
Feux d'axe de piste		5%	L'existence de deux feux contigus hors service ne doit pas être permise.
Feux d'extrémité de piste		15%	L'existence de deux feux contigus hors service ne doit pas être permise.
Feux d'axe de voie de circulation	Voies de circulation utilisée par RVR < 350 m	Nil	L'existence de deux feux contigus hors service ne doit pas être permise.
	Autres voies de circulation	Nil	L'existence de trois feux contigus hors service ne doit pas être permise.
Feux de barre d'arrêt		Nil	L'existence de deux feux contigus hors service ne doit pas être permise. L'existence de plus de deux feux hors service ne doit pas être permise.
Feux d'axe de voie de circulation au-delà d'une barre d'arrêt (segment de confirmation)		Nil	L'existence de deux feux consécutifs hors service ne doit pas être permise. L'existence de plus de deux feux hors service ne doit pas être permise.
Feux (hors sol) de protection de piste, configuration A		Nil	L'existence de plus d'un feu hors service ne doit pas être permise.
Feux de (encastrés) de protection de piste, configuration B		Nil	L'existence de deux feux contigus hors service ne doit pas être permise. L'existence de plus de deux feux hors service ne doit pas être permise.
Feux de point d'arrêt intermédiaire		Nil	L'existence de plus d'un feu hors service ne doit pas être permise.
Panneaux d'obligation		Nil	La lisibilité du message ne doit pas être altérée et les deux panneaux installés de part et d'autre de la voie de circulation ne doivent pas comporter de dégradations.
Panneaux d'indication		Nil	La lisibilité du message ne doit pas être altérée.

Tableau 11: Pourcentages maximaux admissibles de feux hors service et restrictions associées pour une piste réservée aux décollages dans des conditions de portée visuelle de piste inférieure à 550 m.

6. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS DE BALISAGE LUMINEUX DES AERODROMES

6.2.2.5. PISTE RÉSERVÉE AUX DÉCOLLAGES AVEC RVR SUPÉRIEURE OU \geq À 550 M

Dispositif lumineux de balisage d'aérodrome	Restrictions en termes de feux hors service	
	Pourcentage maximal admissible	Restrictions supplémentaires
Feux de bord de piste	15%	L'existence de deux feux contigus hors service ne doit pas être permise
Feux d'extrémité de piste	15%	L'existence de deux feux contigus hors service ne doit pas être permise.
Feux de voie de circulation	Nil	L'existence de trois feux contigus hors service ne doit pas être permise.
Feux (hors sol) de protection de piste, configuration A	Nil	L'existence de plus d'un feu hors service ne doit pas être permise.
Feux (encastrés) de protection de piste, configuration B	Nil	L'existence de deux feux contigus hors service ne doit pas être permise. L'existence de plus de deux feux hors service ne doit pas être permise.
Feux de point d'arrêt intermédiaire	Nil	L'existence de plus d'un feu hors service ne doit pas être permise.
Panneaux d'obligation	Nil	La lisibilité du message ne doit pas être altéré et les deux panneaux installés de part de d'autre de la voie de circulation ne doivent pas comporter de dégradations.
Panneaux d'indication	Nil	La lisibilité du message ne doit pas être altérée.

Tableau 12: Pourcentages maximaux admissibles de feux hors service et restrictions associées pour une piste réservée aux décollages dans des conditions de portée visuelle de piste supérieure ou égale à 550 m.

6. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS DE BALISAGE LUMINEUX DES AERODROMES

6.3. OPÉRATIONS DE MAINTENANCE RECOMMANDÉES

Deux récapitulatifs des opérations de maintenance préventive recommandées pour les installations de balisage lumineux d'aérodrome sont fournis en section 7.6 (un récapitulatif par type d'installations et un récapitulatif par périodicité).

6.3.1. RÉGULATEURS À COURANT CONSTANT (CCR)

6.3.1.1. GÉNÉRALITÉS

De manière générale, l'architecture retenue pour la conception des systèmes d'alimentation électrique du balisage lumineux d'aérodrome est celle des circuits série. Les feux de balisage et certains panneaux de signalisation sont alimentés par l'intermédiaire de régulateurs à courant constant, télécommandés et réglables en niveaux d'intensité électrique.

Les valeurs de niveaux d'intensité électrique dépendent du nombre de niveaux de brillance. Les valeurs les plus fréquentes sont les suivantes :

- ▶ pour 4 niveaux de brillance : 3,3 A, 4,4 A, 5,5 A et 6,6 A,
- ▶ pour 5 niveaux de brillance : 2,8 A, 3,4 A, 4,1 A, 5,2 A et 6,6 A.

Les régulateurs à courant constant sont des générateurs de courant dont les puissances nominales peuvent atteindre 30 kV.A et pouvant mettre en œuvre des tensions du domaine HTA.



Figure 34 : Régulateurs à courant constant à thyristors – Aérodrome de Pointe A Pitre.

6. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS DE BALISAGE LUMINEUX DES AERODROMES

6.3.1.2. LISTE DES OPÉRATIONS DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE

Le programme de maintenance préventive d'un régulateur à courant constant devrait être conforme aux préconisations du constructeur et devrait comporter les opérations suivantes :

- ▶ vérification de l'état de propreté, dépoussiérage du bas des armoires, afin d'éviter l'accumulation de poussières pouvant nuire au bon refroidissement, dépoussiérage des cartes électroniques et des éléments de la partie BT, vérification du serrage des connexions de puissance (boucle, alimentation, terre) et des connexions internes (vis et borniers), recherche des points chauds, éventuellement au moyen d'une caméra thermographique, vérification de l'état des parafoudres,
- ▶ mesure de la résistance d'isolement de la boucle primaire alimentée (cf. section 7.5.1.2 pour la méthode de mesure),
- ▶ mesure de la résistance de continuité de la boucle primaire alimentée (cf. section 7.5.2.3 pour la méthode de mesure),
- ▶ vérification du bon fonctionnement du système de contrôle et de commande :
 - ▶ conformité entre la valeur de consigne et la valeur mesurée d'intensité électrique pour chaque niveau de brillance,
 - ▶ détection et remontée des défauts dans le délai attendu,
- ▶ vérification et, si nécessaire, adaptation du réglage de la puissance délivrée à la charge estimée de la boucle primaire alimentée (cf. section 7.5 pour la méthode d'estimation de la charge d'une boucle primaire de balisage lumineux d'aérodrome),
- ▶ analyse et archivage du formulaire de suivi.

6.3.1.3. SUIVI

Toutes les interventions (vérifications ou modifications de réglage de puissance) réalisées sur un régulateur à courant constant devraient être consignées et archivées (un formulaire de suivi par régulateur).

Les informations mentionnées dans le formulaire de suivi d'un régulateur à courant constant devraient être, a minima les suivantes :

- ▶ la date de l'intervention,
- ▶ le nom et la signature de l'intervenant,
- ▶ le (les) dispositif(s) lumineux de balisage alimenté(s) ,
- ▶ la charge estimée de la boucle primaire alimentée et le réglage de puissance du régulateur,
- ▶ la longueur approximative de la boucle primaire alimentée,
- ▶ le nombre de dispositifs alimentés : TI, feux, panneaux, etc. ,
- ▶ les valeurs de résistance d'isolement et de résistance de continuité de la boucle primaire alimentée, mesurées à sa mise en service (servant de valeurs de référence),
- ▶ les valeurs de résistance d'isolement et de résistance de continuité de la boucle primaire alimentée, mesurées lors des différents contrôles,
- ▶ les dysfonctionnements détectés, le cas échéant, et les mesures correctives associées.

Un exemple de formulaire de suivi d'un régulateur à courant constant est inséré en section 7.5.4.

6. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS DE BALISAGE LUMINEUX DES AERODROMES

6.3.1.4. PÉRIODICITÉS DES OPÉRATIONS DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE

Les opérations suivantes de maintenance préventive d'un régulateur à courant constant devraient être effectuées selon les périodicités suivantes :

- ▶ tous les mois: vérification de la conformité entre la valeur de consigne et la valeur mesurée d'intensité électrique pour chaque niveau de brillance,
- ▶ tous les 6 mois et après chaque orage: vérification de l'état des parafoudres,
- ▶ tous les 6 mois ainsi qu'avant et après chaque intervention sur un élément (transformateur d'isolement, connecteur, câble) de la boucle primaire alimentée: mesures de résistance de continuité et de résistance d'isolement de la boucle primaire alimentée,
- ▶ tous les 6 mois: vérification de la détection et de la remontée des défauts dans le délai imparti,
- ▶ tous les ans:
 - ▶ vérification de l'état de propreté,
 - ▶ vérification du serrage des connexions et recherche des points chauds,
 - ▶ vérification et, si nécessaire, adaptation du réglage de la puissance délivrée à la charge estimée de la boucle primaire alimentée,
 - ▶ analyse et archivage du formulaire de suivi.

6.3.2. CIRCUITS TRÈS BASSE TENSION DE SÉCURITÉ (TBTS) ET CIRCUITS TRÈS BASSE TENSION DE PROTECTION (TBTP)

Certains concepteurs de systèmes d'alimentation des dispositifs lumineux de balisage peuvent décider de mettre en place des circuits secondaires très basse tension sur les circuits série de balisage lumineux d'aérodrome. La sécurité des agents de maintenance est alors renforcée lors d'éventuelles opérations sous tension sur ces circuits telles que le remplacement d'un feu ou d'une lampe de balisage d'aérodrome.

La mise en œuvre des circuits très basse tension est rendue possible par l'introduction de nouvelles technologies de sources lumineuses moins consommatrices en puissance électrique et nécessitant donc des tensions d'alimentation électrique moins élevées.

La conception et les procédures d'installation de ces circuits doivent être conformes aux exigences de la norme IEC 62870: 2015. Un circuit très basse tension peut être l'un des deux types suivants :

- ▶ un circuit Très Basse Tension de Sécurité (TBTS) où les feux ne doivent, en aucun cas, être reliés à la terre, ou
- ▶ un circuit Très Basse Tension de Protection (TBTP) où les feux peuvent être reliés à la terre.

Dans les deux cas, la performance des divers éléments constituant le circuit doit permettre de limiter la valeur efficace de la tension alternative aux bornes du feu à 50 V, en conditions sèches.

La surveillance et la maintenance préventive d'un circuit TBTS devraient être renforcées afin de maintenir des valeurs optimales de résistance d'isolement pour les câbles.

6. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS DE BALISAGE LUMINEUX DES AERODROMES

6.3.3. SYSTÈMES DE TÉLÉCOMMANDE ET TÉLÉSURVEILLANCE DES DISPOSITIFS LUMINEUX DE BALISAGE

6.3.3.1. GÉNÉRALITÉS

Le système de télécommande et de télésurveillance des dispositifs lumineux de balisage comprend l'ensemble des équipements permettant la commande, le contrôle et la surveillance automatique des différents dispositifs lumineux de balisage. Il peut se décomposer en plusieurs ensembles fonctionnels tels qu'indiqués ci-après :

- ▶ au niveau du Prestataire du Service de Navigation Aérienne (PSNA):
 - ▶ les systèmes d'IHM des services de la circulation aérienne: platine de contrôle et de commande des pupitres de la tour de contrôle d'aérodrome,
 - ▶ les systèmes d'IHM des services techniques du PSNA,
 - ▶ les systèmes de gestion de l'ensemble des systèmes d'IHM, y compris ceux des systèmes de supervision et d'enregistrement,
 - ▶ le(s) interface(s) de communication entre les services de la circulation aérienne et le gestionnaire du balisage lumineux (i.e. l'exploitant l'aérodrome),
- ▶ au niveau de l'exploitant d'aérodrome:
 - ▶ le(s) interface(s) de communication entre le gestionnaire du balisage (l'exploitant d'aérodrome) et les services de la circulation aérienne,
 - ▶ les systèmes d'automatisme (centraux et déportés),
 - ▶ les interfaces avec les systèmes d'alimentation électrique (régulateurs, sources d'alimentation électrique, autres systèmes divers),
 - ▶ les systèmes de supervision et de maintenance (y compris les systèmes d'enregistrement).

6. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS DE BALISAGE LUMINEUX DES AERODROMES

De même, les composants de ces différents ensembles fonctionnels peuvent être regroupés selon différentes typologies techniques :

- ▶ les câbles: assemblages internes ou externes d'un ou plusieurs conducteurs ou fibres optiques, munis d'une enveloppe protectrice et éventuellement de matériaux de remplissage, d'isolation et de protection,
- ▶ les systèmes d'alimentations spécifiques ou générales,
- ▶ les sous-systèmes tels qu'écrans tactiles, platines à boutons, automates, PC, écrans de supervision, imprimantes, etc.,
- ▶ les interfaces « électriques » entre les différents sous-systèmes ou entre les installations de balisage lumineux et des équipements de type modems, circuits imprimés de parafoudre, boîtiers de connexion électrique et adaptateurs.



Figure 35 : Platine de contrôle et de commande du balisage lumineux – Aéroport de Paris Orly.

Note :

En fonction de la densité de circulation de l'aéroport, ces ensembles fonctionnels peuvent présenter différents niveaux d'intégration.

6. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS DE BALISAGE LUMINEUX DES AERODROMES

6.3.3.2. ESSAIS FONCTIONNELS

6.3.3.2.1. PRINCIPE ET DESCRIPTION

Le programme de maintenance préventive des systèmes de télécommande et télésurveillance des dispositifs lumineux de balisage utilisés par les services de la circulation aérienne devrait comprendre des essais permettant de vérifier leur fonctionnement normal. Ces essais devraient inclure les opérations suivantes :

- ▶ vérification de la fonction d'activation, par les services de la circulation aérienne, des barres d'arrêt permanentes et commandables,
- ▶ vérification des fonctions d'activation dynamique, au moyen d'un véhicule simulant un avion, et de désactivation, par les services de la circulation aérienne, des barres d'arrêt commandables,
- ▶ vérification de la fonction d'activation, par les services de la circulation aérienne, des dispositifs lumineux de balisage exigés par la mise en œuvre de procédures applicables par visibilité réduite (LVP),
- ▶ vérification des fonctions d'activation et de désactivation, par les services de la circulation aérienne, des dispositifs lumineux de balisage autres que ceux exigés par la mise en œuvre de LVP et les barres d'arrêt, depuis au moins un des systèmes d'IHM des pupitres de la tour de contrôle de l'aérodrome, en vérifiant un système d'IHM différent chaque jour dans le cas où la tour de contrôle de l'aérodrome possède plusieurs systèmes d'IHM,
- ▶ vérification, sur chaque système d'IHM, de la cohérence des retours d'information fournis aux services de la circulation aérienne, concernant le statut opérationnel des dispositifs lumineux de balisage, par rapport aux observations visuelles,
- ▶ vérification de la conformité du réglage du niveau de brillance avec les observations visuelles, et
- ▶ vérification de l'enregistrement, par les systèmes de surveillance, des événements simulés et vérification de la cohérence des enregistrements des événements simulés par rapport aux observations visuelles.

6.3.3.2.2. PÉRIODICITÉS

Les essais de fonctionnement des systèmes de télécommande et télésurveillance des dispositifs lumineux de balisage peuvent être en partie réalisés lors de la vérification visuelle sur site du balisage lumineux elle-même effectuée à l'occasion de l'inspection quotidienne de la piste.

Les essais de fonctionnement des systèmes de télécommande et télésurveillance du balisage lumineux devraient être réalisés selon les périodicités suivantes :

- ▶ quotidienne pour tout dispositif lumineux de balisage, sauf pour ceux exigés par la mise en œuvre de LVP (si installés) et les barres d'arrêt (si installées),
- ▶ hebdomadaire pour les barres d'arrêt, si installées
- ▶ au moins mensuelle pour les dispositifs lumineux exigés par la mise en œuvre de LVP, si installés, et à définir en fonction des contraintes de mise en route et de contrôle de la source auxiliaire d'alimentation électrique (par exemple, groupes électrogènes) et des autres systèmes que les dispositifs lumineux de balisage, exigés par la mise en œuvre de LVP.

6. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS DE BALISAGE LUMINEUX DES AERODROMES

6.3.3.3. ESSAIS DE DÉTECTION ET DE REMONTÉE DES DÉFAUTS DE FONCTIONNEMENT

6.3.3.3.1. PRINCIPE

Le programme de maintenance préventive des systèmes de télécommande et télésurveillance des dispositifs lumineux de balisage devrait comprendre des essais visant à vérifier leur capacité à détecter et à remonter, dans les délais prévus, sur les différents systèmes d'IHM des services de la circulation aériennes et des services techniques de supervision, les défauts de fonctionnement des dispositifs lumineux de balisage.

Les défauts de fonctionnement peuvent être générés soit directement au niveau des dispositifs lumineux de balisage (par exemple, lors de leur contrôle), soit au niveau des interfaces électriques entre le système de télécommande et les dispositifs lumineux de balisage télécommandés.

6.3.3.3.2. PÉRIODICITÉ

Les essais de détection et de remontée des défauts de fonctionnement des systèmes de télécommande et télésurveillance des dispositifs lumineux de balisage devraient être réalisés selon une périodicité semestrielle. Les composants de rechange des systèmes IHM peuvent être testés à cette occasion.

6.3.3.4. ENTRETIEN ET CONTRÔLE DES COMPOSANTS

Cf. section 6.3.3.1 pour la description des différentes catégories de composants des systèmes de télécommande et télésurveillance des dispositifs lumineux de balisage.

En règle générale, les composants des systèmes de télécommande et télésurveillance des dispositifs lumineux de balisage ne sont pas des produits industriels spécifiques au balisage d'aérodrome mais des produits industriels standards.

6.3.3.4.1. SOUS-SYSTÈMES

Les opérations d'entretien des sous-systèmes tels que les écrans tactiles, les platines de contrôle avec boutons, les API, les ordinateurs devraient être réalisées conformément à la périodicité et aux autres instructions indiquées par leurs fabricants.

Cf. section 5.4.12.2 pour le détail des opérations d'entretien à réaliser sur les API.

6. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS DE BALISAGE LUMINEUX DES AERODROMES

6.3.3.4.2. UNITÉS D'ALIMENTATION SPÉCIFIQUE OU GÉNÉRALE

Les opérations d'entretien des unités d'alimentation spécifique ou générale devraient être réalisées conformément aux périodicités et autres instructions définies par leurs fabricants. Leurs paramètres caractéristiques devraient être contrôlés mensuellement et leur autonomie (onduleurs, chargeurs), semestriellement. Cf. section 5.4.7 pour le détail des opérations d'entretien des ASI.

6.3.3.4.3. INTERFACES ÉLECTRIQUES

Les opérations d'entretien des interfaces électriques telles que les modems, les circuits imprimés des parafoudres et les divers boîtiers de communication et d'adaptation électrique devraient être réalisées conformément aux périodicités et autres instructions indiquées par leurs fabricants. Les opérations d'entretien des composants des parafoudres devraient être réalisées semestriellement.

6.3.3.4.4. CÂBLERIE

Les éléments de câblerie sont soumis à diverses contraintes liées à leurs conditions d'installation. Ces contraintes sont, en général, plus agressives dans un environnement extérieur. Le programme d'entretien des éléments de câblerie devrait donc tenir compte de ces contraintes et comprendre les opérations suivantes :

- ▶ pour les câbles cheminant uniquement à l'intérieur des bâtiments :
 - ▶ une fois par an, un contrôle visuel des liaisons le long des divers cheminements (en portant l'attention sur les dommages liés à des rayons de courbure inadaptés ou aux articles de fixation sur les chemins de câbles) et des connexions aux extrémités équipées de fiches de raccordement,
 - ▶ tous les deux ans, une vérification des paramètres caractéristiques électriques (ou optiques) des liaisons.
- ▶ pour les câbles cheminant à l'extérieur des bâtiments: une fois par an, un contrôle visuel des parties accessibles et vérification des paramètres caractéristiques électriques (ou optiques).

6.3.4. SYSTÈMES DE CONTRÔLE ET DE GUIDAGE DES MOUVEMENTS À LA SURFACE (SMGCS) ET SYSTÈMES PERFECTIONNÉS DE CONTRÔLE ET DE GUIDAGE DES MOUVEMENTS À LA SURFACE (A-SMGCS)

La maintenance des SMGCS et des A-SMGCS associés aux dispositifs lumineux balisage devrait être effectuée conformément aux instructions définies par leurs fabricants et conformément aux dispositions du présent guide relatives à la maintenance des dispositifs lumineux de balisage et aux systèmes de télécommande associés.

6. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS DE BALISAGE LUMINEUX DES AERODROMES

6.3.5. INFRASTRUCTURES DE BALISAGE LUMINEUX

Les infrastructures de balisage lumineux sont destinées à recevoir ou supporter les dispositifs lumineux de balisage ainsi que des équipements électriques associés tels que câbles, connecteurs, transformateurs d'isolement, relais, interfaces électriques des systèmes de télécommande et télésurveillance des dispositifs lumineux de balisage, etc. Les infrastructures de balisage lumineux sont installées sur ou à proximité immédiate des aires de mouvement (pistes, voies de circulation) et doivent également satisfaire les exigences requises pour les dispositifs lumineux de balisage en termes de sécurité d'exploitation (résistance à une charge statique, aux chocs mécaniques et au souffle des avions) et de fiabilité.

Les infrastructures de balisage lumineux à considérer sont les regards et chambres de tirage, les massifs supports des feux hors sol, les saignées et les fourreaux.

6.3.5.1. REGARDS ET CHAMBRES DE TIRAGE

Les regards sont destinés à recevoir différents équipements électriques associés aux dispositifs lumineux de balisage tels que des transformateurs d'isolement, les câbles des circuits primaires et secondaires, des connecteurs, les équipements spécifiques des feux supervisés individuellement, des relais, etc.

Les chambres de tirage permettent de réaliser aisément le passage de câbles, sous une chaussée par exemple.

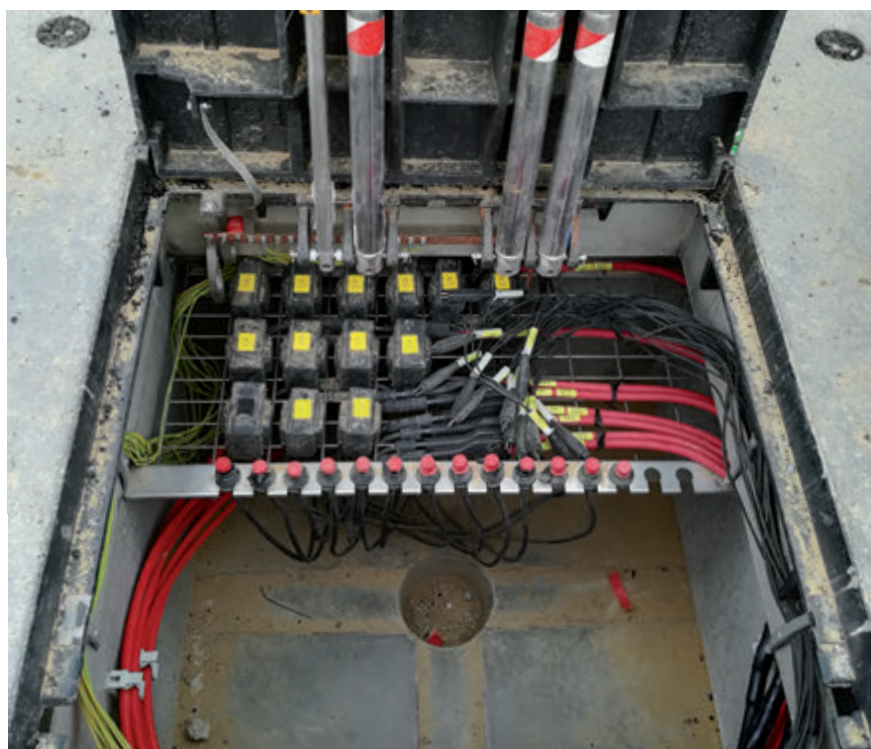


Figure 36: Regard pour dispositifs lumineux de balisage – Aéroport de Paris Orly.

6. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS DE BALISAGE LUMINEUX DES AERODROMES

6.3.5.1.1. OPÉRATIONS DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE DES PARTIES EXTERNES

Les regards et chambres de tirage ne doivent, en aucun cas, constituer un obstacle sur une piste, un accotement, une bande de piste, une bande de voie de circulation dans le cas où un aéronef sortirait de la piste ou de la voie de circulation.

L'intégrité mécanique, la stabilité et la conformité des regards et chambres de tirage ainsi que de l'absence de saillies et de tassements de terrain majeurs autour de ces ouvrages, pouvant résulter de mouvements de terrain, devraient être vérifiées.

L'identification des différents câbles et autres éléments dans les regards et chambres de tirage, en cohérence avec les plans et schémas des installations, devrait être également vérifiée.

6.3.5.1.2. OPÉRATIONS DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE DES PARTIES INTERNES

Les équipements électriques tels que les transformateurs, les câbles, les connecteurs, les relais, les interfaces électriques des systèmes de télécommande et de télésurveillance des dispositifs lumineux de balisage devraient être disposés de manière fonctionnelle afin de réduire la durée des opérations de maintenance.

Les transformateurs d'isolement, les connecteurs et autres équipements électriques devraient être positionnés sur des chemins de câbles, cornières ou autres systèmes permettant, entre autres, une mise hors d'eau des appareils électriques.

Une attention particulière devrait être portée aux différents rayons de courbure des câbles et cordons. Les rayons de courbure des différents câbles devraient être conformes aux instructions des fabricants.

Les équipements électriques devraient être identifiés au moyen d'étiquettes avec un marquage indélébile permettant un repérage rapide de leur fonction.

Concernant le circuit de terre, en règle générale, à l'intérieur des regards, les conducteurs de terre des feux doivent être reliés à la terre par l'intermédiaire d'une barrette ou d'un autre système lui-même relié à la terre, soit par le conducteur en cuivre nu ceinturant la piste, soit par un piquet de terre disposé en fond de regard ou à proximité du regard. Les écrans des câbles 6 kV doivent être également reliés à la terre au niveau des connecteurs. Ces différentes connexions de masse peuvent être très endommagées compte tenu des conditions environnantes. Un examen visuel devrait être réalisé afin de détecter les dommages importants dus à la corrosion et susceptibles d'entraîner, à terme, une ouverture du circuit de terre et présenter un risque électrique pour les agents de maintenance.

L'état de propreté des parties internes des regards et chambres de tirage devrait également être vérifié afin d'éviter l'accumulation de boues, pierres, végétaux ou autres éléments susceptibles d'allonger la durée des interventions de maintenance.

6.3.5.1.3. PÉRIODICITÉ DES OPÉRATIONS DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE

L'état général des parties internes et externes des regards et chambres de tirage devrait être examiné visuellement au moins une fois par an.

6. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS DE BALISAGE LUMINEUX DES AERODROMES

6.3.5.2. MASSIFS SUPPORTS

6.3.5.2.1. GÉNÉRALITÉS

Les feux hors sol (d'approche, de piste, de voie de circulation, PAPI, ...), les panneaux de signalisation d'aérodrome et les indicateurs de direction du vent doivent être positionnés sur des massifs en béton de ciment ayant des dimensions variables adaptées au type de feu et à la nature du terrain.

Ces massifs supports ne doivent, en aucun cas, constituer un obstacle sur une piste, un accotement, une bande de piste, une bande de voie de circulation, dans le cas où un aéronef sortirait de la piste ou de la voie de circulation.



Figure 37: Massif support d'un indicateur de direction du vent - Aérodrome de Paris Orly.

6.3.5.2.2. LISTE DES OPÉRATIONS DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE

L'intégrité mécanique et la stabilité des massifs supports ainsi que l'absence de saillies et de tassements importants de terrain autour de ces ouvrages pouvant résulter de mouvements de terrain, devraient être vérifiées. Une attention particulière devrait être portée sur les massifs supports des indicateurs visuels de pente d'approche. Cf section 6.3.9 pour le détail des opérations de maintenance des unités de PAPI.

L'intégrité, la stabilité, la rigidité, la hauteur, l'état d'oxydation et le filetage des interfaces de fixation des feux dans les massifs supports devraient être vérifiés visuellement.

6.3.5.2.3. PÉRIODICITÉ DES OPÉRATIONS DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE

Les opérations de maintenance préventives des massifs supports, précédemment listées, devraient être effectuées au moins une fois par an. Compte tenu des éventuels mouvements de terrain, des vérifications plus fréquentes devraient être réalisées dans les mois suivant l'installation d'un massif support.

6. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS DE BALISAGE LUMINEUX DES AERODROMES

6.3.5.3. FOURREAUX ET BUSES

6.3.5.3.1. GÉNÉRALITÉS

Les divers câbles d'alimentation et de télécommande des dispositifs lumineux de balisage peuvent cheminer dans des fourreaux ou des buses reliant les divers regards ou chambres de tirages entre eux et assurant leur protection mécanique.

6.3.5.3.2. LISTE DES OPÉRATIONS DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE

Les plans des réseaux de buses et de fourreaux devraient être tenus à jour afin de faciliter le repérage, le positionnement et l'éventuel remplacement de câbles réalisés dans le cadre d'opérations de maintenance.

La présence de bouchons aux extrémités des fourreaux dans les regards ou les chambres de tirage devrait être vérifiée. Ces bouchons permettent d'éviter l'obstruction des fourreaux par des dépôts et de faciliter le passage des câbles.

6.3.5.3.3. PÉRIODICITÉ DES OPÉRATIONS DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE

Les fourreaux et buses devraient être examinés visuellement une fois par an afin de s'assurer de l'absence de dégradation. Les plans des réseaux de buses et de fourreaux devraient être mis à jour une fois par an. L'absence d'obstruction des buses et des fourreaux dans les zones sensibles (traversées de chaussée, par exemple) devrait être vérifiée tous les cinq ans, afin de permettre un changement rapide de câble défectueux.

6.3.5.4. SAIGNÉES

6.3.5.4.1. GÉNÉRALITÉS

Les câbles d'alimentation de feux encastrés, de certains feux hors sol et des boucles d'induction des barres d'arrêt peuvent être installés dans des saignées réalisées dans le revêtement de la chaussée.



Figure 38: Saignée sur une piste en béton.

6. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS DE BALISAGE LUMINEUX DES AERODROMES

6.3.5.4.2. LISTE DES OPÉRATIONS DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE

Compte tenu des contraintes liées au roulage des aéronefs et/ou des conditions climatiques locales, des dégradations peuvent survenir et entraîner une rupture voire un arrachement du câble avec présence de débris sur la chaussée.

Un examen visuel des saignées devrait être réalisé en coordination avec les services en charge de la maintenance de la structure des chaussées.

6.3.5.4.3. PÉRIODICITÉ DES OPÉRATIONS DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE

L'examen visuel des saignées devrait être réalisé au minimum deux fois par an. Cette périodicité devrait être adaptée à la densité de trafic de l'aérodrome et aux conditions météorologiques locales.

6.3.5.4.4. OPÉRATIONS DE RÉFECTION

La réfection d'une saignée (sciage, mise en place des câbles, résines, ...) devrait être réalisée conformément aux instructions du fabricant des produits spécifiques utilisés, concernant notamment la compatibilité des divers produits entre eux, avec le revêtement et avec les matériels. Une saignée ayant été remise en état devrait faire l'objet d'un suivi spécifique pendant les semaines suivant sa réfection.

6.3.6. PANNEAUX LUMINEUX DE SIGNALISATION D'AÉRODROME

6.3.6.1. GÉNÉRALITÉS

Les panneaux lumineux de signalisation d'aérodrome comprennent les panneaux d'obligation et les panneaux d'indication. Ces panneaux peuvent être de type diurne ou nocturne avec éclairage interne ou externe.

Les panneaux lumineux de signalisation d'aérodrome peuvent être exposés au souffle des aéronefs, à des projections de graviers et autres ainsi qu'à de mauvaises conditions météorologiques.



Figure 39: Panneaux de point d'attente avant piste.

6. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS DE BALISAGE LUMINEUX DES AERODROMES

6.3.6.2. LISTE DES OPÉRATIONS DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE

Les opérations d'entretien des panneaux lumineux de signalisation d'aérodrome devraient être réalisées conformément aux instructions du fabricant. En outre, le programme d'entretien des panneaux lumineux de signalisation d'aérodrome devrait comprendre les vérifications visuelles suivantes :

- ▶ vérification de l'état général (intégrité et bon fonctionnement),
- ▶ vérification de l'état des pieds, du serrage des supports de fixation et des dispositifs d'accrochage utiles en cas de rupture du panneau et, si nécessaire, resserrage des supports de fixation,
- ▶ vérification de l'intégrité de la façade et, le cas échéant, de l'état des films colorés,
- ▶ vérification de l'état des connexions,
- ▶ vérification de l'état, du bon fonctionnement et de la disposition des sources lumineuses,
- ▶ vérification de la lisibilité des inscriptions et de l'absence de végétaux susceptibles de les masquer.



Figure 40: Feu de point d'attente sur voie de service Aéroport de Strasbourg Entzheim.

6.3.6.3. PÉRIODICITÉ DES OPÉRATIONS DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE

Les opérations de maintenance préventive des panneaux lumineux de signalisation d'aérodrome listées précédemment devraient être effectuées au moins une fois par an. Elles devraient inclure un examen visuel de nuit. Cependant, les vérifications d'intégrité et de bon fonctionnement des panneaux lumineux de signalisation d'aérodrome doivent être réalisées lors de chacune des inspections quotidiennes des dispositifs lumineux de balisage d'aérodrome, telles que définies en section 6.3.8.1.

6. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS DE BALISAGE LUMINEUX DES AERODROMES

6.3.7. FEUX DE POINT D'ATTENTE SUR VOIE DE SERVICE

6.3.7.1. EMBLACEMENT ET CARACTÉRISTIQUES

Un feu de point d'attente sur voie de service doit être disposé à chaque point d'attente sur voie de service desservant une piste et doit être constitué par l'un des feux suivants :

- ▶ un feu de circulation télécommandé rouge (arrêt)/vert (passez), ou
- ▶ un feu rouge clignotant à une fréquence comprise entre 30 et 60 éclats par minute.

6.3.7.2. OPÉRATIONS DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE

Les opérations de maintenance préventive des feux de point d'attente sur voie de service devraient être effectuées conformément aux instructions données par le fabricant.

Des inspections visuelles quotidiennes devraient également être réalisées, lors de chacune des inspections quotidiennes des dispositifs lumineux de balisage d'aérodrome telles que définies en section 6.3.8.1.

6.3.8. FEUX DE BALISAGE (SAUF FEUX DE POINT D'ATTENTE SUR VOIE DE SERVICE)

6.3.8.1. INSPECTIONS VISUELLES

Les dispositifs lumineux de balisage doivent être contrôlés visuellement, selon les périodicités suivantes :

- ▶ quotidiennement pour les pistes de chiffre de code 1 et 2, et
- ▶ deux fois par jour pour les pistes de chiffre de code 3 ou 4.

Les inspections visuelles des dispositifs lumineux de balisage peuvent être réalisées à l'occasion des visites de piste.

6. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS DE BALISAGE LUMINEUX DES AERODROMES

6.3.8.2. MESURES PHOTOMETRIQUES SUR SITE

6.3.8.2.1. GÉNÉRALITÉS

L'intensité lumineuse des feux de balisage d'aérodrome ne peut être vérifiée visuellement. Une différence d'intensité lumineuse entre deux feux ne peut être perçue par l'œil humain seulement si le rapport d'intensité lumineuse est supérieur à deux. En conséquence, l'intensité lumineuse moyenne du faisceau principal des feux doit être mesurée sur site et les résultats de mesure doivent être comparés aux valeurs minimales requises en tant qu'objectifs de maintenance, telles qu'indiquées au Tableau 8 de la section 6.2.2.1. Cf section 7.7 pour des informations détaillées sur les grandeurs photométriques.

Les mesures sur site de l'intensité lumineuse du faisceau principal des feux de balisage de piste doivent être réalisées, dans la mesure du possible, sur chaque feu, afin d'assurer leur surveillance et d'évaluer la dégradation de leur performance.

Les mesures sur site de l'intensité lumineuse du faisceau principal des feux du dispositif lumineux d'approche doivent, dans la mesure du possible, en fonction de leur hauteur d'installation, être réalisées sur chaque feu.

Les mesures sur site de l'intensité lumineuse du faisceau principal des feux de barre d'arrêt et des feux de voie de sortie de piste devraient être réalisées depuis l'axe de piste jusqu'au périmètre de la zone critique/sensible d'ILS/MLS ou jusqu'à la limite inférieure de la surface intérieure de transition, si cette dernière est plus éloignée de la piste.

Noter que les autres caractéristiques des feux de balisage d'aérodrome telles que l'intensité lumineuse minimale du faisceau principal, les intensités minimales exigées dans les directions situées à l'intérieur des surfaces délimitées par les courbes isocandela extérieures, le rapport entre le maximum et le minimum d'intensité lumineuse du faisceau principal et les coordonnées chromatiques du faisceau principal doivent être évaluées en laboratoire avant installation afin de vérifier leur conformité aux exigences applicables. Cf. section 7.8 pour des informations détaillées sur la méthode de mesure en laboratoire de l'intensité lumineuse des feux de balisage d'aérodrome.

Sur les aérodromes français, les mesures photométriques sur site des feux de balisage d'aérodrome peuvent être réalisées soit manuellement au moyen d'un luxmètre portable, soit au moyen d'un système dynamique de mesure photométrique ayant reçu un avis technique favorable du STAC.

6. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS DE BALISAGE LUMINEUX DES AERODROMES

6.3.8.2.2. MÉTHODE MANUELLE DE MESURE

Pour réaliser manuellement les mesures photométriques des feux de balisage d'aérodrome au moyen d'un luxmètre portable, les exigences suivantes sont formulées.

- ▶ **Équipement de mesure :** Le luxmètre doit être adapté au feu de balisage, qu'il soit à LED ou à incandescence.
- ▶ **Distance de mesure :**
 - ▶ La distance de mesure entre le luxmètre et le feu de balisage doit être connue avec précision, un écart de quelques centimètres pouvant avoir un impact significatif sur les résultats de mesure.
 - ▶ La distance de mesure entre le luxmètre et le feu de balisage doit être adaptée aux caractéristiques du luxmètre, aux caractéristiques du feu (intensité lumineuse, taille de la source lumineuse, type hors sol ou encastré, nombre de sources lumineuses) et aux conditions lumineuses ambiantes. Une distance de mesure comprise entre 3 et 5 mètres s'avère pertinente. L'utilisation d'une distance de mesure de 3,16 mètres permet un calcul rapide de l'intensité lumineuse maximale qui peut être obtenue en multipliant l'éclairement mesuré par un facteur 10 ($\approx 3,16^2$). Cf. Tableau 13 pour des exemples de valeurs de distance de mesure recommandées pour des feux de balisage d'approche ou de piste avec approche de précision.

Feux de balisage d'aérodrome		Valeur minimale requise pour l'intensité lumineuse moyenne du faisceau principal pour une installation sur site (cd)	Type hors sol ou encastré Nombre de sources lumineuses	Distance de mesure recommandée (m)
Feux de ligne axiale ou de barre transversale d'approche (Lumière blanche)		20 000	Feux hors sol ou encastrés	5
Feux de barrette latérale d'approche (Lumière rouge)		5 000	Feux hors sol	3
			Feux encastrés avec une seule source lumineuse	3
			Feux encastrés avec 2 ou 3 sources lumineuses	5
Feux de seuil de piste		10 000	Feux hors sol	3
			Feux encastrés avec 2 ou 3 sources lumineuses	5
Feux de bord de piste	Lumière blanche	10 000	Feux hors sol	3
	Lumière jaune	4 000	Feux encastrés avec 2 ou 3 sources lumineuses	5
	Lumière rouge	1 500		
Feux d'axe de piste (Lumière blanche) Feux de zone de toucher des roues		5 000	Feux encastrés	3
Feux d'axe de piste (Lumière rouge)		750	Feux encastrés	3
Feux d'extrémité de piste		2 500	Feux hors sol	3
			Feux encastrés avec 2 ou 3 sources lumineuses	5

Tableau 13 : Distances de mesure photométrique recommandées pour les feux de balisage d'approche ou de piste avec approche de précision.

6. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS DE BALISAGE LUMINEUX DES AERODROMES

- ▶ **Conditions de mesure** : Les mesures doivent être réalisées de nuit, afin de garantir la reproductibilité de mesure, et avec une chaussée sèche, afin d'éviter le phénomène de réflexion de la lumière émise par le feu sur la chaussée.
- ▶ **Protocole de mesure** : Les étapes suivantes doivent être suivies.
 - ▶ Positionner le luxmètre perpendiculairement à la direction du faisceau principal du feu de balisage.
 - ▶ Déplacer doucement le luxmètre du haut vers le bas et de droite à gauche, tout en gardant la même distance de mesure du feu, afin de trouver la valeur maximale E_{max} d'éclairement (en lux).
 - ▶ La valeur maximale I_{max} d'intensité lumineuse peut alors être déterminée en utilisant la formule suivante $I_{max} = E_{max} \cdot d^2$ où d est la distance de mesure du feu.
 - ▶ La valeur moyenne I_{moy} de l'intensité lumineuse du faisceau principal peut finalement être obtenue en appliquant un coefficient de pondération K à la valeur maximale I_{max} d'intensité lumineuse ($I_{avg} = K I_{max}$). **Le coefficient de pondération K doit être adapté au modèle et au type de feu de balisage et devrait être fourni par le fabricant du feu de balisage.** S'il n'est pas fourni, une valeur par défaut de 0,70 (valeur la plus pénalisante) peut être appliquée.

Feux de balisage d'aérodrome	Type hors sol ou encastré	Distance de mesure (m)	Valeur maximale mesurée d'éclairement E_{max} (lux)	Valeur maximale mesurée d'intensité lumineuse I_{max} (cd)	Coefficient de pondération	Intensité lumineuse moyenne du faisceau principal I_{moy} (cd)		Hors service ou OK
						Valeur mesurée	Valeur minimale requise en tant qu'objectif de maintenance	
Feux de ligne axiale ou de barre transversale d'approche (Lumière blanche)	Hors sol	5	1257	31 425	0.70	21 998	10 000	OK
			502	12 550	0.70	8 785	10 000	Hors service
Feux de seuil de piste	Encastré	5	275	6 875	0.85	5 844	5 000	OK
	Hors sol	3	604	5 436	0.85	4 620	5 000	Hors service
Feux d'axe de piste	Lumière blanche	Encastré	3	332	2 988	0.82	2 450	Hors service
	Lumière rouge	Encastré	3	68	612	0.82	502	375
Feux de bord de piste (Lumière blanche)	Encastré	3	1692	15 228	0.75	11 421	5 000	OK
	Hors sol	3	733	6 597	0.75	4 948	5 000	Hors service
Feux d'extrémité de piste)	Encastré	3	240	2 160	0.90	1 944	1 250	OK

Tableau 14 : Exemples de résultats de mesure photométrique sur site de feux de balisage d'approche ou de piste avec approche de précision.

Le Tableau 14 donne des exemples de coefficients de pondération et de résultats de mesure sur site, avec les valeurs minimales requises associées (en tant qu'objectifs de maintenance) pour l'intensité lumineuse moyenne du faisceau principal des feux de balisage d'approche ou de piste avec approche de précision. Ces exemples sont donnés uniquement à titre indicatif.



Figure 41 : Mesure photométrique sur site d'un feu de seuil de piste réalisée manuellement.

6. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS DE BALISAGE LUMINEUX DES AERODROMES

6.3.8.2.3. PÉRIODICITÉS

La périodicité de mesure photométrique sur site des feux de balisage d'une piste avec approche de précision de catégorie II ou III doit tenir compte de la densité de la circulation, du niveau local de pollution, de la fiabilité du matériel de balisage lumineux installé et de l'évaluation continue des mesures prises sur site. Dans tous les cas, elle ne doit pas être inférieure à deux fois par an pour les feux encastrés et à une fois par an pour les autres feux.

Les périodicités de mesure photométrique sur site indiquées dans les tableaux 15 et 16 et sont communiquées uniquement à titre indicatif, et doivent être adaptées en fonction des résultats de mesures.

6.3.8.2.3.1. FEUX ENCASTRÉS

Supportant le passage des roues d'aéronefs, la périodicité de mesure photométrique sur site des feux encastrés de balisage doit tenir compte de la densité de circulation.

Les périodicités dites « de référence » ou « de base » sont celles relatives à une faible densité de circulation. Des coefficients multiplicatifs sont définis pour les niveaux supérieurs de densité de circulation (un coefficient par niveau de densité de circulation). Un coefficient multiplicatif de 2 est associé à une densité moyenne de circulation et un coefficient multiplicatif de 4 est associé à une densité forte de circulation.

Le Tableau 15 donne des exemples de périodicités de mesure photométrique sur site des feux encastrés de balisage, dépendant des conditions d'exploitation de la piste et de la densité de circulation de l'aérodrome. Conformément aux dispositions de la section 1.3, d'autres périodicités peuvent être définies, sous réserve de garantir un niveau de performance équivalent.

Piste		Densité de circulation		
		Faible	Moyenne	Forte
Piste avec approche de précision de catégorie II ou III		2 fois par an	4 fois par an	8 fois par an
Piste avec approche de précision de catégorie I		1 fois par an	2 fois par an	4 fois par an
Piste réservée aux décollages	Portée visuelle de piste < 150 m	2 fois par an	4 fois par an	8 fois par an
	150 m ≤ Portée visuelle de piste < 550 m	1 fois par an	2 fois par an	4 fois par an
	Portée visuelle de piste ≥ 550 m	1 fois tous les 2 ans	1 fois par an	2 fois par an

Tableau 15 : Exemples de périodicités de mesure photométrique sur site des feux encastrés de balisage en fonction du type de piste et de la densité de circulation de l'aérodrome.

6. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS DE BALISAGE LUMINEUX DES AERODROMES

6.3.8.2.3.2. FEUX HORS SOL

La périodicité de mesure photométrique sur site des feux hors sol de balisage doit tenir compte du niveau local de pollution (pollution due à l'air marin, pollution industrielle) et des conditions météorologiques locales. Il n'est pas nécessaire de prendre en compte la densité de circulation de l'aérodrome.

Le Tableau 16 donne des exemples de périodicités de mesure photométrique sur site des feux hors sol de balisage d'aérodrome à haute intensité lumineuse, dépendant des conditions d'exploitation. Conformément aux dispositions de la section 1.3, d'autres périodicités peuvent être définies, sous réserve de garantir un niveau de performance équivalent.

Piste		Périodicité
Piste avec approche de précision de catégorie II ou III		1 fois par an
Piste avec approche de précision de catégorie I		1 fois par an
Piste avec approche classique		1 fois tous les 2 ans
Piste avec approche à vue		1 fois tous les 4 ans
Piste réservée aux décollages	RVR < 150 m	1 fois tous les 2 ans
	150 m ≤ RVR < 550 m	1 fois par an ou 1 fois tous les 2 ans si des feux d'axe de piste sont installés
	RVR ≥ 550m	1 fois tous les 2 ans

Tableau 16 : Exemples de périodicités de mesure photométrique sur site des feux hors sol de balisage à haute intensité lumineuse en fonction du type de piste.

6.3.8.2.4. ADAPTATION DU PROGRAMME DE MAINTENANCE

Les résultats des mesures photométriques sur site des feux de balisage devraient être analysés et, en fonction des résultats de mesure, les modifications suivantes peuvent être apportées aux actions de maintenance préventive existantes, afin de répondre aux exigences de niveau de fonctionnement définies pour les dispositifs lumineux de balisage d'aérodrome :

- ▶ adapter la périodicité des actions de maintenance préventive afin de prendre en compte les conditions d'exploitation de la piste, les conditions météorologiques locales et la densité de circulation de l'aérodrome,
- ▶ adapter la périodicité de contrôle (mesure photométrique sur site),
- ▶ évaluer l'efficacité du procédé de nettoyage en réalisant des mesures photométriques sur site avant et après nettoyage et, le cas échéant, modifier le procédé de nettoyage,
- ▶ conduire une analyse critique des mesures photométriques sur site réalisées par un prestataire tiers.

Dans tous les cas, si les exigences de niveau de fonctionnement, définies en termes de pourcentage maximal de feux hors service par dispositif lumineux de balisage, ne sont pas satisfaites, des actions adaptées de maintenance corrective (nettoyage des verrines des feux, changement des sources lumineuses des feux, mesure des intensités électriques, ...) doivent être réalisées dans les meilleurs délais. Des mesures photométriques complémentaires peuvent être réalisées sur site consécutivement aux actions de maintenance préventive entreprises afin d'évaluer leur efficacité.

6. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS DE BALISAGE LUMINEUX DES AERODROMES

6.3.8.3. AUTRES OPÉRATIONS DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE

6.3.8.3.1. GÉNÉRAL

La présente section s'attache à définir l'ensemble des vérifications, à l'exclusion des mesures photométriques sur site (explicitées à la section 6.3.8.2), qui devraient être effectuées sur les feux de balisage d'approche, de piste, de voie de circulation et d'obstacle, fixes ou à éclats, en complément des instructions d'entretien définies par le fabricant.

Chaque feu de balisage d'aérodrome devrait être identifié, marqué, faire l'objet d'une surveillance régulière.

Chaque dispositif lumineux de balisage (de seuil de piste ou de bord de piste par exemple) devrait également faire l'objet d'une surveillance régulière.

Les feux hors sol et les feux encastrés étant fondamentalement différents, notamment en termes de caractéristiques mécaniques et optiques, des opérations spécifiques de maintenance préventive devraient être définies pour chacun des deux types de feux.

6.3.8.3.2. OPÉRATIONS SPÉCIFIQUES AUX DISPOSITIFS LUMINEUX DE BALISAGE

Le programme de maintenance préventive des dispositifs lumineux de balisage devrait comprendre les vérifications visuelles suivantes :

- ▶ vérification de l'enchevêtrement des boucles d'alimentation permettant de fournir un guidage visuel adéquat en cas de panne d'une source d'alimentation,
- ▶ vérification visuelle nocturne de la conformité du réglage (depuis les systèmes de télécommande et depuis les sources d'alimentation électrique) du niveau d'intensité lumineuse i.e. brillance, pour chaque niveau de brillance, et
- ▶ vérification de la conformité entre la valeur de consigne d'intensité électrique et la valeur mesurée par le régulateur à courant constant, pour chaque niveau de brillance.

6.3.8.3.3. OPÉRATIONS SPÉCIFIQUES AUX FEUX HORS SOL

Le programme de maintenance des feux de balisage hors sol devrait comprendre les vérifications spécifiques suivantes :

- ▶ vérification de l'intégrité et du serrage support (interface de fixation et poteau) et, si nécessaire, resserrage,
- ▶ vérification de l'intégrité, de l'étanchéité, de la résistance à la traction et de l'état d'usure du câble d'alimentation et du connecteur,
- ▶ vérification de l'intégrité, de la propreté, des calages en site et en azimut de la partie optique (cf. section 7.10).
- ▶ vérification de la cohérence d'identification sur les plans des installations.

6. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS DE BALISAGE LUMINEUX DES AERODROMES

6.3.8.3.4. OPÉRATIONS SPÉCIFIQUES AUX FEUX ENCASTRÉS

Le programme de maintenance préventive des feux hors sol de balisage devrait comprendre les vérifications spécifiques suivantes :

- ▶ concernant l'embase :
 - ▶ vérification visuelle de l'état général,
 - ▶ vérification visuelle du scellement,
 - ▶ vérification visuelle des calages en site et en azimut,
 - ▶ vérification visuelle de l'état de propreté et de l'étanchéité de la partie intérieure, et
 - ▶ vérification de la cohérence d'identification sur les plans des installations,
- ▶ concernant la partie encastrable :
 - ▶ vérification visuelle de l'intégrité et de l'état de propreté du (des) prisme(s),
 - ▶ vérification de l'absence de fissures,
 - ▶ vérification de l'intégrité, l'étanchéité, de la résistance à la traction et de l'état d'usure du câble d'alimentation et du connecteur,
 - ▶ vérification de l'intégrité du système de fixation, de la présence des écrous et, si nécessaire, serrage,
 - ▶ vérification de la cohérence d'identification sur les plans des installations.

6.3.8.3.5. OPÉRATIONS SPÉCIFIQUES AUX FEUX À LED

Les feux de balisage d'aérodrome à LED nécessitant un remplacement moins fréquent de leur source lumineuse par rapport aux feux halogènes de balisage d'aérodrome, leurs systèmes de fixation font moins fréquemment l'objet de démontage puis de remontage et peuvent ainsi se desserrer. En conséquence, le serrage des systèmes de fixation des feux de balisage d'aérodrome à LED, et plus particulièrement des feux encastrés de balisage d'aérodrome à LED, devrait être régulièrement vérifié.

Des informations détaillées sur le contrôle du serrage des systèmes de fixation des feux de balisage d'aérodrome sont fournies dans la note d'information technique référencée STAC/SE/E/EBA/15-5143 et disponible sur le site internet du STAC (www.stac.aviation-civile.gouv.fr).

6.3.8.3.6. PÉRIODICITÉS

Les opérations de maintenance préventive définies aux sections 6.3.8.3.2 et 6.3.8.3.3 devraient être effectuées au moins une fois par an. Elles devraient inclure un examen visuel de nuit.

Les opérations de maintenance préventive définies aux sections 6.3.8.3.4 devraient être effectuées au moins tous les 6 mois.

Le serrage des systèmes de fixation des feux de balisage à LED devrait être vérifié selon une périodicité adaptée.

Les vérifications de bon fonctionnement des feux de balisage d'aérodrome doivent être réalisées lors de chacune des inspections visuelles du balisage lumineux telles que définies par la section 6.3.8.1.

6. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS DE BALISAGE LUMINEUX DES AERODROMES

6.3.9. PAPI (PRECISION APPROACH PATH INDICATOR)

6.3.9.1. GÉNÉRALITÉS

Les dispositions d'installation d'un dispositif PAPI sont décrites dans le guide technique relatif à l'implantation et l'installation d'un dispositif PAPI publié par le STAC en janvier 2017 et disponible sur le site internet du STAC (www.stac.aviation-civile.gouv.fr).

Un dispositif PAPI étant considéré comme un dispositif lumineux hors sol de balisage, les opérations de maintenance préventive décrites à la section 6.3.8.3.3 et relatives aux massifs supports, parties optiques, câbles d'alimentation et connecteurs des unités lumineuses devraient être mises en œuvre. Cependant, en raison des caractéristiques spécifiques des unités lumineuses de PAPI permettant un guidage en site des aéronefs en approche, des actions particulières supplémentaires sont nécessaires.

Pour faciliter les contrôles, chacune des quatre unités lumineuses d'un dispositif PAPI devrait être identifiée par marquage, en utilisant les lettres A, B, C et D (lettre A pour l'unité lumineuse la plus éloignée de la piste et lettre D pour l'unité lumineuse la plus proche de la piste). La valeur réelle de réglage de l'angle de calage en site de chaque unité lumineuse devrait également figurée sur chaque unité lumineuse.

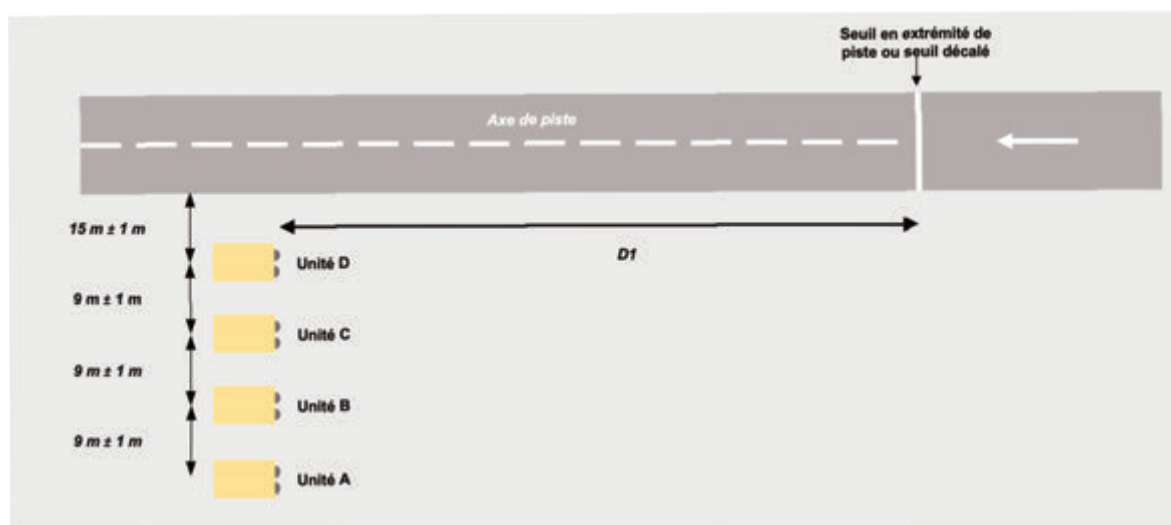


Figure 42: Implantation et identification des unités lumineuses d'un dispositif PAPI.

Les opérations d'entretien et de calage des unités lumineuses d'un dispositif PAPI devraient être réalisées conformément aux indications du fabricant concernant la procédure à mettre en œuvre et les instruments à utiliser.

Les opérations de maintenance préventive et autres opérations de maintenance réalisées sur les unités lumineuses d'un dispositif PAPI ainsi que le remplacement d'une unité lumineuse devraient faire l'objet d'enregistrements mis à la disposition des agents de maintenance.

Les particularités présentées par certains dispositifs PAPI ainsi que la méthode de contrôle du calage en site d'une unité lumineuse d'un dispositif PAPI sont décrites dans les notes d'information technique publiées par le STAC et disponibles sur le site internet du STAC (www.stac.aviation-civile.gouv.fr).

6. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS DE BALISAGE LUMINEUX DES AERODROMES

6.3.9.2. VÉRIFICATIONS GÉNÉRALES

L'intégrité et la stabilité des massifs supports des différentes unités lumineuses d'un dispositif PAPI devraient être vérifiées, tout défaut ayant un impact direct sur le calage des unités lumineuses.

En cas de choc entre une unité lumineuse d'un dispositif PAPI et un tracteur de fauchage par exemple, l'angle de calage en site doit être vérifié.

Par ailleurs, le programme de maintenance préventive d'une unité lumineuse d'un dispositif PAPI devrait comprendre les opérations suivantes :

- ▶ vérification visuelle du bon fonctionnement de la source lumineuse (absence de source lumineuse hors-service),
- ▶ vérification visuelle de l'intégrité,
- ▶ vérification visuelle de l'absence de végétaux susceptible de masquer le faisceau lumineux, en raison de l'éloignement de l'unité lumineuse par rapport au bord de piste (entre 15 et 42 m)
- ▶ vérification visuelle de l'état de propreté des parties externes et internes, nettoyage si nécessaire,
- ▶ vérification de l'intégrité des pieds et des systèmes de fixations, vérification du serrage des systèmes de fixation, resserrage si nécessaire,
- ▶ vérification visuelle de l'intégrité et de l'état de propreté des filtres rouges, des lentilles et des réflecteurs, nettoyage si nécessaire, et
- ▶ vérification visuelle des zones de transition colorimétrique des faisceaux de chaque unité lumineuse.



Figure 43: Unité lumineuse d'un dispositif PAPI - Aéroport de Châlons Vatry.

6. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS DE BALISAGE LUMINEUX DES AERODROMES

La vérification visuelle des zones de transition colorimétrique des faisceaux d'une unité lumineuse d'un dispositif PAPI est une action simple à réaliser avant chaque contrôle de son calage en site, que ce dernier soit réalisé au moyen d'une alidade ou selon une autre méthode. Elle se déroule en trois étapes :

- ▶ se positionner face aux faisceaux lumineux, à une distance d'environ 15 mètres de l'unité lumineuse,
- ▶ rechercher visuellement les zones de transition colorimétrique,
- ▶ vérifier visuellement que les deux zones de transition colorimétrique sont alignées (cf. Figure 44 et Tableau 17).

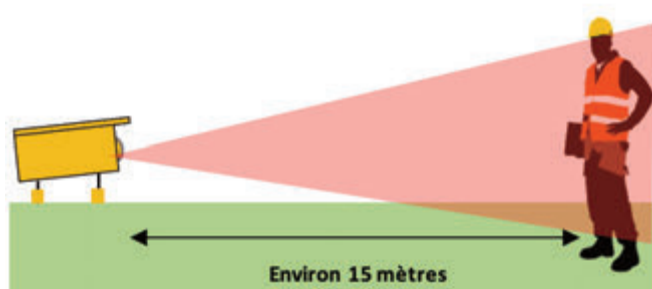


Figure 44: Vérification visuelle de l'alignement des zones de transition colorimétrique des faisceaux d'une unité lumineuse d'un dispositif PAPI.






Configuration observée	Avis
	Zones de transition colorimétrique alignées
	Zones de transition colorimétrique non alignée 
	
	

Tableau 17: Différentes configurations des zones de transition colorimétrique des faisceaux d'une unité lumineuse d'un dispositif PAPI.

Un alignement incorrect des zones de transition colorimétrique des faisceaux d'une unité lumineuse d'un dispositif PAPI peut être causé par l'un des défauts suivants :

- ▶ un défaut d'horizontalité de la partie frontale de l'unité lumineuse (cf. section 6.3.9.4),
- ▶ un défaut de positionnement du ou des filtres rouges dans le caisson de l'unité lumineuse,
- ▶ une déformation du caisson de l'unité lumineuse,
- ▶ un dérèglement de l'orientation des lentilles (survenu après le réglage initial du fabricant).

Dans les deux derniers cas, il est nécessaire de solliciter le fabricant du dispositif PAPI afin de prévoir la réparation ou le remplacement du caisson de l'unité lumineuse.

Il est à noter qu'un dispositif PAPI doit être déclaré hors service si une seule de ses unités lumineuses n'est pas conforme pour, au moins, l'une des raisons suivantes :

- ▶ source lumineuse hors service,
- ▶ angle de calage non conforme,
- ▶ transition colorimétrique non conforme, par exemple en raison d'un filtre endommagé, ou
- ▶ pied ou fixation cassé.

6. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS DE BALISAGE LUMINEUX DES AERODROMES

6.3.9.3. CONTRÔLE DU POSITIONNEMENT ET DU CALAGE HORIZONTAL DES UNITÉS LUMINEUSES

Le contrôle de l'alignement des unités lumineuses d'un dispositif PAPI devrait permettre de s'assurer que les exigences et tolérances d'installation sont satisfaites. Les unités lumineuses d'un dispositif PAPI doivent être montées aussi bas que possible et alignées dans un même plan horizontal, ce qui peut être vérifié au moyen d'un théodolite ou d'un niveau laser. Un écart maximal de hauteur de 5 cm entre les différentes unités lumineuses est toléré. Un écart maximal d'horizontalité de 1,25 % est toléré pour la pente formée par les unités lumineuses si cet écart est uniformément réparti entre elles.

Les parties frontales des caissons des unités lumineuses d'un dispositif PAPI doivent être alignées entre elles dans un même plan vertical perpendiculaire à l'axe de piste, avec un écart maximal toléré de 5 cm.

Le faisceau lumineux d'une unité lumineuse d'un dispositif PAPI doit être calé en azimut parallèlement à l'axe de piste, avec un écart maximal toléré de 1°, sauf cas particuliers.

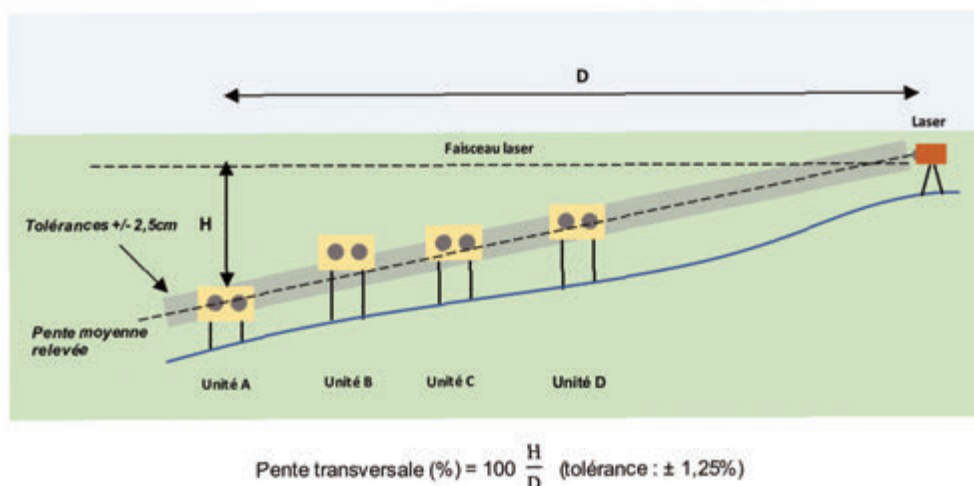


Figure 45: Mesure, au moyen d'un niveau laser, de la pente formée par les unités lumineuses d'un dispositif PAPI par rapport à l'horizontal.

6.3.9.4. CONTRÔLE DE L'HORIZONTALITÉ DE LA PARTIE FRONTALE D'UNE UNITÉ LUMINEUSE

L'horizontalité de la partie frontale du caisson d'une unité lumineuse d'un dispositif PAPI devrait être vérifiée à l'aide d'un appareil adapté (niveau à bulle par exemple), conçu par le fabricant du dispositif PAPI, en suivant la procédure appropriée indiquée par ce même fabricant à cette fin. Le cas échéant, une mise à niveau des lentilles frontales devrait être réalisée avec une précision de l'ordre de 4 minutes d'arc.

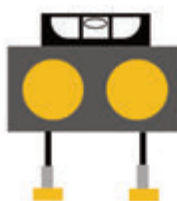


Figure 46: Contrôle de l'horizontalité de la partie frontale d'une unité lumineuse d'un dispositif PAPI.

6. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS DE BALISAGE LUMINEUX DES AERODROMES

6.3.9.5. CONTRÔLE DU CALAGE EN SITE D'UNE UNITÉ LUMINEUSE

Préalablement au contrôle de l'angle de calage en site d'une unité lumineuse d'un dispositif PAPI, les vérifications suivantes devraient être réalisées :

- ▶ vérification de son alignement avec les autres unités lumineuses (horizontalité transversale), conformément aux indications de la section 6.3.9.3, et
- ▶ vérification de l'horizontalité de la partie frontale du caisson de l'unité lumineuse, conformément aux indications de la section 6.3.9.4.

Le contrôle de l'angle de calage en site d'une unité lumineuse d'un dispositif PAPI doit être réalisé au moyen d'un instrument de mesure spécifique appelé alidade ou inclinomètre, fourni ou validé par le fabricant du dispositif PAPI, en suivant le protocole de mesure associé. Cet instrument de mesure devrait être régulièrement étalonné par le fabricant du dispositif PAPI et une attention particulière devrait être apportée lors de sa manutention ou de son stockage. La cohérence de l'information visuelle fournie par le dispositif PAPI n'est ainsi garantie par son fabricant qu'en cas de réglage du calage en site des unités lumineuses au moyen du modèle d'alidade associé. Les équipes de maintenance du balisage lumineux d'un aérodrome devraient donc disposer de toutes les alidades associées aux différents modèles de dispositif PAPI installés sur l'aérodrome. L'utilisation d'un modèle d'alidade différent est ainsi fortement déconseillée. Cependant, dans un tel cas, il conviendrait de vérifier que l'indication donnée par l'alidade est cohérente avec l'information visuelle donnée par le dispositif PAPI.

Note :

Deux unités de mesure peuvent être utilisées pour l'expression de l'angle de calage en site d'une unité lumineuse d'un dispositif PAPI : les degrés décimaux (souvent utilisés dans les publications aéronautiques) ou bien les degrés sexagésimaux (souvent utilisés par les alidades). Une attention particulière devrait être apportée au choix de l'unité de mesure. De nombreux sites internet proposent des outils de conversion adaptés en ligne.



Figure 47 : Contrôle du calage en site d'une unité lumineuse d'un dispositif PAPI – Aérodrome d'Avignon.

6. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS DE BALISAGE LUMINEUX DES AERODROMES

Les résultats de mesure de l'angle de calage en site d'une unité lumineuse d'un dispositif PAPI devraient être enregistrés et analysés à des fins de surveillance. Les actions correctives suivantes doivent être réalisées :

- ▶ si l'écart (en valeur absolue) entre la valeur mesurée et la valeur requise est inférieur ou égal à 5 minutes d'arc, aucune action corrective n'est exigée,
- ▶ si l'écart (en valeur absolue) entre la valeur mesurée et la valeur requise est supérieur à 5 minutes d'arc et inférieur ou égal à 10 minutes d'arc, l'angle de calage en site doit être modifié puis de nouveau vérifié 6 mois plus tard, ou
- ▶ si l'écart (en valeur absolue) entre la valeur mesurée et la valeur requise est supérieur à 10 minutes d'arc, soit le dispositif PAPI (i.e. les 4 unités lumineuses) doit être déclaré hors service, soit l'angle de calage doit être modifié sans délai puis vérifié mensuellement pendant au moins 3 mois jusqu'à stabilisation de l'écart et identification des causes de cet écart.

Les résultats de mesure de l'angle de calage d'une unité lumineuse d'un dispositif PAPI obtenus au moyen d'une alidade devraient être validés par des mesures complémentaires en utilisant l'une des quatre autres méthodes de mesure acceptées par l'autorité de surveillance à la date de publication du présent guide. Cf. section 7.11 pour un descriptif détaillé de ces méthodes, combinant des procédures et des équipements spécifiques et nécessitant des opérateurs qualifiés. **Toute méthode nouvellement développée ou tout changement apporté à l'une de ces méthodes de mesure doit faire l'objet d'une demande de validation auprès de l'autorité de surveillance.**

Un écart maximal de 5 minutes d'angle est toléré entre les résultats de mesure obtenus au moyen d'une alidade et ceux obtenus en utilisant l'une des quatre autres méthodes de mesure acceptées par l'autorité de surveillance à la date de publication du présent guide. En cas d'écart significatif, il conviendrait d'en identifier formellement la cause (alidade défectueuse, déformation du caisson ou erreur dans la mise en œuvre de l'une des deux méthodes de mesure) et d'apporter les corrections nécessaires. Si ces corrections ne peuvent être réalisées, une nouvelle valeur de référence à obtenir avec l'alidade doit être déterminée pour le calage en site de l'unité lumineuse du dispositif PAPI. Cette nouvelle valeur de référence doit tenir compte de l'écart identifié afin d'assurer un calage en site correct du faisceau lumineux.

6. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS DE BALISAGE LUMINEUX DES AERODROMES

6.3.9.6. PÉRIODICITÉS DES CONTRÔLES

Les opérations de maintenance préventive d'une unité lumineuse d'un dispositif PAPI devraient être réalisées selon les périodicités suivantes :

- ▶ quotidiennement :
 - ▶ vérification visuelle du bon fonctionnement de la source lumineuse (absence de source lumineuse hors service),
 - ▶ vérification visuelle de l'intégrité physique,
 - ▶ vérification visuelle de l'absence de végétaux susceptible de masquer le faisceau lumineux,
- ▶ mensuellement :
 - ▶ vérification visuelle de l'état de propreté des parties internes et externes, notamment de la vitre frontale, nettoyage si nécessaire,
 - ▶ vérification visuelle de l'intégrité des pieds et des systèmes de fixation, vérification du serrage des systèmes de fixation, resserrage si nécessaire,
 - ▶ vérification visuelle de l'intégrité et de l'état de propreté du filtre rouge, des lentilles et des réflecteurs, nettoyage si nécessaire,
 - ▶ vérification visuelle de l'alignement des zones de transition colorimétrique des faisceaux lumineux de chaque unité lumineuse,
- ▶ avant mise en service, 6 mois après la mise en service et annuellement : mesure de l'angle de calage en site de chaque unité lumineuse après réalisation des vérifications préalables associées, analyse et enregistrement des résultats de mesure dans un formulaire de suivi (un par unité lumineuse),
- ▶ avant mise en service, tous les 5 ans et après tout mouvement de terrain : mesure de l'angle de calage en site de chaque unité lumineuse au moyen d'une méthode différente de celle de l'alidade et validée par l'autorité de surveillance (méthode du contrôle en vol, de la nacelle, du drone ou de mesure au sol, cf. section 7.11) après réalisation des vérifications préalables associées, analyse et enregistrement des résultats de mesure dans un formulaire de suivi (un par unité lumineuse).

6. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS DE BALISAGE LUMINEUX DES AERODROMES

6.4. PROBLÉMATIQUES SPÉCIFIQUES AUX INSTALLATIONS DE BALISAGE LUMINEUX À LED

6.4.1. GÉNÉRALITÉS

Les feux halogènes sont progressivement remplacés par des feux à LED, permettant ainsi une diminution de la consommation énergétique, un allongement de leur durée de vie ainsi qu'une réduction des dépenses de maintenance, les sources LED étant moins fréquemment remplacées.

Toutefois, certaines problématiques ont été soulevées en introduisant la technologie LED dans le balisage lumineux de piste, d'approche et, dans une moindre mesure, de voie de circulation. Les problématiques présentées ci-après sont à prendre en considération et, dans certains cas, des essais complémentaires peuvent s'avérer nécessaires afin de s'assurer de la conformité réglementaire des installations électriques.

Il convient de noter que les dysfonctionnements observés pour un feu d'un dispositif lumineux donné de balisage d'aérodrome peuvent différer d'un constructeur à l'autre. Il n'y a pas de règle établie.

De plus amples informations sont mentionnées dans la note technique STAC/SE/E/EBA/19-5021 sur les particularités des feux à LED de balisage lumineux d'aérodrome, à prendre en compte lors de leur installation.

Note :

Des essais électriques spécifiques peuvent être réalisés sur demande, par le STAC.

6. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS DE BALISAGE LUMINEUX DES AERODROMES

6.4.2. AUGMENTATION POSSIBLE DU DÉLAI DE COMMUTATION

Le délai de commutation de certains feux à LED de balisage d'aérodrome, lors d'un transfert de source d'alimentation électrique (par exemple, basculement sur un groupe électrogène suite à une défaillance de la source principale), peut être augmenté en raison de leur conception.

Avertissement :

En conséquence, des installations électriques qui étaient conformes en termes de délai de commutation avec des feux halogènes de balisage peuvent ne plus être conformes avec des feux à LED de balisage.

La possible augmentation du délai de commutation due à un remplacement de feux de balisage halogène par des feux de balisage à LED devrait être prise en compte lors de l'étude d'impact préliminaire associée et le délai de commutation doit faire l'objet d'une démonstration de conformité avec la réglementation applicable.

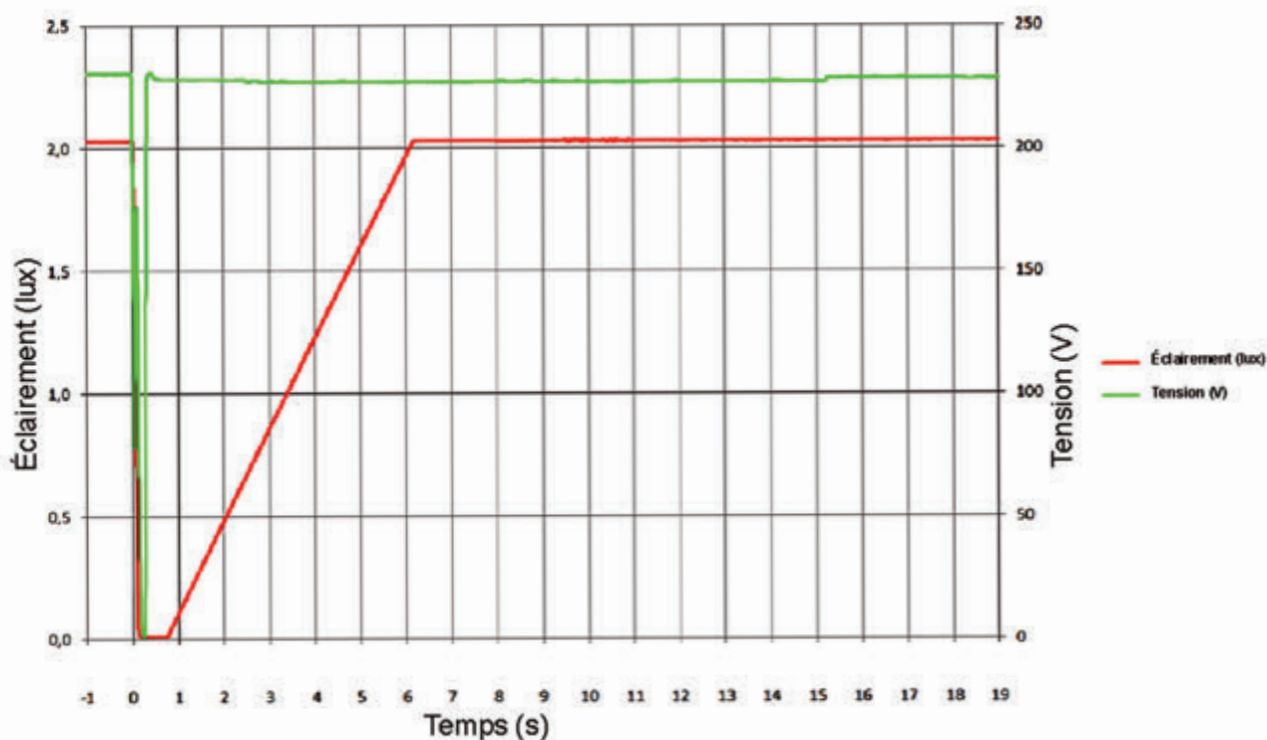


Figure 48: Exemple de délai de commutation mesuré lors d'un transfert en mode secours inverse sur feu LED.

6. MAINTENANCE DES INSTALLATIONS DE BALISAGE LUMINEUX DES AERODROMES

6.4.3. PERTURBATIONS HARMONIQUES ET NÉCESSITÉ D'ADAPTER LA PUISSANCE DES RÉGULATEURS À COURANT CONSTANT

Lors du seul remplacement des feux halogènes de balisage d'aérodrome par des feux à LED, une adaptation de la puissance des régulateurs à courant constant doit être réalisée afin de limiter les perturbations harmoniques dans les installations, lesquelles pourraient conduire à des dysfonctionnements de tout ou partie de celles-ci.

Les phénomènes suivants ont été observés par des exploitants d'aérodromes (liste non exhaustive):

- ▶ Clignotement des feux de balisage représentant une charge de 3,5 kV.A et alimentés par un régulateur à courant constant de puissance maximale 10 kV.A. Action corrective apportée: mise en place d'un CCR de 20 kV.A.
- ▶ Scintillement des feux de balisage dû à une mauvaise régulation du régulateur. Action corrective apportée: ajout d'une inductance en série sur la boucle.
- ▶ Arrêt des régulateurs dû à des perturbations harmoniques de fréquence 10 kHz parasitant le fonctionnement des thyristors (composants de régulation de l'intensité du courant dans la boucle).

6.4.4. ÉBLOUISSEMENT DES PILOTES ET NÉCESSITÉ D'ADAPTATION DU COURANT D'ALIMENTATION (BRILLANCE)

Les feux à LED peuvent être perçus par les pilotes comme éblouissants, notamment de nuit par conditions de bonne visibilité. Ce phénomène peut être limité en utilisant le niveau de brillance associée à une valeur d'intensité du courant de 2,8 A avec un CCR conforme à la norme IEC 61822: 2009 comportant les 5 niveaux de brillance associés aux valeurs suivantes d'intensité du courant: 2,8 A/3,4 A/4,1 A/5,2A et 6,6 A.

Il convient de noter que, pour des raisons opérationnelles, et après conduite d'une étude de sécurité, le niveau de brillance associé à une valeur d'intensité du courant de 2,3 A, inférieure à la plus faible valeur (2,8 A) d'intensité du courant autorisée par la norme IEC 61822: 2009, peut être utilisé sur certaines pistes. Le niveau nominal de brillance associée à une valeur d'intensité du courant de 6,6 A ne doit cependant en aucun cas être modifié afin de satisfaire les exigences d'intensité lumineuse requises par mauvaise visibilité.

En cas de modification de la valeur de l'intensité du courant d'alimentation des feux de balisage (2,8 A, 2,3 A ou valeur moindre), l'exploitant d'aérodrome devrait s'assurer auprès du fabricant des installations (régulateurs à courant constant et feux de balisage) que cette valeur d'intensité du courant n'a pas d'impact sur leur fonctionnement (systèmes électroniques de régulation, systèmes de commande utilisant la technologie de communication par courants porteurs en ligne, etc.).

7. ANNEXES

7.1. EXEMPLE DE PLAN DE FORMATION D'UN AGENT DE MAINTENANCE INTERVENANT SUR LES CIRCUITS SÉRIE DE BALISAGE LUMINEUX D'AÉRODROME

Le plan de formation d'un agent de maintenance intervenant sur les circuits série de balisage lumineux d'aérodrome devrait être adapté aux installations de l'aérodrome, aux opérations affectées à l'agent et à ses compétences.

POSTE : Agent de maintenance intervenant sur les circuits série de balisage lumineux d'aérodrome	
Description	Maintenance préventive et curative des installations de balisage lumineux Opérations sur les circuits série de balisage lumineux d'aérodrome
Niveau de formation requis	Formation d'électricien
Formations initiales	<ul style="list-style-type: none"> • Formation métier sur site par compagnonnage • Formations spécialisées internes ou externes sur les circuits série de balisage lumineux d'aérodrome Formation locale : <ul style="list-style-type: none"> ○ Formation au permis « M » - Aire de mouvement ○ Formation en sûreté (TCA) ○ Formation en management (si poste à vocation encadrement) • Autres formations, si nécessaire...
Habilitations électriques requises	Habilitations électriques spécifiques pour les interventions sur les feux de balisage d'aérodrome : <ul style="list-style-type: none"> - Exécutant : B1X « FBA » - Chargé de travaux : B2X « FBA » Habilitations électriques spécifiques pour les interventions sur les circuits série primaires de balisage lumineux d'aérodrome : <ul style="list-style-type: none"> - Exécutant : H1X « CSB » - Chargé de travaux : H2X « CSB » Habilitations électriques générales : <ul style="list-style-type: none"> - Chargé de consignation : BC-HC - Chargé d'opérations spécifiques : BE-HE - Exécutant électricien : B1-H1 - Chargé de travaux : B2-H2
Durée de compagnonnage nécessaire avant validation des acquis	Variable en fonction de l'importance des installations
Evaluation des compétences	Annuelle

Tableau 18 : Exemple de plan de formation d'un agent de maintenance intervenant sur les circuits série de balisage lumineux d'aérodrome.

7. ANNEXES

Agent		
Nom		
Prénom(s)		
Date de naissance		
Date de prise de poste		
Diplômes		
Formation initiale		
Date		
Etablissement de formation ou formateur interne		
Habilitation électrique		
	Date de délivrance	Date limite de validité
Initiale		
Recyclages		
Compagnonnage		
Date de début		
Date de fin		
Evaluation des compétences		
	Date	Evaluateur
Initiale		
Annuelle		
Formations complémentaires		
Intitulé	Date	Etablissement de formation

Tableau 19: Exemple de formulaire de suivi de formation d'un agent de maintenance intervenant sur les circuits série de balisage lumineux d'aérodrome.

7. ANNEXES

7.2. NORMES APPLICABLES POUR LES CÂBLES ET LES TRANSFORMATEURS D'ISOLEMENT DES CIRCUITS D'ALIMENTATION ÉLECTRIQUE DES DISPOSITIFS LUMINEUX DE BALISAGE D'AÉRODROME

Les câbles des circuits d'alimentation des dispositifs lumineux de balisage d'aérodrome doivent satisfaire les exigences mécaniques et électriques définies par les normes françaises suivantes :

- ▶ Norme NF C33-225: Câbles isolés et leurs accessoires pour réseaux d'énergie - Câbles pour circuits primaires de balisage d'aérodrome - tension assignée $U_0/U (U_m) = 6/10 (12)$ kV.
- ▶ Norme NF C33-224: Câbles isolés et leurs accessoires pour réseaux d'énergie - Câbles pour circuits primaires de balisage d'aérodrome - tension assignée $U_0/U (U_m) = 3,6/6 (7,2)$ kV.
- ▶ Norme NF C33-212: Câbles isolés et leurs accessoires pour réseaux d'énergie - Câbles pour circuits primaires de balisage d'aérodrome - tension assignée $U_0/U (U_m) = 1/1 (1,2)$ kV.

Les transformateurs d'isolement des circuits d'alimentation des dispositifs lumineux de balisage d'aérodrome doivent satisfaire les exigences de la norme IEC 61823: 2002 : Installations électriques pour l'éclairage et le balisage des aérodromes - Transformateurs d'isolement.

7. ANNEXES

7.3. FORMULAIRE D'ESSAI SPÉCIALISÉ DE VÉRIFICATION DE LA FIABILITÉ DES SYSTÈMES D'ALIMENTATION ÉLECTRIQUE DU BALISAGE LUMINEUX D'AÉRODROME

Pour tout essai spécialisé réalisé afin de vérifier la fiabilité des systèmes d'alimentation électrique du balisage lumineux d'aérodrome, un formulaire d'essai devrait être rempli.

Essai spécialisé des sources d'alimentation électrique du balisage lumineux d'aérodrome	
N°	
Titre	
Objectif	
Conditions exploitation de la piste	
Configuration des systèmes d'alimentation électriques (par exemple, la source principale d'alimentation électrique assurée par le réseau public et la source secondaire d'alimentation électrique assurée par un groupe électrogène)	
Panne(s) simulée(s) (par exemple, coupure de la source principale d'alimentation électrique, simulation d'une panne du groupe électrogène)	
Résultats attendus (par exemple, basculement de la charge depuis la source principale d'alimentation électrique vers le groupe électrogène assurant la source secondaire)	
Résultats observés	
Durée de transfert de l'alimentation électrique (s)	
Délai de commutation (s)	
Dysfonctionnements relevés	
Conformité des retours d'information en tour de contrôle et en supervision	
Puissance apparente (kV.A)	Groupe électrogène
	Dispositifs de balisage lumineux

Tableau 20: Exemple de formulaire d'essai spécialisé de vérification de la fiabilité des systèmes d'alimentation électrique du balisage lumineux d'aérodrome.

7. ANNEXES

7.4. FORMULAIRE D'ESSAI FONCTIONNEL DE VÉRIFICATION DU RETOUR D'INFORMATION SUR L'ÉTAT DE FONCTIONNEMENT DES RÉGULATEURS D'ALIMENTATION DES DISPOSITIFS LUMINEUX DE BALISAGE

Dispositif lumineux de balisage alimenté	Nombre et type de boucles d'alimentation électrique	Régulateur(s) à courant constant hors service	Retour d'information en tour de contrôle d'aérodrome sur l'état de fonctionnement des régulateurs		Remarques
			Résultats attendus	Résultat observés	
Dispositif lumineux de balisage de bord de piste, (enchevêtré)	2 enchevêtrées	Aucun			
		1			
		2			
		1 + 2			
Dispositif lumineux d'approche (enchevêtré)	2 enchevêtrées	Aucun			
		1			
		2			
		1 + 2			
Dispositif lumineux de balisage de seuil de piste(enchevêtré)	2 enchevêtrées	Aucun			
		1			
		2			
		1 + 2			
Dispositif lumineux de balisage d'axe de voie de circulation	1	Aucun			
		1			
PAPI	1	Aucun			
		1			

Tableau 21: Exemple de formulaire d'essai de vérification du retour d'information (en tour de contrôle) sur l'état de fonctionnement des régulateurs d'alimentation des dispositifs lumineux de balisage.

7. ANNEXES

7.5. RÉSISTANCE D'ISOLEMENT, RÉSISTANCE DE CONTINUITÉ ÉLECTRIQUE ET CHARGE D'UNE BOUCLE PRIMAIRE D'ALIMENTATION DES DISPOSITIFS LUMINEUX DE BALISAGE D'AÉRODROME

7.5.1. MESURE DE LA RÉSISTANCE D'ISOLEMENT

7.5.1.1. FINALITÉ

La mesure de la résistance d'isolement d'une boucle primaire d'alimentation d'un dispositif lumineux de balisage d'aérodrome permet de surveiller le vieillissement des câbles, des connecteurs et des transformateurs d'isolement de la boucle.

La valeur mesurée de la résistance d'isolement d'une boucle primaire d'alimentation d'un dispositif lumineux de balisage d'aérodrome dépend de la valeur de la tension d'essai, de la qualité des équipements électriques (câbles d'alimentation, transformateurs d'isolement, connecteurs), de la qualité des modifications apportées aux équipements électriques et des conditions ambiantes (d'humidité ou d'immersion) de fonctionnement pendant la mesure.

7.5.1.2. MÉTHODE

La résistance d'isolement d'une boucle primaire d'alimentation d'un dispositif lumineux de balisage d'aérodrome devrait être mesurée au moyen d'un mégohmmètre pouvant délivrer une tension allant jusqu'à 5000 V.

Préalablement à la mesure, tous les équipements électriques de la boucle devraient avoir été consignés dans le respect des règles de sécurité en vigueur.

La mesure devrait se dérouler sur une durée supérieure à une minute afin de permettre au câble de se charger. Le câble devrait être déchargé après la mesure, en raccordant son âme à la terre.

La valeur mesurée de résistance d'isolement d'une boucle primaire d'alimentation d'un dispositif lumineux de balisage devrait être comparée à la valeur minimale théorique pouvant se déterminer d'après la formule suivante :

$$R_{Min-B} = \frac{U_{Essai}}{I_{T1} + I_{TI-B} + I_{Cable} + L_B}$$

avec :

- ▶ R_{Min-B} : la résistance d'isolement minimale (en $M\Omega$) de la boucle primaire **B** d'alimentation d'un dispositif lumineux de balisage d'aérodrome,
- ▶ U_{Essai} : la tension d'essai ($U_{Essai} = 5000$ V si le câble d'alimentation de la boucle primaire est isolé pour 6000 V ; $U_{Essai} = 1000$ V si le câble d'alimentation de la boucle primaire est isolé pour 1000 V),
- ▶ I_{T1} : la valeur maximale du courant de fuite (en μA) par transformateur d'isolement ($I_{T1} = 2 \mu A$),
- ▶ I_{TI-B} : le nombre de transformateurs d'isolement sur la boucle primaire **B** d'alimentation d'un dispositif lumineux de balisage d'aérodrome,
- ▶ I_{Cable} : la valeur maximale du courant de fuite (en μA) provenant d'une longueur de câble de 1 km ($I_{Cable} = 10 \mu A \cdot km^{-1}$),
- ▶ L_B : la longueur de la boucle primaire **B** d'alimentation d'un dispositif lumineux de balisage d'aérodrome en km.

7. ANNEXES

7.5.2. MESURE DE LA RÉSISTANCE DE CONTINUITÉ ÉLECTRIQUE

7.5.2.1. GÉNÉRAL

La résistance de continuité électrique d'une boucle primaire d'alimentation d'un dispositif lumineux de balisage d'aérodrome peut différer d'environ 20 % d'une boucle à l'autre, en fonction du dispositif lumineux alimenté (dispositif lumineux de balisage de l'axe de piste, dispositif lumineux de balisage de la zone de toucher des roues, dispositif lumineux de balisage d'approche), c'est-à-dire du nombre de transformateurs d'isolement et de connecteurs de la boucle.

7.5.2.2. FINALITÉ

La valeur mesurée de résistance de continuité électrique d'une boucle primaire d'alimentation d'un dispositif lumineux de balisage d'aérodrome devrait être comparée avec la valeur théorique estimée par calcul, la valeur précédemment mesurée ou la valeur de référence. La valeur de référence de continuité électrique est la valeur mesurée lors de la mise en service de la boucle. La valeur de référence doit être proche de la valeur calculée.

Toute différence significative (i.e. supérieure à 30 %) permet de mettre en évidence un défaut, généralement de connectique, sur la boucle. De tels défauts sont à l'origine d'échauffements au niveau des connecteurs, qui peuvent eux-mêmes générer des arcs électriques, voire un incendie de regard dans les cas les plus graves, entraînant l'indisponibilité de plusieurs dispositifs lumineux de balisage d'aérodrome.

7.5.2.3. MÉTHODE

La mesure de la résistance de continuité électrique d'une boucle primaire d'alimentation d'un dispositif lumineux de lumineux devrait être réalisée à l'aide d'un multimètre utilisable en ohmmètre.

Préalablement à la mesure, les équipements électriques de la boucle devraient avoir été consignés dans le respect des règles de sécurité en vigueur.

La résistance de continuité électrique d'un câble de section 6 mm² étant d'environ 3%/km et celle d'un transformateur d'isolement étant, en moyenne selon la puissance, d'environ 0,10%, la valeur de la résistance de continuité électrique R_B peut être calculée en utilisant la formule suivante :

$$R_B = 3\% L_B + 0,1\% n_{IT-B} \text{ avec :}$$

- ▶ n_{IT-B} : le nombre de transformateurs d'isolement de la boucle primaire B d'alimentation d'un dispositif lumineux de balisage d'aérodrome, et
- ▶ L_B : la longueur (en km) de la boucle primaire B d'alimentation d'un dispositif lumineux de balisage d'aérodrome.

La valeur théorique calculée de la résistance de continuité électrique d'une boucle primaire d'alimentation du balisage lumineux doit être recalculée après toute modification de la boucle, que ce soit en termes de longueur ou de nombre de feux connectés.

7. ANNEXES

7.5.3. ÉVALUATION THÉORIQUE DE LA CHARGE

7.5.3.1. FINALITÉ

La puissance du régulateur à courant constant alimentant une boucle primaire de balisage lumineux devrait être adaptée à la valeur théorique estimée de la charge de la boucle afin d'optimiser la régulation du courant, sans découpage du signal. La valeur de puissance la plus proche par excès devrait être choisie. Par exemple, si la valeur théorique estimée de la charge de la boucle est de 13,25 kV.A et si la boucle est alimentée par un régulateur à courant constant de puissance 20 kV.A, alors la puissance du régulateur devrait être réglée sûr $\frac{3}{4}$, soit 15 kV.A, plutôt que $\frac{5}{8}$, soit 12,5 kV.A, afin de permettre un fonctionnement optimal du régulateur.

Note :

Certains régulateurs peuvent être équipés d'un dispositif permettant d'estimer automatiquement la charge de la boucle alimentée (valeur relative par rapport à la puissance maximale du régulateur ou valeur absolue).

7.5.3.2. FORMULE

La valeur théorique de la charge (en V.A) de la boucle primaire L d'alimentation d'un dispositif lumineux de balisage peut être évaluée en utilisant la formule suivante :

$$P_L = N_L \frac{P_{Feu} + P_{Secondaire}}{\eta * \cos \phi} + P_{Primaire} * L_L$$

avec :

- ▶ N_L : le nombre de sources lumineuses de la boucle primaire L d'alimentation d'un dispositif lumineux de balisage,
- ▶ P_{Feu} : la puissance consommée (en W) par un feu majoré de 10 %, ce qui correspond à la tolérance définie par le fabricant,
- ▶ $P_{Secondaire}$: la perte de puissance (en W) dans le câble du circuit secondaire d'un transformateur d'isolement (à estimer, en supposant une perte unitaire de puissance de 200 W/km dans un câble de section 4 mm² transportant un courant d'intensité 6,6 A),
- ▶ η : le rendement d'un transformateur d'isolement (80 % pour une consommation de puissance de 45 W, 85 % pour une consommation de puissance allant jusqu'à 100 W et 90 % pour une consommation de puissance supérieure à 100 W),
- ▶ ϕ : le déphasage induit par un transformateur d'isolement entre l'intensité et la tension électriques ($\cos \phi = 0,95$ pour un courant d'intensité 6,6 A),
- ▶ L_L : la longueur (en km) de la boucle primaire L d'alimentation d'un dispositif lumineux de balisage, et
- ▶ $P_{Primaire}$: la perte unitaire de puissance (en W/km) dans les câbles d'une boucle primaire d'alimentation d'un dispositif lumineux de balisage ($P_{Primaire} = 135$ W/km pour un câble de section 6 mm² transportant un courant d'intensité 6,6 A).

7. ANNEXES

7.5.4. EXEMPLE DE FORMULAIRES

7.5.4.1. MESURE D'UNE RÉSISTANCE DE CONTINUITÉ ÉLECTRIQUE ET D'UNE RÉSISTANCE D'ISOLEMENT

Boucle primaire	Identification																				
	Grandeur électrique mesurée	Nombre de transformateurs d'isolement																			
		Longueur (km)																			
Résistance de continuité électriques		Date de mesure																			
		Equipement de mesure																			
		Valeur théorique calculée (Ω)																			
		Valeur mesurée (Ω)																			
Résistance d'isolement		4 valeurs précédemment mesurées (Ω)																			
		Date de mesure																			
		Equipement de mesure																			
		Tension de mesure																			
		Valeur théorique minimale calculée (Ω)																			
		Valeur mesurée (Ω)																			
	4 valeurs précédemment mesurées (Ω)																				

Tableau 22: Exemple de formulaire d'essai pour la mesure de la résistance d'isolement et de la résistance de continuité électrique des boucles primaires d'alimentation des dispositifs lumineux de balisage.

7. ANNEXES

7.5.4.2. SUIVI D'UN RÉGULATEUR À COURANT CONSTANT

Régulateur à courant constant		
Code d'identification		
Marque		
Type		
Réglage de la puissance		
Nombre de niveaux de brillance		
Niveaux d'intensité électrique associés		
Opérateur		
Nom		
N° d'ordre de travail		
Boucle primaire alimentée		
Opérations		
Date		
Heure de début		
Heure de fin		
Description	Périodicité	Observations
Vérification de la conformité entre la valeur de consigne et la valeur mesurée d'intensité électrique pour chaque niveau de brillance	Tous les mois	
Vérification de l'état des parafoudres	Tous les six mois et après chaque orage	
Mesure de la résistance d'isolement et de la résistance de continuité électrique	Tous les six mois et après chaque intervention sur un élément (transformateur d'isolement, connecteur, câble) de la boucle primaire alimentée	
Vérification de la détection et de la remontée des défauts dans le temps imparti	Tous les six mois	
Vérification de l'état de propreté	Tous les ans	
Vérification du serrage des connexions et recherche des points chauds		
Vérification et, si nécessaire, adaptation du réglage de la puissance à la charge estimée de la boucle primaire alimentée		
Analyse et archivage des formulaires de suivi		
Description des travaux – Observations générales		
Date et signature du responsable		

Tableau 23: Exemple de formulaire de suivi d'un régulateur à courant constant.

7. ANNEXES

7.6. RÉCAPITULATIF DES OPÉRATIONS DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE RECOMMANDÉES POUR LES INSTALLATIONS D'ÉNERGIE ET DE BALISAGE LUMINEUX D'AÉRODROME

7.6.1. RÉCAPITULATIF PAR TYPE D'INSTALLATIONS

Opération(s) de maintenance préventive	Section	Périodicité
Locaux électriques		
Vérification visuelle de l'état général (propreté, étanchéité, ventilation et/ou climatisation, absence de rougeurs et d'oiseaux, absence de matériels encombrant les allées), nettoyage	5.4.1	Tous les six mois
Vérification de la disponibilité et de la mise à jour de la documentation		
Vérification de la disponibilité et de la conformité des équipements de protection individuelle		
Vérification du rangement et de l'accessibilité des pièces de rechange		
Vérification de l'état général des caniveaux et de la présence de plaques de couverture		
Vérification du bon fonctionnement de l'éclairage autonome de secours		
Cellules HT		
Opérations de maintenance préventive de niveau I, II, III ou IV	5.4.2	Tous les trois ans ou conformément aux instructions du fabricant
Autres opérations périodiques de maintenance préventive		Tous les ans ou conformément aux instructions du fabricant
Transformateurs		
Opérations de maintenance préventive de niveau I, II, III ou IV	5.4.3	Tous les trois ans ou conformément aux instructions du fabricant
Autres opérations périodiques de maintenance préventive		Tous les ans ou conformément aux instructions du fabricant
Groupes électrogènes		
Opérations de maintenance préventive de niveau I	5.4.4	Toutes les semaines ou toutes les dix heures de fonctionnement
Opérations de maintenance préventive de niveau II, III ou IV		Tous les ans ou environ toutes les 500 heures de fonctionnement ou conformément aux instructions du fabricant
TDBT, TGBT et réseaux de distribution BT		
Mesure de la prise de terre	5.4.5	Tous les ans
Mesure de la résistance d'isolement des conducteurs		
Mesure de la résistance de continuité des conducteurs de protection		
Mesure de la résistance de continuité des liaisons équipotentielles		
Autres opérations de maintenance préventive		
Etude de vieillissement		Tous les dix ans
Commutateurs statiques		
Opérations de maintenance préventive	5.4.6	Tous les ans ou conformément aux instructions du fabricant
Alimentations sans interruption		
Opérations de maintenance préventive de niveau I, II, III, ou IV	5.4.7	Tous les ans ou conformément aux instructions du fabricant
Test d'autonomie en conditions réelles		Tous les six mois
Autres opérations périodiques de maintenance préventive		Toutes les deux semaines ou conformément aux instructions du fabricant
Systèmes de protection contre la foudre		
Opérations de maintenance préventive	5.4.9	Conformément aux instructions du fabricant
Compensateurs d'énergie réactive		
Opérations de maintenance préventive	5.4.10	Tous les ans ou conformément aux instructions du fabricant
Compensateurs actifs d'harmoniques		
Opérations de maintenance préventive	5.4.11	Tous les ans ou conformément aux instructions du fabricant
Automates programmables industriels		
Opérations de maintenance préventive	5.4.12	Tous les ans
Unités d'alimentation 24 ou 48 V (courant continu)		
Opérations de maintenance préventive de niveau II, III ou IV	5.4.13	Tous les ans
Opérations de maintenance préventive de niveau I		Toutes les deux semaines
Systèmes d'alimentation électrique du balisage lumineux		
Essais de routine de vérification de fiabilité	5.4.14.1	Tous les mois
Essais spécialisés de vérification de fiabilité	5.4.14.2	Tous les trois ans ou après tout changement susceptible de modifier le fonctionnement des automatismes ou la consommation électrique
Mesure du délai de commutation		

Tableau 24: Récapitulatif des opérations de maintenance préventive recommandées pour les installations d'énergie d'un aérodrome.

7. ANNEXES

Opération(s) de maintenance préventive	Section	Périodicité
Systèmes d'IHM pour la télécommande, par les services de la circulation aérienne, des dispositifs lumineux de balisage, à l'exception des barres d'arrêt et des dispositifs exigés pour la mise en œuvre de LVP		
Essais de fonctionnement	6.3.3.2	Tous les jours
Essais de détection et de remontée des défauts de fonctionnement Essai de fonctionnement des composants de rechange	6.3.3.3	Tous les six mois
Systèmes d'IHM pour la télésurveillance, par les services techniques de supervision, des dispositifs lumineux de balisage, à l'exception des barres d'arrêt et des dispositifs exigés pour la mise en œuvre de LVP		
Essais de fonctionnement	6.3.3.2	Tous les jours
Essais de détection et de remontée des défauts de fonctionnement Essai de fonctionnement des composants de rechange	6.3.3.3	Tous les six mois
Systèmes d'IHM pour la télécommande et la télésurveillance des barres d'arrêt		
Essais de fonctionnement	6.3.3.2	Toutes les semaines
Essais de détection et de remontée des défauts de fonctionnement Essai de fonctionnement des composants de rechange	6.3.3.3	Tous les six mois
Systèmes d'IHM pour la télécommande et la télésurveillance des dispositifs lumineux de balisage exigés pour la mise en œuvre de LVP		
Essais de fonctionnement	6.3.3.2	Tous les mois
Essais de détection et de remontée des défauts de fonctionnement Essai de fonctionnement des composants de rechange	6.3.3.3	Tous les six mois
Sous-systèmes (écrans tactiles, pupitres de contrôle avec boutons, API, ordinateurs, écrans de surveillance, imprimantes, etc.)		
Opérations d'entretien	6.3.3.4.1	Conformément aux instructions du fabricant
Unités d'alimentation spécifique		
Mesure des paramètres caractéristiques	6.3.3.4.2	Tous les mois
Test d'autonomie		Tous les six mois
Opérations d'entretien		Conformément aux instructions du fabricant
Interfaces électriques		
Opérations d'entretien	6.3.3.4.3	Conformément aux instructions du fabricant
Vérification des composants des parafoudres		Tous les 6 mois
Câbles de contrôle cheminant exclusivement à l'intérieur des bâtiments		
Contrôle visuel	6.3.3.4.4	Tous les ans
Mesure des paramètres caractéristiques électriques et optiques		Tous les deux ans
Câbles de contrôle cheminant à l'extérieur des bâtiments		
Contrôle visuel	6.3.3.4.4	Tous les ans
Mesure des paramètres caractéristiques électriques et optiques		

Tableau 25 : Récapitulatif des opérations de maintenance préventive recommandées pour les systèmes de télécommande et télésurveillance des dispositifs lumineux de balisage d'aérodrome.

7. ANNEXES

Opération(s) de maintenance préventive (sauf mesures photométriques)	Section	Périodicité
Régulateurs à courant constant		
Vérification de la conformité entre les valeurs de consigne et les valeurs mesurées d'intensité électrique pour chaque niveau de brillance	6.3.1	Tous les mois
Mesure de la résistance d'isolement de la boucle primaire alimentée Mesure de la résistance de continuité électrique de la boucle primaire alimentée		Tous les 6 mois ou après toute intervention sur un élément (transformateur d'isolement, connecteur, câble) de la boucle primaire alimentée
Vérification de l'état général des parafoudres		Tous les 6 mois ou après chaque orage
Vérification de la capacité du système de contrôle et de commande à détecter et à remonter les défauts dans le délai imparti		Tous les six mois
Vérification de l'état de propreté		Tous les ans
Contrôle du serrage des connexions et recherche des points chauds		
Vérification et, si nécessaire, adaptation de la puissance délivrée à la charge estimée de la boucle primaire alimentée		
Analyse et archivage des formulaires de suivi		
Infrastructures de balisage lumineux		
Examen visuel complet des regards et des chambres de tirage	6.3.5.1	Tous les ans
Vérification de l'intégrité mécanique et de la stabilité des massifs supports Vérification de l'absence de saillies et de tassements importants de terrain autour des massifs supports	6.3.5.2	
Examen visuel de l'état des fourreaux et des buses Mise à jour des plans des réseaux	6.3.5.3	
Vérification de l'absence d'obstruction des buses et des fourreaux		
Vérification visuelle de l'état général des saignées	6.3.5.4	
Panneaux de signalisation d'aérodrome		
Vérification visuelle de l'intégrité et du bon fonctionnement	6.3.6	Tous les jours (piste de chiffre de code 1 ou 2) ou deux fois par jour (piste de chiffre de code 3 ou 4)
Vérification de l'état des pieds, du serrage des supports de fixation et des dispositifs d'accrochage Resserrage des supports de fixation, si nécessaire		Tous les ans
Vérification de l'intégrité de la façade et, le cas échéant, de l'état des films colorés		
Vérification de l'état des connexions		
Vérification de l'état, du bon fonctionnement et de la disposition des sources lumineuses		
Vérification de la lisibilité des inscriptions et de l'absence de végétaux susceptibles de les masquer		
Vérification de l'absence de végétaux susceptibles de masquer les inscriptions		
Feux hors sol		
Vérification visuelle de l'intégrité et du bon fonctionnement	6.3.8.1	Tous les jours (piste de chiffre de code 1 ou 2) ou deux fois par jour (piste de chiffre de code 3 ou 4)
Vérification visuelle nocturne de la conformité du réglage des niveaux d'intensité lumineuse pour chaque niveau de brillance	6.3.8.3.2	Tous les ans
Vérification l'enchevêtrement des boucles d'alimentation permettant de fournir un guidage visuel adéquat en cas de panne d'une source d'alimentation		
Vérification visuelle de l'intégrité et du serrage des supports	6.3.8.3.3	
Vérification de l'intégrité, de l'étanchéité, de la résistance à la traction et de l'état d'usure des câbles et des connecteurs		
Vérification visuelle l'intégrité, de l'état de propreté et des calages en azimut et en site de la partie optique		
Feux encastrés		
Vérification visuelle de l'intégrité et du bon fonctionnement	6.3.8.1	Tous les jours (piste de chiffre de code 1 ou 2) ou deux fois par jour (piste de chiffre de code 3 ou 4)
Vérification visuelle nocturne de la conformité du réglage des niveaux d'intensité lumineuse pour chaque niveau de brillance	6.3.8.3.2	Tous les ans
Vérification l'enchevêtrement des boucles d'alimentation permettant de fournir un guidage visuel adéquat en cas de panne d'une source d'alimentation		
Vérification visuelle de l'état général de l'embase	6.3.8.3.4	
Vérification visuelle du scellement de l'embase		
Vérification visuelle des calages en site et en azimut de l'embase		
Vérification visuelle de l'état de propreté et de l'étanchéité de la partie intérieure de l'embase		
Examen visuel de l'état général et de l'état de propreté des prismes		
Vérification visuelle de l'absence de fissures sur la partie encastrable		
Vérification de l'intégrité, de l'étanchéité, de la résistance à la traction et de l'état d'usure des câbles et des connecteurs de la partie encastrable		
Vérification de l'intégrité et du serrage du système de fixation de la partie encastrable Resserrage, si nécessaire	Tous les 6 mois	

Tableau 26: Récapitulatif des opérations de maintenance préventive recommandées pour les installations de balisage lumineux d'aérodrome.

7. ANNEXES

Opération(s) de maintenance préventive (sauf mesures photométriques)	Section	Périodicité
Unité lumineuse d'un dispositif PAPI		
Vérification visuelle du bon fonctionnement de la source lumineuse (absence de source lumineuse hors service)	6.3.9.2	Tous les jours
Vérification visuelle de l'intégrité physique		
Vérification visuelle de l'absence de végétaux susceptibles de masquer le faisceau lumineux		
Vérification visuelle de l'état de propreté des parties internes et externes, notamment les vitres frontales, nettoyage si nécessaire		Tous les mois
Vérification visuelle de l'intégrité des pieds et des systèmes de fixation		
Vérification du serrage des systèmes de fixation, resserrage si nécessaire		
Vérification visuelle de l'intégrité et de l'état de propreté des filtres rouges, des lentilles et des réflecteurs, nettoyage si nécessaire		
Vérification visuelle de l'alignement de zones de transition colorimétrique des faisceaux lumineux		
Mesure de l'angle de calage en site Vérifications préalables associées Analyse et archivage des résultats de mesure	6.3.9.5	Avant mise en service Six mois après mise en service Tous les ans Six mois après mesure d'un écart d'angle de calage en site par rapport à la valeur requise supérieur à 5 minutes d'arc mais inférieur ou égal à 10 minutes d'arc Tous les mois pendant trois mois après mesure d'un écart supérieur à 10 minutes d'arc
Mesure de l'angle de calage en site par une méthode différente de celle de l'validade et acceptée par l'autorité de surveillance Vérifications préalables associées Analyse et archivage des résultats de mesure		Avant mise en service Tous les cinq ans Après un mouvement de terrain

Tableau 27 : Récapitulatif des opérations de maintenance préventive recommandées pour une unité lumineuse d'un dispositif PAPI.

7. ANNEXES

7.6.2. RÉCAPITULATIF PAR PÉRIODICITÉ

Équipement	Opérations de maintenance préventive	Section
Deux fois par jour		
Feux et panneaux de balisage d'aérodrome avec piste de chiffre de code 3 ou 4	Vérification visuelle de l'intégrité et du bon fonctionnement	6.3.8.1
Tous les jours		
Systèmes de télécommande et de télésurveillance des dispositifs lumineux de balisage à l'exception des barres d'arrêt et des dispositifs lumineux exigés pour la mise en œuvre de LVP	Essais de fonctionnement des systèmes d'IHM pour les services de la circulation aérienne	6.3.3.2
	Essais de fonctionnement des systèmes d'IHM pour les services techniques de supervision	
Feux et panneaux de balisage d'aérodrome avec piste de chiffre de code 1 ou 2	Vérification visuelle de l'intégrité et du bon fonctionnement	6.3.8.1
Unités lumineuses d'un dispositif PAPI	Vérification visuelle de l'intégrité	6.3.9.2
	Vérification visuelle du bon fonctionnement la source lumineuse (absence de source lumineuse hors service)	
	Vérification visuelle de l'absence de végétaux susceptibles de masquer le faisceau lumineux	
Toutes les semaines		
Groupes électrogènes	Opérations de maintenance préventive de niveau I	5.4.4
Systèmes de télécommande et de télésurveillance des barres d'arrêt	Essais de fonctionnement des systèmes d'IHM	6.3.3.2
Toutes les deux semaines		
Alimentations sans interruption	Opérations périodiques de maintenance préventive autres que les opérations de maintenance préventive de niveau I, II, III ou IV	5.4.7
Unités d'alimentation 24 V ou 48 V (courant continu)	Opérations de maintenance préventive de niveau I	5.4.13
Tous les mois		
Systèmes d'alimentation électrique du balisage lumineux	Essais de routine de vérification de fiabilité	5.4.14.1
Régulateurs à courant constant	Vérification de la conformité entre les valeurs de consigne et les valeurs mesurées d'intensité électrique pour chaque niveau de brillance	6.3.1
Systèmes de télécommande et de télésurveillance des dispositifs lumineux exigés pour la mise en œuvre de LVP	Essais de fonctionnement	6.3.3.2
	Mesure des paramètres caractéristiques des unités d'alimentation spécifique	6.3.3.4.2
Unités lumineuses d'un dispositif PAPI	Vérification visuelle de l'état de propreté des parties internes et externes, notamment les vitres frontales, nettoyage si nécessaire	6.3.9.2
	Vérification visuelle de l'intégrité des pieds et des systèmes de fixations	
	Vérification du serrage des systèmes de fixation, resserrage si nécessaire	
	Vérification visuelle de l'intégrité et de l'état de propreté des filtres rouges, des lentilles et des réflecteurs, nettoyage si nécessaire	
	Vérification visuelle de l'alignement des zones de transition colorimétrique des faisceaux lumineux	
Tous les mois pendant au moins trois mois		
Unité lumineuse d'un dispositif PAPI pour laquelle l'écart d'angle de calage en site entre la valeur mesurée et la valeur requise est supérieur à 10 minutes d'arc	Mesure de l'angle de calage en site et vérifications préalables associées Analyse et enregistrement des résultats de mesure	6.3.9.5

Tableau 28 : Récapitulatif (par périodicité) des opérations de maintenance préventive recommandées pour les installations d'énergie et de balisage lumineux d'aérodrome.

7. ANNEXES

Equipement	Opérations de maintenance préventive	Section
Tous les six mois		
Locaux électriques	Vérification de l'état général (propreté, étanchéité, ventilation et/ou climatisation, absence de rongeurs et d'oiseaux, absence de matériels encombrant les allées) Nettoyage	5.4.1
	Vérification de la disponibilité et de la mise à jour de la documentation	
	Vérification de la disponibilité et de la conformité des équipements de protection individuelle	
	Vérification du rangement et de l'accessibilité des pièces de rechange	
	Vérification de l'état général des caniveaux et de la présence de plaques de couverture	
	Vérification du bon fonctionnement de l'éclairage autonome de secours	
Alimentations sans interruption	Test d'autonomie en conditions réelles	5.4.7
Régulateurs à courant constant	Vérification de la capacité du système de contrôle et de commande à détecter et à remonter les défauts dans le délai imparti	6.3.1
	Vérification de l'états des parafoudres	
	Mesure de la résistance d'isolement de la boucle primaire alimentée Mesure de la résistance de continuité électrique de la boucle primaire alimentée	
Systèmes de télécommande et de télésurveillance des dispositifs lumineux de balisage	Essais de détection et de remontée des défauts de fonctionnement sur les systèmes d'IHM(s)	6.3.3.3
	Essai de fonctionnement des composants de rechange des systèmes d'IHM	6.3.3.4.2
	Test d'autonomie des unités d'alimentation électrique spécifique	6.3.3.4.3
	Vérification des composants des parafoudres	6.3.3.4.3
Infrastructures de balisage lumineux	Vérification visuelle de l'état général des saignées	6.3.5.4
Feux encastrés de balisage d'aérodrome	Vérification visuelle de l'état général de l'embase	6.3.8.3.4
	Vérification visuelle du scellement de l'embase	
	Vérification visuelle des calages en site et en azimut de l'embase	
	Vérification visuelle de l'état de propreté et de l'étanchéité de la partie intérieure de l'embase	
	Examen visuel de l'état général et de l'état de propreté des prismes	
	Vérification visuelle de l'absence de fissures sur la partie encastrable	
	Vérification de l'intégrité, de l'étanchéité, de la résistance à la traction et de l'état d'usure des câbles et des connecteurs de la partie encastrable	
	Vérification de l'intégrité et du serrage du système de fixation de la partie encastrable Resserrage si nécessaire	
Unité lumineuse d'un dispositif PAPI pour laquelle l'écart d'angle de calage en site entre la valeur mesurée et la valeur requise est supérieur à 5 minutes d'arc mais inférieur ou égal à 10 minutes d'arc	Mesure de l'angle de calage en site et vérifications préalables associées Analyse et enregistrement des résultats de mesure (une seule fois, 6 mois après la détection de l'écart)	6.3.9.5
Tous les ans		
Cellules HT	Opérations périodiques de maintenance préventive autres que les opérations de maintenance préventive de niveau I, II, III ou IV	5.4.2
Transformateurs	Opérations périodiques de maintenance préventive autres que les opérations de maintenance préventive de niveau I, II, III ou IV	5.4.3
Groupes électrogènes	Opérations de maintenance préventive de niveau II, III ou IV	5.4.4
TGBT, TDBT et réseaux BT	Mesure de la prise de terre	5.4.5
	Mesure de la résistance d'isolement des conducteurs des départs des équipements distants alimentés en parallèle	
	Mesure de la résistance de continuité des conducteurs de protection des départs des équipements distants alimentés en parallèle	
	Mesure de la résistance de continuité des liaisons équipotentielles des départs des équipements distants alimentés en parallèle	
	Autres opérations de maintenance préventive	

Tableau 28 (suite) : Récapitulatif (par périodicité) des opérations de maintenance préventive recommandées pour les installations d'énergie et de balisage lumineux d'aérodrome.

7. ANNEXES

Équipement		Opérations de maintenance préventive	Section
Tous les ans			
Commutateurs statiques		Opérations de maintenance préventive	5.4.6
Alimentations sans interruption		Opérations de maintenance préventive de niveau I, II, III ou IV	5.4.7
Compensateurs d'énergie réactive		Opérations de maintenance préventive	5.4.10
Compensateurs actifs d'harmoniques		Opérations de maintenance préventive	5.4.11
Automates programmables industriels		Opérations de maintenance préventive	5.4.12
Unités d'alimentation 24 V ou 48 V (courant continu)		Opérations de maintenance préventive de niveau II, III ou IV	5.4.13
Régulateurs à courant constant	Opérations de maintenance préventive de niveau II, III ou IV		6.3.1
	Vérification de l'état de propreté		
	Contrôle du serrage des connexions et recherche des points chauds		
	Vérification et, si nécessaire, adaptation de la puissance délivrée à la charge estimée de la boucle primaire alimentée		
	Analyse et archivage de formulaires de suivi		
Systèmes de télécommande et de télésurveillance des dispositifs lumineux de balisage		Contrôle visuel des câbles de contrôle	6.3.3.4.4
		Mesure des paramètres caractéristiques électriques et optiques des câbles de contrôle cheminant à l'extérieur des bâtiments	
Infrastructures de balisage lumineux	Regards et chambres de tirage	Examen visuel complet	6.3.5.1
	Massifs supports	Vérification de l'intégrité mécanique et de la stabilité Vérification de l'absence de saillies et de tassements importants de terrain	6.3.5.2
	Fourreaux et buses	Examen visuel de l'état Mise à jour des plans des réseaux	6.3.5.3
Panneaux de signalisation d'aérodrome	Vérification de l'état des pieds, du serrage des supports de fixation et des dispositifs d'accrochage		6.3.6
	Resserrage des supports de fixation, si nécessaire		
	Vérification de l'intégrité de la façade et, le cas échéant, de l'état des films colorés		
	Vérification de l'état des connexions		
	Vérification de l'état, du bon fonctionnement et de la disposition des sources lumineuses		
	Vérification de la lisibilité des inscriptions et de l'absence de végétaux susceptibles de les masquer		
Feux hors sol ou encastrés de balisage lumineux	Vérification de l'absence de végétaux susceptibles de masquer les inscriptions		6.3.8.3.2
	Vérification visuelle nocturne de la conformité du réglage des niveaux d'intensité lumineuse pour chaque niveau de brillance		
Feux hors sol de balisage lumineux	Vérification de l'enchevêtrement des boucles d'alimentation permettant de fournir un guidage visuel adéquat en cas de panne d'une source d'alimentation		6.3.8.3.3
	Vérification visuelle de l'intégrité et du serrage des supports		
	Vérification de l'intégrité, de l'étanchéité, de la résistance à la traction et de l'état d'usure des câbles et des connecteurs		
Unités lumineuses d'un dispositif PAPI	Vérification visuelle l'intégrité, de l'état de propreté et des calages en azimut et en site de la partie optique		6.3.9.5
	Mesure de l'angle de calage en site		
	Vérifications préalables associées		
		Analyse et enregistrement des résultats de mesure	
Tous les deux ans			
Systèmes de télécommande et de télésurveillance des dispositifs lumineux de balisage		Mesure des paramètres caractéristiques électriques et optiques des câbles de contrôle cheminant exclusivement à l'intérieur des bâtiments	6.3.3.4.4

Tableau 28 (suite): Récapitulatif (par périodicité) des opérations de maintenance préventive recommandées pour les installations d'énergie et de balisage lumineux d'aérodrome.

7. ANNEXES

Equipement	Opérations de maintenance préventive	Section
Tous les trois ans		
Cellules HT	Opérations de maintenance préventive de niveau I, II, III ou IV	5.4.2
Transformateurs	Opérations de maintenance préventive de niveau I, II, III ou IV	5.4.3
Systèmes d'alimentation électrique du balisage lumineux	Essais spécialisés de vérification de fiabilité	5.4.14.2
	Mesure du délai de commutation	
Tous les cinq ans		
Fourreaux et buses	Vérification de l'absence d'obstruction	6.3.5.3
Unités lumineuses d'un dispositif PAPI	Mesure de l'angle de calage en site par une méthode différente de celle de l'alidade et acceptée par l'autorité de surveillance	6.3.9.5
	Vérifications préalables associées	
	Analyse et archivage des résultats de mesure	
Tous les dix ans		
TGBT, TDBT et réseaux BT	Etude de vieillissement	5.4.5
Environ toutes les dix heures de fonctionnement		
Groupes électrogènes	Opérations de maintenance préventive de niveau I	5.4.4
Environ toutes les 500 heures de fonctionnement		
Groupes électrogènes	Opérations de maintenance préventive de niveau II, III ou IV	5.4.4
Périodicité conforme aux instructions du fabricant		
Cellules HT	Opérations de maintenance préventive de niveau II, III ou IV	5.4.2
	Opérations périodiques de maintenance préventive autres que les opérations de maintenance préventive de niveau I, II, III ou IV	
Transformateurs	Opérations de maintenance préventive de niveau II, III ou IV	5.4.3
	Opérations périodiques de maintenance préventive autres que les opérations de maintenance préventive de niveau I, II, III ou IV	
Commutateurs statiques	Opérations de maintenance préventive	5.4.6
Alimentations sans interruption	Opérations de maintenance préventive de niveau I, II, III ou IV	5.4.7
	Opérations périodiques de maintenance préventive autres que le test d'autonomie en conditions réelles de fonctionnement et les opérations de maintenance préventive de niveau I, II, III ou IV	
Systèmes de protection contre la foudre	Opérations de maintenance préventive	5.4.9
Compensateurs d'énergie réactive	Opérations de maintenance préventive	5.4.10
Compensateurs actifs d'harmoniques	Opérations de maintenance préventive	5.4.11
Systèmes de télécommande et de télésurveillance des dispositifs lumineux de balisage	Opérations d'entretien des sous-systèmes (écrans tactiles, pupitres de contrôle avec boutons, API, ordinateurs, écrans de surveillance, imprimantes, etc)	6.3.3.4.1
	Opérations d'entretien des unités d'alimentation électrique spécifique	6.3.3.4.2
	Opérations d'entretien des interfaces électriques	6.3.3.4.3
Après un orage		
Régulateurs à courant constant	Vérification de l'état général des parafoudres	6.3.1
Avant et après toute intervention sur un élément (transformateur d'isolement, connecteur, câble) d'une boucle primaire		
Régulateurs à courant constant	Mesure de la résistance d'isolement de la boucle primaire alimentée	6.3.1
	Mesure de la résistance de continuité électrique de la boucle primaire alimentée	
Avant mise en service ou après un mouvement de terrain		
Unités lumineuses d'un dispositif PAPI	Mesure de l'angle de calage en site par la méthode de l'alidade et par une méthode différente acceptée par l'autorité de surveillance	6.3.9.5
	Vérifications préalables associées	
	Analyse et enregistrement des résultats de mesure	
Six mois après mise en service		
Unités lumineuses d'un dispositif PAPI	Mesure de l'angle de calage en site et vérifications préalables associées	6.3.9.5
	Analyse et enregistrement des résultats de mesure	
Après tout changement modifiant le fonctionnement des automatismes ou la consommation des systèmes d'alimentation électrique du balisage lumineux		
Systèmes d'alimentation électrique du balisage lumineux	Essais spécialisés de vérification de fiabilité	5.4.14.2
	Mesure du délai de commutation	

Tableau 28 (suite): Récapitulatif (par périodicité) des opérations de maintenance préventive recommandées pour les installations d'énergie et de balisage lumineux d'aérodrome.

7. ANNEXES

7.7. GRANDEURS PHOTOMÉTRIQUES

7.7.1. FLUX LUMINEUX

Le flux lumineux est la puissance lumineuse émise par une source telle qu'elle est perçue par l'œil humain. Le flux lumineux doit être mesuré en lumens (lm).



Figure 49: Flux lumineux.

7.7.2. INTENSITÉ LUMINEUSE

L'intensité lumineuse est définie comme le flux lumineux élémentaire par unité d'angle solide (en stéradians) dans une direction donnée. L'intensité lumineuse doit être mesurée en candelas (cd).

L'intensité lumineuse est indépendante de la distance de mesure.

L'intensité lumineuse des feux de balisage d'aérodrome doit être mesurée dans différentes directions puisque la lumière n'est pas émise uniformément dans toutes les directions.



Figure 50: Intensité lumineuse.

7. ANNEXES

7.7.3. ÉCLAIREMENT LUMINEUX

L'éclairement lumineux est le flux lumineux incident reçu par unité de surface. L'éclairement lumineux doit être mesuré en lux (lx).

Un éclairement lumineux d'un lux équivaut un flux lumineux d'un lumen uniformément réparti sur une surface d'un mètre carré.

L'éclairement lumineux E (en lux) d'une surface éclairée, l'intensité lumineuse I (en candelas) d'une source lumineuse et la distance d (en mètres) entre la source lumineuse et la surface éclairée sont reliées par la formule suivante: $I = E \cdot d^2$

L'éclairement lumineux en un point est inversement proportionnel au carré de la distance entre la source lumineuse et la surface éclairée. Si on double la distance et si l'intensité lumineuse reste inchangée, alors l'éclairement lumineux est divisé par quatre.

7.8. MÉTHODE DE MESURE DE L'INTENSITÉ LUMINEUSE EN LABORATOIRE

Lors de l'évaluation de la conformité photométrique et colorimétrique des feux de balisage d'aérodrome avec les exigences applicables pour une installation sur site, la mesure de l'intensité lumineuse doit être réalisée dans plusieurs centaines de directions afin d'évaluer les grandeurs photométriques suivantes :

- ▶ l'intensité lumineuse moyenne du faisceau principal,
- ▶ l'intensité lumineuse minimale du faisceau principal,
- ▶ le rapport entre l'intensité lumineuse maximale et l'intensité lumineuse minimale du faisceau principal,
- ▶ les intensités lumineuses minimales sur les directions délimitées par les courbes isocandela externes.

Les caractéristiques photométriques des feux de balisage d'aérodrome dépendent du dispositif lumineux dont ils font partie. L'intensité lumineuse moyenne du faisceau principal est la moyenne arithmétique des valeurs d'intensité lumineuse mesurées dans plusieurs dizaines de directions de site et d'azimut.

La figure ci-après présente les exigences photométriques d'un feu de ligne axiale et de barre transversale d'approche ainsi que les directions d'azimut et de site de mesure photométrique et colorimétrique, telles qu'indiquées ci-après :

- ▶ la répartition de l'intensité lumineuse : la courbe isocandela délimitant le faisceau principal et les intensités lumineuses moyennes et locale minimales requises associées (respectivement 20 000 cd et 10 000 cd), les courbes isocandela externes délimitant les faisceaux secondaires et les intensités lumineuses locales minimales requises associées (2 000 cd et 1 000 cd),
- ▶ les directions d'azimut et de site dans lesquelles les mesures d'intensité lumineuse doivent être réalisées afin de déterminer les grandeurs photométriques précédemment mentionnées, et
- ▶ les directions d'azimut et de site associées au faisceau principal dans lesquelles les mesures de coordonnées chromatiques doivent être réalisées et les directions d'azimut et de site associées au faisceau secondaire délimité par la courbe isocandela la plus extérieure dans lesquelles les mesures de coordonnées chromatiques devraient être réalisées.

7. ANNEXES

La certification de type des feux de balisage d'aérodrome permet de s'assurer de leur conformité avec les exigences photométriques et colorimétriques requises pour une installation sur site. Les performances photométriques et colorimétriques des feux de balisage d'aérodrome se dégradent dans le temps en raison de l'usure des composants, notamment ceux des sources lumineuses, de l'état de salissure des optiques et de l'état d'opacification des prismes.

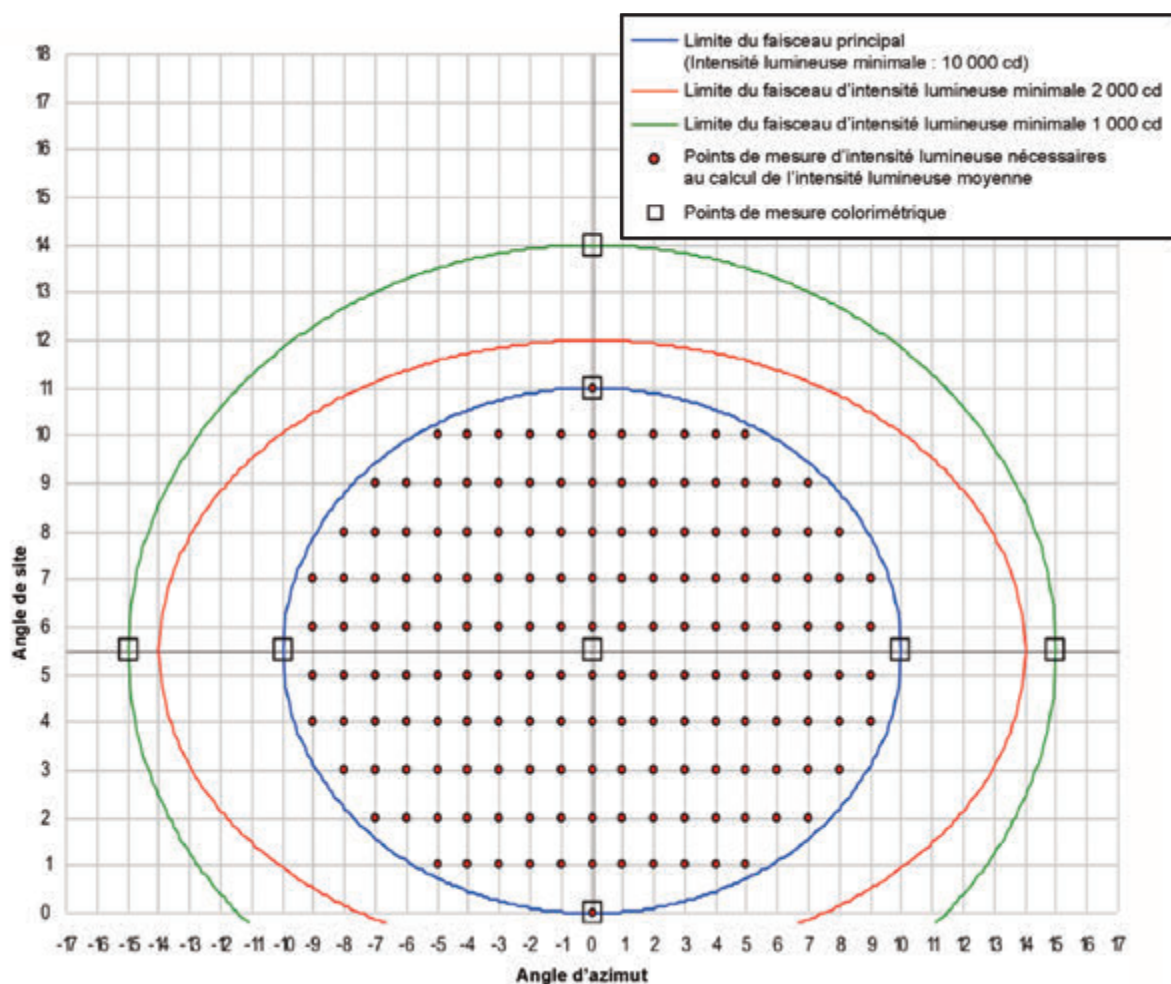
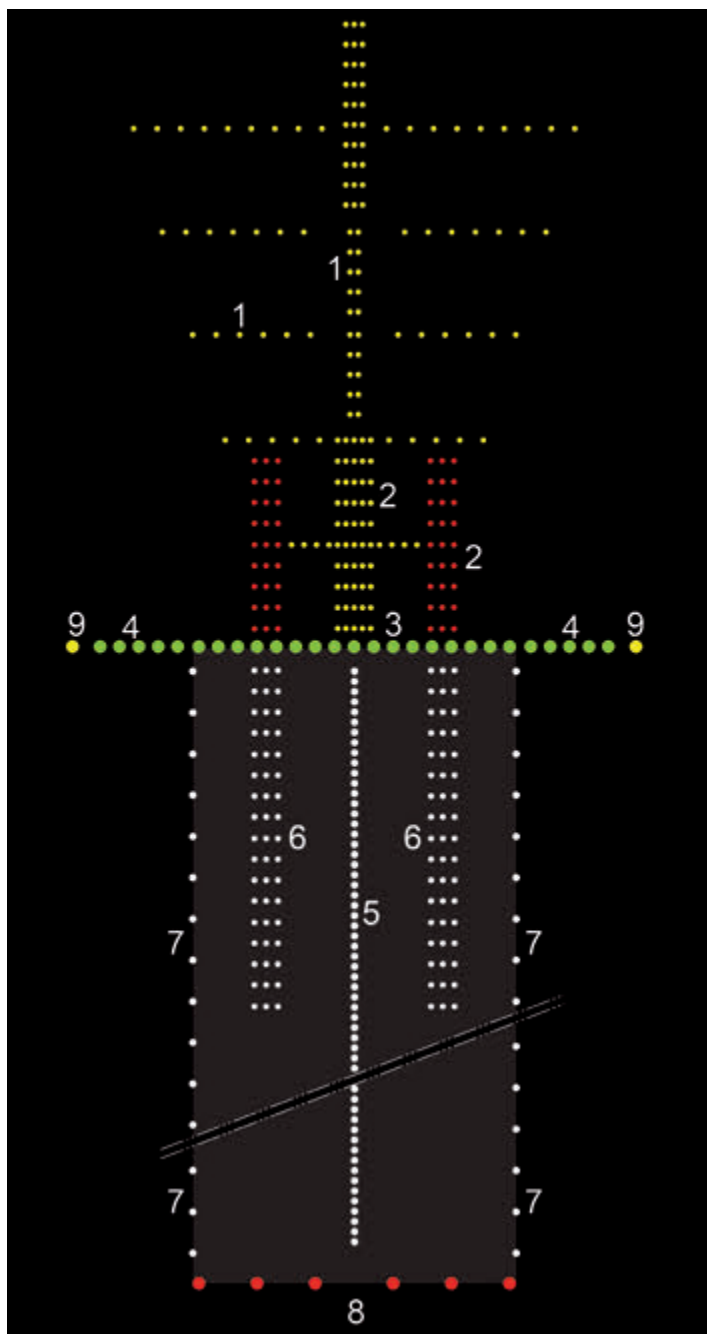


Figure 51: Diagramme isocandela d'un feu de ligne axiale et de barre transversale d'approche.

7. ANNEXES

7.9. DISPOSITIFS LUMINEUX DE BALISAGE D'UNE PISTE AVEC APPROCHE DE PRÉCISION



1. Dispositif lumineux d'approche de précision de catégorie I
2. Dispositif lumineux d'approche de précision de catégorie II
3. Feux de seuil de piste
4. Feux de barres de flanc de seuil de piste
5. Feux d'axe de piste
6. Feux de zones de toucher des roues
7. Feux de bord de piste
8. Feux d'extrémité de piste
9. Feux d'identification du seuil de piste (Feux à éclats)

Figure 52: Dispositifs lumineux de balisage d'une piste avec approche de précision balisage lumineux.

7. ANNEXES

7.10. CALAGES HORIZONTAL ET VERTICAL DES FEUX DE BALISAGE D'AÉRODROME

7.10.1. DÉFINITIONS

L'angle de calage horizontal (ou d'azimut) d'un feu de balisage d'aérodrome est défini comme l'angle entre l'axe d'intensité lumineuse maximale du feu et le plan vertical passant par l'axe de piste.

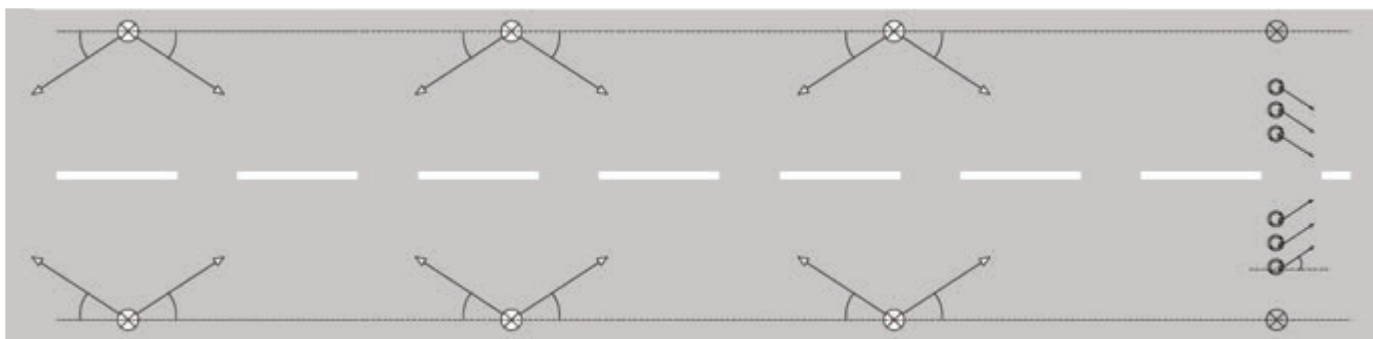


Figure 53: Angle de calage horizontal (ou en azimut) de feux de bord de piste (Vue de dessus).

L'angle de calage vertical (ou de site) d'un feu de balisage d'aérodrome est défini comme l'angle entre le plan horizontal et l'axe d'intensité lumineuse maximale du feu.



Figure 54: Angle de calage vertical (ou en site) de feux de bord de piste (vue de profil).

7. ANNEXES

7.10.2. EXIGENCES

Les Figure 55 à Figure 62 illustrent les angles de calage en site et en azimut requis pour les feux de balisage d'aérodrome suivants (cf. section 7.9 pour une illustration des dispositifs lumineux de balisage d'une piste avec approche de précision):

- ▶ feux du dispositif lumineux d'approche de précision de catégorie I,
- ▶ feux du dispositif lumineux d'approche de précision de catégorie II
- ▶ feux de seuil de piste et feux de barre de flanc de seuil de piste,
- ▶ feux d'axe de piste,
- ▶ feux de zone de toucher des roues,
- ▶ feux de bord de piste,
- ▶ feux d'extrémité de piste,
- ▶ feux d'identification de seuil de piste (feux à éclats).

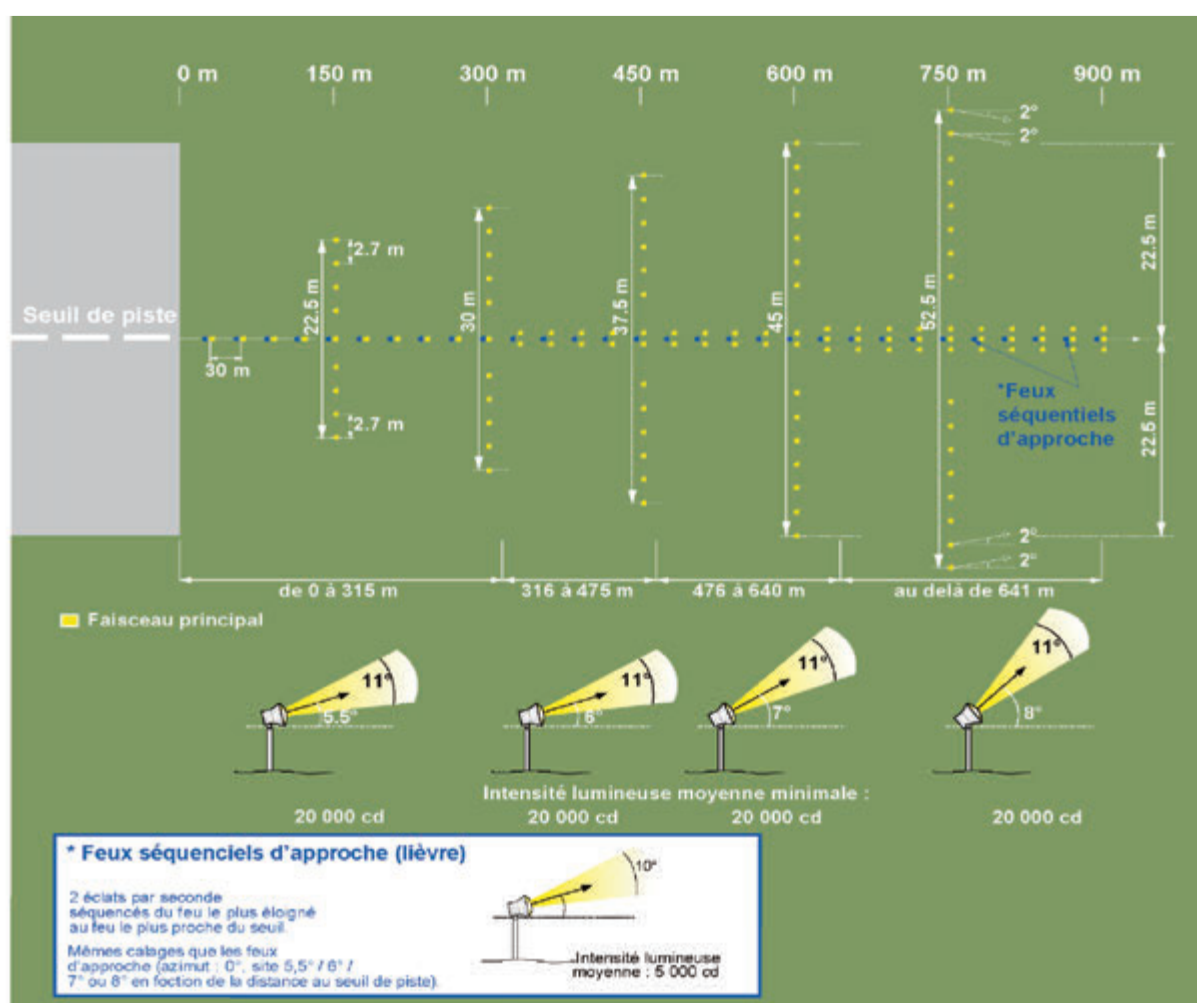


Figure 55: Angles de calage en site et en azimut requis pour les feux du dispositif lumineux d'approche de précision de catégorie I.

7. ANNEXES

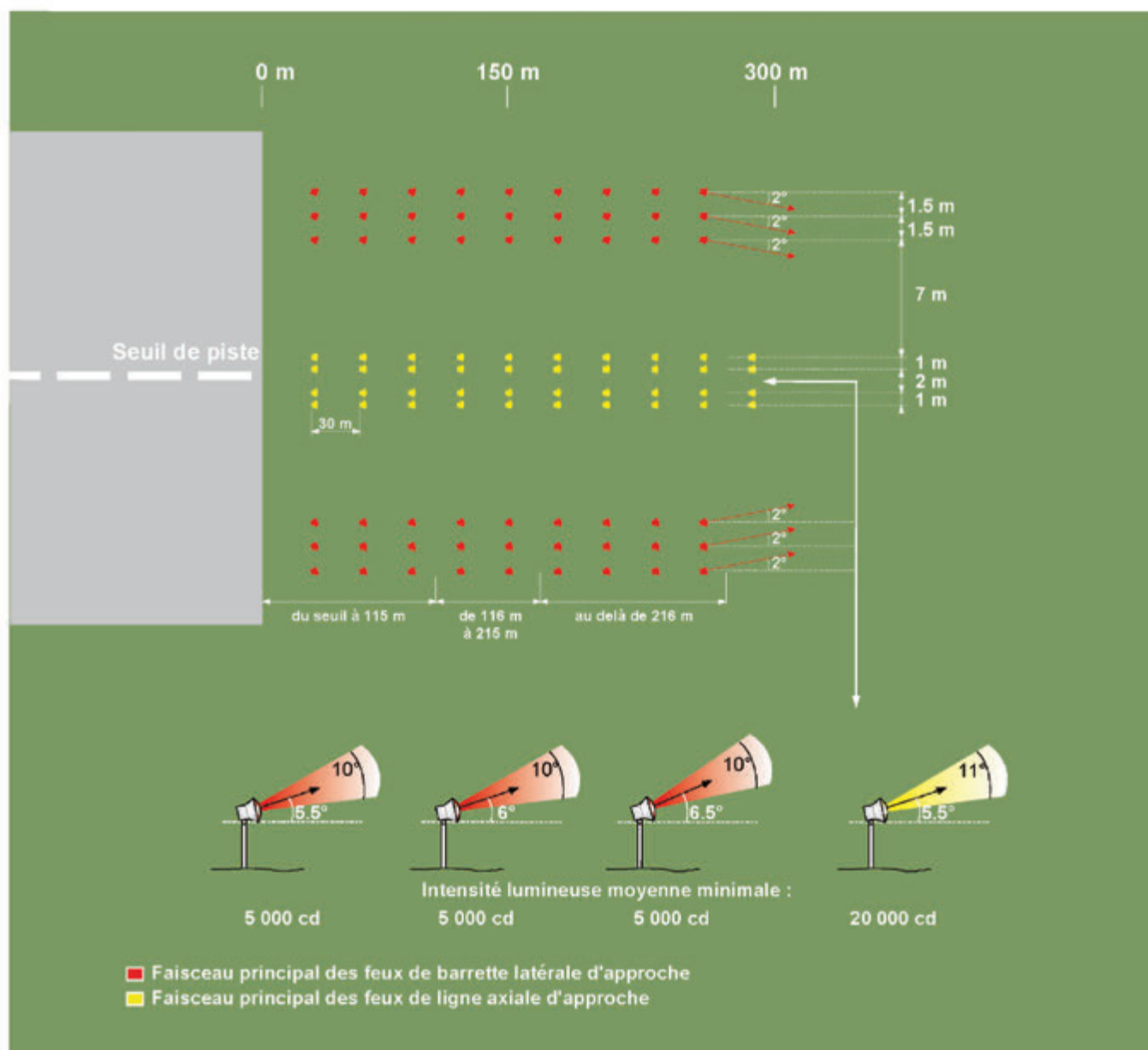


Figure 56: Angles de calage en azimut et en site requis pour les feux du dispositif lumineux d'approche de précision de catégorie II.

7. ANNEXES

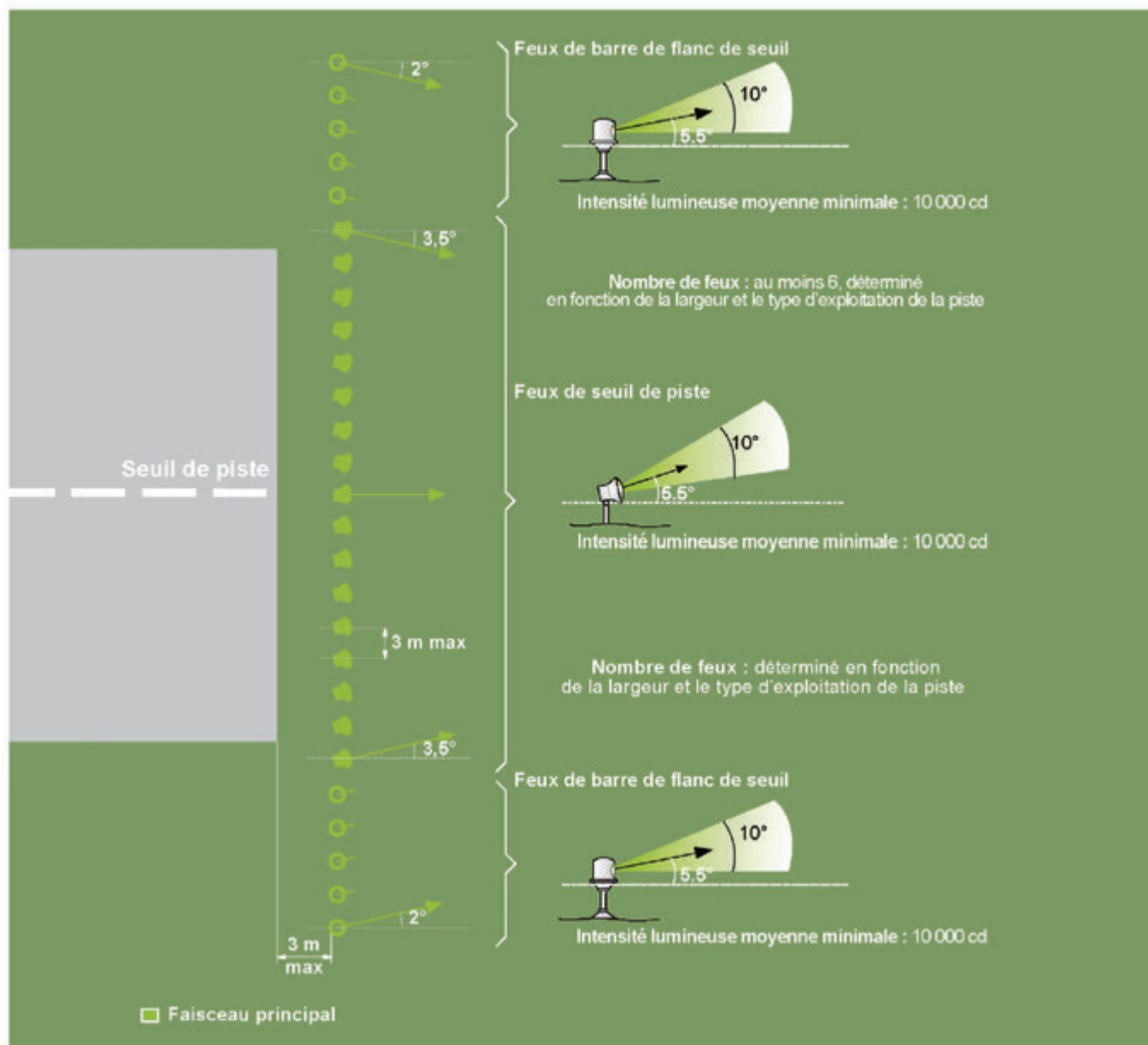


Figure 57: Angles de calage en azimut et en site requis pour les feux de seuil de piste.

Note:

Les faisceaux des feux de seuil de piste disposés de part et d'autre de l'axe de piste doivent converger de 3,5° d'azimut vers l'axe de piste.

7. ANNEXES

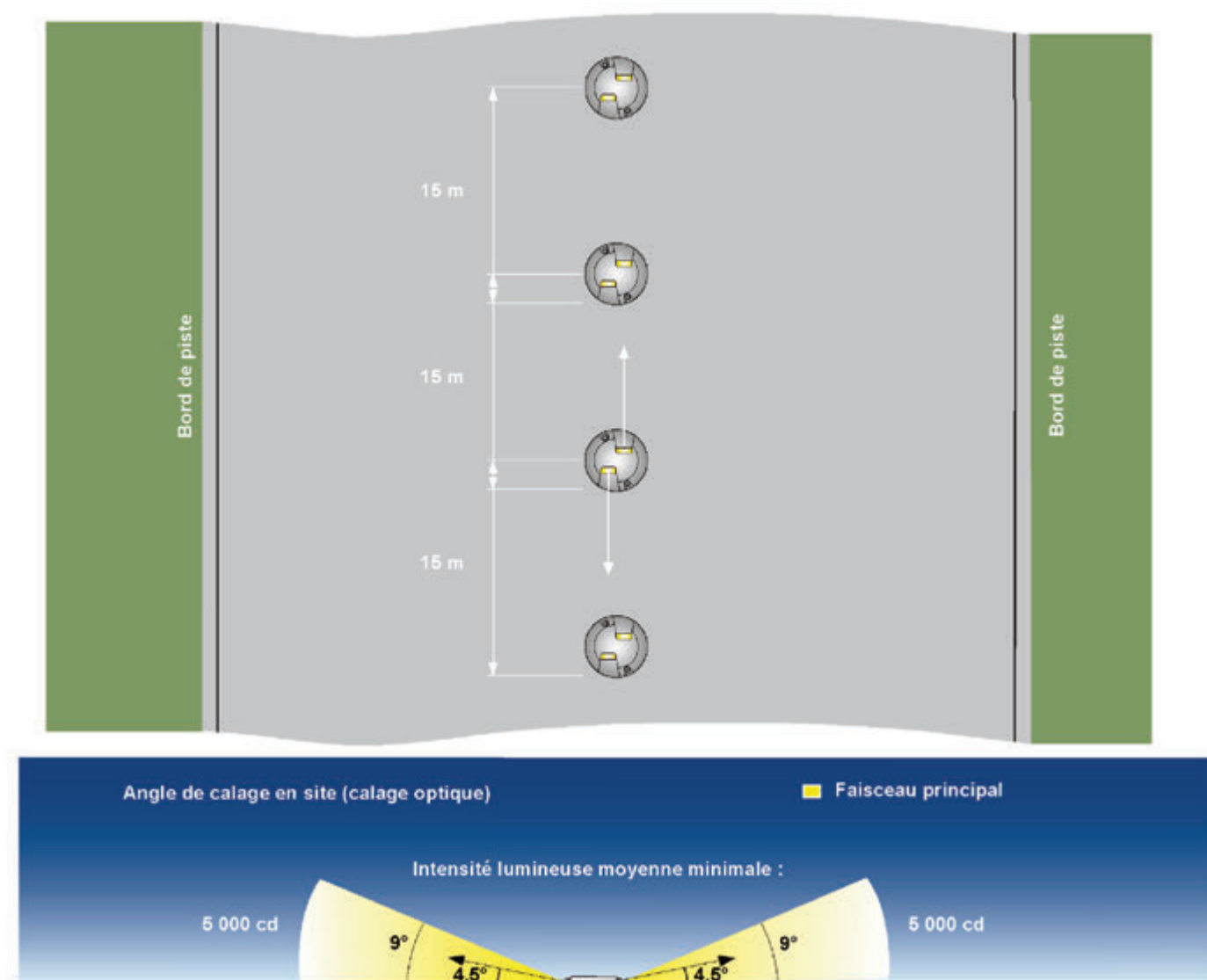


Figure 58 : Angles de calage en azimuth et en site requis pour les feux d'axe de piste.

7. ANNEXES

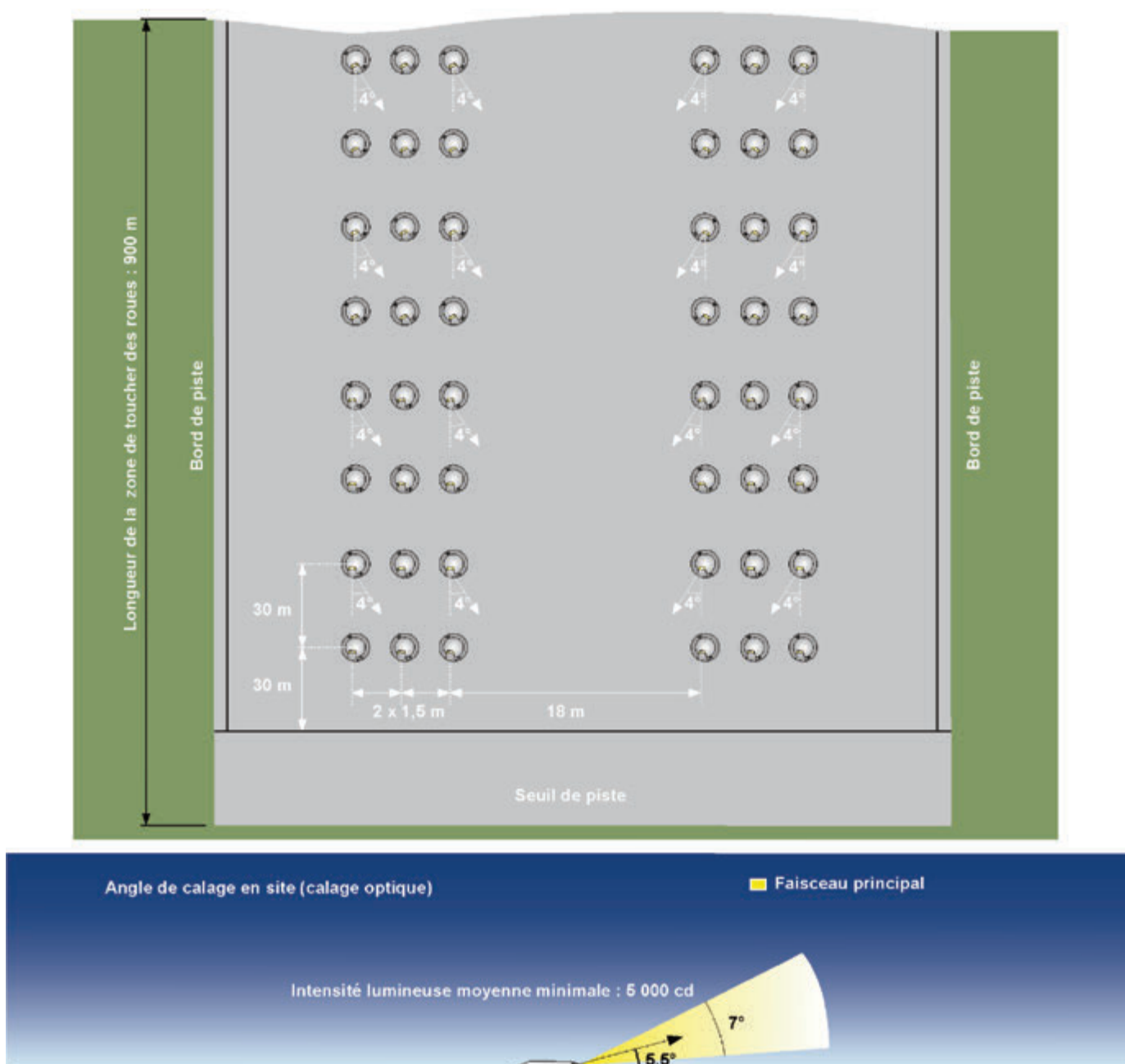


Figure 59: Angles de calage en azimut et en site requis pour les feux de zone de toucher des roues.

Note:

Les faisceaux des feux de zone de toucher des roues doivent converger de 4° d'azimut vers l'axe de piste.

7. ANNEXES

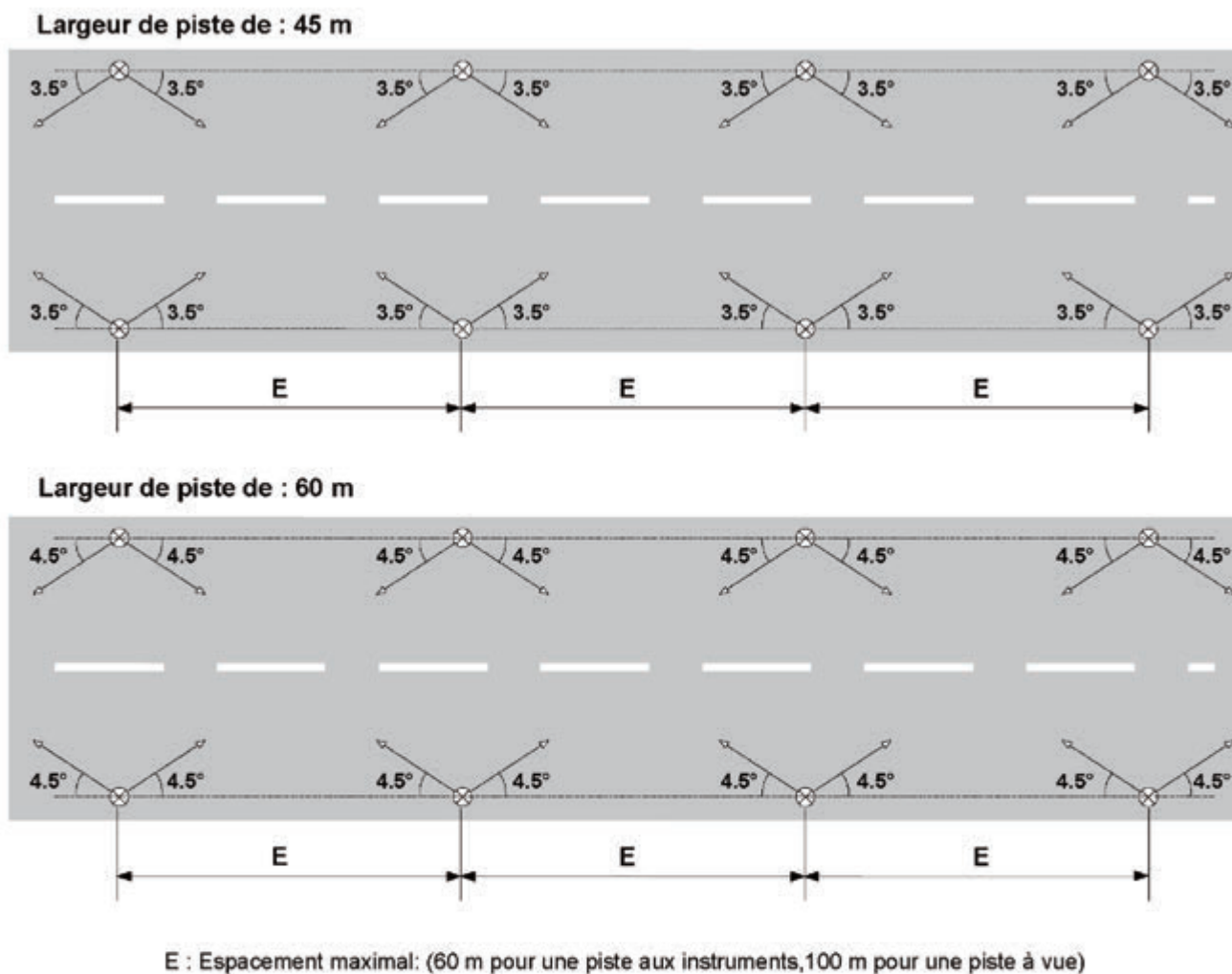


Figure 60: Angles de calage en azimut et en site requis pour les feux de bord de piste.

7. ANNEXES

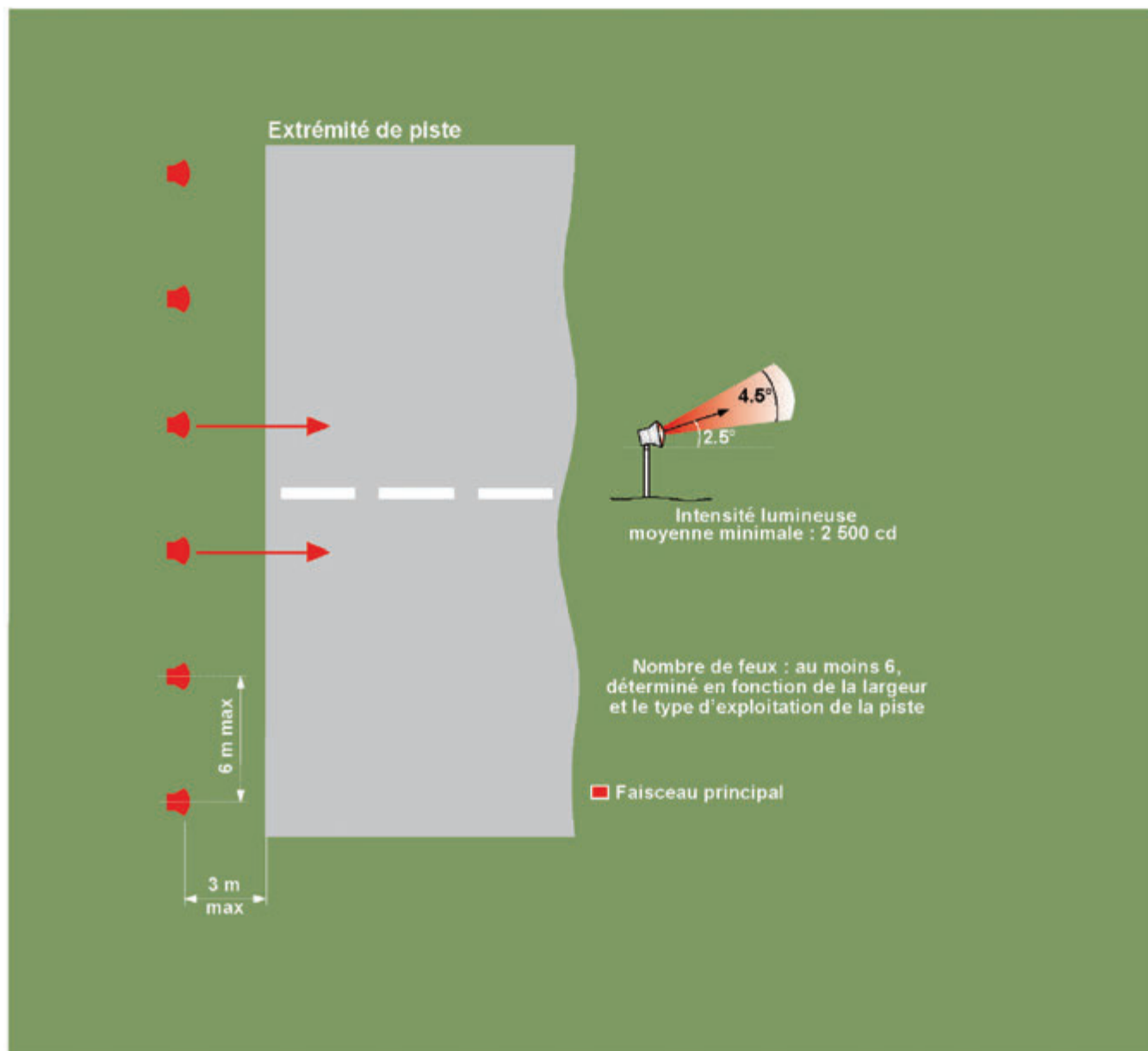


Figure 61 : Angles de calage en azimuth et en site requis pour les feux d'extrémité de piste.

7. ANNEXES

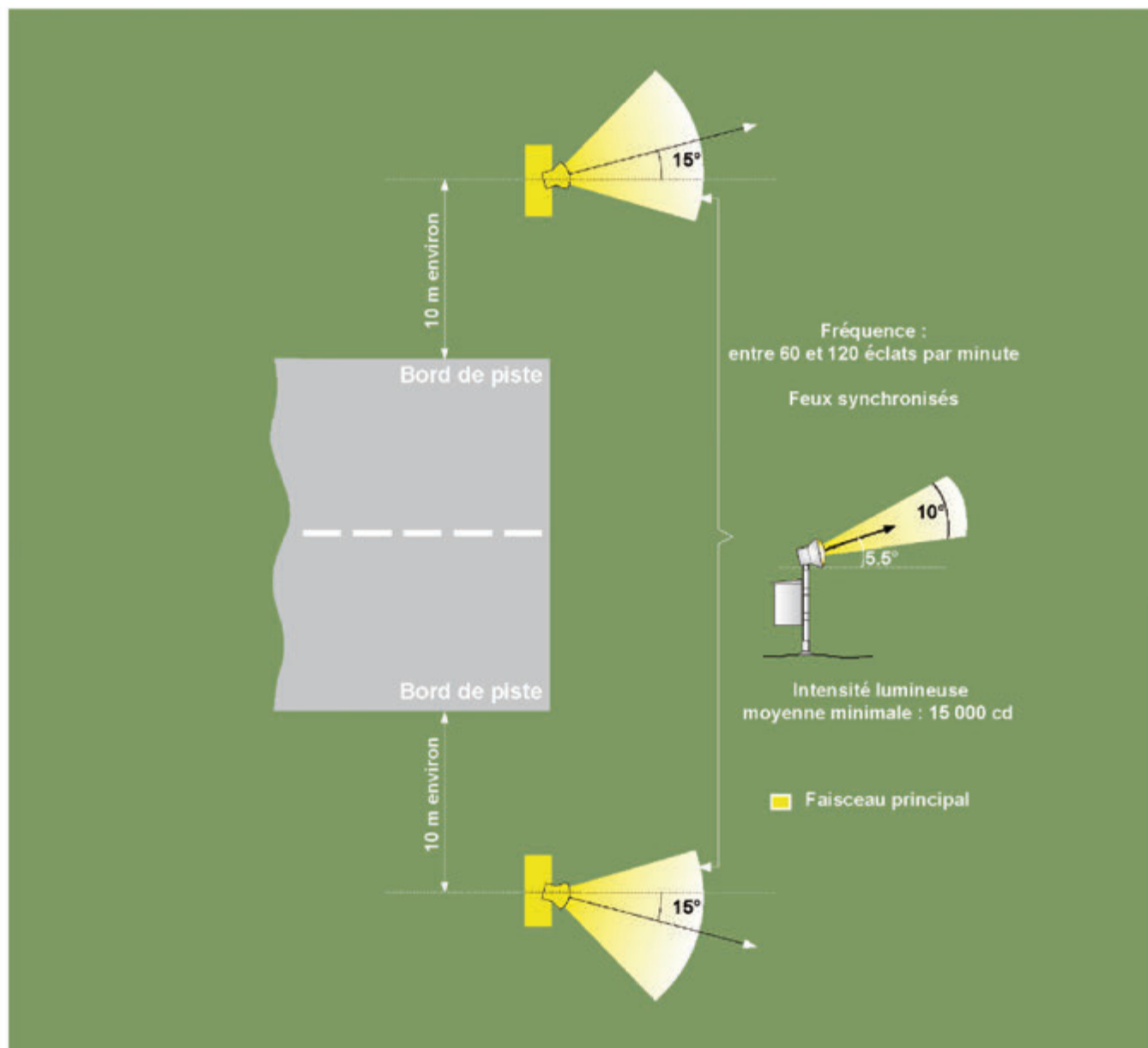


Figure 62: Angles de calage en azimut et en site requis pour les feux d'identification de seuil de piste (feux à éclats).

Note :

En général, les feux d'identification de seuil de piste devraient être installés dans l'alignement du seuil et symétriquement par rapport à l'axe de la piste. Dans le cas où il est physiquement impossible de les installer dans l'alignement du seuil de piste, ils peuvent être installés jusqu'à 10 m en amont du seuil de piste, ou jusqu'à 30 m en aval du seuil de piste et entre 10 m et 25 m du bord de piste.

7. ANNEXES

7.10.3. MÉTHODE

Les procédures et instructions associées de calage des feux de balisage d'aérodrome doivent être fournies par le fabricant du dispositif de réglage.

Les procédures de calage diffèrent selon le type du feu de balisage d'aérodrome : il faut distinguer les feux hors sol unidirectionnels, les feux hors sol bidirectionnels et les feux encastrés.

Le calage d'un feu de balisage d'aérodrome peut être obtenu soit uniquement de manière mécanique (cas des feux hors sol unidirectionnels de balisage d'aérodrome, par exemple les feux de balisage d'approche), soit par combinaison des méthodes optique et mécanique (cas de certains feux encastrés de balisage d'aérodrome et des feux hors sol bidirectionnels de balisage d'aérodrome, par exemple les feux hors sol de bord de piste).

Les calages en site et en azimut des feux hors sol bidirectionnels de balisage d'aérodrome, tels que les feux hors sol de bord de piste, doivent être obtenus par combinaison des méthodes optique et mécanique. Ils doivent être installés de niveau et alignés parallèlement à l'axe de piste, ce qui, en combinaison avec leurs caractéristiques de leur système optique, permet d'assurer leur calage en site et en azimut.

Le calage en site des feux encastrés de balisage d'aérodrome doit être obtenu par combinaison des méthodes optiques et mécaniques. Ils doivent être installés de niveau, ce qui, en combinaison avec les caractéristiques de leur système optique, permet d'assurer leur calage en site. Le calage en azimut des feux encastrés de balisage d'aérodrome peut être obtenu soit par combinaison des méthodes optique et mécanique, en alignant leur embase parallèlement à l'axe de piste ou de voie de circulation, ou uniquement de manière mécanique, en alignant leur embase de sorte à assurer le calage requis en azimut par rapport à l'axe de piste ou de voie de circulation.

7. ANNEXES

7.11. MÉTHODES DE MESURE DE L'ANGLE DE CALAGE EN SITE D'UNE UNITÉ LUMINEUSE D'UN DISPOSITIF PAPI (MÉTHODES DIFFÉRENTES DE CELLE DU CLINOMÈTRE/DE L'ALIDADE)

Les méthodes présentées ci-après sont également détaillées dans le Doc 9157 de l'OACI, partie 4 (Aides visuelles), 5^{ème} édition.

7.11.1. MÉTHODE DU CONTRÔLE EN VOL (PAR SINUSOÏDES)

La méthode historique de mesure de l'angle de calage en site d'une unité lumineuse d'un dispositif PAPI nécessite à la fois un opérateur au sol utilisant un théodolite et un observateur à bord d'un avion en vol sinusoïdal de part et d'autre du plan de descente.

Le point théorique de référence à partir duquel le théodolite mesure des angles doit être situé dans la zone de transition colorimétrique du faisceau de l'unité lumineuse à mesurer. Les faisceaux des unités lumineuses non mesurées doivent être masqués.

L'opérateur au sol doit pointer le théodolite sur le nez de l'avion pendant que l'observateur à bord de l'avion doit donner un top (par VHF) à l'opérateur au sol chaque fois que la zone de transition colorimétrique est observée, que ce soit du blanc vers le rouge ou bien du rouge vers le blanc.

L'opérateur au sol doit relever les angles mesurés par le théodolite chaque fois qu'un top est donné par l'opérateur à bord de l'avion.

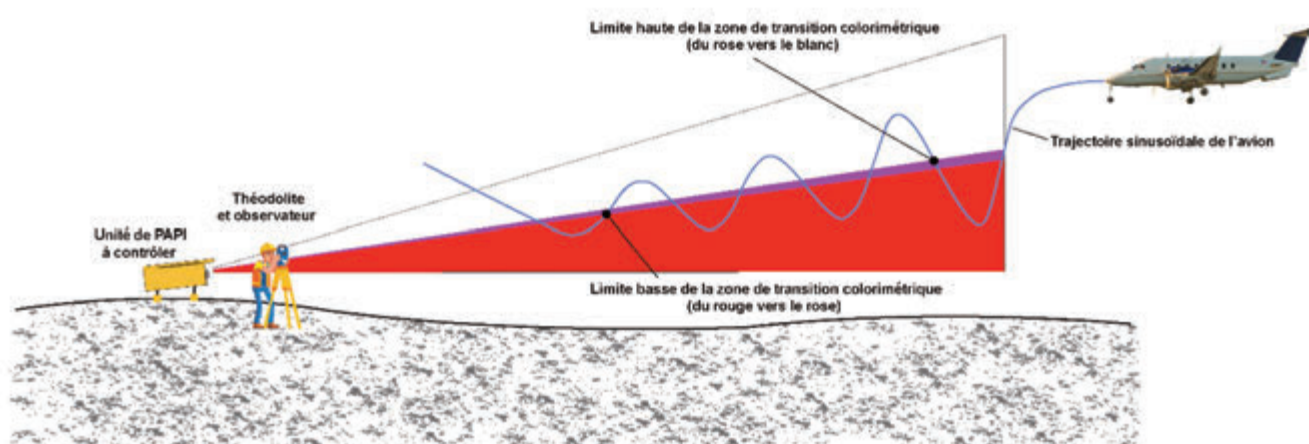


Figure 63: Mesure de l'angle de calage en site d'une unité lumineuse d'un dispositif PAPI par la méthode du contrôle en vol.

7. ANNEXES

7.11.2. MÉTHODE DE LA NACELLE



Figure 64 : Nacelle positionnée pour la mesure de l'angle de calage en site d'une unité lumineuse d'un dispositif PAPI - Aéroport de Toulouse Blagnac.

La nacelle doit être positionnée devant l'unité lumineuse, dans son axe, à une distance d'environ 150 m. La hauteur de la nacelle doit être ajustée par le conducteur de la nacelle jusqu'à ce que l'observateur situé dans la nacelle puisse visualiser le faisceau blanc en position debout et le faisceau rouge en fléchissant légèrement les jambes. La zone de transition colorimétrique doit pouvoir ainsi être visualisée par l'observateur par simple fléchissement des jambes.

Le théodolite doit être positionné par un géomètre au sol conformément à ses caractéristiques et à la position des lentilles de l'unité lumineuse. L'observateur dans la nacelle doit tenir un prisme de visée à hauteur de ses yeux. Le géomètre au sol doit suivre les déplacements verticaux de l'observateur dans la nacelle en pointant son prisme de visée. L'angle mesuré par le théodolite doit être relevé par le géomètre lorsque l'observateur dans la nacelle peut visualiser la zone de transition colorimétrique par simple fléchissement de jambes.



Figure 65 : Observateur dans une nacelle tenant un prisme de visée pour la mesure de l'angle de calage en site d'une unité lumineuse d'un dispositif PAPI.

Une autre méthode de mesure de l'angle de calage en site d'une unité lumineuse d'un dispositif PAPI repose sur l'observation statique de la zone de transition colorimétrique depuis une grande distance et une hauteur significative afin d'améliorer la précision de mesure.

Cette méthode nécessite l'utilisation des équipements suivants :

- ▶ un théodolite à installer à proximité du dispositif PAPI, et
- ▶ une nacelle élévatrice mobile à installer devant le dispositif PAPI, permettant d'observer les faisceaux lumineux depuis une hauteur allant jusqu'à 15 m (afin de tenir compte de la topographie de l'aérodrome) et depuis différentes distances adaptées à l'angle de calage de chaque unité lumineuse.

7. ANNEXES

Note :

- ▶ La zone de transition colorimétrique entre le signal blanc et le signal rouge est de couleur rose et l'angle qu'elle forme mesure environ 3 minutes d'arc
- ▶ La zone de transition colorimétrique du signal rose vers le signal blanc est plus facilement distinguable, la variation d'intensité lumineuse étant plus significative. L'expérience a démontré qu'une recherche du signal rouge à la limite inférieure de la zone de transition colorimétrique engendrait des erreurs de mesure (résultats trop faibles). **Les résultats de mesure devraient donc être relevés uniquement lorsque l'observateur dans la nacelle visualise la limite supérieure de la zone de transition colorimétrique (passage du signal blanc au signal rose).**
- ▶ Lorsque l'observateur indique qu'il visualise la limite supérieure de la zone de transition colorimétrique (en donnant un top radio par exemple), le géomètre devrait relever l'angle mesuré par le théodolite.

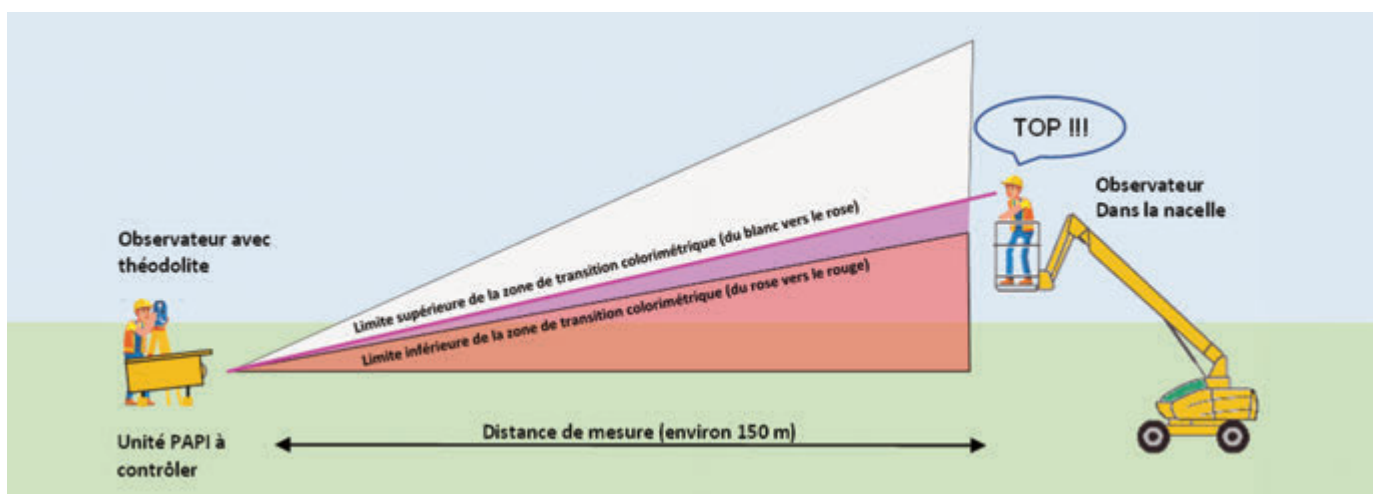


Figure 66: Principe de mesure de l'angle de calage en site d'une unité lumineuse d'un dispositif PAPI par la méthode de la nacelle (Vue de profil).

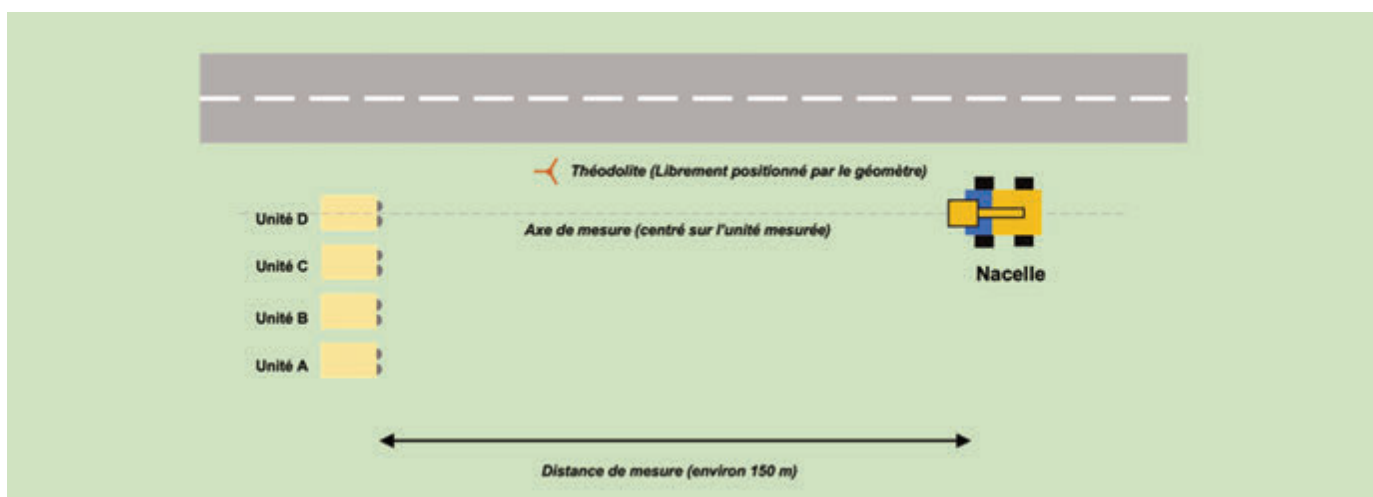


Figure 67: Principe de mesure de l'angle de calage d'une unité lumineuse de dispositif PAPI par la méthode de la nacelle (Vue de dessus).

7. ANNEXES

7.11.3. MÉTHODE DU DRONE

Une autre méthode de mesure de l'angle de calage en site d'une unité lumineuse d'un dispositif PAPI consiste à utiliser un drone spécifique pour observer la zone de transition colorimétrique. Ce drone est constitué d'un aéronef piloté à distance et d'une unité de traitement au sol vers laquelle les résultats de mesure sont téléchargés. Des procédures spécifiques doivent être appliquées, notamment pour l'enregistrement des images vidéo et pour le positionnement du drone par GPS. La procédure d'utilisation du drone dépend de la méthode de mesure mise en œuvre.

Les images filmées pendant le balayage vertical de l'unité lumineuse par le drone doivent être enregistrées et peuvent être traitées de l'une des manières suivantes afin de déterminer les hauteurs des limites haute et basse de la zone de transition colorimétrique :

- ▶ soit affichées sur un écran pour une visualisation en temps réel sur le terrain et une analyse par l'opérateur au sol,
- ▶ soit analysées automatiquement au moyen d'algorithmes.

L'angle de calage en site de l'unité lumineuse peut alors être calculé.



Figure 68: Visualisation en temps réel des unités lumineuses d'un dispositif PAPI à l'aide d'un drone.

7. ANNEXES

Afin de réaliser des mesures de haute précision (environ 2 cm), la méthode de positionnement cinématique temps réel (RTK) peut être utilisée. Dans ce cas, une station RTK transmettant les données de correction RTK au drone doit être positionnée au seuil de piste identifié comme le point de référence pour la position du drone. L'écart de hauteur de mesure lié à la position de l'antenne GPS du drone doit être pris en compte. La distance horizontale de mesure doit être adaptée au drone et définie par le fabricant du drone. En général, le drone devrait être positionné à 300 m en amont du dispositif PAPI.



Figure 69: Prise en compte de la position de l'antenne GPS pour la mesure de l'angle de calage en site d'une unité lumineuse d'un dispositif PAPI par la méthode du drone – Aéroport de Toulouse Blagnac.



Figure 70: Station RTK positionnée au seuil de piste pour la mesure de l'angle de calage en site des unités lumineuses d'un dispositif PAPI par la méthode du drone - Aéroport de Toulouse Blagnac.

7. ANNEXES

7.11.4. MÉTHODE DE L'ANALYSE D'IMAGE

Une autre méthode de mesure de l'angle de calage en site d'une unité lumineuse d'un dispositif PAPI consiste à mesurer l'orientation spatiale du centre de la zone de transition colorimétrique au moyen d'un équipement de mesure installé au sol comprenant une caméra haute définition Pan Tilt Zoom (PTZ) montée sur un inclinomètre de haute précision et relié à un ordinateur portable équipé d'un logiciel spécifique d'analyse des images.

La tête de mesure située au sommet d'un tripode doit être positionnée devant l'unité lumineuse, généralement à une distance comprise entre 10 et 15 m, à une hauteur permettant d'intercepter la zone de transition colorimétrique. Une fois que l'opérateur a réalisé le positionnement initial, la caméra, commandée par le logiciel, recherche automatiquement le centre de la zone de transition colorimétrique. Le résultat de mesure de l'angle de calage en site, d'une précision meilleure qu'une minute d'arc, est immédiatement disponible sur l'écran d'ordinateur.

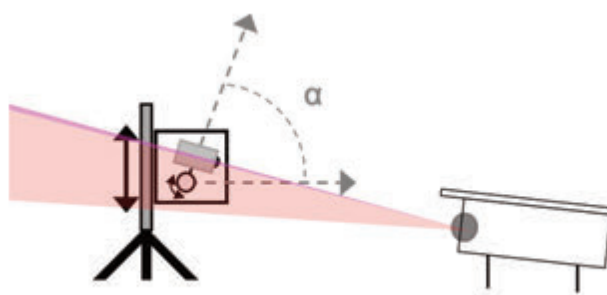


Figure 71: Principe de mesure de l'angle de calage en site d'une unité lumineuse d'un dispositif PAPI par la méthode de mesure au sol.



Figure 72: Mesure de l'angle de calage en site d'une unité lumineuse d'un dispositif PAPI par la méthode de mesure au sol – Aéroport de Toulouse Blagnac.

7. ANNEXES

7.11.5. NOMBRE DE MESURES

Pour chaque unité lumineuse d'un dispositif PAPI, cinq mesures de l'angle de calage en site doivent être effectuées, quelle que soit la méthode utilisée. Les valeurs relevées doivent être reportées dans un tableau. La valeur retenue doit être la moyenne des cinq valeurs mesurées, en excluant les valeurs aberrantes.

7.11.6. DURÉE D'IMMOBILISATION DE LA PISTE

La durée d'immobilisation de la piste nécessaire pour réaliser la mesure de l'angle de calage en site des quatre unités lumineuses d'un dispositif PAPI peut être estimée à :

- ▶ deux heures par la méthode du contrôle en vol,
- ▶ une demi-journée par la méthode de la nacelle,
- ▶ deux heures par la méthode du drone,
- ▶ deux heures par la méthode de mesure au sol.

7. ANNEXES

7.12. GLOSSAIRE

A

AESA

Agence de l'Union Européenne pour la Sécurité Aérienne (EASA)

AFNOR

Association Française de Normalisation

AMDEC

Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité

APAPI

Abbreviated Precision Approach Path Indicator

API

Automate programmable industriel

ASI

Alimentation Sans Interruption (UPS)

B

BT

Basse Tension

C

CCR

Constant Current Regulator - Régulateur à courant constant

CD

Candélas

CE

Communauté Européenne

CEE

Communauté Économique Européenne

CEI

Commission Électrotechnique Internationale (IEC)

CHEA

Arrêté relatif aux Conditions d'Homologation et aux procédures d'Exploitation des Aéroports - Arrêté du 28 août 2003

COFRAC

Comité français d'accréditation

CPF

Composants de Protection contre la Foudre

CS

Contacteur Statique

CSB

Circuits Série primaires et secondaires du Balisage lumineux des aéroports

D

DNA

Direction de la Navigation Aérienne

DPS

Dispositifs de Protection contre la Foudre

DUERP

Document Unique d'Évaluation des Risques Professionnels

E

EPC

Équipements de Protection Collective

EPI

Équipements de Protection Individuelle : casques, lunettes, chaussures, gants...

EFVS

Systèmes de vision en vol améliorés (Enhanced Flight Vision System)

F

FBA

Feux des circuits série du Balisage lumineux des Aéroports

G

GMAO

Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur

GNSS

Géolocalisation et Navigation par un Système de Satellites

GPS

Global Positioning System (système satellitaire américain)

H

HT

Haute Tension

HTA

Haute Tension A

I

IEPF

Installations Extérieures de Protection contre la Foudre

IHM

Interface Homme Machine

IIPF

Installations Intérieures de Protection contre la Foudre

ILS

Instrumental Landing system

7. ANNEXES

L

LED

Light-Emitting Diode ou Diode Électroluminescente

LVP

Low Visibility Procedures – Procédures d'exploitation par faible visibilité

M

MERIDE

Méthode d'Évaluation des Risques Industriels des Dysfonctionnements des Équipements

MLS

Microwave Landing System

N

NF

Norme Françaises

NIT

Note d'information technique

NPF

Niveaux de Protection contre la Foudre

P

PAPI

Precision Approach Path Indicator – Indicateur visuel de précision de pente d'approche

PE

Conducteur de protection

PEN

Conducteur de protection associée au neutre

PERT

Program Evaluation and Review Technique

PSNA

Prestataire de Service de la Navigation Aérienne

PTZ

Pan Tilt Zoom (technologie de caméra vidéo)

R

RTK

Real Time Kinematic - Dispositif permettant de transmettre en temps réel les données de corrections d'une base d'observation aux GPS mobiles.

RVR

Runway Visual Range – Portée visuelle de piste

S

SMGCS

Surface Movement Guidance and Control System – Système de guidage et de contrôle de la circulation de surface

SPF

Système de Protection contre la Foudre

STAC

Service Technique de l'Aviation Civile.
www.stac.aviation-civile.gouv.fr

T

TBT

Très Basse Tension

TBTS

Très Basse Tension de Sécurité

TBTP

Très Basse Tension de Protection

TCA

Titres de Circulation Aéroportuaire

TDBT

Tableau de Distribution Basse Tension

TGBT

Tableau Général Basse Tension

TI

Transformateur d'Isolation

U

UAF & FA

Union des Aéroports Français et Francophones Associés

UE

Union Européenne

UTE

Union Technique de l'Électricité

UV

Ultraviolets

7. ANNEXES

7.13. TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1: Barre d'arrêt – Aéroport de Beauvais	17
Figure 2: Feu de protection de piste	19
Figure 3: Poste électrique relatif au balisage lumineux – Aéroport de Paris CDG	20
Figure 4: Poste source – Aéroport de Châlons Vatry	20
Figure 5: Exemple de réseau de distribution électrique sur un aéroport alimenté en basse tension	39
Figure 6: Exemple de réseau de distribution électrique sur un aéroport alimenté en haute tension	40
Figure 7: Différents types de connexion entre le poste de transformation HTA/BT et le réseau interne de distribution en HTA	41
Figure 8: Réseau interne de distribution interne en HTA – Aéroport de Nice	41
Figure 9: Délai de commutation	42
Figure 10: Schéma fonctionnel d'un système d'alimentation électrique du balisage lumineux comportant une source auxiliaire	45
Figure 11: Exemple de réseau d'alimentation électrique pour les installations de navigation aérienne d'un aéroport	45
Figure 12: Schéma fonctionnel d'un système d'alimentation électrique du balisage lumineux d'aéroport comportant une ASI	47
Figure 13: Schéma fonctionnel d'une ASI statique à double conversion	47
Figure 14: Schéma fonctionnel d'un système d'alimentation électrique du balisage lumineux d'aéroport comportant une ASI dynamique hybride diesel	47
Figure 15: ASI dynamique hybride diesel avec accumulateur d'énergie cinétique (Source : HITEC Power Protection)	48
Figure 16: Schéma fonctionnel d'une ASI dynamique hybride diesel avec accumulateur d'énergie cinétique (Source : Piller)	48
Figure 17: Poste électrique pour l'alimentation des dispositifs de balisage lumineux – Aéroport de Paris Orly	49
Figure 18: Poste électrique pour l'alimentation électrique des dispositifs de balisage lumineux – Aéroport de Toulouse Blagnac	50

7. ANNEXES

Figure 19: Poste HTA – Aéroport de Marseille	52
Figure 20: Transformateur BT/HTA – Aéroport de Nice	54
Figure 21: Groupe électrogène 400 kV.A – Aéroport de Saint Pierre	56
Figure 22: TGBT – Aéroport de Paris Orly	58
Figure 23: Tableaux de distribution électrique des panneaux et feux de protection de piste	59
Figure 24: Supervision des commutateurs statiques – Aéroport de Lyon	61
Figure 25: ASI – Aéroport de Saint Denis La Réunion	62
Figure 26: Système no-break en container – Aéroport de Toulouse Blagnac	63
Figure 27: IEPF et système de capture – Aéroport de Toulouse Blagnac	65
Figure 28: Batterie de condensateurs BT – Aéroport de Tahiti FAA'A	67
Figure 29: Compensateur actif d'harmoniques SineWave 60 A – Aéroport de Paris CDG	68
Figure 30: API – Aéroport de Nice	69
Figure 31: Redresseur/Chargeur 24 V DC – Aéroport de Toulouse Blagnac	71
Figure 32: Principe de mesure du délai de commutation	73
Figure 33: Exemplaires de feux de balisage lumineux d'aéroport	74
Figure 34: Régulateurs courants constants à thyristors – Aéroport de Pointe à Pitre	80
Figure 35: Platine de contrôle et de commande du balisage lumineux – Aéroport de Paris Orly	84
Figure 36: Regard pour dispositifs lumineux de balisage – Aéroport de Paris Orly	88
Figure 37: Massif support d'un indicateur de direction du vent – Aéroport de Paris Orly	90
Figure 38: Saignée sur une piste en béton	91
Figure 39: Panneaux de point d'attente avant piste	92
Figure 40: Feu de point d'attente sur voie de service – Aéroport de Strasbourg Entzheim	93

7. ANNEXES

Figure 41: Mesure photométrique sur site d'un feu de seuil de piste réalisée manuellement	97
Figure 42: Implantation et identification des unités lumineuses d'un dispositif PAPI	102
Figure 43: Unité lumineuse d'un dispositif PAPI – Aéroport de Châlons Vatry	103
Figure 44: Vérification visuelle de l'alignement des zones de transition colorimétrique des faisceaux d'une unité lumineuse d'un dispositif PAPI	104
Figure 45: Mesure, au moyen d'un niveau laser, de la pente formée par les unités lumineuses d'un dispositif PAPI par rapport à l'horizontal	105
Figure 46: Contrôle de l'horizontalité de la partie frontale d'une unité lumineuse d'un dispositif PAPI	105
Figure 47: Contrôle du calage en site d'une unité lumineuse d'un dispositif PAPI – Aéroport d'Avignon	106
Figure 48: Exemple de délai de commutation mesuré lors d'un transfert en mode secours inverse sur feu LED	110
Figure 49: Flux lumineux	130
Figure 50: Intensité lumineuse	130
Figure 51: Diagramme isocandela d'un feu de ligne axiale et de barre transversale d'approche	132
Figure 52: Dispositifs lumineux de balisage d'une piste avec approche de précision balisage lumineux	133
Figure 53: Angle de calage horizontal (ou en azimut) de feux de bord de piste (Vue de dessus)	134
Figure 54: Angle de calage vertical (ou en site) de feux de balisage de piste (Vue de profil)	134
Figure 55: Angles de calage en site et en azimut requis pour les feux du dispositif lumineux d'approche de précision de catégorie I	135
Figure 56: Angles de calage en azimut et en site requis pour les feux du dispositif lumineux d'approche de précision de catégorie II	136
Figure 57: Angles de calage en azimut et en site requis pour les feux de seuil de piste	137
Figure 58: Angles de calage en azimut et en site requis pour les feux d'axe de piste	138

7. ANNEXES

Figure 59: Angles de calage en azimut et en site requis pour les feux de zone de toucher des roues	139
Figure 60: Angles de calage en azimut et en site requis pour les feux de bord de piste	140
Figure 61: Angles de calage en azimut et en site requis pour les feux d'extrémité de piste	141
Figure 62: Angles de calage en azimut et en site requis pour les feux d'identification de seuil de piste (feux à éclats)	142
Figure 63: Mesure de l'angle de calage en site d'une unité lumineuse d'un dispositif PAPI par la méthode du contrôle en vol	144
Figure 64: Nacelle positionnée pour la mesure de l'angle de calage en site d'une unité lumineuse d'un dispositif PAPI – Aérodrome de Toulouse Blagnac	145
Figure 65: Observateur dans une nacelle tenant un prisme de visée pour la mesure de l'angle de calage en site d'une unité lumineuse d'un dispositif PAPI	145
Figure 66: Principe de mesure de l'angle de calage en site d'une unité lumineuse d'un dispositif PAPI par la méthode de la nacelle (Vue de profil)	146
Figure 67: Principe de mesure de l'angle de calage d'une unité lumineuse de dispositif PAPI par la méthode de la nacelle (Vue de dessus)	146
Figure 68: Visualisation en temps réel des unités lumineuses d'un dispositif PAPI à l'aide d'un drone	147
Figure 69: Prise en compte de la position de l'antenne GPS pour la mesure de l'angle de calage en site d'une unité lumineuse d'un dispositif PAPI par la méthode du drone – Aérodrome de Toulouse Blagnac	148
Figure 70: Station RTK positionnée au seuil de piste pour la mesure de l'angle de calage en site des unités lumineuses d'un dispositif PAPI par la méthode du drone – Aérodrome de Toulouse Blagnac	148
Figure 71: Principe de mesure de l'angle de calage en site d'une unité lumineuse d'un dispositif PAPI par la méthode de mesure au sol	149
Figure 72: Mesure de l'angle de calage en site d'une unité lumineuse d'un dispositif PAPI par la méthode de mesure au sol – Aérodrome de Toulouse Blagnac	149

7. ANNEXES

7.14. TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1: Chiffres de code d'une piste	18
Tableau 2: Domaines de tension (Extrait de la norme NF C18-510)	21
Tableau 3: Signification des éléments des symboles d'habilitation (Extrait de la norme NF C18-510)	23
Tableau 4: Tension maximale d'utilisation des gants de protection en matériau isolant	28
Tableau 5: Classification des opérations de maintenance par niveau suivant la norme NF X60-000	37
Tableau 6: Délai de commutation exigé par la réglementation française (arrêté CHEA) pour les aides visuelles de balisage lumineux, selon les conditions d'exploitation de la piste	43
Tableau 7: Délai de commutation exigé par la réglementation AESA pour les aides visuelles lumineuses de balisage lumineux, selon les conditions d'exploitation de la piste	44
Tableau 8: Valeurs minimales requises d'intensité lumineuse moyenne du faisceau principal des feux de balisage d'approche ou de piste avec approche de précision (pour une installation sur site ou en tant qu'objectifs de maintenance)	75
Tableau 9: Pourcentages maximaux admissibles de feux hors service et restrictions associées pour une piste avec approche de précision de catégorie I	76
Tableau 10: Pourcentages maximaux admissibles de feux hors service et restrictions associées pour une piste avec approche de précision de catégorie II ou III	77
Tableau 11: Pourcentages maximaux admissibles de feux hors service et restrictions associées pour une piste réservée aux décollages dans des conditions de portée visuelle de piste inférieure à 550 m	78
Tableau 12: Pourcentages maximaux admissibles de feux hors service et restrictions associées pour une piste réservée aux décollages dans des conditions de portée visuelle de piste supérieure ou égale à 550 m	79
Tableau 13: Distances de mesure photométrique recommandées pour les feux de balisage d'approche ou de piste avec approche de précision	96
Tableau 14: Exemples de résultats de mesure photométrique sur site de feux de balisage d'approche ou de piste avec approche de précision	97
Tableau 15: Exemples de périodicités de mesure photométrique sur site des feux encastrés de balisage en fonction du type de piste et de la densité de circulation de l'aérodrome	98

7. ANNEXES

Tableau 16: Exemples de périodicités de mesure photométrique sur site des feux hors sol de balisage à haute intensité lumineuse en fonction du type de piste	99
Tableau 17: Différentes configurations des zones de transition colorimétrique des faisceaux d'une unité lumineuse d'un dispositif PAPI	104
Tableau 18: Exemple de plan de formation d'un agent de maintenance intervenant sur les circuits série de balisage lumineux d'aérodrome	112
Tableau 19: Exemple de formulaire de suivi de formation d'un agent de maintenance intervenant sur les circuits série de balisage lumineux d'aérodrome	113
Tableau 20: Exemple de formulaire d'essai spécialisé de vérification de la fiabilité des systèmes d'alimentation électrique du balisage lumineux d'aérodrome	115
Tableau 21: Exemple de formulaire d'essai de vérification du retour d'information (en tour de contrôle) sur l'état de fonctionnement des régulateurs d'alimentation des dispositifs lumineux de balisage	116
Tableau 22: Exemple de formulaire d'essai pour la mesure de la résistance d'isolement et de la résistance de continuité électrique des boucles primaires d'alimentation des dispositifs lumineux de balisage	120
Tableau 23: Exemple de formulaire de suivi d'un régulateur à courant constant	121
Tableau 24: Récapitulatif des opérations de maintenance préventive recommandées pour les installations d'énergie d'un aérodrome	122
Tableau 25: Récapitulatif des opérations de maintenance préventive recommandées pour les systèmes de télécommande et télésurveillance des dispositifs lumineux de balisage d'aérodrome	123
Tableau 26: Récapitulatif des opérations de maintenance préventive recommandées pour les installations de balisage lumineux d'aérodrome	124
Tableau 27: Récapitulatif des opérations de maintenance préventive recommandées pour une unité lumineuse d'un dispositif PAPI	125
Tableau 28: Récapitulatif (par périodicité) des opérations de maintenance préventive recommandées pour les installations d'énergie et de balisage lumineux d'aérodrome	126

Conception : STAC/Département Administration, Système d'Information et Diffusion

Couverture : © Richard **METZGER** DGAC/STAC

Crédit photos : © Christian **DRÉANO** DGAC/STAC, sauf mention
© Richard **METZGER** DGAC/STAC, pages 2, 10, 145, 148, 149

Illustrations : © Gilles **MAQUIN** DGAC/STAC
© **HITEC Power Protection**, page 48
© **PILLER**, page 48

Mai 2024



Direction générale de l'Aviation civile
service technique de l'Aviation civile
CS 30012 - 31 avenue du Maréchal Leclerc
94 385 Bonneuil-sur-Marne CEDEX FRANCE
Téléphone : 01 49 56 80 00

www.stac.aviation-civile.gouv.fr

www.ecologie.gouv.fr