



OACI

Doc 9157

Manuel de conception des aérodromes

Deuxième édition, 2017

Partie 5 — Installations électriques



Approuvé par la Secrétaire générale et publié sous son autorité

ORGANISATION DE L'AVIATION CIVILE INTERNATIONALE



| OACI

Doc 9157

Manuel de conception des aérodromes

Deuxième édition, 2017

Partie 5 — Installations électriques

Approuvé par la Secrétaire générale et publié sous son autorité

ORGANISATION DE L'AVIATION CIVILE INTERNATIONALE

Publié séparément en français, en anglais, en arabe, en chinois, en espagnol et en russe par l'ORGANISATION DE L'AVIATION CIVILE INTERNATIONALE 999, boul. Robert-Bourassa, Montréal (Québec) H3C 5H7 Canada

Les formalités de commande et la liste complète des distributeurs officiels et des librairies dépositaires sont affichées sur le site web de l'OACI (www.icao.int).

Première édition, 1983
Deuxième édition, 2017

Doc 9157, Manuel de conception des aérodromes
Partie 5 — Installations électriques

N° de commande : 9157P5
ISBN 978-92-9258-342-2

© OACI 2017

Tous droits réservés. Il est interdit de reproduire, de stocker dans un système de recherche de données ou de transmettre sous quelque forme ou par quelque moyen que ce soit, un passage quelconque de la présente publication, sans avoir obtenu au préalable l'autorisation écrite de l'Organisation de l'aviation civile internationale.

AVANT-PROPOS

La sécurité, la régularité et l'efficacité de l'aviation civile dépendent de la manière dont les installations électriques destinées aux aides visuelles à la navigation sont conçues, montées et entretenues. À cet effet, le présent manuel contient des orientations sur la conception et le montage des installations électriques pour le balisage lumineux des aérodromes.

Les installations électriques destinées au balisage lumineux des aérodromes présentent des caractéristiques que l'on ne rencontre habituellement pas dans les autres installations électriques. C'est pourquoi le présent manuel porte non seulement sur les caractéristiques générales des usages en matière d'électricité et des installations, mais aussi sur les aspects qui présentent une importance particulière pour les installations d'aérodrome. Le lecteur est présumé être familier avec les principes des circuits électriques et les principes généraux de conception des installations électriques classiques, mais pas nécessairement avec certaines caractéristiques des installations d'aérodrome qui se retrouvent plus rarement dans d'autres types d'installations. Il est important de noter que le présent manuel vise à compléter les codes nationaux de sécurité qui régissent les installations électriques.

Le présent manuel ne traite pas des circuits électriques des bâtiments situés sur un aéroport et ne porte pas non plus sur la maintenance des installations électriques. À ce sujet, le lecteur est invité à se reporter au *Manuel des services d'aéroport* (Doc 9137), 9^e Partie — *Maintenance*.

MISE EN ŒUVRE

L'information contenue dans le présent document est destinée à faciliter la mise en œuvre par les États des prescriptions de l'Annexe 14 — *Aérodromes*, Volume I — *Conception et exploitation technique des aérodromes*, et à assurer leur application uniforme. Cependant, le concepteur de telles installations doit être conscient du fait que les codes locaux de l'électricité peuvent primer.

ÉVOLUTION FUTURE

Afin que le présent manuel reste pertinent et exact, nous vous encourageons à nous communiquer vos propositions en vue d'en améliorer la forme, le contenu ou la présentation. Chaque recommandation ou proposition sera examinée et, s'il y a lieu, prise en compte dans les mises à jour périodiques du manuel. Des révisions régulières lui permettront de rester pertinent et exact. Veuillez adresser vos observations à ce propos à :

La Secrétaire générale
Organisation de l'aviation civile internationale
999, boul. Robert-Bourassa
Montréal (Québec) H3C 5H7
Canada

La prochaine édition du présent manuel contiendra des recommandations alignées sur la future norme 61820 de la Commission électrotechnique internationale (CEI) (IEC 61820, *System design and installation requirements for constant current series circuits for aeronautical ground lighting*, attendue en 2018).

TABLE DES MATIÈRES

	<i>Page</i>
Publications	XIII
Abréviations et acronymes	XV
Chapitre 1. Introduction	1-1
1.1 Objectif	1-1
1.2 Organisation du manuel	1-1
Chapitre 2. Méthodes pour assurer l'intégrité et la fiabilité	2-1
2.1 Définition des termes	2-1
2.2 Résumé des moyens d'améliorer l'intégrité et la fiabilité	2-1
Chapitre 3. Alimentations électriques	3-1
3.1 Généralités	3-1
3.2 Alimentation à partir de sources commerciales ou publiques	3-1
3.3 Alimentation électrique des aides visuelles d'aérodrome	3-2
3.4 Alimentation sans coupure	3-4
3.5 Équipement	3-8
3.6 Postes et abris pour l'équipement électrique	3-11
Chapitre 4. Distribution électrique	4-1
4.1 Généralités	4-1
4.2 Circuits d'arrivée de l'alimentation principale	4-1
4.3 Circuits aériens de distribution de l'alimentation principale	4-1
4.4 Régulation de la tension	4-3
4.5 Lignes de transport	4-3
4.6 Supports de lignes	4-3
4.7 Conducteurs	4-4
4.8 Transformateurs	4-4
4.9 Dispositifs de sectionnement des circuits	4-5
4.10 Protection contre la foudre	4-6
4.11 Dégagements	4-7
4.12 Mise à la terre	4-7
4.13 Circuits de distribution souterrains	4-9

	<i>Page</i>
Chapitre 5. Types de circuits électriques	5-1
5.1 Caractéristiques électriques	5-1
5.2 Circuits série.....	5-1
5.3 Circuits parallèles (multiples).....	5-3
5.4 Comparaison entre les circuits série et les circuits parallèles pour le balisage lumineux	5-5
5.5 Circuits série de balisage lumineux des aérodromes	5-5
5.6 Mise à la terre.....	5-6
5.7 Transformateurs dévolteurs.....	5-6
5.8 Coupe-circuit série.....	5-6
5.9 Circuits électriques et de communication pour équipements des services de la circulation aérienne (ATS).....	5-8
Chapitre 6. Description des circuits	6-1
6.1 Imbrication des circuits de balisage d'aérodrome	6-1
6.2 Agencement du poste électrique	6-1
6.3 Réalisation de l'imbrication.....	6-1
6.4 Applications possibles de l'imbrication	6-6
6.5 Commutation sélective des circuits des voies de circulation.....	6-8
Chapitre 7. Régulateurs à courant constant	7-1
7.1 Types de régulateurs à courant constant	7-1
7.2 Caractéristiques de fonctionnement des régulateurs à courant constant	7-7
7.3 Caractéristiques nominales des régulateurs à courant constant.....	7-8
7.4 Protection contre les circuits ouverts et les surintensités	7-9
Chapitre 8. Calculs de charge/dimensionnement des régulateurs.....	8-1
8.1 Généralités.....	8-1
8.2 Types de charges	8-1
8.3 Calcul de la charge de l'installation de balisage	8-3
8.4 Exemple de calcul.....	8-3
8.5 Autres considérations.....	8-5
Chapitre 9. Transformateurs série de balisage au sol.....	9-1
9.1 Fonctions.....	9-1
9.2 Conception du transformateur	9-2
9.3 Boîtier.....	9-2
9.4 Température ambiante.....	9-2
9.5 Caractéristiques des transformateurs	9-3
9.6 Alimentation de plusieurs lampes par un même transformateur	9-3
9.7 Effets de l'ouverture du circuit secondaire d'un transformateur	9-3
9.8 Dispositifs de dérivation pour les lampes	9-4
9.9 Socle de transformateur	9-4
9.10 Autres dispositifs.....	9-4

	<i>Page</i>
Chapitre 10. Commande et surveillance des systèmes de balisage d'aérodrome	10-1
10.1 Tableaux de commandes de l'éclairage et du balisage de l'aire de trafic	10-2
10.2 Circuits de commande	10-2
10.3 Types de dispositifs de commande à distance	10-2
10.4 Tableau de relais de commutation	10-9
10.5 Emploi des relais	10-11
10.6 Interconnexion des commandes	10-11
10.7 Commandes automatiques	10-13
10.8 Feux adressables	10-13
10.9 Temps de réponse	10-14
10.10 Contrôle des circuits de balisage d'aérodrome	10-14
10.11 Catégories de moyens de contrôle	10-15
10.12 Commandes de dépassement des moyens de contrôle	10-16
10.13 Surveillance de la résistance d'isolement	10-16
10.14 Commande par radio du balisage d'aérodrome (ARCAL)	10-16
Chapitre 11. Lampes à incandescence et à décharge dans un gaz	11-1
11.1 Lampes à incandescence	11-1
11.2 Lampes à décharge dans un gaz	11-4
Chapitre 12. Technologies basées sur les semi-conducteurs	12-1
12.1 Introduction	12-1
12.2 Feux à diodes électroluminescentes (DEL)	12-1
12.3 Couleur — CIE S 004/E-2001	12-1
12.4 Délimitation des teintes de vert	12-3
12.5 Infrastructure — circuit série	12-3
12.6 Modulation d'impulsions en largeur	12-5
12.7 Infrastructure — circuit parallèle	12-6
12.8 Autre infrastructure possible	12-6
12.9 Réglages de l'intensité lumineuse	12-8
12.10 Éclairage à DEL et systèmes de vision nocturne	12-13
12.11 Feux linéaires	12-14
12.12 Technologies mixtes	12-14
12.13 Éléments chauffants	12-22
12.14 Maintenance	12-22
Chapitre 13. Installations électriques souterraines	13-1
13.1 Généralités	13-1
13.2 Enfouissement direct des câbles	13-7
13.3 Pose de tuyaux/conduits (avec ou sans enrobage de béton)	13-16
13.4 Chambres de visite et regards	13-20
13.5 Pose des câbles souterrains dans les conduits	13-22
13.6 Enfouissement direct des transformateurs AGL	13-30
13.7 Boîtiers de transformateur et embases de feu	13-31
13.8 Pose d'embase de feu peu profonde	13-34

	<i>Page</i>
Chapitre 14. Câbles à utiliser pour les circuits souterrains d'aérodrome	14-1
14.1 Caractéristiques des câbles pour circuits souterrains	14-1
14.2 Gaines de câbles	14-2
14.3 Enveloppes de câbles	14-3
14.4 Câbles blindés	14-3
14.5 Ignifugation des câbles	14-3
14.6 Protection contre les dommages dus à l'effet corona	14-3
14.7 Conducteurs de câbles	14-4
14.8 Questions de santé et d'environnement	14-4
14.9 Catégories de service	14-4
14.10 Fils de terre	14-7
14.11 Causes de dommages aux câbles	14-7
14.12 Raccordements des câbles	14-10
14.13 Jeux de connecteurs pour le balisage lumineux d'aérodrome	14-12
14.14 Raccordement des conducteurs	14-13
Chapitre 15. Essais de recette et maintenance	15-1
15.1 Application	15-1
15.2 Période de garantie	15-1
15.3 Procédures d'inspection	15-1
15.4 Inspection des câbles, des connecteurs et des transformateurs d'isolement	15-2
15.5 Inspection des régulateurs à courant constant	15-2
15.6 Inspection des feux et des balises	15-3
15.7 Inspection des équipements divers	15-3
15.8 Essais de fonctionnement du système	15-3
15.9 Essais électriques de l'équipement des circuits série	15-3
15.10 Essais électriques sur les autres câbles	15-5
15.11 Essais électriques des régulateurs	15-7
15.12 Essais électriques sur d'autres équipements	15-8
15.13 Essais du système de surveillance	15-8
Chapitre 16. Procédures de dépannage	16-1
16.1 Généralités	16-1
16.2 Sécurité	16-1
16.3 Recherche initiale des défauts	16-1
16.4 Localisation des défauts à la terre sur le terrain	16-5
16.5 Localisation des défauts de circuit ouvert	16-8
16.6 Défauts de contacts intempestifs entre des circuits	16-9
16.7 Essai de mise à la terre intentionnelle	16-11
16.8 Essai avec sortie à la terre pour localiser les circuits ouverts	16-14
16.9 Utilisation de la thermographie pour localiser les défauts à la terre	16-16
16.10 Utilisation d'équipements de détection pour localiser les défauts à la terre	16-16

	<i>Page</i>
Chapitre 17. Équipement d'essai électrique	17-1
17.1 Généralités	17-1
17.2 Multimètre analogique (VOM = volt-ohm-milliampère)	17-1
17.3 Multimètre numérique (DMM).....	17-2
17.4 Contrôleur de résistance d'isolement (mégohmmètre).....	17-3
17.5 Mesures de résistance d'isolement	17-4
17.6 Localisateur de câbles et de défauts	17-6
17.7 Localisateur de défauts à haute résistance	17-7
17.8 Ampèremètre à pince	17-7
17.9 Traceur de câbles.....	17-8
17.10 Générateur d'impulsions/contrôleur d'épreuve	17-8
17.11 Détecteur acoustique.....	17-9
17.12 Détecteur directionnel.....	17-10
17.13 Contrôleur d'isolement à la terre	17-11

PUBLICATIONS

(citées dans ce manuel)

Organisation de l'aviation civile internationale (OACI)

Annexe 14 — *Aérodromes, Volume I — Conception et exploitation technique des aérodromes*

Manuel des services d'aéroport (Doc 9137), 9^e Partie — *Maintenance*

Manuel de conception des aérodromes (Doc 9157), 4^e Partie — *Aides visuelles*

Commission électrotechnique internationale (CEI)

CEI 60228, *Âmes des câbles isolés*

CEI 60364, *Installations électriques à basse tension*

CEI 61000, *Compatibilité électromagnétique (CEM)*

CEI 61024-1, *Protection des structures contre la foudre — Partie 1 : Principes généraux (Protection des structures contre les risques d'incendie, d'explosion et autres risques)*

CEI 61140, *Protection contre les chocs électriques — Aspects communs aux installations et aux matériels*

CEI 61200-52, *Guide pour les installations électriques — Partie 52 : Choix et mise en œuvre des matériels électriques — Canalisations*

CEI 61820, *Installations électriques pour l'éclairage et le balisage des aérodromes — Circuits série à courant constant utilisés pour le balisage des aérodromes : Exigences pour la conception et l'installation des systèmes*

CEI 61821, *Installations électriques pour l'éclairage et le balisage des aérodromes — Maintenance des circuits série à courant constant pour le balisage aéronautique au sol*

CEI 61822, *Installations électriques pour l'éclairage et le balisage des aérodromes — Régulateurs de courant constant*

CEI 61823, *Installations électriques pour l'éclairage et le balisage des aérodromes — Transformateurs série utilisés pour l'éclairage et le balisage aéronautique au sol*

IEC 62144, *Electrical installations for lighting and beaconing of aerodromes — Technical requirements for Aeronautical Ground Lighting (AGL) control and monitoring systems* (anglais seulement)

IEC 62294, *Aeronautical ground lighting electrical installation prestandard — Connecting devices — Equipment specifications and tests* (anglais seulement)

IEC TS 61827, *Electrical installations for lighting and beaconing of aerodromes — Characteristics of inset and elevated luminaires used on aerodromes and heliports* (anglais seulement)

IEC TS 62143, *Electrical installations for lighting and beaconing of aerodromes — Aeronautical ground lighting systems — Guidelines for the development of a safety lifecycle methodology* (anglais seulement)

CEI 60664-1, *Coordination de l'isolement des matériels dans les systèmes (réseaux) à basse tension — Partie 1 : Principes, prescriptions et essais*

CEI 60364-4-44, *Installations électriques à basse tension — Partie 4-44 : Protection pour assurer la sécurité — Protection contre les perturbations de tension et les perturbations électromagnétiques*

IEC 60332-3-24, *Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions — Part 3-24 : Test for vertical flame spread of vertically-mounted bunched wires or cables — Category C* (anglais seulement)

CEI 60754-1, *Essai sur les gaz émis lors de la combustion des matériaux des câbles — Partie 1 : Détermination de la quantité de gaz acide halogéné*

CEI 60754-2, *Essais sur les gaz émis lors de la combustion des matériaux prélevés sur câbles — Partie 2 : Détermination de la conductivité et de l'acidité (par mesure du pH)*

CEI 61034, *Mesure de la densité de fumées dégagées par des câbles brûlant dans des conditions définies — Partie 1 : Appareillage d'essai*

IEC 61400-24, *Wind turbines — Part 24 : Lightning protection — Part 2 : Test procedure and requirements* (anglais seulement)

Commission européenne (CE)

Directive 2011/65/UE, *Directive relative à la limitation de l'utilisation de certaines substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques*

Directive 2002/96/CE, *Directive relative aux déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE)*

Commission internationale de l'éclairage (CIE)

CIE S 004/E-2001, *Couleurs des signaux lumineux*

CIE 2.2-1975, *Couleurs des signaux lumineux*

Autres documents

ANSI/IEEE Std 81-1983, *IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System* (anglais seulement)

Alliance for Solid-State Illumination Systems and Technologies (ASSIST). *ASSIST recommends : LED Life for General Lighting*. Volume 1, Issues 1-7. Troy, NY : Lighting Research Center.

ABRÉVIATIONS ET ACRONYMES

AC	courant alternatif (<i>alternating current</i>)
ACMU	module adressable de commande et de surveillance (<i>addressable control and monitoring unit</i>)
AGL	au-dessus du sol (<i>above ground level</i>)
AGL	dispositif de balisage lumineux d'aérodrome (<i>aerodrome ground lighting</i>)
ALCS	système informatisé de commande de balisage d'aérodrome (<i>aerodrome lighting computer system</i>)
ANVIS/NVG	système d'imagerie nocturne pour aviateur/lunette de vision nocturne (<i>aviators night vision imaging system/night vision goggles</i>)
ARCAL	commande par radio du balisage d'aérodrome (<i>aircraft radio control of aerodrome lighting</i>)
AT-VASI	indicateur visuel de pente d'approche en T simplifié (<i>abbreviated T visual approach slope indicator system</i>)
CCR	régulateur à courant constant (<i>constant current regulator</i>)
CEI	Commission électrotechnique internationale (<i>International Electrotechnical Commission, IEC</i>)
CEM	compatibilité électromagnétique (<i>electromagnetic compatibility, EMC</i>)
CIE	Commission internationale de l'éclairage
CTAF	fréquence d'avis de circulation commune (<i>common traffic advisory frequency</i>)
DEL	diode électroluminescente (<i>light emitting diode, LED</i>)
DMM	multimètre numérique (<i>digital multimeter</i>)
DSP	processeur de signal numérique (<i>digital signal processor</i>)
EMI	brouillage électromagnétique (<i>electromagnetic interference</i>)
EPI	équipement de protection individuelle (<i>personal protective equipment, PPE</i>)
EPR	caoutchouc éthylène-propylène (<i>ethylene-propylene rubber</i>)
FEC	centre électrique du terrain (<i>field electric centre</i>)
FEC	correction d'erreurs sans circuit de retour (<i>forward error correction</i>)
FLIR	radar infrarouge frontal (<i>forward-looking infrared radar</i>)
HMI	interface homme-machine (<i>human-machine interface</i>)
HT	haute tension (<i>high voltage</i>)
HUD	visualisation tête haute (<i>head-up display</i>)
IFR	règles de vol aux instruments (<i>instrument flight rules</i>)
IGBT	transistor bipolaire à grille isolée (<i>insulated gate bipolar transistor</i>)
ILS	système d'atterrissage aux instruments (<i>instrument landing system</i>)
IPU	alimentation non protégée contre les coupures (<i>interruptible power unit</i>)
IR	infrarouge (<i>infrared</i>)
IRC	à revêtement infrarouge (<i>infrared coated</i>)
LDT	isolation et test de la charge (<i>load disconnect and test</i>)
LPS	système de protection contre la foudre (<i>lightning protection system</i>)
MCP	galette de microcanaux (<i>microchannel plate</i>)
MCP	panneau de commande de mode (<i>mode control panel</i>)
MDT	temps moyen d'indisponibilité (<i>mean down time</i>)
MR	réflecteur à facettes (<i>multifaceted reflector</i>)
MTBF	temps moyen entre défaillances (<i>mean time between failures</i>)
PAPI	indicateur de trajectoire d'approche de précision (<i>precision approach path indicator</i>)
PCB	biphényles polychlorés (<i>polychlorinated biphenyls</i>)
PM	maintenance préventive (<i>preventive maintenance</i>)
PUR	polyuréthane (<i>polyurethane</i>)
PVC	chlorure de polyvinyle (<i>polyvinyl chloride</i>)

PWM	modulation d'impulsions en largeur (<i>pulse width modulation</i>)
RETIL	feux indicateurs de voie de sortie rapide (<i>rapid exit taxiway indicator lights</i>)
RF	radiofréquence (<i>radio frequency</i>)
RGL	feux de protection de piste (<i>runway guard lights</i>)
RMS	valeur efficace (<i>root-mean-square</i>)
RTIL	feux d'identification de seuil de piste (<i>runway threshold identification lights</i>)
RUPU	alimentation sans coupure tournante (<i>rotary uninterruptible power unit</i>)
RVR	portée visuelle de piste (<i>runway visual range</i>)
RWSL	feux d'état d'utilisation de piste (<i>runway status light</i>)
SAW	ondes acoustiques de surface (<i>surface acoustical wave</i>)
SCR	thyristor (<i>silicon controlled rectifier</i>)
SMGCS	système de guidage et de contrôle de la circulation de surface (<i>surface movement guidance and control system</i>)
SUPU	alimentation statique sans coupure (<i>static uninterruptible power unit</i>)
TPE	élastomère thermoplastique (<i>thermo-plastic elastomer</i>)
UPS	alimentation sans coupure (<i>uninterruptible power supply</i>)
VA	volt-ampère (<i>volt-ampere</i>)
VASI	indicateur visuel de pente d'approche (<i>visual approach slope indicator</i>)
VOM	multimètre/volt ou ohmmètre (<i>volt-ohm-milliammeter</i>)
XLP	polyéthylène réticulé (<i>cross-linked polyethylene</i>)

Chapitre 1

INTRODUCTION

1.1 OBJECTIF

1.1.1 Pour garantir la sécurité de l'aviation, le balisage lumineux des aérodromes doit présenter un haut niveau d'intégrité et de fiabilité. Pour un système de balisage bien conçu et bien entretenu, la probabilité d'une panne survenant à un moment critique est extrêmement faible.

1.1.2 Les indications ci-après constituent un guide des pratiques recommandées en génie électrique pour la conception et la mise en place de nouvelles installations de balisage lumineux fixe d'aérodrome et pour les modifications à apporter aux installations existantes. Cela ne signifie pas que les installations existantes soient inadaptées si elles sont différentes et qu'elles doivent être automatiquement modifiées. Cependant, il est recommandé d'adopter des conceptions plus modernes pour de nouvelles installations. Il existe des différences entre les méthodes et l'équipement technique dans les divers pays et le présent manuel vise à uniformiser les principes fondamentaux de conception. Il ne s'agit pas de décrire en détail des éléments de conception, d'équipement ou d'installation particuliers à tel ou tel État.

1.1.3 Les installations électriques destinées aux aides visuelles des aérodromes doivent utiliser un matériel de bonne qualité et des caractéristiques qui ne s'imposent pas habituellement dans les autres installations électriques. Le présent manuel étudie les caractéristiques générales des techniques et des matériels électriques et insiste en particulier sur les caractéristiques qui sont moins courantes ou qui sont spécialement importantes pour l'exploitation des aérodromes. Il est probable que les circuits électriques et les méthodes générales sont familiers aux utilisateurs du présent manuel, mais ils connaissent peut-être moins bien certaines caractéristiques des circuits série d'aérodrome qui se rencontrent moins souvent dans les autres installations électriques. Ainsi, la plupart des circuits électriques sont souterrains et la plupart des systèmes de balisage lumineux utilisent des circuits série, une plus grande fiabilité est nécessaire pour les sources d'alimentation en énergie et, enfin, en cas de panne de l'alimentation principale, il faut assurer une commutation automatique sur une alimentation auxiliaire. Chaque aérodrome est un cas d'espèce et son installation électrique doit être conçue de manière à fournir une alimentation économique et des moyens de commande assurant la sécurité, la fiabilité et la facilité d'entretien.

1.2 ORGANISATION DU MANUEL

Dans le présent manuel, les Chapitres 2 à 14 fournissent de l'information pour la conception des installations électriques d'aérodrome, le Chapitre 15 traite des essais d'acceptation des systèmes déjà installés, et les Chapitres 16 et 17 traitent respectivement des procédures de dépannage des circuits série et de l'équipement d'essai associé.

Chapitre 2

MÉTHODES POUR ASSURER L'INTÉGRITÉ ET LA FIABILITÉ

2.1 DÉFINITION DES TERMES

2.1.1 Pour le concepteur d'une installation de balisage d'aérodrome, l'objectif le plus important est peut-être d'atteindre un haut niveau d'intégrité et de fiabilité. Ces termes ne sont pas faciles à définir ou à mesurer dans le cas du balisage des aérodromes. Jusqu'ici, la fiabilité était définie comme le « temps moyen entre défaillances » (MTBF) des composants, tandis que l'intégrité relève plutôt de questions telles que le maintien des fonctions de l'ensemble du système après une panne. On considère aujourd'hui que les aides visuelles devraient avoir une intégrité et une fiabilité comparables à celles des aides non visuelles. La fiabilité dépend donc du choix des composants et de leur utilisation en service, l'intégrité dépendant de la conception et du montage des installations, ainsi que de la maintenance de l'équipement. En règle générale, on considère qu'une installation d'aides visuelles bien conçue et bien entretenue aura un très haut niveau d'intégrité et que la probabilité qu'une panne survienne à un moment critique est extrêmement faible. Néanmoins, tous les efforts raisonnables devraient être déployés pour améliorer l'intégrité et la fiabilité.

2.1.2 Les causes de nature électrique pouvant avoir des incidences sur l'intégrité et la fiabilité peuvent être classées comme suit :

- a) pannes du circuit ;
- b) pannes de l'alimentation ;
- c) pannes du circuit de commande.

2.2 RÉSUMÉ DES MOYENS D'AMÉLIORER L'INTÉGRITÉ ET LA FIABILITÉ

Multiplicité des circuits

2.2.1 Une pratique courante consiste à utiliser plusieurs circuits pour qu'une défaillance de l'un d'eux n'entraîne pas une panne de l'ensemble du système de balisage. Pour le balisage de l'approche et du seuil, on utilise parfois quatre circuits différents : un pour les feux de seuil et trois pour le dispositif lumineux d'approche. Ces trois circuits doivent être conçus de telle manière que la défaillance de l'un d'eux n'entraîne que la perte d'une barrette sur trois ou d'un feu de barrette sur trois. Pour les pistes et les voies de circulation, les feux de balisage sont reliés en alternance à deux circuits installés (circuits imbriqués).

2.2.2 La pratique consistant à avoir un circuit pour alimenter une zone géographique particulière du système de balisage n'est pas recommandée, car la perte d'un seul circuit réduit l'efficacité du système en deçà des besoins de guidage visuel des pilotes. Par exemple, un balisage d'approche composé de deux circuits alimentant une première et une seconde zone peut, en cas de panne de l'un des circuits, éteindre une moitié critique du système au cours d'un atterrissage. De même, l'installation de deux circuits pour alimenter des demi-segments de piste risque, en cas de défaillance de l'un d'eux, de laisser le pilote sans références visuelles au cours des phases critiques du toucher des

roues ou de la sortie de la piste après l'atterrissage. L'objectif des circuits redondants est donc de maintenir un diagramme de balisage adéquat en cas de panne de l'un des circuits.

Alimentations redondantes

2.2.3 La fiabilité de l'alimentation est obtenue par l'emploi d'une source auxiliaire capable de démarrer automatiquement en cas de panne de la source principale. Il existe des équipements dont l'intervalle de démarrage est très court entre la panne initiale et le rétablissement du courant par la source auxiliaire. Des temps de commutation aussi brefs que 0,3 à 0,5 seconde sont possibles pour des équipements de balisage utilisés sur les pistes d'approche de précision. Pour les autres systèmes, le temps de commutation varie entre 10 et 20 secondes. Une autre manière de résoudre ce problème est de faire fonctionner un groupe électrogène auxiliaire comme source principale au cours des périodes critiques, comme les conditions de faible visibilité ou lorsqu'un orage est attendu. Si le groupe électrogène tombe en panne, l'alimentation est commutée sur la source principale (secteur). Ces systèmes et les installations correspondantes sont décrits au Chapitre 3.

Circuits de commande redondants

2.2.4 On porte souvent une grande attention aux circuits de balisage et aux sources d'alimentation auxiliaires, mais en négligeant parfois la fiabilité des circuits de commande du balisage depuis la tour de contrôle. La probabilité d'une défaillance d'un circuit de commande est aussi grande que celle d'un circuit de balisage et il est recommandé de doubler les circuits de commande ou les liens de communication.

Conception en fonction de l'intégrité et de la fiabilité

2.2.5 La conception et l'installation des systèmes de balisage d'aérodrome peuvent avoir des conséquences pour l'intégrité et la fiabilité, au-delà du simple choix des composants et de l'imbrication des circuits. Ces aspects sont souvent les mêmes que ceux qui contribuent à réduire et à simplifier la maintenance. Voici quelques caractéristiques à déterminer lors des décisions de conception :

- a) poser les câbles dans des conduits (gainés), plutôt que de les enterrer directement ;
- b) utiliser des feux encastrés plutôt que montés en hauteur sur des poteaux où ils risquent souvent d'être heurtés par la circulation de surface ;
- c) prévoir des circuits de mise à la terre dans l'ensemble du système pour atténuer les effets des surtensions causées par la foudre ;
- d) équiper les feux de balisage d'éléments chauffants pour éviter les problèmes de condensation de l'humidité et de formation de glace, ou autre.

2.2.6 Pour assurer une haute fiabilité, le concepteur doit prendre en considération les limitations environnementales des composants du système qui seront installés, par exemple, un équipement dont la plage de fonctionnement va de 0 à +50 °C devrait être installé à l'intérieur. Dans le cas d'équipements électroniques, comme les régulateurs à courant constant et les alimentations sans coupure placés dans un poste électrique, il faut prévoir une ventilation. Bien que les câbles puissent être exposés sans inconvénients à de très basses températures, il faut tenir compte des mouvements possibles du sol sous l'effet du gel et il est préférable de les poser dans des conduits, plutôt que de les enterrer directement.

Conception pour la disponibilité

2.2.7 Les décisions de conception qui affectent l'intégrité et la fiabilité peuvent également avoir une influence sur la disponibilité du système (*A dans la formule ci-après*). La fiabilité peut être exprimée comme le rapport entre les valeurs attendues du temps de bon fonctionnement et du temps d'indisponibilité. La disponibilité opérationnelle, A_0 , est l'expression du rapport entre le temps moyen entre défaillances (MTBF) et la durée totale égale à la somme du MTBF et du temps moyen d'indisponibilité (MDT). Pour optimiser ce rapport, il faut réduire au minimum le MDT par un choix judicieux des matériaux, des outils et du personnel de pose et d'entretien. En résumé, l'aéroport doit être prêt à effectuer des réparations pour rétablir le fonctionnement des installations de balisage en un minimum de temps.

$$A = \frac{E[\text{temps BF}]}{E[\text{temps BF}] + E[\text{temps panne}]}$$

$$A_0 = \frac{MTBF}{MTBF + MDT}$$

Chapitre 3

ALIMENTATIONS ÉLECTRIQUES

3.1 GÉNÉRALITÉS

Les sources d'alimentation électrique d'un aérodrome sont normalement déterminées avant le début de la conception des installations de balisage. Les besoins électriques des aides visuelles ne représentent généralement qu'une petite partie de la consommation électrique totale d'un aérodrome. Lorsque des systèmes de balisage sont installés sur un nouvel aérodrome ou dans le cadre de la modernisation et de l'agrandissement d'un aérodrome existant, les sources d'alimentation électrique doivent faire l'objet d'une analyse quant à leur disponibilité, capacité, fiabilité et adaptabilité pour les installations proposées et les agrandissements futurs. Cette analyse doit tenir compte des prescriptions de l'Annexe 14, Volume I, Tableau 8-1, pour les cas de panne ou de défaut de fonctionnement de l'alimentation électrique normale.

3.2 ALIMENTATION À PARTIR DE SOURCES COMMERCIALES OU PUBLIQUES

3.2.1 La plupart des aérodromes sont alimentés en électricité par des artères de distribution situées à l'extérieur de l'aérodrome. Les grands aéroports ont normalement au moins deux sources d'alimentation indépendantes à partir de zones largement séparées d'un réseau électrique extérieur alimentant chacune des sous-stations situées dans les limites de l'aérodrome. Comme le réseau extérieur est généralement interconnecté, il n'est pas possible d'identifier des zones véritablement indépendantes. Le choix doit donc se faire sur la plus basse probabilité de pannes simultanées de ces deux sources.

3.2.2 L'alimentation d'une sous-station principale d'aérodrome se fait généralement à haute tension (plus de 5 000 V). Cette tension est abaissée au niveau de la sous-station à une tension intermédiaire (2 000 à 5 500 V) pour les besoins de la distribution dans l'enceinte de l'aérodrome. Un autre abaissement de tension peut être nécessaire pour respecter la tension d'entrée de l'équipement des aides visuelles.

3.2.3 Dans les limites de l'aérodrome, la fiabilité de l'alimentation des stations de distribution peut être améliorée en créant une boucle de circuit haute tension avec une protection équilibrée au niveau des transformateurs de distribution ou en utilisant une double boucle à partir des sources primaires indépendantes qui constituent des circuits ouverts alimentés par deux transformateurs à chaque station de distribution. La surveillance centralisée des courants de défaut permet de déclencher des commutateurs de transfert à l'intérieur des boucles pour réduire les conséquences des pannes. Des dispositions plus simples assurant une moindre fiabilité peuvent être utilisées sur les petits aéroports.

Source d'alimentation locale indépendante

3.2.4 En plus d'un raccordement au réseau public, certains aérodromes peuvent avoir leur propre source d'alimentation pour des raisons économiques. La source locale peut être un groupe électrogène diesel, un moteur à essence, un turbogénérateur ou même un parc solaire, comme celui représenté à la Figure 3-1. Par nature, les aérodromes disposent de grandes étendues de terres inutilisées qui conviennent à cette fin. Les parcs solaires doivent toutefois être conçus et orientés pour éviter de produire des réflexions vers les pistes, la tour de contrôle ou des interférences avec les aides à la navigation de l'aérodrome.



**Figure 3-1. Parc solaire — Aéroport de Neuhausen, Allemagne, d'une puissance de 1,4 MW
(source photo : power-technology.com)**

3.3 ALIMENTATION ÉLECTRIQUE DES AIDES VISUELLES D'AÉRODROME

3.3.1 Le Tableau 3-2, reproduit à partir du Tableau 8-1 de l'Annexe 14, Volume I, indique les dispositions en matière d'alimentation de secours pour certaines installations de balisage d'aérodrome (approches classiques, approches de précision de catégorie I, approches de précision de catégories II/III et pistes de décollage dans des conditions de RVR inférieure à 800 m). L'objectif de conception du système de balisage est qu'en cas de panne ou de défaut, la « source normale » soit automatiquement remplacée par une « source de secours » dans un délai spécifié.

3.3.2 Il est important de noter que les désignations de « source normale » et de « source de secours » ne sont applicables que pour les descriptions du mode de fonctionnement et du temps d'interruption. En règle générale, un aérodrome est alimenté par le réseau public et dispose d'un groupe électrogène diesel ou d'une source d'alimentation non protégée contre les coupures (IPU), pour les systèmes de balisage. Comme le montre la Figure 3-2, dans le cas d'une approche classique et d'une approche de précision de catégorie I, l'IPU joue le rôle de « source de secours » et le réseau public, celui de « source normale », du simple fait que l'IPU peut être mise en circuit et stabilisée dans un délai maximum de 15 secondes. Dans le cas d'une approche de précision de catégories II/III, et pour les décollages avec une RVR de moins de 800 m, le délai de commutation prescrit de 1 seconde impose que l'IPU devienne la « source normale », alors que le réseau public joue le rôle de « source de secours ». D'autres options comprennent l'utilisation d'une alimentation statique sans coupure (SUPU) qui peut démarrer avec une interruption de moins de 1 seconde. Comparée à la méthode ci-dessus qui utilise une IPU tournant en permanence, cette méthode est plus favorable en

termes de consommation de carburant et d'émissions polluantes. C'est à l'aéroport de choisir la solution qui convient le mieux en tenant compte des sources disponibles et des coûts d'exploitation du site.

3.3.3 Une façon simple de se représenter ces commutations est de considérer l'« alimentation » comme l'énergie électrique elle-même et la « source » comme son origine. La source qui est à l'origine de l'alimentation (normale ou de secours) dépend du mode de fonctionnement illustré au Tableau 3-1. Les termes « primaire » et « secondaire » seront plutôt considérés comme des appellations permanentes identifiant des équipements particuliers, alors que les termes « normal » et « de secours » désignent plutôt le mode d'utilisation de l'équipement.

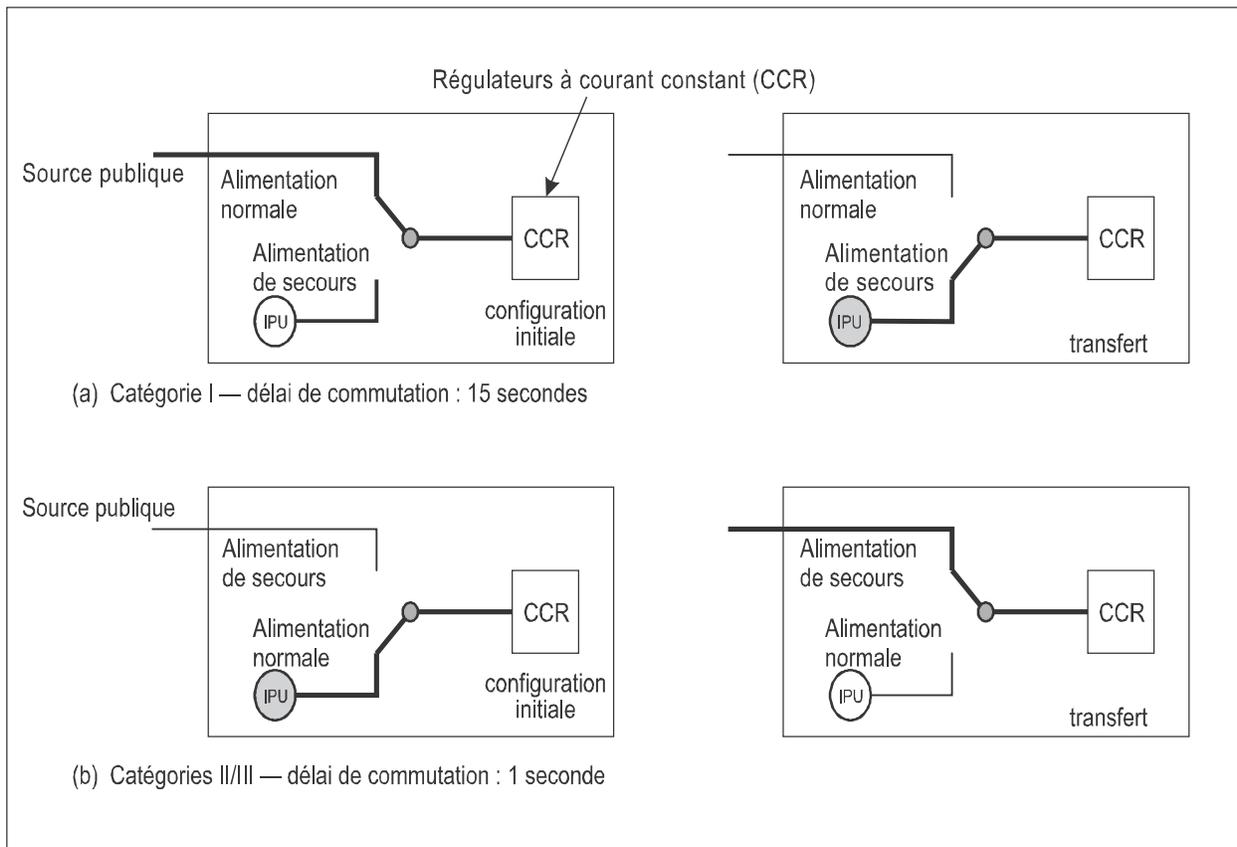


Figure 3-2. Rôles des sources normale et de secours

Tableau 3-1. Mode d'alimentation en fonction des opérations considérées

Opération	Alimentation normale	Alimentation de secours
Catégorie I	réseau électrique public	groupe électrogène local
Catégories II/III	groupe électrogène local	réseau électrique public

3.3.4 Une seconde source électrique publique peut être désignée comme alimentation de secours. Cependant, cette approche nécessite un haut niveau de service. L'intégrité des opérations permises par deux sources publiques indépendantes repose sur la séparation et l'indépendance de ces sources. Si les deux proviennent de réseaux de distribution interconnectés, une défaillance de l'un peut causer une panne simultanée des deux sources. De plus, les sources auxiliaires peuvent ne pas avoir un statut de réserve seulement et peuvent fournir de l'électricité à d'autres installations de l'aérodrome. Ce dernier devrait avoir une capacité de génération suffisante pour assurer le balisage des aides, lorsque c'est nécessaire. De plus, il convient de porter attention à la coordination des dispositifs de protection de façon qu'une panne d'une charge non essentielle ne risque pas d'entraîner une perte complète de l'alimentation, y compris les aides visuelles.

3.3.5 Bien que l'utilisation d'une seconde source publique ou d'une source locale indépendante soit possible, il est préférable que les aides visuelles de l'aérodrome soient alimentées par une source locale sous la forme d'un groupe électrogène d'une capacité de 50 à plus de 1 000 kVA. Cette source locale doit être capable de fournir de l'électricité pendant une période qui correspond au délai maximum nécessaire pour rétablir l'alimentation à partir de la source primaire. Les groupes électrogènes sont souvent capables de tourner pendant 24 à 72 heures sans ravitaillement en carburant.

Synchronisation

3.3.6 Plutôt que le basculement d'une source normale à une source de secours, il est possible d'utiliser une unité d'alimentation de secours (IPU) synchronisée avec le réseau public, c'est-à-dire couplée pour fonctionner en synchronisme, comme le montre la Figure 3-3. Ce mode de réalisation offre une meilleure efficacité qu'un groupe électrogène et élimine toute interruption de l'alimentation des régulateurs à courant constant (CCR). Dans ce cas, il n'est pas approprié d'utiliser les qualificatifs « normal » et « de secours » car les sources sont interchangeable.

3.4 ALIMENTATION SANS COUPURE

3.4.1 Une autre formule consiste à utiliser une alimentation sans coupure (UPS) (parfois appelée source ininterrompible). Comme le montre la Figure 3-4, c'est initialement la source publique qui alimente normalement les CCR. En cas de panne de la source publique, le processus de transfert se fait en deux temps. Dans une première étape, c'est l'UPS qui alimente les CCR. Cette étape peut durer de 15 à 30 minutes ou plus, selon la capacité des batteries. Avant que les batteries soient épuisées, l'IPU démarre pour être capable de reprendre la charge dans la deuxième étape.

3.4.2 Tant que les CCR ne sont pas exposés à une interruption de courant au démarrage de la source de secours, le processus peut s'appliquer de la même façon aux opérations de catégories II/III. L'avantage pour l'aéroport est double. Comme l'IPU est la source de relève pour les opérations de catégories II/III, ses heures de fonctionnement sont sensiblement réduites avec des économies de carburant et de maintenance. Cette réduction est également applicable aux opérations de catégorie I, car c'est l'UPS qui prend le relais de la source publique en cas de panne de moins de 30 minutes. Il y a également les avantages sur le plan de l'environnement car la diminution des heures de fonctionnement de l'IPU permet de réduire les émissions et l'empreinte carbone de l'aéroport.

3.4.3 Une autre méthode optimisée pour prendre le relais en cas d'interruption de courant consiste à prévoir une alimentation séparée de certaines installations de balisage lumineux, par exemple celles des bords de piste et de l'axe de la piste/zone de toucher des roues (voir Figure 3-5), ces dernières étant alimentées par une UPS. De cette manière, l'IPU sert de source de secours pour toutes les installations participant à des opérations de catégorie II, selon l'Annexe 14, Volume I, Tableau 8-1. Lorsque le transfert se produit, l'UPS continue d'alimenter les feux d'axe de piste et de zone de toucher des roues pour respecter le délai de moins de 1 seconde, pendant que les feux de bord de piste peuvent prendre 15 secondes pour se rallumer après le démarrage de l'IPU.

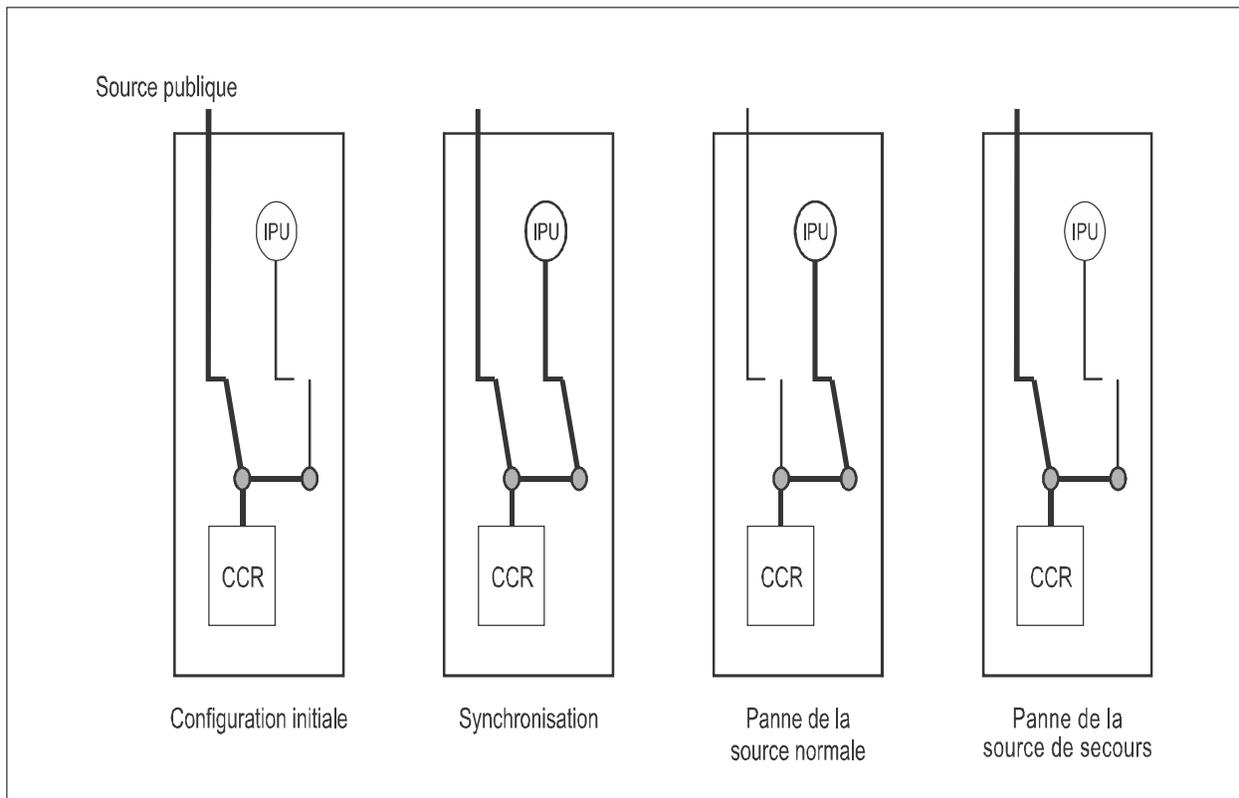


Figure 3-3. Synchronisation des sources

3.4.4 L'UPS est souvent un ensemble électronique associé à une série de batteries et le tout prend alors le nom d'alimentation statique sans coupure (SUPU). Une UPS constituée d'un moteur et d'un générateur électrique accouplés à un volant de stockage d'énergie constitue une alimentation sans coupure tournante (RUPU). Cette solution a été utilisée à de nombreux aéroports, mais elle a perdu de sa popularité à cause de divers problèmes, bien que maintenant la technologie ait fait des progrès et que cela puisse constituer une solution intéressante.

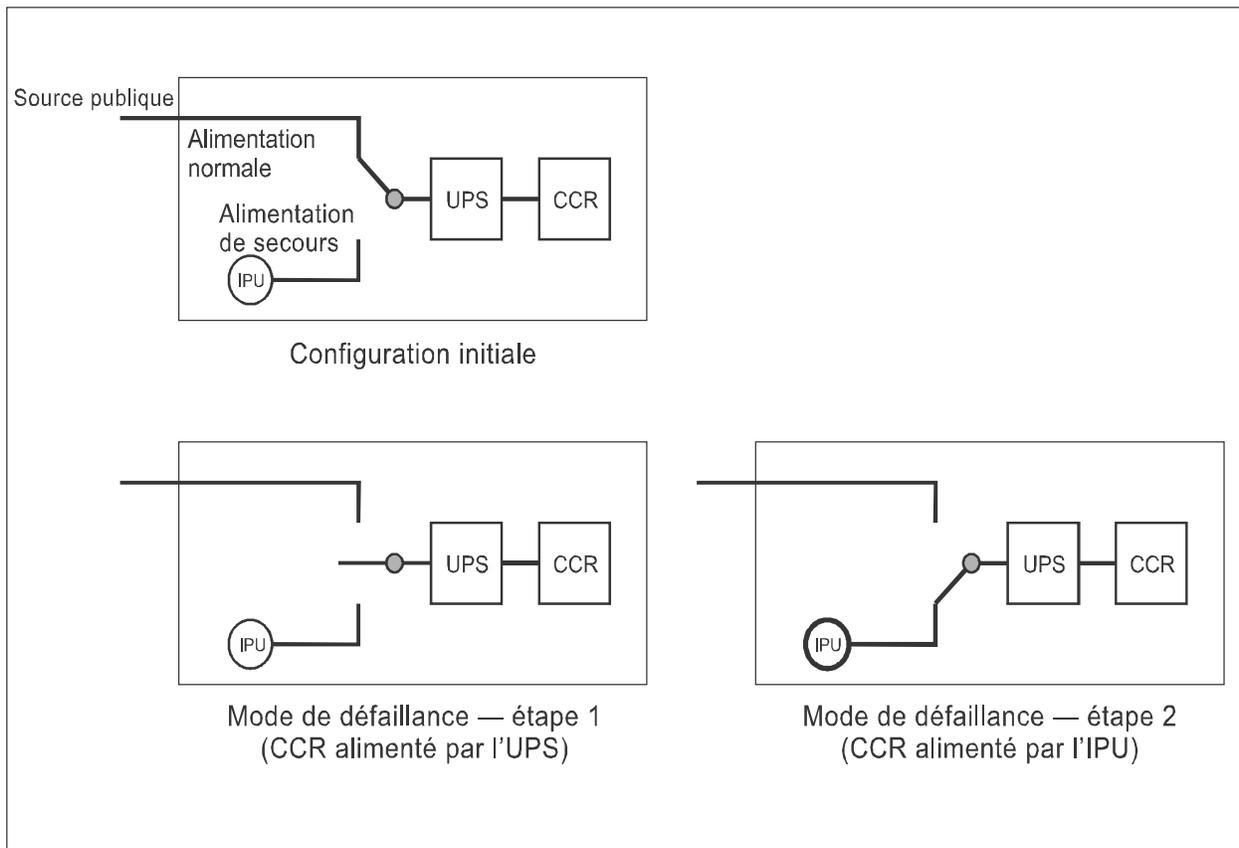


Figure 3-4. Fonctionnement avec une UPS

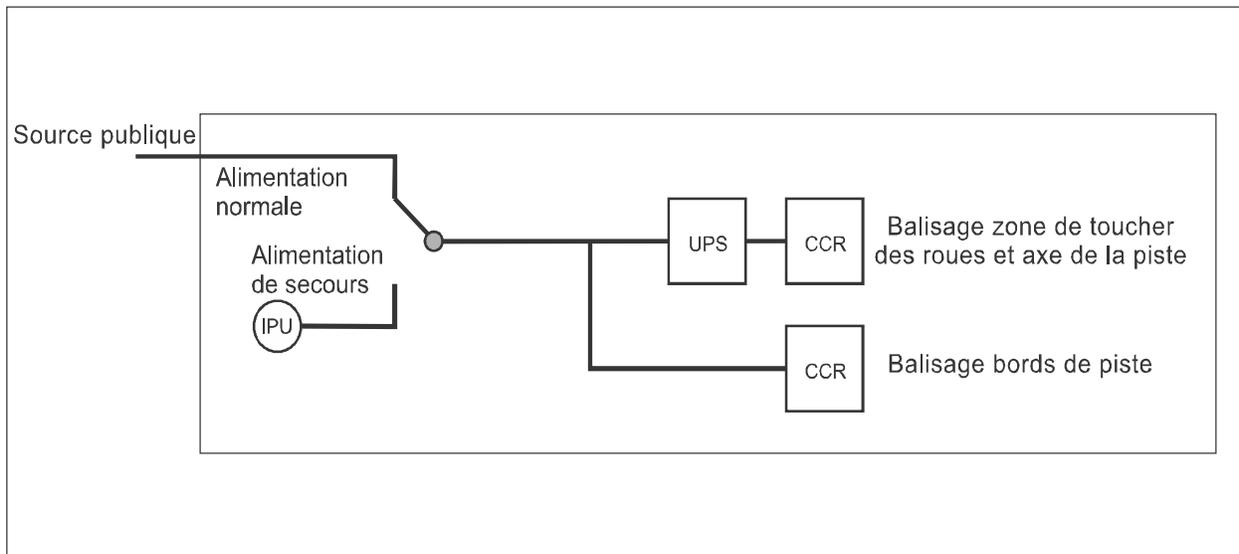


Figure 3-5. Séparation des installations de balisage

Tableau 3-2. Spécifications relatives à l'alimentation électrique auxiliaire pour les aides visuelles
(extrait du Tableau 8-1 de l'Annexe 14, Volume I, 7^e édition, juillet 2016)

<i>Piste</i>	<i>Balisage lumineux à alimenter</i>	<i>Délai maximal de commutation</i>
Avec approche classique	Dispositif lumineux d'approche Indicateurs visuels de pente d'approche (a) (d) Bord de piste (d) Seuil de piste (d) Extrémité de piste Obstacle (a)	15 secondes 15 secondes 15 secondes 15 secondes 15 secondes 15 secondes
Avec approche de précision, catégorie I	Dispositif lumineux d'approche Bord de piste (d) Indicateurs visuels de pente d'approche (a) (d) Seuil de piste (d) Extrémité de piste Voie de circulation essentielle (a) Obstacle (a)	15 secondes 15 secondes 15 secondes 15 secondes 15 secondes 15 secondes 15 secondes
Avec approche de précision, catégories II/III	300 premiers mètres du balisage lumineux d'approche Autres parties du balisage lumineux d'approche Obstacle (a) Bord de piste Seuil de piste Extrémité de piste Axe de piste Zone de toucher des roues Toutes les barres d'arrêt Voie de circulation essentielle	1 seconde 15 secondes 15 secondes 15 secondes 1 seconde 1 seconde 1 seconde 1 seconde 1 seconde 1 seconde 15 secondes
Piste de décollage destinée à être utilisée lorsque la portée visuelle de piste est inférieure à 800 m	Bord de piste Extrémité de piste Axe de piste Toutes les barres d'arrêt Voie de circulation essentielle (a) Obstacle (a)	15 secondes (c) 1 seconde 1 seconde 1 seconde 15 secondes 15 secondes

(a) Dotés d'une alimentation auxiliaire lorsque leur fonctionnement est indispensable à la sécurité des vols.

(c) Une seconde s'il n'y a pas de feux d'axe de piste.

(d) Une seconde si les vols sont effectués au-dessus d'un terrain dangereux ou escarpé.

Exigences concernant le délai de transfert (commutation)

3.4.5 En cas de défaillance de la source d'alimentation normale des aides visuelles critiques, la charge doit être transférée à la source de secours. Si la source de secours locale est un groupe électrogène, il faut tenir compte du temps de démarrage, d'accélération et de stabilisation de la tension de sortie avant que le transfert de la charge puisse se faire.

3.4.6 Le « délai maximal de commutation », représenté à la Figure 3-6, est défini comme le temps nécessaire pour que l'intensité mesurée d'un feu baisse au-dessous de 50 % et revienne à 50 % pendant un passage d'une source d'énergie à une autre dans le cas où le feu fonctionne à des intensités de 25 % ou plus. Il ne s'agit pas du délai de la commutation électrique dans le poste électrique, mais du temps d'interruption de l'émission lumineuse, qui peut être vérifié par une mesure photométrique faite sur un feu sur le terrain ou sur un feu témoin installé dans le poste. En effet, au moment de la commutation, un feu à incandescence ne s'éteint pas immédiatement à cause de l'inertie thermique du filament de l'ampoule. Ce n'est pas le cas avec les éclairages à DEL pour lesquels l'inductance du circuit peut jouer un rôle plus important.

3.5 ÉQUIPEMENT

Composants

3.5.1 Les composants électriques du système d'alimentation d'une installation de balisage d'un aérodrome devraient toujours être de la meilleure qualité pour assurer la fiabilité, la disponibilité et le maintien des tensions et des fréquences nécessaires aux équipements. Les principaux éléments de l'équipement auxiliaire d'alimentation habituellement utilisé pour le balisage lumineux d'un aérodrome comprennent des groupes électrogènes, des dispositifs de commutation et des circuits fournissant le courant de démarrage des groupes électrogènes, ainsi que les chambres ou abris qui contiennent ces équipements.

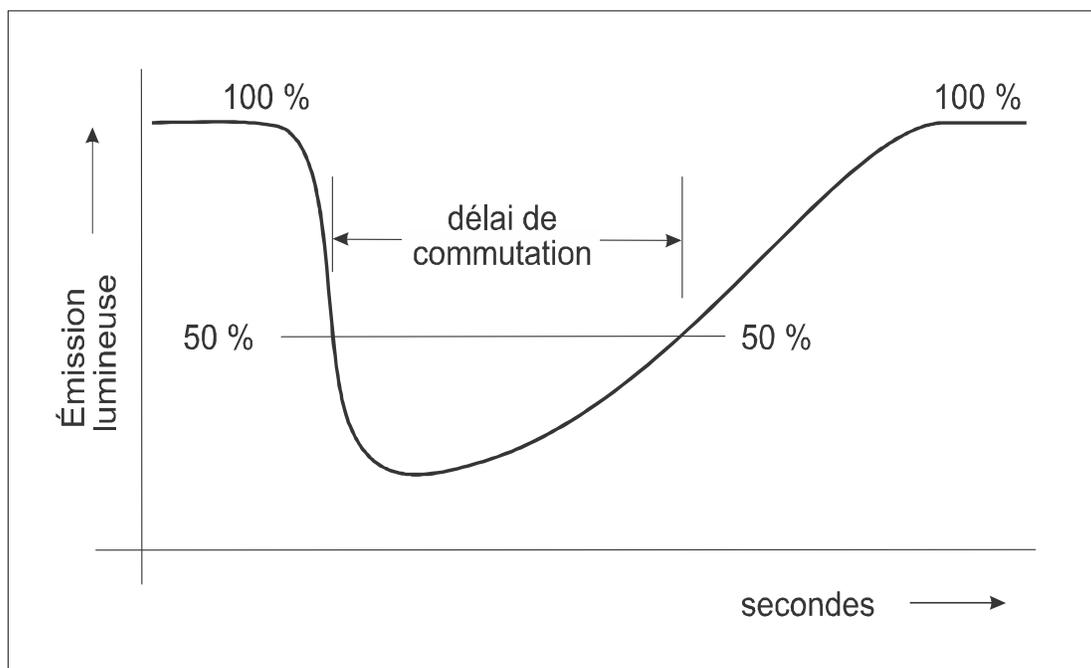


Figure 3-6. Caractéristique du délai de transfert (commutation)

Groupe électrogène

3.5.2 Un groupe électrogène tournant comprend généralement un moteur, une génératrice ou un alternateur, un dispositif de démarrage, des commandes de démarrage et un réservoir ou une conduite d'alimentation en carburant. Les groupes électrogènes qui servent de sources auxiliaires d'alimentation ont habituellement une capacité de l'ordre de 100 à 500 kVA, mais leur gamme de puissance peut aller de 50 à 1 000 kVA.

- a) *Moteur.* La plupart des groupes électrogènes sont entraînés par un moteur à essence, à gaz ou diesel, ou encore par une turbine à gaz, ce choix dépendant du coût et de la disponibilité du carburant. Les moteurs disponibles sur le marché ont des capacités standard correspondant à la puissance nominale (en kilovolts-ampères) de l'alternateur accouplé. La plupart des grands aéroports utilisent des moteurs à démarrage rapide et automatique, capables d'accélérer et de stabiliser leur vitesse pour permettre d'alimenter la charge en moins de 15 secondes.
- b) *Génératrice.* La génératrice, un alternateur dans la plupart des cas, est accouplée mécaniquement au moteur et fournit une source électrique secondaire à la fréquence, à la tension et à la puissance nominales du groupe. L'alternateur peut fournir du courant monophasé ou triphasé. Il doit avoir un haut rendement de conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique (voir Figure 3-7).
- c) *Dispositif de démarrage.* La plupart des groupes électrogènes auxiliaires utilisent des batteries pour fournir l'énergie de démarrage du moteur. Comme ils ne tournent que rarement, pendant de courtes périodes et ont besoin de forts courants de démarrage, et aussi pour des considérations de coût, on emploie le plus souvent des batteries au plomb pour démarrer ces groupes. Les batteries (souvent branchées en série ou en parallèle) doivent pouvoir fournir la tension et l'intensité nécessaires au démarrage du moteur dans les délais voulus et dans les conditions les plus défavorables (en général jusqu'à -7 °C) auxquelles le groupe auxiliaire doit être soumis. Un chargeur équipé d'un limiteur de surintensité et d'un limiteur de surcharge est alimenté en permanence par la source électrique afin de maintenir les batteries à pleine charge. Les batteries doivent être bien ventilées pour éviter l'accumulation d'hydrogène. Elles doivent être protégées des arcs, des étincelles et des flammes nues susceptibles de provoquer l'explosion des gaz éventuellement accumulés. On utilise parfois des batteries au cadmium-nickel lorsque des conditions particulières justifient leur coût d'achat élevé. Les volants d'inertie, les réservoirs d'air comprimé ou les dispositifs de démarrage autres que les batteries sont rarement employés à cause de leur coût ou de leur manque de fiabilité.
- d) *Commandes de démarrage.* Les commandes de démarrage d'un groupe électrogène assurent généralement le démarrage automatique en cas de perte de l'alimentation primaire détectée par un capteur qui fait partie du dispositif de commutation. Certaines installations dont les fonctions sont moins critiques utilisent parfois des commandes manuelles ou à distance. Une fois le moteur démarré, la vitesse et la puissance sont automatiquement régulées par la vitesse du moteur et la charge transmise à travers le commutateur de transfert. Le groupe électrogène doit pouvoir fonctionner automatiquement sans réglage ni autre intervention humaine. Le retour à la source d'alimentation primaire et l'arrêt du groupe électrogène peuvent être automatiques ou par commande à distance.
- e) *Alimentation en carburant.* Le carburant du groupe électrogène provient généralement de réservoirs situés à proximité. La capacité de ces réservoirs doit être calculée en fonction de la durée maximale de fonctionnement prévue pour le groupe. Certaines autorités prescrivent un minimum de 72 heures d'autonomie. Dans d'autres cas, cette période est plus courte, mais elle devrait généralement être le double de la durée maximale prévue des conditions qui exigent le recours à l'alimentation secondaire. Il y a parfois deux réservoirs, un extérieur et une « nourrice » intérieure de plus petite capacité. Les réservoirs et les tuyauteries doivent respecter les exigences de sécurité et permettre un accès facile pour le ravitaillement. Les réservoirs doivent également comporter des dispositifs de vérification de la contamination, particulièrement de l'accumulation d'eau dans le carburant.



Figure 3-7. Groupe électrogène diesel (source : Aéroport international de Toronto)

Système de commutation de l'alimentation

3.5.3 Le rôle du dispositif de transfert est de commuter l'alimentation de la source normale à la source de secours. Dans le cas d'un démarrage manuel et de commande manuelle, il peut s'agir d'un simple interrupteur ou d'un relais déconnectant la charge d'une source d'alimentation et la reconnectant à l'autre. Il faut cependant d'autres commandes pour que le transfert soit automatique. En général, ces circuits sont combinés dans un module ou une armoire unique. Sa fonction est de détecter une panne de l'alimentation normale, de commander le démarrage du groupe de secours, de déterminer l'instant où la tension et la fréquence du groupe sont correctement stabilisées, et d'appliquer la charge à l'alternateur. Le dispositif de commutation peut également avoir à déconnecter les charges et les installations non essentielles qui n'ont pas besoin de tourner en régime d'urgence, et de les reconnecter une fois que l'alimentation normale est rétablie. Les commutateurs ou les relais de déconnexion et de reconnexion de la charge doivent avoir une capacité suffisante pour commuter la charge nominale de l'alternateur. Leur fonctionnement est similaire pour un délai de commutation de 15 secondes ou de 1 seconde, bien que l'on utilise plutôt des relais rapides dans le second cas. Les capteurs de présence de l'alimentation principale doivent réagir en moins de 3 secondes, car les groupes électrogènes à démarrage rapide ont tout de même besoin de 10 secondes pour démarrer et se stabiliser (voir Figure 3-8).



Figure 3-8. Tableau de transfert d'alimentation (source : Aéroport international de Toronto)

3.6 POSTES ET ABRIS POUR L'ÉQUIPEMENT ÉLECTRIQUE

Abris

3.6.1 La plupart des équipements électriques servant au balisage lumineux et aux autres installations d'aérodrome sont logés dans des postes électriques ou des abris spéciaux qui assurent la sûreté des accès et la protection contre les intempéries. Les sous-stations haute tension sont généralement à l'air libre et les transformateurs de distribution moyenne tension sont souvent installés sur des plates-formes clôturées. La plupart des postes électriques sont construits en surface et en matériaux à l'épreuve du feu, par exemple du béton armé pour les planchers et du béton, des parpaings, des blocs de scories ou des briques pour les parois. L'utilisation de ces matériaux réduit les risques d'électrocution, de court-circuit et d'incendie. On utilise parfois des structures métalliques préfabriquées pour abriter les transformateurs et les groupes électrogènes. Ces abris contiennent l'équipement de commande et de distribution de l'alimentation, l'équipement d'alimentation auxiliaire et les divers dispositifs qui assurent l'alimentation et la commande des circuits de balisage lumineux de l'aéroport. Les dimensions de ces abris doivent permettre d'y loger l'équipement nécessaire sans encombrement excessif. Les abris sont cloisonnés pour mieux séparer les équipements et les fonctions qu'ils assurent. La Figure 3-9 est un exemple d'abri électrique.

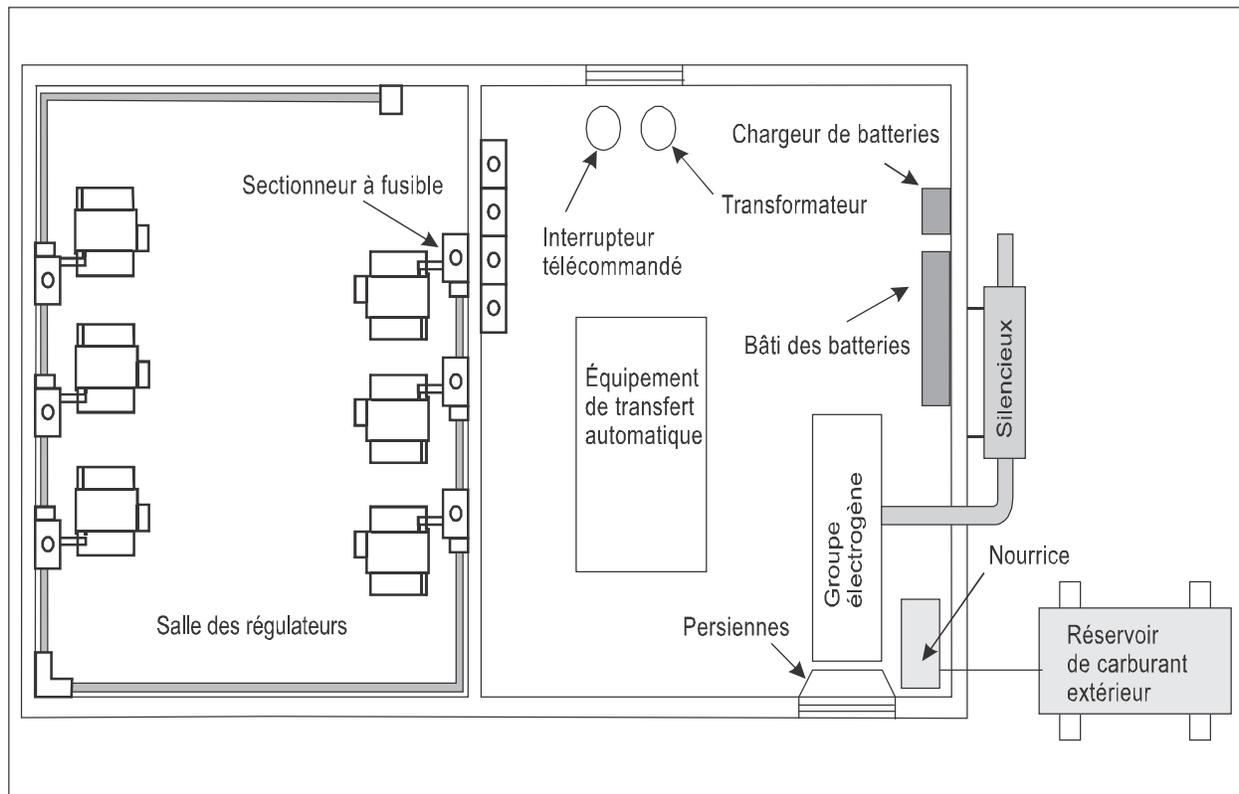


Figure 3-9. Exemple de poste électrique (source : UFC-3-535-01)

Implantation

3.6.2 Les postes électriques ne doivent pas empiéter sur les surfaces de limitation d'obstacles. Ils devraient être assez près de la tour de contrôle pour éviter des chutes de tension excessives dans les câbles de commande. La longueur admissible de ces câbles varie selon le calibre du câble, la tension de commande et les types de relais utilisés, mais la plus grande longueur est limitée à environ 2 250 m. Les véhicules doivent pouvoir accéder aux abris quelles que soient les conditions atmosphériques et il est souhaitable qu'en pareil cas, ils représentent un minimum de risques de conflits avec les mouvements d'avions. L'emplacement doit permettre de raccorder les éléments appropriés des circuits de balisage lumineux et des installations de manière à réduire le plus possible la longueur des câbles d'alimentation.

3.6.3 Les abris devraient être à l'écart des autres bâtiments et installations afin d'éviter la propagation des incendies ou des explosions, sauf les abris des groupes électrogènes auxiliaires qui peuvent être implantés à proximité des postes électriques, afin de réduire la longueur et le calibre des câbles et de simplifier le dispositif de commutation d'alimentation.

3.6.4 Sur les aérodromes équipés de dispositifs lumineux d'approche, il faut parfois installer des abris électriques distincts pour alimenter les divers circuits de ces dispositifs de balisage. Sur certains grands aérodromes, les autorités mettent en place un abri électrique près de chaque extrémité de piste ou de chaque dispositif lumineux d'approche pour faciliter l'imbrication des circuits et améliorer l'intégrité de l'installation.

3.6.5 Certains États utilisent la notion de « centre électrique du terrain » (FEC). Ce terme désigne un point proche du centre géographique de l'aérodrome, à partir duquel la longueur des câbles d'alimentation des charges de balisage devrait théoriquement être la plus courte.

Dispositions spéciales

3.6.6 Les abris électriques ont un rôle particulier à jouer et il faut quelquefois leur donner des caractéristiques spéciales pour assurer la fiabilité et la sécurité de fonctionnement de l'équipement (voir Figure 3-10). Certaines de ces caractéristiques spéciales sont exposées ci-après :

- a) *Ventilation*. Il faut prévoir une ventilation suffisante pour éviter que la température des transformateurs ne dépasse les valeurs prescrites par les fabricants. La ventilation doit évacuer la majeure partie de la chaleur dégagée par l'équipement électrique ; seule une part minimale peut être dissipée à travers les parois de l'abri. Selon certaines normes, il est recommandé de prévoir 20 cm² de section de ventilation par kilovolt-ampère de capacité du transformateur. Aux endroits où la température ambiante est généralement élevée, comme dans les régions tropicales ou subtropicales, la section de ventilation devrait être augmentée ou complétée par une ventilation forcée.
- b) *Accessibilité*. L'accessibilité de l'abri doit permettre les opérations de réparation, de maintenance, de pose et de dépose de l'équipement. Il faut aussi permettre l'accès pour le ravitaillement en carburant (par camion-citerne).
- c) *Évacuation des eaux*. Tous les abris doivent avoir un système de drainage des eaux. Si les techniques classiques ne suffisent pas, il faudra ménager un puisard permettant d'utiliser une pompe portable.
- d) *Sûreté des accès*. Chaque abri électrique doit être équipé de façon à empêcher les personnes non autorisées d'y pénétrer volontairement ou par inadvertance. Ces dispositions s'imposent à la fois pour protéger le fonctionnement de l'équipement et pour prévenir les risques d'électrocution. À cet effet, les fenêtres doivent être munies de barreaux ou de grillages, les portes métalliques renforcées et cadenassées, et l'abri devrait être entouré de clôtures de sûreté.
- e) *Éclairage*. Les abris électriques doivent être bien éclairés, de jour comme de nuit. Habituellement, l'éclairage est assuré par des luminaires intérieurs dont les dimensions, le type et la disposition donnent une bonne visibilité dans toutes les zones. Un éclairage insuffisant augmente les risques d'accidents qui peuvent causer des cas d'électrocution ou de mauvaise utilisation des commandes. L'abri doit être équipé d'un éclairage d'urgence s'allumant en cas de panne de l'alimentation principale.
- f) *Communications locales*. Dans la plupart des abris électriques, des moyens de communication doivent assurer des liaisons commodes et sûres avec la tour de contrôle, avec les autres abris et, s'il y a lieu, avec d'autres installations ou services. Des circuits spéciaux d'intercommunication ou de téléphonie peuvent permettre d'éviter les brouillages extérieurs sur ces circuits, mais on peut utiliser d'autres systèmes efficaces.
- g) *Conduits électriques*. Les abris électriques devraient être pourvus d'un nombre suffisant de conduits et d'entrées de câbles pour éviter d'avoir plus tard à modifier la structure s'il faut installer des circuits d'entrée ou de sortie supplémentaires. Ces entrées de câbles se font habituellement par des conduits souterrains qui peuvent être raccordés à des canalisations existantes, à des câbles enfouis directement ou à des conduits de réserve en vue d'agrandissements ultérieurs. Les conduits vides doivent être obturés et ceux qui contiennent des câbles doivent être rendus étanches.

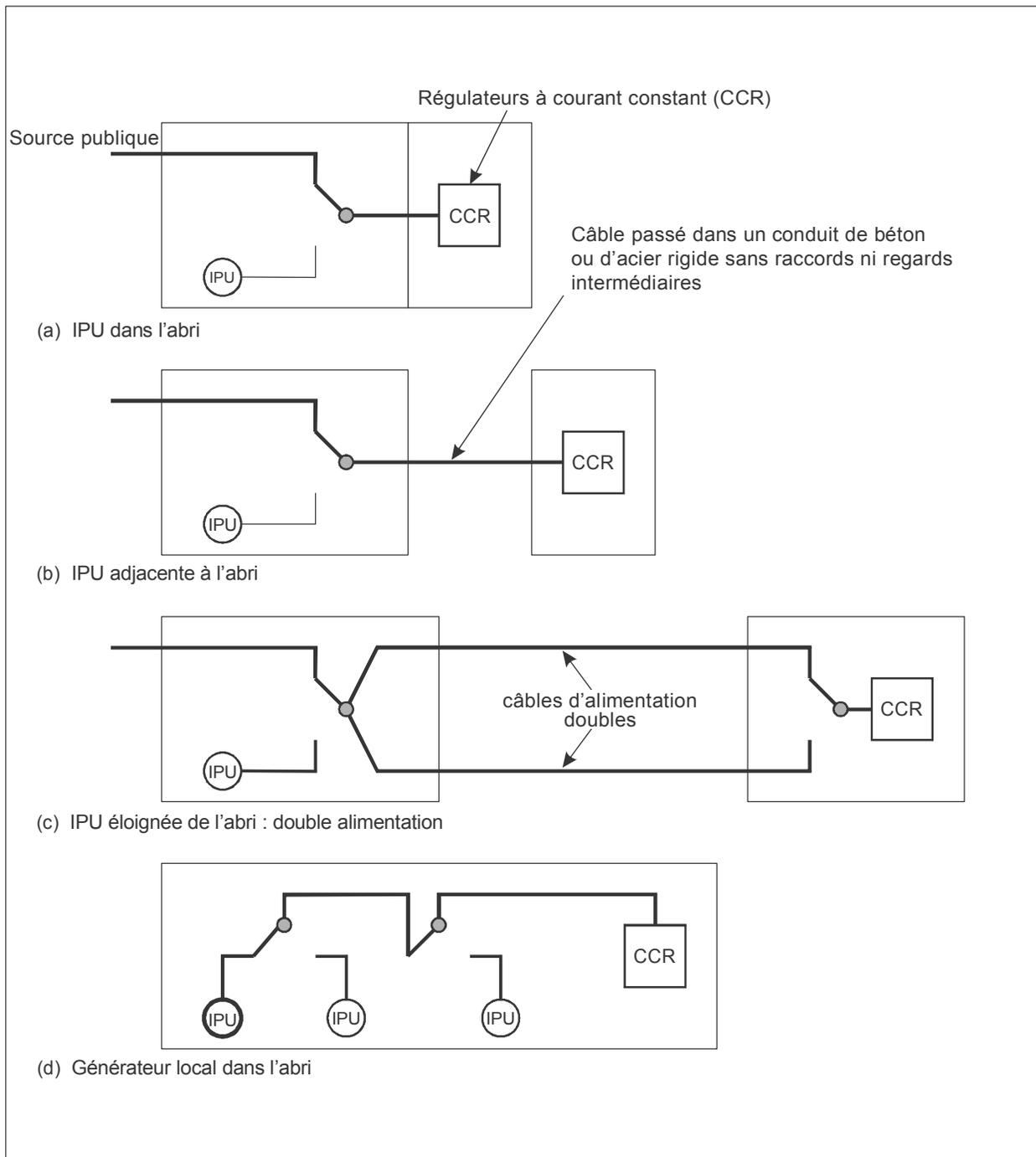


Figure 3-10. Configurations des groupes électrogènes

- h) *Installation de l'équipement.* L'équipement, en particulier le gros matériel (transformateurs de distribution, régulateurs, tableaux de commandes et dispositifs de sélection ou de contrôle des circuits), devrait être disposé selon un plan simple et bien dégagé. La disposition doit tenir compte de considérations de sécurité, notamment la protection des circuits électriques à haute tension, ainsi que de l'accessibilité de l'équipement et des commandes. Le schéma des circuits électriques doit être le plus simple possible et l'installation des commandes et des circuits doit être conforme aux codes de sécurité. Pour faciliter l'entretien des groupes électrogènes, il est recommandé de prévoir un treuil sur rail au plafond.
- i) Lorsque le groupe électrogène et l'appareillage électrique sont logés dans une enceinte distincte des régulateurs à courant constant, l'interconnexion doit se faire par des câbles circulant dans des conduits en ciment ou en acier, sans raccords ni regards intermédiaires. Si la distance est relativement grande, il est préférable de doubler les câbles d'alimentation.

Condensateurs

3.6.7 *Types de condensateurs.* Pour améliorer le facteur de puissance dans le circuit, on doit utiliser des condensateurs shunt. Pour le choix des condensateurs, on peut envisager les types suivants :

- a) *Capacité fixe.* La capacité fixe représente la valeur qui peut être utilisée en permanence sans causer de surtension excessive à charge réduite.
- b) *Capacité temporaire commutable.* Une capacité d'appoint peut être ajoutée à la capacité fixe si des dispositions sont prises pour la mettre hors circuit dès que la charge diminue.
- c) *Sélection de capacités multiples.* Permet de choisir la capacité qui convient à la situation présente, par exemple par une commande de commutation à distance, par une commande à minuterie, par un détecteur de facteur de puissance ou par un détecteur de tension.

3.6.8 *Emplacement des condensateurs.* Les condensateurs doivent être installés par groupes au niveau du sol ou dans une sous-station, aussi près que possible du centre de la zone où leur effet est nécessaire.

3.6.9 *Interrupteurs et sectionneurs.* Les interrupteurs permettent de localiser les parties défectueuses de circuits aériens ou souterrains et d'effectuer des travaux sur le circuit isolé. Il en existe deux types principaux :

- a) *Sectionneurs sans pouvoir de coupure.* Un sectionneur sans pouvoir de coupure permet d'isoler des circuits pratiquement sans charge. Le type choisi dépend de l'importance du circuit, de la charge, de la tension et du mode de défaillance. Il existe des sectionneurs à fusibles de porcelaine, des interrupteurs unipolaires à fusibles ou non et des coupe-circuits à fusibles de divers types. Des interrupteurs de déconnexion et des fusibles à cornes peuvent également servir de sectionneurs. Tous les interrupteurs sans pouvoir de coupure ont un pouvoir de fermeture supérieur au courant de court-circuit possible du circuit.
- b) *Interrupteurs à coupure en charge.* Les interrupteurs à coupure en charge sont capables d'interrompre les circuits en charge. Il existe des sectionneurs à fusibles capables de jouer le rôle d'interrupteurs en charge et de coupe-circuit. Les interrupteurs sous vide ont également la capacité de couper un circuit en charge.

3.6.10 *Compteurs.* Pour les besoins de la maintenance, des compteurs d'événements et des compteurs de temps écoulé peuvent être installés dans l'équipement électrique (voir Figure 3-11).



Figure 3-11. Compteur de temps écoulé

Chapitre 4

DISTRIBUTION ÉLECTRIQUE

4.1 GÉNÉRALITÉS

L'équipement dont traite la présente section ne concerne que le transport de l'énergie électrique destinée au balisage lumineux entre la ou les sous-stations principales et les postes du balisage lumineux ou les transformateurs de distribution locale. L'équipement est décrit en termes généraux d'après les caractéristiques et les besoins à respecter, mais la description ne vise pas à représenter un matériel spécifique. Les types d'équipements et le nombre des éléments qu'ils comportent diffèrent largement selon les dimensions et la complexité de l'aéroport. Les aspects économiques sont des considérations importantes et il est bon de s'en tenir aux seuls équipements qui contribuent à assurer de bonnes conditions d'exploitation, de sécurité, de fiabilité et d'intégrité. Les circuits et les équipements choisis devraient prévoir un agrandissement raisonnable des installations. L'utilisation rationnelle de l'énergie est toujours un objectif souhaitable, mais il faut savoir que les coûts d'électricité pour l'éclairage et le balisage représentent une petite partie des frais d'énergie d'un aéroport et ne devraient pas être réduits au prix d'une augmentation des frais d'installation ou de sacrifices sur le plan de la durabilité, de la sécurité ou de la fiabilité. Il est également primordial de respecter les codes locaux de la sécurité électrique (voir Figure 4-1).

4.2 CIRCUITS D'ARRIVÉE DE L'ALIMENTATION PRINCIPALE

Sur les grands aéroports, l'alimentation principale est normalement reçue du réseau à moyenne tension (environ 5 000 à 20 000 V), mais sur les aérodromes plus petits et moins complexes, elle peut être distribuée à une tension plus basse (environ 1 000 à 5 000 V). La distance et la charge totale du circuit jouent un rôle important dans la détermination du niveau de la tension de distribution. Pour un réseau d'alimentation à tension intermédiaire, l'énergie arrive souvent à des sous-stations situées à proximité des grandes zones d'utilisation, où elle est abaissée à la tension de distribution locale. On peut aussi utiliser une combinaison de ces circuits d'alimentation. L'alimentation principale passe de la sous-station principale à la sous-station locale ou à des postes de transformation, généralement sous forme de circuits polyphasés aériens ou souterrains ou encore de ces deux types combinés. Les circuits aériens sont moins coûteux à installer et sont utilisés dans la mesure du possible, mais ils risquent davantage d'être endommagés et, à certains endroits, ils créent un danger pour les mouvements aériens et constituent une source de brouillage électromagnétique pour d'autres équipements. Les lignes de puissance qui passent dans ou à proximité de l'aire de manœuvre sont par nécessité toujours souterraines. Les câbles souterrains d'arrivée sont généralement installés dans des conduits, mais on les pose aussi par enfouissement direct. Chaque type de circuit, qu'il soit aérien ou souterrain, fait appel à une conception et à des équipements spécifiques.

4.3 CIRCUITS AÉRIENS DE DISTRIBUTION DE L'ALIMENTATION PRINCIPALE

Dans la conception d'un réseau de distribution électrique, il faut tenir compte des facteurs suivants :

- a) *Application.* Chaque fois que cette solution est possible, on utilisera des câbles aériens de préférence aux câbles souterrains, mais les lignes de distribution aériennes sont à exclure sur les terrains de l'aérodrome.

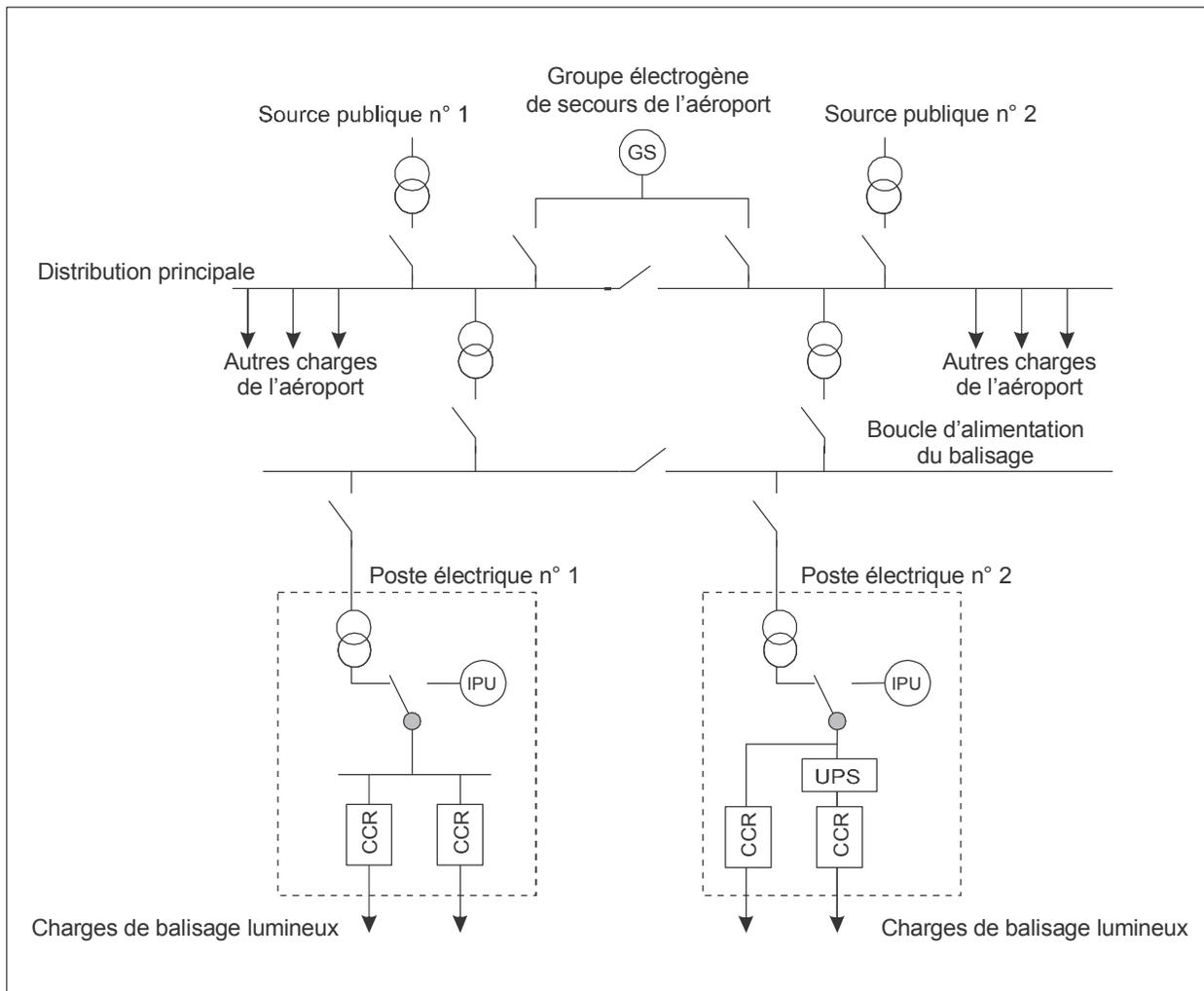


Figure 4-1. Schéma de la distribution électrique

- b) *Capacité.* Il faut prévoir une marge de capacité pour chaque partie du circuit. Les charges de pointe sont sans rapport direct avec la capacité de réserve.
- c) *Calibre des conducteurs.* Le calibre des conducteurs doit être choisi en fonction de l'intensité de courant à transporter et, s'il y a lieu, de la valeur limite de la chute de tension.
- d) *Risque pour les aéronefs.* La conception d'un circuit de distribution aérien doit tenir compte des surfaces de limitation d'obstacles. Dans certains cas, une distribution aérienne n'est pas possible à cause des opérations des hélicoptères.

4.4 RÉGULATION DE LA TENSION

Les régulateurs servent à corriger les variations de tension causées par les variations des charges ou par les fluctuations de la tension d'entrée fournie par la compagnie d'électricité. Leur rôle n'est pas de compenser des chutes de tension excessives. Les transformateurs survolteurs qui corrigent les chutes de tension ne doivent servir que très occasionnellement car, dans la plupart des cas, les chutes de tension excessives peuvent être évitées par une conception soignée.

- a) *Caractéristiques nominales.* Les caractéristiques nominales des dispositifs de régulation sont choisies en fonction de l'amplitude de la régulation prévue.
- b) *Choix du type de régulateur.* On peut choisir entre des régulateurs à capacité fixe, à capacité commutée, à prises multiples (avec commande motorisée de changement de prise) ou à induction (variation continue de la tension).
- c) *Régulateurs à prises multiples ou à induction.* Lorsqu'un même régulateur est utilisé avec plusieurs sources ou lorsque plusieurs régulateurs sont utilisés sur un même circuit, il faut prévoir une commande automatique de compensation des pertes en ligne.

4.5 LIGNES DE TRANSPORT

Selon le type de circuit à alimenter et les conditions auxquelles il est exposé, on choisira entre les types de lignes de transport d'énergie ci-après :

- a) câble à l'air libre (nu ou protégé contre les intempéries), monté sur isolateurs ;
- b) câble aérien isolé, autoporteur ou soutenu par un câble d'acier à haute résistance (câble porteur), monoconducteur ou multiconducteur en faisceau.

4.6 SUPPORTS DE LIGNES

Pour que la description soit complète, on parle ici de lignes sur poteaux, mais il va de soi que cette solution ne convient pas aux zones d'approche et aux aires de manœuvre.

- a) *Poteaux.* Les poteaux peuvent être en bois, en béton armé ou en métal (acier ou aluminium). Les poteaux en métal ou en béton ne sont utilisés que si cette solution est plus économique ou se justifie pour d'autres raisons.
- b) *Bases et socles.* Les poteaux ou les pylônes doivent reposer sur des bases ou des socles adaptés à la nature du terrain de fondation.
- c) *Configuration.* Pour les lignes aériennes, il est généralement moins coûteux d'utiliser des poteaux sans traverses et cette solution est préférable ; de même, un câble multiconducteur d'alimentation auxiliaire avec un gros conducteur pour le neutre servant de porteur est préférable à des conducteurs supportés individuellement. Les traverses ne devraient être utilisées que comme supports pour l'équipement.

- d) *Haubans et ancrages.* Les poteaux et les pylônes soumis à des efforts horizontaux non équilibrés, aux points de changement de direction et en tête de ligne doivent être munis de haubans et d'ancrages appropriés ; des haubans peuvent être nécessaires sur d'autres parties de la ligne s'il y a des risques de vents violents. Des catalogues des fabricants d'équipement contiennent des informations sur la pose des ancrages. L'équipement choisi doit convenir aux conditions particulières du sol et à la technique de construction à utiliser.
- e) *Balisage des lignes aériennes.* Selon leur emplacement, les lignes électriques aériennes doivent être munies de marqueurs visuels, comme des sphères, conformément aux normes de balisage des obstacles de l'État.

4.7 CONDUCTEURS

4.7.1 Le choix des conducteurs des lignes aériennes doit se faire en tenant compte des contraintes d'installation, d'exploitation et de maintenance. Certaines circonstances peuvent justifier des conducteurs plus gros. Dans tous les cas, il faut s'assurer que le type et le calibre des conducteurs utilisés assurent une résistance suffisante pour les portées et les conditions de charge du lieu.

4.7.2 Dans des cas particuliers, des conducteurs spéciaux peuvent être nécessaires pour les lignes primaires :

- a) ligne aérienne à conducteur isolé en aluminium ou en cuivre, préassemblée avec ou sans gaine métallique, supportée par un câble porteur en acier s'il est nécessaire d'éviter les risques correspondant à un câble nu, par exemple pour les circuits à haute fiabilité dans une région exposée à des orages violents ;
- b) conducteurs composites — acier revêtu de cuivre, acier revêtu d'aluminium, acier galvanisé ou bronze pour obtenir une haute résistance combinée à une bonne protection contre la corrosion.

Conducteurs de composition différente

4.7.3 Dans les cas où il est nécessaire de raccorder un conducteur en aluminium à un conducteur en cuivre, on doit installer des serre-fils spéciaux en suivant les instructions du fabricant.

4.8 TRANSFORMATEURS

Montage des transformateurs

4.8.1 Les transformateurs peuvent être montés sur poteaux ou au niveau du sol. Si leurs enveloppes métalliques ne sont pas inviolables, les transformateurs installés au niveau du sol doivent être entourés d'une clôture. Si les conditions atmosphériques le justifient, il vaut mieux les installer dans un abri en béton ou en briques.

- a) *Montage sur poteau simple.* Dans le cas d'un montage sur poteau simple, les transformateurs monophasés ou triphasés doivent être de dimensions limitées conformément aux pratiques agréées.
- b) *Montage sur poteau avec plate-forme.* On ne doit utiliser ce type de montage (structures à deux poteaux) que si les autres solutions ne sont pas satisfaisantes. Pour les installations de 225 à 500 kVA, des

transformateurs compartimentés montés sur socle constituent une solution économiquement plus intéressante que le montage sur poteau.

- c) *Installation au niveau du sol.* Dans le cas des installations au niveau du sol sur socle de béton, la puissance en kilovolts-ampères n'est pas limitée. En général, il n'y a pas lieu de prescrire l'emploi de transformateurs inviolables (classés comme transformateurs compartimentés montés sur socle) pour des puissances nominales supérieures à 500 kVA.

Caractéristiques nominales

4.8.2 Les transformateurs devraient être choisis avec des caractéristiques nominales de puissance et de tensions d'entrée et de sortie normalisées, en monophasé comme en triphasé. Pour certaines installations, il peut être souhaitable de choisir des transformateurs avec prises de tension à l'entrée permettant de s'adapter au niveau de tension du réseau.

Installations intérieures

4.8.3 Les transformateurs à bain d'huile (inflammables) ne devraient pas être installés sous abri, sauf dans des postes qui sont conformes aux normes de sécurité en vigueur. De tels postes ne devraient être aménagés que dans les cas où l'emploi d'autres types de transformateurs serait plus coûteux ou serait proscrit pour des raisons particulières. Si ce n'est pas le cas, les transformateurs à installer sous abri devraient être des types suivants :

- a) à bain de liquide à point d'inflammation élevé ;
- b) à sec, avec ventilation ;
- c) à sec, avec cuve étanche ;
- d) isolé avec un gaz non toxique.

Agents d'isolement toxiques

4.8.4 Il faut éviter les transformateurs isolés aux biphényles polychlorés (PCB) ou autres agents d'isolement très toxiques. En cas de fuite ou de manipulation imprudente lors des opérations d'entretien, ces produits chimiques sont dangereux pour le personnel.

4.9 DISPOSITIFS DE SECTIONNEMENT DES CIRCUITS

Fusibles

4.9.1 Après l'étude des intensités de courant nécessaires, des fonctions de disjonction et des caractéristiques de temps de fusion, on doit choisir les fusibles parmi les types ci-après :

- a) fusible nu ;
- b) fusible à expulsion ;

- c) fusible à l'acide borique ;
- d) type limiteur de courant.

Disjoncteurs

4.9.2 Les caractéristiques nominales des disjoncteurs doivent correspondre à la fonction de disjonction, et des fusibles ou des coupe-circuits doivent être installés en amont ou en aval du disjoncteur.

Dispositifs à réenclenchement automatique

4.9.3 L'emploi de dispositifs à réenclenchement automatique sur les lignes autres qu'aériennes peut causer des difficultés en cas de défauts à la terre à résistance élevée. Pour le choix d'un dispositif à réenclenchement automatique, il faut tenir compte des exigences de fiabilité et de continuité du service. Ces dispositifs peuvent être de simples disjoncteurs ou des appareils à commutations multiples. Leur fonction consiste à couper un circuit défectueux, puis à le réenclencher instantanément ou après un laps de temps déterminé. On peut choisir jusqu'à trois intervalles différents de temporisation. Le choix du dispositif à réenclenchement automatique doit être compatible avec les fusibles ou disjoncteurs utilisés dans le même circuit.

Interrupteurs

4.9.4 Les interrupteurs et les sectionneurs servent à isoler les sections défectueuses des circuits aériens ou souterrains ou à effectuer des travaux exigeant la mise hors tension des circuits. On peut choisir parmi les types principaux ci-après :

- a) *Interrupteurs hors charge.* Ces interrupteurs ne doivent être employés que sur des circuits qui n'alimentent aucune charge appréciable. Le type à utiliser est choisi selon l'importance du circuit, la charge, la tension et la fonction de recherche des pannes. On trouve des coupe-circuits à fusibles sous porcelaine, des interrupteurs unipolaires à air simples ou à fusibles, et des coupe-circuits de divers types à fusibles. Les disjoncteurs simples ou à cornes peuvent aussi servir d'interrupteurs.
- b) *Interrupteurs sous charge.* Les interrupteurs sous charge sont équipés d'un dispositif de coupure permettant d'ouvrir les circuits en charge. Il existe des sectionneurs à fusibles conçus comme interrupteurs hors charge ou en charge. Les interrupteurs sous vide permettent aussi de couper les circuits en charge mais ils doivent parfois être associés à des dispositifs de protection contre les surtensions pour éliminer les phénomènes transitoires.

4.9.5 Les dispositifs d'interruption de circuit doivent être de type débrochable pour permettre un remplacement rapide en cas de déféctuosité.

4.10 PROTECTION CONTRE LA Foudre

4.10.1 Pour répondre aux exigences de protection contre la foudre, on peut envisager l'installation d'un câble aérien de mise à la terre, d'éclateurs à l'air libre ou à expulsion et d'éclateurs de surtension (parafoudres) du type réseau de distribution. Il faut aussi tenir compte des conditions climatiques. Une protection contre les surtensions dues à la foudre peut être inutile dans les régions où la fréquence annuelle des orages est faible. On suivra normalement la politique adoptée par l'administration nationale ou les usages de la compagnie locale de distribution d'électricité. Il y a lieu de choisir le parafoudre approprié en fonction du niveau minimal de protection contre les ondes à front raide pour lesquelles le circuit doit être étudié.

4.10.2 Le niveau kéraunique est une mesure de l'activité orageuse dans une zone donnée. Il est défini comme le nombre de jours dans l'année au cours desquels on entend le tonnerre. Ce nombre varie considérablement dans une région donnée et le niveau kéraunique est basé sur une moyenne à long terme. Dans les régions tempérées, il est de l'ordre de 10 à 30 ; dans la forêt tropicale africaine, il peut atteindre des valeurs dépassant 180. Le nombre annuel d'éclairs atteignant le sol par kilomètre carré, N_g , peut être calculé pour les régions tempérées par la formule suivante :

$$N_g = 0,04 T_d^{1,25}$$

T_d étant le niveau kéraunique.

Note.— L'application du niveau kéraunique est utilisée dans les normes de protection pour la conception des systèmes électriques de structures raccordées au réseau électrique local. Sources : EN61400-24, CEI 60664-1 et CEI 60364-4-44.

4.10.3 Plus il y a de coups de foudre par an, plus il y a de risques que les installations du côté piste soient touchées. La figure suivante est une carte du monde représentant les lignes isokérauniques (même nombre de jours d'orage par an). Dans chaque région, l'institut météorologique national devrait pouvoir fournir une carte plus précise des conditions locales. Certaines cartes indiquent la densité d'éclairs ou le nombre d'éclairs par kilomètre carré par an (voir Figure 4-2).

4.11 DÉGAGEMENTS

Il faut ménager les dégagements horizontaux et verticaux nécessaires par rapport aux objets voisins (bâtiments, structures et autres lignes électriques), conformément aux normes de sécurité en vigueur. Il faut tenir compte des anomalies imprévues comme les bris de poteaux, de traverses et de conducteurs. Il faut assurer les dégagements nécessaires pour les poteaux à usages multiples. Les codes de sécurité en vigueur permettent de déterminer les dégagements à prévoir pour l'escalade des poteaux et leur utilisation multiple, et aussi pour la protection des conducteurs.

4.12 MISE À LA TERRE

4.12.1 La mise à la terre des circuits aériens de distribution doit obéir aux normes de sécurité en vigueur ou à la politique adoptée par l'administration nationale. Voir également la norme CEI 60364, *Installations électriques à basse tension*. Il faut prévoir la mise à la terre de tous les équipements ou structures associés aux installations électriques, afin de prévenir les cas d'électrocution par des tensions dynamiques ou statiques. La résistance maximale à la terre ne doit pas dépasser les valeurs spécifiées dans les normes de sécurité en vigueur. Il faut étudier la source d'énergie électrique, sa capacité, l'ordre de grandeur des courants de défaut et les techniques de mise à la terre, dans la mesure où ces facteurs influent sur la résistance de ladite mise à la terre.

Piquets de terre

4.12.2 On peut employer des piquets de terre individuellement ou en groupe. Pour une installation permanente et efficace, les piquets de terre doivent être enfoncés jusqu'au niveau de la nappe phréatique. La corrosion peut être évitée par le choix des métaux employés ou par une protection cathodique. Si la nappe phréatique est inaccessible, on peut employer en cas de besoin des produits chimiques comme le sulfate de magnésium ($MgSO_4$) ou le sulfate de cuivre ($CuSO_4$) qui améliorent la conductivité du sol. Les fournisseurs de piquets de mise à la terre peuvent donner des renseignements sur ce genre de traitement. L'installation doit faciliter l'entretien et les vérifications régulières. Il peut être parfois plus efficace d'enfoncer plus profondément un piquet (par sections) que d'en employer plusieurs mais, dans bien des cas, les différentes couches du sol et les affleurements rocheux peuvent rendre la deuxième solution moins coûteuse.

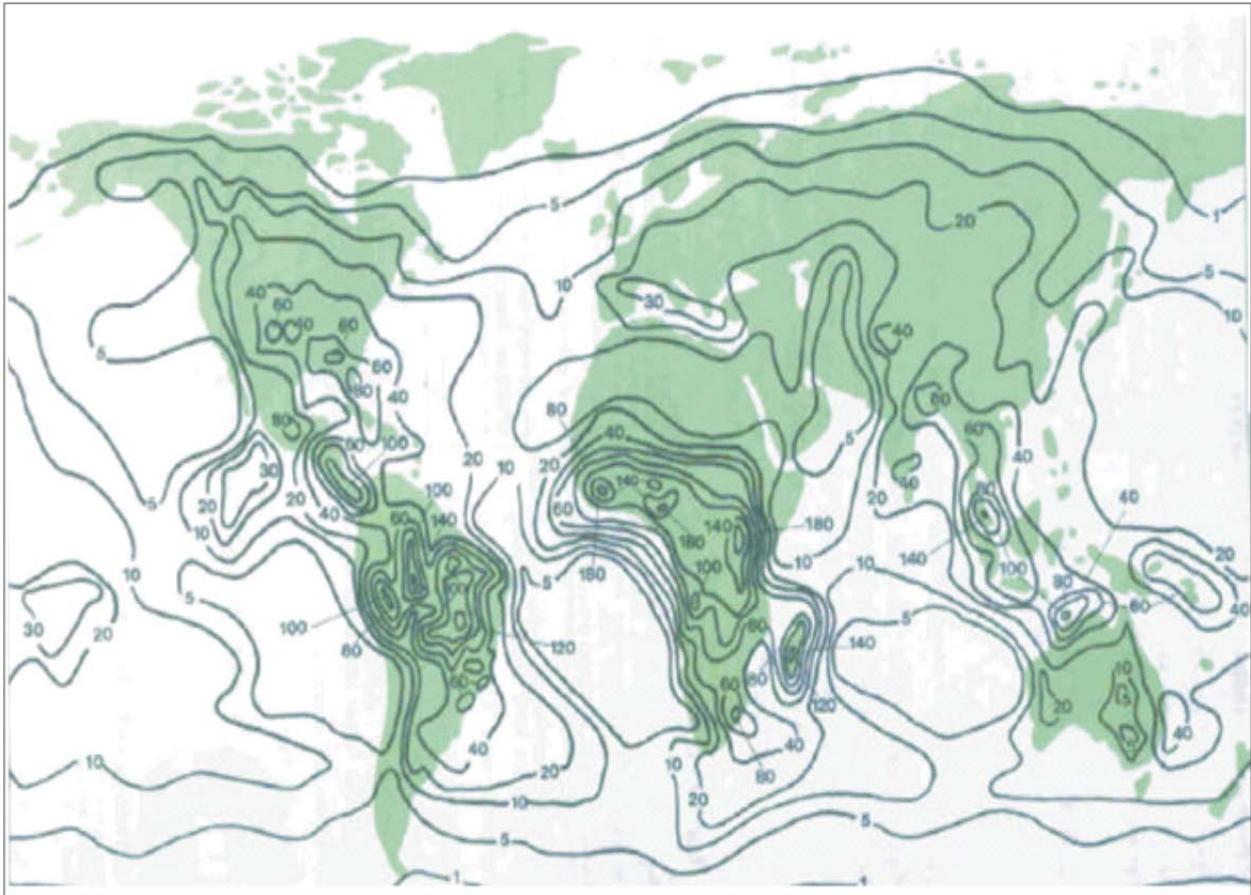


Figure 4-2. Lignes isokérauniques [adapté de la publication 21 de l'OMM (1956)]

Réseau de mise à la terre

4.12.3 Un réseau de conducteurs enterrés permet d'assurer une bonne mise à la terre dans un sol de conductivité médiocre et évite les différences de potentiel importantes entre sous-stations dans le raccordement des circuits d'alimentation de l'aéroport. On utilise couramment des mailles de 3 à 3,5 m d'intervalle, qui permettent en général de limiter les gradients de potentiel en surface, même si la résistance de la prise de terre est relativement élevée.

Raccordements aux canalisations d'eau

4.12.4 Il n'est pas recommandé d'utiliser des tuyaux d'eau métalliques comme point de mise à la terre. Leurs caractéristiques électriques sont mal définies et les courants de fuite peuvent causer une corrosion des tuyaux. De plus, l'installation d'eau peut être modifiée par des travaux de construction ou d'entretien consistant à poser des tronçons non métalliques, un circuit de protection cathodique ou des raccords isolants.

Combinaison de diverses méthodes de mise à la terre

4.12.5 Si la résistance de la mise à la terre d'un circuit donné est élevée, on peut combiner deux ou plusieurs des méthodes précédentes pour améliorer la situation.

Prises de terre

4.12.6 Les câbles de descente des dispositifs de protection (éclateurs, pare-étincelles, tubes de protection ou tubes à expulsion et parafoudres, par exemple) qui sont raccordés au sol doivent être aussi rectilignes et courts que possible. S'il faut prévoir un cintrage de ces câbles de descente, le rayon doit être aussi grand que possible pour réduire au maximum l'impédance caractéristique.

Câbles aériens de mise à la terre

4.12.7 Si l'on utilise des câbles aériens pour la protection des circuits électriques, il doit y avoir à la base de chaque poteau une mise à la terre raccordant le câble aérien à une boucle de terre, à une plaque de mise à la terre ou à un piquet enfoncé, selon l'état du sol. L'emploi d'une gaine de câble ou d'une plaque au pied du poteau n'est permis que dans les zones où la résistivité du sol est très faible.

Mesure de la résistance de terre

4.12.8 Il existe deux méthodes de mesure de la résistance de terre :

- a) *Méthode des trois électrodes.* Avec cette méthode, deux électrodes servent à mesurer la résistance de la troisième, qui est le point de prise de terre. Une source autonome de courant alternatif ou un vibreur alimenté sur batterie permet d'obtenir une lecture directe.
- b) *Méthode de la chute de potentiel.* Cette méthode utilise une source de courant alternatif qui n'est pas mise à la terre et fait passer un courant mesuré dans le sol. La lecture de la tension permet de déterminer directement la résistivité du sol par l'application de la loi d'Ohm.

4.13 CIRCUITS DE DISTRIBUTION SOUTERRAINS

4.13.1 Dans certaines zones des aérodromes ou à proximité de ces zones, il faut prévoir l'installation souterraine des circuits de distribution de l'alimentation principale. Les circuits souterrains sont plus coûteux que les installations aériennes, mais leur emploi s'impose souvent à cause des problèmes de brouillage radio ou de la proximité des dispositifs lumineux par rapport aux aires de mouvement des aéronefs. Ces circuits peuvent être posés par enfouissement direct ou par tirage des câbles dans les conduits. L'enfouissement direct coûte habituellement moins cher que l'installation dans des conduits (technique de tirage des câbles), mais les câbles sont moins bien protégés et l'enfouissement direct n'est normalement employé que si les charges sont faibles et si une grande fiabilité n'est pas indispensable. Un câble à moyenne tension enfoui directement doit être armé ou blindé avec une armure métallique afin d'être mécaniquement protégé contre les dommages. Lorsque la résistance à la corrosion présente de l'importance, on doit quelquefois revêtir les câbles armés d'une gaine de matière plastique ou de caoutchouc synthétique recouvrant l'armure métallique. Les circuits souterrains de distribution utilisés pour le balisage lumineux sont mis en place par tirage dans des conduits.

4.13.2 Le Chapitre 13 décrit en détail la pose des circuits souterrains de distribution pour les installations d'aides visuelles et le Chapitre 14 présente les caractéristiques des câbles qui conviennent pour les circuits souterrains.

Chapitre 5

TYPES DE CIRCUITS ÉLECTRIQUES

Note.— Le présent chapitre traite essentiellement des circuits utilisés pour les dispositifs à lampes à incandescence classiques. Il est possible que les règles de conception changent avec la généralisation des dispositifs à DEL (diodes électroluminescentes) (voir Chapitre 12). La norme CEI 61820 contient les exigences de conception et d'installation des circuits série à courant constant utilisés pour le balisage des aérodromes.

5.1 CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES

Les dispositifs de balisage lumineux d'aérodrome sont presque toujours alimentés en courant alternatif (AC), 50 ou 60 Hz. Des circuits série et parallèles sont utilisés pour les installations de balisage. Dans les grands aéroports ayant de longues pistes et de nombreuses voies de circulation, les installations sont plutôt des circuits série. Sur les petits aérodromes avec des pistes courtes, les installations peuvent utiliser des circuits parallèles. Les feux à éclats successifs des dispositifs lumineux d'approche peuvent aussi être alimentés par des circuits parallèles, bien qu'on puisse aussi utiliser un circuit série avec des adaptateurs de conversion. D'autres installations, comme les projecteurs d'éclairage des aires de trafic et certains feux d'obstacles, sont principalement des circuits parallèles.

5.2 CIRCUITS SÉRIE

5.2.1 Les charges élémentaires des circuits série sont connectées en chaîne et le même courant traverse chaque charge individuelle. Le circuit forme une boucle continue qui commence et finit aux bornes du régulateur à courant constant.

5.2.2 Dans le cas d'un circuit parallèle recevant une tension d'entrée fixe, l'intensité qui passe dans le circuit varie avec la charge connectée. De son côté, le rôle du régulateur à courant constant d'un circuit série est de maintenir une intensité constante indépendamment de la charge du circuit. La même intensité circule dans un circuit long de même que dans un circuit court et ne varie pas, même si certaines des lampes sont défectueuses. Un court-circuit aux bornes de sortie d'un régulateur à courant constant correspond à une charge nulle, et un circuit ouvert correspond à une surcharge. Dans un circuit série simple à connexion directe, la défaillance d'une lampe crée un circuit ouvert et il est donc nécessaire de prévoir dans la conception du circuit un transformateur AGL qui maintiendra la continuité du circuit en cas de défaillance d'une lampe. Si un seul transformateur alimente plusieurs ensembles lumineux, comme sur la Figure 5-1, il faut ajouter un dispositif de dérivation pour maintenir la continuité du circuit secondaire.

Avantages des circuits série de balisage lumineux

5.2.3 Les circuits série présentent les avantages suivants pour le balisage lumineux d'aérodrome :

- a) toutes les lampes sont traversées par le même courant, donc à la même intensité lumineuse ;

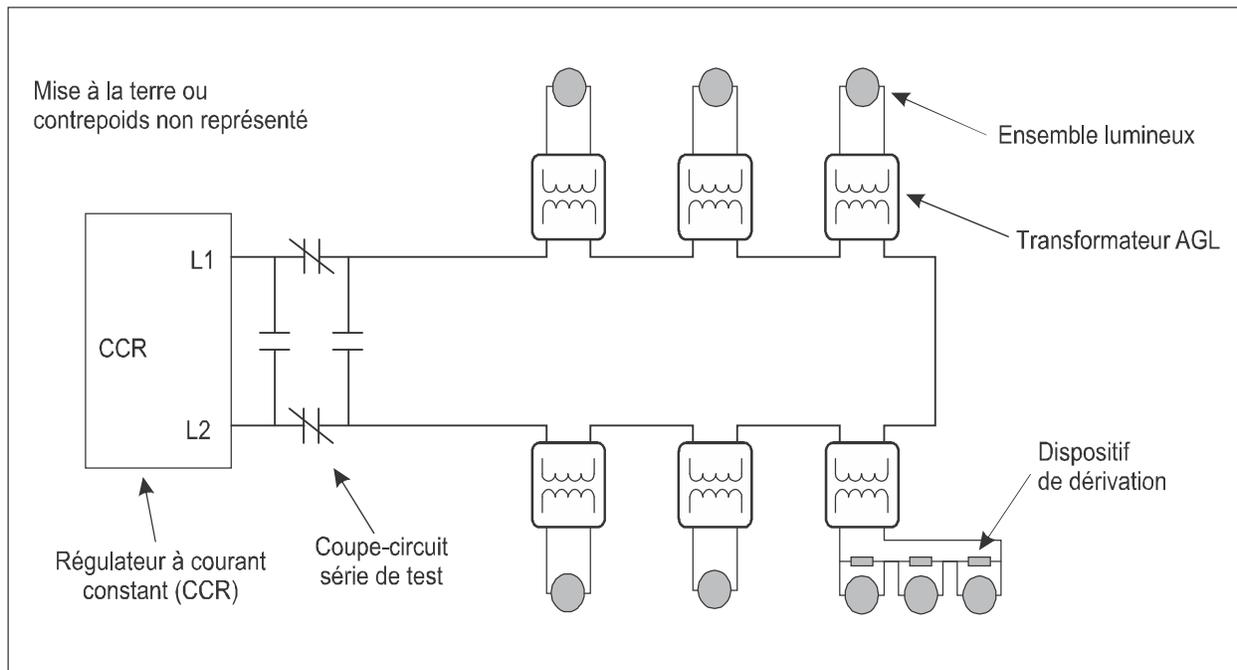


Figure 5-1. Circuit série de balisage

- b) il est possible d'utiliser sur toute la longueur du circuit un câble à un seul conducteur d'un même calibre et d'une même tension nominale d'isolement ;
- c) l'intensité lumineuse des feux peut être réglée sur une plage étendue ;
- d) un seul défaut à la terre en un point quelconque du circuit est sans effet sur le fonctionnement des feux ;
- e) les circuits série utilisent des lampes à haute intensité et à basse tension. Par exemple, un feu de bord de piste peut contenir une lampe 12 V, 6,6 A. La faible tension permet d'utiliser une ampoule à filament compact qui agit comme une source ponctuelle simplifiant la focalisation de l'optique du feu ;
- f) les circuits série conviennent mieux à l'imbrication des feux.

Inconvénients des circuits série de balisage lumineux

5.2.4 Les principaux inconvénients des circuits série pour le balisage lumineux sont :

- a) les coûts d'installation sont élevés — le régulateur à courant constant et les transformateurs AGL font augmenter ces coûts de manière appréciable ;
- b) une coupure de circuit en un point quelconque du circuit primaire rend l'installation complètement inutilisable et peut même endommager l'isolation du câble ou le régulateur à courant constant ;
- c) il peut être difficile de repérer les défaillances, surtout si elles sont causées par un circuit ouvert.

5.3 CIRCUITS PARALLÈLES (MULTIPLES)

5.3.1 L'utilisation de circuits parallèles (multiples) pour le balisage au sol n'est pas recommandée sur les grands aéroports et les systèmes de balisage complexes, pour les raisons suivantes :

- a) la pose des câblages est généralement beaucoup plus coûteuse pour les circuits parallèles que pour les circuits série haute tension ;
- b) il est difficile d'équilibrer l'intensité lumineuse entre tous les feux du diagramme de balisage ;
- c) il y a des risques de griller un grand nombre de lampes d'un circuit car les régulateurs de tension de qualité courante ne sont pas capables de réguler les fluctuations très rapides de la tension du côté de l'alimentation.

5.3.2 Les circuits parallèles peuvent être avantageux pour de petits aéroports où l'entretien est sous-traité à des entreprises locales dont les électriciens n'ont pas la formation nécessaire pour travailler sur les installations à circuits série.

5.3.3 Pour toutes ces raisons, les circuits parallèles devraient être limités à des applications où il n'y a qu'un petit nombre de feux dans le circuit et où l'équilibre de l'intensité lumineuse n'est pas critique, comme sur une voie de circulation de faible longueur. En résumé, les circuits parallèles conviennent pour le balisage de petits aérodromes dont les pistes et les voies de circulation sont relativement courtes.

Effets des défauts

5.3.4 Dans les circuits parallèles, les feux sont connectés entre les conducteurs d'alimentation du balisage. Une lampe grillée crée un circuit ouvert qui n'a pas d'effet sérieux sur l'ensemble du système. Par contre, un court-circuit crée une surcharge et, selon le dispositif de protection utilisé (fusible ou disjoncteur), tout le système de balisage est mis hors service. C'est l'inverse de ce qui se produit dans un circuit série pour lequel un court-circuit ne se traduit pas par une surcharge.

Caractéristiques de tension

5.3.5 La plupart des appareils d'éclairage de type parallèle sont conçus pour fonctionner à basse tension (moins de 300 V) et si les câbles d'alimentation sont à haute tension pour minimiser la chute de tension entre le poste et le centre de charge, il faut utiliser des transformateurs dévolteurs. Les feux peuvent être alimentés par un circuit unique connecté entre le neutre et la phase dans un système de distribution à trois ou quatre fils. Le réglage de l'intensité des feux se fait généralement au moyen de transformateurs à prises.

Avantages des circuits parallèles de balisage lumineux

5.3.6 Pour le balisage lumineux des aérodromes, les circuits parallèles (voir Figure 5-2) offrent les avantages suivants :

- a) des coûts d'installation moins élevés, surtout s'il n'y a pas besoin de régulation de la tension ni de réglage d'intensité ;
- b) un meilleur rendement énergétique (consommation électrique réduite) ;

- c) il est facile d'ajouter ou de supprimer des éléments d'un circuit ;
- d) la plupart des gens comprennent mieux le fonctionnement de ces circuits ;
- e) les défauts du câble sont plus faciles à repérer, surtout s'il s'agit de coupures de circuit ;
- f) un circuit ouvert n'empêche pas le reste du circuit de fonctionner.

Inconvénients des circuits parallèles de balisage lumineux

5.3.7 Les principaux inconvénients des circuits parallèles (voir Figure 5-2) pour le balisage d'aérodrome sont :

- a) l'intensité lumineuse des feux baisse en cas de chute de tension dans le circuit. Il peut en résulter des erreurs d'interprétation si la différence est sensible dans l'aspect général des feux ;
- b) deux conducteurs sont nécessaires sur toute la longueur du circuit et il faut parfois utiliser des conducteurs de plus fort calibre pour réduire la chute de tension en ligne ;
- c) les filaments des lampes sont généralement plus longs, ce qui peut nécessiter l'emploi d'éléments optiques et d'ensembles lumineux de plus grandes dimensions ;
- d) il est plus difficile de régler l'intensité lumineuse avec précision, surtout dans la plage des faibles valeurs, car le coût de l'équipement augmenterait sensiblement les frais d'installation ;

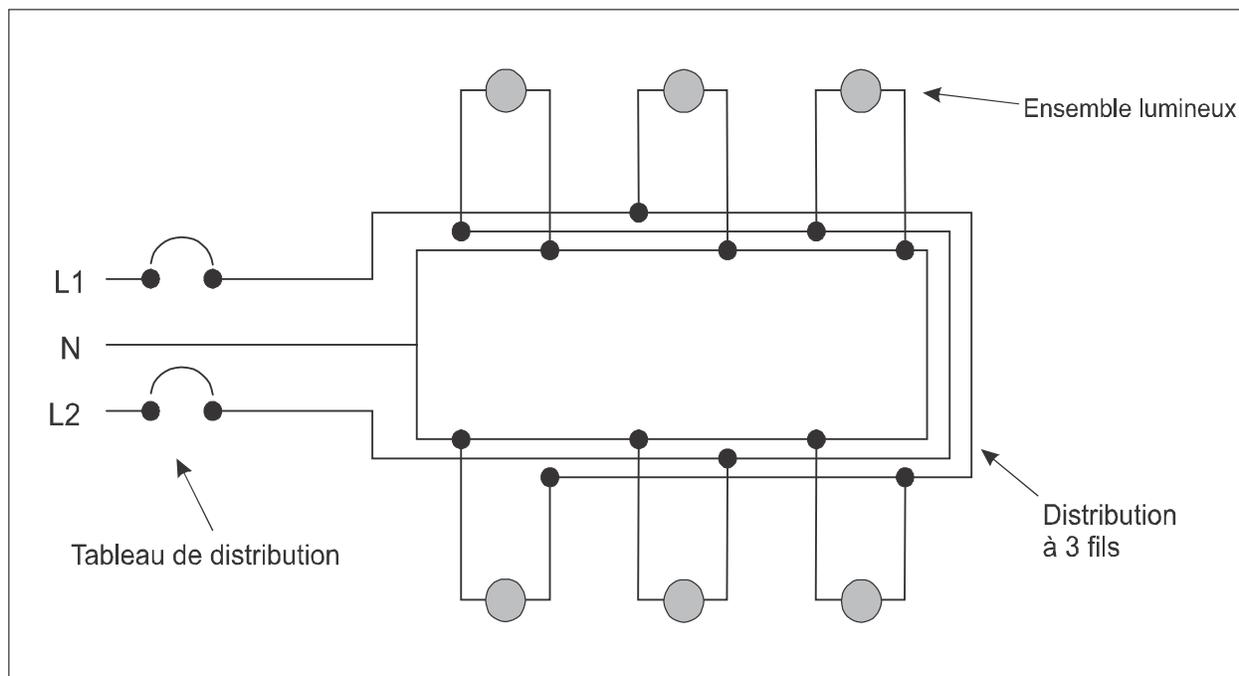


Figure 5-2. Circuit parallèle

- e) un seul défaut à la terre sur la ligne d'arrivée à haute tension suffit pour mettre tout le circuit hors service ;
- f) les défauts à la terre sont difficiles à repérer.

5.4 COMPARAISON ENTRE LES CIRCUITS SÉRIE ET LES CIRCUITS PARALLÈLES POUR LE BALISAGE LUMINEUX

Il est souvent possible d'installer un balisage lumineux acceptable avec des circuits série ou des circuits parallèles. En général, les circuits série sont préférables pour les dispositifs lumineux d'aérodrome, car l'intensité est plus uniforme et plus facile à régler. Ce genre de dispositifs se retrouve dans la plupart des feux de piste et de voie de circulation et la plupart des feux fixes des dispositifs lumineux d'approche. Les circuits parallèles servent pour l'éclairage de la plupart des aires, pour les aides visuelles isolées ou peu nombreuses et pour la distribution de l'énergie. Les dispositifs de balisage lumineux d'aérodrome qui utilisent habituellement des circuits parallèles sont les projecteurs d'éclairage et les autres feux de l'aire de trafic, les feux à éclats successifs, les aides visuelles qui jouent un rôle particulier, comme les phares d'aérodrome et les indicateurs de direction du vent, certains feux d'obstacles et les circuits de distribution électrique.

5.5 CIRCUITS SÉRIE DE BALISAGE LUMINEUX DES AÉRODROMES

Facteurs à prendre en considération

5.5.1 Si l'étude de conception conduit à choisir un circuit série, il y a lieu d'évaluer certaines options sur l'équipement à utiliser. Lorsqu'on a fait un choix, cela réduit souvent les options possibles pour d'autres équipements. Il faut, en premier lieu, analyser l'ensemble des circuits pour en déterminer les performances critiques, la fiabilité, l'économie d'installation et de fonctionnement, la facilité d'entretien et la corrélation possible entre divers types d'équipements. Les paragraphes ci-après présentent certaines options possibles.

Choix de l'intensité électrique nominale

5.5.2 L'évolution de l'équipement a limité les options disponibles quant au choix de l'intensité à utiliser dans un circuit série particulier. Dans la plupart des circuits série de balisage lumineux d'aérodrome, l'intensité nominale est fixée à 6,6 ou 20 A, encore que d'autres valeurs soient parfois utilisées. Pour un même calibre et une même longueur de câble, la perte en ligne d'un circuit à 6,6 A est approximativement neuf fois plus faible que celle d'un circuit à 20 A. Un câble isolé à 5 000 V permet d'acheminer les deux valeurs d'intensité avec des conducteurs de 4 mm de diamètre sans échauffement excessif.

5.5.3 Dans les circuits série, la charge du régulateur devrait être au moins 80 % de capacité nominale. On utilise généralement une intensité de 6,6 A pour les circuits longs alimentant de petites charges électriques ; des circuits à 20 A sont utilisés pour les charges plus importantes avec des câblages plus courts. Du point de vue du régulateur, le 6,6 A convient bien pour des puissances nominales de 30 kW ou moins, et le 20 A est préférable au-dessus de cette valeur. Le point de transition est basé sur la tension à pleine charge qui ne doit pas excéder la tension d'isolement de 5 000 V. Ainsi, pour un régulateur de 30 kW, une intensité de 6,6 A correspond à une tension de 4 545 V.

5.5.4 Pour les raisons exposées ci-dessus, la tendance actuelle est de préférer les circuits série à 6,6 A. La principale raison est l'application de la multiplicité des circuits et de l'imbrication. Par exemple, la majeure partie d'un système de balisage d'approche peut représenter une charge de 70 kW qui peut être assurée par un seul régulateur à

courant constant de 70 kW et l'intensité peut être 20 A. Toutefois, avec l'ajout de circuits imbriqués, la charge de chaque circuit peut être inférieure à 20 kW, ce qui permet d'utiliser des régulateurs à 6,6 A. Pour les mêmes raisons, des régulateurs à courant constant plus petits sont utilisés dans les grandes installations, comme le balisage de l'axe de piste et de la zone de toucher des roues, qui sont généralement divisées en deux ou plusieurs circuits.

5.6 MISE À LA TERRE

Tous les équipements des aides visuelles d'aéroport ont besoin d'avoir une mise à la terre de bonne qualité. Consulter le Chapitre 13 pour une description de l'aspect sécurité du personnel.

5.7 TRANSFORMATEURS DÉVOLTEURS

Afin de réduire les pertes dans les artères de transport, on utilise des hautes tensions qui sont ensuite abaissées par un transformateur dévolteur de distribution à une valeur compatible avec la distribution locale. Pour des raisons analogues, au niveau des installations de balisage des aérodromes, les circuits d'alimentation peuvent être à une tension relativement haute qui est abaissée par un transformateur dévolteur à la valeur qui convient à l'entrée du circuit de balisage lui-même. Il va de soi que les câbles d'alimentation doivent avoir une isolation adaptée à la tension qu'ils amènent. Dans certains cas, il est préférable de choisir une basse tension pour les câbles d'alimentation, ne serait-ce que parce qu'ils sont déjà en place et disponibles. La chute en ligne peut être limitée en choisissant la plus haute tension que permet l'isolation des câbles d'alimentation, puis en l'abaissant avec des transformateurs dévolteurs à l'entrée du circuit ou des feux individuels. Par exemple, la tension d'alimentation peut être 480 V, puis abaissée à 120 V à l'entrée du circuit des feux. Pour les feux de balisage, l'utilisation de lampes alimentées entre 6 et 30 V est généralement plus efficace que des lampes 120 ou 240 V. Si on utilise des transformateurs dévolteurs pour des feux individuels ou de petits groupes de feux dans une barrette, il faut donc choisir des lampes à basse tension. Sauf s'ils sont protégés par des fusibles individuels, les transformateurs dévolteurs utilisés pour ces applications devraient être du type à forte réactance de sorte qu'un court-circuit dans la partie du système de balisage alimentée par un transformateur ne provoque pas une panne de l'ensemble du système.

5.8 COUPE-CIRCUIT SÉRIE

Dans les circuits série, on peut utiliser un coupe-circuit série, comme le montre la Figure 5-3, à proximité ou dans le régulateur à courant constant (CCR) pour faciliter les activités d'entretien et de dépannage. Comme on le voit à la Figure 5-4, quand le couvercle du coupe-circuit est en place, le CCR est connecté dans la boucle du circuit série. Si le couvercle est enlevé, la sortie du CCR est isolée de la boucle, ce qui assure la sécurité du personnel de maintenance. La sortie du CCR et l'entrée de la boucle du circuit sont mises en court-circuit. Un couvercle de maintenance peut être mis en place sur le coupe-circuit pour fournir des points de mesure de la résistance d'isolement.



Figure 5-3. Boîtier de coupe-circuit série (source : Liberty Airport Systems)

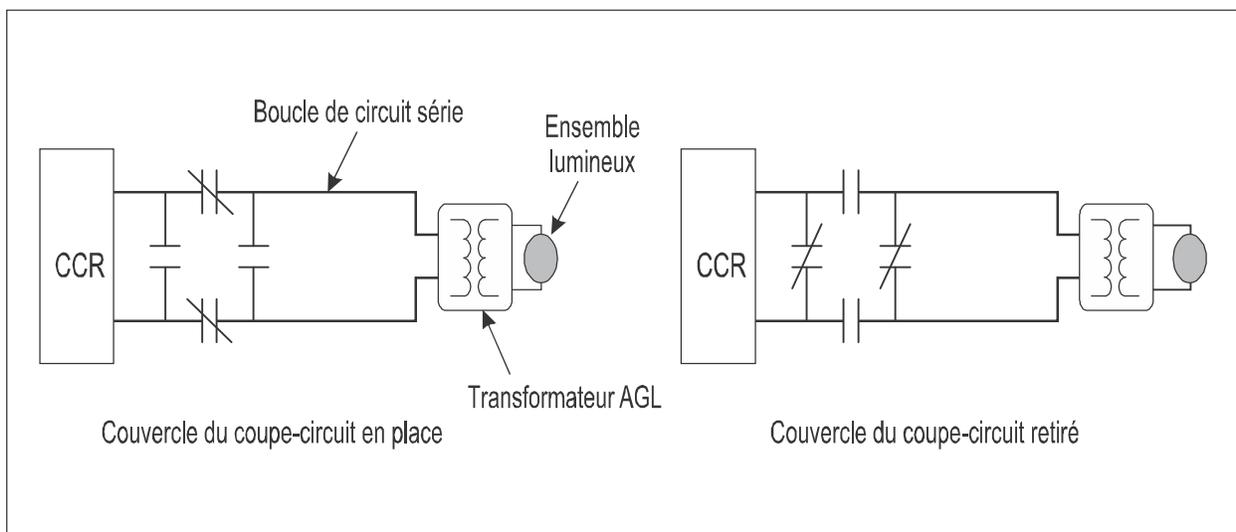


Figure 5-4. Coupe-circuit série (schéma)

5.9 CIRCUITS ÉLECTRIQUES ET DE COMMUNICATION POUR ÉQUIPEMENTS DES SERVICES DE LA CIRCULATION AÉRIENNE (ATS)

Types d'équipements des services de la circulation aérienne

5.9.1 Les équipements des services de la circulation aérienne, qui peuvent être situés sur l'aérodrome ou à proximité et qui doivent être alimentés en électricité, soit par le système de l'aérodrome, soit par un système distinct, dépendent du prestataire des services et de l'aérodrome.

5.9.2 Les équipements sont souvent composés des éléments suivants :

- a) système d'atterrissage aux instruments (ILS) ;
- b) radiophare omnidirectionnel à très haute fréquence (VOR) ;
- c) radiophare non directionnel (NDB) ;
- d) installation de radiogoniométrie (DF) ;
- e) système de renforcement au sol et système de diffusion de données VHF (GBAS+VDB) ;
- f) système radar d'approche de précision (PAR) ;
- g) équipement de mesure de distance (DME) ;
- h) radioborne (MKR) ;
- i) radar de surveillance d'aéroport (ASR) ;
- j) radar primaire de surveillance combiné à un radar secondaire de surveillance (PSR+SSR) ;
- k) système de multilatération (MLAT) ;
- l) système de multilatération à couverture étendue (WAM) ;
- m) système de surveillance dépendante automatique en mode diffusion (ADS-B) ;
- n) station de radiocommunication [VHF, ultra haute fréquence (UHF), par satellite, etc.] ;
- o) équipement météorologique (MET) ;
- p) réseau de communication vocale ;
- q) équipement auxiliaire (p.ex. réseau de communication sur site).

5.9.3 La plupart des aérodromes sont dotés de plusieurs de ces équipements. Les besoins en matière d'alimentation électrique et de communication exigent donc une attention particulière.

Caractéristiques électriques

5.9.4 La principale source d'énergie électrique des équipements ATS est d'ordinaire un courant alternatif (AC). Outre la source principale, la plupart des équipements ATS nécessitent une source d'énergie électrique secondaire configurée de manière à assurer une alimentation ininterrompue. Selon les équipements ATS et leur importance pour l'exploitation, diverses configurations appropriées peuvent être mises au point pour ce qui est des besoins en énergie électrique : alimentation simple ou double, batterie seulement, batterie et génératrice, conditions locales, etc. L'alimentation AC est d'ordinaire de 50 ou 60 Hertz, 120 ou 240 V. Cela dit, la plupart des conceptions de système modernes font appel à des dispositifs qui acceptent une plus grande variété de fréquences et de tensions AC. C'est le cas en particulier des convertisseurs AC/DC à découpage, qui n'utilisent pas de transformateurs d'alimentation secteur pour réduire la tension à un niveau adapté à l'équipement. Ce type de convertisseur peut aussi réduire les effets des variations de fréquence et de tension attribuables à un courant secteur de qualité insuffisante. Des systèmes d'alimentation sans coupure (UPS) sont souvent ajoutés pour améliorer la qualité du courant secteur.

Alimentation primaire

5.9.5 La source d'alimentation primaire des équipements ATS est habituellement la même que celle de l'aérodrome. Étant donné que la puissance apparente totale requise par chaque équipement ATS se situe normalement entre 3 et 15 kVA, la puissance à l'entrée des installations est souvent acheminée à une tension intermédiaire et fournie à un transformateur de distribution locale qui abaisse la tension à un niveau approprié. La sélection d'un niveau de tension bas ou intermédiaire et des transformateurs dépend de la distance entre les équipements, la source primaire et la charge.

Alimentation secondaire

5.9.6 Étant donné que les équipements ATS peuvent être cruciaux pour la capacité de trafic calculée de l'aérodrome, des sources d'énergie secondaire sont nécessaires. Le temps de commutation de l'alimentation primaire à l'alimentation secondaire de la plupart des équipements devrait être fonction de leur caractère critique pour l'exploitation. Les équipements ATS sont souvent situés dans des lieux isolés ou séparés des autres bâtiments nécessitant une alimentation électrique. Selon la quantité d'énergie à fournir pour maintenir les équipements en marche, une alimentation secondaire par batterie seulement est généralement prévue pour les systèmes de navigation (p. ex. ILS/DME et VOR/DME). Pour les systèmes de surveillance et les systèmes appuyant les opérations de Catégorie III/par faible visibilité, l'alimentation secondaire provient habituellement de groupes électrogènes ou directement de la centrale électrique de l'aéroport au moyen d'un second circuit d'alimentation. Selon la quantité d'énergie électrique secondaire à procurer, il peut être plus économique de faire appel à des batteries ou à des génératrices plutôt qu'à un second circuit d'alimentation. Si une seconde source d'énergie indépendante est utilisée, il est recommandé que les artères d'alimentation primaire et secondaire suivent des chemins différents lorsque c'est possible. Au contraire des dispositifs lumineux d'aérodrome, certaines aides de radionavigation sont plus susceptibles de nécessiter une alimentation ininterrompue.

5.9.7 Lorsque des installations d'alimentation primaire et secondaire assurent le fonctionnement des équipements ATS pour les opérations par faible visibilité, il est recommandé d'inspecter et d'actionner régulièrement l'appareillage de commutation utilisé, d'en vérifier l'efficacité sur le plan opérationnel et de s'assurer qu'il contribue de façon minimale au bruit électrique.

Mise à la terre

5.9.8 Les équipements ATS qui utilisent des systèmes d'antenne peuvent nécessiter une mise à la terre à faible résistance et robuste. Les exigences de mise à la terre du système électrique à la fois au bâtiment des équipements ATS et aux antennes mêmes devraient être soigneusement examinées. Pour certaines antennes, des plans réfléchissants

spéciaux seront peut-être nécessaires. Des grilles ou surfaces équipotentielles sont souvent mises en place pour éviter les dommages causés par les différences de tension entre pièces d'équipement séparées. Une protection anticorrosion des systèmes de mise à la terre est nécessaire pour la plupart des équipements ATS. Les exigences de mise à la terre établies par le fabricant du système ATS considéré devraient être prises en compte dans la conception du système de mise à la terre de l'installation.

Parafoudres

5.9.9 La protection des équipements ATS contre la foudre et la surtension qu'elle cause est importante étant donné que les éléments électroniques sont fragiles et que les antennes sont souvent exposées à un tel phénomène.

Protection contre les surintensités

5.9.10 Les équipements ATS font souvent appel à des éléments à semi-conducteurs qui sont vulnérables aux surtensions et aux surintensités. Bien que la plupart des équipements intègrent une protection contre les sautes de tension et d'intensité, il est recommandé que les sources d'alimentation externes soient conçues de manière à assurer une protection supplémentaire contre les surtensions ou les pics de tension liés à la mise en marche de l'appareillage de commutation.

5.9.11 Le câblage entre les équipements ATS et les antennes nécessite un traitement particulier. Habituellement, les signaux entre les équipements et les antennes sont acheminés par des câbles coaxiaux. D'ordinaire, les fournisseurs des équipements spécifient expressément les exigences en matière de câblage, mais certains ne fournissent peut-être pas de détails à ce sujet. Les câbles d'alimentation des réseaux d'antennes devraient faire l'objet d'une étroite coordination avec les fournisseurs des équipements et les installateurs des antennes et des équipements. L'utilisation de grilles ou de surfaces équipotentielles pour la mise à la terre réduit les risques de dommages liés aux impacts de foudre ou aux courants induits par la foudre. Le câblage d'alimentation du réseau d'antennes et le câblage de mise à la terre du parafoudre ne doivent pas suivre le même chemin.

5.9.12 L'efficacité de toutes les mesures de protection doit être vérifiée périodiquement.

Circuits et réseaux de communication de données

5.9.13 Les équipements ATS peuvent se trouver sur l'aéroport ou à des kilomètres de distance, et ils doivent être reliés à des réseaux de données. Des données pour la surveillance et la commande sur site et à distance des équipements ATS sont des besoins normaux. Le réseau de données sert aussi aux informations de commande, d'état et de maintenance des équipements ATS. Des réseaux analogiques à câbles multi-paires entre nœuds de réseau, des lignes spécialisées analogiques/numériques entre sites, des connexions passives à fibre optique, des réseaux actifs à fibre optique et des liaisons radio sont utilisés pour la communication de données. Lorsque l'on fait appel à des réseaux actifs, les mêmes considérations en matière d'alimentation électrique et de protection des équipements ATS s'appliquent aux sites où se trouvent les équipements de communication de données (à savoir UPS, génératrices, protection contre les surtensions et surintensités, mise à la terre et protection contre la foudre). Il s'agit de faire en sorte que la fiabilité et la disponibilité du réseau de communication de données soient suffisantes pour satisfaire aux exigences imposées aux équipements ATS considérés. Prenons par exemple un équipement ATS qui collecte des données opérationnelles qui doivent être acheminées au moyen du réseau sur site ; ce sous-système doit être traité comme faisant partie intégrante de l'installation ATS ; en tant que tel, influe directement sur la fiabilité et la disponibilité.

Surveillance des fonctions auxiliaires

5.9.14 Il est recommandé de surveiller les fonctions auxiliaires afin d'assurer le bon fonctionnement des équipements ATS : tension des batteries pour le démarrage du système d'alimentation secondaire ou le fonctionnement de l'alimentation ininterrompue ; température et humidité ambiantes afin de maintenir un environnement approprié pour les équipements ; alimentation en combustible de la source d'alimentation secondaire ; etc. Les dispositifs de surveillance peuvent émettre des alarmes simples ou fournir des indications de dépassement des critères établis.

Chapitre 6

DESCRIPTION DES CIRCUITS

6.1 IMBRICATION DES CIRCUITS DE BALISAGE D'AÉRODROME

6.1.1 La section 8.2 de l'Annexe 14, Volume I, spécifie que pour une piste destinée à être utilisée lorsque la portée visuelle de piste (RVR) est inférieure à 550 m, les circuits électriques d'alimentation, d'éclairage et de commande des dispositifs lumineux doivent être conçus de façon que la défaillance d'un circuit ne prive pas le pilote de références visuelles adéquates et ne crée pas d'indications trompeuses. Pour cela, les systèmes d'approche et de balisage de la piste doivent être imbriqués dans au moins deux circuits. Les Figures 6-1 à 6-5 représentent des conceptions de circuits imbriqués destinés à améliorer l'intégrité. Chaque circuit d'un système imbriqué doit couvrir la totalité de la piste en service (toute la longueur) avec une disposition permettant de maintenir une distribution équilibrée et symétrique des feux de balisage après la perte d'un ou de plusieurs circuits.

6.1.2 Lorsque l'installation comprend des circuits imbriqués, il est important que les câbles et les transformateurs AGL soient correctement étiquetés.

6.2 AGENCEMENT DU POSTE ÉLECTRIQUE

6.2.1 L'imbrication est souvent perçue comme un diagramme de connexions faites à l'installation. Il est recommandé que ce principe se reflète au niveau du poste électrique et au-delà. Comme on peut le voir sur la Figure 6-1, les circuits et les régulateurs associés sont alimentés par des lignes séparées de façon que chaque circuit soit alimenté par un CCR distinct et que l'installation comprenne un CCR de secours qui peut être mis en service dans un minimum de temps. Les barres d'alimentation devraient être équipées de moyens de déconnexion automatique à utiliser en cas de défaillance.

6.2.2 Pour assurer encore mieux la disponibilité en cas de défaillance, l'installation devrait comporter un régulateur de secours, comme le montre la Figure 6-2. Cette disposition peut être utilisée dans le cas où le régulateur comprend un élément de régulation et des transformateurs d'entrée et de sortie. Si le régulateur n'a qu'une fonction de régulation, il devrait être monté sur panneau ou enfichable pour qu'on puisse lui substituer rapidement un régulateur de secours en cas de panne du régulateur principal.

6.3 RÉALISATION DE L'IMBRICATION

Note.— L'imbrication devrait être appliquée aux installations de balisage énumérées dans l'Annexe 14, Volume I, Tableau 8-1, comme l'indique le § 8.2.1 de l'Annexe.

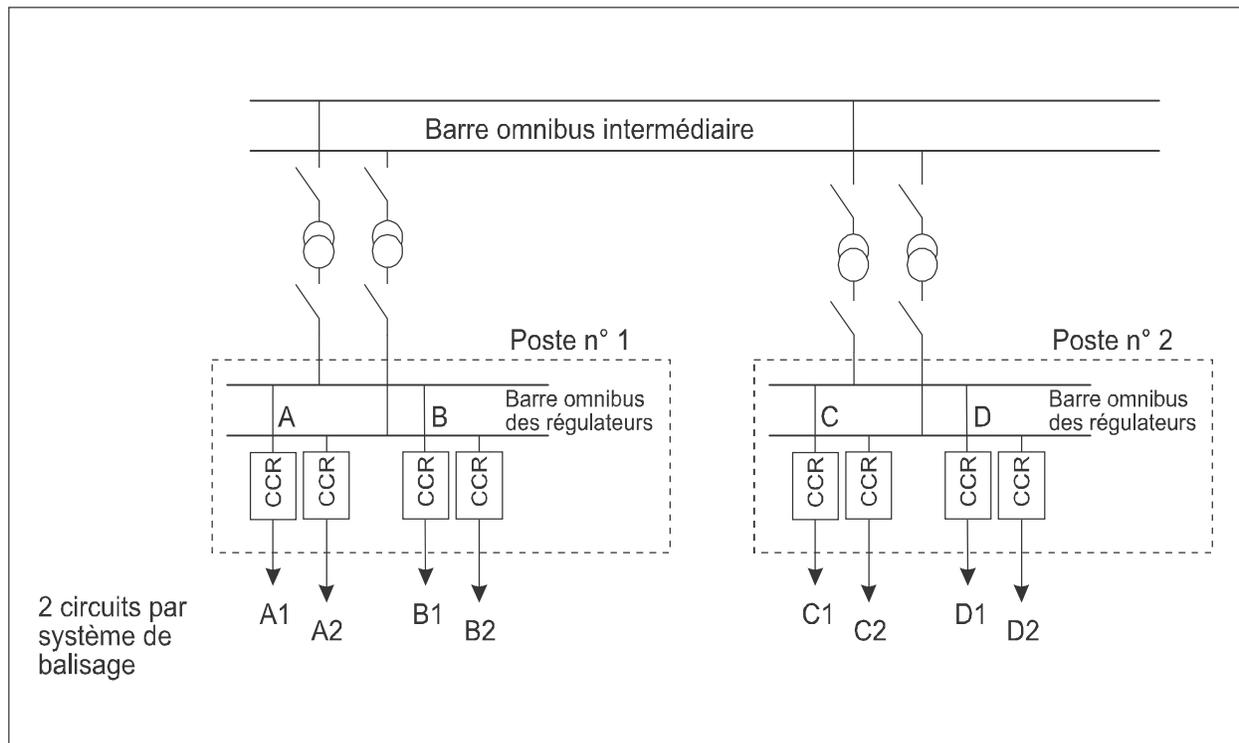


Figure 6-1. Disposition avec circuits imbriqués

Système de feux d'approche

6.3.1 La Figure 6-3 illustre l'imbrication des feux de balisage d'approche de type A (feux d'axe codés en distance) et type B (axe et barrette). Le système pour les opérations de catégorie I et le balisage supplémentaire pour les opérations de catégories II/III sont également représentés.

6.3.2 Les feux de seuil comprennent les feux associés au balisage de bord de piste et les feux associés au balisage d'approche. Les feux de seuil de piste comprennent les feux de début et de fin de piste de couleurs rouge et verte (dirigés en sens inverse) à chaque point de balisage. La Figure 6-3 montre les six feux de seuil requis pour une installation de catégorie I. Pour une installation de catégories II/III, les feux de seuil et de fin de piste sont plus nombreux (voir Figure 5-22 de l'Annexe 14, Volume I). Les feux de seuil et de fin de piste sont généralement imbriqués dans le circuit des feux de bord de piste. L'imbrication des feux de rampe d'approche comprend les feux de seuil verts unidirectionnels et les feux de barres latérales.

Balisage de l'axe de piste et de la zone de toucher des roues

6.3.3 L'Annexe 14, Volume I, prescrit pour l'axe de piste des feux blancs variables jusqu'à une distance de 900 m du seuil, puis des feux blancs et rouges alternés variables au-delà des 900 m (ou à partir de la moitié de la piste) jusqu'à 300 m de l'extrémité de la piste, après quoi les feux d'axe sont tous rouges pour le pilote. La Figure 6-5 (b) illustre l'imbrication des premiers feux blancs de ce système. L'imbrication serait la même pour la portion finale entièrement rouge.

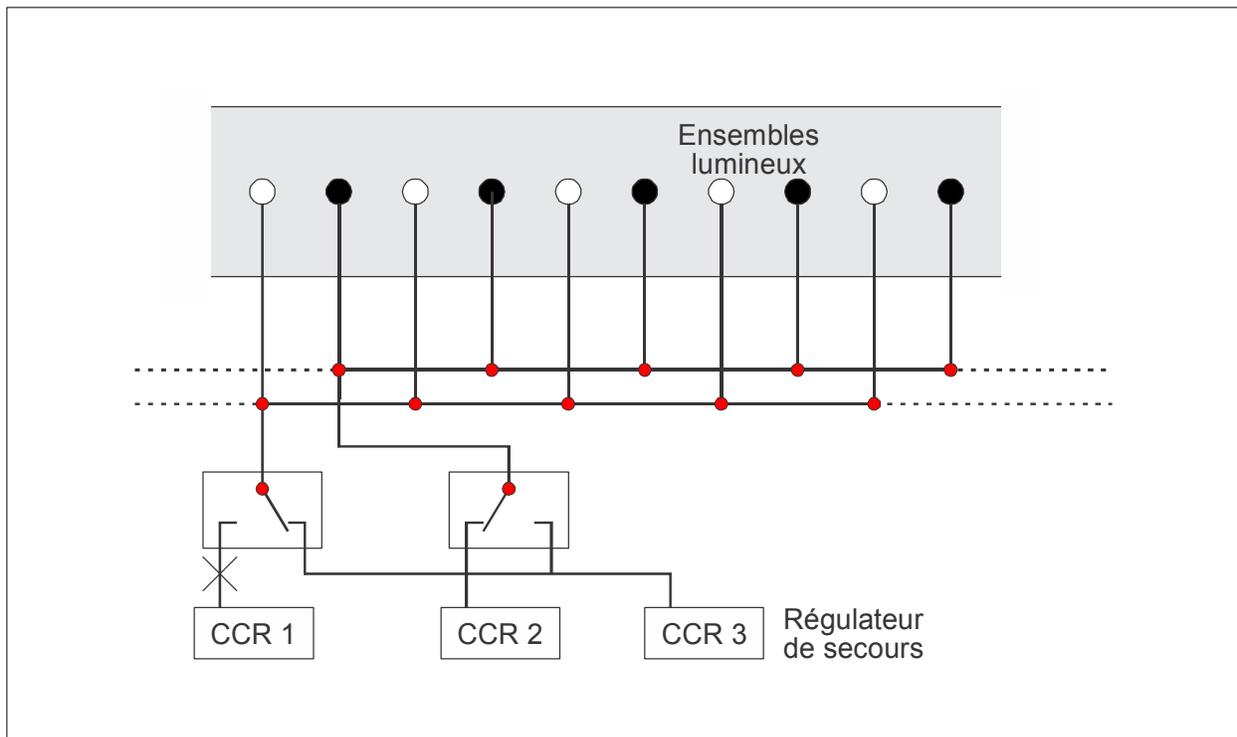


Figure 6-2. Utilisation d'un régulateur de secours

6.3.4 La Figure 6-4 illustre différents systèmes d'imbrication pour la partie intermédiaire codée blanc/rouge, selon les prescriptions de l'autorité locale. Si le code de couleur doit être préservé, voir la Figure 6-4 (a). Cependant, en cas de panne, l'imbrication a pour effet de tripler l'espacement des feux qui restent allumés. La Figure 6-4 (d) illustre un système d'imbrication pour des feux espacés de 7,5 m avec des paires de même couleur. La Figure 6-4 (b) ne préserve pas le code de couleur (selon le circuit en panne, les feux sont tous rouges ou tous blancs) mais conserve un espacement acceptable pour le guidage sur l'axe de la piste (l'espacement est cependant doublé en cas de panne d'un circuit).

6.3.5 La Figure 6-5 illustre également un système d'imbrication des feux de la zone de toucher des roues. L'imbrication préférée est celle de la Figure 6-5 (d), car elle maintient l'espacement longitudinal entre barrettes en cas de perte d'un circuit.

Balissage de l'axe des voies de circulation

6.3.6 Les feux de guidage sur l'axe des voies de circulation peuvent être imbriqués dans les portions considérées comme essentielles en catégories II/III, mais pour des raisons économiques, on utilise généralement un circuit unique sur les autres parties des voies.

6.3.7 Lorsque les feux d'axe de voie de circulation sont codés en vert/jaune pour indiquer la distance à parcourir pour quitter la zone ILS critique de la piste, ces feux peuvent être imbriqués par l'une des méthodes illustrées à la Figure 6-4, selon les prescriptions de l'autorité locale. Dans le cas des feux d'axe de piste, la Figure 6-4 (a) permet de préserver le code de couleur, mais multiplie par trois l'espacement normal des feux. La Figure 6-4 (b) ne fait que doubler l'espacement normal, mais ne préserve pas non plus le code de couleur, de sorte que le pilote qui doit quitter la piste ne verrait qu'une ligne de feux verts ou de feux jaunes. La méthode de la Figure 6-4 (c) préserve l'espacement normal,

mais a l'inconvénient d'être plus coûteuse. La méthode de la Figure 6-4 (d) est une variante qui préserve le code de couleur, avec un espacement normal si les feux sont espacés de la moitié de la norme (p. ex. 7,5 m au lieu de 15 m).

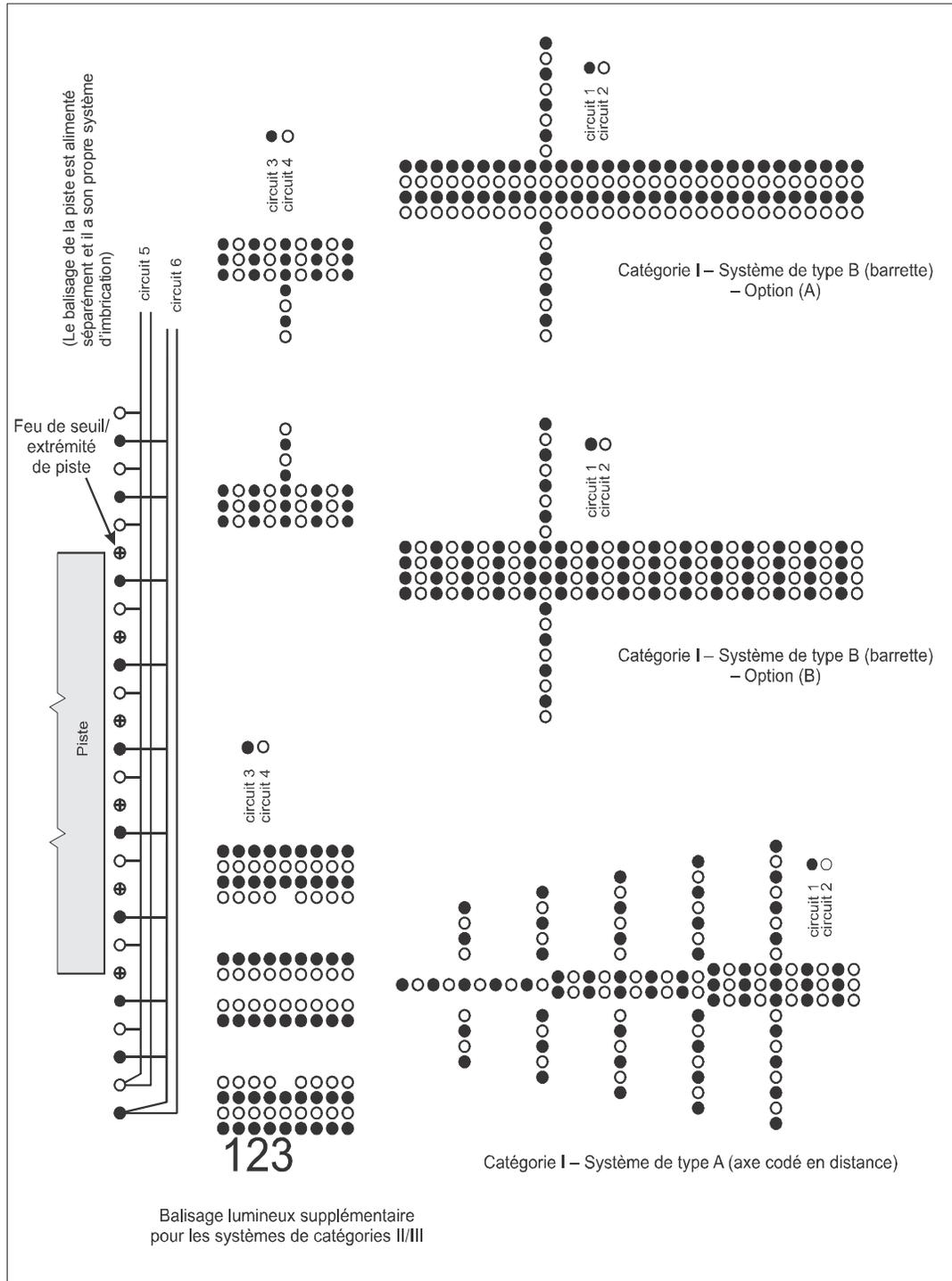


Figure 6-3. Imbrication des dispositifs lumineux d'approche de précision

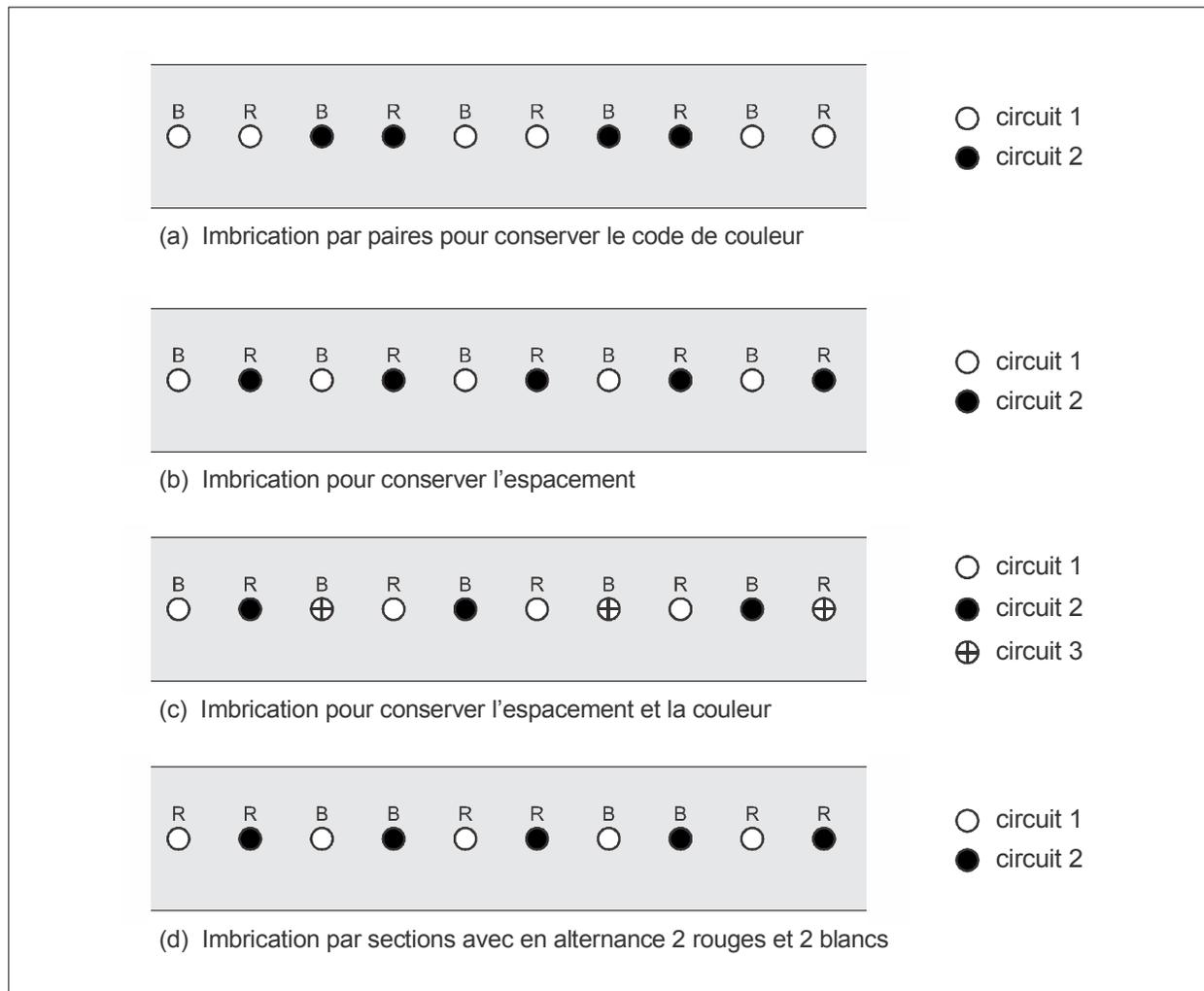


Figure 6-4. Imbrication de feux codés par couleurs

Barres d'arrêt

6.3.8 Les barres d'arrêt doivent être contrôlées indépendamment l'une de l'autre, et aussi des feux marquant l'axe de la voie de circulation. Ces circuits électriques devraient être imbriqués de façon à éviter une panne complète des feux de la barre d'arrêt.

6.3.9 Les barres d'arrêt sont normalement associées à des feux d'axe d'autorisation de franchissement. Les feux verts d'autorisation confirment une instruction vocale autorisant l'avion à franchir la barre d'arrêt lorsqu'elle s'éteint. Quand la barre d'arrêt est allumée, les feux d'axe de la voie situés au-delà de la barre s'éteignent sur une longueur d'au moins 90 m, et vice-versa. La commande et la surveillance des feux d'autorisation peuvent se faire au moyen d'interrupteurs adressables quand l'alimentation et l'éventuelle imbrication des feux d'axe de la voie de circulation sont présentes. Si les feux d'autorisation sont alimentés par un circuit autre que dédié, il est nécessaire de s'assurer que les circuits auxquels ces feux sont reliés seront actifs au moment de l'allumage des feux d'autorisation.

6.3.10 Pour plus de détails sur les barres d'arrêt, consulter le *Manuel de conception des aérodromes* (Doc 9157), 4^e Partie.

6.4 APPLICATIONS POSSIBLES DE L'IMBRICATION

Note.— Les installations suivantes ne sont normalement pas imbriquées, mais sont décrites ici pour le cas où leur imbrication serait rendue obligatoire par l'autorité locale.

Systèmes d'indication visuelle de la pente d'approche

6.4.1 Les systèmes d'indication visuelle de la pente d'approche devraient avoir deux circuits par extrémité de piste lorsqu'ils sont utilisés conjointement avec un système ILS.

6.4.2 Normalement, le PAPI est installé sur le côté gauche de la piste. Si l'indicateur visuel de pente d'approche est un PAPI ou un T-VASI complet, installé des deux côtés de la piste, tous les ensembles lumineux du même côté de la piste devraient être alimentés par le même circuit. Cette disposition garantit qu'en cas de panne d'un circuit, l'indicateur conserve sa configuration complète de l'autre côté de la piste.

6.4.3 Lorsque des indicateurs visuels de pente d'approche sont installés sur un seul côté de la piste, comme un PAPI et un AT-VASI, certaines des lampes de chaque ensemble lumineux devraient être branchées sur l'un des circuits et le reste sur l'autre circuit afin de conserver l'intégrité de la configuration. La perte de l'une des lampes d'un ensemble lumineux se traduira par une intensité réduite. Les indicateurs visuels de pente d'approche devraient être mis hors tension dans le cas où la perte complète d'un ensemble lumineux pourrait produire des signaux pouvant prêter à confusion.

Signaux de position d'attente de piste

6.4.4 Si l'imbrication est prescrite, les signaux de position d'attente de piste devraient être installés de manière à être alimentés par des circuits séparés de part et d'autre de la voie de circulation.

Feux indicateurs de voie de sortie rapide

6.4.5 Les feux indicateurs de voie de sortie rapide (RETIL) sont un système constitué d'une série de feux encastrés dans la piste pour indiquer l'approche d'une sortie rapide. Dans la mesure où ce système ne comprend qu'un petit nombre de feux qui sont tous nécessaires pour coder la distance, le système RETIL ne devrait pas être imbriqué, mais alimenté par un circuit unique avec un régulateur à courant constant séparé.

6.4.6 La fonctionnalité du système RETIL dépend du nombre de feux de barrettes consécutives et la défaillance d'un seul feu d'une barrette entraîne une panne du système. Il est donc recommandé que le système comporte un moyen d'extinction automatique de l'ensemble des feux en cas de perte de l'un d'entre eux.

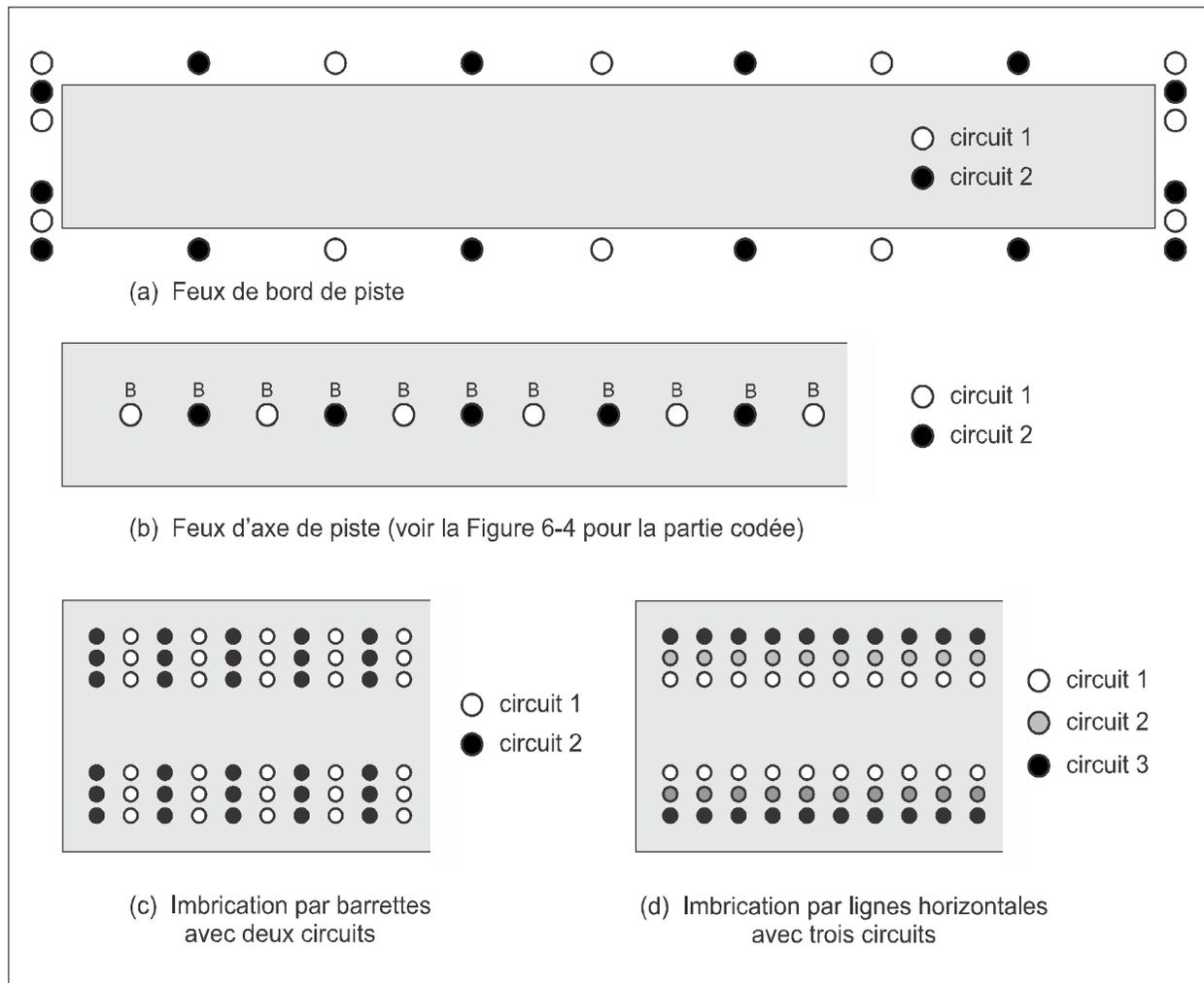


Figure 6-5. Balisage des bords de piste, de l'axe et de la zone de toucher des roues

Feux de protection de piste

6.4.7 Les feux de protection de piste (RGL) doivent être alimentés par des circuits séparés de ceux de la piste ou de la voie de circulation associée. Ils ne doivent pas être reliés au circuit de balisage de la piste ou de la voie pour des raisons d'incompatibilité du niveau de luminosité, mais aussi parce que les feux de protection de piste peuvent être nécessaires quand le balisage de la piste ou de la voie est éteint.

6.4.8 Si l'imbrication est utilisée, les RGL en configuration A (hors sol) sont imbriqués de manière qu'un circuit soit utilisé de chaque côté de la position d'attente.

6.4.9 Si l'imbrication est utilisée, les RGL en configuration B (encastrés) sont imbriqués avec des connexions pour les paires de feux, de façon à respecter le rythme de clignotement différent. Par exemple, c1, c1, c2, c2, c1, c1, c2, c2.

Feux de guidage vers une voie de circulation ou une piste

6.4.10 Les feux de guidage verts vers une voie de circulation ou une piste n'ont pas besoin d'être imbriqués car leur fonction est simplement de confirmer l'instruction vocale d'avancer. Toutefois, s'ils sont imbriqués, il peut y avoir deux circuits, comme pour les feux d'axe de piste de couleur unique, et comme le montre la Figure 6-5 (b).

6.4.11 Si les feux de guidage vers une voie de circulation sont codés en couleur, d'autres circuits peuvent être nécessaires pour respecter le codage en cas de perte d'un circuit.

6.5 COMMUTATION SÉLECTIVE DES CIRCUITS DES VOIES DE CIRCULATION

Pour guider le cheminement des avions au sol, les feux axiaux des voies de circulation peuvent être reliés à des circuits permettant une commutation sélective des segments de voie en différents points de l'aérodrome. Cette capacité peut être obtenue en utilisant un régulateur à courant constant pour chaque segment ou en reliant plusieurs segments à un même régulateur, avec des relais situés soit sur le terrain, soit à la sortie du régulateur, commandant le ou les segments désirés. Pour l'ATS, la commutation des segments du circuit peut se faire de différentes manières, telles que :

- a) des interrupteurs ou des boutons commandant individuellement chaque tronçon. Les interrupteurs de commande peuvent être disposés sur un schéma synoptique du tableau de commandes de l'aéroport de manière que le personnel ATC puisse visualiser l'itinéraire sélectionné. On pourrait aussi utiliser un écran tactile présentant un schéma des voies de cheminement de l'aéroport ;
 - b) des commandes regroupées de manière qu'un seul interrupteur du tableau allume tous les segments le long de l'itinéraire désigné ;
 - c) un ordinateur programmé de façon à sélectionner automatiquement et à baliser l'itinéraire optimal une fois que le contrôleur a désigné la sortie de piste à emprunter et le point de stationnement de l'avion.
-

Chapitre 7

RÉGULATEURS À COURANT CONSTANT

Note.— Les régulateurs à courant constant sont visés par la norme CEI 61822.

7.1 TYPES DE RÉGULATEURS À COURANT CONSTANT

7.1.1 La plupart des systèmes de balisage lumineux d'aérodrome (circuits série) sont alimentés par des régulateurs à courant constant (CCR) qui facilitent le maintien d'une intensité lumineuse constante sur de grandes distances, comme dans le cas d'une longue piste. Le rôle des régulateurs est de maintenir une intensité constante indépendamment des variations de la charge du circuit et des fluctuations de tension de la source d'alimentation. Ils peuvent aussi fournir deux ou plusieurs niveaux d'intensités de sortie pour répondre aux conditions d'éclairage dans lesquelles l'intensité lumineuse des feux doit être réduite. Quelques types de régulateurs couramment employés pour le balisage lumineux des aérodromes sont décrits ci-après.

Régulateur à bobine mobile

7.1.2 Les régulateurs à bobine mobile servent depuis de nombreuses années à alimenter les circuits série, en particulier pour l'éclairage des rues. Ils comprennent des bobines primaire et secondaire séparées et libres de se déplacer l'une par rapport à l'autre, en faisant ainsi varier la réactance des fuites magnétiques entre les circuits d'entrée et de sortie. Cette réactance s'ajuste automatiquement à une valeur qui, ajoutée à l'impédance de la charge, maintient un courant constant. Quand l'intensité voulue est atteinte, le courant du circuit de sortie engendre une force de répulsion qui fait flotter la bobine mobile à une position stable correspondant à cette intensité. Il se crée ainsi un état d'équilibre mécanique tel que la force de répulsion compense exactement le poids de la bobine mobile. Le réglage de l'intensité se fait au moyen d'un contrepoids, comme le montre la Figure 7-1. Toute variation de la charge ou de la tension d'entrée est immédiatement contrée par un déplacement de la bobine flottante qui rétablit l'équilibre électrique et mécanique. Le réglage de l'intensité s'obtient grâce à l'utilisation d'un transformateur à prises connecté aux bornes de sortie du régulateur. Le principal inconvénient de ce type de régulateur provient du déplacement mécanique des bobines et des médiocres facteurs de puissance obtenus pour des charges inférieures à la charge nominale. À 50 % de la charge nominale, le facteur de puissance peut tomber à 75 % ou moins. De plus, ce type de régulateur électromécanique a besoin d'être installé avec précision en position verticale et d'être protégé contre les vibrations.

Régulateur monocyclique carré à réseau résonant

7.1.3 Le régulateur monocyclique carré est un régulateur à courant constant de type statique (sans pièces mobiles). Le réseau régulateur de courant est généralement constitué de deux réactances inductives et de deux réactances capacitives, ayant des valeurs égales (résonance) à la fréquence d'alimentation, qui sont disposées dans un circuit en pont. Avec un tel réseau, le courant secondaire est indépendant de l'impédance de la charge. Le réglage d'intensité peut se faire par un transformateur à prises monté à l'entrée ou à la sortie, ou par un transformateur d'entrée à variation continue. Ce type de régulateur présente le double avantage de ne pas comporter de pièces mobiles et d'avoir un bon facteur de puissance. Ses inconvénients sont qu'il ne compense pas les variations de la tension d'entrée et que la régulation peut être perturbée par les effets de charges créant des harmoniques à haute fréquence dans le circuit résonant, par exemple les secondaires en circuit ouvert des transformateurs d'isolement série et les tubes à gaz (voir Figure 7-2).

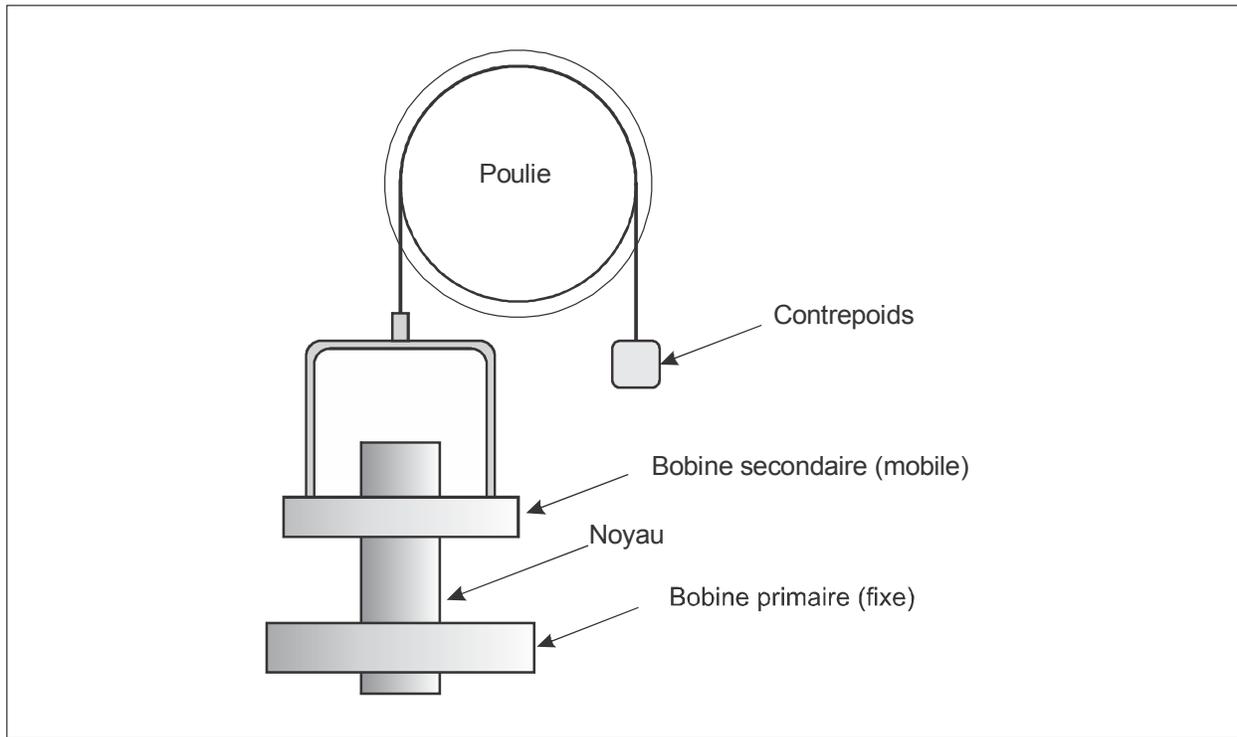


Figure 7-1. Régulateur à bobine mobile

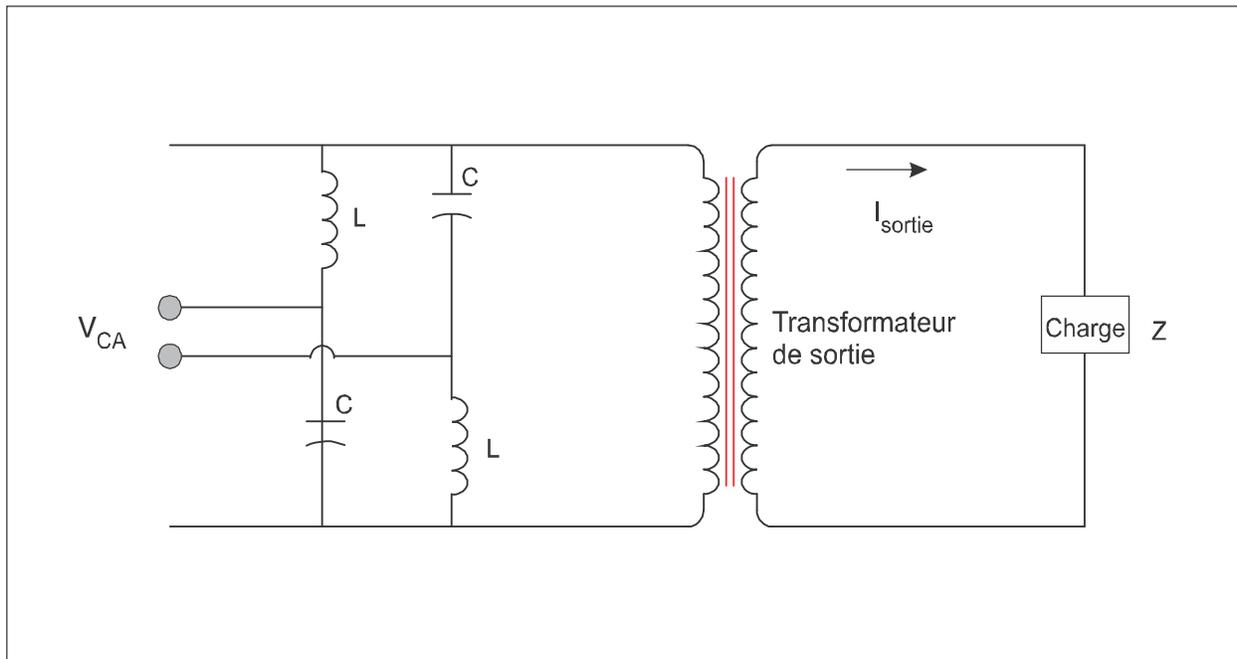


Figure 7-2. Régulateur à réseau résonant

Régulateur à réactance saturable

7.1.4 Le régulateur à réactance saturable comprend deux réactances saturables, un transformateur d'isolement principal, un circuit de commande et un transformateur de sortie. La réactance d'entrée des réactances saturables est réglée automatiquement par un courant continu et les deux réactances combinées au transformateur de sortie constituent un diviseur de tension qui sert à réguler le courant de charge. En détectant le courant de sortie du régulateur, il est possible de compenser les fluctuations de la tension primaire et les fréquences harmoniques causées par les secondaires ouverts des transformateurs d'isolement. Cette compensation assure une meilleure régulation du courant et empêche que le courant du secondaire dépasse sa valeur nominale, ce qui aurait pour effet d'abrégé la durée de vie des lampes (voir Figure 7-3).

Régulateur à courant constant avec commande à thyristors

7.1.5 Ce type de régulateur utilise un circuit alternatif à semi-conducteurs pour régler la réactance de fuite du transformateur. Cette technique permet, avec de faibles niveaux de commande, d'obtenir un courant constant avec des régulateurs ayant les caractéristiques électriques des circuits résonants série à tension constante. La commande par circuit à semi-conducteurs permet d'obtenir un régulateur compact à réponse ultrarapide avec un facteur de puissance élevé, et dont les circuits de commande sont faciles à entretenir.

7.1.6 Ce type de régulateur utilise une commande par thyristors (SCR). Comme le montre la Figure 7-4, le rôle des SCR est de « hacher » la tension d'alimentation, ce qui a pour effet de réduire la valeur efficace (RMS) du courant.

Régulateur à ferrorésonance

7.1.7 Le régulateur à ferrorésonance est essentiellement un CCR à réseau résonant amélioré pour y ajouter la compensation des variations de la tension d'entrée et la réduction des harmoniques produits dans le circuit aval. Le signal de commande est produit par un processeur de signal numérique (DSP) qui maintient le courant de sortie au niveau désiré pour l'intensité lumineuse.

7.1.8 Le temps de réaction d'un CCR à ferrorésonance est plus rapide que celui d'un CCR à thyristors, car le courant de sortie est directement régulé par le circuit de commande et les bobinages de contrôle. Il en résulte que le courant de sortie n'est pas sensible aux clignotements ni à la commutation des charges. Le DSP et le circuit de commande peuvent répondre rapidement et avec précision à toute variation de l'entrée ou de la sortie pour maintenir un courant constant. Cependant, du fait de la grosseur et de la spécialisation du transformateur à ferrorésonance, l'ensemble est plus gros, plus lourd et plus coûteux qu'un CCR à thyristors (voir Figure 7-5).

Régulateur à modulation d'impulsions en largeur

7.1.9 L'une des technologies les plus prometteuses pour l'alimentation des aides visuelles d'aérodrome est la modulation d'impulsions en largeur (PWM), qui est de plus en plus utilisée dans les variateurs de vitesse industriels et qui, avec une conception soignée, peut assurer une extrême précision et un contrôle total. Elle s'applique aux installations de balisage à DEL.

7.1.10 Le principe de base d'un circuit d'alimentation PWM consiste à redresser l'alimentation en un courant continu. Ce courant est ensuite lissé et filtré, puis appliqué à un étage onduleur. L'étage onduleur reconvertisse le courant continu en un courant alternatif, mais à très haute fréquence. La haute fréquence est ensuite commutée par des transistors bipolaires à grille isolée (IGBT) pour créer la forme d'onde de sortie désirée. Avec cette conception moderne, il est possible d'assurer une correction continue du facteur de puissance au moyen d'un pré-régulateur survolteur et d'un onduleur à haute performance. On peut ainsi maintenir des facteurs de puissance très élevés, proches de l'unité, même à des charges très basses. Le courant de sortie du régulateur présente de très faibles distorsions et un minimum d'harmoniques.

7.1.11 Avec des modifications appropriées du programme interne et de l'interface matérielle, le même processeur de signal numérique (DSP) que dans les régulateurs à ferrorésonance et à thyristors peut servir à commander un régulateur PWM (voir Figure 7-6).

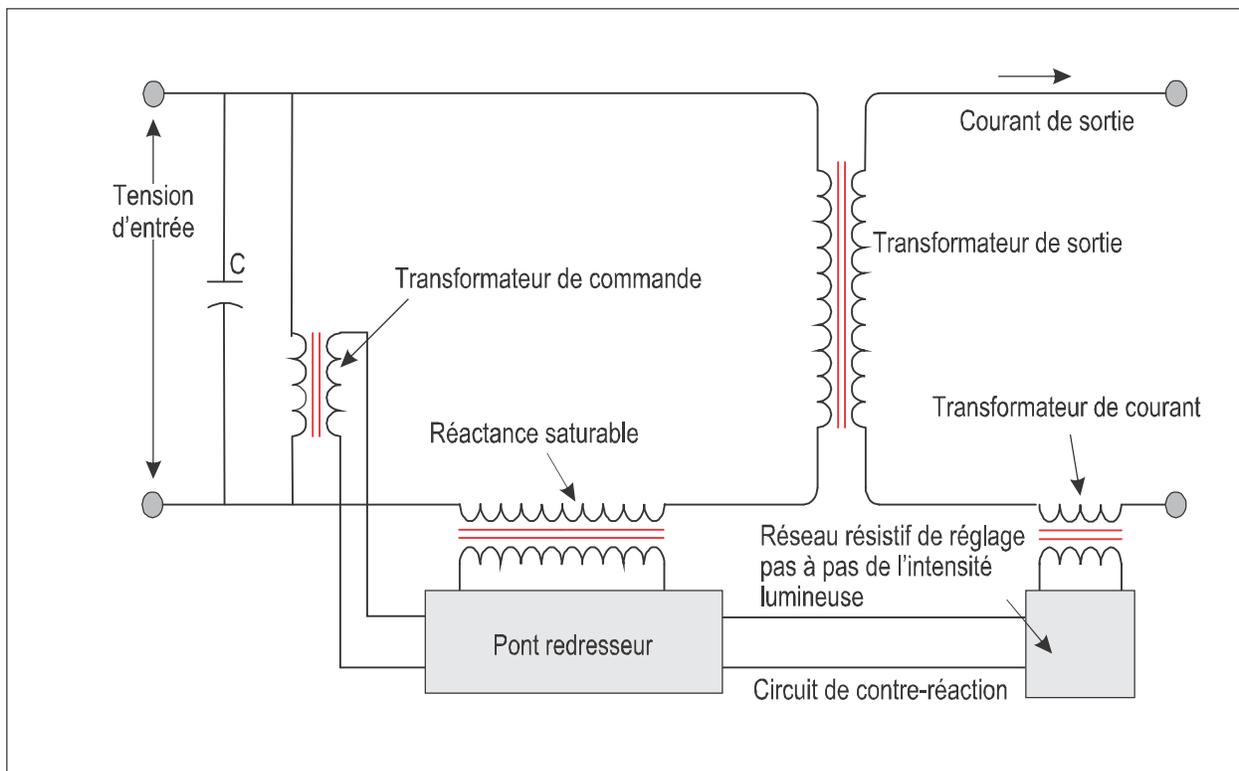


Figure 7-3. Régulateur à réactance saturable

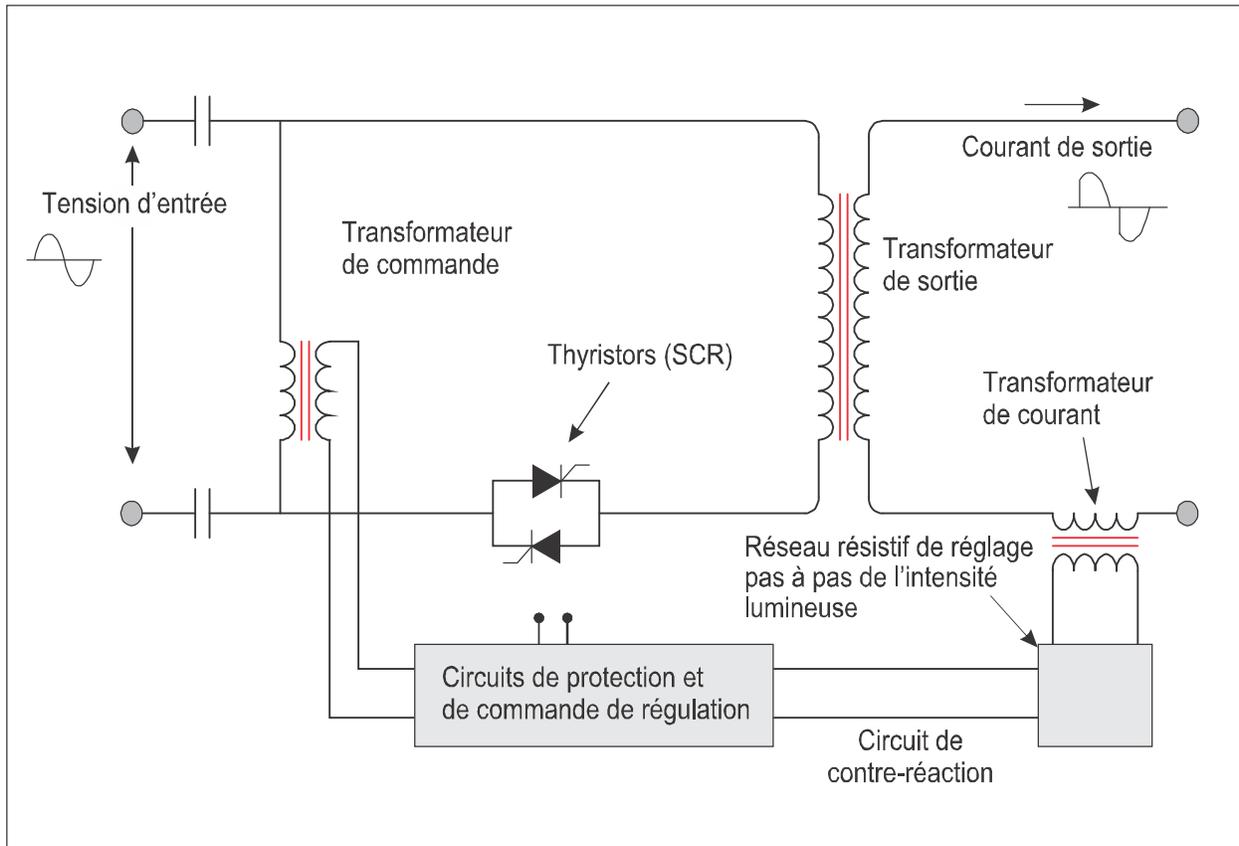


Figure 7-4. Régulateur à thyristors (SCR)

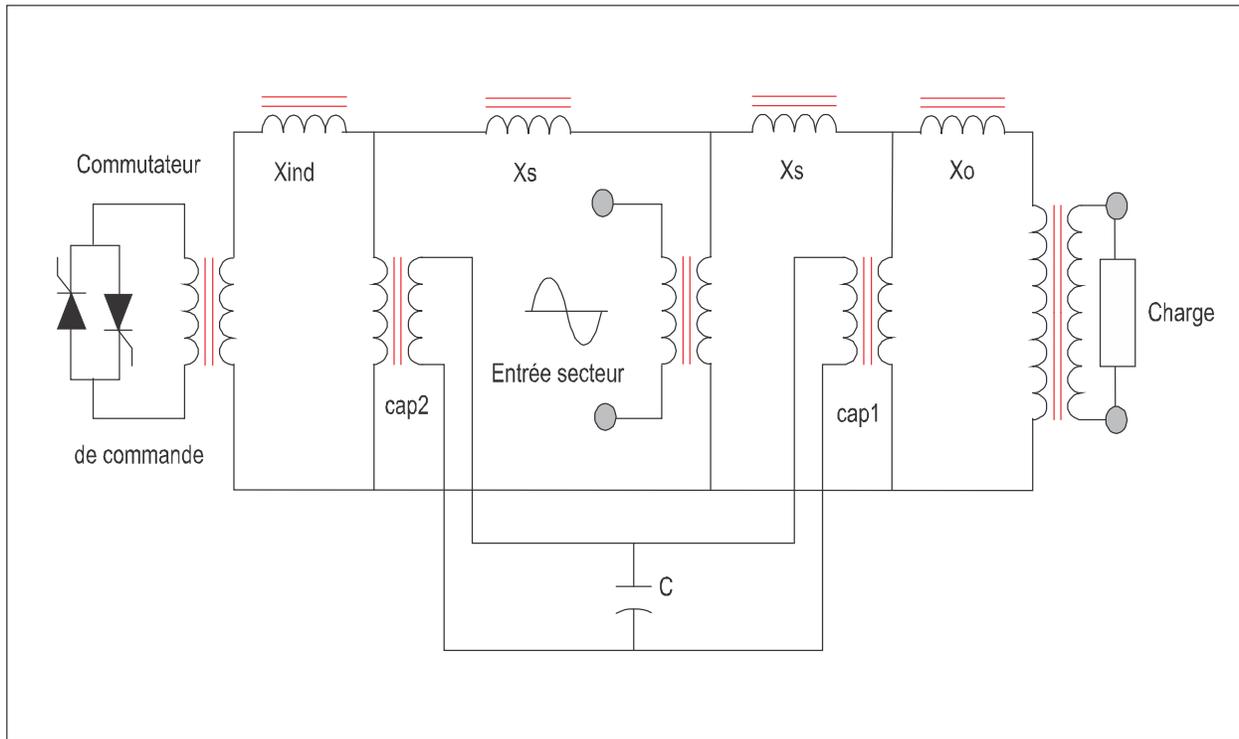


Figure 7-5. Régulateur à ferrorésonance

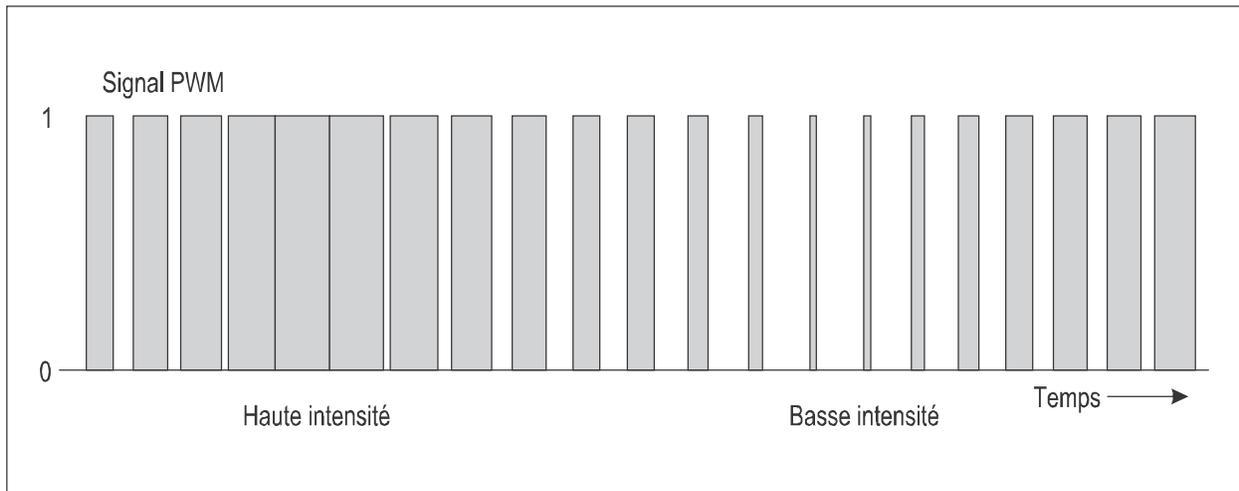


Figure 7-6. Modulation delta pour produire le signal PWM

- 7.1.12 Les régulateurs PWM offrent plusieurs avantages par rapport aux différents types de CCR actuels :
- a) encombrement réduit par rapport à la technologie à ferrorésonance ;
 - b) temps de réponse de l'ordre de la microseconde, comparé à la milliseconde avec les thyristors ;
 - c) faibles harmoniques et facteur de puissance proche de l'unité à tous les régimes de fonctionnement ;
 - d) sortie stable malgré les baisses de la tension d'alimentation.

7.2 CARACTÉRISTIQUES DE FONCTIONNEMENT DES RÉGULATEURS À COURANT CONSTANT

Les régulateurs à courant constant qui alimentent les circuits de balisage lumineux d'aérodrome doivent répondre aux spécifications générales suivantes :

- a) maintenir une intensité constante du courant de sortie à ± 2 % près pour toutes les valeurs comprises entre la moitié et la pleine charge nominale, même avec 30 % des transformateurs d'isolement ayant leur secondaire en circuit ouvert ;
- b) indiquer un défaut à la terre sur le circuit, tout en permettant à celui-ci de fonctionner normalement s'il n'y en a qu'un seul ;
- c) avoir un degré de fiabilité élevé, donc ne pas comporter de pièces mobiles ;
- d) avoir un dispositif de détection de circuit ouvert qui coupe la tension au primaire en moins de 2 secondes et nécessite un réenclenchement du régulateur ;
- e) réagir en moins de 15 cycles aux changements du circuit aval ;
- f) comporter un dispositif de sécurité qui déconnecte le régulateur ou assure une réduction en cas de surintensité ;
- g) fournir le nombre voulu de niveaux de réglages d'intensité ou une commande à variation continue, selon les besoins. Le régulateur doit être conçu de manière qu'on puisse régler l'intensité sans le mettre hors tension ;
- h) isoler électriquement le circuit d'alimentation (primaire) du circuit de balisage (secondaire) ;
- i) avoir des caractéristiques dynamiques permettant un réarmement rapide en cas de perte de la tension d'entrée, conformément aux prescriptions de l'Annexe 14, Volume I, Tableau 8-1, relatives au délai de commutation ;
- j) être capable de fonctionner en continu à pleine charge par des températures ambiantes allant de -40 °C à $+55$ °C, avec une humidité relative comprise entre 10 et 100 %, et jusqu'à 2 000 m d'altitude.

7.3 CARACTÉRISTIQUES NOMINALES DES RÉGULATEURS À COURANT CONSTANT

7.3.1 Les caractéristiques suivantes des régulateurs à courant constant sont données à titre d'exemple.

Puissance

7.3.2 Charge de sortie (au secondaire) comprise entre 1 et 70 kW. Il existe de nombreux types de régulateurs dans cette gamme.

Courant secondaire (sortie)

7.3.3 Les valeurs de courant les plus fréquentes sont 6,6 et 20 A. On utilise souvent des régulateurs qui débitent 6,6 A jusqu'à un maximum de 30 kW de charge, et 20 A au-dessus de 30 kW. La tendance actuelle est d'utiliser plutôt des lampes à 6,6 A et la liste ci-après ne donne les niveaux d'intensité lumineuse que pour ce mode de fonctionnement.

Étagement des niveaux d'intensité

7.3.4 Le Tableau 7-1 donne la liste des niveaux d'intensité pour les régulateurs à courant constant à trois et cinq niveaux. On pourra utiliser plus de niveaux selon la pratique locale. Pour un circuit standard à 6,6 A, on peut considérer qu'une intensité inférieure à 2,3 A ne produira pas de lumière visible et le pilote aura l'impression que le balisage est éteint. Une pratique courante est de fixer le niveau normal à 80 % pour économiser de l'électricité et prolonger la durée de vie des lampes, étant donné que la différence d'intensité lumineuse est à peine perceptible dans les conditions de visibilité normales. Pour les feux à DEL alimentés par PWM, les niveaux d'intensité sont définis par le facteur de modulation, plutôt que par des paliers de courant.

Tableau 7-1. Niveaux d'intensité nominaux pour la sortie du CCR

Style	Niveau d'intensité	Intensité nominale A_{eff} (RMS)	Plage admissible A_{eff} (RMS)
CCR à trois niveaux	3	6,60	6,50 – 6,70
	2	5,50	5,40 – 5,60
	1	4,80	4,70 – 4,90
CCR à cinq niveaux	5	6,60	6,50 – 6,70
	4	5,20	5,10 – 5,30
	3	4,10	4,00 – 4,30
	2	3,40	3,30 – 3,50
	1	2,80	2,70 – 2,90

Fréquence

7.3.5 Selon la valeur imposée par la fréquence de l'alimentation principale, généralement 50 ou 60 Hz.

Tension primaire

7.3.6 Dans un État, on utilise comme tension primaire le 240 V jusqu'à 30 kW et le 2 400 V entre 10 et 70 kW. D'autres tensions peuvent être utilisées ailleurs. La tendance générale est d'adopter une valeur moyenne, comme 600 V, qui nécessite moins d'équipement spécial, comme les disjoncteurs d'entrée.

7.4 PROTECTION CONTRE LES CIRCUITS OUVERTS ET LES SURINTENSITÉS

Dans les circuits série, les connexions doivent faire l'objet de soins particuliers pour assurer la continuité du circuit et éviter les défauts à la terre. Un défaut de circuit ouvert dans le primaire empêche le fonctionnement de tous les feux alimentés par ce circuit et peut endommager le régulateur lui-même. En conséquence, les régulateurs à courant constant sont équipés d'une protection contre les circuits ouverts. Les variations transitoires causées par la commutation des circuits à haute inductance peuvent parfois déclencher la protection de surintensité du régulateur. Il faut cependant savoir que les dispositifs de protection contre les surintensités ne doivent normalement pas réagir à un court-circuit passager dans un circuit de type série. C'est la raison pour laquelle le personnel doit suivre un entraînement spécial avant d'être admis à travailler sur les circuits série de balisage.

Chapitre 8

CALCULS DE CHARGE/DIMENSIONNEMENT DES RÉGULATEURS

8.1 GÉNÉRALITÉS

Le présent chapitre examine le calcul des charges du circuit dans le but de choisir la capacité du régulateur à courant constant. Dans certains cas, le concepteur peut se baser simplement sur une installation similaire existante pour la capacité du régulateur, mais une vérification numérique est recommandée. Une installation de balisage installée antérieurement avec des régulateurs de 4 kW peut nécessiter dans un autre cas des régulateurs de 7,5 kW à cause de la plus grande longueur des câbles d'alimentation. Le calcul de la charge du régulateur doit prendre en considération la charge représentée par les lampes, la tolérance des lampes, le rendement du transformateur d'isolement, les pertes dans les câbles secondaires, les pertes dans les câbles primaires et les pertes dans les câbles d'alimentation.

Note.— Les fabricants peuvent proposer des logiciels de calcul des charges.

8.2 TYPES DE CHARGES

8.2.1 Les calculs doivent tenir compte des types de charges suivants :

- a) *Charge des lampes.* Il s'agit de la consommation nominale des ampoules.
- b) *Charge des lampes vue du primaire.* Il s'agit de la charge des lampes, plus la tolérance, multipliée par le rendement du transformateur d'isolement, vue du côté primaire du transformateur. La production industrielle des ampoules ne permet pas de garantir que la consommation (watts) sera celle qui est inscrite sur l'ampoule. Le Tableau 8-1 donne les marges de tolérance à prendre en considération.

Tableau 8-1. Tolérances sur la puissance des lampes

<i>Puissance nominale (W)</i>	<i>Tolérance (%)</i>	<i>Puissance maximale réelle (W)</i>
30	8	32,4
45	8	48,6
200	7	214,0
250	6	265,0

- c) *Charge des câblages secondaires.* Il s'agit de la charge résistive des câbles secondaires au transformateur d'isolement des feux. Pour des câbles incorporés dans la chaussée, ces charges peuvent être relativement importantes. Dans le cas des feux de bord de piste équipés d'un transformateur d'isolement adjacent, elles peuvent être ignorées car les pertes sont insignifiantes. Par contre, pour les dispositifs lumineux d'approche montés sur des pylônes, la résistance du circuit secondaire peut prendre des valeurs relativement élevées. Une fois que la charge secondaire (lampes et câblage) a été déterminée, elle peut être reportée au primaire du transformateur d'isolement, en y ajoutant les pertes de rendement éventuelles du transformateur lui-même. Le rendement varie avec la charge des lampes, comme l'indique le Tableau 8-2.
- d) *Charge des câblages primaires.* Il s'agit de la charge résistive dans les câblages primaires entre les postes de balisage lumineux. Le Tableau 8-3 donne la liste des valeurs de résistance pour les différents calibres AWG. Ce tableau peut aussi servir à déterminer les charges dans les câblages secondaires et les câblages d'alimentation.

Tableau 8-2. Rendement du transformateur d'isolement

<i>P nominale transfo (W)</i>	<i>P nominale lampe (W)</i>	<i>Rendement (%)</i>
30/45	30	70
30/45	45	77
200	200	90
250	250	89

Tableau 8-3. Résistance des conducteurs de cuivre

<i>Calibre métrique CEI 60228</i>	<i>Numéro AWG</i>	<i>Section en mm²</i>	<i>Ohms/km à 20 °C (*)</i>	<i>Ohms par 1 000 ft à 25 °C</i>
25	4	25,000	0,690	0,2533
		21,151	0,815	
16	6	16,000	1,078	0,4023
		13,302	1,296	
10	8	10,000	1,724	0,6401
		8,366	2,060	
6	10	6,000	2,873	1,018
		5,261	3,277	

Calibre métrique CEI 60228	Numéro AWG	Section en mm ²	Ohms/km à 20 °C (*)	Ohms par 1 000 ft à 25 °C
4		4,000	4,310	1,622
	12	3,309	5,210	
2,5		2,500	6,896	
	14	2,081	8,284	2,5756
1,5		1,500	11,493	4,084
	16	1,309	13,170	

(*) Résistance à 20 °C basée sur une résistivité $\rho = 1,724 \cdot 10^{-8}$ ohms-m²/m.

Note.— En règle générale, dans les circuits série à 6,6 A les conducteurs utilisés pour les câblages secondaires sont de section métrique 4 mm² ou 12 AWG. Pour les câblages primaires, on peut utiliser des conducteurs de section métrique 10 mm² ou 8 AWG.

- e) *Charge des câblages d'alimentation.* La charge résistive des câblages d'alimentation reliant le premier feu et le dernier feu de la boucle au régulateur à courant constant. La longueur des câblages d'alimentation est le double de la distance qui sépare le poste régulateur du circuit de balisage, en supposant que le premier feu et le dernier feu sont pratiquement adjacents.

8.3 CALCUL DE LA CHARGE DE L'INSTALLATION DE BALISAGE

Le calcul de la charge d'une installation de balisage à circuit série peut se faire au moyen de graphiques ou par des calculs mathématiques. Divers graphiques sont disponibles, mais leur logique d'élaboration n'est pas décrite et ils ne sont donc pas transposables à des installations autres que celles pour lesquelles ils ont été préparés. La méthode mathématique est donc préférable.

8.4 EXEMPLE DE CALCUL

Tableau 8-4. Conditions

Puissance nominale par feu	P = 45 W
Tolérance sur la puissance par feu (selon le Tableau 8-1 : 45 W)	$\delta = +8 \%$ (facteur de 1,08)
Courant circulant dans le circuit série	I = 6,6 A
Rendement du transformateur série	$\eta = 0,77$ (valeur typique pour un transfo 30/45 W)

Résistivité (cuivre)	$\rho = 1,724 \times 10^{-8}$ ohm-m à 20 °C
Puissance du module commande/surveillance	$P_M = 7$ W
Longueur du câblage secondaire	$L_S = 40$ m
Section du câblage secondaire	$A_S = 4$ mm ² = 4×10^{-6} m ²
Nombre de feux	$N = 40$
Longueur du câblage primaire	$L_P = 1\ 600$ m (p. ex. longueur de la piste)
Distance pour le câblage d'alimentation	$L_F = 1\ 000$ m (deux longueurs par boucle de circuit)
Section du câblage primaire	$A_{PC} = 6$ mm ²
Section du câblage d'alimentation	$A_{FC} = 6$ mm ²

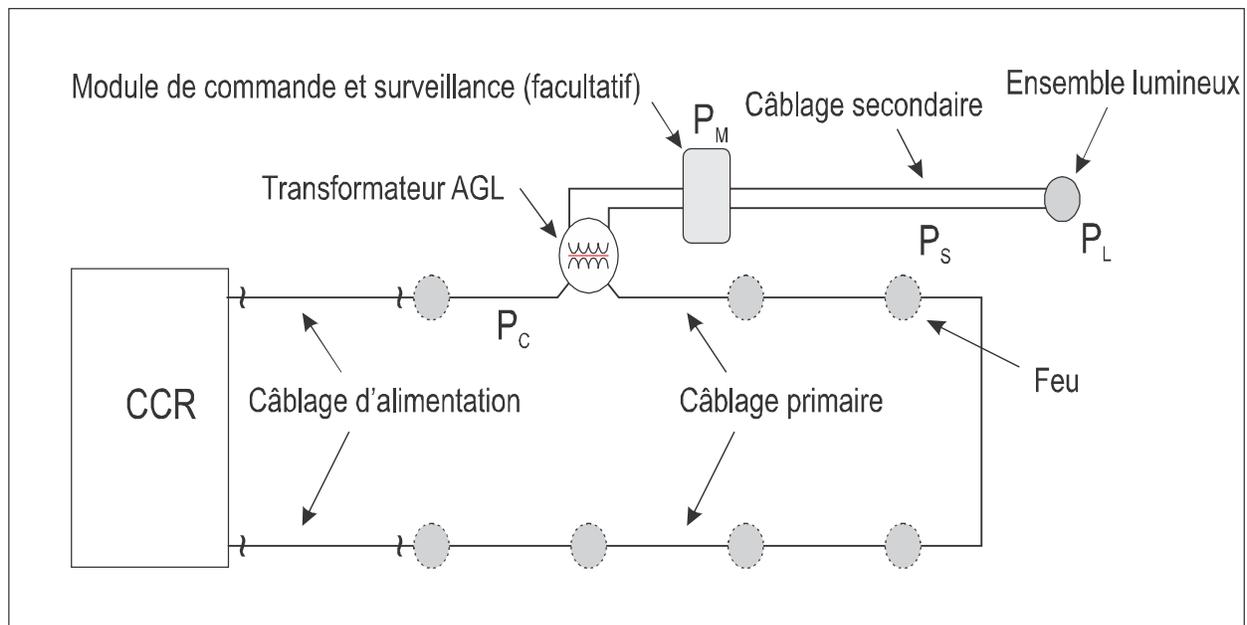


Figure 8-1. Charges du circuit

8.4.1 Dans les conditions du Tableau 8-4 et de la Figure 8-1 ci-dessus, calculons les besoins électriques :

- a) La résistance d'un fil augmente avec la longueur et diminue avec la section. Elle dépend également du métal du conducteur (résistivité). Expression de la résistance :

$$R = \rho * L/A$$

dans laquelle :

R est la résistance électrique du conducteur (en ohms, Ω)

ρ est la résistivité statique (en ohm/mètre, Ωm)

L est la longueur du câble (en mètres, m)

A est la section du conducteur (en mètres carrés, m^2)

b) Charge des lampes :

$$P_L = W \text{ lampe} * \text{tolérance lampe} = 45 * 1,08 = 48,6 \text{ W}$$

c) Pertes dans le câblage secondaire (basse tension) pour un conducteur de 4 mm^2 :

longueur conducteur = 2 * longueur géométrique = 80 m

$$R_S = \rho * 10^6 * \text{long.}/\text{section en m}^2 = 1,724 \times 10^{-8} * 80 \text{ m}/4 \times 10^{-6} = 0,3448 \text{ ohm}$$

$$P_S = R_S * I^2 = 0,3448 \text{ ohm} * (6,6 \text{ A})^2 = 15,2 \text{ W}$$

d) Si le système utilise un module de commande et surveillance, ajouter 7 W.

e) Pertes totales dans le câblage secondaire, par ensemble lumineux :

$$P_2 = \text{charge lampe} + \text{module} + \text{pertes câbles} = 48,6 + 7 + 15,2 = 70,8 \text{ W}$$

f) Perte dans le circuit secondaire vue du côté primaire :

$$P_1 = P_2 / \text{rendement transformateur} = 70,8 / 0,77 = 91,9 \text{ W}$$

g) Pertes dans les câblages haute tension primaire et alimentation :

longueur conducteur = 2 * longueur (alimentation + primaire) = 2 * (1 000 + 1 600) = 5 200 m

$$R_P = \rho * 10^6 * \text{long.}/\text{section en m}^2 = 1,724 \times 10^{-8} * 5200/6 \times 10^{-6} = 14,9 \text{ ohms}$$

$$P_P = R_S * I^2 = 14,9 \text{ ohms} * (6,6 \text{ A})^2 = 649,0 \text{ W}$$

h) Consommation totale :

$$P_T = P_P + 40 * P_{S2} = 649,0 + 40 * 91,9 = 4 325 \text{ W} = 4,3 \text{ kW}$$

i) Il faut donc choisir un régulateur à courant constant de 5 kVA.

Selon la norme CEI 61822, il existe des régulateurs à courant constant de : 1, 2,5, 5, 7,5, 10, 15, 20, 25 et 30 kVA.

8.5 AUTRES CONSIDÉRATIONS

8.5.1 Par le calcul, on obtient la consommation en watts ou kilowatts, qui est une puissance réelle. La puissance apparente, en kilovolts-ampères, dépend du facteur de puissance de l'ensemble du système sous 6,6 A. Dans les installations de balisage où le facteur de puissance est relativement bas, il faut en tenir compte dans le choix du régulateur.

8.5.2 Le choix du régulateur à courant constant peut également dépendre des caractéristiques de la charge. Les CCR à ferrorésonance sont recommandés pour les circuits série qui contiennent des charges oscillantes, lorsqu'on souhaite obtenir un minimum d'harmoniques dans le courant de sortie.

Feux adressables — capacité en watts du dispositif de commutation

8.5.3 Dans certains cas, la capacité de commutation du dispositif à adressage peut dépendre de la forme d'onde fournie par le CCR. Un courant ayant un facteur de crête élevé peut ne pas permettre d'utiliser la puissance maximale nominale relative à la charge. Le concepteur doit tenir compte de l'application pour assurer un bon fonctionnement. Le choix du CCR peut avoir des conséquences sur la charge. Il est recommandé de consulter le fabricant du CCR pour ce genre de problèmes potentiels.

8.5.4 Chaque dispositif à adressage consomme de la puissance sur le câblage secondaire du transformateur d'isolement. En calculant la charge, il faut tenir compte de la consommation de pointe du dispositif, en ajoutant les pertes dans le câblage secondaire supplémentaire, particulièrement s'il y a une tension de ce câblage.

Charges clignotantes synchrones

8.5.5 Le circuit des feux de protection de piste encastrés (RGL configuration B) est un exemple de charge pouvant présenter de fortes variations dans un circuit, à raison de 30 à 32 éclats à la minute. Si tous les feux RGL encastrés du circuit sont exactement synchronisés, à un instant quelconque, la moitié des feux est allumée et l'autre moitié est éteinte. Cependant, au moment où les feux changent d'état, les lampes qui viennent de s'éteindre cessent pratiquement d'offrir une charge et les lampes qui viennent de s'allumer ne présentent qu'une demi-charge environ car leurs filaments sont encore chauds. Lorsque les filaments sont à leur température maximale, ces lampes atteignent leur pleine charge. Ce phénomène est illustré à la Figure 8-2.

8.5.6 Sur la Figure 8-2, le niveau 100 % représente la charge de l'ensemble des feux RGL encastrés allumés simultanément. Le choix du CCR doit tenir compte de cette éventualité. Le concepteur vérifiera que tous les calculs de rendement et de charges sont corrects. Le fabricant du CCR devrait également être consulté sur la compatibilité de son produit avec une telle application. Les systèmes RGL encastrés peuvent comprendre une fonctionnalité permettant d'étaler quelque peu la charge pour réduire la dynamique du circuit. De plus, la synchronisation des feux RGL peut être critique pour éviter que tous les feux pairs et impairs soient éteints en même temps, ce qui correspond à une charge très basse. Une certaine fluctuation modérée du courant de sortie du CCR est acceptable lors des variations de la charge. Pour un circuit série à surveillance intégrée, il est acceptable d'élargir légèrement les seuils d'alarme du niveau de sortie du CCR pour éliminer les fausses alarmes. Le concepteur devrait consulter les fabricants du CCR et des commandes de RGL encastrés à propos de la compatibilité et des applications de leurs produits.

Charges clignotantes asynchrones

8.5.7 Les feux de protection de piste hors sol clignotant à une fréquence de 45 à 50 éclats à la minute sont un exemple de charges asynchrones. Comme les feux clignotants ne sont pas synchronisés, la charge du circuit série peut varier à un moment quelconque. La charge moyenne tend à se normaliser dans le temps, mais il peut y avoir des périodes où la charge varie fortement. Une certaine fluctuation modérée du courant de sortie du CCR est acceptable lors des variations de la charge. Pour un circuit série à surveillance intégrée, il est acceptable d'élargir légèrement les seuils d'alarme du niveau de sortie du CCR pour éliminer les fausses alarmes. Le concepteur devrait consulter les fabricants du CCR et des commandes de RGL hors sol à propos de la compatibilité et des applications de leurs produits.

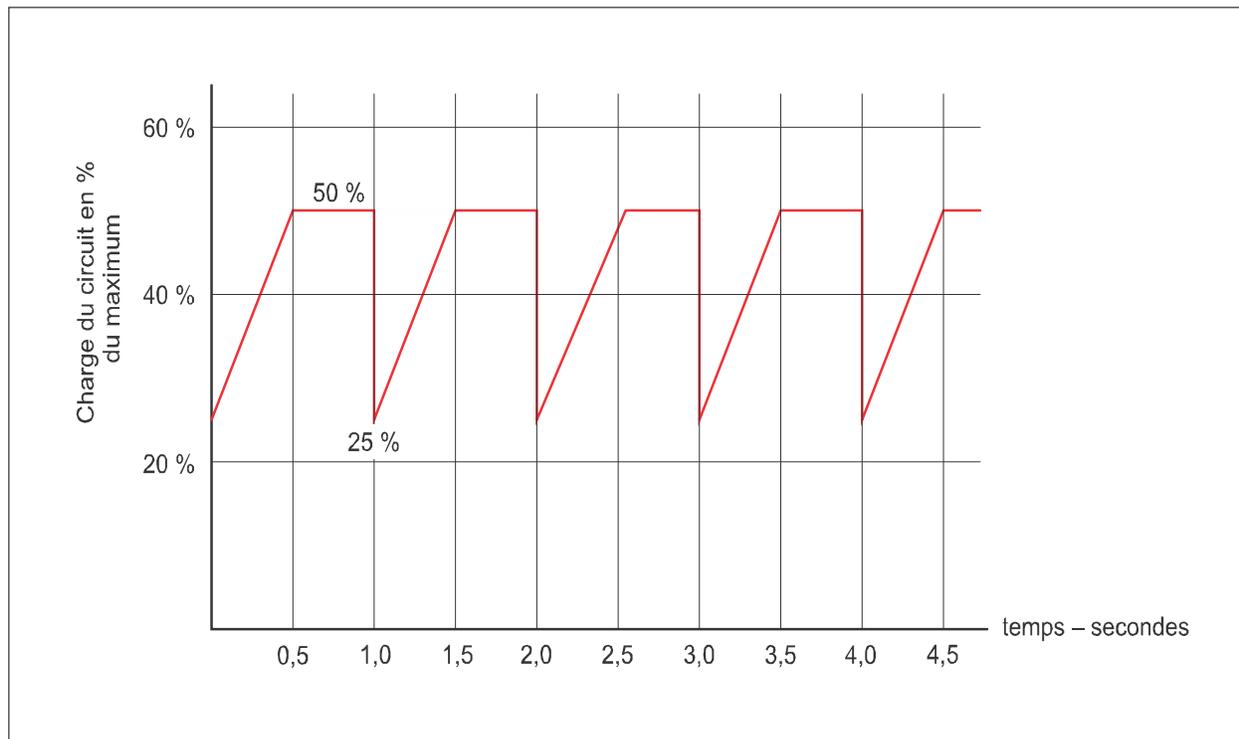


Figure 8-2. Variation de la charge d'un circuit RGL

Charges non linéaires ou réactives

8.5.8 Les dispositifs électroniques comme les lampes à DEL, les panneaux de signalisation à circuits série et les composants adressables peuvent créer une charge non linéaire ou réactive dans le circuit. Ces dispositifs peuvent comprendre des alimentations à découpage qui peuvent créer une charge présentant des caractéristiques capacitives. De plus, au moment où le circuit est mis sous tension, ces dispositifs peuvent initialement sembler causer une chute de tension relativement élevée qui devient soudainement moins importante. Le concepteur devrait consulter les fabricants du CCR et des dispositifs électroniques pour déterminer s'il y a des problèmes de compatibilité à prendre en compte.

Stabilité et variation de la charge des circuits alimentant des panneaux

8.5.9 Certains panneaux de signalisation côté piste contiennent un transformateur saturable qui assure un niveau lumineux constant sur toute l'échelle des niveaux de sortie du régulateur à courant constant. Ces panneaux peuvent représenter de fortes variations de la charge qu'ils présentent dans le circuit série, au moment du démarrage ou après la défaillance d'une lampe. Ce type de charge peut perturber le fonctionnement de certains CCR, créant de l'instabilité ou même une extinction du circuit. Le concepteur devrait consulter les fabricants du panneau et du CCR pour vérifier s'il risque d'y avoir des problèmes de compatibilité.

8.5.10 Pour déterminer les caractéristiques de charge et la capacité du CCR pour ces panneaux, on ne peut pas se contenter d'additionner les volts-ampères (VA) consommés par les panneaux et la charge des autres éléments du circuit, puis d'effectuer un calcul normal des pertes dans le câblage, du rendement du transformateur, etc. Ce calcul ne serait valide que si le circuit était maintenu au plus haut niveau pour un courant de 6,6 A. Considérons le cas d'un circuit

alimentant plusieurs panneaux qui représentent une charge de 10 000 VA combinée avec celle des autres feux et les pertes qui représentent 3 000 VA, soit un total de 13 000 VA. Un CCR de 15 kVA devrait être suffisant pour cette charge au niveau le plus élevé, avec une tension maximale nominale de 2 272 V. Cependant, si le CCR est réglé à son niveau le plus bas, les panneaux qu'il alimente continueront d'absorber 10 000 VA pour maintenir leur intensité lumineuse. À 2,8 A, une charge de 10 000 VA représente environ 3 570 V et le CCR serait alors sous-dimensionné. Pour fournir une puissance appropriée aux panneaux, il faut tenir compte de la tension maximale que ceux-ci absorbent dans ces conditions, avec la puissance en volts-ampères absorbée par les autres éléments du circuit, les pertes dans le câblage et le rendement du transformateur d'isolement.

Technologie DEL

8.5.11 Les charges des circuits alimentant des feux de technologie DEL et peut-être d'autres formes d'éclairage devront être discutées en consultation avec les fabricants concernés. Les principes restent cependant les mêmes que pour les lampes à incandescence classiques dans le cas des autres facteurs, tels que les pertes dans le câblage.

Chapitre 9

TRANSFORMATEURS SÉRIE DE BALISAGE AU SOL

Note.— Les transformateurs AGL sont couverts par la norme CEI 61823.

9.1 FONCTIONS

Les circuits de balisage de type série utilisent des transformateurs AGL dont le rôle est de maintenir la continuité du circuit en cas de défaillance d'une lampe associée, pour éviter de créer un défaut de circuit ouvert. Les transformateurs AGL assurent également un certain degré de sécurité en abaissant la tension à leur secondaire, c'est-à-dire du côté lampe. Cette sécurité peut cependant être compromise par un court-circuit entre les enroulements primaire et secondaire du transformateur. Dans certaines installations, des dispositifs de dérivation, tels que des rupteurs à film qui court-circuitent la lampe si celle-ci tombe en panne, servent à parer aux conséquences que peuvent avoir les circuits secondaires ouverts sur le régulateur à courant constant (voir Figure 9-1).

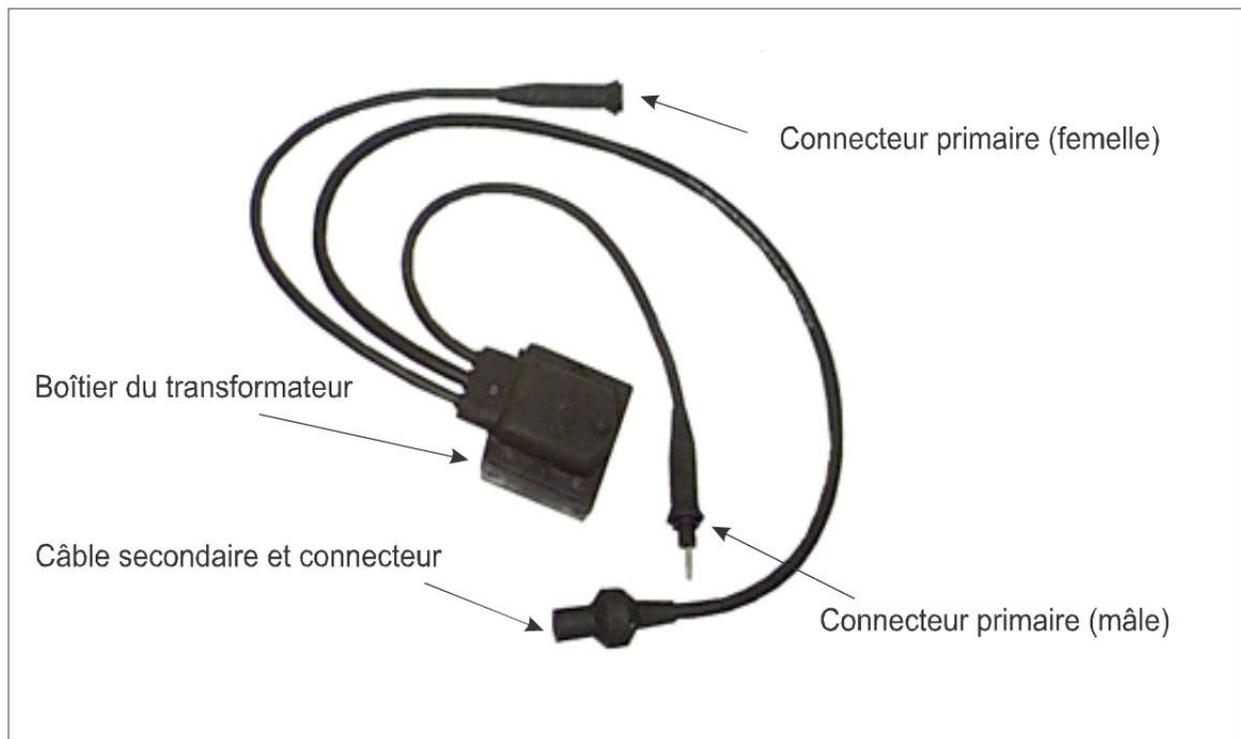


Figure 9-1. Transformateur AGL

9.2 CONCEPTION DU TRANSFORMATEUR

9.2.1 Un transformateur AGL est formé d'un enroulement primaire et d'un enroulement secondaire bobinés sur un noyau magnétique dans un boîtier étanche d'où partent des câbles primaires et secondaires servant à raccorder le circuit série à la lampe. Le rapport de bobinage du primaire au secondaire d'un transformateur série est 1:1, c'est-à-dire que le courant de la lampe est le même que le courant du câblage primaire du régulateur à courant constant. Le rapport de 1:1 est le plus courant, mais il peut y en avoir d'autres [voir section 9.5, alinéa b)]. Les enroulements primaire et secondaire sont isolés électriquement mais couplés par le circuit magnétique. Le circuit secondaire est à un potentiel électrique plus bas et dans certains États, il est courant de relier l'une des bornes du secondaire à un point de mise à la terre. Le noyau du transformateur travaille à un niveau non saturé, mais devient saturé si les lampes brûlent ou si le secondaire est en circuit ouvert. Cela permet de maintenir l'intégrité du circuit primaire. Si le circuit de la lampe est en court-circuit, le transformateur fonctionne à vide et l'effet sur le circuit série est minimal. Les transformateurs AGL doivent pouvoir fonctionner sans dommage de manière continue à leur charge nominale, en cas de circuit ouvert comme en cas de court-circuit.

9.2.2 Si les feux sont commandés individuellement par un module local, la conception devrait prévoir une communication entre les transformateurs du circuit.

9.3 BOÎTIER

9.3.1 Le boîtier étanche qui contient le noyau, les bobinages et les conducteurs peut être en métal, en caoutchouc ou en matière plastique et doit convenir au mode d'installation (directement enfoui, immergé dans l'eau, sur un socle ou exposé aux intempéries). Le boîtier doit protéger le transformateur contre les dégâts qu'il pourrait subir s'il tombe ou s'il est transporté suspendu par un seul câble. L'eau ne doit pas pouvoir entrer dans le boîtier, en particulier par les traversées de ses câbles ; le boîtier doit conserver son élasticité pour ne pas se briser ni être endommagé aux très basses températures et il doit assurer la protection du transformateur durant la manutention, le stockage, l'installation et en service. Le matériau du boîtier doit être ignifuge et auto-extinguible.

9.3.2 Les câbles du circuit primaire doivent avoir une section d'au moins 10 mm² (8 AWG) et être isolés à 5 000 V au minimum. Ces câbles devraient avoir une longueur d'au moins 50 cm. Ils sont habituellement raccordés par une fiche mâle d'un côté et par une prise femelle de l'autre pour pouvoir être intercalés dans la boucle du circuit série. Les câbles du circuit secondaire doivent être à deux conducteurs, chacun d'une section de 4 ou 6 mm² (12 ou 10 AWG), isolés à 600 V au minimum, d'une longueur d'au moins 100 cm. Habituellement, ces câbles sont munis d'une prise à deux contacts pour le branchement au dispositif lumineux.

9.3.3 Bien que le transformateur soit conçu pour être étanche, il devrait être installé sur des plateaux de câbles dans des puisards ou d'autres enceintes de protection, ou sur une brique creuse dans le socle (boîtiers de transformateur).

9.4 TEMPÉRATURE AMBIANTE

Les transformateurs doivent être prévus pour fonctionner à des températures comprises entre -55 °C et +65 °C.

9.5 CARACTÉRISTIQUES DES TRANSFORMATEURS

Les caractéristiques nominales des transformateurs AGL série sont la puissance de sortie, les intensités au primaire et au secondaire, la fréquence et la tension d'isolement entre les circuits primaire et secondaire. Les transformateurs couramment installés présentent certaines caractéristiques nominales, comme celles données ci-dessous à titre d'exemple :

- a) *Puissance*. Les puissances nominales les plus courantes sont 30/45, 65, 100, 200, 300 et 500 W, et parfois 1 000 et 1 500 W. Des transformateurs de 10/15 et 20/25 W existent aussi pour les applications qui utilisent des DEL.
- b) *Intensité*. Les intensités nominales sont généralement indiquées sous forme d'un rapport entre les courants au primaire et au secondaire. Les valeurs les plus courantes sont à l'heure actuelle 6,6/6,6, 20/20, 6,6/20 et 20/6,6 A.
- c) *Fréquence*. Les fréquences courantes sont 50 et 60 Hz. Il est préférable d'utiliser un transformateur à la fréquence pour laquelle il a été conçu.
- d) *Isolement*. La plupart des transformateurs d'isolement sont isolés à 5 000 V au primaire et à 600 V au secondaire. Sur les transformateurs plus puissants, il peut être nécessaire d'avoir un isolement plus élevé au secondaire car la tension risque de monter plus haut en circuit ouvert.

9.6 ALIMENTATION DE PLUSIEURS LAMPES PAR UN MÊME TRANSFORMATEUR

Il est préférable que chaque feu soit alimenté par son propre transformateur. Parfois, pour réduire les frais d'installation, lorsqu'il s'agit d'installer des feux axiaux sur des pistes existantes, ou pour réduire le poids et la résistance mécanique des câbles, par exemple pour installer des feux d'approche sur des supports fragibles de grande hauteur, on peut brancher plusieurs lampes en série aux bornes d'un même transformateur d'isolement. Le transformateur doit avoir la capacité voulue pour alimenter la charge totale des lampes, augmentée des pertes en ligne. Une telle solution pose cependant deux problèmes : en premier lieu, en cas de panne d'une lampe causant une ouverture de circuit, les autres lampes cessent de fonctionner (sauf si des dispositifs de dérivation appropriés ont été installés) ; en second lieu, au moment de l'ouverture du circuit, la tension secondaire instantanée peut prendre des valeurs très élevées, surtout avec des transformateurs de grande puissance. Ces problèmes sont examinés ci-dessous.

9.7 EFFETS DE L'OUVERTURE DU CIRCUIT SECONDAIRE D'UN TRANSFORMATEUR

La conception de la plupart des transformateurs AGL limite la valeur efficace (RMS) de la tension en secondaire ouvert à 200 V ou moins. Cependant, la tension instantanée au secondaire de certains transformateurs peut atteindre des valeurs sensiblement plus élevées. Les transformateurs dont le noyau magnétique est calculé pour atteindre la saturation à une tension légèrement supérieure à leur tension de service ont généralement des tensions efficaces et de crête plus basses à l'ouverture du secondaire que les transformateurs dont la saturation est plus éloignée. Les fortes surtensions en cas de circuit ouvert nécessitent de prévoir une isolation secondaire plus épaisse et présentent des risques accrus de chocs électriques. Ces surtensions rendent cependant le fonctionnement des rupteurs à film plus fiable. La réactance des transformateurs série-série à l'ouverture du secondaire tend à déformer la forme d'onde du courant primaire en produisant des harmoniques qui peuvent perturber le fonctionnement de certains types de régulateur à courant constant.

9.8 DISPOSITIFS DE DÉRIVATION POUR LES LAMPES

Que les lampes soient branchées directement dans le circuit série ou par groupes avec un même transformateur AGL, toutes les lampes du groupe s'éteignent lorsque le filament de l'une de ces lampes brûle, à moins qu'un dispositif de dérivation approprié ne soit branché aux bornes de la lampe défaillante. Dans les débuts des circuits d'éclairage série ne comportant pas de tels transformateurs, les rupteurs à film ont été utilisés pour contourner les lampes grillées. Dans ce dispositif, des contacts à ressort sont connectés aux bornes de chaque lampe. Les contacts sont séparés par un rupteur à film isolant, qui est un petit disque formé d'une mince pellicule non conductrice interposé entre les surfaces conductrices extérieures. Quand la lampe fonctionne, le disque isole l'une de l'autre les bornes de la lampe et le filament de la lampe ferme le circuit série. Si le filament brûle, la tension aux bornes s'élève brusquement et provoque la perforation du film, ce qui court-circuite les bornes et rétablit le circuit série avant le déclenchement de la protection de circuit ouvert du régulateur à courant constant. Quand on remplace la lampe, il faut mettre en place un nouveau rupteur à film. La pointe de tension du secondaire en circuit ouvert de certains transformateurs peut être de 100 à 200 V ou moins. Il existe des rupteurs à film compatibles avec ces tensions, mais ils ne sont pas très fiables du fait que la tension en circuit ouvert risque de ne pas être suffisante pour perforer le film et mettre en court-circuit la lampe grillée. Depuis peu, on tend à remplacer ce genre de dispositif de dérivation par des relais de court-circuit, une solution plus coûteuse que les rupteurs à film, mais dont le fonctionnement est plus fiable.

9.9 SOCLE DE TRANSFORMATEUR

9.9.1 Lorsqu'un transformateur AGL est installé dans un boîtier de transformateur (embase de feu), il est courant de le poser sur un support, comme une brique. Cette brique a plusieurs raisons d'être : au début, les transformateurs résistaient mal à l'eau, l'espacement créé par la brique visait à réduire les contraintes diélectriques entre l'embase en acier et le transformateur, l'isolation supplémentaire ainsi créée aidait à réduire les dommages causés par la foudre. Si est vrai qu'aujourd'hui les transformateurs AGL présentent une bien meilleure résistance à l'eau et que les avantages de l'isolement par rapport à l'embase ne soient pas démontrés, la pratique de les poser sur une brique survit. Surélever le transformateur peut avoir quelques avantages, surtout pour l'entretien en hiver. Il faut cependant prendre garde que la brique ne bouche pas le trou d'écoulement dans la partie inférieure de l'embase de feu. Certains aéroports utilisent des socles spéciaux ou un morceau de profilé en plastique, comme le montre la Figure 9-2.

9.9.2 Une autre solution serait de suspendre le transformateur à l'intérieur du socle au moyen d'un support, comme le montre la Figure 9-3, particulièrement si le boîtier est en un matériau non métallique.

9.10 AUTRES DISPOSITIFS

Les transformateurs AGL ont été mis au point spécifiquement pour les ensembles lumineux de circuits de type série. D'autres dispositifs de même nature ont été conçus pour d'autres applications, comme l'adaptateur d'alimentation de la Figure 9-4. Ces adaptateurs ont été conçus pour alimenter des lampes à une tension spécifique, comme les indicateurs de direction du vent et les feux de balisage de seuil de piste. On peut aussi ajouter aux transformateurs des dispositifs d'adressage des ensembles lumineux.

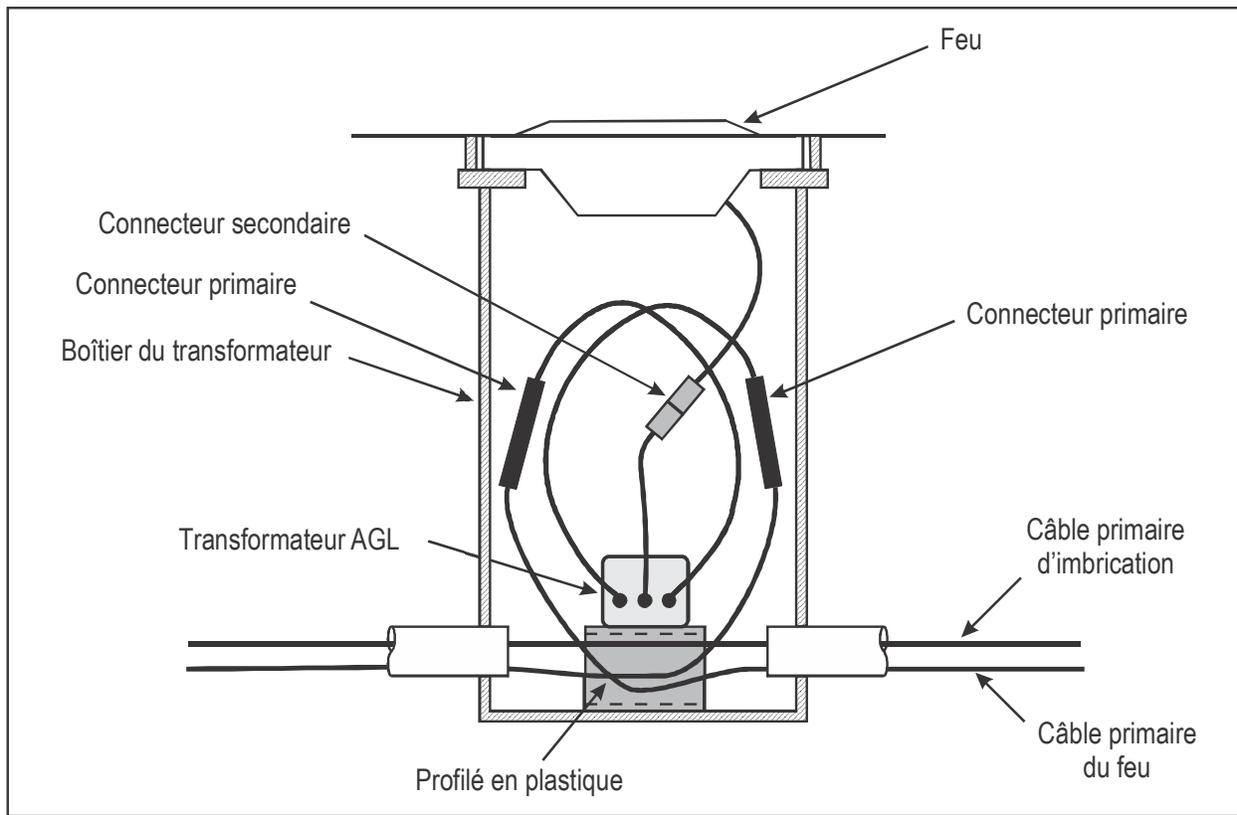


Figure 9-2. Utilisation d'un profilé en plastique dans le boîtier

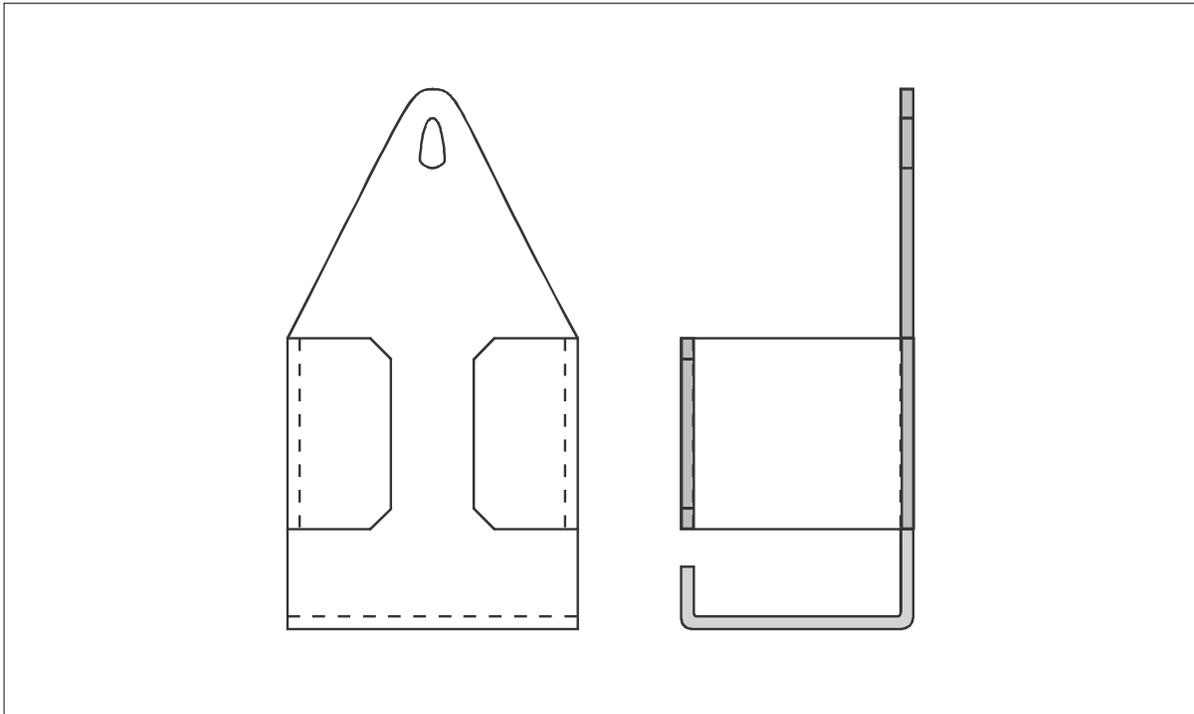


Figure 9-3. Support de transformateur



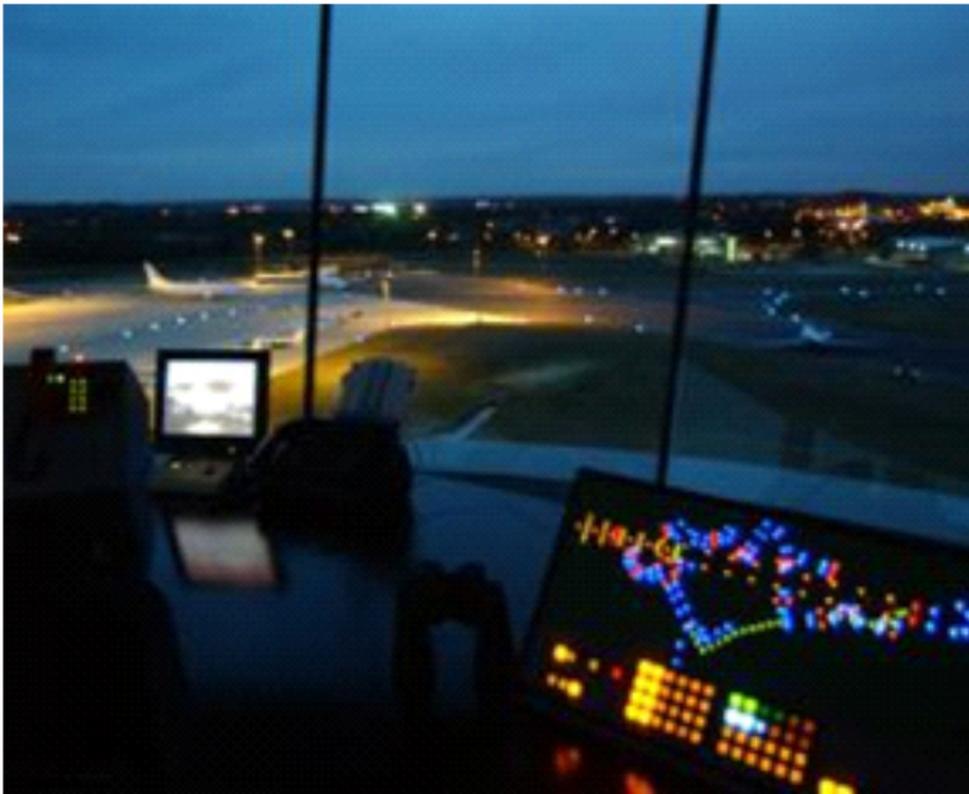
Figure 9-4. Adaptateur d'alimentation (source : ADB Airfield Solutions)

Chapitre 10

COMMANDE ET SURVEILLANCE DES SYSTÈMES DE BALISAGE D'AÉRODROME

Note 1.— Le présent chapitre est un aperçu général des systèmes de commande et de surveillance. Il est clair que l'évolution rapide des technologies va déboucher sur d'autres solutions numériques et seuls des exemples élémentaires seront abordés ici (voir également Figure 10-1).

Note 2.— En ce qui concerne les systèmes de commande et de surveillance, le lecteur pourra se référer aux normes IEC 62144 — Technical requirements for Aeronautical Ground Lighting (AGL) control and monitoring systems, et IEC 62143 — Guidelines for the development of a safety lifecycle methodology.



**Figure 10-1. Tableau de commandes de balisage dans une tour de contrôle
(source : ATG airports)**

10.1 TABLEAUX DE COMMANDES DE L'ÉCLAIRAGE ET DU BALISAGE DE L'AIRE DE TRAFIC

10.1.1 Bien que ce chapitre traite principalement des systèmes de commande et de surveillance du balisage des aires de manœuvre (approches, pistes et voies de circulation), il peut y avoir un autre système de commande pour l'aire de trafic, notamment l'éclairage, le balisage des voies de circulation et des voies d'accès aux postes de stationnement, les feux de guidage pour les manœuvres au poste de stationnement et le guidage visuel pour l'accostage. Les aspects graphiques de ce second système peuvent être gérés à distance à partir du centre des opérations ou de la maintenance. Il peut être nécessaire d'établir une certaine interface entre ce tableau et celui qui est installé dans la tour de contrôle. La Figure 10-2 représente le tableau de commandes de l'aire de trafic qui est installé à l'Aéroport international de Munich.

10.1.2 Ce tableau de commandes permet de sélectionner le balisage de l'aire de trafic pour faciliter l'écoulement des aéronefs des voies de circulation de l'aire de manœuvre à leurs postes de stationnement. Pour les aires de trafic complexes, avec de nombreux postes de stationnement, il est souhaitable que seuls les feux de guidage de l'aéronef en direction de son poste de stationnement soient allumés. Le système de guidage visuel pour l'accostage doit également s'allumer à ce moment. De même, l'éclairage de l'aire de trafic peut être réduit ou éteint lorsque les postes de stationnement associés ne sont pas en service.

10.2 CIRCUITS DE COMMANDE

10.2.1 Les circuits de commande du balisage lumineux d'aérodrome permettent d'allumer et d'éteindre les divers dispositifs lumineux et de régler leur intensité. Ces commandes peuvent être manuelles ou automatiques.

Commande locale

10.2.2 La méthode de commande la plus simple est un interrupteur placé sur le module d'alimentation et qui permet de mettre le circuit sous tension ou hors tension. Cette méthode convient pour certains petits aérodromes ayant peu de circuits de balisage et d'éclairage. Dans les grands aéroports, la commande locale à partir du poste électrique ne devrait être envisagée que comme solution de secours pour les urgences. La fonction de la commande locale devrait reproduire celle de la tour de contrôle.

Commande à distance

10.2.3 Dans les grands aéroports, la notion de « commande à distance » signifie que le dispositif de commande est situé ailleurs que sur l'alimentation qui se trouve dans le poste électrique. Certains aérodromes peuvent avoir d'autres postes de commande à distance en des endroits stratégiques, comme le centre informatique de gestion des opérations ou le centre de maintenance, qui devraient disposer des commandes d'activation d'un secteur particulier figurant sur le tableau synoptique de la tour de contrôle. Il est également possible de commander à distance un autre aérodrome ou une station d'information en vol.

10.3 TYPES DE DISPOSITIFS DE COMMANDE À DISTANCE

10.3.1 Plusieurs types de systèmes de commande à distance sont utilisés pour le balisage lumineux et l'éclairage des aérodromes. Traditionnellement, les systèmes de commande et de surveillance dans les aérodromes militaires et commerciaux utilisaient des relais. En général, comme le montre la Figure 10-3, les systèmes de ce type emploient des câbles multipaires (50 paires ou plus) posés entre le poste électrique et la tour de contrôle ATC. Bien que la conception des systèmes de commande ait évolué dans le temps, le niveau de disponibilité continue d'être un paramètre important et les communications doivent donc être étudiées avec soin.

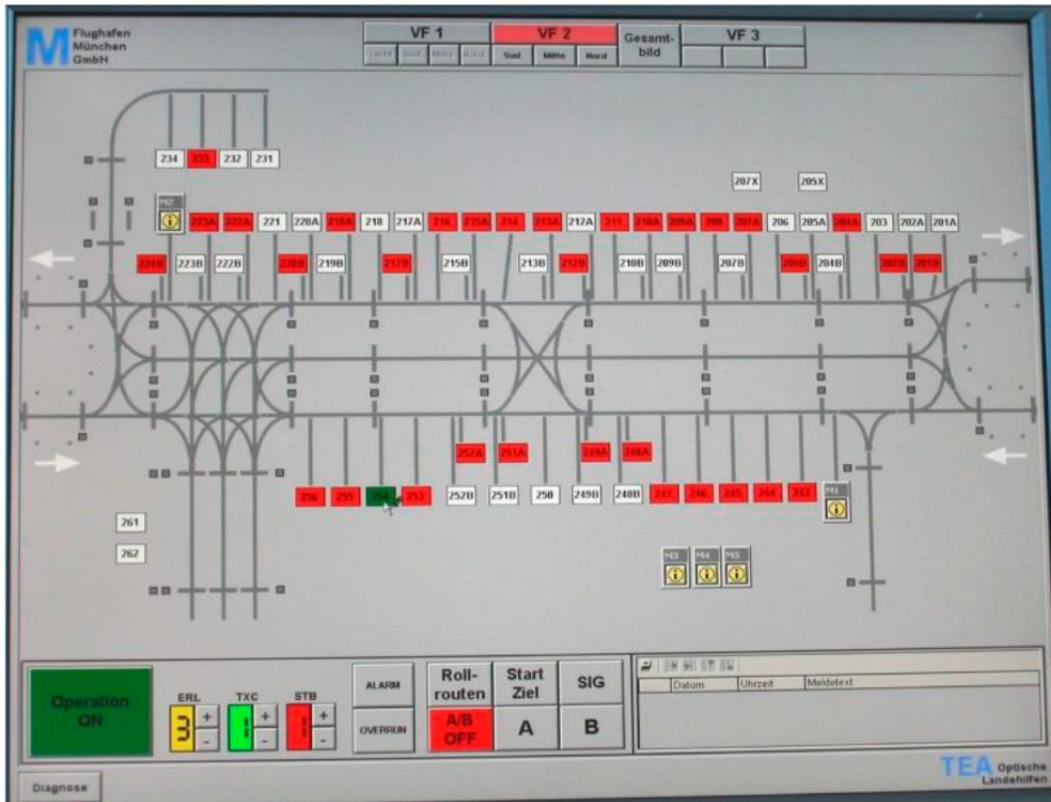


Figure 10-2. Tableau de commandes de l'aire de trafic (source : Aéroport international de Munich)

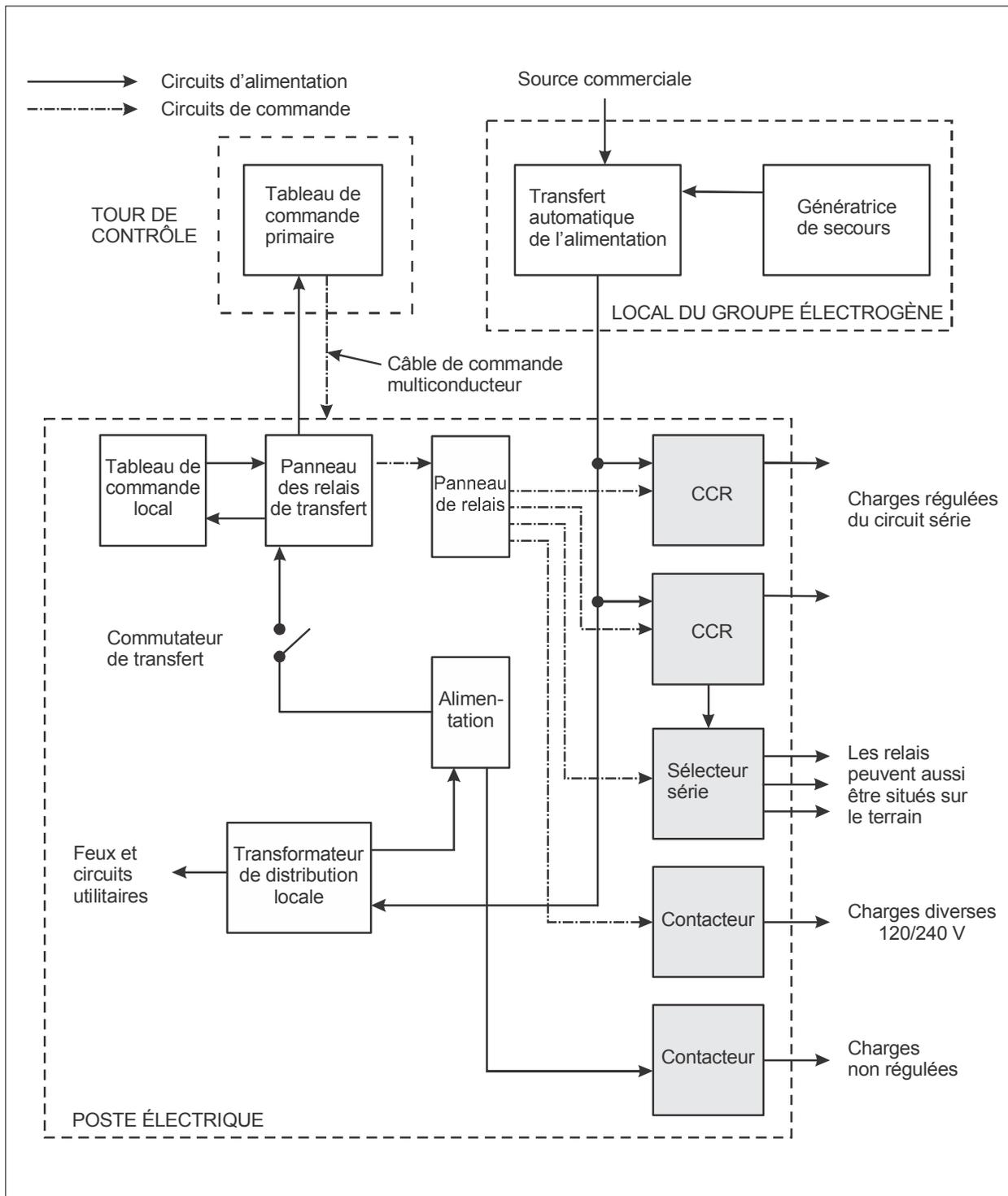


Figure 10-3. Système de commande/surveillance classique

10.3.2 La distance entre la tour de contrôle et le poste électrique peut être importante et nécessite la pose d'un câble coûteux et vulnérable aux dommages et aux coupures d'une ou de quelques-unes de ses paires. De plus, ces câbles de communications doivent circuler dans des conduits séparés pour éviter le brouillage causé par le rayonnement des câbles d'alimentation. Le panneau de relais classique et les câbles multiconducteurs peuvent être simplifiés par l'utilisation d'un multiplexeur qui n'a besoin que d'une seule paire pour les communications entre le poste électrique et la tour (ou une autre station). Un multiplexeur peut également être incorporé dans la logique programmable du système de commande de façon qu'en cas de perte d'une paire pour les communications, les signaux puissent être acheminés sur une autre paire, plutôt que d'avoir à remplacer le câble au complet.

10.3.3 Les systèmes de commande classiques utilisent souvent du courant alternatif pour les signaux de commande. Ces signaux peuvent être à la basse tension de distribution ou à une tension particulière mieux adaptée à la longueur du câble de commande et à la section de ses conducteurs. Les signaux de commande peuvent être appliqués directement au dispositif de gestion de l'alimentation à partir d'un tableau de commandes à distance ou de relais auxiliaires, pour actionner les dispositifs de commande. D'autres systèmes de commande utilisent du courant continu à 24 ou 48 V pour les signaux, principalement pour réduire les couplages inductifs entre les circuits. Certains aérodromes utilisent la radio pour transmettre les signaux de commande, soit en mode air-sol pour les pilotes, soit en mode sol-sol pour les équipements qui se trouvent dans des lieux difficilement accessibles à des circuits terrestres classiques. Cependant, ces signaux de commande devraient assurer un haut degré de fiabilité et devraient être conçus pour contribuer, dans la mesure du possible, à l'intégrité des réseaux de balisage sélectionnés, lorsqu'il y a des pannes des moyens de transmission ou des équipements de commande. Dans les installations modernes, pour les commandes, les paires de cuivre sont de plus en plus remplacées par des câbles à fibre optique.

Système de commande informatisé

10.3.4 Depuis quelques décennies, on assiste à des progrès considérables dans la conception des systèmes de commande. Les anciens systèmes qui utilisaient des commutateurs à bascule et des sélecteurs rotatifs ont cédé la place à des systèmes modernes informatisés de commande de balisage d'aérodrome (ALCS) constitués de modules d'interface homme-machine (HMI), d'automates programmables, de périphériques à distance, d'un système de supervision (ordinateur) et d'une infrastructure de communication. Comme le montre la Figure 10-4, les éléments les plus critiques sont redondants avec deux connexions au réseau. D'autre part, des systèmes de secours peuvent utiliser des communications radio sol-sol.

Tableaux synoptiques

10.3.5 Dans leurs formes primitives, les tableaux de commandes portaient des commutateurs à bascule et des sélecteurs rotatifs dont le contrôleur devait examiner la position pour vérifier les secteurs de balisage allumés et éteints. Les tableaux synoptiques, comme celui de la Figure 10-5, correspondent mieux à des aérodromes ayant des diagrammes de balisage complexes. Des éléments d'affichage lumineux facilitent grandement une analyse rapide de l'état du balisage de l'aérodrome.

10.3.6 Ces tableaux synoptiques avaient cependant l'inconvénient d'être des équipements spécifiques d'un aérodrome, d'un coût considérable, non seulement pour leur production initiale, mais aussi pour toute modification des installations de balisage de l'aérodrome. Avec les logiciels graphiques modernes, il est facile de créer des schémas synoptiques et la commande se fait par des écrans tactiles, comme le montre la Figure 10-6. Les écrans tactiles peuvent être de technologie infrarouge, à onde acoustique de surface (SAW), ou à influence résistive ou capacitive.

10.3.7 Pendant les opérations à visibilité réduite ou basse, une fonction importante des systèmes de commande est la possibilité de confier à l'ATS la mise en marche de l'alimentation secondaire. La Figure 10-7 illustre un module de commande qui permet de faire démarrer préventivement le groupe électrogène quand les opérations sont déclarées relever de la catégorie II.

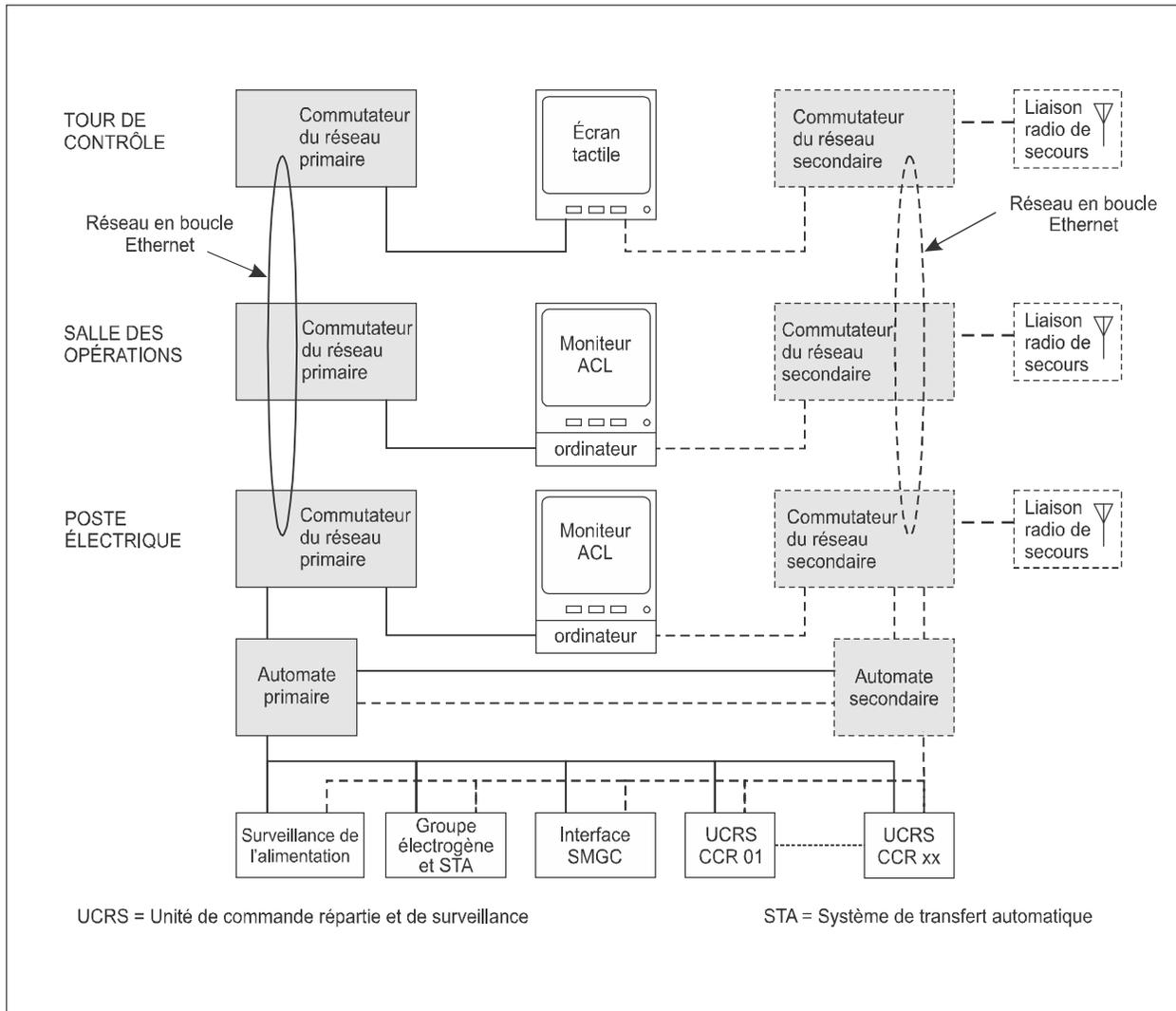


Figure 10-4. Système informatisé de commande de balisage d'aérodrome (ALCS)

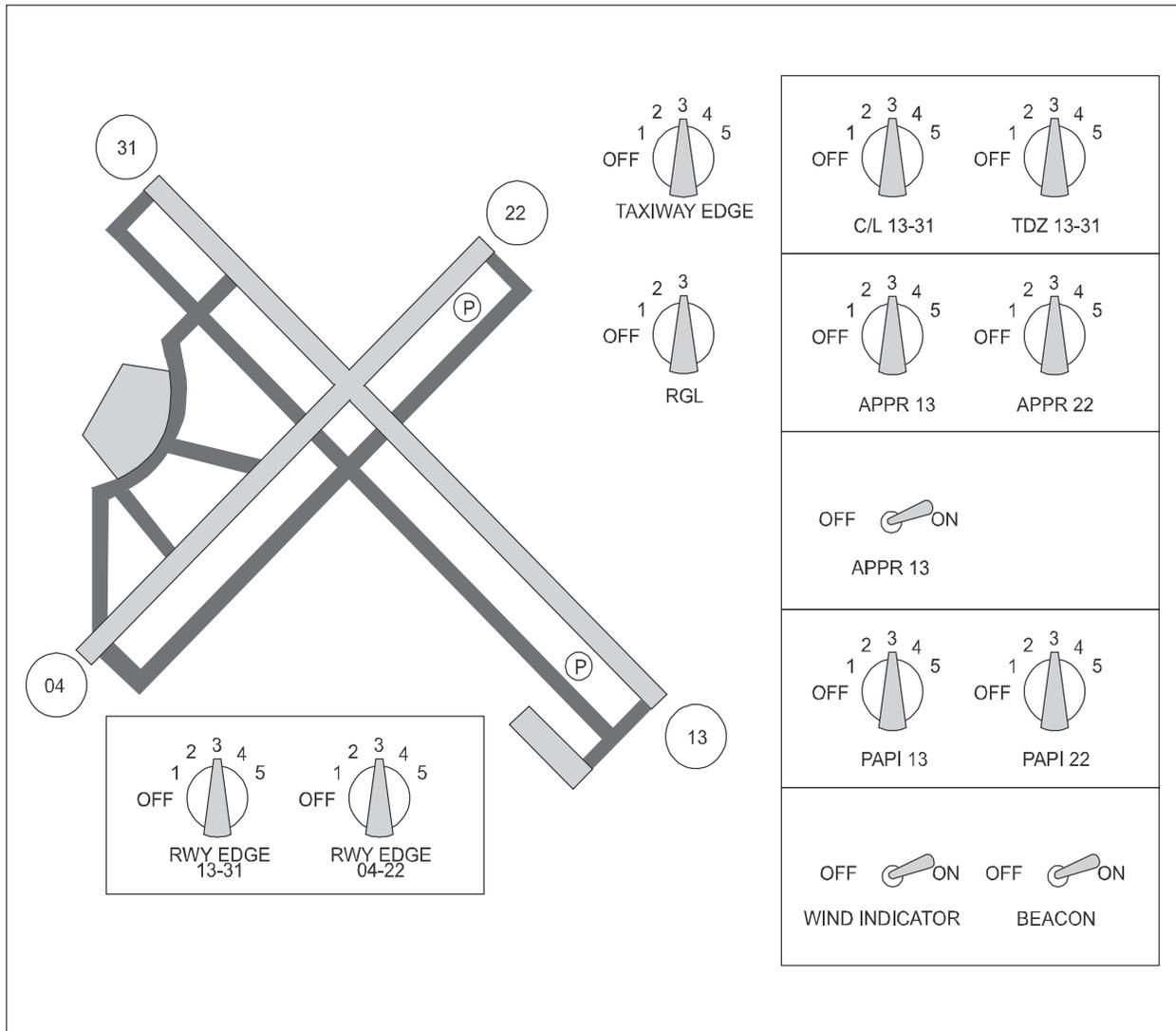


Figure 10-5. Exemple de tableau synoptique avec commandes manuelles

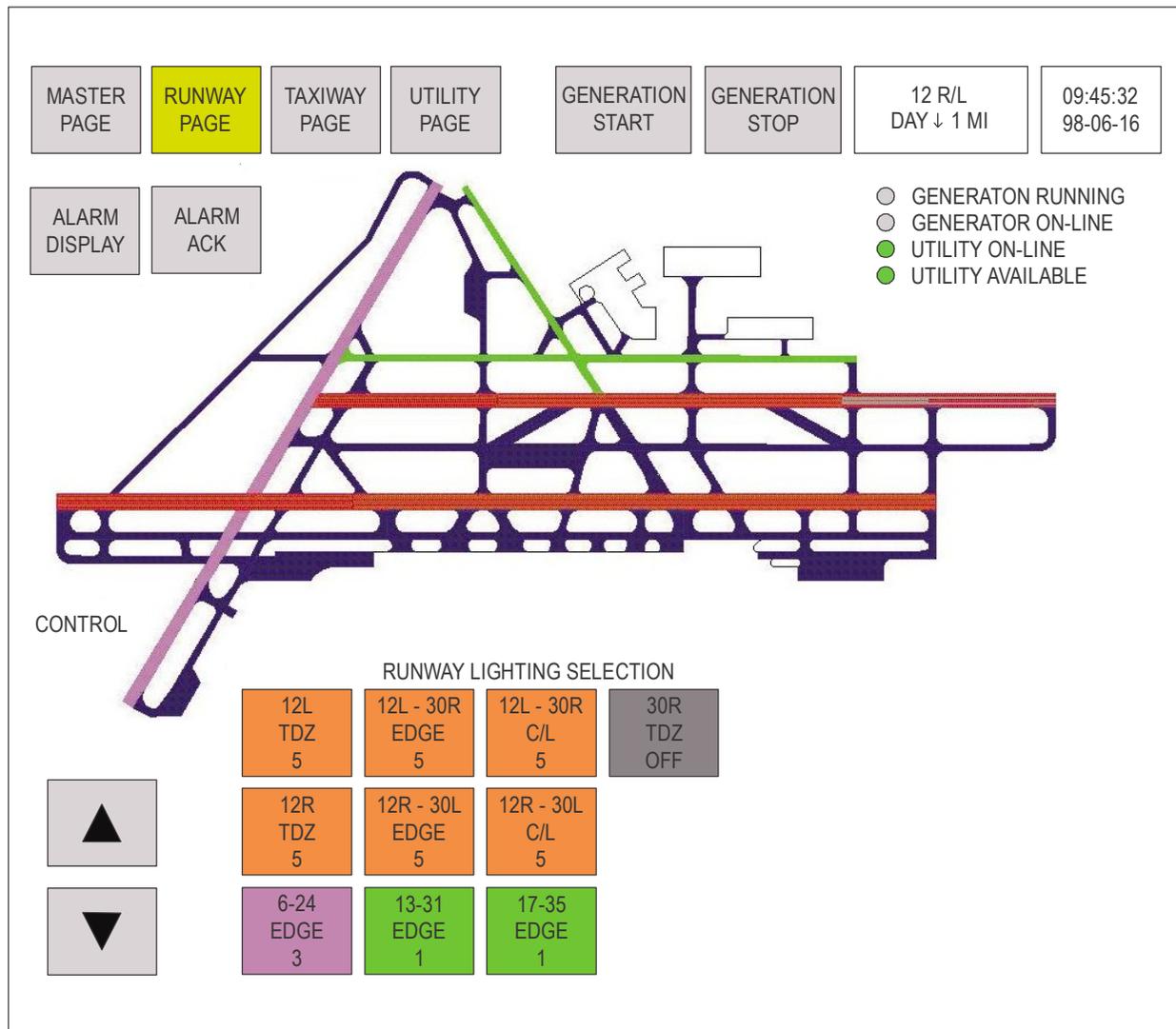


Figure 10-6. Tableau synoptique sur écran tactile (source : ADB Airfield Solutions)

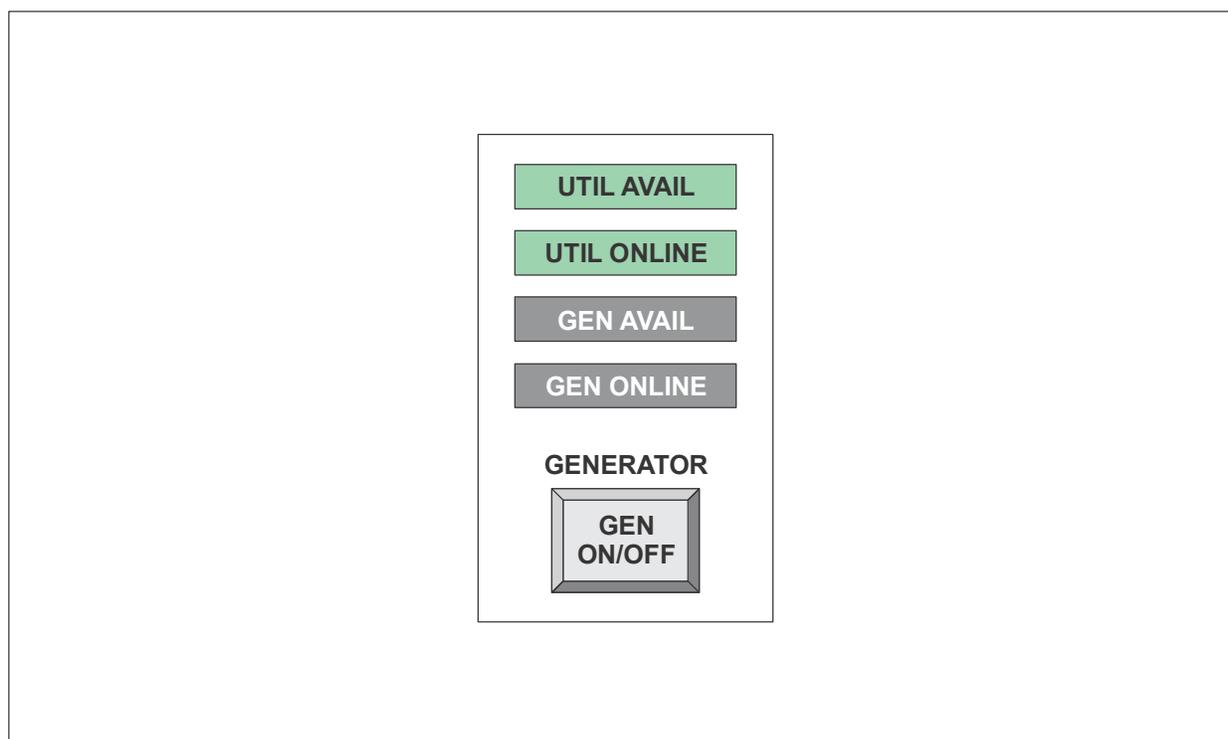


Figure 10-7. Panneau de sélection de source primaire/secondaire

Pages de données

10.3.8 L'un des principaux avantages apportés par les systèmes ALCS est qu'ils permettent d'afficher des pages de données sur l'état des installations, ainsi que sur les activités d'entretien en cours. Un historique de ces données permet aussi d'affiner la planification de la maintenance préventive, les améliorations aux installations et les prévisions budgétaires (voir Figure 10-8).

10.4 TABLEAU DE RELAIS DE COMMUTATION

10.4.1 Pour la sécurité du personnel d'entretien et pour interdire les interventions contradictoires sur les commandes, un circuit donné ne doit pouvoir être commandé que d'un seul poste à la fois. Des tableaux de relais de commutation sont utilisés pour transférer la commande du tableau principal au tableau auxiliaire. Étant donné qu'un certain nombre de circuits interviennent dans la commutation, il peut y avoir plusieurs tableaux de commandes mais, en général, il n'y a qu'un seul commutateur général pour gérer tous les tableaux. Les tableaux de commandes de commutation et le commutateur général font généralement partie d'un tableau de commandes auxiliaire. Pour les systèmes ALCS, le commutateur de transfert peut être commandé par un bouton dans l'écran du moniteur. Quand l'opérateur actionne ce bouton, une boîte de dialogue apparaît pour lui demander d'entrer son identification et son mot de passe.

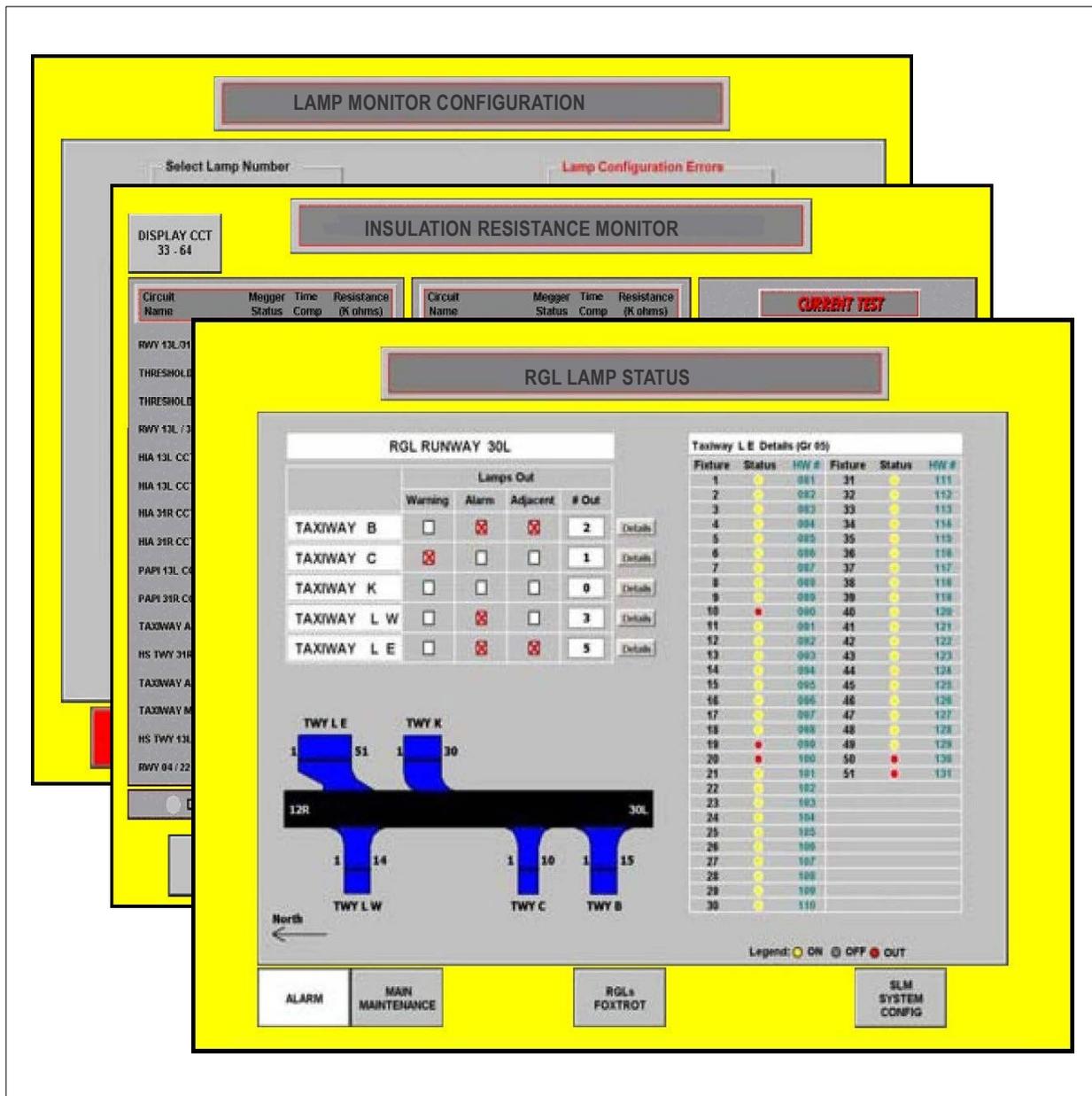


Figure 10-8. Pages de données sur l'état du système et les diagnostics de maintenance (source : Liberty Airfield Lighting)

10.5 EMPLOI DES RELAIS

10.5.1 *Tableaux de relais pour les circuits de commande.* Dans le cas des circuits de commande de grande longueur, la chute de tension en ligne peut empêcher que les dispositifs de commande d'alimentation puissent être commandés directement à partir du tableau de commandes principal. Même des circuits qui fonctionnaient auparavant de façon satisfaisante peuvent poser des problèmes lorsqu'on en ajoute d'autres. La commande à longue distance peut utiliser des relais dont la bobine n'a besoin que d'une faible intensité pour mettre sous tension les commandes de l'équipement d'alimentation. Ces relais sont souvent montés sur des panneaux regroupant 16 relais ou davantage (parfois appelés tableaux de relais pilotes). Il peut y avoir un relais sur chaque ligne de commande provenant du tableau de commandes principal. Les contacts de ces relais commandent l'alimentation des commutateurs et les diverses fonctions de l'équipement.

10.5.2 Dans un système ALCS, les communications entre la tour de contrôle, la salle des opérations et le poste électrique sont normalement assurées par un câble à fibre optique qui a l'avantage de ne pas être affecté par la distance, les chutes de tension ni même le brouillage électromagnétique.

Relais locaux

10.5.3 Certains circuits courts et certaines charges mineures (phares d'aérodrome, indicateurs de direction du vent, sections de feux d'obstacles, dispositifs lumineux d'approche simplifiés, etc.) peuvent être alimentés à partir d'un poste électrique ou d'une source locale. Dans ce dernier cas, le relais commandant ces feux est généralement placé sur le feu ou sur la source d'alimentation, ou à proximité immédiate. Si le câble de commande est long, il peut être nécessaire d'utiliser des conducteurs de plus fort calibre pour réduire les chutes de tension.

Relais de sélection de circuit

10.5.4 Pour les circuits série, il est souvent souhaitable d'alimenter deux ou plusieurs circuits de balisage à partir d'un même régulateur à courant constant. Pour cela, on peut utiliser une armoire de relais de sélection, comme celle illustrée à la Figure 10-9. Les applications typiques sont :

- a) commutation des feux PAPI, VASI et d'approche aux deux extrémités de la piste, à partir du même régulateur pour réduire le nombre de régulateurs ;
- b) commande de plusieurs petites charges (voies de circulation), ce qui permet de standardiser les modèles de régulateurs tout en assurant un contrôle individuel des circuits ;
- c) commande des barres d'arrêt, des feux de guidage et des feux d'axe directionnels sur les voies de circulation, dans le cadre d'un système de guidage et de contrôle de la circulation de surface (SMGCS).

10.6 INTERCONNEXION DES COMMANDES

10.6.1 Dans les conditions d'exploitation des aérodromes, il arrive souvent que certaines combinaisons de feux soient toujours utilisées ensemble ou que d'autres combinaisons soient exclues. En voici quelques exemples :

- a) les feux de bord de piste, les feux de seuil et les feux d'extrémité de piste peuvent être allumés simultanément bien qu'ils soient alimentés par des circuits différents ;

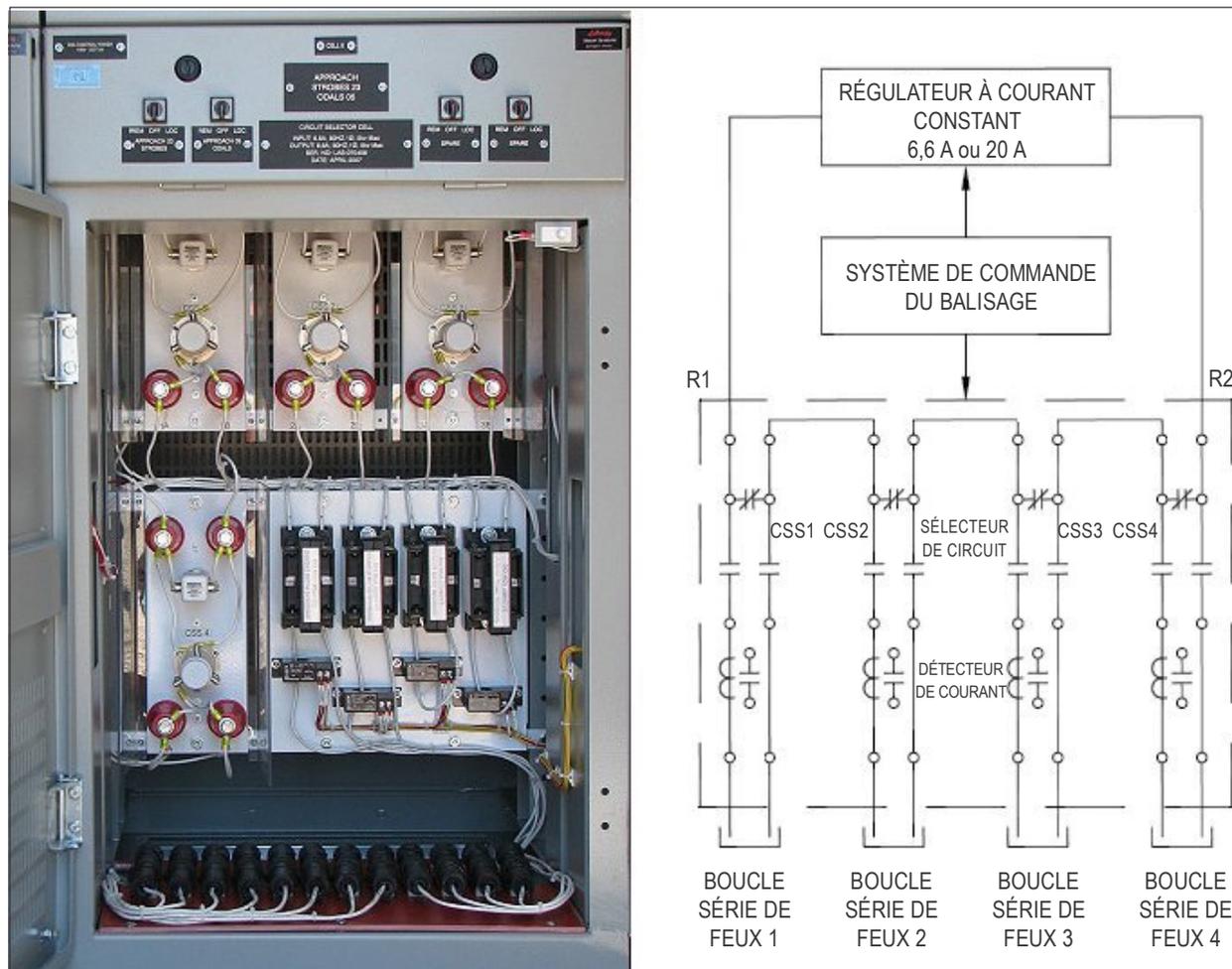


Figure 10-9. Armoire de relais de sélection (source : Liberty Airfield Lighting)

- b) les feux de bord de piste peuvent être utilisés sans les feux d'axe de piste mais, si ces derniers sont allumés, les feux de bord de piste doivent l'être aussi ;
- c) les feux à éclats successifs du dispositif lumineux d'approche ne peuvent être activés que si les feux à incandescence sont également allumés ;
- d) dans certaines conditions atmosphériques, le réglage de l'intensité lumineuse peut être différent pour le dispositif d'approche et les feux de piste, et à un autre niveau encore pour les feux des voies de circulation afin de maintenir un bon équilibre visuel entre les différentes parties de système de balisage ;
- e) les feux d'axe des voies de sortie rapides peuvent avoir à être contrôlés individuellement avec un niveau d'intensité lumineuse qui correspond à celui des feux d'axe de la piste associée ;

- f) le système de commande peut être conçu pour que le contrôleur soit capable de combiner différentes séries de feux selon un mode spécifique. Par exemple, pour l'atterrissage sur une piste particulière, une sélection unique, disons « Atterrissage 31 », produira l'allumage simultané du dispositif d'approche, de la piste et des voies de circulation à des niveaux d'intensité déterminés automatiquement en fonction des conditions de visibilité. D'une manière analogue, les feux de piste et ceux des voies de circulation pour une visibilité médiocre peuvent être sélectionnés à partir d'une commande unique. Le système doit aussi permettre à l'ATC de passer outre la commande automatique ;
- g) les barres d'arrêt sont normalement installées avec un système associé de « feux verts : avancez ». Le système de commande doit permettre à l'ATC d'allumer toutes les barres d'arrêt d'une piste, puis de contrôler individuellement celles qui donnent accès aux extrémités ou à certains passages de traversées de la piste. Quand la barre d'arrêt est éteinte, les feux d'arrêt associés doivent pouvoir être allumés pour donner une confirmation visuelle de l'instruction vocale d'avancer. La barre d'arrêt est rallumée dès que l'avion est passé par un détecteur (à hyperfréquences, à boucle dans la chaussée, etc.) ou au bout d'un temps prédéterminé. Quand la barre d'arrêt se rallume, les feux associés s'éteignent.

10.7 COMMANDES AUTOMATIQUES

10.7.1 Certains types de balisage lumineux d'aérodrome peuvent fonctionner de façon satisfaisante en mode automatique. Le plus souvent, ces commandes automatiques sont utilisées sur les petits aérodromes, mais on peut les adopter sur les grands aéroports pour les aides visuelles moins critiques, notamment si leur emplacement ne permet pas un raccordement facile des circuits de commande. L'installation doit prévoir la possibilité de surpasser la commande automatique de certains systèmes de balisage.

10.7.2 Des capteurs photoélectriques peuvent servir à allumer et à éteindre les phares d'aérodrome, les indicateurs de direction du vent et les feux d'obstacles dans les zones qui ne sont pas vraiment critiques. Ces capteurs mesurent généralement le niveau d'éclairement du ciel en direction du nord, la transition jour-nuit se faisant entre 600 et 350 lux et la transition nuit-jour, entre 350 et 600 lux. Dans l'hémisphère sud, le capteur photoélectrique doit évidemment être orienté vers le sud.

10.7.3 Les commandes temporisées sont souvent utilisées aux aérodromes où les aides visuelles doivent être éteintes la nuit après une certaine heure pour des raisons d'économies d'énergie. On peut aussi employer des commandes « astronomiques » qui ont l'avantage de s'adapter automatiquement aux changements de l'heure de l'aube et du crépuscule. Des détecteurs thermométriques peuvent aussi être employés pour commander le réchauffage de certaines aides visuelles en vue d'éviter la formation ou l'accumulation de glace, de neige ou de condensation.

10.8 FEUX ADRESSABLES

10.8.1 Les « feux adressables » sont des feux commandés individuellement. La Figure 10-10 illustre un système classique de commutation de dispositifs adressables par un courant porteur sur la ligne d'alimentation. Chaque feu est relié à un module adressable de commande et de surveillance (ACMU) connecté sur le câble secondaire du transformateur d'isolement. Dans le poste électrique, une interface transmet des signaux de commande par le circuit série de balisage. Les modules ACMU implantés sur le terrain réagissent aux signaux transmis sur le câble par l'interface du circuit série en allumant le feu associé et en renvoyant un signal de réponse à l'activation. Chaque module ACMU est programmé avec des paramètres de configuration uniques qui constituent l'adresse du feu associé.

10.8.2 Bien que la plupart des installations utilisent la technologie des courants porteurs en ligne (qui ne nécessite aucun câble supplémentaire), il existe aussi des systèmes de commutation par adressage utilisant des fibres

optiques ou des paires de cuivre torsadées pour la transmission des signaux. Le concepteur doit cependant être conscient des exigences technologiques propres à chaque mode de transmission de données.

10.9 TEMPS DE RÉPONSE

Le temps de réponse du système ALCS doit être tel que, lorsqu'un changement de l'état opérationnel du balisage se produit, une indication est retournée en moins de 2 secondes pour les barres d'arrêt et en moins de 5 secondes pour les autres types d'aides visuelles.

10.10 CONTRÔLE DES CIRCUITS DE BALISAGE D'AÉRODROME

10.10.1 Selon la section 8.3 de l'Annexe 14, Volume I, un système de contrôle devrait être utilisé pour indiquer l'état de fonctionnement des dispositifs lumineux. On a rarement recours au contrôle visuel, qui ne porte que sur ce que les contrôleurs peuvent voir et ce que les pilotes peuvent signaler. Certains systèmes de contrôle des dispositifs lumineux n'indiquent que la position de l'interrupteur commandant le circuit. Il est souhaitable d'avoir un système de contrôle détectant l'état réel (allumé ou éteint) des feux sur le terrain. Un contrôle partiel ou incomplet peut créer un faux sentiment de sécurité.

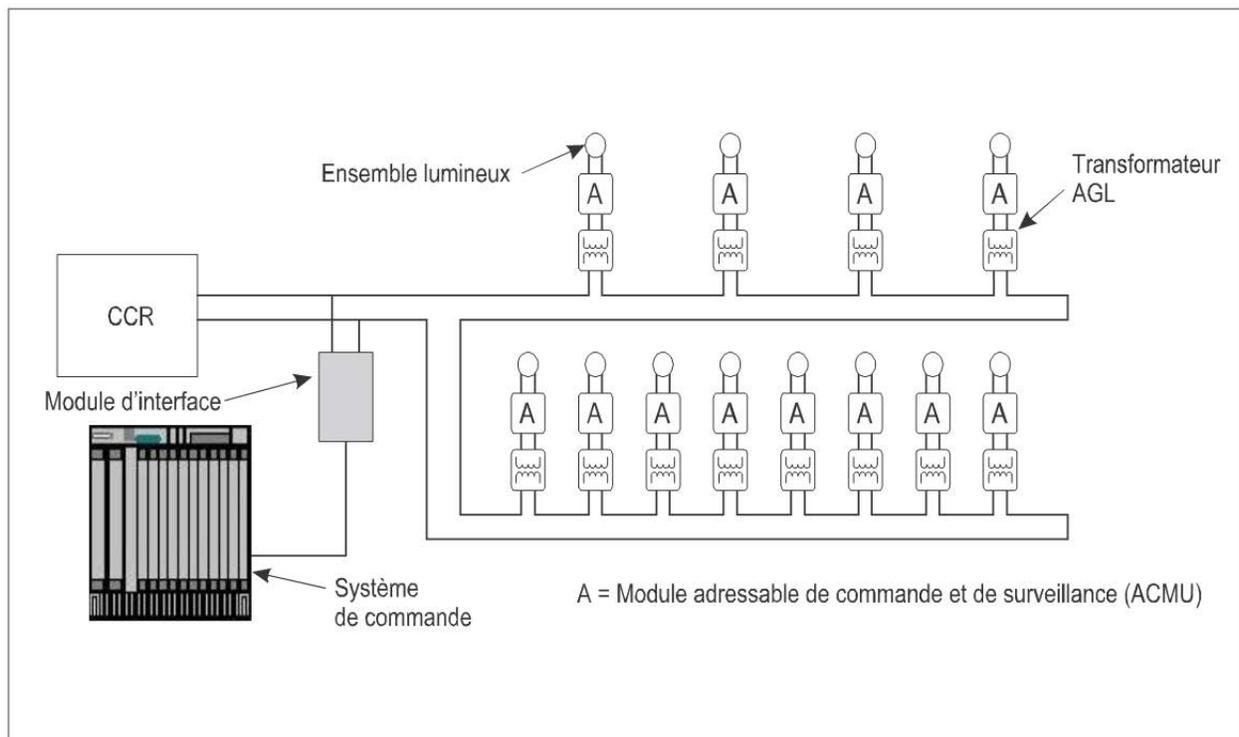


Figure 10-10. Feux adressables

10.10.2 Le Chapitre 10 de l'Annexe 14, Volume I, définit un feu comme étant hors service lorsque l'intensité moyenne du faisceau principal est inférieure à 50 % de la valeur spécifiée dans la figure appropriée de l'Appendice 2 de l'Annexe. Pour les feux dont le faisceau principal a une intensité fonctionnelle moyenne supérieure à la valeur donnée dans l'Appendice 2, la valeur de 50 % sera liée à la valeur fonctionnelle. Au moins un État définit une défaillance du feu comme une réduction à moins de 70 % de l'intensité lumineuse prescrite. Les systèmes de surveillance des régulateurs ne sont pas encore capables de détecter une défaillance partielle, c'est-à-dire une baisse d'intensité lumineuse, et la supervision n'est sensible qu'à l'extinction totale du feu par la rupture du filament de la lampe. D'une manière analogue, un système de surveillance utilisant des capteurs au niveau de la sortie du régulateur n'est pas en mesure de détecter une réduction de l'intensité lumineuse du feu, par exemple s'il est masqué par de l'herbe, de la neige ou des dépôts de caoutchouc. En conséquence, l'inspection quotidienne du terrain reste une nécessité.

10.10.3 Les sources DEL n'ont pas le même mode de défaillance que les lampes à incandescence. Plus précisément, il n'y a pas de filaments dont la coupure s'accompagne d'une variation mesurable des caractéristiques électriques du circuit. Dans la conception d'un circuit de balisage à feux à DEL, il est donc recommandé de prévoir une indication de circuit ouvert (coupure franche) au secondaire du transformateur AGL ou une indication de courant nul pour les circuits à tension constante. Ces dispositions sont particulièrement nécessaires si un feu installé est rééquipé en DEL avec contrôle de fonctionnement.

10.10.4 La surveillance des systèmes de balisage porte sur les anomalies suivantes :

- a) perte de l'entrée alternative du régulateur à courant constant ;
- b) mise hors service du régulateur par un déclenchement des circuits de protection ;
- c) baisse de 10 % ou plus de la puissance (VA) absorbée par le circuit série ;
- d) panne du régulateur qui ne fournit plus le courant de sortie correspondant au niveau de luminosité choisi ;
- e) défaillance d'un nombre préétabli de lampes dans le circuit série.

10.10.5 Les conditions de défaut qui correspondent à une perte totale du circuit — disparition du balisage pour le pilote — font l'objet d'une alarme à l'ATC. Les défauts qui sont liés à des critères de maintenance, comme la défaillance d'un nombre préétabli de lampes, sont signalés au centre des opérations ou au centre de maintenance. Si le système de balisage est constitué de deux ou plusieurs circuits, la panne d'un circuit peut être signalée par une alarme à l'ATC ; même si la réduction du nombre de feux laisse un balisage suffisant pour être utilisé par les aéronefs en mode urgence, il s'agit néanmoins d'une défaillance du système du point de vue de la poursuite des opérations.

10.11 CATÉGORIES DE MOYENS DE CONTRÔLE

On distingue les moyens de contrôle actifs et passifs. Les moyens de contrôle actifs réagissent d'une manière prédéterminée au moment où ils détectent une situation donnée, ou dans un délai déterminé après l'apparition de cette situation. On range, par exemple, dans cette catégorie les détecteurs de tension de l'alimentation principale qui commandent automatiquement le démarrage du groupe électrogène auxiliaire et commutent la charge sur ce groupe en cas de panne de l'alimentation principale, ainsi que les temporisations qui abaissent automatiquement la valeur de l'intensité et déclenchent un signal sonore ou lumineux si les feux sont restés à pleine intensité pendant 15 minutes¹.

1. Il n'est pas souhaitable de permettre une réduction automatique de l'intensité lumineuse, car le pilote pourrait être dérouté dans une phase critique de son approche.

Les moyens de contrôle passifs déclenchent un signal, par exemple un voyant ou un ronfleur, lorsqu'il se produit une situation déterminée. C'est à l'opérateur qu'il incombe d'interpréter le signal et de prendre les mesures voulues. On range, par exemple, dans cette catégorie les moyens de contrôle des feux à éclats successifs, qui produisent un signal d'alerte lorsqu'un nombre prédéterminé de feux sont en panne, ainsi que les voyants indiquant une défaillance de certains circuits.

10.12 COMMANDES DE SURPASSEMENT DES MOYENS DE CONTRÔLE

On utilise souvent des commandes ou des procédures pour surpasser ou annuler l'intervention des moyens de contrôle. En actionnant un circuit spécial ou en réenclenchant une commande, l'opérateur peut maintenir sans changement le fonctionnement des circuits pendant un laps de temps déterminé ou indéfini. Un signal indiquant le déclenchement du moyen de contrôle peut persister pendant que le circuit fonctionne en mode surpassement pour rappeler à l'opérateur que le circuit opère dans des conditions anormales. Il arrive, par exemple, qu'on réenclenche la temporisation pour maintenir l'intensité maximale au début de chaque approche par faible visibilité pour que les feux ne passent pas automatiquement à une intensité réduite au cours de l'approche.

10.13 SURVEILLANCE DE LA RÉSISTANCE D'ISOLEMENT

Les régulateurs à courant constant peuvent être équipés d'un système de surveillance de la résistance d'isolement permettant de connaître l'état des circuits en temps réel et de produire des rapports statistiques.

10.14 COMMANDE PAR RADIO DU BALISAGE D'AÉRODROME (ARCAL)

10.14.1 Depuis plusieurs années, sur certains aérodromes secondaires, les installations de balisage lumineux peuvent être commandées par des signaux radio à partir des aéronefs. Cette méthode de commande présente plusieurs avantages : elle permet au pilote de choisir lui-même l'intensité lumineuse qui lui convient, elle évite le coût élevé des câbles de commande et elle économise également l'énergie puisque le balisage lumineux s'éteint dès qu'il n'est plus nécessaire. Les commandes radio peuvent être de type air-sol ou sol-sol et il existe des systèmes ayant les deux fonctionnalités, air-sol et sol-sol. La commande par radio sol-sol est surtout utilisée dans les situations où les câbles de commande ne sont pas disponibles ou sont difficiles à installer. En dehors de ces cas, la commande par radio ne devrait être utilisée que temporairement, le temps que les câbles nécessaires soient posés.

10.14.2 Pour la commande par radio du balisage d'aérodrome (ARCAL), c'est-à-dire la liaison air-sol, il suffit d'installer un récepteur et un décodeur sur l'aéroport. Cette forme de commande permet au pilote d'allumer les feux de bord de piste et des voies de circulation, un dispositif d'approche simple et l'indicateur visuel de pente d'approche, soit individuellement, soit en combinaisons préétablies aux aérodromes non contrôlés ou à ceux dont la tour de contrôle ferme à certaines périodes. Le balisage des obstacles ne devrait pas être commandé par radio, mais pourrait être associé à certaines installations clés conditionnant l'état opérationnel du site. Par exemple, sur un héliport les feux d'obstacles pourraient être allumés en même temps que le balisage, étant donné qu'ils ne sont utiles que lorsque l'héliport est en opération. Ce genre d'installation exige l'approbation des autorités locales.

10.14.3 Le signal d'activation de l'ARCAL est constitué d'une brève série de « clics » cadencés produits par la manipulation du microphone de l'émetteur de communication de l'aéronef, selon le code indiqué au Tableau 10-1. À la fin d'une période prescrite, par exemple 15 minutes, les feux s'éteignent ou reviennent à leur niveau d'intensité prééglé. Le système peut être réarmé un nombre quelconque de fois pour une nouvelle période de 15 minutes en refaisant le

code de clics au microphone. Sauf pour les feux d'identification de seuil de piste (RTIL) à un ou deux niveaux, les installations de balisage ne devraient pas pouvoir être désactivées par radio avant la fin du cycle de 15 minutes.

10.14.4 Le système ARCAL fonctionne sur une fréquence unique assignée par l'autorité locale dans la bande VHF 118-136 MHz. Dans la mesure du possible, la commande par radio du balisage devrait pouvoir se faire sur la fréquence d'avis de circulation commune (CTAF) de l'aérodrome. La CTAF peut être une fréquence UNICOM, MULTICOM, FSS ou de la tour, qui doit être identifiée dans les publications aéronautiques appropriées.

Interface de la commande par radio des systèmes de balisage

10.14.5 La sortie du contrôleur radio unique de l'aéroport est généralement appliquée aux entrées de commande des divers systèmes de balisage. Le contrôleur de commande par radio peut être directement relié aux circuits de balisage ou à une boîte d'interface pour réduire la charge des relais de sortie du contrôleur radio ou pour ajouter des fonctionnalités supplémentaires. Les paragraphes qui suivent passent en revue les considérations de conception pour l'interface de la commande par radio des divers systèmes de balisage.

10.14.6 Le système de commande par radio est configuré de manière que les feux de piste soient allumés en même temps que les autres circuits de balisage desservant la piste en question (sauf pour les opérations de jour). Si les feux d'approche de la piste sont commandés par radio et si les feux de bord de piste ne le sont pas, ces derniers doivent être laissés au niveau d'intensité choisi en fonction des conditions météorologiques prévues pour les opérations de nuit. Si les feux de piste sont commandés par radio et si les feux d'approche ne le sont pas, ces derniers doivent être laissés éteints ou à un niveau d'intensité préétabli. Les feux d'approche ne doivent jamais être allumés sans que les feux de piste le soient.

10.14.7 Sur les pistes dont les feux d'approche et les feux de piste sont tous deux commandés par radio, les intensités des deux systèmes doivent pouvoir être augmentées ou diminuées simultanément par radio.

10.14.8 Le système ARCAL comporte trois fonctions de commande, alors que les systèmes de balisage de l'aéroport peuvent avoir un, deux, trois ou cinq niveaux d'intensité. Le Tableau 10-1 est un exemple de la manière d'interfacer la commande par radio avec les niveaux du système de balisage de l'aéroport. Par exemple, un système à cinq niveaux d'intensité pourrait être configuré de façon que trois clics de microphone correspondent au niveau 1 ou 2, cinq clics, au niveau 3, et sept clics, au niveau 5. Les responsables de l'aéroport peuvent choisir le niveau 1 ou le niveau 2 comme intensité minimale, selon l'arrière-plan lumineux de l'aéroport.

10.14.9 Pour les installations dont l'intensité est automatiquement réglée par une cellule photoélectrique ou un autre moyen, la commande par radio ne fait qu'activer le système et l'intensité sera automatiquement ajustée par la cellule photoélectrique.

10.14.10 Les systèmes RTIL peuvent avoir un ou plusieurs niveaux d'intensité et devraient être ajustés en fonction de l'environnement du pilote. Si le RTIL a plus d'un niveau d'intensité, la pratique habituelle est de le désactiver lorsque le balisage de la piste associée est à basse intensité (trois clics) et de l'activer pour les intensités plus élevées (cinq et sept clics). Pour un RTIL à trois niveaux, la sélection bas-moyen-haut correspondra à trois, cinq et sept clics.

10.14.11 Quand la commande air-sol par radio est utilisée de nuit, l'installation de balisage peut ne pas être allumée pendant de longues périodes. Au cours de ces périodes « creuses », le phare de l'aéroport, les feux d'obstacles et les autres systèmes de balisage, qui eux ne sont pas commandés par radio, continueront de fonctionner, alors que les systèmes commandés par radio seront éteints. En option, les feux de bord de piste peuvent être laissés allumés à basse intensité, selon les conditions locales. Si les feux de piste restent allumés au cours des périodes creuses, les autres systèmes de balisage peuvent également rester allumés à l'intensité prédéterminée.

Tableau 10-1. Exemple d'interface de commande par radio des aides visuelles d'un aéroport

Système de balisage	Nombre de niveaux d'intensité	Niveau d'intensité sélectionné en fonction du nombre de clics de micro		
		3 clics	5 clics	7 clics
Feux d'approche	2	Bas	Bas	Haut
	3	Bas	Moyen	Haut
	5	1 ou 2	3	4*
Feux de bord de piste				
Basse intensité	1	Allumé	Allumé	Allumé
Moyenne intensité	3	Bas	Moyen	Haut
Haute intensité	5	1 ou 2	3	4*
Feux de bord de voies de circulation	1	Allumé	Allumé	Allumé
	2	Bas	Bas	Haut
	3	Bas	Moyen	Haut
Feux d'axe de piste	5	1 ou 2	3	4*
Feux de zone de toucher des roues	5	1 ou 2	3	4*
Feux axiaux de voie de circulation	3	Bas	Moyen	Haut
	5	1 ou 2	3	4*
Feux d'indication de seuil de piste	1	Éteint	Éteint	Allumé
	2	Éteint	Bas	Haut
	3	Bas	Moyen	Haut
PAPI	3	Allumé	Allumé	Allumé
	5	1 ou 2	3	4*
Indicateur de direction de vent	1	Allumé	Allumé	Allumé

* Le système peut comprendre une cellule photoélectrique permettant d'utiliser la commande 5 clics pendant les opérations de jour.

10.14.12 Comme les feux de piste et de voies de circulation, les dispositifs d'approche et les panneaux de signalisation éclairés ne sont normalement pas nécessaires de jour — sauf si les conditions de visibilité sont extrêmement médiocre, le système de commande par radio peut être configuré avec un mode jour dans lequel il n'active que les systèmes de balisage utiles de jour. L'utilisation d'un tel mode signifie cependant que les procédures IFR de jour associées aux systèmes de balisage désactivés ne pourront pas être utilisées. Le mode jour peut être sélectionné automatiquement au moyen d'une cellule photoélectrique ou manuellement par un interrupteur. Dans les zones où le trafic vocal est intense sur la même fréquence que la commande par radio, il peut y avoir des activations involontaires par trois clics aléatoires se succédant au cours d'une période de 5 secondes. Si cette possibilité pose un problème, le niveau « trois clics » de la commande par radio peut être désactivé en mode jour.

10.14.13 D'autres dispositifs de commande, comme des verrouillages, des cellules photoélectriques et des commutateurs, peuvent être utilisés pour adapter le système de commande par radio à différentes conditions opérationnelles. Pour les pistes ayant un balisage d'approche aux deux bouts ou sur les aéroports à plusieurs pistes, il peut être souhaitable d'incorporer un système de commutation manuelle par lequel l'exploitant de l'aéroport choisit l'installation de balisage qui pourra être activée par radio. Cela permet au pilote de n'activer que les systèmes de balisage associés à la piste d'approche en service et aux voies de circulation associées.

Chapitre 11

LAMPES À INCANDESCENCE ET À DÉCHARGE DANS UN GAZ

Note.— Le présent chapitre décrit les lampes classiques utilisées pour le balisage lumineux aéronautique. Les nouvelles technologies, et notamment les lampes à diode électroluminescentes (DEL), sont traitées dans le Chapitre 12, section 12.2.

11.1 LAMPES À INCANDESCENCE

11.1.1 Des lampes à incandescence sont utilisées dans la plupart des luminaires installés dans les dispositifs de balisage lumineux d'aérodrome. Les caractéristiques des lampes à incandescence destinées aux circuits de balisage lumineux d'aérodrome sont décrites ci-après.

11.1.2 La quantité de lumière émise, la durée de vie, la puissance consommée et le rendement des lampes à incandescence varient de manière complexe en fonction de la tension et de l'intensité d'alimentation, comme l'indiquent le Tableau 11-1 et les Figures 11-1 et 11-2. Par exemple, si la tension d'alimentation appliquée à la lampe est supérieure de 5 % à sa valeur nominale, la quantité de lumière émise sera environ 120 % du niveau nominal, mais la durée de vie de la lampe sera réduite de moitié par rapport à sa durée théorique. Les effets des variations de courant dans la lampe sont encore plus importants. Si l'intensité du courant qui circule dans une lampe dépasse de 5 % sa valeur nominale, la quantité de lumière émise sera environ 135 % du niveau nominal, mais la durée de vie de la lampe tombera à environ 30 % de la durée théorique. Ces chiffres démontrent l'importance d'une régulation précise de la tension ou de l'intensité d'alimentation.

Tableau 11-1. Équations relatives aux lampes à incandescence

$$\frac{\text{lumens}}{\text{LUMENS}} = \left(\frac{\text{volts}}{\text{VOLTS}} \right)^{3,38} = \left(\frac{\text{ampères}}{\text{AMPÈRES}} \right)^{6,25}$$
$$\frac{\text{durée de vie}}{\text{DURÉE DE VIE}} = \left(\frac{\text{volts}}{\text{VOLTS}} \right)^{13,1} = \left(\frac{\text{ampères}}{\text{AMPÈRES}} \right)^{24,1}$$
$$\frac{\text{watts}}{\text{WATTS}} = \left(\frac{\text{volts}}{\text{VOLTS}} \right)^{1,54} = \left(\frac{\text{ampères}}{\text{AMPÈRES}} \right)^{2,85}$$
$$\frac{\text{ampères}}{\text{AMPÈRES}} = \left(\frac{\text{volts}}{\text{VOLTS}} \right)^{0,54}$$

Note.— Dans les équations ci-dessus, les exposants dépendent du type de lampe, de la puissance et des diverses amplitudes de variation de la tension, en pourcentage. Les valeurs ci-dessus s'appliquent généralement aux lampes à vide d'environ 10 lumens par watt et aux lampes à gaz d'environ 16 lumens par watt, dans une plage de tensions allant de 90 à 110 % de la valeur nominale. En dehors de cette plage, les caractéristiques qui s'appliquent sont celles des Figures 11-1 et 11-2. À ce point, la principale considération à retenir est que l'utilisation des lampes de balisage à une tension supérieure à la valeur nominale réduit sensiblement leur durée de vie.

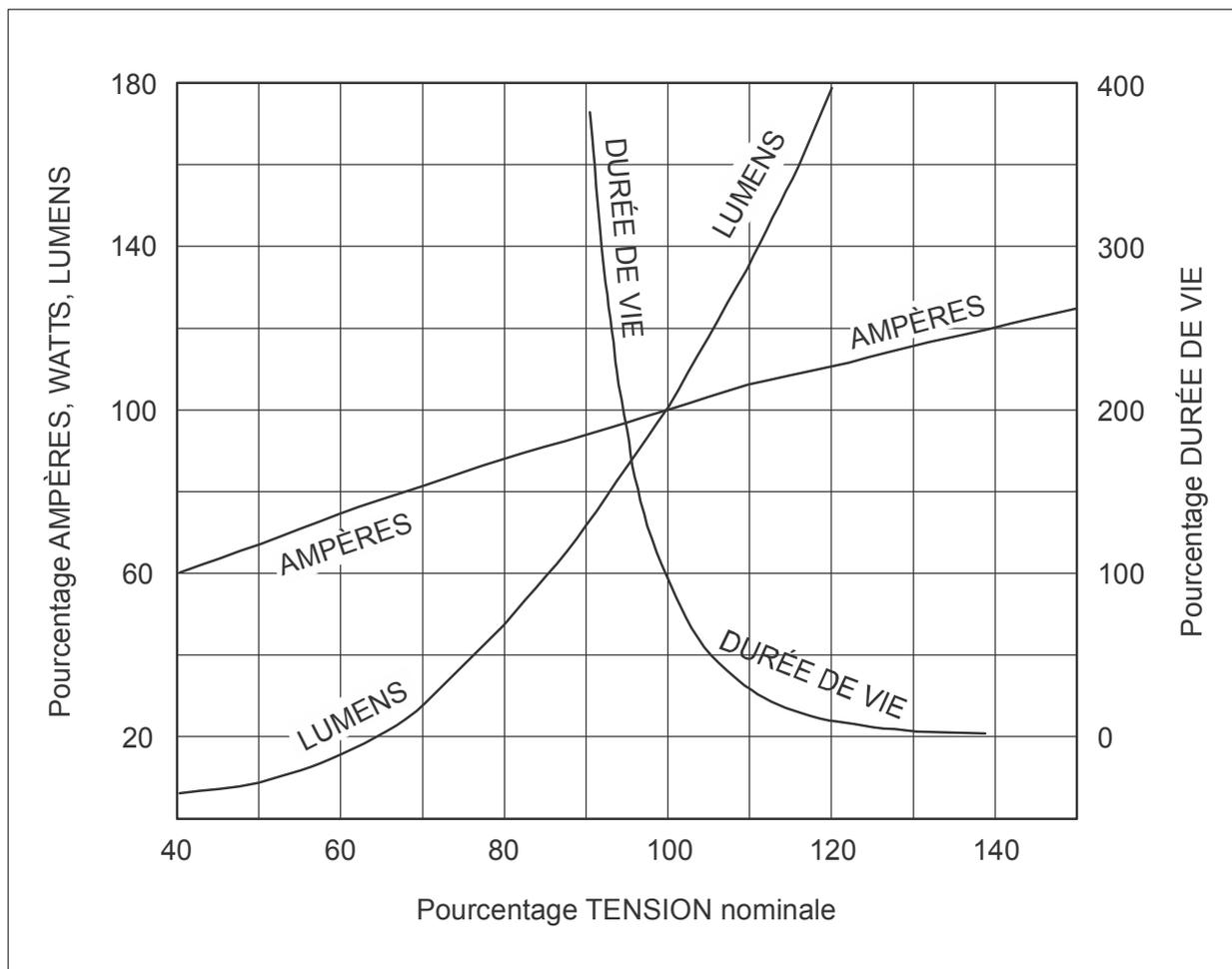


Figure 11-1. Effets des variations de tension sur les caractéristiques de fonctionnement des lampes à filament incandescent dans les circuits d'éclairage généraux (en parallèle) (adapté de IES Lighting Handbook 1984)

11.1.3 Le concepteur d'un système de balisage lumineux d'aérodrome dispose d'une certaine latitude dans le choix des lampes pour les divers types de feux : lampes en série, lampes basse tension en parallèle ou lampes en parallèle à tension plus élevée. Les considérations ci-après interviennent dans ce choix :

- la chute de tension aux bornes des lampes dans un circuit de type série correspond habituellement à la catégorie « basse tension » ; pour les feux de bord de piste de 200 W à 6,6 A, elle est de 30 V ; pour les feux d'approche de 500 W à 20 A, elle est de 25 V ;
- en raison des différences de tolérances de calcul, les lampes de type série ne doivent pas être utilisées dans les circuits parallèles et les lampes de type parallèle ne doivent pas être utilisées dans les circuits série ;
- la durée de vie d'une lampe basse tension sera plus longue que celle d'une lampe haute tension pour une consommation nominale donnée et une même émission lumineuse.

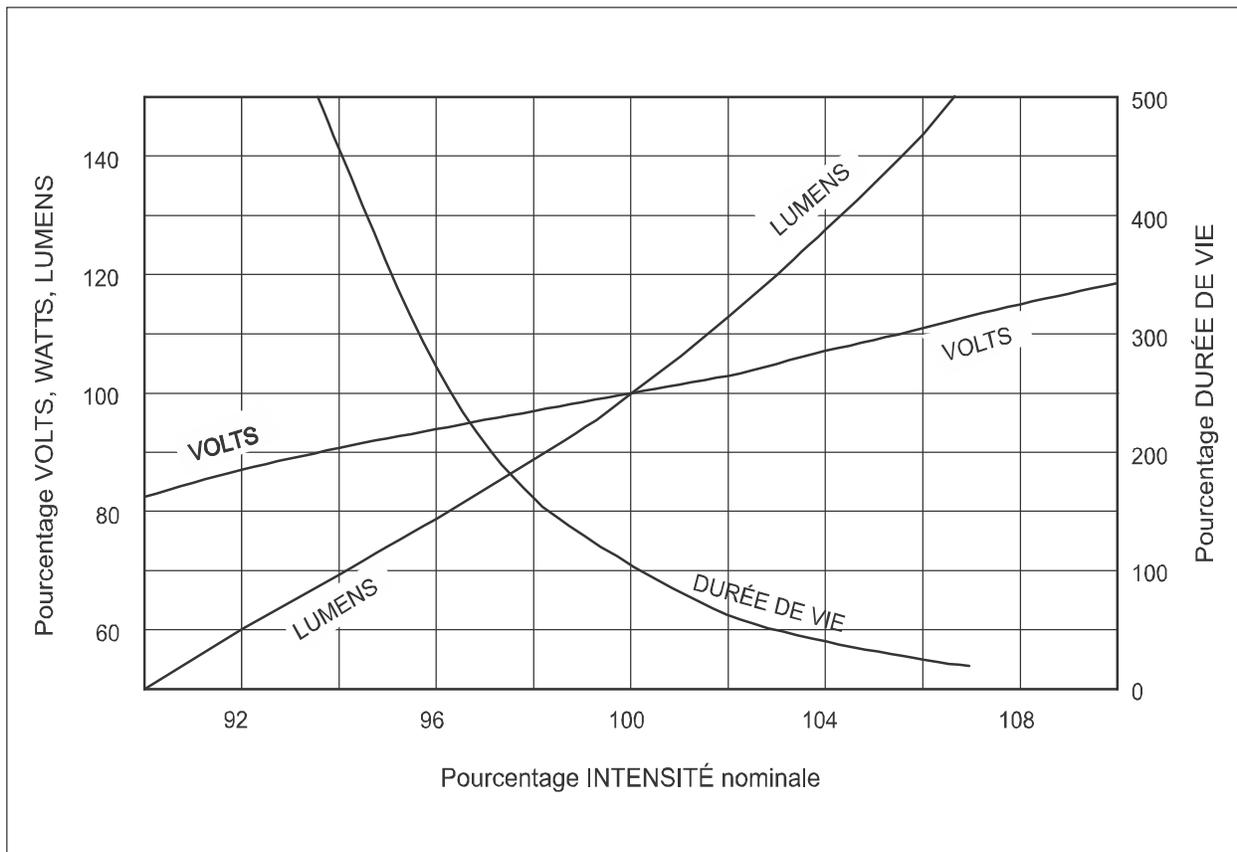


Figure 11-2. Effets des variations d'intensité sur les caractéristiques de fonctionnement des lampes à filament incandescent dans les circuits d'éclairage généraux (en série) (adapté de IES Lighting Handbook 1984)

Lampes tungstène-halogène

11.1.4 La tendance actuelle pour le balisage lumineux d'aérodrome est d'utiliser des lampes tungstène-halogène. Le filament de ces lampes est enfermé dans un petit tube de quartz qui contient une faible quantité d'un halogène, comme de l'iode, en plus du gaz inerte habituel de remplissage. Lorsque le filament est chauffé, une fraction du tungstène est vaporisée et se condense sur les parois intérieures de l'ampoule. La vapeur d'halogène se combine avec ce tungstène condensé pour reformer une vapeur qui revient se déposer sur le filament chaud où elle se dissocie en régénérant le tungstène du filament. Ce processus réduit le noircissement de l'ampoule, augmente la durée de vie de la lampe, maintient une meilleure intensité lumineuse et améliore le rendement, mais ces lampes ont l'inconvénient de coûter plus cher. Ce cycle de l'halogène a son maximum d'efficacité pour l'intensité nominale de la lampe. C'est pourquoi les installations, telles que les dispositifs d'approche, devraient toujours être utilisées à leur maximum d'intensité lumineuse pendant des périodes contrôlées pour limiter le noircissement des ampoules.

Lampes à revêtement infrarouge (IRC)

11.1.5 Les lampes halogènes ne produisent pas que de la lumière visible ; 60 % de l'énergie est rayonnée dans l'infrarouge, et donc inutile pour l'éclairage. Certains fabricants offrent des lampes IRC pour leurs montures. Ces lampes sont en fait des lampes halogènes dont le tube du filament ou le réflecteur comporte un revêtement spécial qui réfléchit l'énergie infrarouge (chaleur) vers le filament. Ce dernier est alors porté à une température plus élevée et produit plus de lumens par watt, c'est-à-dire qu'il combine une meilleure efficacité lumineuse, une moindre consommation et une plus longue durée de vie. En pratique, les lampes IRC durent deux fois plus longtemps que les lampes halogènes standard, dans les mêmes conditions.

11.1.6 La Figure 11-3 illustre une lampe MR16 à réflecteur à facettes (MR). Le nombre « 16 » représente le diamètre extérieur du réflecteur en huitièmes de pouce. Comme les caractéristiques photométriques du feu dépendent du type de lampe, les exploitants d'aéroport ne devraient pas changer de type de lampe sans l'approbation du fabricant du feu.

11.1.7 La lampe PK30 [Prefocus, Kabel (câble), diamètre de la base en millimètres] illustrée à la Figure 11-4 est utilisée dans des appareils d'éclairage comme le PAPI et les feux de bord de piste. Grâce à la petite taille de la lampe et du filament, le contrôle optique est meilleur. Comme pour les autres lampes utilisées dans des applications aéronautiques, ces lampes doivent être manipulées avec précaution car elles dégagent une chaleur intense.

11.2 LAMPES À DÉCHARGE DANS UN GAZ

Feux d'approche à éclats successifs (« stroboscopiques »)

11.2.1 Les lampes utilisées dans les feux d'approche à éclats successifs sont des tubes à décharge de condensateur en atmosphère gazeuse et non des lampes à incandescence. Le tube lui-même peut prendre diverses formes et contient un gaz inerte, comme l'argon ou le krypton, émettant de la lumière lorsqu'il est traversé par un arc électrique. L'alimentation charge des condensateurs qui sont la source d'énergie de l'arc et qui fournissent la tension d'amorçage. De très hautes tensions sont présentes dans l'alimentation et dans le tube. Il faut tenir compte de ce danger dans la conception du dispositif de balisage. L'intensité de pointe de ces feux peut être très élevée mais de courte durée. La fréquence des éclats de ces feux est limitée par le temps nécessaire pour recharger les condensateurs et n'est généralement que de quelques éclats par seconde.

Feux d'obstacles

11.2.2 Pour le balisage des obstacles, les lampes à très brefs éclats ne conviennent pas pour la navigation de nuit. La brièveté de l'éclat ne permet pas au pilote de localiser le feu dans un environnement nocturne sombre. C'est la raison pour laquelle on utilise des feux produisant une séquence rapide d'impulsions suffisamment rapprochées dans le temps pour que le pilote les voie comme un seul éclat de longue durée. Pour déterminer l'intensité efficace de ces éclats à impulsions multiples, on se reportera au *Manuel de conception des aérodromes* (Doc 9157), 4^e Partie.



Figure 11-3. Lampe à réflecteur à facettes MR16 (source : Genesis Lamp Corporation)



Figure 11-4. Lampe PK30 (source : OSRAM GmbH)

Autres types de lampes à décharge dans un gaz

11.2.3 Les lampes à décharge sont d'autant plus employées qu'elles ont un excellent rendement. Cette catégorie comprend les tubes fluorescents, les lampes à vapeur de mercure, les lampes à composé métallique halogéné et les lampes à vapeur de sodium basse pression ou haute pression. L'emploi de ces divers types de lampes se limite habituellement à l'éclairage de certaines aires, par exemple les aires de trafic, mais on utilise les lampes fluorescentes pour certains feux de bord de voie de circulation et pour éclairer des panneaux de signalisation. Pour l'utilisation de ce genre de lampes, il faut tenir compte des facteurs ci-après :

- a) *Réamorçage.* Certaines de ces lampes ne peuvent être réamorçées qu'après un délai de quelques secondes à quelques minutes suivant l'extinction de l'arc. Une interruption ou une commutation de l'alimentation peut entraîner la perte d'une ou de plusieurs lampes au moment le plus critique. Pour un balisage lumineux d'urgence, il est préférable de choisir d'autres types de lampes.
 - b) *Amorçage à froid.* L'amorçage de certaines de ces lampes est impossible ou difficile à basse température.
 - c) *Commande d'intensité.* Le réglage de l'intensité lumineuse de ces lampes est souvent impossible ou limité à une plage plus étroite que celle de lampes à incandescence.
 - d) *Effets stroboscopiques.* Les effets stroboscopiques de ces lampes peuvent être gênants. Lorsqu'on utilise ce type de lampes, par exemple pour l'éclairage de certaines aires, il peut être souhaitable d'avoir une alimentation triphasée avec une répartition équilibrée des lampes entre les phases.
 - e) *Changement de couleur.* La lumière émise par ces lampes ne couvre généralement qu'une portion limitée du spectre visible, ce qui rend difficile la reconnaissance de certaines couleurs. Le rouge est particulièrement altéré.
-

Chapitre 12

TECHNOLOGIES BASÉES SUR LES SEMI-CONDUCTEURS

12.1 INTRODUCTION

À l'origine, le balisage aéronautique de surface a repris les technologies existantes, soit l'éclairage routier, en utilisant des circuits de type série, les feux à lampes à incandescence (type à filament), les transformateurs d'isolement et les régulateurs à courant constant. Le développement des technologies basées sur les semi-conducteurs est en train de révolutionner la conception du balisage aéronautique, tout en créant de nouveaux problèmes. Le but de ce chapitre est de donner un bref aperçu des changements que cela apporte dans la conception et la maintenance des installations.

12.2 FEUX À DIODES ÉLECTROLUMINESCENTES (DEL)

Des différentes formes de technologies basées sur les semi-conducteurs, les diodes électroluminescentes (DEL) sont l'application la plus courante dans le domaine des aéroports. À l'origine, les DEL étaient réservées aux feux exigeant des niveaux d'intensité relativement faibles, comme les feux d'obstacles (32 cd) et les feux de bord de voies de circulation (2 cd). Cependant, au cours des dernières années, le rendement des DEL s'est tellement amélioré au point qu'elles sont maintenant utilisées pour toutes les applications de balisage d'aérodrome, notamment les panneaux de signalisation, les feux de bordure à haute intensité, les feux d'approche à haute intensité, et les feux de protection de piste (voir Figure 12-1).

12.3 COULEUR — CIE S 004/E-2001

12.3.1 L'un des avantages des sources DEL, par rapport aux lampes à incandescence, est que la couleur de la lumière émise reste relativement stable quand l'intensité est réduite. Autrement dit, la couleur ne présente pas de décalage de sa chromaticité lorsque le courant est réduit pour diminuer l'intensité lumineuse. Cette propriété a permis l'adoption de la norme CIE S 004/E-2001 « Couleurs des signaux lumineux » avec certaines adaptations pour le blanc (frontière du bleu). L'Annexe 14, Volume I, contient deux graphiques, la Figure A1-1(a) pour les feux à incandescence (lampes à filament) et la Figure A1-1(b) pour les feux à semi-conducteurs. Sur la Figure A1-1(a), les limites de couleur pour l'éclairage à incandescence sont celles de la norme CIE 2.2-1975 « Couleurs des signaux lumineux ». Il est prévisible qu'à terme, la technologie à incandescence sera totalement remplacée par la technologie basée sur les semi-conducteurs et que seule la Figure A1-1(b) sera conservée dans l'Annexe 14, Volume I.

Blanc et blanc variable

12.3.2 L'éclairage des dispositifs d'approche, des bords de piste, de la zone de toucher des roues et de l'axe est décrit dans l'Annexe 14, Volume I, comme étant de couleur « blanc variable ». Les limites de chromaticité sont indiquées à la Figure 12-2. Le « blanc variable » couvre toute couleur comprise entre $x = 0,285$, jusqu'à la limite du jaune de $y = 0,790 - 0,667 x$ et constitue la palette des blancs qui existe le long de la ligne de corrélation des températures de couleur ou « lieu de Planck », entre environ 10 000 °K et environ 1 900 °K, ce qui inclut le blanc OACI qui se termine à $x = 0,500$ selon les équations de délimitation spécifiées dans l'Appendice 1. Le lieu de Planck représente la dérive de couleur qui se produit lorsqu'on réduit l'intensité d'une lampe à incandescence dont le filament prend une teinte de plus en plus jaunâtre au fur et à mesure que sa température baisse.



Figure 12-1. Types d'éclairage à DEL

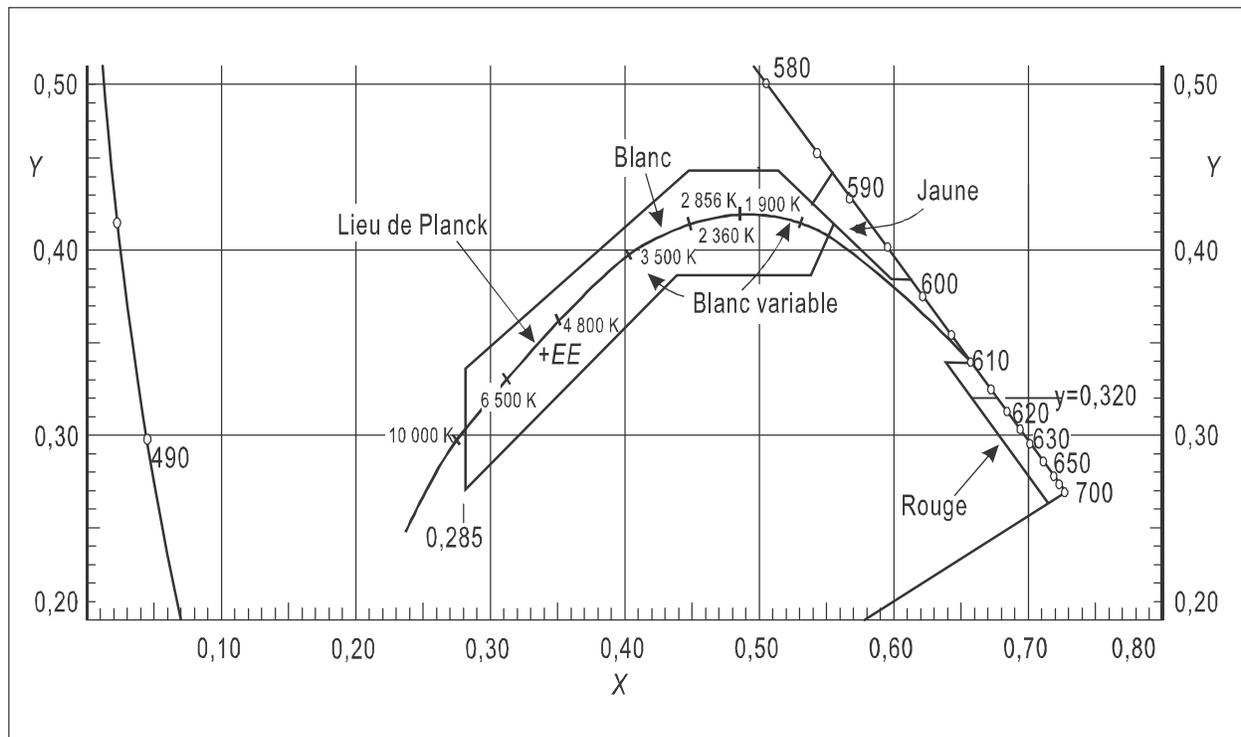


Figure 12-2. Blanc et blanc variable en éclairage incandescent

12.3.3 Dans le cas d'un éclairage à DEL dont les couleurs sont relativement stables avec la diminution d'intensité, la spécification « blanc variable » doit être interprétée comme « blanc » selon les limites illustrées à la Figure 12-3. Pour le blanc, les limites du vert et du pourpre sont les mêmes que dans un éclairage à incandescence. La limite du bleu est repoussée à $x = 0,320$ pour assurer une meilleure séparation. La limite du jaune est à $x = 0,440$, ce qui est la recommandation de la CIE S 004.

Jaune

12.3.4 Dans la CIE S 004, pour le jaune de l'éclairage à DEL, la limite du vert est repoussée à $y = 0,727x + 0,054$ pour y inclure le jaune ITE (Institute of Traffic Engineers).

Rouge

12.3.5 Le rouge de l'éclairage à DEL dans la CIE S 004 est le même que celui de l'éclairage à incandescence. À noter que le rouge des feux PAPI continue d'être limité vers le haut à $y = 0,320$, conformément à l'Annexe 14, Volume I, § 5.3.5.14 et 5.3.5.30.

Bleu

12.3.6 Le bleu de l'éclairage à DEL est approximativement la moitié de celui de l'éclairage à incandescence pour assurer une meilleure séparation de la partie bleu-vert de la zone de chromaticité du vert.

Vert

12.3.7 Le vert de l'éclairage à DEL est similaire à celui de l'éclairage à incandescence, sauf que la limite du blanc est maintenant plus restrictive ($x = 0,625y - 0,041$) pour assurer une meilleure reconnaissance du blanc. La limite du bleu est également changée à $y = 0,400$ pour assurer une meilleure séparation du bleu. La limite du jaune est maintenant rectiligne à $x = 0,310$.

12.4 DÉLIMITATION DES TEINTES DE VERT

La zone de chromaticité du vert est relativement étendue en comparaison de celles des autres couleurs et contient une gamme de teintes allant du jaune-vert au bleu-vert, séparées par la limite restrictive $y = 0,726 - 0,726x$. Pour éviter de trop grandes variations de teinte dans un même système d'éclairage, si le concepteur du site choisit des feux de couleur verte dans la partie jaune-vert de la zone de chromaticité, il est recommandé de ne pas utiliser des verts de la partie bleu-vert dans la même installation, et vice-versa. Pour ce faire, le personnel d'étude de l'aéroport doit avoir une bonne connaissance des spécifications de couleurs.

12.5 INFRASTRUCTURE — CIRCUIT SÉRIE

12.5.1 Les infrastructures classiques de balisage d'un aéroport au moyen de feux à incandescence utilisent des circuits de type série constitués d'un régulateur à courant constant, d'un câblage haute tension et de multiples transformateurs AGL. Les feux sont alimentés par le secondaire basse tension du transformateur d'isolement. On peut connecter des modules à DEL directement dans ce circuit. Comme le montre la Figure 12-4, les modules à DEL sont constitués d'un transformateur de rapport, d'un pont redresseur et d'un convertisseur qui contient un microprocesseur de réglage de l'intensité de la DEL. Cette figure ne représente pas les composants de limitation de surtension pour la protection contre la foudre et les pointes transitoires.

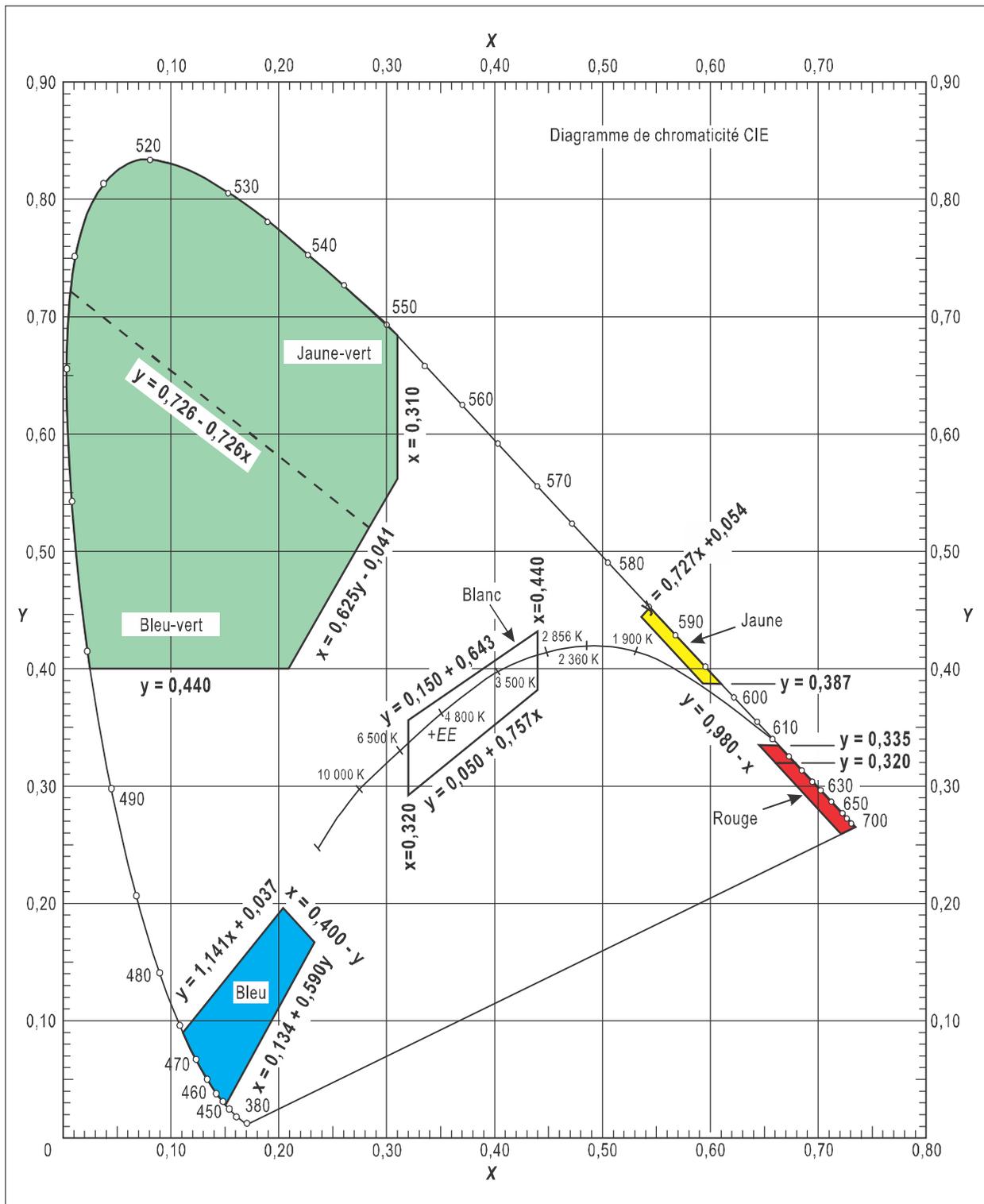


Figure 12-3. Limites de chromaticité des couleurs dans un éclairage à semi-conducteurs

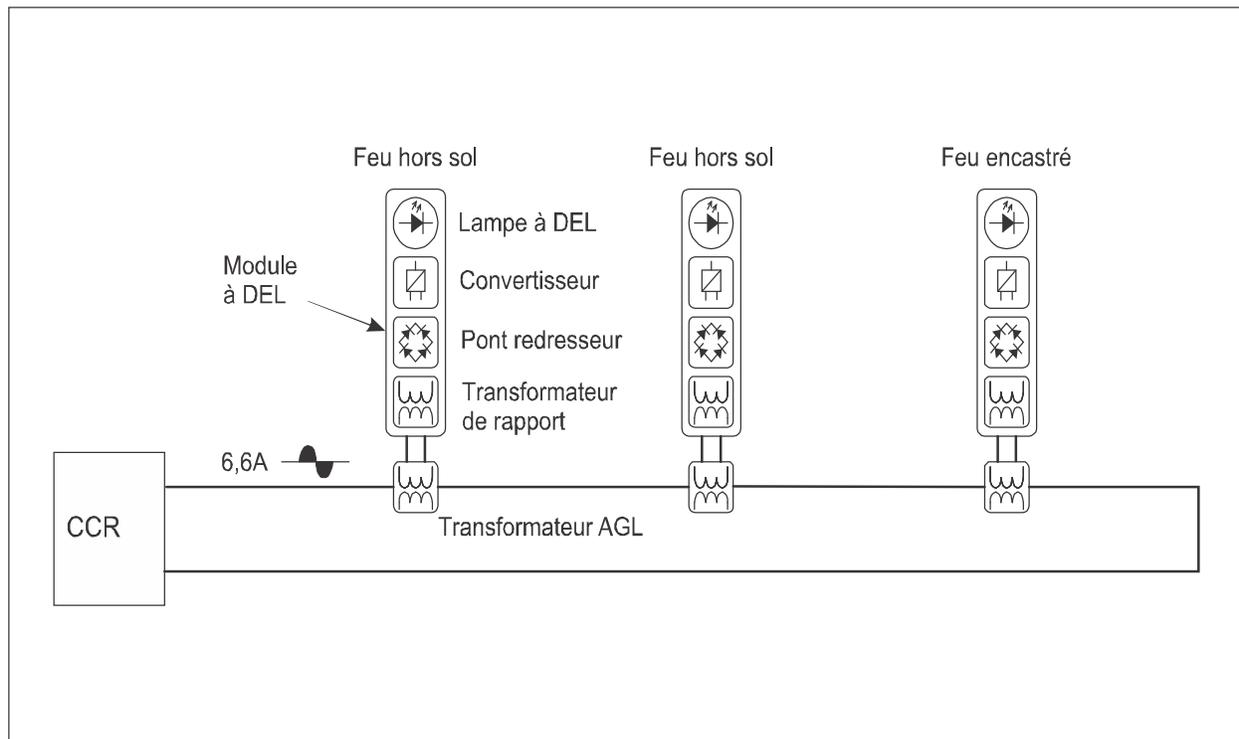


Figure 12-4. Circuit série de feux à DEL

12.5.2 Le transformateur de rapport fournit un niveau de courant (p. ex. 660 mA) compatible avec la lampe à DEL. Une autre solution serait de combiner la fonction du transformateur de rapport et celle du transformateur AGL en un dispositif unique avec un rapport de transformation de 10:1.

12.5.3 Le pont redresseur convertit le courant alternatif du secondaire en un courant continu.

12.5.4 Il convient de noter que le dispositif de dérivation n'est pas nécessaire pour les feux encastrés ou les feux à DEL hors sol, car les régulateurs à courant constant sont censés fonctionner normalement avec jusqu'à 30 % des feux dont les secondaires sont en circuit ouvert.

12.5.5 Le convertisseur électronique fournit l'alimentation de la lampe à DEL. Dans la mesure où il est souhaitable que la lampe à DEL fonctionne à son niveau nominal, le convertisseur utilise la modulation PWM pour faire varier l'intensité lumineuse. Des algorithmes gèrent la lampe à DEL de manière à simuler le fonctionnement d'un feu classique à lampe à incandescence (voir section 12.9).

12.6 MODULATION D'IMPULSIONS EN LARGEUR

Les lampes à DEL devraient normalement fonctionner à leur pleine intensité nominale et, pour faire varier (réduire) le niveau d'intensité lumineuse, on a recours à la modulation d'impulsions en largeur (PWM). Comme le montre la Figure 12-5, pour modifier la forme d'onde d'entrée on fait varier la largeur (durée) des impulsions pour obtenir une intensité lumineuse haute, moyenne ou basse. L'amplitude de chaque impulsion correspond au courant nominal de la lampe à DEL.

12.7 INFRASTRUCTURE — CIRCUIT PARALLÈLE

On peut aussi utiliser des lampes à DEL dans un circuit parallèle, comme celui de la Figure 12-6. Dans ce cas, les composants de l'ensemble lumineux sont quelque peu simplifiés. Ce type de circuit présente les avantages d'un meilleur rendement énergétique et d'un réglage plus facile. Il permet aussi une simplification des pratiques de maintenance et des règles de sécurité pour les installations basse tension du côté piste.

12.8 AUTRE INFRASTRUCTURE POSSIBLE

12.8.1 Bien que les modules à DEL individuels aient une consommation électrique considérablement plus basse que celle des feux à lampes à incandescence, les circuits classiques utilisent encore des CCR et des transformateurs AGL relativement gourmands en énergie. La consommation des CCR peut varier selon le type d'architecture du CCR. Par exemple, les CCR à ferrorésonance sont capables de conserver un bon facteur de puissance en entrée et un rendement acceptable quand on remplace des lampes à incandescence par des DEL à faible charge. Par contre, les CCR à thyristors imposent presque la même charge à la source d'alimentation quand leur sortie alimente une faible charge. Ces CCR ont souvent des prises multiples qui permettent de mieux les adapter à de faibles charges de sortie. Quant aux transformateurs AGL, ils peuvent offrir un rendement acceptable lorsqu'on leur connecte une charge réduite, mais la meilleure efficacité est atteinte quand on choisit une puissance réduite, correspondant à la faible charge d'un module à DEL. Enfin, la plupart des CCR, particulièrement les modèles anciens associés à des transformateurs d'entrée haute tension, ont un plancher de consommation quand ils sont alimentés, quelle que soit la charge connectée. En d'autres termes, ces circuits ne permettent pas de profiter pleinement de tout le potentiel d'économie de la technologie DEL. Il serait donc intéressant de remplacer complètement la conception traditionnelle du circuit de balisage par une autre infrastructure, comme celle de la Figure 12-7.

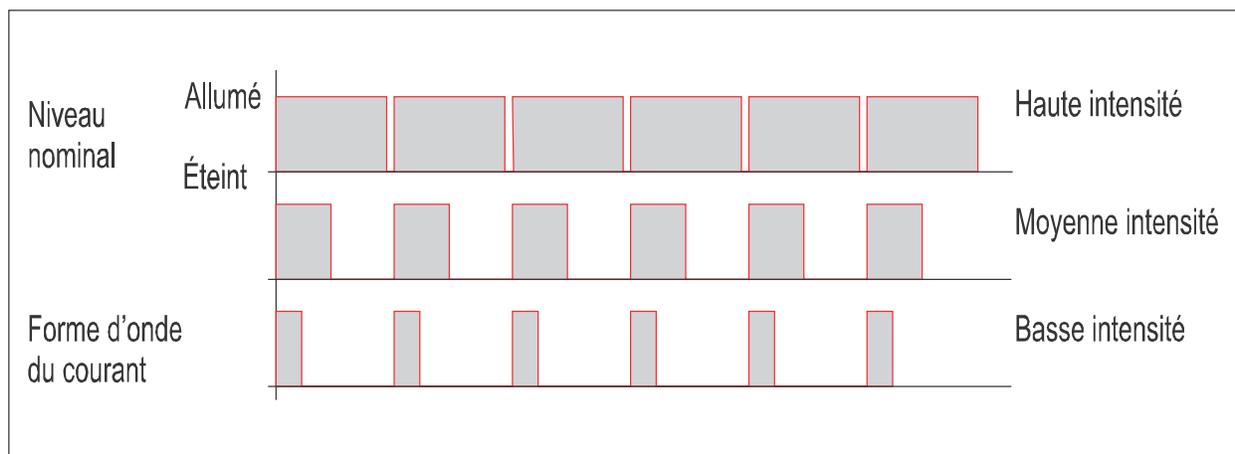


Figure 12-5. Principe du réglage de l'intensité lumineuse par modulation PWM

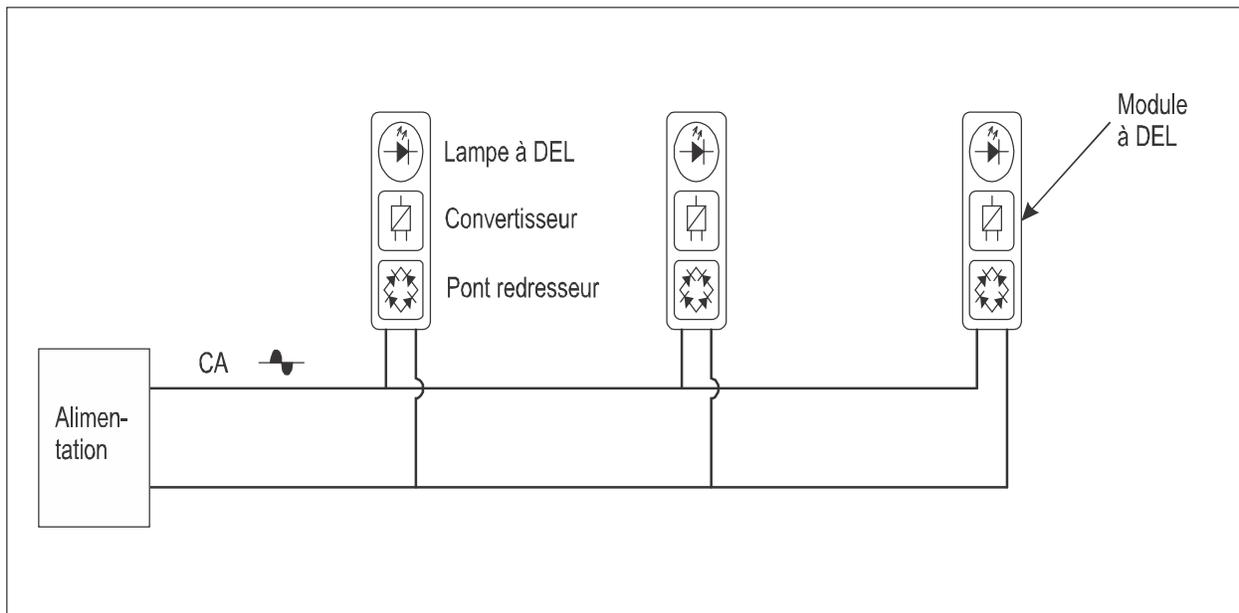


Figure 12-6. Circuit parallèle pour lampes à DEL

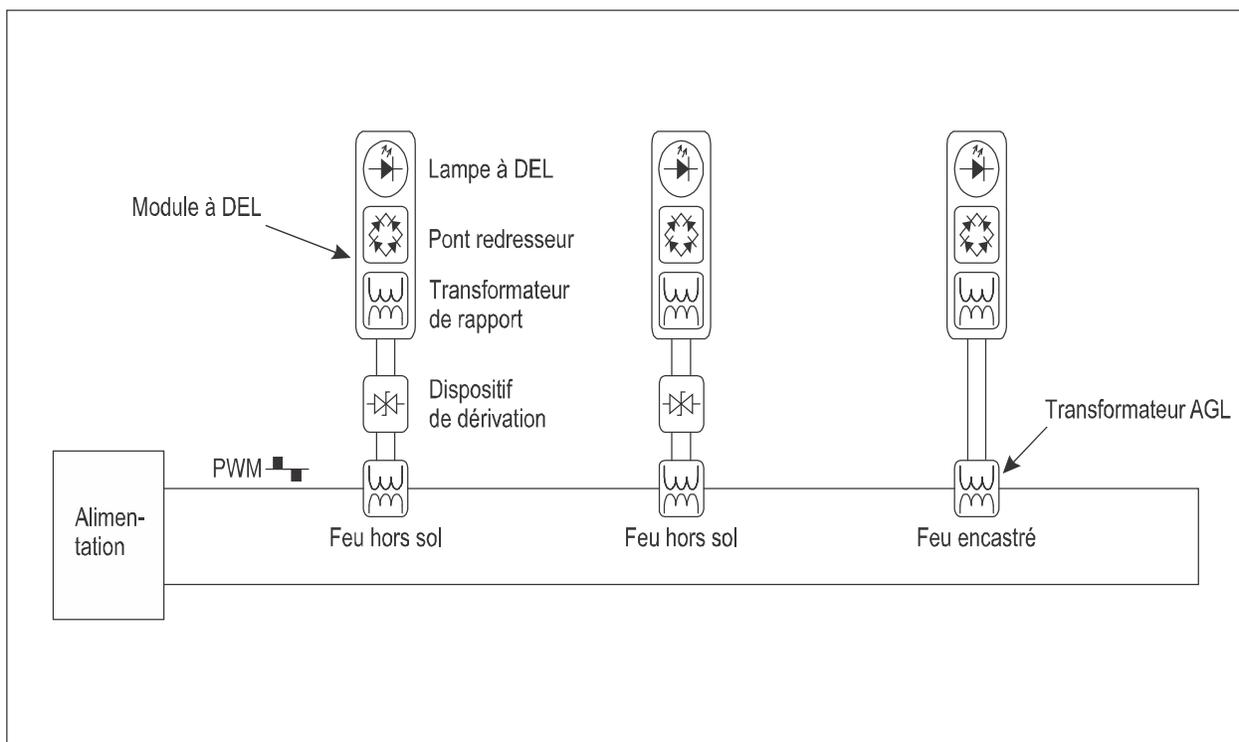


Figure 12-7. Utilisation de l'alimentation pour produire une sortie PWM

12.8.2 Le principe de conception de cette autre infrastructure est d'incorporer la fonction PWM dans l'alimentation, plutôt que de la placer au niveau de chaque ensemble lumineux. Une alimentation spécialisée, ayant un courant de l'ordre de 2 A peut être réalisée sous la forme d'un tiroir monté en bâti standard 19 pouces, soit avec un encombrement nettement réduit par rapport à un régulateur à courant constant classique. La sortie de l'alimentation est en courant alternatif pour tenir compte des transformateurs AGL qui sont encore nécessaires pour assurer l'isolement entre chaque module de feu et le circuit série. Dans chaque module, un pont redresseur convertit l'alimentation en courant continu pour les lampes à DEL. Pour les feux hors sol, un dispositif de dérivation est nécessaire pour éviter que le secondaire du transformateur AGL soit en circuit ouvert si l'ensemble lumineux est renversé (ce qui pourrait affecter la forme d'onde du circuit primaire). Un tel dispositif de dérivation n'est pas nécessaire avec les feux encastrés qui ne sont pas exposés au même risque. La réduction de la complexité générale du système se traduit par une amélioration de son MTBF. Cette nouvelle conception permet de réutiliser le câblage existant du circuit série, bien que d'autres formes de câblage soient possibles (voir Figure 12-8).

12.9 RÉGLAGES DE L'INTENSITÉ LUMINEUSE

Note.— Cette section est basée sur les pratiques d'un État particulier, pratiques qui peuvent être différentes dans d'autres États.

12.9.1 La perceptibilité d'une source lumineuse dépendra toujours du contexte dans lequel elle est observée. Elle sera influencée par le contraste entre la source lumineuse et l'arrière-plan, ou le « bruit lumineux » au travers duquel elle est vue. Un exemple est la visibilité dans l'obscurité totale d'une cigarette allumée à une grande distance. L'absence de largeur de bande spectrale d'une source lumineuse à DEL améliore le contraste par rapport au bruit environnant (y compris l'effet de dispersion dans des conditions de mauvaise visibilité), ce qui accroît encore la perceptibilité pour une luminosité donnée.

12.9.2 Il est souhaitable qu'un feu à DEL se comporte de la même manière qu'un feu à incandescence. Cependant, comme le montre la Figure 12-9, un dispositif à DEL présente une réponse naturelle linéaire par rapport au courant d'entrée, comparée à celle d'un feu à incandescence dont la courbe de réponse est exponentielle à cause de la température du filament. Par exemple, un feu de balisage à incandescence alimenté par un courant de 5,2 A produit une intensité lumineuse d'environ 25 % de sa pleine intensité. Un feu à DEL alimenté à 5,2 A (sortie du transformateur d'isolement) produirait environ 79 % de sa pleine intensité. Pour qu'un feu à DEL directement alimenté produise 25 % de son intensité, il faudrait abaisser le courant à environ 1,6 A. Cette valeur est à rapprocher du tableau et des courants du système de sélection à trois et cinq niveaux. Les systèmes à DEL auraient besoin de six niveaux de courant ou plus pour respecter les intensités lumineuses normalisées.

12.9.3 Le comportement d'un feu à incandescence peut être défini en fonction de la plage minimum-maximum de la courbe de réduction illustrée à la Figure 12-10 pour la lumière blanche. Les cinq pas d'un régulateur à courant constant sont 6,6, 5,2, 4,1, 3,4 et 2,8 A. Pour un régulateur à trois niveaux, ce sont 6,6, 5,5 et 4,8 A. Les courbes de réduction pour l'éclairage à incandescence sont décalées à 4,8 A et à 5,5 A comme en témoignent les systèmes classiques à trois niveaux.

12.9.4 Pour reproduire le comportement d'un feu à incandescence, on peut utiliser des algorithmes de simulation dans le processeur électronique du feu à DEL de telle sorte que les intensités lumineuses correspondent approximativement à la plage minimum-maximum d'un feu à incandescence, à l'exception des niveaux les plus bas. La plage est réduite pour ces niveaux bas, car il semble que les feux à DEL sont trop intenses pour reproduire ces niveaux des feux à incandescence. Les courbes de réduction pour l'éclairage à incandescence sont décalées à 4,8 A et à 5,5 A de manière à refléter les valeurs courant/intensité lumineuse spécifiées pour le système à trois niveaux. On notera que ces courbes convergent à 6,6 A. Tous les feux, à incandescence comme à DEL, commencent à 100 % et les courbes doivent être lues de haut en bas.

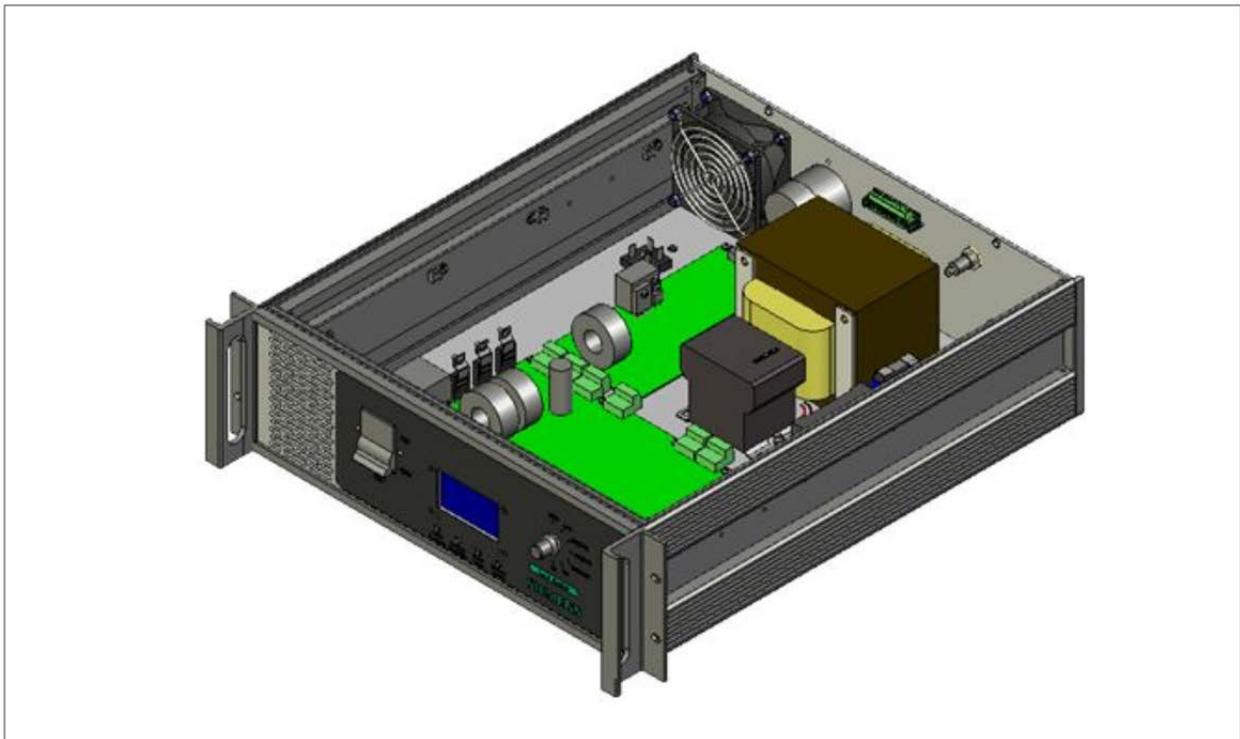


Figure 12-8. Tiroir d'alimentation PWM (source : ADB Airfield Solutions)

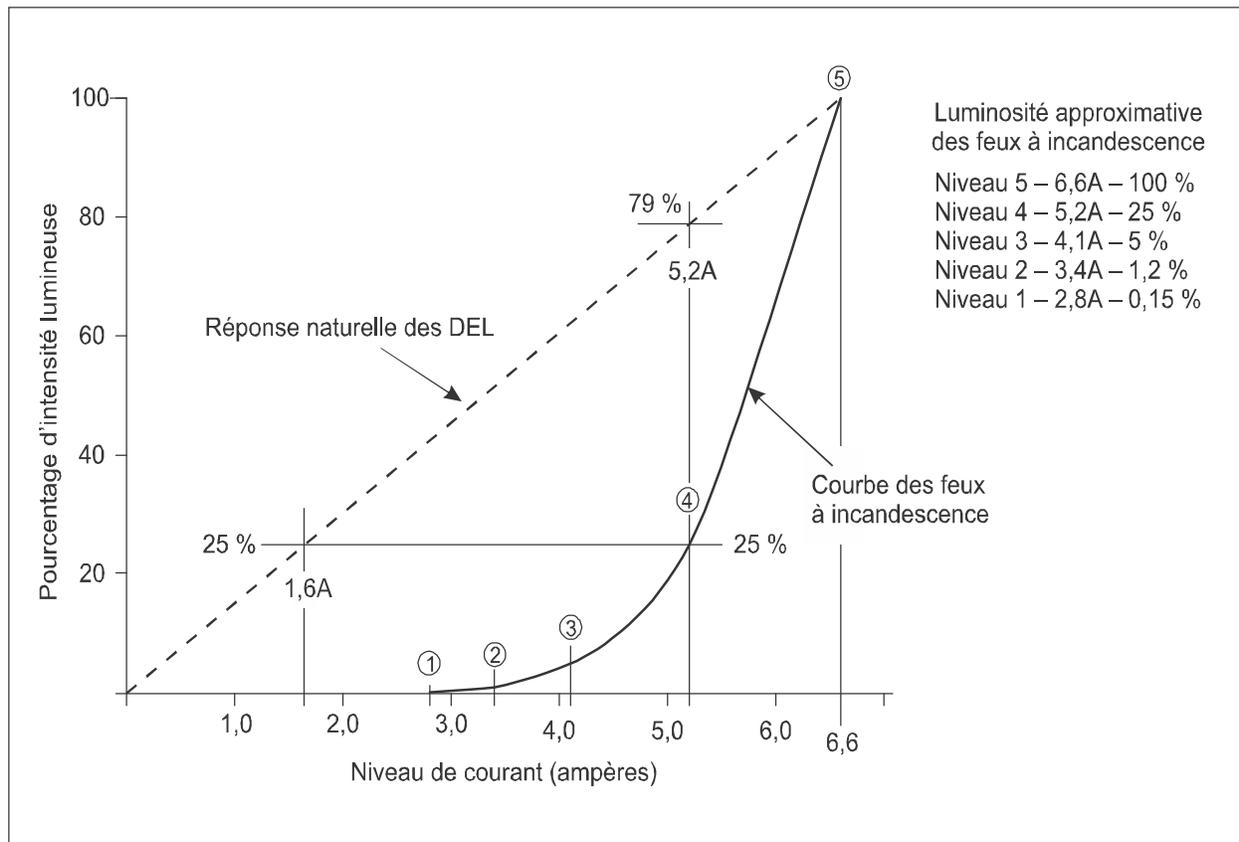


Figure 12-9. Comparaison des courbes de réponse des feux à DEL et à incandescence

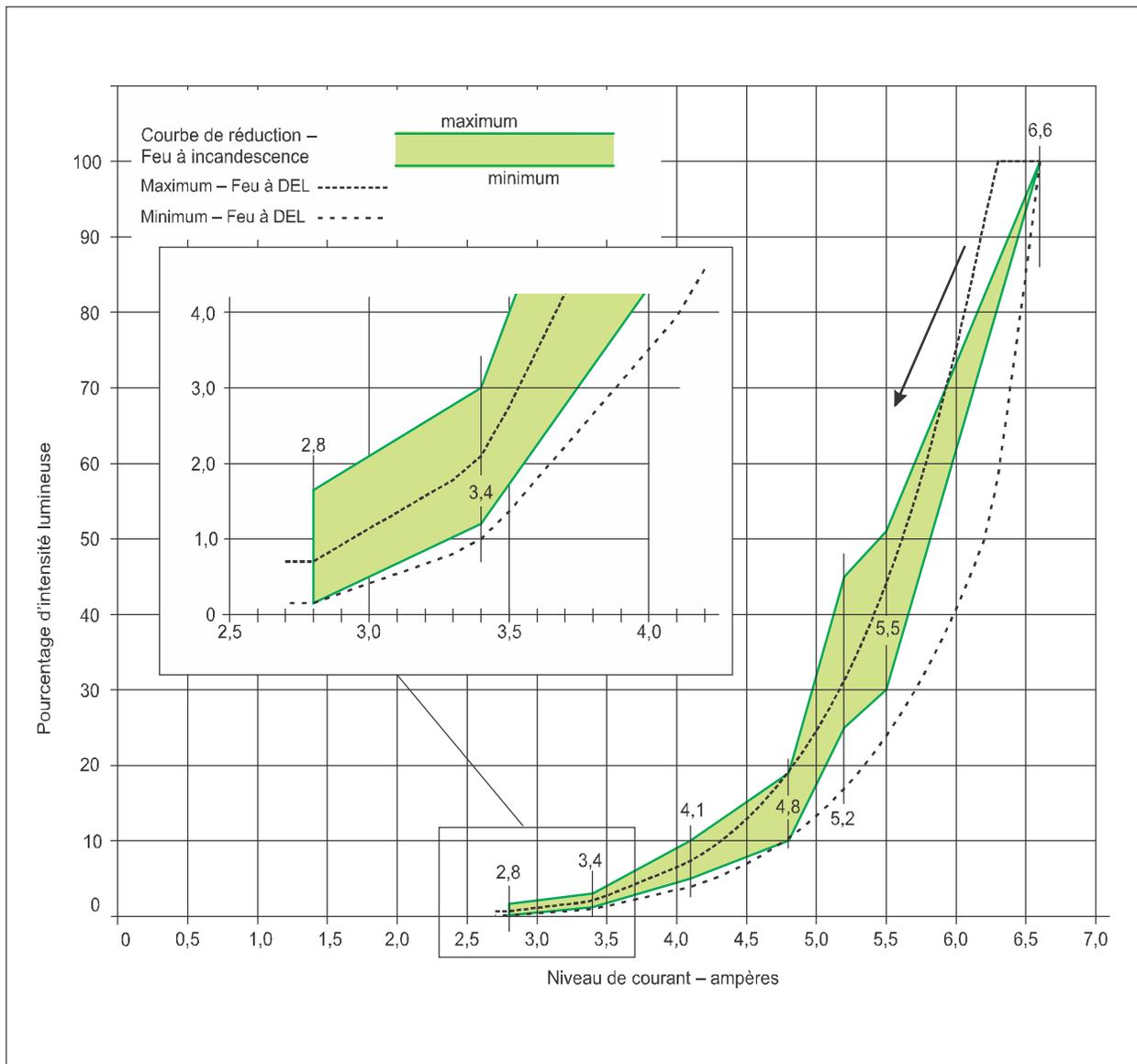


Figure 12-10. Courbes de réduction, lumière blanche

12.9.5 Le problème du comportement courant/intensité lumineuse aux bas niveaux ne concerne que la lumière blanche. Pour la lumière de couleur, les plages minimum-maximum suivent les courbes d'incandescence, comme le montre la Figure 12-11.

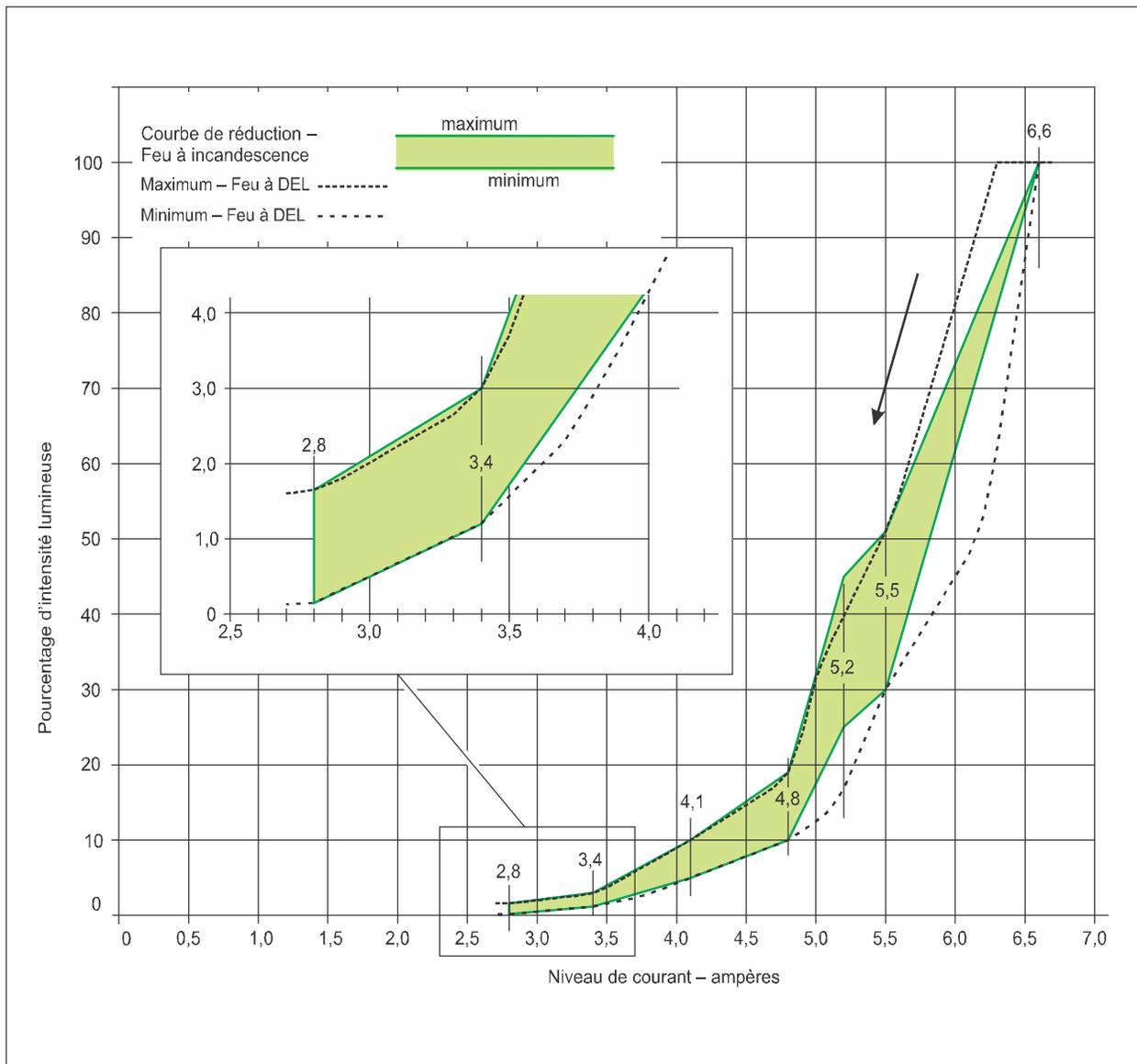


Figure 12-11. Courbes de réduction, lumière de couleur

12.10 ÉCLAIRAGE À DEL ET SYSTÈMES DE VISION NOCTURNE

12.10.1 Les systèmes de vision nocturne ont été développés à l'origine au cours de la Deuxième Guerre mondiale pour permettre aux chars d'assaut de viser de nuit, puis des systèmes d'encombrement réduit ont été montés sur des fusils pour répondre aux besoins des snipers. Des améliorations technologiques ont permis de réduire la taille des éléments et les besoins d'alimentation au point que les systèmes modernes peuvent être montés sur un casque (voir Figure 12-12).

12.10.2 Il existe essentiellement deux types d'équipements de vision nocturne utilisant des technologies différentes :

- a) L'*imagerie thermique*, qui exploite la partie supérieure du spectre infrarouge moyen, entre 1 300 et 5 000 nm, correspondant à la chaleur émise par les objets plutôt qu'à la lumière simplement réfléchi. Cette technologie est connue sous le nom de vision nocturne améliorée, dont les applications dans le domaine de l'aviation comprennent les systèmes de radar infrarouge frontal (FLIR) et les dispositifs de visualisation tête haute (HUD).
- b) L'*intensificateur d'image [I²]*, qui fonctionne en exploitant des quantités de lumière infimes, y compris la partie inférieure du spectre infrarouge, présente la nuit mais imperceptible à la vision humaine, en les amplifiant au point d'en faire une image facilement observable. Le système d'imagerie nocturne pour aviateur et les lunettes de vision nocturne (ANVIS/NVG) sont des systèmes à intensification d'image permettant au pilote de voir dans une obscurité qui semble impénétrable à la vision normale. Les besoins militaires pour des opérations de combat de nuit, de recherche et de sauvetage et de surveillance ont conduit au développement de ces systèmes qui trouvent maintenant de nombreuses applications civiles.

12.10.3 Dans le cas de l'imagerie thermique, la courbe de réponse des FLIR commence vers 1 300 nm et n'est pas sensible à la lumière des DEL, sauf s'il s'agit d'un dispositif spécialement conçu pour émettre des rayonnements infrarouges (IR) de longueur d'onde et d'intensité appropriées.



Figure 12-12. Lunettes de vision nocturne

12.10.4 L'équipement illustré à la Figure 12-13 est une lunette ANVIS/NVG qui comprend un objectif, une photo-cathode, une galette de microcanaux, un écran à luminophore et un oculaire.

12.10.5 Les systèmes intensificateurs d'image ont évolué avec le temps et les diverses versions de leur développement constituent des « générations ». Les systèmes de troisième génération ont une courbe de réponse spectrale commençant vers 550 – 575 nm et s'étendant sur toute la partie du spectre qui contient la lumière des étoiles et n'est pas visible à l'œil nu (courbe photopique CIE), comme le montre la Figure 12-14.

12.10.6 La norme MIL-STD-3009 définit les critères de conception et de mesure d'un éclairage du poste de pilotage compatible ANVIS/NVG. Si l'éclairage n'est pas compatible, il peut générer assez d'énergie dans l'infrarouge proche pour affecter le contrôle automatique du gain des lunettes ANVIS au point d'aveugler le pilote par rapport à la scène extérieure moins éclairée. Les instruments de bord doivent donc être éclairés avec une énergie se situant dans la région basse du spectre (bleu et vert), à l'extérieur de la courbe de réponse ANVIS. De plus, pour réduire encore le chevauchement, la courbe de réponse elle-même est rétrécie par l'utilisation de filtres sur l'objectif de la lunette. Ces filtres identifiés comme étant de classe A ou de classe B sont illustrés aux Figures 12-15 et 12-16. Un filtre de classe B rétrécit la courbe de réponse pour permettre d'utiliser une certaine lumière jaune et rouge à l'intérieur du poste de pilotage. C'est le type le plus couramment utilisé par des pilotes d'hélicoptère civils.

12.10.7 Pour ce qui est des DEL utilisées dans les feux aéronautiques à la surface, leur visibilité pour les pilotes utilisant des lunettes ANVIS/NVG dépend de la distribution spectrale de la lumière et donc du degré de recouvrement. Il est probable que les lunettes de génération III sans filtre permettront de voir les DEL vertes, jaunes et rouges. Avec un filtre de classe A, les feux jaunes et rouges seront probablement visibles. Avec un filtre de classe B, il est improbable de voir quelque DEL que ce soit. La probabilité de voir une lumière dépend de la distribution spectrale et il est possible que même une lumière verte soit visible si sa composante d'énergie radiante se situe dans le proche infrarouge. Toutefois, ceci est très aléatoire car les normes actuelles ne spécifient que la couleur perçue et non la distribution spectrale.

12.10.8 Un inconvénient actuel des lunettes ANVIS/NVG est qu'elles produisent pour le pilote une image monochromatique verte, ce qui rend difficile de distinguer les couleurs codées prescrites par l'Annexe 14, Volume I. Dans le cas des feux de balisage d'obstacles, en admettant que la lumière soit visible comme dans le cas d'une lampe à incandescence, elle risque d'être perdue au milieu des autres lumières de l'environnement, comme on peut le voir à la Figure 12-17.

12.11 FEUX LINÉAIRES

La technologie DEL permet de réaliser de nouvelles formes de feux pour les aérodromes. Par exemple, en encapsulant de multiples DEL, il est possible d'obtenir un feu linéaire (barre lumineuse) pouvant servir à améliorer le marquage d'une surface donnée, comme le montre la Figure 12-18 pour une zone d'atterrissage d'hélicoptères. L'un des avantages des feux linéaires est leur caractère directionnel inhérent qu'on ne peut pas obtenir avec des sources ponctuelles, sauf en disposant au moins trois feux alignés.

12.12 TECHNOLOGIES MIXTES

12.12.1 Les dispositifs DEL contiennent les composants électroniques nécessaires pour simuler la réponse d'un feu à incandescence. Cependant, bien que la réponse soit la même, il n'est pas recommandé de mélanger les lampes à DEL et les lampes à incandescence, car l'aspect visuel des feux à DEL peut être différent. En particulier, un feu à DEL produit une couleur saturée qui reste essentiellement au même niveau de luminosité lorsqu'on fait varier l'intensité, alors qu'un feu à incandescence tend vers le jaune lorsque son filament fonctionne à une température plus basse.

12.12.2 La Figure 12-19 montre une installation de balisage de seuil utilisant des lampes à incandescence classiques. Cette image illustre bien le problème de perception qui peut se produire entre les deux technologies d'éclairage.

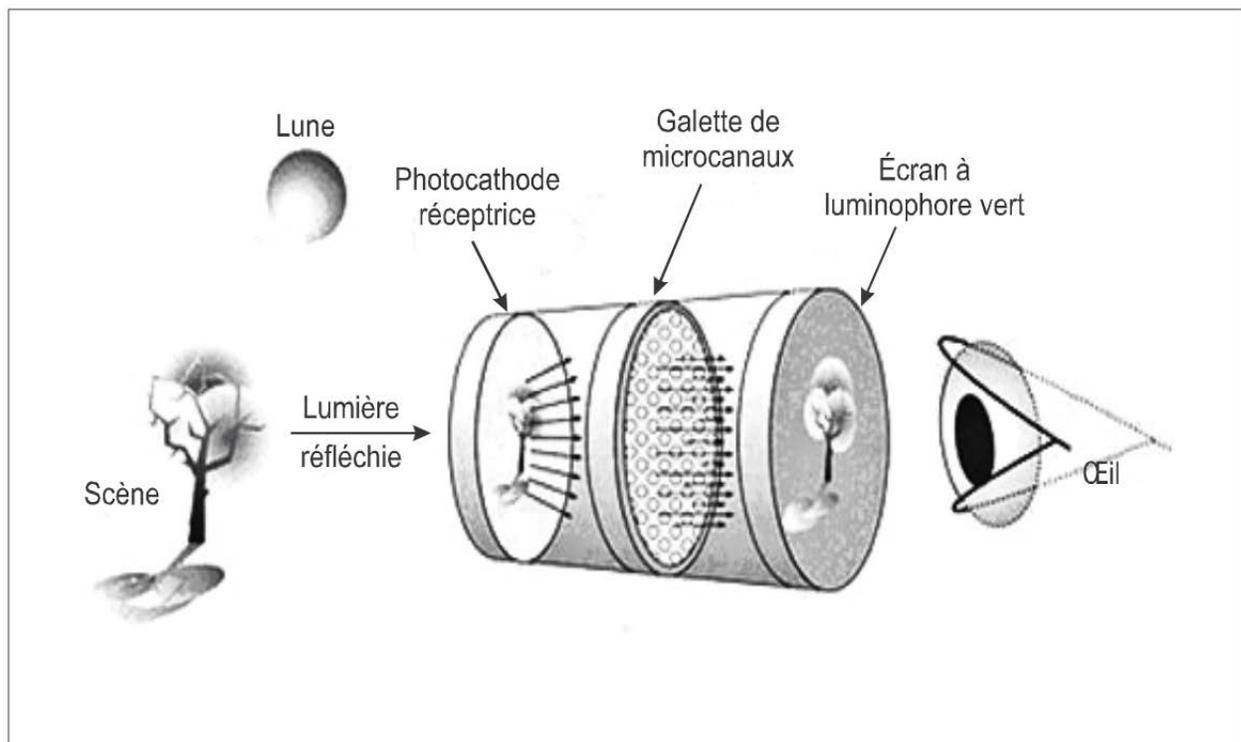


Figure 12-13. Tube et optique d'un intensificateur d'image NVG type (source : AG Displays)

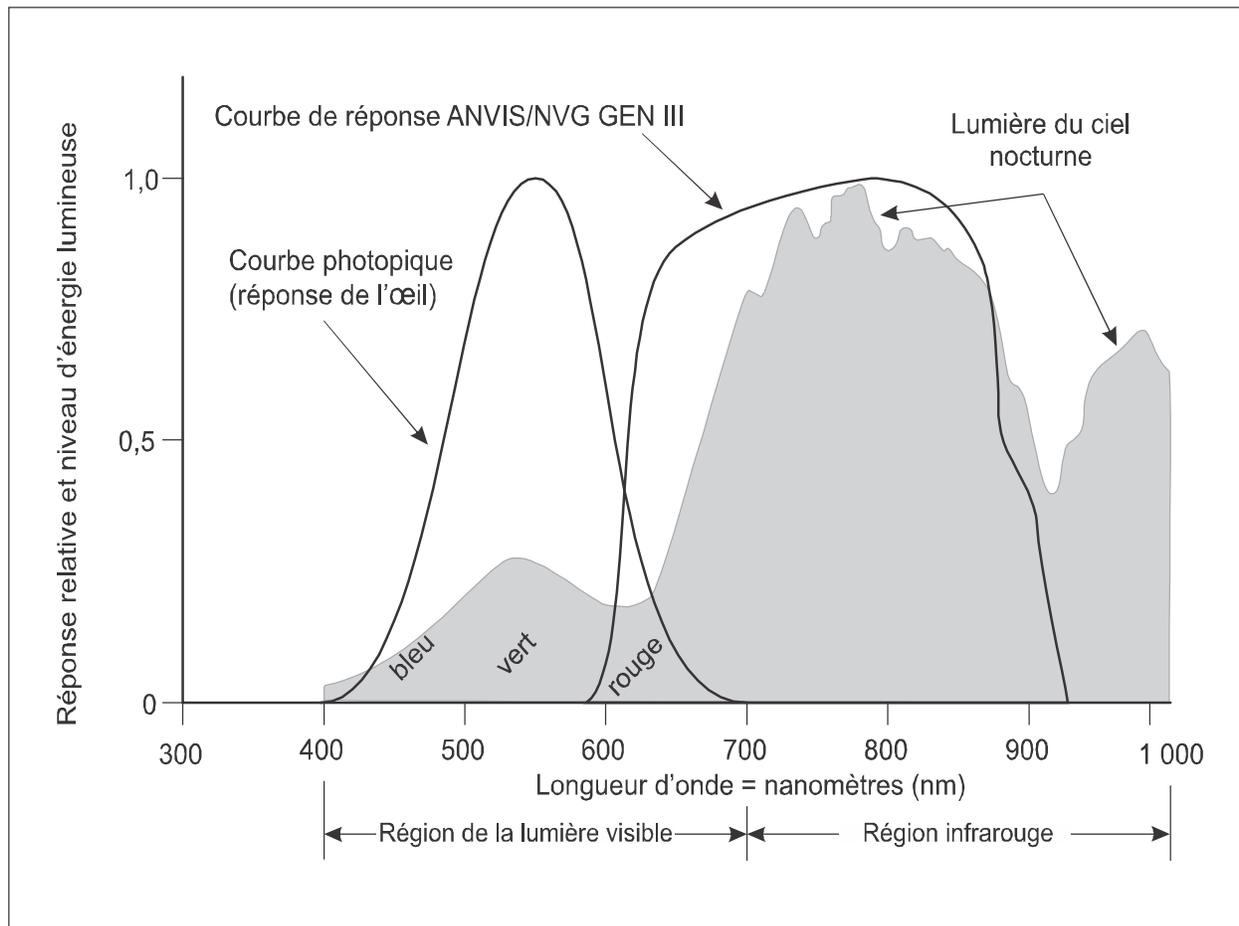


Figure 12-14. Réponse de lunettes de vision nocturne ANVIS GEN III à la lumière du ciel nocturne (source : Gamma Scientific)

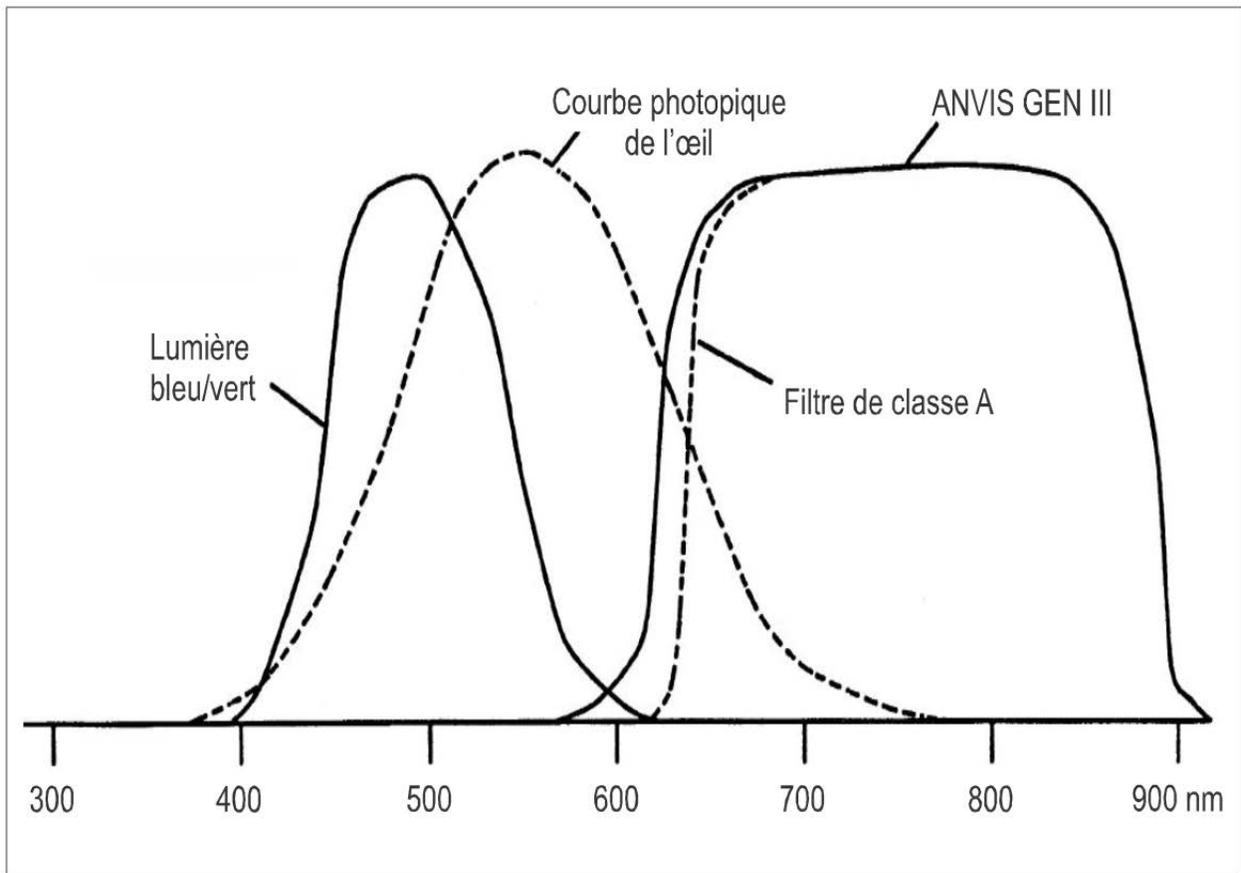


Figure 12-15. Filtre de classe A permettant un éclairage bleu/vert du cockpit (source : Dennis L. Schmickley, Boeing Helicopter Co.)

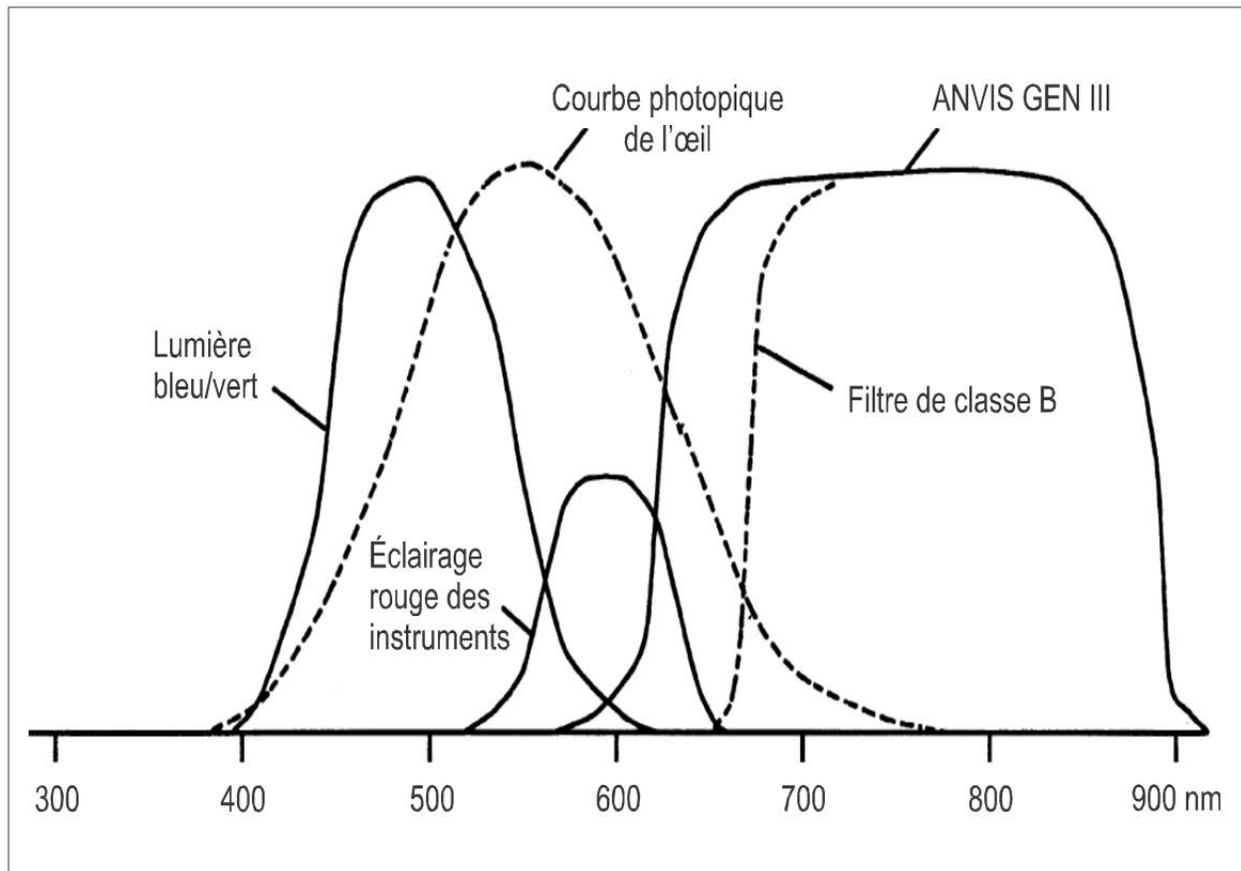


Figure 12-16. Filtre de classe B permettant un éclairage bleu, vert, jaune et rouge du cockpit
(source : Dennis L. Schmickley, Boeing Helicopter Co.)



Figure 12-17. Feu d'obstacle (entouré) vu à travers des lunettes de vision nocturne (source : Conseil national de recherches du Canada)

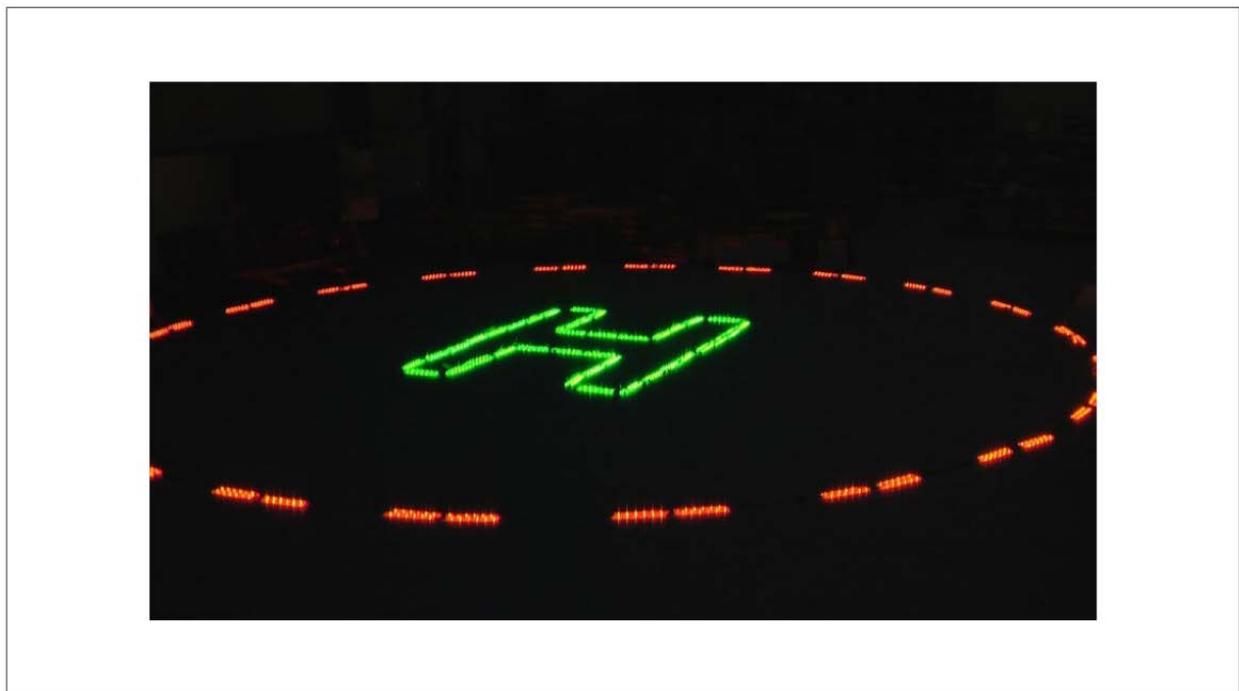


Figure 12-18. Application des feux linéaires à une surface d'atterrissage pour hélicoptères (source : CAA UK)

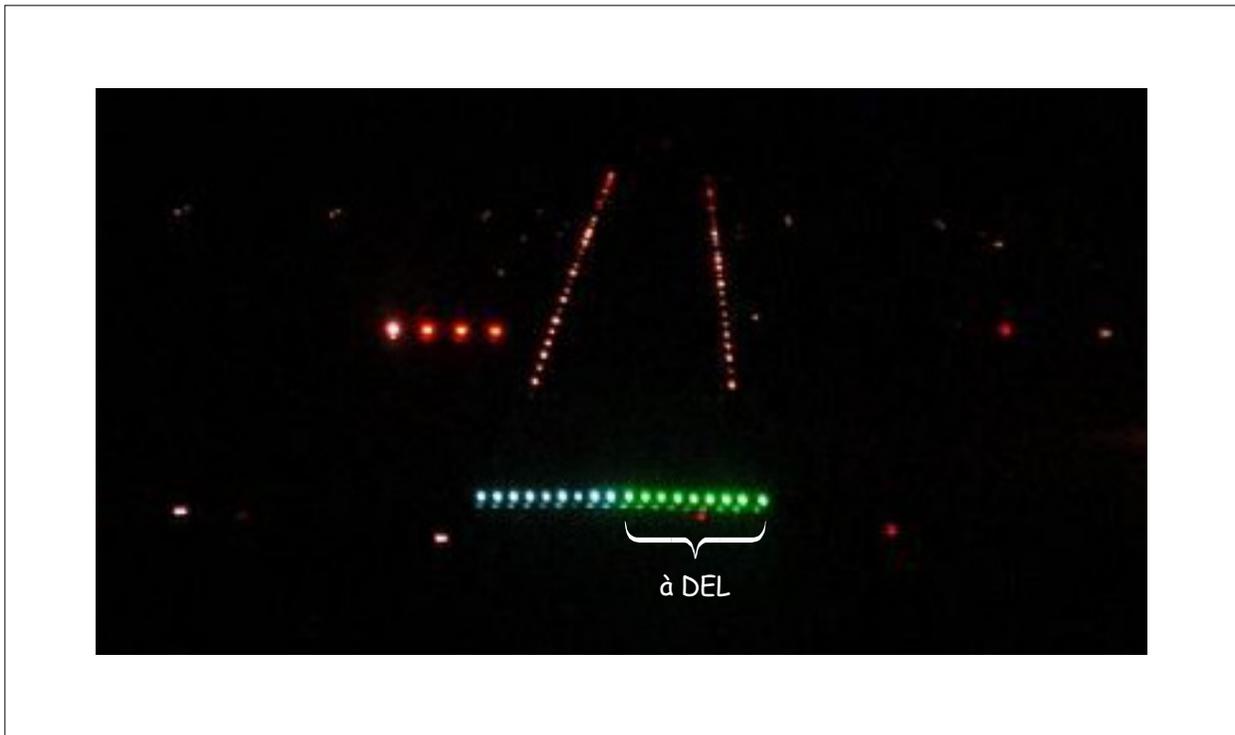


Figure 12-19. Comparaison des feux de seuil à DEL et à incandescence

12.12.3 La liste ci-après détaille les exigences des différents ensembles de balisage en ce qui concerne les combinaisons de feux à DEL et de feux à incandescence :

- a) *Feux de protection de piste (RGL) hors sol.* Dans une installation donnée, chaque paire de feux RGL hors sol des deux côtés de la voie de circulation devrait reposer sur la même technologie.
- b) *Feux de protection de piste (RGL) encastrés.* Dans une installation donnée, tous les feux encastrés d'un système RGL devraient reposer sur la même technologie.
- c) *Barres d'arrêt.* Dans une installation donnée, tous les feux encastrés d'un système de barre d'arrêt devraient reposer sur la même technologie.

Note.— Si la barre d'arrêt comprend des feux hors sol supplémentaires, les feux des deux côtés de la voie de circulation devraient reposer sur la même technologie. Cependant, ils peuvent être basés sur une technologie différente de celle des feux encastrés de la barre d'arrêt.

- d) *Feux de zone de toucher des roues.* Dans une installation donnée, tous les feux du système de balisage de la zone de toucher des roues devraient reposer sur la même technologie.
- e) *Feux d'axe de piste.* Dans une installation donnée, tous les feux d'axe de piste devraient reposer sur la même technologie.

- f) *Feux d'état d'utilisation de piste (RWSL)*. Dans une installation donnée, tous les feux THL (feux d'attente au décollage) et tous les feux REL (feux d'entrée sur la piste) devraient reposer sur la même technologie.

Note.— Sur une même piste, les feux RWSL peuvent être basés sur une technologie différente de celle des feux d'axe de piste ou de balisage de la zone de toucher des roues.

- g) *Feux de bord de piste*. Dans une installation donnée, tous les feux du système de balisage des bords de piste, y compris les feux jaunes marquant la fin de la zone critique de la piste, devraient reposer sur la même technologie.
- h) *Feux de seuil de piste, d'extrémité de piste et de prolongement d'arrêt*. Pour chaque installation, tous les feux de balisage de seuil de piste, d'extrémité de piste et de prolongement d'arrêt devraient reposer sur la même technologie.

Note.— Sur une même piste, les feux de bord de piste, de seuil de piste, d'extrémité de piste et de prolongement d'arrêt peuvent chacun être basés sur une technologie différente de celle des feux d'axe de piste ou de balisage de la zone de toucher des roues.

- i) *Panneaux indicateurs*. À chaque emplacement, les éléments portés par un même panneau devraient tous reposer sur la même technologie.
- j) *Panneaux indicateurs de point d'attente avant piste*. À chaque point d'attente avant piste, les panneaux des deux côtés de la voie de circulation devraient relever de la même technologie.
- k) *Panneaux indicateurs de point d'attente intermédiaire*. Au point d'attente intermédiaire, les panneaux des deux côtés de la voie de circulation peuvent être basés sur des technologies différentes.
- l) *Feux indicateurs de voie de sortie rapide (RETIL)*. À chaque installation, les feux RETIL devraient reposer sur la même technologie.
- m) *Indicateur de trajectoire d'approche de précision (PAPI)*. À chaque extrémité de piste, les ensembles lumineux PAPI devraient relever de la même technologie. Cette règle s'applique également si des PAPI sont installés des deux côtés d'une piste.
- n) *Dispositifs lumineux d'approche*. À chaque extrémité de piste, les feux blancs fixes du dispositif d'approche devraient relever de la même technologie.

Note 1.— Tous les feux RAIL du dispositif d'approche devraient relever de la même technologie, mais peuvent être basés sur une technologie différente de celle des feux blancs fixes.

Note 2.— Tous les feux rouges du dispositif supplémentaire pour les opérations de catégories II/III devraient reposer sur la même technologie, mais peuvent être basés sur une technologie différente de celle des feux blancs fixes.

Note 3.— Tous les feux verts de seuil et de barre de flanc du dispositif d'approche devraient relever de la même technologie, mais peuvent être basés sur une technologie différente de celle des feux blancs fixes du dispositif d'approche.

- o) *Balisage de voie de circulation*. Lorsque le balisage d'une voie de circulation est fait par « segment », ceux-ci devraient reposer sur la même technologie.

Note 1.— Un « segment » est défini comme une partie de voie de circulation délimitée par des intersections avec d'autres voies ou pistes et des points tangence au début ou à la fin des courbes.

Note 2.— Dans le cas de voies de circulation longues desservant une piste et comportant de nombreuses intersections avec d'autres voies de circulation, il peut être préférable que tous les segments reposent sur la même technologie.

Note 3.— Les feux axiaux des voies de circulation et les feux de bord de piste d'un même segment peuvent reposer sur des technologies différentes.

12.13 ÉLÉMENTS CHAUFFANTS

Les feux de balisage à DEL ont l'avantage d'une très faible consommation électrique. Cependant, il s'ensuit qu'ils fonctionnent à des températures inférieures à celles qui permettent de les garder exempts de neige et de glace, ou de la condensation, qui peuvent modifier la distribution photométrique et la couleur. Les fabricants peuvent fournir un dispositif de réchauffage, parfois appelé « kit arctique », pour leurs feux de balisage à DEL. Le besoin d'un réchauffage dépend du lieu géographique et des conditions atmosphériques auxquelles le feu sera exposé. Dans certains cas, une température de fonctionnement basse est un avantage car la neige poussée par le vent n'a pas tendance à fondre et à se fixer sur l'optique du feu. Dans le cas des lampes à DEL du PAPI, il faudra probablement prévoir un dispositif de réchauffage de l'optique quel que soit le lieu pour éviter la condensation et le givrage.

12.14 MAINTENANCE

12.14.1 Bien que les DEL puissent durer des milliers d'heures dans certaines conditions, la durée de vie de la DEL proprement dite, et ce qui est plus important, celle du luminaire complet et des composants électroniques qu'il contient, dépend encore de l'intégration du système et des conditions réelles dans lesquelles il sera exploité. Les conditions d'application pouvant avoir un effet sur la durée de vie du luminaire comprennent essentiellement la température de fonctionnement, le rythme des cycles marche-arrêt et l'humidité ambiante. Comme les DEL n'ont pas de filament susceptible de brûler ou de se détériorer, tant qu'elles fonctionnent dans des conditions normales, leur durée de vie est longue. Toutefois, avec le temps, l'intensité lumineuse diminue et la couleur change, ces phénomènes étant accélérés lorsque les températures de fonctionnement sont élevées. D'un point de vue pratique, au bout d'un certain temps, la diminution du rendement lumineux ou le changement de couleur peut rendre la source à DEL non conforme aux spécifications pour une application donnée. En d'autres termes, la DEL peut techniquement rester fonctionnelle, mais ne serait plus utilisable¹.

12.14.2 En résumé, la longue durée de vie des DEL en comparaison avec celle des lampes à incandescence ne doit pas être prise comme une raison de « les installer et les oublier ». Un système de maintenance préventive doit rester en place car les feux à DEL finiront par atteindre la fin de leur durée de vie. De plus, il existe d'autres facteurs qui peuvent réduire leur performance, comme la contamination de l'optique pour les feux encastrés.

1. Selon Alliance for Solid-State Illumination Systems and Technologies (ASSIST). 2005. *ASSIST recommends : LED Life for General Lighting*. Volume 1, éditions 1-7. Troy, NY : Lighting Research Center.

Chapitre 13

INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES SOUTERRAINES

Note 1.— De nombreux États ont élaboré des pratiques de pose de câbles électriques souterrains pour protéger les câbles du sol et des conditions atmosphériques défavorables. Ces États ont établi des normes de pose détaillées pour l'application des pratiques locales. Les installations de circuits de type parallèle (à tension constante) doivent généralement respecter des codes locaux de l'électricité.

Note 2.— Le but du présent chapitre est de donner des indications générales sur la pose des circuits de type série (à courant constant), avec des explications basées sur les pratiques existantes. En particulier, les critères détaillés comme les dimensions, les types de matériaux et l'étiquetage relèvent plutôt de pratiques courantes et ne constituent pas des obligations.

13.1 GÉNÉRALITÉS

13.1.1 La Figure 13-1 représente une installation générique de circuits AGL souterrains. Le câble primaire est muni de parafoudres, selon les besoins, et peut être de type blindé ou non blindé. Un système de mise à la terre de l'équipement est prévu pour la sécurité du personnel (voir § 13.1.8 à 13.1.13). Un système de protection contre la foudre (LPS) comprenant un conducteur de contrepoids (voir § 13.1.14 à 13.1.19) est normalement disposé au-dessus des conduits et des câbles pour les protéger de la foudre. Si un système de protection LPS est installé, il n'est pas nécessaire d'assurer une mise à la masse de l'équipement car le système LPS remplit également cette fonction à l'égard de la sécurité du personnel. Selon les pratiques locales, des parafoudres peuvent être installés aux extrémités du système, près du poste électrique et à des intervalles appropriés le long du circuit primaire, ou en des points choisis correspondant à divers feux de balisage. Les parafoudres sont reliés à des électrodes de terre individuelles ou au fil de terre, s'il y en a un, ou encore au contrepoids LPS.

13.1.2 Sur le côté secondaire, l'installation de l'équipement de balisage varie selon les pratiques locales, comme le montre la Figure 13-2. Les schémas (c), (d) et (e) représentent les connexions au circuit de terre du côté secondaire du transformateur AGL. Les schémas (a) et (c) correspondent au cas où le feu de balisage ou son ensemble optique est installé sur le boîtier du transformateur. Les schémas (b) et (d) montrent un feu monté sur un piquet, parfois appelé pieu d'ancrage, le transformateur AGL étant directement enterré à proximité. Le schéma (e) montre le feu sur un piquet et le transformateur AGL logé dans un boîtier séparé qui peut être non métallique. Dans ce cas, la mise à la terre de l'équipement est complétée par une bretelle conductrice fixée à la plaque métallique qui sert de couvercle au boîtier du transformateur. Le schéma (f) représente l'installation d'une bretelle de mise à la terre de certains feux de balisage, comme ceux du PAPI ou des signaux de guidage côté piste.

Câble blindé

13.1.3 Lorsqu'un câble blindé est utilisé dans un circuit série à courant constant pour des raisons de compatibilité électromagnétique (CEM), le blindage doit être continu sur toute la longueur de la boucle et mis à la terre aux deux extrémités du circuit série primaire à la boucle de masse du poste électrique, comme le montre la Figure 13-3. Le blindage du câble assure également une certaine protection contre la détérioration de l'isolant sous l'effet de la haute tension permanente et, dans ce cas, il est recommandé qu'il soit mis à la terre partout où c'est possible. Le blindage doit

être continu au travers du dispositif de balisage au moyen d'un fil volant reliant les câbles d'entrée et de sortie, comme le montre la figure.

13.1.4 Une installation électrique souterraine se compose de cinq éléments fondamentaux : le câble primaire, le transformateur AGL, le câblage secondaire, le support de montage du feu, et le système de mise à la terre de l'équipement ou de protection contre la foudre (LPS).

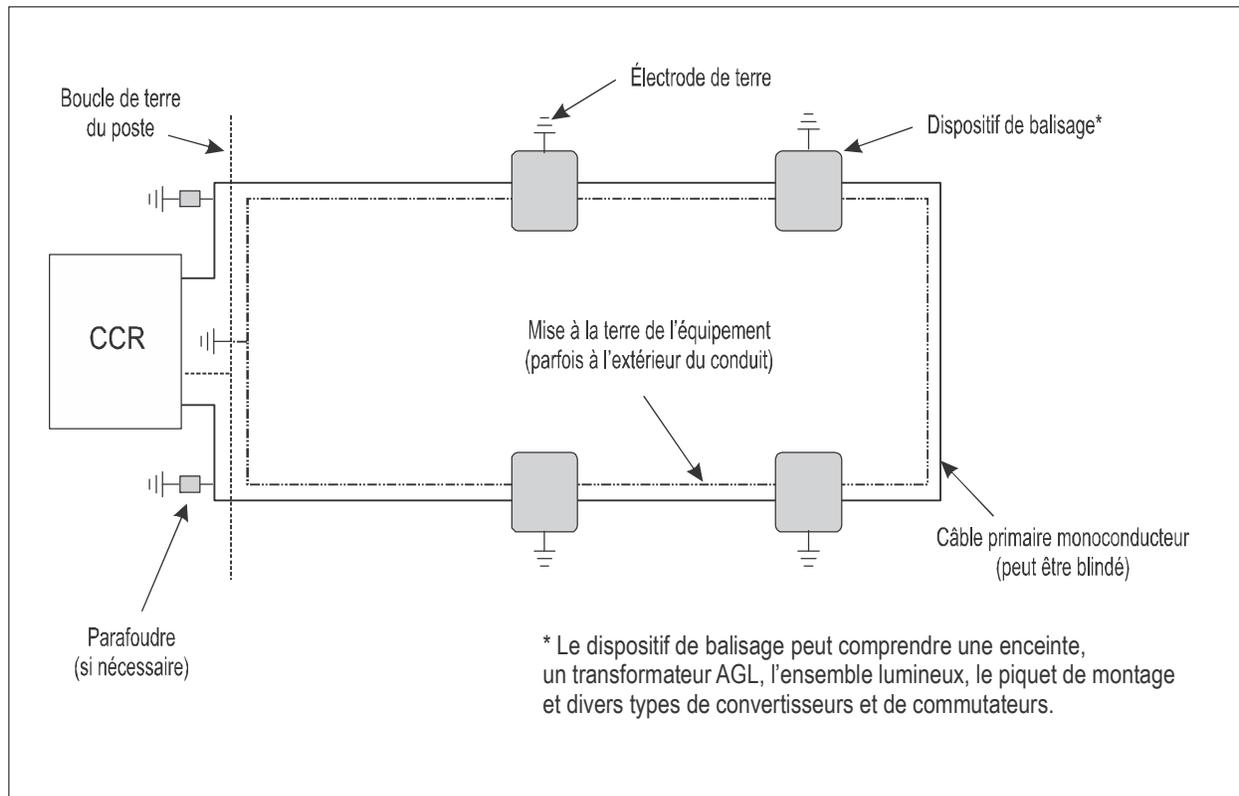


Figure 13-1. Exemple type de circuit série à courant constant

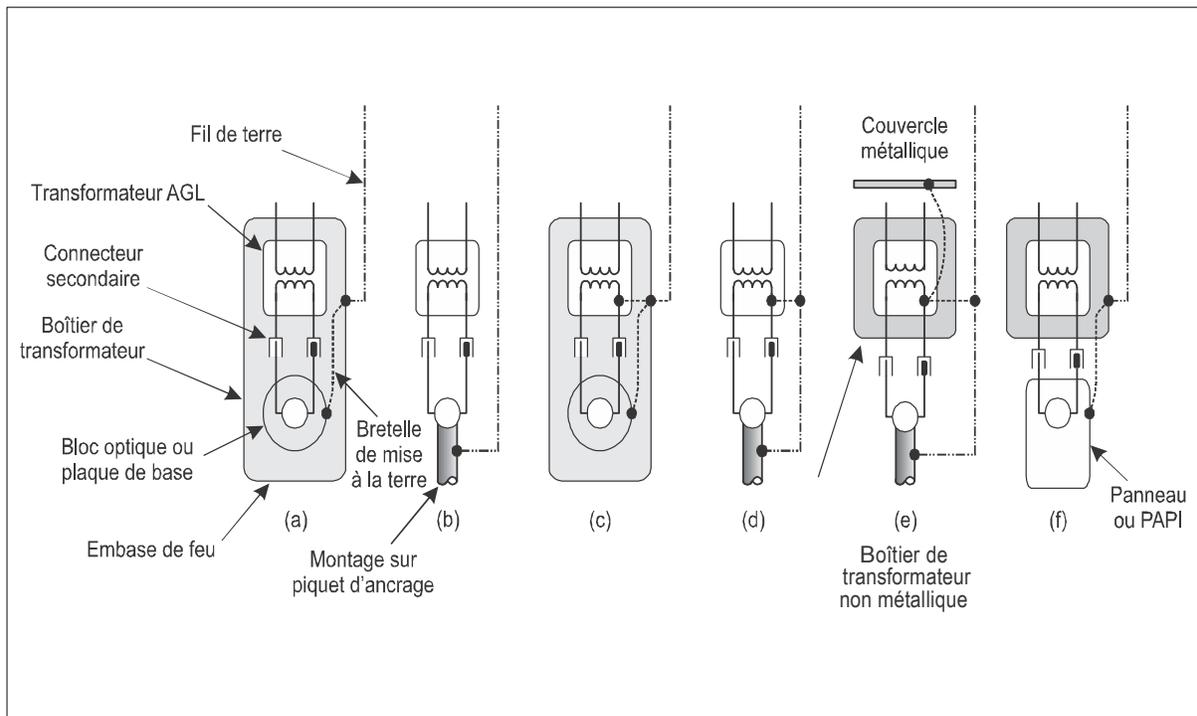


Figure 13-2. Modes d'installation de l'équipement de balisage

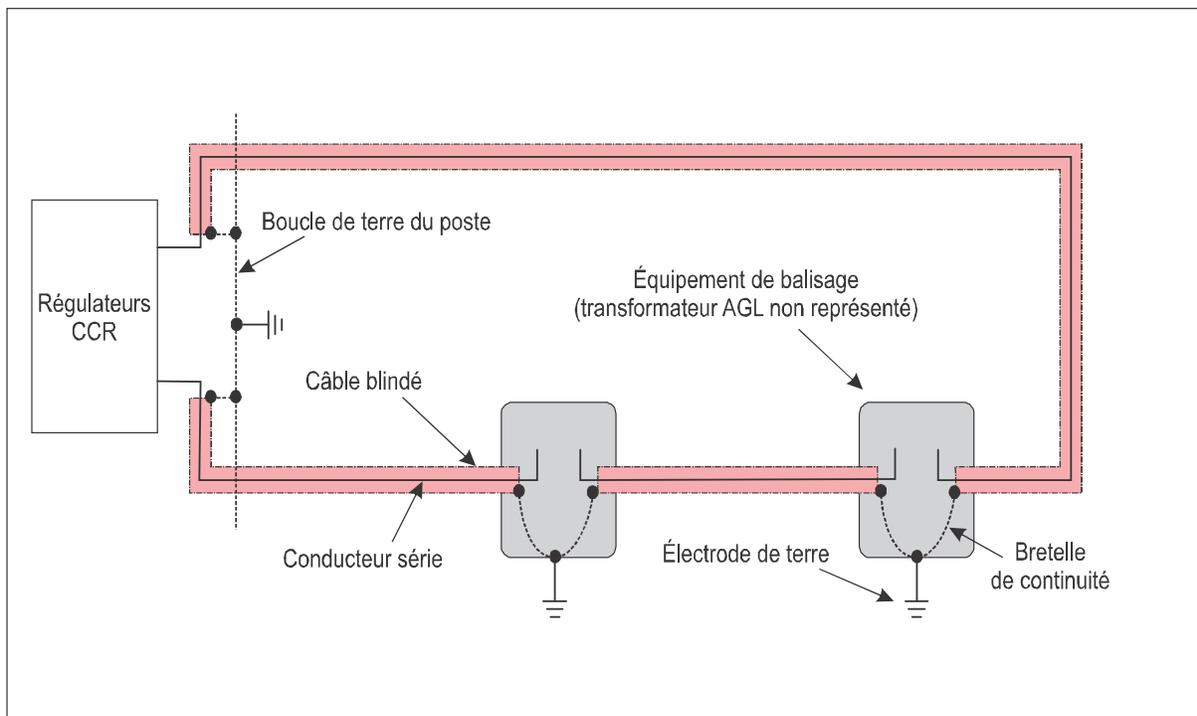


Figure 13-3. Continuité du câble blindé

Câble primaire

13.1.5 La pose du câble primaire à partir du CCR et entre les feux peut se faire par enfouissement direct ou par tirage dans un conduit. Cette dernière méthode est d'ailleurs préférable car elle assure une protection contre les mouvements du sol et facilite le remplacement ultérieur des câbles. Si les conduits sont de diamètre suffisant, ils pourront accueillir d'autres câbles. Il est souhaitable que les câbles des circuits imbriqués circulent dans des conduits séparés.

Câblage secondaire

13.1.6 Le câblage secondaire va du transformateur AGL aux feux de balisage. Si l'ensemble lumineux est à une certaine distance du boîtier, il faut tenir compte de la charge que représente la résistance du câblage secondaire (référence 0). Pour les feux encastrés à socle bas, le câblage secondaire peut circuler directement dans des saignées ou dans un conduit. Cette option est préférable car elle facilite la maintenance.

Montage des ensembles lumineux

13.1.7 L'ensemble lumineux peut être monté soit sur un piquet, soit sur le dessus d'un boîtier. La tendance actuelle est d'utiliser des boîtiers, plutôt que l'enfouissement direct, car cela facilite la maintenance du transformateur AGL. Le boîtier peut être métallique et conçu pour les zones revêtues, ou non métallique (plastique ou béton) convenant mieux aux zones non revêtues. Le dispositif de balisage peut être monté sur un piquet avec son transformateur disposé à proximité dans un boîtier, ou sur le boîtier lui-même, ou encore séparément sur un socle de faible hauteur. Dans le cas d'un feu hors sol monté sur un boîtier, ce dernier devrait être immobilisé dans une base de béton pour empêcher tout déplacement. Pour les petits aérodromes et le balisage à moyenne intensité, de légers déplacements du boîtier peuvent être tolérés. Sur certains aéroports, le boîtier du transformateur est logé dans un coffret verrouillé, qui est fixé au bas des pylônes de feux d'approche. Ce genre de montage élimine les problèmes d'entrée d'eau lorsque le système de balisage d'approche s'étend dans des zones où la nappe phréatique est haute, comme un marais. Il est parfois souhaitable de regrouper les transformateurs AGL dans un même boîtier, par exemple pour les barrettes de balisage de la zone de toucher des roues. Dans ce cas, les transformateurs sont placés dans une enceinte commune, sur une étagère fixée à la paroi. (La Figure 13-21 illustre une telle installation dans laquelle plusieurs transformateurs AGL sont regroupés.)

Mise à la terre des équipements

13.1.8 Le rôle du circuit de mise à la terre de l'équipement est d'assurer la sécurité du personnel en cas de court-circuit à la terre. Contrairement aux circuits parallèles (à tension constante), les dispositifs de protection du régulateur à courant constant ne réagissent pas aux courts-circuits en désactivant le système de balisage. Le circuit série est essentiellement isolé de la terre et continue de fonctionner normalement avec un défaut unique de mise à la terre. Selon la valeur de la résistance et la position du défaut, un segment du balisage peut s'éteindre ou fonctionner à intensité réduite en cas d'un second défaut à la terre. Le régulateur continue cependant à débiter son courant de sortie.

13.1.9 La solution généralement acceptée pour la mise à la terre de l'équipement est la méthode « équipotentielle » dans laquelle un fil de terre relie tous les éléments métalliques du côté sortie du régulateur à courant constant, y compris les embases de feu et les piquets de montage, avant de revenir à la boucle de terre du poste électrique. De la sorte, tous ces éléments sont maintenus au même potentiel par rapport à la terre.

13.1.10 La mise à la terre de l'équipement est réalisée au moyen d'un conducteur isolé ou nu qui est continu à partir de l'ensemble lumineux ou de son embase, ou à travers le boîtier du transformateur s'il s'agit d'installations à embases peu profondes, pour revenir au circuit de terre du poste électrique. Le fil de terre de l'équipement est normalement placé dans un conduit, auquel cas il est isolé, mais peut aussi être un conducteur nu enterré à l'extérieur du conduit. Le circuit doit être connecté à une électrode de terre à chaque poste de balisage ou à des intervalles de 150 à 300 m.

13.1.11 Le fil de terre de l'équipement est généralement un conducteur de cuivre plein de section variant entre 10 mm² (8 AWG) et 25 mm² (4 AWG). D'autres métaux ont été utilisés, comme l'acier galvanisé, mais la compatibilité avec les sols doit être soigneusement étudiée du point de vue de la corrosion.

13.1.12 Le circuit complet de mise à la terre de l'équipement doit avoir une résistance à la terre ne dépassant pas la valeur spécifiée dans le code national (en général, la résistance à la terre est limitée à une valeur de 6 à 25 ohms).

13.1.13 Si un système de protection contre la foudre (LPS) sous la forme d'un contrepoids est utilisé, il peut servir de circuit de mise à la terre de l'équipement et il n'est pas nécessaire d'installer un circuit de terre séparé.

Système de protection contre la foudre

13.1.14 L'objectif du système de protection contre la foudre (LPS) ou du système de contrepoids est de créer un chemin à faible résistance pour détourner les décharges de foudre vers la terre où elles se dissiperont sans causer de dommages à l'équipement ni de blessures au personnel.

13.1.15 Avec la méthode équipotentielle, le conducteur de contrepoids est relié à toutes les embases de feu, aux piquets de montage et à la boucle de terre du poste électrique de façon à maintenir tous les éléments métalliques au même potentiel.

13.1.16 Le conducteur de contrepoids est généralement posé directement au-dessus du conduit ou du câble à protéger.

13.1.17 Le conducteur de contrepoids est normalement mis à la terre par des électrodes à intervalles de 150 à 300 m. Aux intersections avec les pistes ou les voies de circulation, ou dans l'aire de trafic, il est posé au-dessus des conduits et relié à des électrodes de part et d'autre de l'intersection. En fonction du risque historique de foudre pour le site, le conducteur de contrepoids peut être isolé et placé dans un conduit sous les chaussées.

13.1.18 Dans le cas de feux encastrés installés dans des embases peu profondes, dont les transformateurs AGL sont placés sur le côté de la chaussée, le contrepoids peut ne pas se prolonger au-dessus des câbles secondaires. Si c'est le cas, le conducteur de contrepoids acheminé jusqu'à l'embase du feu constitue une mise à la terre de l'équipement réalisée sous la forme d'un fil isolé placé dans un conduit ou une saignée de la chaussée et raccordé au plot de terre intérieur de l'embase (voir Figure 13-22).

13.1.19 Le contrepoids est généralement un conducteur de cuivre plein dont la section varie de 10 mm² (8 AWG) à 25 mm² (4 AWG).

Bretelle de terre

13.1.20 Qu'il y ait un système LPS ou un système de mise à la terre de l'équipement, un conducteur souple appelé « bretelle de terre » de longueur suffisante doit être connecté entre le plot de terre intérieur du boîtier de l'ensemble optique (feux encastrés) ou le couvercle métallique (feux hors sol). Cette bretelle assure la mise à la terre de l'équipement pour la sécurité du personnel en cas de défaut et permet de séparer sans risque l'ensemble optique ou le couvercle de la base. À noter que ce conducteur de terre est à l'intérieur et n'est pas visible, de sorte qu'il n'est pas possible de s'assurer qu'il est effectivement bien connecté et les électriciens devraient toujours travailler avec des gants isolants. (Pour la bretelle de terre, voir les Figures 13-20 et 13-22.)

Mise à la terre du secondaire

13.1.21 Conformément à certaines pratiques locales, une connexion est faite du système de mise à la terre à l'une des bornes du secondaire du transformateur AGL. Cette mise à la terre limite la tension à laquelle un électricien peut être exposé en cas de court-circuit interne entre le primaire et le secondaire. La Figure 13-2 donne des exemples de mise à la terre du secondaire.

Résistance à la terre

13.1.22 La valeur souvent acceptée de 25 ohms pour le système parafoudre ne devrait pas être interprétée comme une résistance convenant à toutes les installations. Il peut être nécessaire d'assurer une résistance plus basse pour offrir une protection efficace contre les effets de la foudre si le risque local est important. Pour la mise à la terre des équipements, certains codes locaux peuvent spécifier une résistance basse, par exemple 6 ohms.

Considérations préliminaires

13.1.23 La pose de câbles électriques souterrains coûte cher et les techniques employées doivent viser à assurer un service fiable à long terme avec un minimum d'entretien. Tous les travaux requièrent du personnel expérimenté qui exerce ce métier de manière régulière. La plupart des câbles souterrains sont normalement situés sur l'aire de manœuvre de l'aérodrome ou à proximité immédiate de cette aire. Sur les aérodromes actifs, il faut donc veiller avec grand soin à ce que les travaux d'installation s'effectuent sans danger pour les avions comme pour les installateurs.

Dispositions préliminaires au début des travaux

13.1.24 L'ingénieur responsable des travaux doit approuver les matériaux, l'équipe qui doit exécuter les travaux, les heures de travail de jour ou de nuit, les méthodes et les techniques d'installation et les procédures à respecter pour les réparations provisoires ou définitives. Au besoin, les activités devront être coordonnées avec le contrôle de la circulation aérienne. Il faut déterminer et jalonner avec soin le plan de pose des câbles. Toutes les précautions raisonnables doivent être prises pour protéger les installations souterraines existantes (réservoirs de carburant, conduites d'eau, câbles d'alimentation et de commande enfouis, etc.). Il faut jalonner tous les circuits et les câbles d'alimentation et de commande des installations existantes dont on connaît la disposition avant d'entreprendre des travaux dans leur voisinage immédiat. Dès ce moment et tant que dureront les travaux, il y a lieu de les protéger pour éviter de les endommager, ainsi que les autres infrastructures souterraines. Si des câbles souterrains sont endommagés pendant les travaux d'installation, il faut les réparer immédiatement avec un matériel de qualité équivalente.

13.1.25 Les extrémités des câbles doivent être protégées par du ruban adhésif pour éviter l'entrée d'humidité avant l'établissement des connexions.

13.1.26 Il n'est pas admissible d'avoir des épissures dans les conduits, les tuyaux, etc., ni sur les câbles primaires entre l'embase du feu et le boîtier du transformateur.

Méthodes d'installation

13.1.27 Il y a deux méthodes possibles pour la pose des câbles électriques souterrains, soit l'enfouissement direct, soit le tirage dans des conduits (regroupés en massifs). Les aspects principaux de ces méthodes sont décrits ci-après.

13.2 ENFOUISSEMENT DIRECT DES CÂBLES

13.2.1 Les principales étapes de la pose de câbles électriques par enfouissement direct sont :

- a) l'excavation de la tranchée ;
- b) l'application d'un lit de sable ;
- c) la mise en place des câbles ;
- d) le premier remblayage avec du sable ;
- e) la mise en place du fil de contrepoids ;
- f) le remblayage final avec de la terre ordinaire (le second remblayage peut se faire en deux couches pour permettre de placer le ruban d'avertissement).

Excavation de la tranchée

13.2.2 *Généralités.* Sauf indications contraires, tous les câbles qui passent au même endroit dans la même direction générale devraient être posés dans la même tranchée. Les parois des tranchées doivent être aussi verticales que possible de manière à affecter le minimum de surface d'accotement. Le fond des tranchées doit être aussi lisse que possible et exempt d'agrégats grossiers. Dans la mesure du possible, les tranchées ne devraient être ouvertes que si l'équipe est en mesure de les combler le jour même, après la pose des câbles. S'il s'agit d'une surface gazonnée, il faut retirer le sol par plaques et conserver avec soin les plaques de gazon pour les remettre en place.

13.2.3 Les massifs de conduits ou les marqueurs doivent être temporairement sortis de l'excavation et ensuite replacés dans la tranchée selon les besoins. Lorsque des câbles existants traversent le site proposé, l'installateur doit s'assurer que ces câbles sont bien protégés. Si des croisements sont inévitables, il ne doit pas y avoir d'épissures sur les câbles existants, sauf si elles sont spécifiées sur les plans. Les câbles existants doivent être repérés à la main et, s'ils doivent être déterrés, il faut s'assurer ensuite qu'ils n'ont pas été endommagés.

13.2.4 *Profondeur des câbles.* Les câbles enfouis directement doivent être à au moins 450 mm sous la surface finale dans l'emprise de l'aérodrome, à 750 mm sous la surface finale hors de l'emprise de l'aérodrome et à au moins 1 000 mm sous les pistes, les voies de circulation, les aires de trafic et les routes. À l'extérieur des terrains de l'aérodrome, il peut être nécessaire d'enfouir les câbles à de plus grandes profondeurs, selon les exigences du code de l'électricité local. Par exemple, la profondeur minimale sous une voie de chemin de fer devrait être de 1 200 mm, sauf s'il y a des indications spécifiques.

13.2.5 *Profondeur de la tranchée.* La tranchée destinée à recevoir les câbles doit avoir une profondeur suffisante pour respecter les règles de pose des câbles, plus au moins 75 mm pour une couche d'assise (lit de sable, etc.) sous le niveau du câble le plus profond, comme le montre la Figure 13-4.

Mise en place des câbles

13.2.6 Dans la mesure du possible, les câbles devraient être posés d'une seule pièce, sans épissures, entre les sites des feux. Les câbles d'alimentation doivent avoir la plus grande longueur possible pour réduire au minimum les épissures. S'il devient nécessaire de couper un câble, les extrémités devraient être rendues étanches immédiatement après la coupe pour éviter l'entrée d'humidité. Les câbles ne doivent pas être pliés à un rayon inférieur à 8 fois leur diamètre pour les câbles à gaine de caoutchouc ou de plastique, et à 12 fois leur diamètre pour les câbles à armure

métallique. Un câble qui a été plié à angle aigu (coque ou vrille) ne devrait pas être installé. Une personne doit être préposée à l'observation du déroulement du touret pour signaler toute irrégularité dans le câble déroulé. Les câbles à enfouir directement devraient être déroulés en place dans la tranchée ouverte ou sur le côté de la tranchée, puis déposés avec précaution au fond. Il n'est pas recommandé de tirer un câble dans la tranchée au fur et à mesure qu'il se déroule à l'autre extrémité. Si des câbles doivent se croiser, il faut prévoir un décalage vertical d'au moins 75 mm entre les deux câbles, celui du dessus devant respecter la profondeur minimale par rapport à la surface. Un excédent de câble évitant les efforts de traction doit être placé dans la tranchée sous la forme d'une série de S.

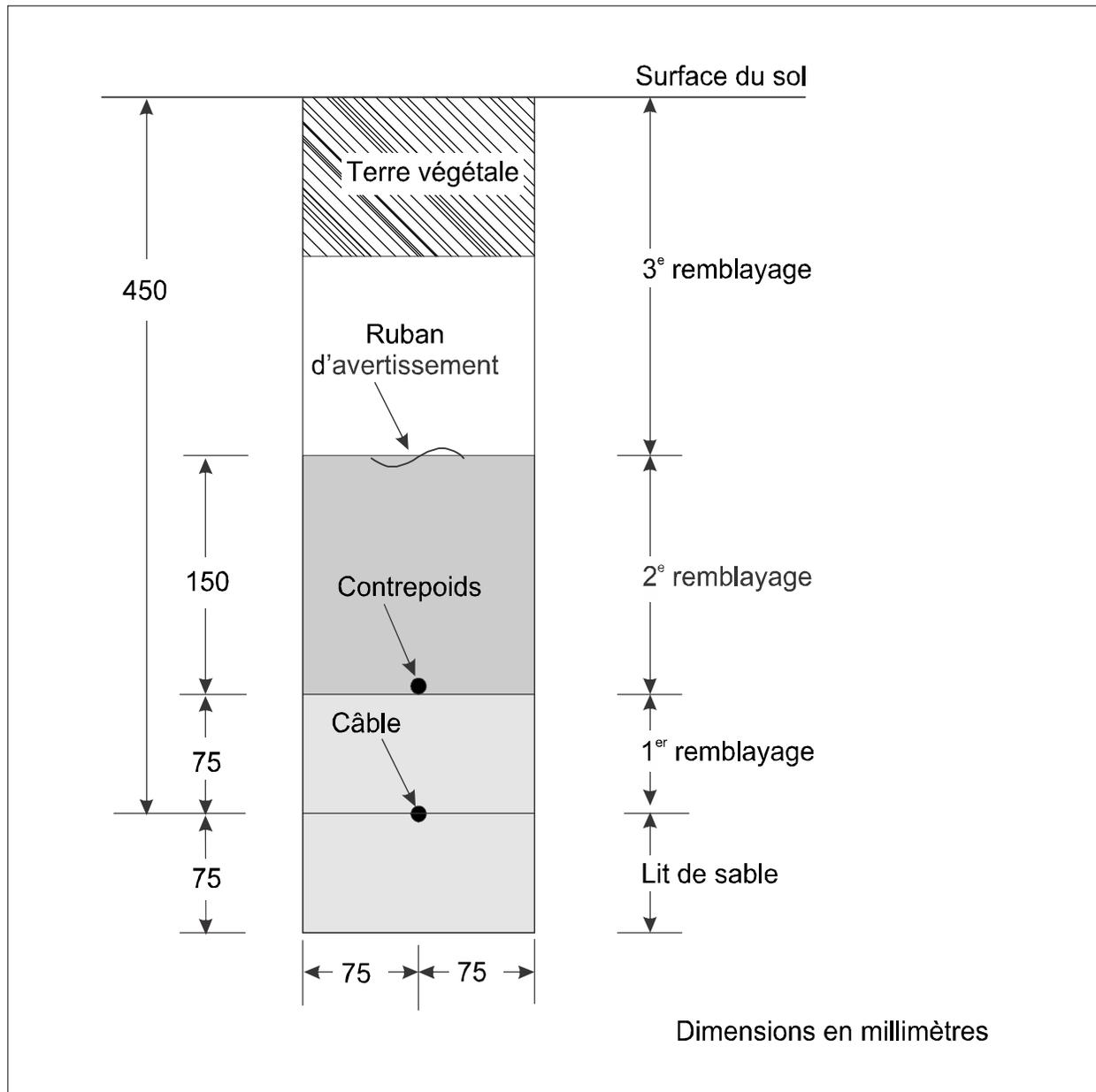


Figure 13-4. Câble enfoui directement en tranchée

Mise en place du fil de contrepoids

13.2.7 Le fil de contrepoids crée un « chapeau de protection » de 90° (45° de part et d'autre de la verticale). Il devrait être posé en continu entre 75 et 150 mm au-dessus du câble, du conduit ou du massif, ou selon les plans si cette hauteur est plus grande. En tenant compte du chapeau de protection, un fil à 75 mm convient pour protéger un ou deux câbles, et à 150 mm, pour protéger trois ou quatre câbles. Au-delà de ces valeurs, il faut utiliser plusieurs fils de contrepoids, comme le montre la Figure 13-5.

13.2.8 D'autres fils de contrepoids devraient être installés à au moins 200 mm sous la couche d'assise dans les zones revêtues, ou à 250 mm sous la surface du sol dans les zones non revêtues. Cette hauteur peut être réduite à 100 mm si le conduit est noyé dans un revêtement existant. Le fil de contrepoids ne devrait pas être posé en conduit, sauf lorsqu'il s'agit de traverser une piste ou une voie de circulation et qu'un conduit existe déjà. Pour la pose en conduit, le fil de contrepoids devrait être isolé.

Ruban d'avertissement

13.2.9 Un ruban d'avertissement (marqué « Attention ») devrait être posé dans la tranchée à 150 mm au-dessus du câble directement enfoui ou du fil de contrepoids, s'il existe, soit environ à mi-hauteur entre la surface et la couche supérieure de câbles directement enfouis, ou du fil de contrepoids, s'il est présent, et à au moins 200 mm en dessous de la surface finale du sol. Le ruban devrait être d'une largeur de 100 à 150 mm, en film de polyéthylène métallisé pour faciliter son repérage à distance. La couleur du ruban et la légende imprimée en continu devraient figurer sur les plans.

Zones de circulation intense

13.2.10 Il faut éviter de poser des câbles enfouis sans protection sous les aires revêtues, les routes, les voies ferrées ou les fossés de drainage. Dans ces zones, ils devraient passer dans des conduits noyés dans le béton ou dans des tuyaux rigides en acier.

Affleurements rocheux

13.2.11 Si la tranchée rencontre un affleurement rocheux massif qui ne peut être contourné, il faut l'excaver pour pouvoir poser les câbles dans un conduit ou un tuyau noyé dans le béton. Comme le montre la Figure 13-6, les conduits ne doivent pas être posés à moins de 150 mm sous la surface et de 75 mm au-dessus du fond de l'excavation. Le fil de contrepoids est placé au-dessus du conduit. Il faut prévoir une corde de tirage en nylon à l'intérieur du conduit. Dans certains cas, le bétonnage peut être fait en deux couches, la couche supérieure étant en béton conducteur.

Largeur de la tranchée et séparation entre les câbles

13.2.12 Pour un câble simple, la largeur de la tranchée ne doit pas être inférieure à 150 mm. S'il y a plus d'un câble dans une même tranchée, la largeur de celle-ci doit permettre les séparations indiquées ci-après (Figure 13-7).

13.2.13 Séparation horizontale entre les câbles :

- a) Les câbles de circuits série correspondant à des systèmes de balisage différents doivent avoir une séparation latérale de 75 mm. Les câbles d'un même circuit série peuvent être posés sans séparation.
- b) Les câbles d'alimentation appartenant au même circuit ou à des circuits différents de moins de 600 V peuvent être posés ensemble dans la même tranchée sans séparation horizontale.

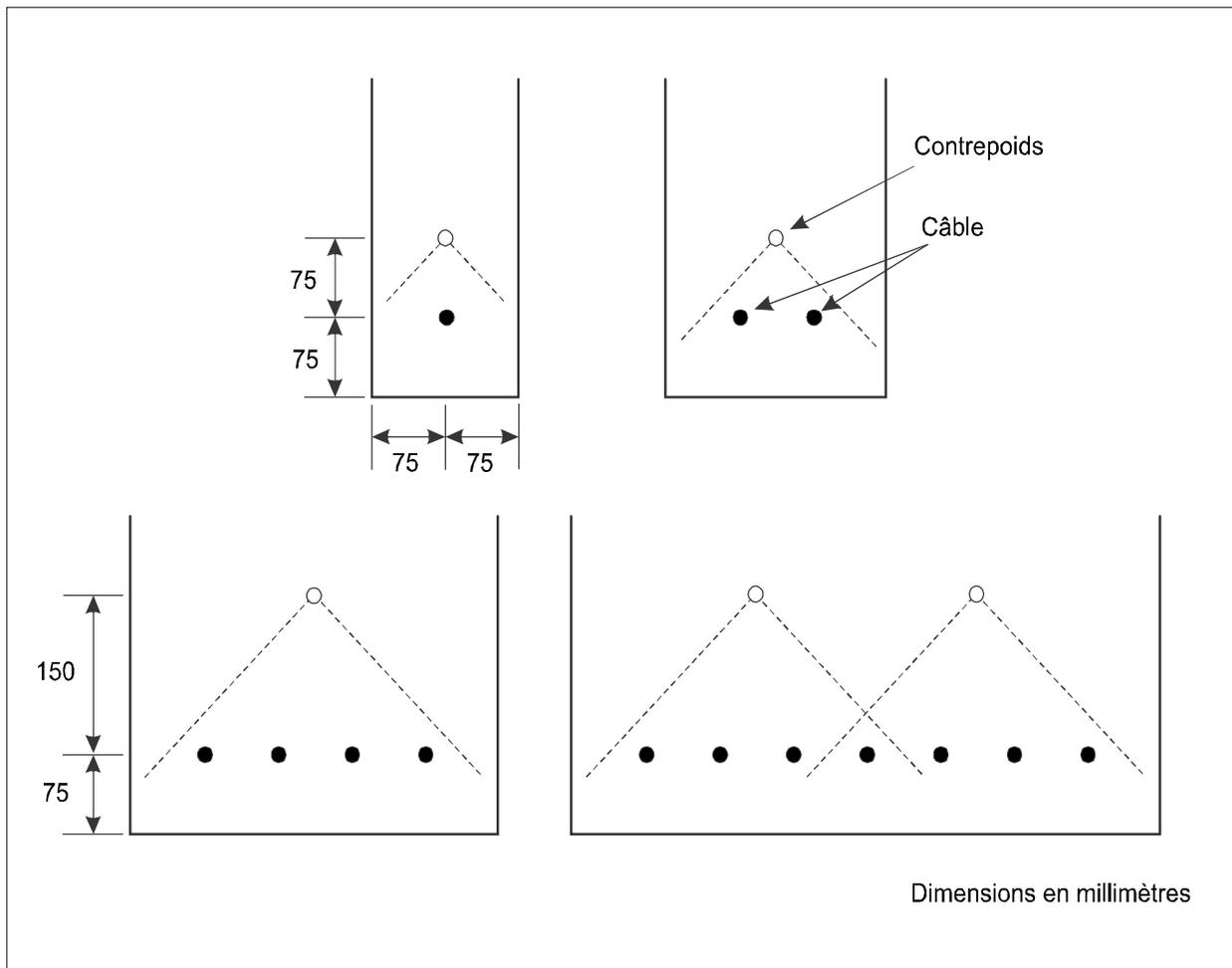


Figure 13-5. Disposition des contrepoids

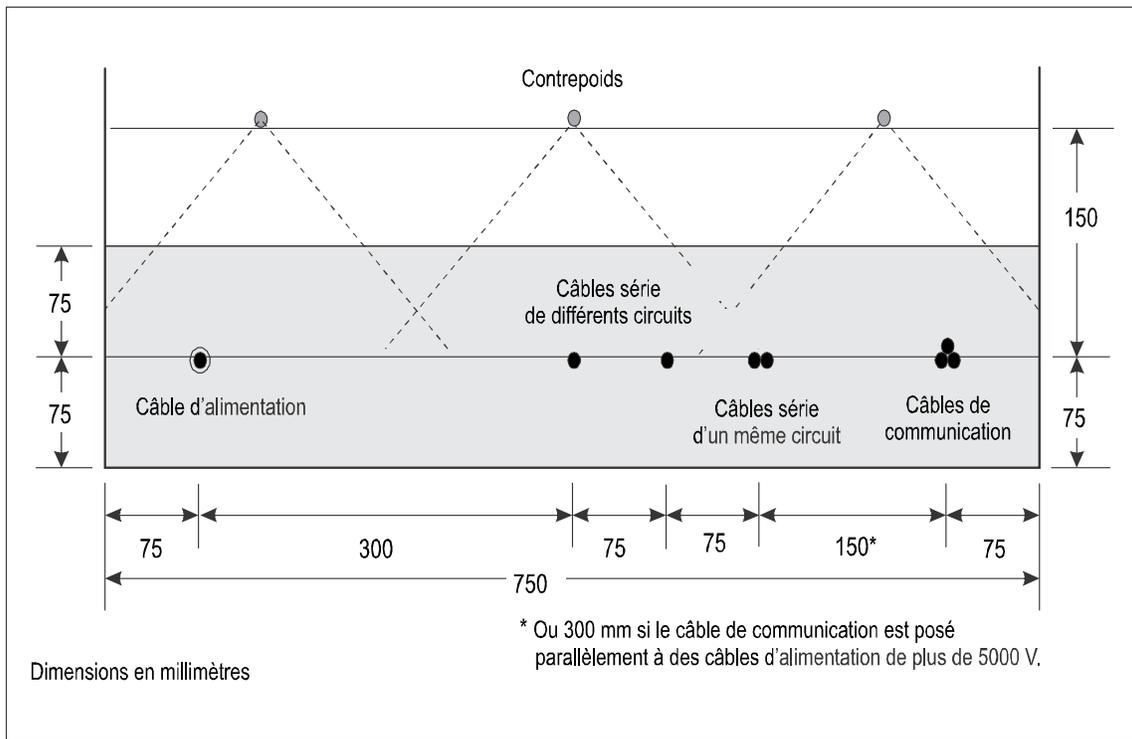


Figure 13-6. Pose de câbles dans des zones rocheuses

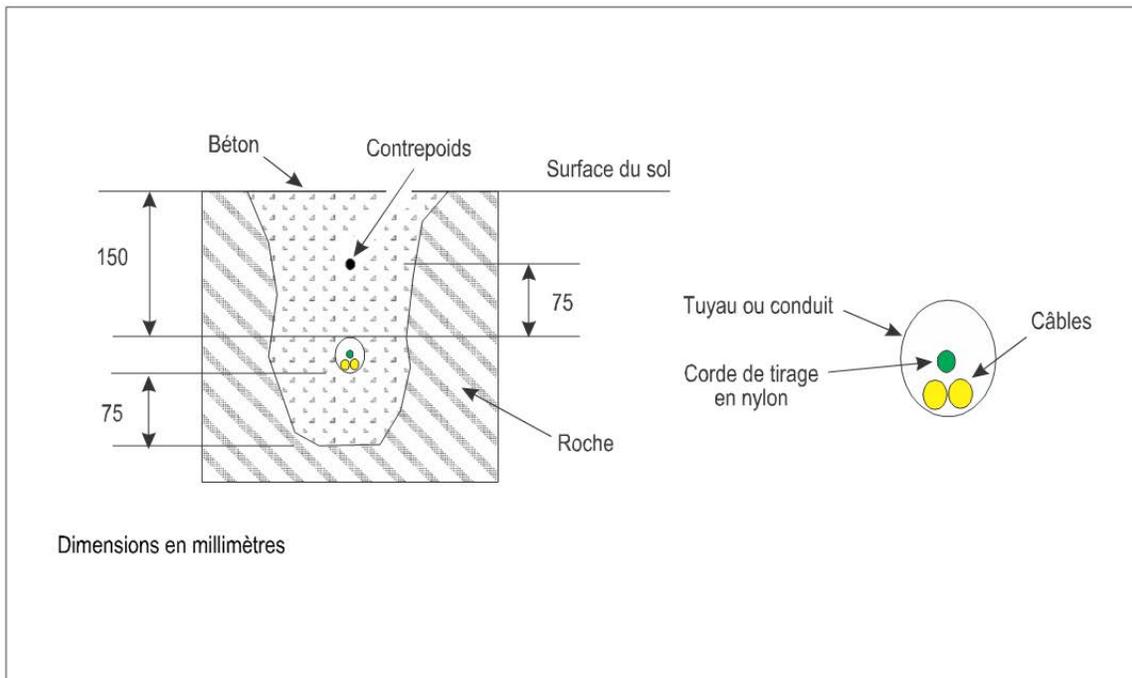


Figure 13-7. Espacement latéral des câbles et du contrepoids

- c) Les câbles d'alimentation de circuits différents dont la tension est comprise entre 600 et 5 000 V doivent être séparés d'au moins 100 mm.
- d) Tous les câbles d'alimentation dont la tension est inférieure ou égale à 5 000 V doivent être séparés d'au moins 150 mm de tous les câbles de commande, câbles téléphoniques et câbles coaxiaux.
- e) Les câbles d'alimentation dont la tension est supérieure à 5 000 V doivent être séparés d'au moins 300 mm de tout autre câble.
- f) Les câbles de commande, les câbles téléphoniques et les câbles coaxiaux peuvent être posés côte à côte dans la tranchée sans séparation horizontale entre eux.

13.2.14 Séparation verticale entre les câbles :

- a) Aucun câble ne devrait se trouver directement au-dessus d'un autre à cause des risques de dommages lors du compactage de la tranchée.
- b) La séparation verticale entre les câbles devrait être du même ordre que la séparation horizontale, sauf que les câbles qui n'ont pas besoin d'une séparation horizontale devraient être séparés verticalement d'au moins 60 mm.
- c) Les fils de terre et de contrepoids doivent être disposés à 150 mm environ au-dessus du niveau des câbles supérieurs.

Croisements de câbles

13.2.15 Bien que des séparations verticales soient spécifiées ci-dessus, il n'est pas recommandé de superposer dans une tranchée des câbles posés sans protection. Cette disposition pourrait compliquer indûment des réparations ultérieures sur les câbles les plus profonds. Dans la plupart des cas, les séparations verticales concernent les croisements de câbles sous un certain angle. Il est en outre préférable que ces croisements se fassent aussi près de 90° que possible. La profondeur de la tranchée doit être augmentée, comme le montre la Figure 13-8, pour permettre de respecter la séparation verticale prescrite.

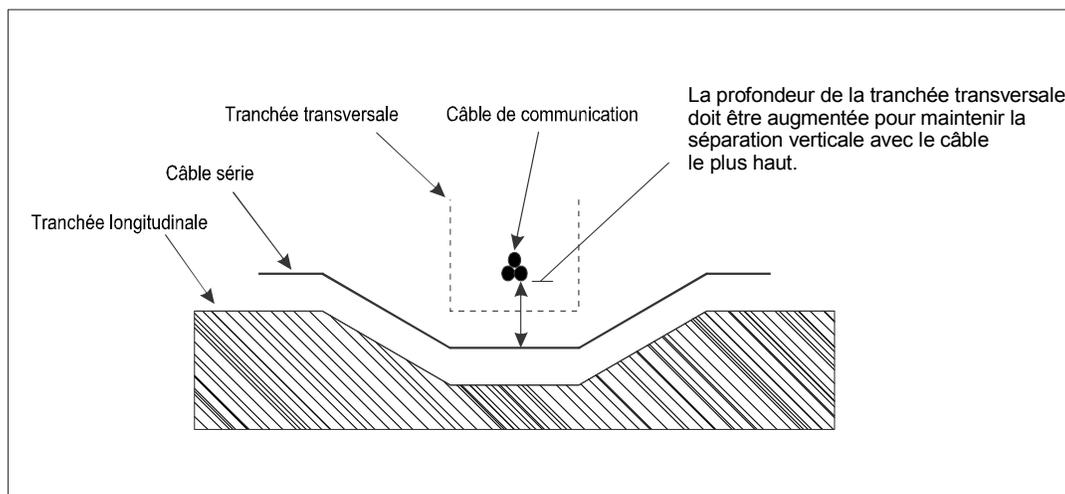


Figure 13-8. Croisements de câbles

Interconnexion des contrepoids

13.2.16 Les conducteurs contrepoids devraient être interconnectés aux points où les câbles ou les conduits se croisent. Lorsque plusieurs contrepoids sont installés au-dessus de câbles, de conduits ou de gaines, ils devraient être interconnectés à des intervalles ne dépassant pas 150 mm. La Figure 13-9 illustre ce genre d'interconnexion entre les contrepoids.

13.2.17 L'interconnexion entre les fils de contrepoids et les électrodes de terre devrait se faire par soudage exothermique. Ce genre d'opération devrait être confié à des soudeurs expérimentés et habitués à ce genre de travaux. L'opération doit se faire conformément aux recommandations du fabricant et aux règles suivantes :

- a) toutes les soudures doivent être débarrassées des traces de laitier ;
- b) pour les soudures à la base des dispositifs de balisage, les surfaces galvanisées et les zones de fusion, à la fois à l'intérieur et à l'extérieur de la base, qui ont été endommagées par le processus de soudage exothermique doivent être remises en état avec un produit liquide de galvanisation à froid. Les surfaces à traiter devraient être préparées et le produit, appliqué selon les recommandations du fabricant ;
- c) toutes les surfaces de cuivre et de soudure entourant les connexions et qui seront enfouies doivent être abondamment enduites de mastic au goudron minéral, ou un produit équivalent, pour ne pas être exposées à l'humidité ou au sol corrosif.

13.2.18 Sinon, la liaison entre le fil de contrepoids et l'embase du feu et les piquets d'ancrage peut se faire par des pattes boulonnées prévues à cet effet.

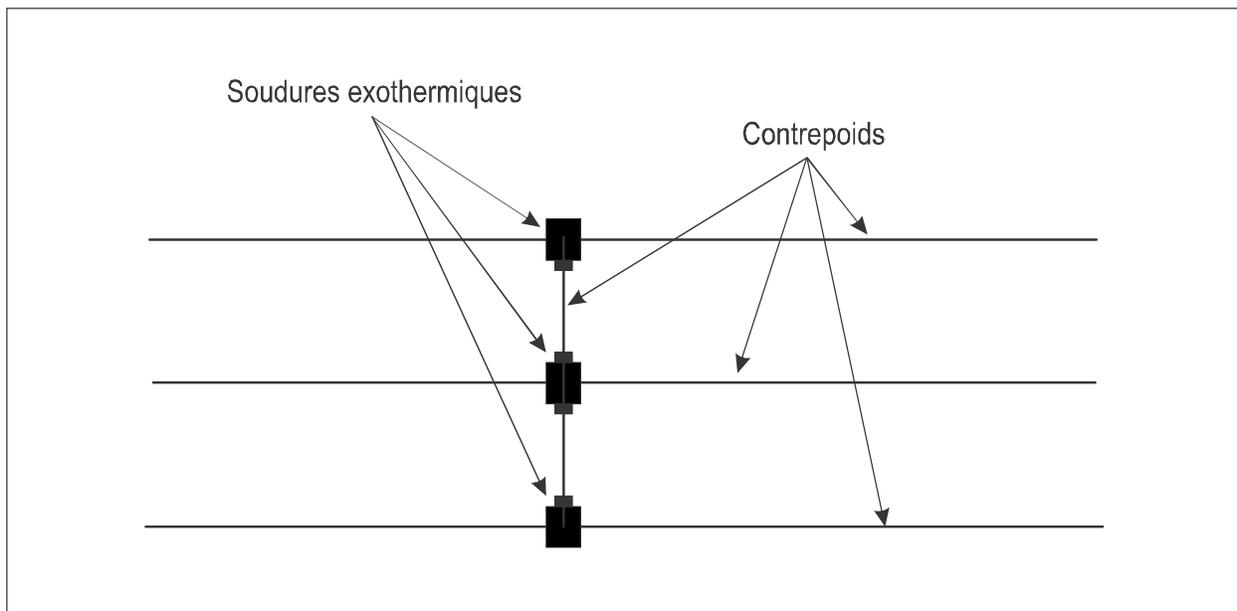


Figure 13-9. Interconnexion des contrepoids

Câble excédentaire

13.2.19 Il faut laisser environ 1 m de mou à chaque extrémité du câble, de chaque côté de toutes les connexions, de tous les transformateurs d'isolement et feux de balisage, et en tout point où les connexions du câble sortent de terre. La boucle de reprise doit être enterrée à la même profondeur minimale que le câble. Le rayon intérieur du câble en boucle ne doit pas être inférieur à 12 fois son diamètre extérieur. Aux endroits où le câble sort de terre, il faut prévoir une longueur excédentaire. Pour toutes les épissures de câble, il faut laisser une boucle exempte de pliures au niveau de l'épissure ou à moins de 300 mm de ses extrémités. Pour permettre d'effectuer des mesures ou de futures connexions hors sol, prévoir suffisamment de mou pour que le câble puisse être allongé d'au moins 300 mm verticalement au-dessus de la structure d'accès. Cette exigence s'applique également au câble primaire qui traverse le socle vide du feu, aux jonctions et aux structures d'accès pour permettre de futures connexions ou pour respecter les plans.

Remblayage final

13.2.20 Après la pose du câble, le remblayage de la tranchée doit se faire de la manière suivante :

- a) La tranchée ne doit pas contenir de flaques d'eau au moment des opérations de remblayage.
- b) Le remblai séparant deux câbles doit être bien compacté. Les séparations entre les câbles indiquées doivent être respectées dans toutes les directions, horizontalement, verticalement ou obliquement.
- c) La première couche de remblayage doit avoir une épaisseur d'au moins 75 mm (mesurée avant tassement), avec de la terre ou du sable ne contenant pas de particules d'agrégats minéraux de plus de 8 mm de diamètre. Cette couche ne doit pas être compactée, sauf pour l'épaisseur séparant les deux câbles. Les contrepoids seront posés sur cette couche.
- d) La seconde couche de remblayage, d'au moins 120 mm d'épaisseur, mesurée avant tassement, ne doit pas contenir de particules de plus de 25 mm de diamètre. Le ruban d'avertissement peut être étalé sur cette couche.
- e) La deuxième couche et les couches suivantes doivent être bien damées et compactées jusqu'à une densité au moins égale à celle du sol environnant. Si nécessaire pour atteindre la densité voulue, le matériau de remblayage peut être mouillé ou aéré.
- f) La troisième couche et les suivantes ne doivent pas dépasser 200 mm et on peut utiliser de la terre excavée ou un matériau importé ne contenant pas de pierres ni d'agrégats plus gros que 100 mm de diamètre.
- g) La tranchée est ensuite complètement comblée et compactée de niveau avec le sol adjacent, sauf si l'on veut rétablir une surface gazonnée, auquel cas le remblayage sera interrompu en laissant une profondeur correspondant à l'épaisseur du gazon à reconstituer. Il faut évidemment tenir compte du tassement ultérieur. L'excès de matériaux excavés devrait être évacué et être éliminé conformément aux plans et aux règles locales.
- h) *Remise en état.* Le sol arable retiré devrait être remis en place dès que possible après le comblement de la tranchée. Toutes les zones dérangées par le creusement, le stockage de la terre, la pose du câble, la construction du soubassement et les autres travaux doivent être remises dans leur état d'origine. Ces travaux de remise en état peuvent comprendre un apport de terre arable, d'engrais, de chaux, de semences, de plaques de gazon ou de paillis. Pour une tranchée dans une zone revêtue, après un remblayage soigneux, la surface doit être recouverte d'une couche similaire à celle d'origine.

Les zones resurfacées doivent être au même niveau que la surface d'origine, sans fissures et suffisamment solides pour résister aux charges du trafic sans s'affaisser ni se crevasser.

Brouillage électromagnétique

13.2.21 Les circuits de balisage lumineux peuvent produire un brouillage électromagnétique (EMI) excessif au point de dégrader les performances de certains des systèmes critiques pour la navigation aérienne, comme l'équipement RVR, les pentes d'approche, les radiophares d'alignement, etc. À noter que certains CCR sont des sources probables d'EMI et qu'il faut prendre les précautions suivantes pour réduire les perturbations et les effets néfastes sur l'environnement aéroportuaire :

- a) éviter de poser les câbles des circuits de balisage dans le même conduit, tuyau ou massif que les câbles de commande et de communications ;
- b) éviter de poser les câbles des systèmes de balisage lumineux de façon qu'ils croisent des câbles de commande ou de communications ;
- c) dans certains cas, des filtres d'harmoniques peuvent être installés à la sortie du régulateur pour diminuer les émissions EMI. Ces filtres sont généralement offerts par les fabricants des régulateurs ;
- d) mettre à la terre les câbles de commande et de communications de réserve ;
- e) aviser les fabricants, les concepteurs, les ingénieurs, etc., des équipements de navigation existants et des risques de brouillage ;
- f) mentionner la compatibilité électromagnétique entre les nouveaux équipements et les installations existantes dans les contrats de projet. Des essais d'acceptation opérationnelle peuvent être nécessaires pour vérifier la conformité.

Enfouisseuse de câbles

13.2.22 Dans certaines conditions, il est possible de poser des câbles à l'aide d'une charrue enfouisseuse. Cette méthode d'installation devrait être réservée aux sols sablonneux ne contenant pas de cailloux ni d'autres débris risquant d'entailler ou de couper l'isolant du câble. L'équipement utilisé doit pouvoir enfouir les câbles à une profondeur d'au moins 450 mm sous la surface du sol sur les terrains de l'aérodrome. Le câble devrait être déroulé manuellement du touret au fur et à mesure de l'avance de la machine pour ne pas se dérouler sous l'effet de la pente. Dans certaines conditions, il est également possible de poser par cette méthode un conduit flexible ou un tube de polyéthylène.

Épissures

13.2.23 Les épissures du type indiqué sur les plans devraient être faites par du personnel expérimenté ayant l'habitude de ce genre de travaux, et en suivant la méthode ci-après :

- a) *Épissures enrobées*. Ce genre d'épissure devrait se faire en utilisant des connecteurs sertis pour joindre les conducteurs. Après le montage du moule, le composé d'enrobage est mélangé et coulé conformément aux instructions du fabricant et sous la supervision de l'ingénieur.

- b) *Épissures embrochables faites sur le terrain.* Ce genre d'opération doit se faire en suivant les instructions du fabricant. Les épissures se font en assemblant directement les connecteurs complémentaires. Dans tous les cas, les joints d'assemblage doivent être protégés par au moins une couche de ruban de caoutchouc ou de caoutchouc synthétique et une couche de ruban plastique avec recouvrement à mi-largeur et sur au moins 37 mm de part et d'autre du joint.
- c) *Connecteurs démontables moulés en usine.* L'assemblage se fait en emboîtant directement les connecteurs complémentaires. Dans tous les cas, les joints d'assemblage doivent être protégés par au moins une couche de ruban de caoutchouc ou de caoutchouc synthétique et une couche de ruban plastique avec recouvrement à mi-largeur et sur au moins 37 mm de part et d'autre du joint.
- d) *Épissures protégées par du ruban ou des manchons thermorétractables.* La réalisation de ce genre d'épissure est décrite au Chapitre 14.

13.3 POSE DE TUYAUX/CONDUITS (AVEC OU SANS ENROBAGE DE BÉTON)

Choix du tracé

13.3.1 Le choix du tracé des conduits de câbles correspond au meilleur compromis entre le maximum de souplesse et le minimum de coût ; il doit aussi éviter les emplacements des fondations de futurs bâtiments ou d'autres structures. S'il faut faire passer des lignes de communications avec les câbles de distribution d'énergie électrique, il faut prévoir deux circuits isolés dans des compartiments distincts avec des chambres de visite. Dans la mesure du possible, on installera les conduits dans la même enveloppe de béton. Les câbles électriques et les lignes de communications doivent être séparés de toutes les autres conduites souterraines, notamment les conduites d'eau chaude et de vapeur.

Matériaux des conduits

13.3.2 Les conduits peuvent être en divers matériaux classiques acceptables — fibres, poterie et matière plastique. Pour les matières plastiques, on préférera le polyéthylène qui ne contient pas d'halogènes et est donc plus écologique. On peut aussi poser sous terre des tuyaux rigides en acier qui doivent parfois être protégés par un revêtement appliqué sur place ou en usine.

Dimensions des conduits

13.3.3 Les conduits en massif souterrain doivent avoir un diamètre intérieur minimal de 10 cm; toutefois, pour ceux qui sont destinés aux lignes de communications, le diamètre minimal est de 7,5 cm.

Pose de conduits sans enrobage de béton

13.3.4 Les tranchées destinées à recevoir un conduit unique doivent avoir une largeur comprise entre 150 et 300 mm ; les tranchées destinées à deux ou plusieurs conduits posés côte à côte doivent avoir une largeur calculée en proportion. Le fond des tranchées destinées à recevoir des conduits sans enveloppe de béton doit être nivelé avec assez de précision pour les supporter uniformément sur toute leur longueur. Il faut déposer au fond de la tranchée un lit de terre fine d'au moins 75 mm d'épaisseur (sans tassement) qui servira de couche d'assise. La couche d'assise peut être de la terre meuble, du sable ou d'autres matériaux à grain fin, sans particules de plus de 6 mm de diamètre. Ce matériau doit être damé jusqu'à ce qu'il devienne ferme. Si deux ou plusieurs conduits sont installés dans la même

tranchée sans enveloppe de béton, il faut les espacer d'au moins 75 mm (mesure prise entre les parois extérieures) dans le plan horizontal, ou d'au moins 75 mm dans le plan vertical. Les conduits rigides en acier et les conduits à parois épaisses peuvent être enfouis directement dans le sol. Tous les autres conduits doivent être protégés par un enrobage de béton (voir Figure 13-10).

Pose de conduits noyés dans le béton

13.3.5 Tous les conduits posés dans du béton coulé doivent reposer sur une couche de béton d'au moins 75 mm d'épaisseur. Lorsque deux ou plusieurs conduits sont posés dans le béton, ils doivent être espacés d'au moins 75 mm (intervalle entre les parois extérieures). À mesure que l'on pose les conduits, il faut couler au moins 75 mm d'épaisseur de béton sur les côtés et au-dessus du massif dans lequel passent les conduits. Les extrémités évasées des conduits ainsi que les raccordements doivent affleurer l'enveloppe en béton ou les parois intérieures des chambres de visite ou des regards. Des cales d'espacement devraient être posées à intervalle de 1,5 m ou moins pour assurer un écartement uniforme entre les conduits. Les joints des conduits adjacents devraient être décalés d'au moins 600 mm et rendus étanches avant la coulée du béton. Ne jamais installer une canalisation ayant un joint défectueux. Les conduits noyés dans le béton ou les tuyaux rigides en acier doivent être posés de manière que la partie supérieure de l'enveloppe de béton ou du tuyau soit à au moins 450 mm au-dessous de la surface stabilisée lorsque l'installation passe sous une route, une voie ferrée, une piste, une voie de circulation ou une autre surface revêtue, ou encore sous un fossé de drainage. Dans les autres cas, l'installation doit se trouver à au moins 450 mm en dessous du niveau du sol. S'il y a lieu, des contrepoids de terre seront installés.

Conduits et tuyaux flexibles

13.3.6 Lorsque les câbles sont posés dans un système de conduits, ils doivent être regroupés de la manière illustrée à la Figure 13-11. La Figure 13-10 illustre la disposition des conduits ou des tuyaux flexibles dans la tranchée.

Douilles de mise à la terre

13.3.7 Tous les conduits rigides en acier doivent être munis de douilles de mise à la terre à l'entrée et à la sortie des chambres de visite et des regards.

Groupement des conduits

13.3.8 Pour assurer les meilleures conditions de dissipation de la chaleur, il est préférable de disposer les conduits deux par deux dans le sens de la hauteur ou de la largeur. De même, on peut grouper plusieurs rangées de deux conduits en hauteur ou en largeur. (Cette disposition peut devenir impossible pour un grand nombre de conduits.) Si les rangées de deux conduits sont étagées verticalement, cela permet d'aligner plus facilement les câbles sur les parois des chambres de visite mais cette solution risque d'être moins économique que de les disposer horizontalement.

13.3.9 *Drainage.* Pour assurer l'écoulement de l'eau, les conduits doivent avoir une pente descendante vers les regards, les chambres de visite et les extrémités. La pente doit être d'environ 2,5 mm par mètre. S'il n'est pas possible de maintenir une pente continue de même sens d'un bout à l'autre, les conduits doivent descendre en pente douce dans les deux sens à partir d'un point central vers les regards, chambres de visite ou extrémités. Il faut éviter les poches et les points bas où l'eau a tendance à s'accumuler.

Câble de tirage

13.3.10 Tous les conduits de réserve doivent contenir un câble de tirage en acier cuivré d'une section de 5 mm^2 ou plus. On peut aussi utiliser une corde de tirage en polypropylène qui ne risque pas de pourrir ou de moisir dans le fond du conduit, des puisards ou des chambres de visite. Les extrémités ouvertes des conduits de réserve doivent être obturées par des bouchons coniques amovibles. Ces bouchons doivent en outre immobiliser solidement les câbles de tirage.

Capacité de réserve

13.3.11 Pour tout nouveau réseau souterrain, le nombre de conduits doit correspondre aux besoins du projet et des extensions futures, plus un minimum de 25 % de conduits de réserve pour l'avenir.

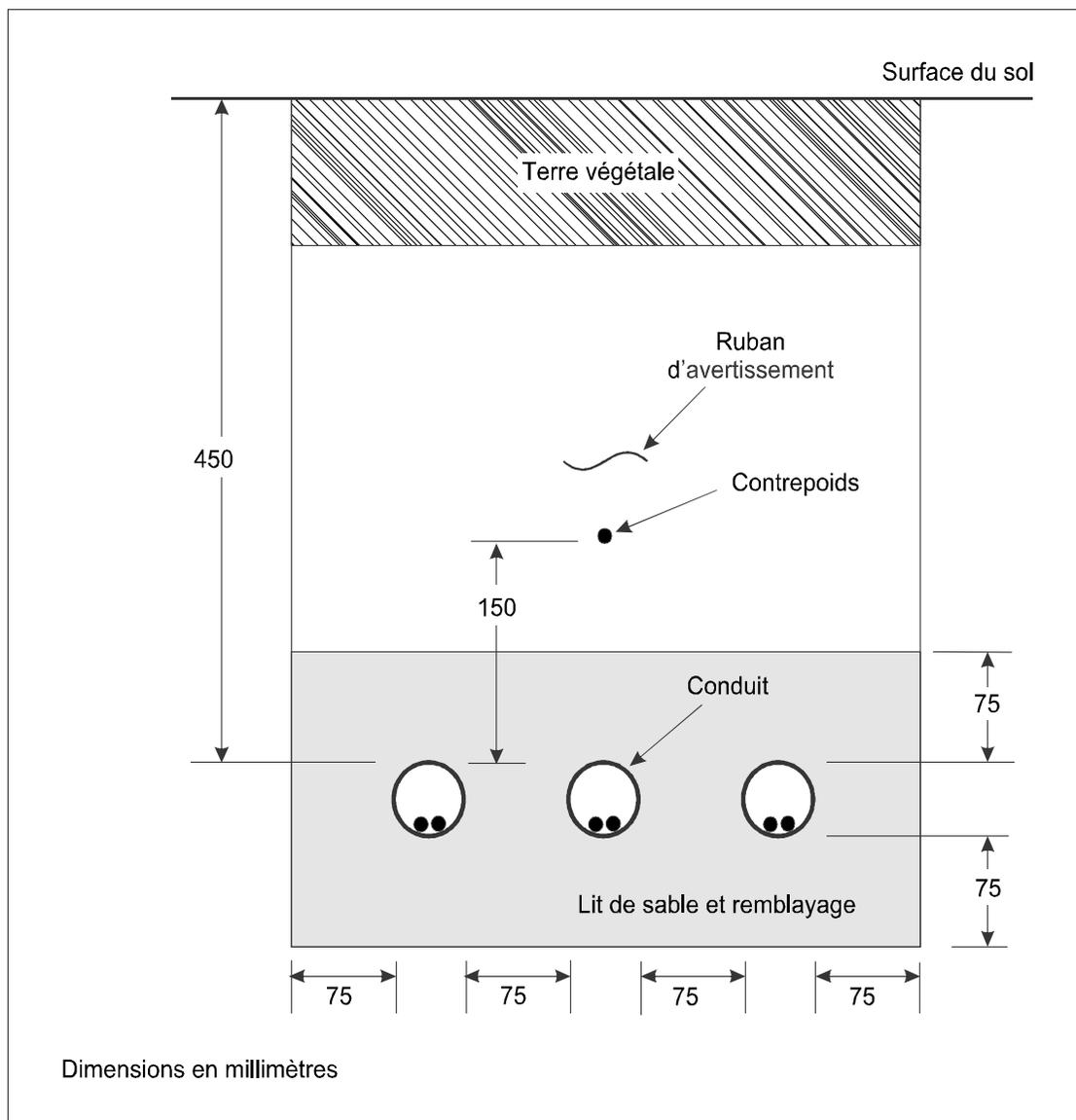


Figure 13-10. Conduits et tuyaux posés sans enrobage de béton

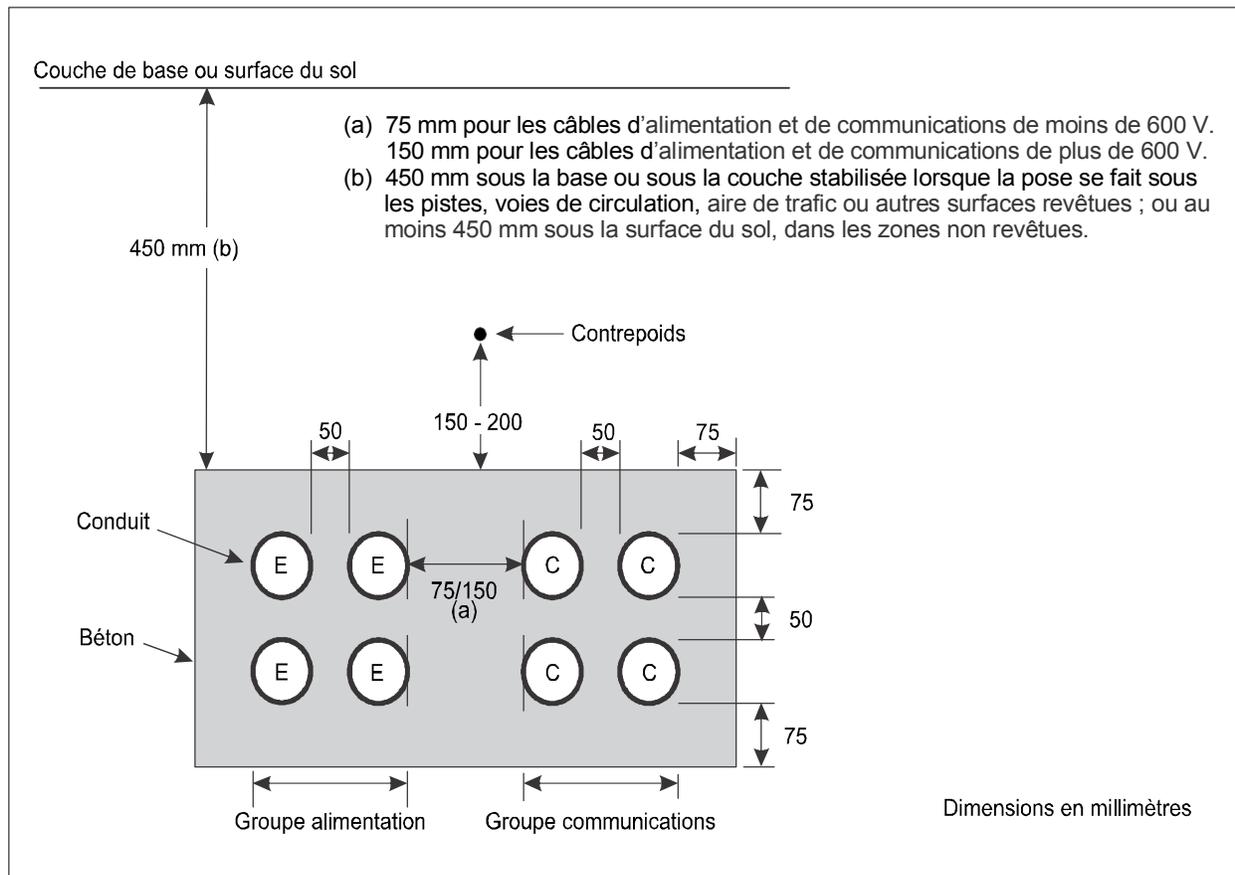


Figure 13-11. Massif de conduits noyés dans le béton

Tuyaux flexibles

13.3.12 L'utilisation de tuyaux flexibles devrait être limitée à l'enfouissement direct et aux câbles de faible longueur. Pour les massifs de conduits noyés dans le béton, il est préférable d'utiliser des conduits rigides car les tuyaux flexibles ont tendance à se déplacer pendant la coulée du béton ou lors du remblayage de la tranchée. De plus, les tuyaux flexibles peuvent poser des problèmes lors du tirage car le câble de tirage risque d'entailler les parois relativement molles du tube. Le tirage devrait toujours se faire avec un lubrifiant approprié.

Pose de contrepooids de terre au-dessus de conduits multiples et de massifs de conduits

13.3.13 Des fils de contrepooids peuvent être posés au-dessus des conduits multiples ou des massifs contenant les câbles de balisage d'aérodrome de façon à offrir un chapeau de protection complète des câbles contre la foudre. La protection des massifs de conduits doit être définie en coordination avec l'étude générale de compatibilité électromagnétique des caractéristiques du sol et des niveaux kérauniques applicables au site (référence 0). Si plusieurs conduits ou massifs contenant des câbles de balisage sont installés dans la même tranchée, le nombre et la disposition des contrepooids doivent assurer une protection complète dans la zone qui s'étend sur 45° de part et d'autre de la verticale (Figure 13-12).

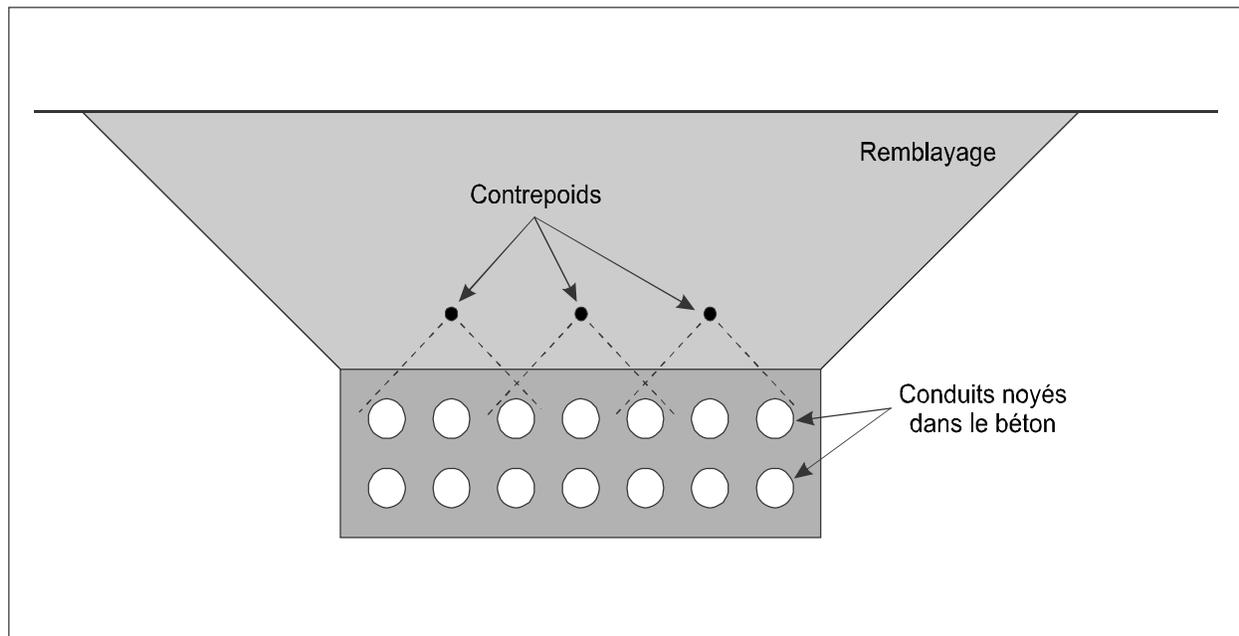


Figure 13-12. Contrepoids au-dessus de conduits multiples

Protection du circuit secondaire

13.3.14 Normalement, le fil secondaire passe à travers un orifice à défoncer. Si le fil secondaire est à découvert, il doit être protégé par une gaine flexible entre le boîtier ou le transformateur AGL enfoui et l'ensemble lumineux.

13.4 CHAMBRES DE VISITE ET REGARDS

13.4.1 Lorsqu'il s'agit de choisir entre des chambres de visite, comme le montre la Figure 13-13, et les regards, divers facteurs interviennent, comme le nombre, le sens et l'emplacement des sections de canalisations, la disposition des supports de câbles, la méthode de drainage, la place dont on dispose pour travailler (surtout si de l'équipement doit être installé dans la chambre de visite) et les dimensions de l'ouverture nécessaire pour le passage de l'équipement.

Choix des emplacements

13.4.2 L'emplacement des chambres de visite et des regards est déterminé en fonction des raccordements ou épissures et de manière à éviter les incompatibilités avec les autres réseaux de services. L'intervalle entre deux chambres de visite ne doit pas dépasser 200 m sur les tronçons rectilignes et 100 m dans les courbes. Au besoin, cet intervalle sera réduit pour éviter d'endommager l'installation lors du tirage des câbles. Il importe de limiter les efforts mécaniques pendant la pose de manière à ne pas déformer le câble ni endommager son isolant (voir Tableau 13-1).

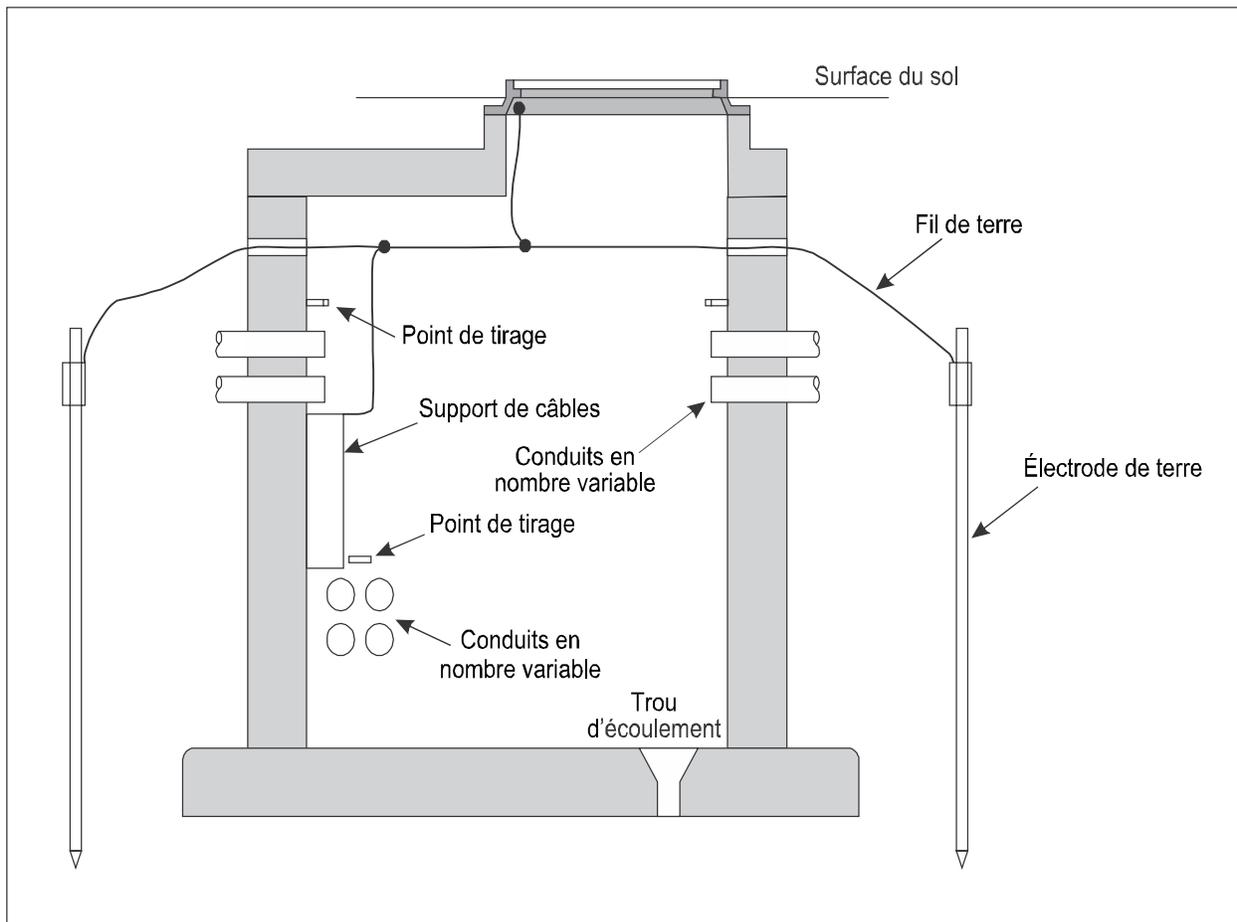


Figure 13-13. Chambre de visite

Tronçons de réserve

13.4.3 Il est bon de prévoir deux ou plusieurs tronçons de réserve (courtes sections de conduits traversant la paroi de la chambre de visite) pour ne pas avoir à percer les parois si l'on est amené à agrandir plus tard le réseau. Ces tronçons de réserve doivent être obturés aux deux bouts.

Petit matériel

13.4.4 Le petit matériel doit être choisi en fonction du type de l'installation. Si les conduits sont à extrémité évasée, un blindage n'est nécessaire que pour la protection des câbles à gaine métallique.

Points de tirage

13.4.5 Les points de tirage sont des boucles ou des crochets en acier scellés dans la paroi de la chambre de visite pour servir d'ancrage au dispositif de tirage des câbles. Ils doivent être calculés pour une résistance double de l'effort de tirage prévu.

Chambres de visite compartimentées

13.4.6 Les chambres de visite à deux compartiments permettent de maintenir une séparation des circuits lorsque des câbles d'alimentation électrique et des lignes de communications passent dans le même groupe de conduits ou dans les mêmes chambres de visite.

Mise à la terre

13.4.7 La chambre de visite doit être équipée d'un circuit de mise à la terre de toutes ses pièces métalliques, comme les supports de câbles et le couvercle d'entrée, relié à une électrode de terre extérieure. En pratique, selon les codes locaux, on peut placer quatre piquets de terre interconnectés (un à chaque coin) autour de la chambre de visite.

13.5 POSE DES CÂBLES SOUTERRAINS DANS LES CONDUITS

Préparation des canalisations

13.5.1 Après la construction des conduits, la pose des câbles consiste à les tirer à l'intérieur des conduits. Avant cette opération, il faut s'assurer que les conduits sont ouverts, ne présentent pas de discontinuités et ne contiennent pas de débris. Lors du tirage des câbles, il faut prendre des précautions pour éviter d'étirer les conducteurs et d'endommager l'isolation ou la gaine de protection extérieure. Le bout du câble doit être protégé avant l'installation par du ruban imperméable qui restera en place jusqu'à son raccordement. Si plusieurs câbles doivent passer dans un même conduit, ils doivent être tirés tous ensemble. Il ne doit en aucun cas y avoir d'épissures ou de raccords dans une canalisation ou un conduit.

Tirage des câbles dans les conduits

13.5.2 *Méthode de tirage.* Pour poser un câble dans un conduit, on peut le tirer à la main ou avec un treuil à moteur. Avant de tirer le câble, il faut l'enduire d'une bonne quantité de lubrifiant spécial. Ne pas utiliser de graisse à base de pétrole. La surface de l'armure ou de la gaine d'un câble ne doit pas être entaillée sur une profondeur dépassant le dixième de son épaisseur d'origine. Le câble ne doit pas être aplati de plus d'un dixième de son diamètre extérieur. Le Tableau 13-1 donne les valeurs maximales des efforts de traction admissibles pour les câbles d'utilisation courante. Ces valeurs limites n'ont pas pour but d'empêcher l'emploi d'un filin métallique pour tirer le câble électrique. Cependant, à moins d'utiliser un dynamomètre pour mesurer l'effort de traction exercé, il est préférable d'employer un cordage de la section voulue pour limiter l'effort de traction aux valeurs indiquées dans le Tableau 13-1. Pour le tirage d'un groupe de câbles dans un conduit, l'effort total ne doit pas dépasser la somme des efforts admissibles pour chaque câble, plus 15 %.

Tableau 13-1. Effort maximum admissible pour le tirage d'un câble non armé, mesuré au dynamomètre, ou en employant une corde

Type de câble	Tension (kg)	Diamètre de la corde (mm)			
2 – 1c 8,4 mm ² Sol	125	4,8 C			
3 – 1c 8,4 mm ² Sol	165	6,4 C	4,8 M		
4 – 1c 8,4 mm ² Sol	250		6,4 M		
2 – 1c 13,3 mm ² Str	190	6,4 C	4,8 M		
3 – 1c 13,3 mm ² Str	285	8,0 C	6,4 M		
4 – 1c 13,3 mm ² Str	380	9,6 C		4,8 D	
1 – 2c 8,4 mm ² Str	140	6,4 C			
1 – 3c 8,4 mm ² Str	180	6,4 C			
1 – 4c 8,4 mm ² Str	265		6,4 M		
1 – 2c 13,3 mm ² Str	220	6,4 C	4,8 M		
1 – 3c 13,3 mm ² Str	310	8,0 C			
1 – 4c 13,3 mm ² Str	400	9,6 C	8,0 M	4,8 D	
1 – 6c 3,3 mm ² Str	140	6,4 C			
1 – 12c 3,3 mm ² Str	285	8,0 C	6,4 M		
1 – 12PR 0,6 mm ²	105	4,8 C			
1 – 25PR 0,6 mm ²	245		6,4 M		
1 – 50PR 0,6 mm ²	480	11,5 C			4,8 N
1 – 100PR 0,6 mm ²			12,0 M	8,0 D	
c – Conducteur C – Coton	Sol – Plein M – Manille	Str – Toronné D – Dacron		PR – Paires N – Nylon	
<p align="center"><i>Note.— Pour les efforts de traction non couverts dans le tableau, consulter le fabricant du câble.</i></p>					

13.5.3 *Longueur de câble à tirer.* Pour éviter les épissures, il faut tirer dans les conduits la plus grande longueur permise par le câble. Sauf prescription contraire, l'intervalle entre les chambres de visite ou les regards doit être aussi grand que possible pour le câble utilisé, mais ne doit jamais dépasser 200 m.

Pose des câbles dans les chambres de visite et les regards

13.5.4 *Supports de câbles.* À l'intérieur des chambres de visite et des regards, les câbles doivent être disposés avec soin le long des parois en évitant les coudes brusques et les coques. Toutes les épissures et les câbles doivent être attachés aux supports avec du fil de nylon de 3,2 mm de diamètre. Les supports des chambres de visite et des regards devraient être en plastique ou munis d'isolateurs en porcelaine. Dans la chambre de visite ou le regard, les épissures et les raccords devraient être à au moins 0,6 m de l'ouverture du conduit. Dans la mesure du possible, les épissures faites sur des câbles différents devraient être décalées.

13.5.5 *Extrémités de câbles.* Les extrémités de tous les câbles de commande, câbles téléphoniques et câbles coaxiaux doivent être traitées comme prescrit. Pour les câbles d'alimentation de tension nominale supérieure à 5 000 V, il faut munir l'extrémité d'un dispositif d'arrêt de traction. Lorsqu'on utilise des têtes de câble, il faut se conformer strictement aux recommandations du fabricant. Si les extrémités des câbles aboutissent aux bornes d'un transformateur, les surfaces conductrices exposées des sorties haute et basse tension doivent être guipées en fonction de la tension maximale et enduites d'une couche de peinture imperméable à fort coefficient d'isolement.

13.5.6 *Mise à la terre des câbles.* Les indications générales ci-après concernent la mise à la terre des câbles.

- a) Pour tous les câbles d'alimentation blindés, le blindage doit être mis à la terre aux deux bouts. Le fil de terre sera relié à un piquet de terre au moyen d'un raccord spécial conçu pour cet usage. Sur les câbles d'alimentation directement enfouis, le blindage ou l'armure doit être mis à la terre à chaque bout, mais pas aux épissures.
- b) Pour les câbles de commande blindés, le blindage doit être mis à la terre aux deux bouts. À chaque épissure, le blindage doit avoir une résistance d'isolement à la terre égale à celle du câble d'origine.
- c) Pour les câbles téléphoniques, le blindage doit être mis à la terre à une seule extrémité. À chaque épissure, le blindage doit avoir une résistance d'isolement à la terre égale à celle du câble d'origine.
- d) Pour les câbles coaxiaux, la tresse doit être isolée de la terre sur toute la longueur du câble. Elle ne doit être mise à la terre qu'au niveau du branchement à l'équipement à chaque extrémité de la longueur de câble.

Groupement des câbles

13.5.7 Les règles suivantes s'appliquent à la pose de deux ou plusieurs câbles dans le même conduit :

- a) les câbles d'alimentation de même tension peuvent être posés dans le même conduit ;
- b) les câbles d'alimentation de moins de 600 V peuvent être posés dans le même conduit ;
- c) les câbles d'alimentation de moins de 600 V ne devraient pas passer dans le même conduit que les câbles de commande, téléphoniques ou coaxiaux ;
- d) les câbles d'alimentation de plus de 600 V ne devraient pas être installés dans le même conduit que les câbles de commande, téléphoniques ou coaxiaux ou les câbles d'alimentation de moins de 600 V ;
- e) les câbles de commande, téléphoniques et coaxiaux peuvent passer dans le même conduit ;
- f) les câbles d'alimentation, de commande et téléphoniques peuvent être posés dans le même système de conduits, sous réserve des dispositions du § 13.5.9.

13.5.8 Les règles supplémentaires suivantes doivent également être respectées :

- a) les câbles de différentes classes de tension ne devraient pas être posés dans le même conduit ;
- b) les câbles de différentes zones, par exemple côté piste et côté voies de circulation, ne devraient pas être mélangés dans le même conduit ;
- c) les circuits imbriqués sont généralement posés dans le même conduit et cela peut être nécessaire pour un acheminement commun dans les systèmes à base profonde.

13.5.9 Les règles suivantes concernent l'installation des câbles dans les chambres de visite ou les regards :

- a) les câbles d'alimentation et de commande devraient être installés dans des chambres de visite ou des regards séparés, sauf instructions à l'effet contraire. S'il y a suffisamment d'espace, il faut ménager le mou nécessaire à une épissure sur chaque câble, au niveau de chaque chambre de visite ;
- b) s'il n'est pas possible de poser les câbles d'alimentation et les autres types de câbles dans des chambres de visite ou des regards séparés, ils devraient être logés dans des compartiments séparés ou sur des parois opposées de la chambre de visite ou du regard.

Pose des câbles dans des saignées (câblage secondaire)

13.5.10 Des saignées peuvent être utilisées pour l'acheminement des câbles dans les conditions suivantes :

- a) Lorsqu'on installe de nouveaux feux dans des chaussées existantes, par exemple des feux d'axe de piste, des feux de zone de toucher des roues ou des feux axiaux de voie de circulation, il peut être nécessaire de pratiquer des saignées pour poser les câbles. Seuls les circuits secondaires des transformateurs d'isolement doivent passer dans des saignées. On ne doit jamais recourir à cette technique sur une chaussée neuve, car cela réduirait la résistance de la chaussée.
- b) Des saignées sont surtout pratiquées dans les chaussées en béton, et sont généralement utilisées dans des travaux de réparation ou des installations temporaires sur des chaussées d'asphalte.

13.5.11 *Découpage des chaussées.* Pour pratiquer une saignée, la chaussée doit être entaillée avec une scie à lame diamantée. La saignée doit avoir une largeur d'au moins 10 mm et une profondeur d'au moins 20 mm (Figure 13-14). On peut augmenter cette largeur et cette profondeur s'il y a plusieurs câbles à poser dans la saignée, à l'entrée des dispositifs de balisage, des boîtiers de transformateur et des chambres d'épissures. La profondeur de la saignée peut être augmentée pour laisser du mou au niveau d'un joint de plaques que traverse la saignée. Tous les traits de saignée doivent être rectilignes à bords verticaux. Lorsque des saignées se rencontrent, les arêtes doivent être chanfreinées pour éviter d'endommager l'isolation du câble. On recueille parfois les résidus de sciage pour récupérer la poussière de diamant.

13.5.12 *Nettoyage des saignées.* Les saignées doivent être nettoyées au jet de sable pour évacuer tous les débris et corps étrangers. Le sable utilisé doit être de la grosseur et de la qualité voulues et projeté à la pression requise avec des buses bien calibrées. Juste avant la pose des câbles ou des fils, la saignée doit être rincée au jet d'eau ou de vapeur à haute pression, puis séchée avec un jet d'air puissant. La saignée doit rester propre jusqu'à la fin de l'opération.

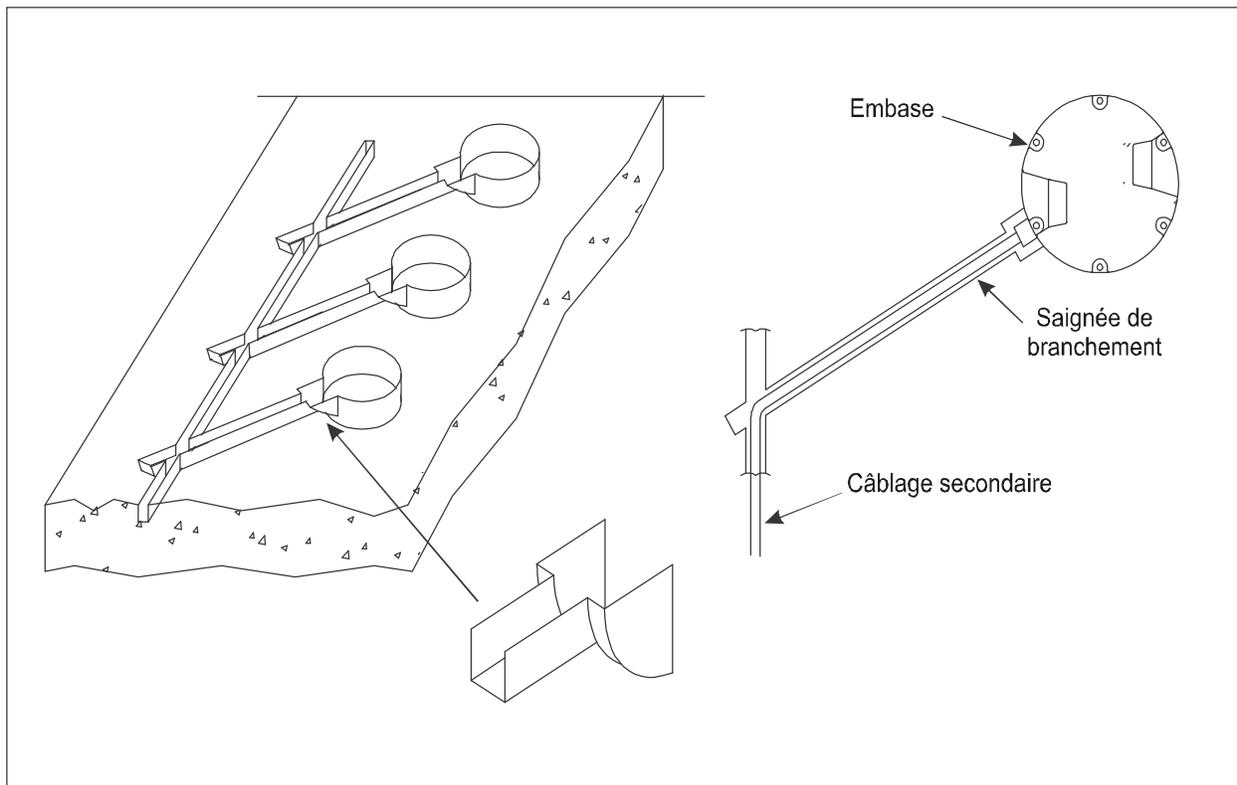


Figure 13-14. Détail des saignées faites à la scie

13.5.13 *Pose des câbles dans les saignées.* Comme ces câbles font partie du circuit secondaire des transformateurs d'isolement, une isolation à 600 V est nécessaire dans les endroits humides ou détrempés. Les types d'isolant qui conviennent sont le chlorure de polyvinyle, le polyéthylène, le caoutchouc et le caoutchouc éthylène-propylène. Il n'est pas nécessaire de recouvrir l'isolant d'une gaine. L'âme du conducteur doit être de cuivre toronné d'une section d'au moins $1,5 \text{ mm}^2$. Si la longueur totale du conducteur dépasse 350 m, sa section minimale est $6,0 \text{ mm}^2$. En général, on utilise un fil monoconducteur, mais un câble à deux conducteurs est acceptable. Une saignée ne doit pas contenir d'épissures, mais seulement une longueur d'un seul tenant. Le câble est posé au fond de la saignée et immobilisé avec des cales de caoutchouc ou de plastique, ou des agrafes métalliques insensibles à la corrosion. Si plusieurs câbles circulent dans la même saignée, il n'y a pas d'obligation de les séparer. Les cales ou les agrafes de fixation doivent être espacées d'environ 1 m, mais il est souhaitable qu'elles soient plus rapprochées près des joints des chaussées, au croisement de deux saignées, à proximité des chambres d'épissures ou des feux. Aux joints des chaussées, les câbles doivent être placés dans des gaines souples en polyéthylène ou autre matériau approprié, sur une longueur d'au moins 0,3 m. Ces gaines doivent être assez larges pour permettre le déplacement des câbles. Les extrémités de la gaine seront obturées avec du ruban adhésif pour empêcher l'entrée des produits d'étanchéité (voir Figure 13-15).

13.5.14 Une autre technique pour protéger les fils secondaires consiste à utiliser des « boudins d'appui » qui sont des tubes de mousse flexible (cordelettes) coupés à la longueur et enfoncés dans la saignée. Le boudin du dessus évite que les câbles soient complètement noyés dans le produit d'étanchéité liquide, ce qui facilite leur retrait en cas de défaut. Le boudin du dessous sert de coussin pour aider à protéger les câbles de l'abrasion. Une cordelette de nylon peut aussi faire l'affaire (Figure 13-16).

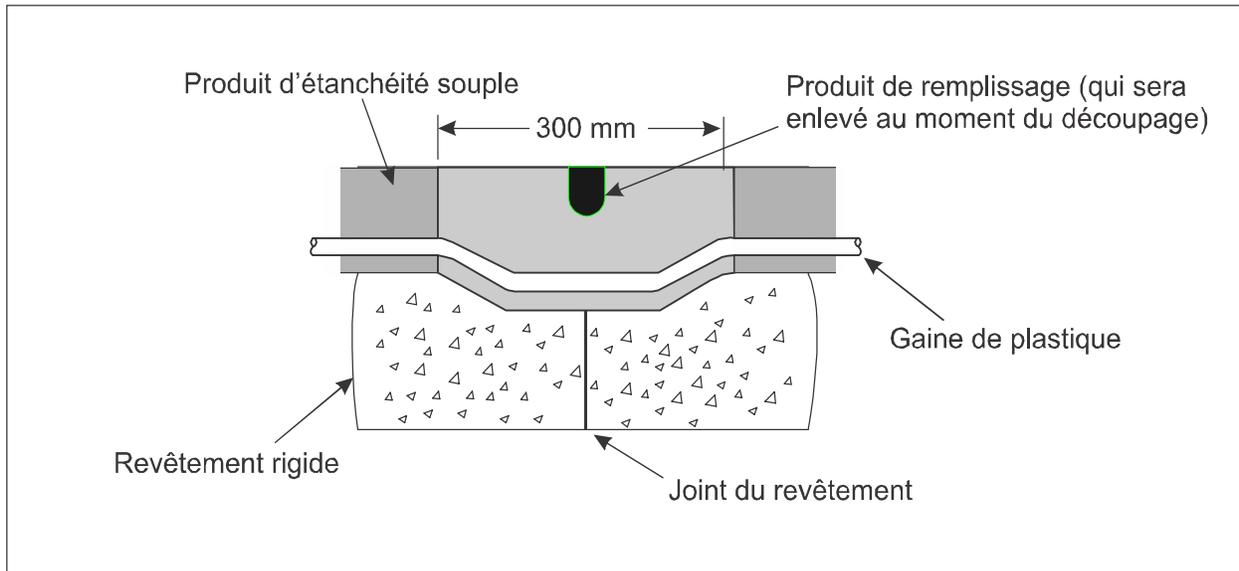


Figure 13-15. Saignée traversant un joint

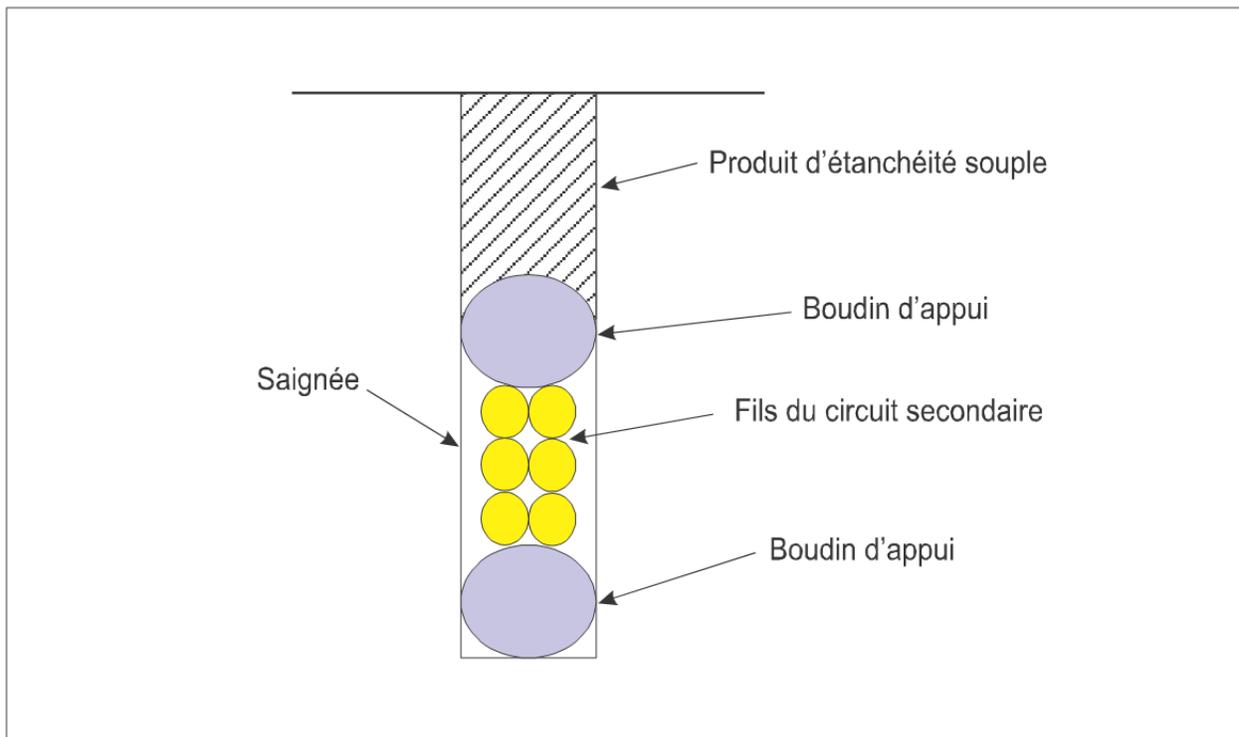


Figure 13-16. Saignée pour les fils secondaires de feux encastrés

13.5.15 *Obturation des saignées.* Une fois la pose des câbles terminée, les saignées doivent être comblées sur toute leur longueur avec un enduit adhésif approprié. Ces enduits sont généralement des colles liquides à deux composants adaptés à l'isolant du câble et au type de béton employé. Les éprouvettes de l'enduit de scellement doivent présenter un allongement minimal de 45 %. Les composants adhésifs ne doivent pas avoir dépassé l'âge recommandé par le fabricant, ni avoir été entreposés dans des endroits où la température dépasse 30 °C ou la valeur recommandée par le fabricant. Pour les mélanger et appliquer l'enduit, suivre les instructions du fabricant. En général, si on a réchauffé au préalable les composants adhésifs à la température de 25 °C avant de les mélanger et si cette température est maintenue pendant le mélange, l'enduit peut être appliqué et prend de façon satisfaisante sans qu'il soit nécessaire de le chauffer artificiellement, si la température ambiante est égale ou supérieure à 7 °C. Les joints de la chaussée, au voisinage de la saignée, doivent recevoir un bourrage de mèches de chanvre, de jute, de coton, d'étoupe, etc., pour empêcher le produit de s'écouler par l'ouverture du joint. Toute coulée ou tout excédent de cet enduit doivent être enlevés.

13.5.16 *Extrémités des câbles.* Les extrémités des câbles doivent être protégées à l'entrée des dispositifs de balisage, des boîtiers de transformateur et des chambres d'épissures. Ces entrées doivent toutes être scellées. Il faut raccorder correctement les câbles et les protéger contre l'humidité qui pourrait pénétrer par le bout de l'isolant.

13.5.17 *Pose du câblage secondaire en conduit.* Le câblage secondaire pourrait aussi être protégé par un conduit. Dans ce cas, il faut choisir un conduit de type approprié dont la dilation thermique est compatible avec celle de la chaussée.

Marquage des câbles

13.5.18 *Rubans de couleur.* Tous les câbles et leur tracé doivent être jalonnés avec des rubans de couleur pour pouvoir être facilement repérés.

13.5.19 *Identification des câbles.* Les câbles primaires de balisage doivent porter des plaquettes d'identification de circuit fixées de part et d'autre de chaque connecteur et à chaque entrée ou sortie des points d'accès au câble, comme les chambres de visite, les regards, les boîtes de tirage, les boîtes de jonction, etc. Ces plaquettes d'identification sont fixées au câble immédiatement après sa pose. Aux extrémités et aux têtes de câbles, elles doivent identifier la fonction du câble, l'installation qu'il dessert et d'autres renseignements pertinents. Les plaquettes, d'une taille et d'une épaisseur appropriées, doivent être en un matériau insensible à la corrosion et leurs inscriptions doivent être en lettres d'au moins 6 mm. Elles doivent être solidement attachées à l'aide d'une cordelette de nylon. Les inscriptions comprendront le nom de la ou des installations desservies par le câble, une lettre indiquant le type de service assuré [alimentation, téléphone, commande ou radiofréquences (coax)]. Un câble téléphonique utilisé pour des fonctions de commande devrait être identifié comme câble de commande et non comme câble téléphonique. Si deux ou plusieurs câbles identiques desservent la même installation, ils peuvent être regroupés avec la même plaquette d'identification.

13.5.20 Les plaquettes doivent être suffisamment grandes pour que la légende d'identification du circuit tienne sur une ligne. L'identification du circuit de câble doit correspondre aux codes des circuits marqués sur les plans de construction.

Numéros d'identification de feu

13.5.21 Un numéro d'identification, comme celui représenté à la Figure 13-17, doit être attribué à chaque dispositif de balisage (sur le boîtier de transformateur), conformément aux plans. Les numéros d'identification de feu peuvent être indiqués par l'une des méthodes suivantes :

- a) sur les chaussées en béton, le numéro d'identification de feu doit être appliqué au pochoir avec une hauteur d'au moins 50 mm, à la peinture noire sur le côté chaussée de la plaque de base du boîtier du transformateur ;

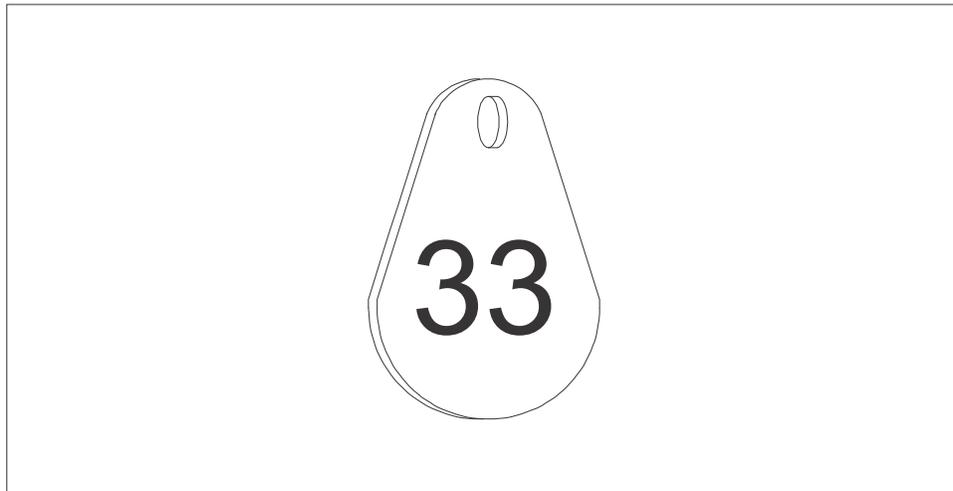


Figure 13-17. Plaquette d'identification

- b) fixer un disque de métal résistant à la corrosion, de 50 mm au moins de diamètre, portant le numéro gravé de manière permanente, sous la tête de l'un des boulons de fixation de la plaque de base du boîtier du transformateur ;
- c) inscrire le numéro en caractères de 75 mm au moins sur une partie visible du remplissage de béton autour de la plaque de base du transformateur.

Jalons de repérage du tracé des câbles

13.5.22 Le tracé des câbles directement enfouis doit être jalonné à intervalles de 60 m, à chaque changement de direction et à chaque épissure, au moyen d'un repère de béton de dimensions et d'épaisseur appropriées. Ces jalons, illustrés à la Figure 13-18, doivent être mis en place peu après le comblement de la tranchée. Ils doivent être placés à plat sur le sol, à environ 25 mm au-dessus de la surface finie. Après les avoir laissés prendre pendant 24 heures au moins, on peint la surface supérieure en orange vif (ou une autre couleur bien visible) avec une peinture pour béton extérieur frais. Chaque jalon de câble doit porter les indications ci-après à sa surface supérieure :

- a) le mot « CÂBLE » ou « ÉPISSURE ». Dans ce dernier cas, la lettre désignant le type de câble doit précéder le mot « ÉPISSURE » ;
- b) le nom de l'installation desservie ;
- c) la fonction du câble indiquée par l'un des mots « ALIMENTATION », « COMMANDE », « TÉLÉPHONE », « COAXIAL » ou par les abréviations courantes de ces termes. La désignation de tous les câbles installés doit figurer sur le jalon ;
- d) des flèches indiquant la direction ou le changement de direction du câble ;
- e) les lettres doivent avoir au moins 100 mm de haut, 70 mm de large et 10 mm de profondeur ;

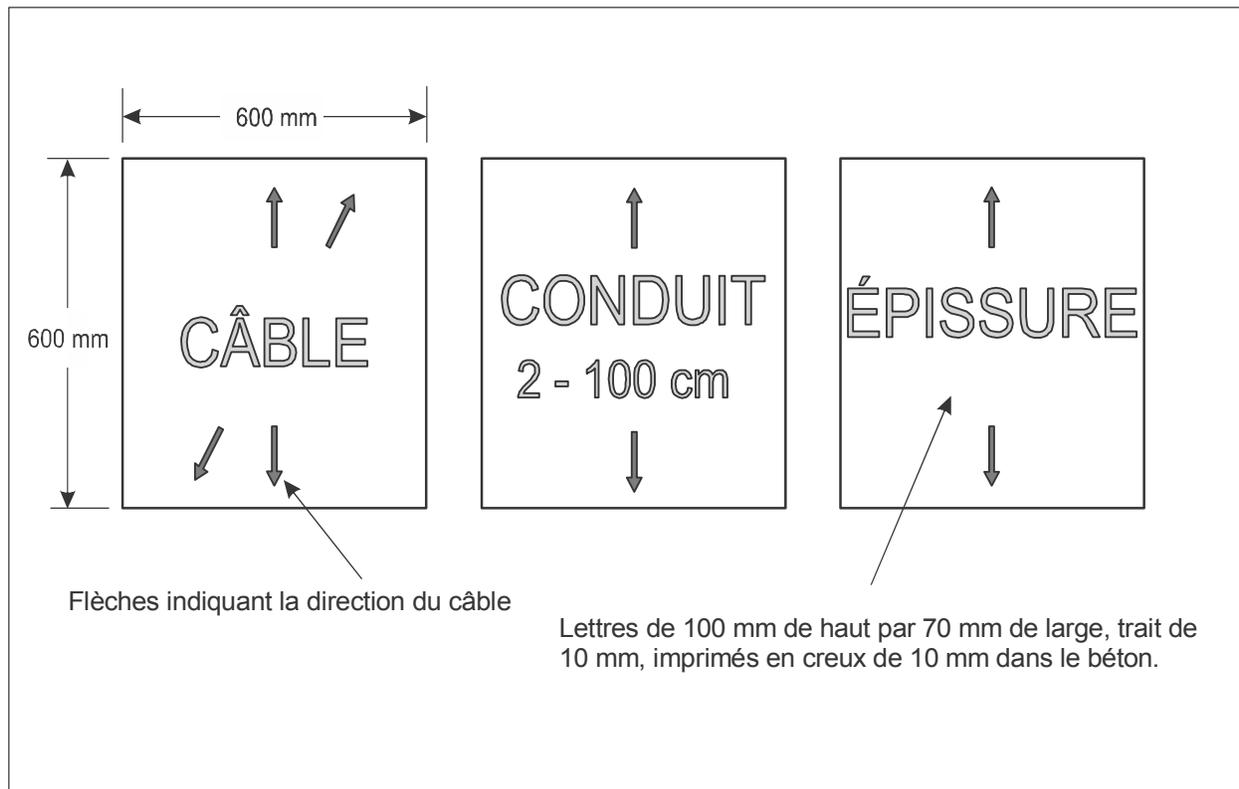


Figure 13-18. Jalons de tracé de câble

- f) pour les câbles posés dans des canalisations ou des conduits, les jalons doivent être disposés à intervalles de 60 m et à tous les changements de direction du câble, sauf sur les chaussées de béton ou d'asphalte ;
- g) les chambres de visite et regards devraient être identifiés selon leur fonction.

13.6 ENFOUISSEMENT DIRECT DES TRANSFORMATEURS AGL

Les transformateurs AGL sont généralement enfouis à la même profondeur que les câbles qui leur sont raccordés, comme le montre la Figure 13-19. La disposition des transformateurs et des câbles devrait éviter les coudes brusques et les contraintes sur les connecteurs et il devrait y avoir assez de mou sur les câbles et les conducteurs pour absorber sans risques le tassement de la terre et les déplacements dus au gel. Utiliser des connecteurs appropriés et protéger le joint extérieur avec deux ou trois tours de ruban adhésif. Éviter les épissures aux raccordements des câbles aux transformateurs.

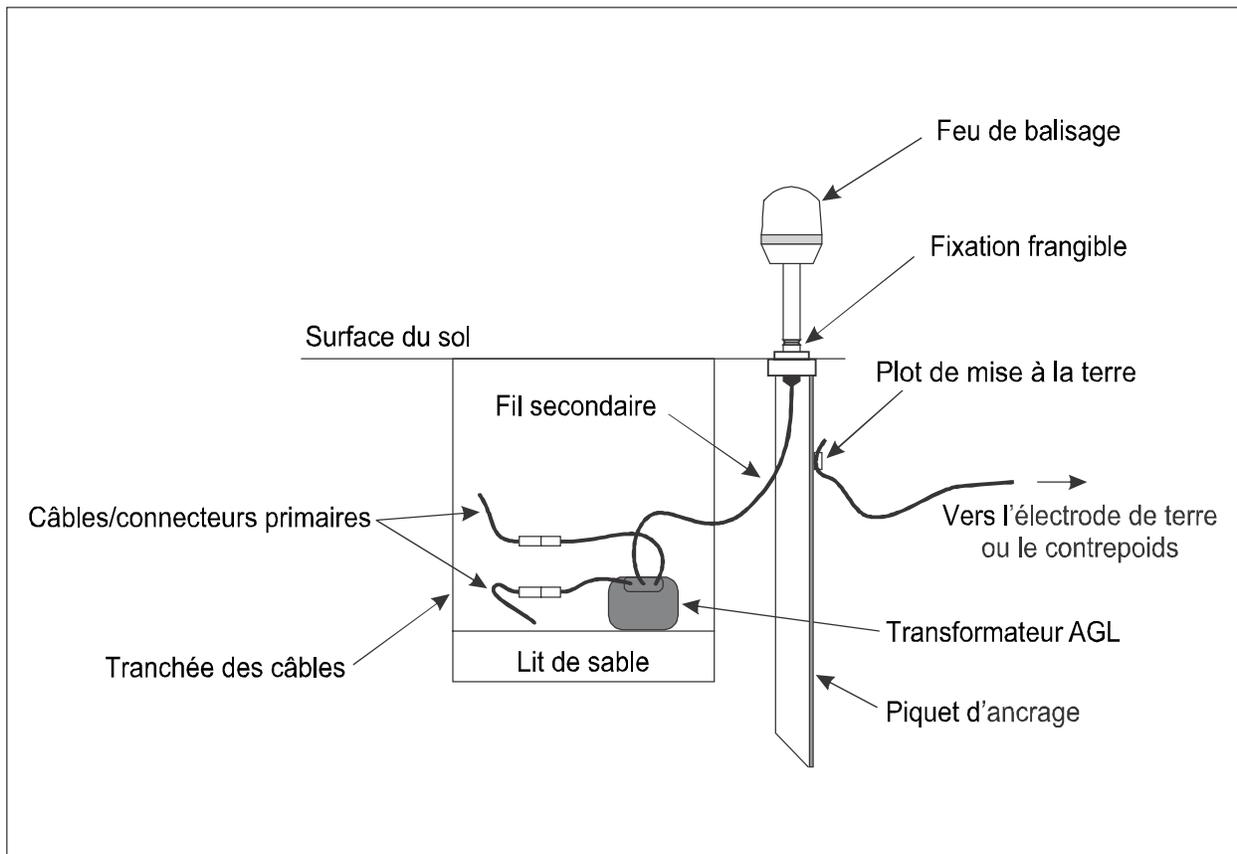


Figure 13-19. Transformateur AGL enfoui sans protection à côté d'un feu monté sur piquet

13.7 BOÎTIERS DE TRANSFORMATEUR ET EMBASES DE FEU

Installation avec boîtiers de transformateur ou embases de feu

13.7.1 Dans la plupart des cas, les raccordements des câbles au transformateur d'isolement se font dans le boîtier spécial qui contient le transformateur, dans la base du feu encastrée en bordure des pistes ou des voies de circulation avec revêtement, ou encore dans le revêtement lui-même. Ces enceintes sont de préférence installées aux endroits désignés dans une fondation de béton coulé sur une épaisseur d'au moins 10 à 15 cm au fond et sur les côtés de l'enceinte. Les conduits métalliques raccordés aux entrées de l'enceinte pour le passage des câbles du circuit doivent dépasser à l'intérieur des parois de béton. Ces conduits seront munis de colliers pour le raccordement de fils de terre ou de contrepois. Le dessus de l'enceinte doit être horizontal et à la profondeur voulue par rapport à la surface supérieure du béton pour permettre le montage du dispositif de balisage ou du couvercle. On utilise un gabarit ou un dispositif de support pour maintenir le niveau, l'alignement et la profondeur de la partie supérieure de l'enceinte pendant la coulée et la prise du béton. Les extrémités des câbles sont ensuite tirées à l'intérieur de l'enceinte et scellées autour du câble à l'extrémité de la conduite qui se trouve à l'extérieur de la fondation de béton avec un produit destiné à empêcher l'eau de pénétrer dans la cavité. Les feux hors sol, les feux semi-encastrés et les simples couvercles montés sur ces enceintes doivent être munis d'un joint ou d'un autre moyen d'assurer l'étanchéité à l'eau. La Figure 13-20 donne un exemple d'un tel montage d'un transformateur.

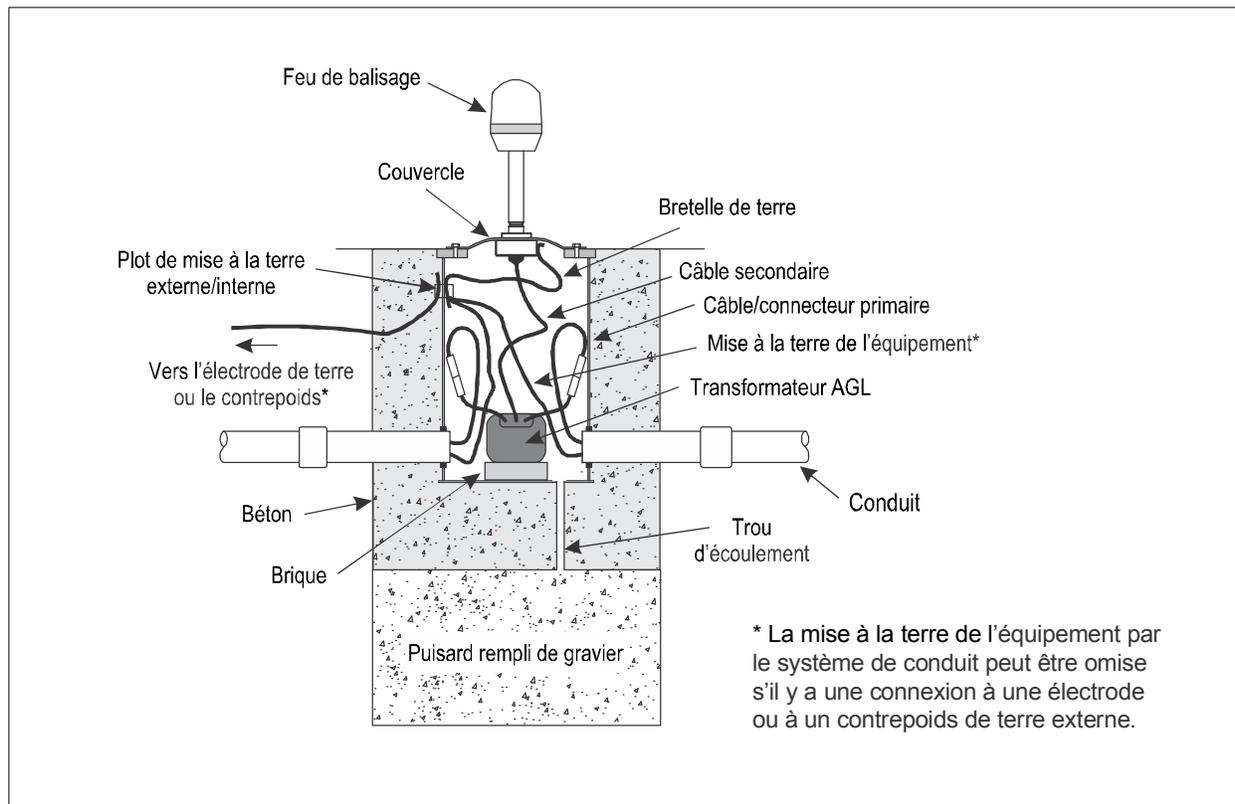


Figure 13-20. Feu de balisage monté sur un boîtier de transformateur

Pose dans une chaussée existante

13.7.2 Si les feux doivent être posés dans une chaussée existante, il peut être impossible en pratique d'installer les boîtiers des transformateurs dans des fondations de béton. Les boîtiers de transformateur sont habituellement situés en bordure de la chaussée et les câbles du circuit secondaire alimentant les feux sont alors acheminés dans des saignées pratiquées dans la chaussée. On peut installer à l'emplacement du feu un boîtier de transformateur, une boîte de jonction ou une base de feu de manière à effectuer les raccordements en forant dans la chaussée un orifice du diamètre et de la profondeur voulus. Le feu peut être monté sur un boîtier ou une enceinte de type approprié pour un montage direct dans l'orifice. Les trous du diamètre voulu sont forés dans la chaussée avec des outils diamantés. Le fond du trou destiné à recevoir une boîte de jonction ou un ensemble lumineux doit être plat ou légèrement concave, sauf à sa périphérie, qui doit être plane sur une largeur de 2,5 cm. Si les trous ont été percés trop profonds, il faut les combler avec un produit de scellement jusqu'au niveau désiré en laissant le produit durcir avant de poursuivre l'installation.

Pose du boîtier

13.7.3 Les parois et le fond du boîtier du transformateur, de la boîte de jonction ou de l'ensemble lumineux doivent être nettoyés au jet de sable immédiatement avant l'installation. Il faut aussi nettoyer au jet de sable les parois internes du trou percé dans la chaussée. Couvrir le fond et les parois de l'enceinte ou de l'ensemble lumineux, ainsi que le pourtour et le fond du trou, avec une couche de produit de scellement approprié, en quantité juste suffisante pour combler complètement l'espace entre le béton et le dispositif de balisage ou le boîtier. Le produit d'étanchéité est

habituellement une pâte à deux composants qui doivent être mélangés et appliqués selon les instructions du fabricant. On utilise un gabarit ou un support pour le montage de chaque feu ou de chaque boîtier afin de le maintenir à la hauteur et à l'alignement voulus. Le support doit être laissé en place jusqu'au durcissement du produit. Tirer les câbles à l'intérieur et les mettre en place pour les brancher ou faire une épissure, selon le cas, puis sceller l'orifice d'entrée. Retirer tout excédent du produit de scellement ou d'enrobage.

Boîtiers préfabriqués

13.7.4 Une autre solution consiste à regrouper plusieurs transformateurs AGL dans un boîtier préfabriqué placé sur le côté de la piste d'où les câblages secondaires seront acheminés aux feux dans des conduits. Cette installation de transformateurs est représentée à la Figure 13-21 montrant également que les fils de masse des équipements passent aussi dans les conduits secondaires.

Pose des transformateurs AGL dans les boîtiers

13.7.5 Lorsqu'on installe les transformateurs d'isolement dans un boîtier, il faut, si possible, les placer de manière qu'un côté plat repose au fond du boîtier. Les câbles sont raccordés aux entrées des transformateurs par des connecteurs appropriés, sans épissures, et les raccords devraient être entourés de ruban adhésif. Les connecteurs doivent être posés à plat au fond des enceintes, si possible sans coudes ni tension excessive. S'il y a des bornes de masse sur les transformateurs d'isolement, il faut les relier au fil de terre ou au contrepois. Si la température à l'intérieur des enceintes risque de dépasser 120 °C, une feuille d'aluminium placée entre le feu lui-même et le transformateur permet de réduire les effets de la chaleur sur ces derniers. Certaines pratiques locales consistent à poser les transformateurs AGL sur une brique ou à les fixer à la paroi du boîtier (sur une tablette ou à l'aide d'un crochet spécial) pour qu'ils soient à l'abri de l'eau qui peut s'accumuler dans le fond de la cavité.

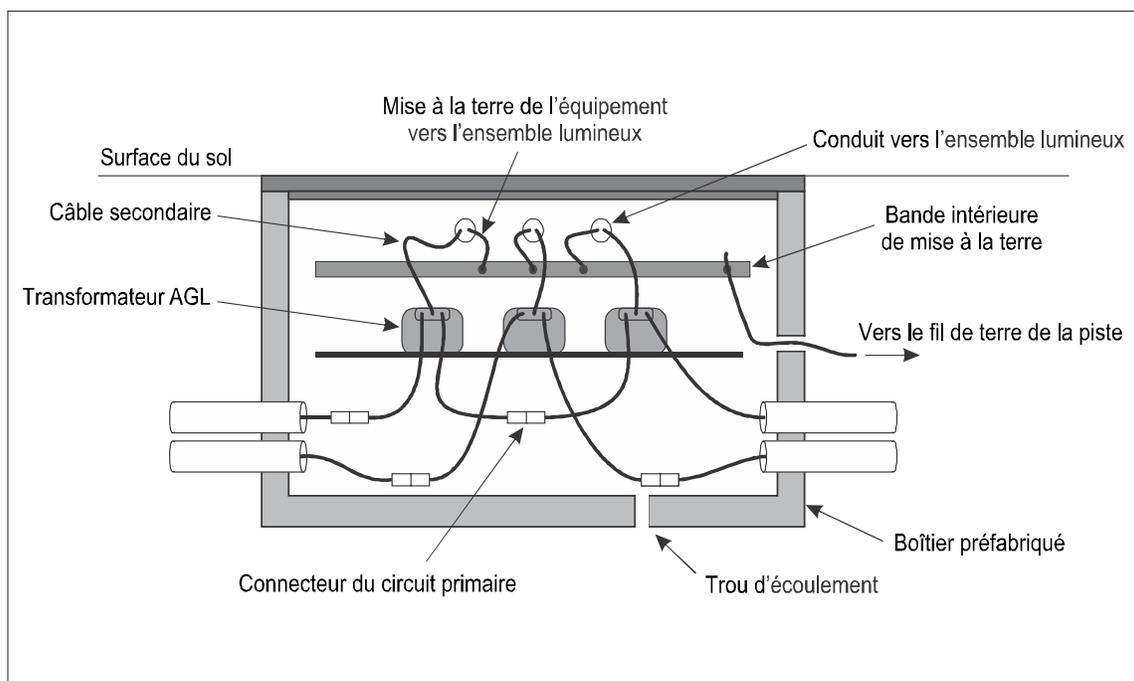


Figure 13-21. Transformateurs regroupés dans un boîtier préfabriqué

13.8 POSE D'EMBASE DE FEU PEU PROFONDE

Sur les chaussées existantes, on utilisera pour les feux encastrés une embase ou une prise peu profonde, comme le montre la Figure 13-22. L'embase est déposée dans un trou qui a été foré dans la chaussée et elle est maintenue en position par un gabarit spécial assurant une orientation précise en azimut, hauteur et niveau. L'espace restant entre l'embase et le bord du trou foré doit être comblé avec un produit d'étanchéité liquide. Le câblage secondaire relié au bloc optique est acheminé jusqu'au feu par un conduit posé dans une saignée, ou il est placé directement dans le fond de la saignée. La mise à la terre de l'équipement est prolongée jusqu'au bloc optique par un fil volant de longueur suffisante pour permettre de sortir le bloc optique de l'embase. L'équipement est généralement mis à la terre par un fil isolé identifié, d'une section de 14 mm² (4 AWG). Si un fil de contrepois est installé pour la protection contre la foudre, il n'est pas nécessaire de mettre à la terre l'équipement et le fil volant peut être directement connecté au contrepois par une borne extérieure ou intérieure.

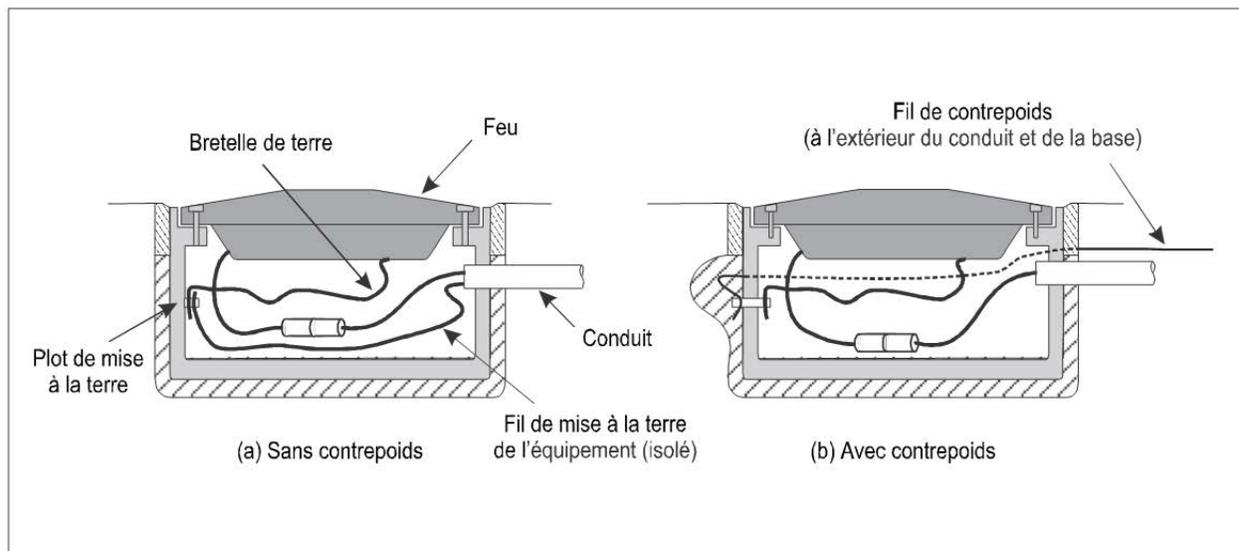


Figure 13-22. Pose d'embase de feu peu profonde

Chapitre 14

CÂBLES À UTILISER POUR LES CIRCUITS SOUTERRAINS D'AÉRODROME

14.1 CARACTÉRISTIQUES DES CÂBLES POUR CIRCUITS SOUTERRAINS

Isolement

14.1.1 Les matériaux isolants ci-après sont couramment spécifiés car ils peuvent supporter les températures nominales, de surcharge et de court-circuit des conducteurs, jusqu'à une tension maximale de 35 kV :

- a) *Polyéthylène réticulé (XLP)*. Cette matière thermodurcissable possède d'excellentes propriétés électriques, une bonne résistance chimique et de bonnes caractéristiques physiques.
- b) *Caoutchouc éthylène-propylène (EPR)*. Cette matière élastomère possède des propriétés électriques équivalentes à celles du polyéthylène réticulé. En pratique, c'est l'entrepreneur qui fera le choix entre les deux possibilités.
- c) *Élastomère thermoplastique (TPE)*. Cette matière offre une bonne isolation électrique et une excellente résistance en couche mince, ainsi qu'une bonne souplesse dans une large plage de températures.
- d) *Gaine de polyuréthane (PUR)*. Cette gaine est exempte d'halogènes et résiste bien aux produits de déglacage.

14.1.2 Les matériaux isolants ci-après peuvent être utilisés si des circonstances particulières justifient l'emploi de conducteurs ayant une moins bonne résistance à la température ou une tension maximale admissible plus basse :

- a) *Caoutchouc*. Les conducteurs isolés au caoutchouc sont faciles à raccorder et présentent une bonne résistance à l'humidité avec de faibles pertes diélectriques.
- b) *Papier imprégné*. L'emploi de câbles isolés au papier imprégné permet d'obtenir une faible ionisation, une longue durée de service, une rigidité diélectrique élevée, de faibles pertes diélectriques et de bonnes caractéristiques de stabilité en présence de variations de température. Comme la toile vernie, le papier imprégné nécessite une gaine protectrice de métal. On peut spécifier cet isolant comme option lorsque les câbles existants sont déjà isolés de cette manière, ou lorsque le coût supplémentaire qu'il entraîne se justifie parce que ni le polyéthylène réticulé ni le caoutchouc éthylène-propylène n'offre les qualités voulues.
- c) *Caoutchouc butyle*. Cet isolant thermodurcissable possède une grande résistance diélectrique et résiste très bien à l'humidité, à la chaleur et à l'ozone. On peut l'employer jusqu'à 35 kV mais la température nominale du conducteur est plus basse que celle du polyéthylène réticulé ou du caoutchouc éthylène-propylène.

- d) *Caoutchouc aux silicones*. Cet isolant thermodurcissable est très résistant à la chaleur, à l'ozone et à l'effet corona. On peut l'employer dans des endroits humides ou secs, à nu ou sous conduit. Sa température nominale du conducteur est la plus élevée, mais sa tension maximale d'utilisation est limitée à 5 kV.

14.1.3 Le Tableau 14-1 permet les conversions entre le calibre AWG et la section métrique équivalente. Les valeurs sont arrondies vers le haut (p. ex. pour un conducteur 10 AWG, dont la section correspond à 5,26 mm², l'équivalent métrique est 6 mm²).

Tableau 14-1. Conversion des numéros AWG en équivalents métriques

N° AWG	Section exacte en mm ²	Équivalent métrique (mm ²)
2	33,631	35,0
4	21,151	25,0
6	13,302	16,0
8	8,366	10,0
10	5,261	6,0
12	3,309	4,0
14	2,081	2,5
16	1,309	1,5
18	0,823	1,0
20	0,518	0,75
22	0,326	0,5

Note.— En règle générale, dans les circuits à 6,6 A, on utilise pour les circuits secondaires le calibre métrique 4 mm² ou 12 AWG. Pour les circuits primaires, on utilise le calibre métrique 10 mm² ou 8 AWG.

14.1.4 Certains États ont des codes de l'électricité qui couvrent les normes pour les installations d'aéroports.

14.2 GAINES DE CÂBLES

Gaines non métalliques

14.2.1 Les gaines non métalliques doivent être souples, hydrofuges et durables. Elles sont souvent faites de néoprène, mais il ne convient pas à de nombreux endroits, car il absorbe trop d'eau qui risque de s'infiltrer à travers l'isolant. Certains matériaux utilisés pour ces gaines, notamment dans les régions tropicales, sont endommagés par les micro-organismes, les insectes et la végétation. D'autres, qui se comportent bien sur des câbles enfouis dans le sol ou

circulant dans des conduits, se détériorent rapidement s'ils sont exposés au soleil. Les matériaux qui deviennent cassants aux basses températures ne peuvent pas être utilisés dans les régions froides. Dans certaines régions, les câbles sous gaine non métallique sont fréquemment endommagés par les rongeurs. Il faut alors les poser sous conduit ou choisir des câbles à gaine métallique.

Gaines métalliques

14.2.2 Les câbles exposés aux dommages mécaniques ou à des pressions internes élevées doivent être à gaine métallique, de plomb, d'aluminium ou d'acier. Certains isolants, comme le papier et la toile vernie, exigent ce genre de protection dans tous les cas.

14.3 ENVELOPPES DE CÂBLES

Une enveloppe ou une chemise est parfois nécessaire pour protéger la gaine métallique contre la corrosion.

14.4 CÂBLES BLINDÉS

Les câbles de distribution à moyenne tension doivent être blindés pour confiner le champ électrique à l'isolant lui-même et empêcher les courants de fuite d'atteindre la surface extérieure du câble. Un blindage de l'isolant est nécessaire sur tous les câbles à gaine non métallique de tension nominale égale ou supérieure à 2 kV, sauf sur les câbles des circuits série pour le balisage lumineux d'aérodrome ainsi que sur tous les câbles à gaine métallique de tension nominale égale à 5 kV ou plus. Les blindages doivent être à la masse pour réduire les risques d'électrocution. Les extrémités des câbles doivent être mises à la terre pour éviter l'apparition de tensions induites dangereuses.

14.5 IGNIFUGATION DES CÂBLES

14.5.1 Les câbles qui passent dans les chambres de visite, les regards et les abris de transformateurs et qui sont à une tension égale ou supérieure à 1 400 V, ainsi que les câbles exposés à des défaillances de câbles voisins fonctionnant à une telle tension, doivent être ignifugés par vaporisation d'une couche de produit protecteur. Cette précaution est inutile dans certains cas, notamment si les câbles sont matériellement séparés, protégés par des barrières ou sujets à d'autres considérations.

14.5.2 Il convient d'apporter une attention particulière aux câbles qui entrent dans la chambre de visite principale ou passent sur les chemins de câbles du poste électrique. Dans ces endroits, une défaillance d'un câble peut se propager à d'autres câbles du circuit de balisage, entraînant des réparations majeures.

14.6 PROTECTION CONTRE LES DOMMAGES DUS À L'EFFET CORONA

L'isolant des câbles haute tension peut être endommagé par l'ozone causé par l'effet corona et doit être protégé. Pour cela, une fine pellicule de matière semi-conductrice est interposée entre le conducteur et l'isolant. Cette pellicule comble les vides entre le conducteur et l'isolant, s'opposant ainsi à l'effet corona et à la production d'ozone.

14.7 CONDUCTEURS DE CÂBLES

Le cuivre recuit est utilisé pour la plupart des types de conducteurs isolés, car il possède une excellente conductivité et il est très souple et facile à travailler. Toutefois, le cuivre étiré mi-dur a une meilleure résistance à la traction que le cuivre recuit. On peut aussi utiliser des conducteurs en aluminium, sauf si la corrosion est un risque.

14.8 QUESTIONS DE SANTÉ ET D'ENVIRONNEMENT

14.8.1 Les aspects santé et environnement doivent être pris en considération dans le choix des câbles. On devrait éviter les produits contenant des halogènes et qui sont problématiques pour le recyclage, comme le chlorure de polyvinyle (PVC) et le plomb (Pb). Ces câbles devraient de préférence être remplacés par des produits plus écologiques, notamment ceux qui répondent aux normes suivantes :

- a) propagation des flammes et ignifugation (IEC 60332-3-24) ;
- b) câbles exempts d'halogène (CEI 60754-1) ;
- c) câbles non corrosifs et non toxiques (CEI 60754-2) ;
- d) câbles à faible émission de fumée et faible opacité (CEI 61034).

14.8.2 Les concepteurs et les acheteurs de câbles devraient être familiers avec la *Directive relative à la limitation de l'utilisation de certaines substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques* (RoHS, 2002/95/CE) qui limite l'utilisation de matières dangereuses dans l'équipement électrique. Il faut également tenir compte de la *Directive relative aux déchets d'équipements électriques et électroniques* (DEEE, 2002/96/CE) qui porte sur les cibles de collecte, de recyclage et de récupération de produits électriques dans le cadre d'une initiative de législation visant à résoudre le problème de l'accumulation de quantités considérables de déchets électroniques toxiques.

14.9 CATÉGORIES DE SERVICE

Câbles basse tension

14.9.1 On utilise des câbles basse tension — isolant à tension nominale inférieure ou égale à 600 V — pour brancher les secondaires des transformateurs d'isolement série/série aux lampes des dispositifs de balisage, pour les circuits de distribution basse tension et pour les circuits basse tension alimentant des éléments isolés et des circuits de faible longueur. Les conducteurs sont généralement en cuivre mais parfois en aluminium et les câbles utilisés sont à un seul ou à plusieurs conducteurs. On utilise des conducteurs pleins ou toronnés, ces derniers étant préférables si le câble est appelé à subir de fréquents efforts de flexion. La section du conducteur peut varier entre 2,5 mm² et 4 mm² (14 AWG et 12 AWG), ou même plus s'il est nécessaire de réduire la chute de tension.

14.9.2 Les câbles secondaires à deux conducteurs sont codés avec des couleurs dépendant des pratiques de l'État. En Europe, le conducteur de neutre est brun, le conducteur de phase est bleu. En Amérique du Nord, le conducteur de neutre est blanc et le conducteur de phase est noir. Le conducteur marqué devrait être relié à la broche la plus grosse du connecteur secondaire et à la partie creuse (culot à vis ou à précentrage) de la douille (voir Figure 14-1).

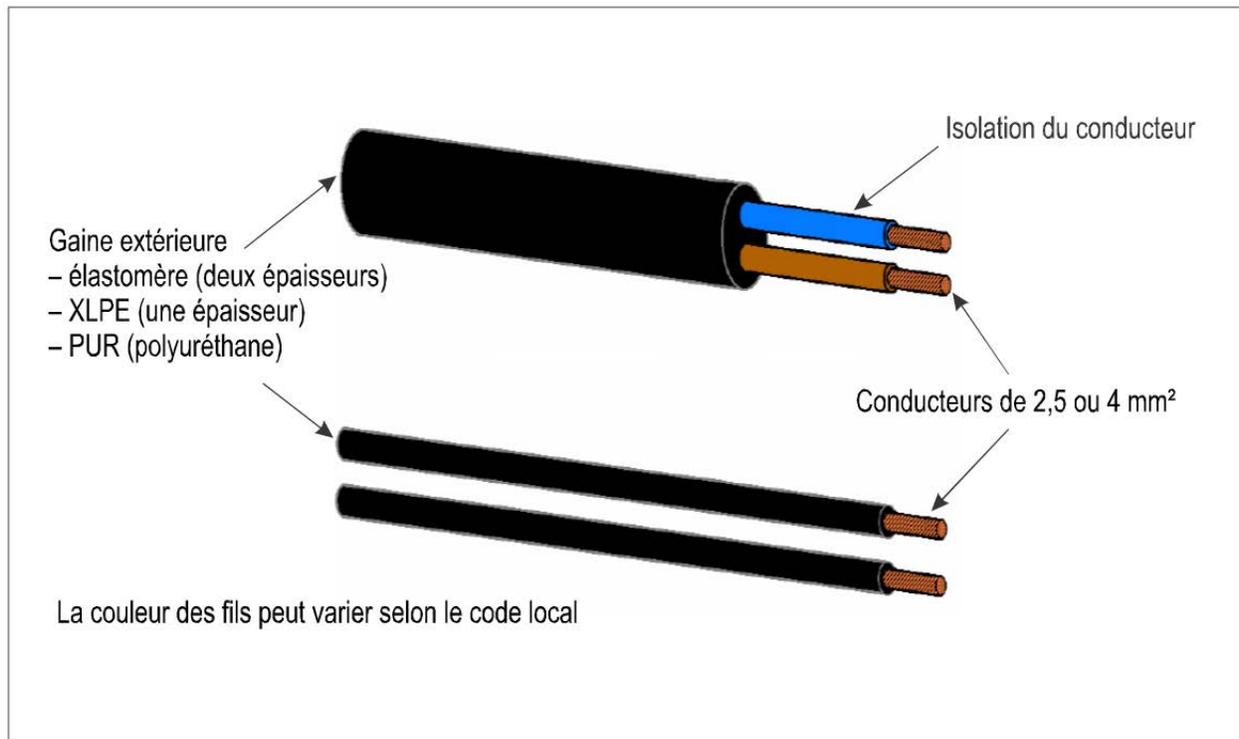


Figure 14-1. Câble secondaire

Câbles pour circuits série de balisage lumineux d'aérodrome

14.9.3 Les câbles pour circuits série sont à un seul conducteur et servent à former la boucle primaire et les câbles d'alimentation avec retour au poste électrique. Le courant qui circule dans ces circuits est soit 6,6 A ou 20 A. La section de conducteur couramment utilisée est 10 mm² (8 AWG) ou 16 mm² (6 AWG). Le conducteur est normalement toronné, mais on peut aussi utiliser des conducteurs à âme pleine. Le plus souvent, l'isolant est prévu pour une tension nominale de 5 000 V et il est protégé par une gaine non métallique par-dessus l'isolation. Un blindage fait d'un ruban métallique est souvent utilisé entre la gaine et l'enveloppe non métallique extérieure, mais ce n'est pas nécessaire dans certaines installations. Le type de câble recommandé est constitué d'un conducteur de cuivre toronné, isolé au polyéthylène réticulé, au caoutchouc éthylène-propylène ou au caoutchouc butyle-néoprène, la gaine étant en polyéthylène chloro-sulfoné, en chlorure de polyvinyle, en polyéthylène ou en néoprène renforcé — le blindage est un ruban métallique.

14.9.4 Les tensions sont généralement dans la gamme 600 à 3 030 V pour les régulateurs à courant constant jusqu'à 20 kVA fournissant une sortie de 6,6 A. Les tensions peuvent être plus élevées pour les gros régulateurs, par exemple 4 545 V pour un régulateur de 30 kVA fonctionnant à 6,6 A. Cependant, il est recommandé de ne pas dépasser 20 kVA pour un régulateur et d'installer plus d'un circuit pour répartir la charge de balisage.

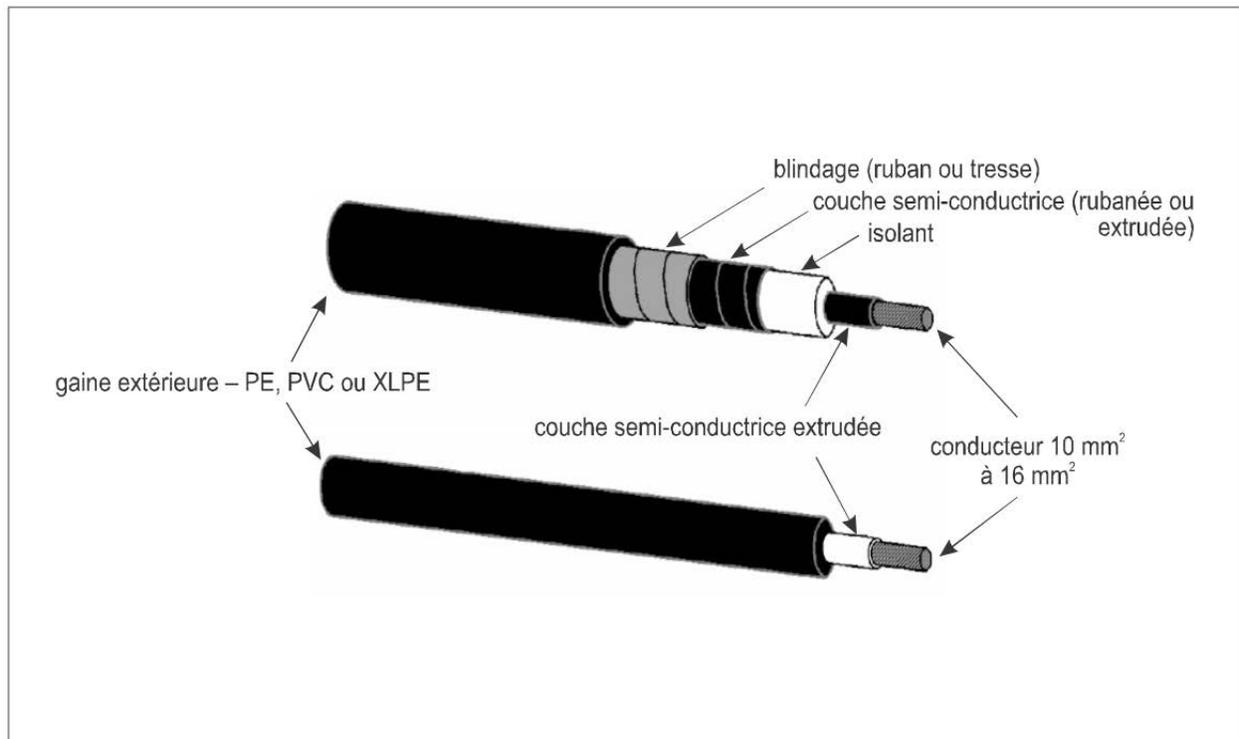


Figure 14-2. Câble primaire

Câbles de commande

14.9.5 Les câbles de commande sont des câbles basse tension, généralement à paires ou à conducteurs multiples. Certains circuits de commande simples peuvent utiliser un groupe de câbles monoconducteurs. Certains câbles de commande comportent un ou deux conducteurs de plus forte section pour la phase et/ou le neutre, et plusieurs conducteurs de plus petite section pour les divers circuits de commande. On peut aussi utiliser une paire de conducteurs plus gros pour la phase et le neutre et d'autres câbles comportant un grand nombre de conducteurs de plus petite section pour les circuits de commande. On utilise couramment des câbles de commande à 7, 12, 16 conducteurs ou davantage. La plupart des câbles contiennent des conducteurs de cuivre toronnés. La section des conducteurs est choisie pour maintenir une chute de tension acceptable. La section est généralement comprise entre 2,5 mm² et 0,5 mm² (12 et 22 AWG). La résistance nominale d'isolement doit être adaptée à la tension de commande, qui ne dépasse généralement pas 250 V. Les câbles de commande sont isolés au caoutchouc, au polyéthylène, au chlorure de polyvinyle, à la toile vernie, au papier, etc. Il est souhaitable que l'isolant soit aussi mince que possible pour réduire le diamètre du câble. Pour les circuits de commande en courant alternatif, il est souhaitable d'employer des conducteurs en paires torsadées ou enroulées en hélice pour réduire la tension entre les circuits. Les câbles multiconducteurs doivent avoir une gaine extérieure et peuvent être blindés par un ruban métallique.

Câbles de communications

14.9.6 Des circuits spéciaux d'intercommunication ou de téléphone doivent être installés pour permettre les communications entre la tour de contrôle, les postes de balisage et les bureaux ou les centres d'opérations. Ces circuits utilisent souvent des câbles téléphoniques à une ou plusieurs paires torsadées. Ces câbles doivent pouvoir être posés

sous terre. Dans certains cas, on peut utiliser des câbles de commande pour les communications, mais il est préférable d'employer des câbles distincts dans des conduits distincts ou bien séparés à l'intérieur de la tranchée, s'ils sont enfouis directement.

14.10 FILS DE TERRE

Un fil de terre ou un contrepoids devrait être mis en place pour protéger les câbles souterrains d'alimentation et de commande contre les fortes sautes de courant de terre dans les zones où ces câbles risquent d'être endommagés par la foudre. Le fil de terre est posé entre la surface du sol et les câbles souterrains. Il s'agit habituellement d'un conducteur de cuivre torsadé non isolé, bien que certains États préconisent l'emploi de rubans d'acier. La section de ce fil de terre ne doit pas être inférieure à celle du plus gros conducteur qu'il protège. Cette section peut s'étager entre 10 mm² et 25 mm² (8 et 4 AWG) ou même plus. Il faut utiliser un conducteur continu, raccordé à chaque feu, embase de feu, piquet ou prise de terre le long de son tracé.

14.11 CAUSES DE DOMMAGES AUX CÂBLES

14.11.1 Les pannes des circuits de balisage lumineux d'aérodrome sont souvent dues à des défaillances de câbles dont la détection et la réparation demandent beaucoup de temps et d'efforts. L'emploi de méthodes efficaces pour réduire la fréquence des défauts des câbles permet d'augmenter la fiabilité du système. Mieux connaître les causes de dommages aux câbles aide à choisir les types de câbles et les méthodes d'installation.

Causes mécaniques

14.11.2 Dans la majorité des cas, les défauts des câbles ont des causes mécaniques. Des techniques de pose inappropriées sont probablement la cause la plus courante de dommages mécaniques, mais les câbles peuvent aussi être endommagés de bien d'autres façons (mouvements du sol sous l'effet du gel, vibrations provoquées par le passage des aéronefs et des véhicules, attaques par les rongeurs, déplacements ou tassements du terrain, etc.). Les dommages mécaniques se présentent de différentes façons, parmi lesquelles :

- a) entailles et éraflures de l'isolant ;
- b) contraintes excessives exercées sur le câble pendant le tirage dans les conduits ou le déroulement du touret pour l'enfouissement direct dans le sol ;
- c) pierres ou corps étrangers dans le lit ou le remblai des tranchées ;
- d) manque de mou du câble à l'entrée ou à l'intérieur des chambres de visite, des regards, des embases de feux, des conduits, des ensembles lumineux, des raccordements à l'équipement, des prises, des épissures le long des tranchées ou des conduits, ou en d'autres points où les contraintes peuvent être accrues par le tassement du sol, les travaux d'entretien ou les intempéries ;
- e) entailles dans le conducteur au niveau des épissures ou des joints de connecteurs, qui peuvent créer des amorces de rupture du conducteur ;
- f) espacement insuffisant des câbles dans les tranchées (dans le sens vertical ou horizontal), aux boucles de reprise du câble ou en des points où le tassement de la terre ou l'effet du gel peut amener deux câbles en contact direct ;

- g) effets du gel amenant le câble au contact de la glace, de la terre gelée ou d'autres objets ou matériaux durs ; en pareil cas, il faut prévoir un bon matelassage et donner du mou au câble pour réduire les contraintes ;
- h) câbles mal supportés dans les chambres de visite ou en d'autres endroits dans lesquels un fléchissement ou un déplacement du câble peut faire subir à celui-ci des pressions exercées par des objets ou des personnes ;
- i) fatigue du conducteur ou de la gaine et de l'isolant sous l'effet des vibrations provoquées par la circulation au-dessus du câble ou par le fonctionnement de l'équipement relié au câble ou situé à proximité ; si ces conditions existent ou risquent de se produire, les câbles doivent être posés dans des conduits qui se prolongent bien au-delà de la zone des vibrations ;
- j) rupture ou déboîtement de conduits ou de canalisations de nature à causer la rupture du câble ; les conduits et les canalisations doivent être correctement assemblés et des précautions doivent être prises lors du remblayage et du compactage.

Infiltrations d'eau

14.11.3 Les infiltrations d'eau jusqu'au conducteur à travers la gaine et l'isolant causent des défauts à la terre. Il peut y avoir infiltration ou fuite aux épissures, aux raccords, aux bouts des câbles, aux endroits endommagés, aux points où l'isolement est affaibli par des piqûres dues à la foudre, aux surtensions ou à d'autres défauts.

14.11.4 Les épissures mal faites et les boîtes de jonction mal installées sont des causes fréquentes d'infiltrations d'eau. (Voir la section 14.12 pour des instructions sur la manière de procéder pour faire des épissures et pour le montage des connecteurs.)

14.11.5 Pour éviter la pénétration d'eau par les bouts des câbles, il faut veiller à ce qu'ils soient propres et secs avant comme après le branchement des équipements. Les bouts des câbles en réserve doivent être protégés avec le même soin. Certains types d'isolants, notamment le papier et les produits minéraux, peuvent absorber l'humidité atmosphérique quand elle est très élevée. Les extrémités des câbles munis de ce genre d'isolement doivent être scellées de manière permanente, même après le branchement de l'équipement.

14.11.6 Soit parce qu'ils sont défectueux, soit en raison de leur composition, certains isolants permettent des infiltrations d'eau excessives. Des essais de qualité de la résistance d'isolement devraient permettre de déceler ce défaut. Selon certains, les câbles à gaine de néoprène ne sont pas assez imperméables à l'eau, mais, selon d'autres, ce type de câble se comporte très bien. Avant de faire l'acquisition d'un type de câble, il faut étudier comment se comportent dans d'autres installations des câbles du même type, de préférence en provenance du même fabricant.

14.11.7 La foudre peut causer de graves dommages aux câbles ou créer des tensions induites suffisantes pour endommager l'isolant par piqûres. Les piqûres se produisent le plus souvent aux points où des câbles se croisent ou lorsqu'un câble passe à proximité immédiate de conducteurs métalliques ou entre en contact avec eux. Des fils de terre ou des contrepoids bien installés permettent de réduire les dommages causés par la foudre.

14.11.8 Un câble peut être soumis à de fortes surtensions, accidentellement ou à la suite d'une fausse manœuvre. Les dommages infligés au câble peuvent ne pas être immédiatement visibles.

14.11.9 La conception de l'installation doit prévoir des circuits d'écoulement de l'eau dans les conduits et dans les chambres de visite pour éviter toute submersion prolongée des câbles et des connecteurs.

Produits chimiques

14.11.10 Les câbles de balisage d'aérodrome sont souvent posés dans des secteurs exposés régulièrement ou occasionnellement à du carburant, de l'huile, des acides et d'autres produits chimiques. Ces produits peuvent attaquer l'isolement de certains types de câbles. Il faut tenir compte de ces considérations dans le choix d'un type de câble approprié.

Rongeurs

14.11.11 Dans certaines régions, les câbles directement enfouis peuvent être endommagés par des rongeurs, qui s'attaquent à l'isolant. Il semble qu'ils soient attirés par la chaleur ou par le goût de l'isolant. Si les rongeurs représentent un problème potentiel, il est recommandé de poser les câbles dans des conduits ou d'utiliser des câbles à armure métallique, en particulier pour protéger les circuits secondaires.

Micro-organismes et végétation

14.11.12 Certains types de câbles peuvent être endommagés par des micro-organismes ou par la végétation, notamment dans les régions tropicales et subtropicales. Il faut étudier l'historique de cet aspect lorsqu'on doit choisir un type de câble résistant aux micro-organismes et à la végétation.

Ozone et effet corona

14.11.13 Certains isolants de câbles sont endommagés par l'ozone et, par conséquent, par l'effet corona produit par le circuit ou les circuits voisins. Il existe des isolants qui résistent de manière satisfaisante à ces effets. On choisira des câbles possédant ces qualités pour les circuits ayant des tensions élevées ou pouvant être exposés à d'autres sources d'ozone ou d'effet corona. Dans certains pays, on utilisait précédemment des câbles qui n'étaient pas protégés contre l'effet corona pour les réseaux série des feux de piste et d'approche, car on pensait que ces circuits ne fonctionnaient à pleine intensité que pendant un nombre relativement restreint d'heures par année. Ces câbles, pensait-on, n'étaient soumis à une haute tension que pendant une faible fraction de leur temps de service. Cette solution a été abandonnée car, d'une part, elle ne permet qu'une faible économie de coût et, d'autre part, une partie du câble peut être utilisée dans des circuits de distribution d'énergie et se trouve en permanence exposée à des contraintes de haute tension.

Rayons ultraviolets

14.11.14 Certains isolants de câbles, qui se comportent bien dans les installations souterraines, peuvent devenir cassants et se dégrader rapidement lorsqu'ils sont exposés au soleil sur des supports hors sol, par exemple sur les pylônes des feux d'approche. Pour des installations de ce genre, il faut choisir des câbles dont l'isolant résiste aux rayons ultraviolets ou poser le câble dans un conduit métallique.

Vieillessement des câbles

14.11.15 La plupart des isolants de câbles se dégradent lentement avec le temps. La durée de vie des câbles souterrains devrait être limitée entre 10 et 20 ans.

14.12 RACCORDEMENTS DES CÂBLES

Note.— Les épissures ne devraient pas se faire dans les conduits. Elles sont permises dans les chambres de visite et les regards.

Épissures

14.12.1 Les épissures doivent être faites par des spécialistes expérimentés et qualifiés respectant les meilleures pratiques de travail. Les méthodes et les matériaux utilisés pour les épissures doivent être conformes aux recommandations du fabricant des produits pour le type de câble. La liste ci-après donne les critères que doivent respecter toutes les épissures de câble.

14.12.2 *Câbles d'alimentation isolés pour plus de 5 000 V.* Utiliser des trousse d'épissures spécifiées pour le type de câble. À défaut, on peut faire des épissures avec du ruban isolant, comme l'explique le § 14.12.6. Ne jamais utiliser de l'époxy ou d'autres résines pour faire des épissures.

14.12.3 *Câbles d'alimentation isolés pour 600 à 5 000 V.* Utiliser des trousse d'épissures offrant des manchons pour l'injection de résine époxy sous pression ou pour des épissures moulées conçues pour le type de câble, en respectant strictement les instructions du fabricant. À la rigueur, les épissures peuvent être faites avec du ruban isolant.

14.12.4 *Câbles d'alimentation isolés pour 600 V ou moins.* Utiliser des trousse pour épissures moulées ou des manchons pour l'injection de résine époxy pour tous les câbles directement enfouis. On peut également effectuer des épissures sous ruban isolant en les recouvrant d'un manchon préétiré ou thermorétractable.

14.12.5 *Câbles de commande et câbles téléphoniques.* Pour les épissures sur les câbles à isolation thermoplastique non pressurisés, il existe un type d'enveloppe à bourrage réutilisable. Pour les câbles pressurisés existants qui sont gainés de plomb ou isolés au papier imprégné, les épissures doivent être conformes aux prescriptions de l'autorité compétente.

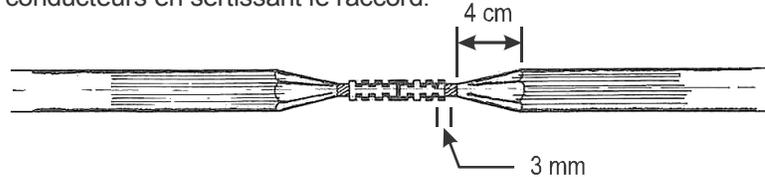
Épissures au ruban isolant

14.12.6 Les épissures au ruban isolant doivent être réservées aux cas où il n'est pas possible de se procurer des jeux de connecteurs ou des trousse d'épissures spéciales. Pour ces épissures, une technique appropriée est impérative pour obtenir des résultats satisfaisants. Cette technique est décrite ci-après pour un câble monoconducteur, mais s'applique également aux épissures d'un câble multiconducteur.

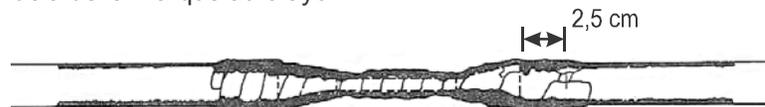
14.12.7 Les extrémités des câbles à raccorder doivent être propres et protégées à tout moment de l'humidité.

14.12.8 Comme le montre la Figure 14-3, l'enveloppe, la gaine extérieure, le blindage métallique, la gaine intérieure et l'isolant doivent être soigneusement taillés en biseau et dénudés. Retirer toute trace d'isolant des conducteurs sur une longueur d'environ 3 mm plus la moitié de la longueur du connecteur à sertir en prenant soin de ne pas entailler l'âme du conducteur. Retirer l'isolant en biseau sur au moins 4 cm du conducteur. Retirer l'enveloppe, le blindage métallique, la gaine, etc., sur 2 cm de plus de la couche isolante. Ce décalage des parties dénudées devrait empêcher l'infiltration d'eau le long du ruban isolant. Le blindage métallique doit être conservé intact pour être reconstitué sur toute la longueur de l'épissure. De même, la gaine non métallique doit être dénudée sur 2 cm ou plus. Repousser l'armure d'acier ou de métal ou autre forme de recouvrement métallique en les laissant sur le conducteur pour les reconnecter ensuite par-dessus l'épissure.

1. Dénuder les câbles sur 3 mm plus la moitié de la longueur du connecteur.
2. Marquer l'isolant au crayon à 4 cm.
3. Assembler les conducteurs en sertissant le raccord.



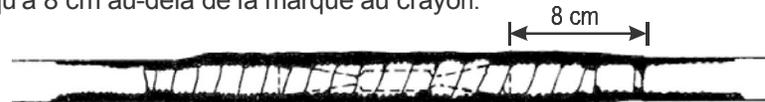
4. Nettoyer avec du chlorothène ou de l'alcool isopropylique la surface de l'isolant à recouvrir ; laisser complètement sécher.
5. Poser une couche de ruban isolant en étirant fortement ce dernier (ce type de ruban peut être étiré à plus de 600 % avant la rupture) ; maintenir un chevauchement d'une demi-largeur de ruban jusqu'à 2,5 cm au-delà de la marque au crayon.



6. Continuer l'enroulement jusqu'au diamètre extérieur d'origine du câble en maintenant toujours un chevauchement d'une demi-largeur de ruban avec un espacement régulier.



7. Poser 2 couches supplémentaires de ruban isolant, toujours avec un chevauchement d'une demi-largeur jusqu'à 8 cm au-delà de la marque au crayon.



8. Poser 4 couches de ruban avec un chevauchement d'une demi-largeur jusqu'à 13 cm au-delà de l'épissure.



**Figure 14-3. Épissure au ruban isolant — méthode générique
(suivre les instructions du fabricant)**

14.12.9 Raccorder les extrémités des conducteurs avec un connecteur à sertir. Utiliser l'outil approprié pour faire une sertissure complète avant de retirer l'outil. Le connecteur peut aussi être soudé sur le conducteur.

14.12.10 Utiliser du ruban d'électricien en caoutchouc naturel ou synthétique de bonne qualité. Enrouler une épaisseur à la fois en maintenant une tension suffisante pour allonger le ruban de 25 % environ et appliquer chaque tour avec un recouvrement de 50 % de sa largeur. Chaque couche de ruban doit se prolonger plus loin que la précédente sur l'installation. Continuer à superposer des couches de ruban jusqu'à reconstituer l'épaisseur de la couche isolante.

14.12.11 S'il y a un ruban de blindage sur l'isolation, raccorder les extrémités du ruban qui auront été gardées intactes, soit par soudage, soit à l'aide d'un connecteur approprié. Ajouter au besoin du ruban métallique supplémentaire d'un type analogue.

14.12.12 Continuer à enrouler le ruban de caoutchouc comme décrit au § 14.12.10 jusqu'à au moins une fois et demie le diamètre du câble. Le ruban doit être maintenu soigneusement tendu pour éviter les poches d'air et pour assurer une bonne adhérence sur les surfaces du câble et sur chaque couche précédente de ruban.

14.12.13 Sur le ruban de caoutchouc enroulé, ajouter plusieurs épaisseurs de ruban ignifuge à haute résistance d'isolement, résistant au froid et aux intempéries. Enrouler le ruban isolant avec une tension soutenue sur la surface et toujours avec un recouvrement de 50 % de sa largeur. Le ruban de plastique doit recouvrir sur 3 cm ou plus la surface d'isolation de la gaine, de chaque côté de l'épissure.

14.12.14 Si le câble comporte une armure d'acier ou une autre forme de recouvrement métallique, placer une longueur de tresse de masse en travers de l'épissure en la fixant à l'armure du câble par des pinces et/ou une soudure de chaque côté de l'épissure [voir Figure 14-4 (a)]. S'il s'agit d'un câble sous gaine de plomb, faire un joint essuyé (aussi appelé joint en forme d'olive) par-dessus l'épissure pour assurer l'étanchéité de la gaine de plomb recouvrant le câble. Si le revêtement métallique est protégé de la corrosion par un enduit, refaire le recouvrement avec un produit similaire sur toute la zone de travail du câble, y compris l'épissure.

14.12.15 Les épissures de la meilleure qualité se font à l'aide de troussees spéciales, disponibles dans le commerce, qui contiennent les connecteurs bout à bout et des composés époxy d'enrobage. Un tel joint sera étanche à l'eau et mécaniquement résistant. Les câbles armés sont difficiles à épissurer si l'on veut conserver la résistance mécanique ; il est alors préférable de créer une liaison mécanique qui serre énergiquement l'armure.

14.13 JEUX DE CONNECTEURS POUR LE BALISAGE LUMINEUX D'AÉRODROME

14.13.1 *Utilisation des jeux de connecteurs.* Depuis quelques années, la plupart des connexions des circuits série sont faites au moyen de jeux de connecteurs. Ces accessoires coûtent assez cher, mais il est rentable de les utiliser parce qu'ils permettent de gagner du temps à l'installation et qu'il est possible de les déconnecter et de les reconnecter, facilitant ainsi l'accès aux circuits pour repérer les défauts. Comme la plupart des transformateurs d'isolement sortent maintenant d'usine avec des fils à connecteurs, il est logique que les câbles en soient également munis, ce qui facilite le branchement et le débranchement du circuit série et des feux. Les Figures 14-5 et 14-6 représentent respectivement les modèles de connecteurs pour le circuit primaire et de connecteurs pour le circuit secondaire.

Pose des connecteurs

14.13.2 Les extrémités du câble doivent être soigneusement préparées selon les instructions, puis conservées propres et sèches, ainsi que les surfaces du connecteur. Tous les vides entre le câble et l'intérieur du connecteur doivent être remplis d'un gel spécial. Une fois les connecteurs raccordés, il faut s'assurer qu'il n'y a pas d'air emprisonné qui pourrait tendre à écarter les deux parties du connecteur. Il est recommandé d'entourer le joint d'un ruban isolant de vinyle à la fois pour le maintenir propre et pour empêcher le raccord de se défaire.

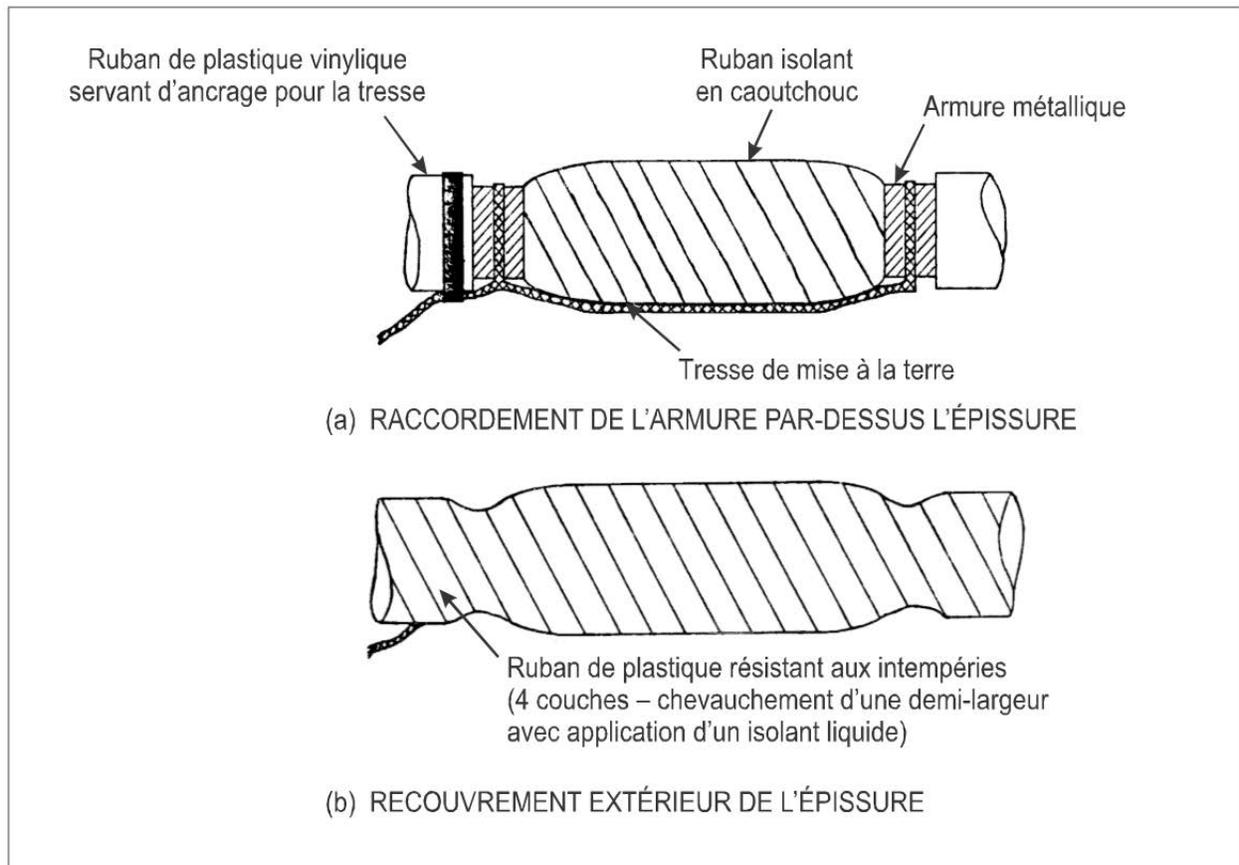


Figure 14-4. Épissure au ruban isolant d'un câble à armure métallique

14.13.3 La Figure 14-7 illustre l'utilisation des connecteurs primaires et des épissures. Bien que la méthode modifiée (b) soit plus coûteuse en termes de main-d'œuvre de pose, elle est recommandée car elle permet une réduction des coûts de maintenance. L'utilisation de connecteurs moulés en usine et d'épissures est préférable à la méthode standard consistant à utiliser des connecteurs assemblés sur place, comme dans la méthode (a).

14.14 RACCORDEMENT DES CONDUCTEURS

Conducteurs d'alimentation

14.14.1 Les conducteurs des câbles devraient être raccordés avec des connecteurs sertis posés à l'aide d'un outil spécial conçu pour ne pas pouvoir être retiré avant le sertissage complet. Pour les circuits basse tension (maximum 600 V), on peut utiliser des connecteurs à broche fendue.

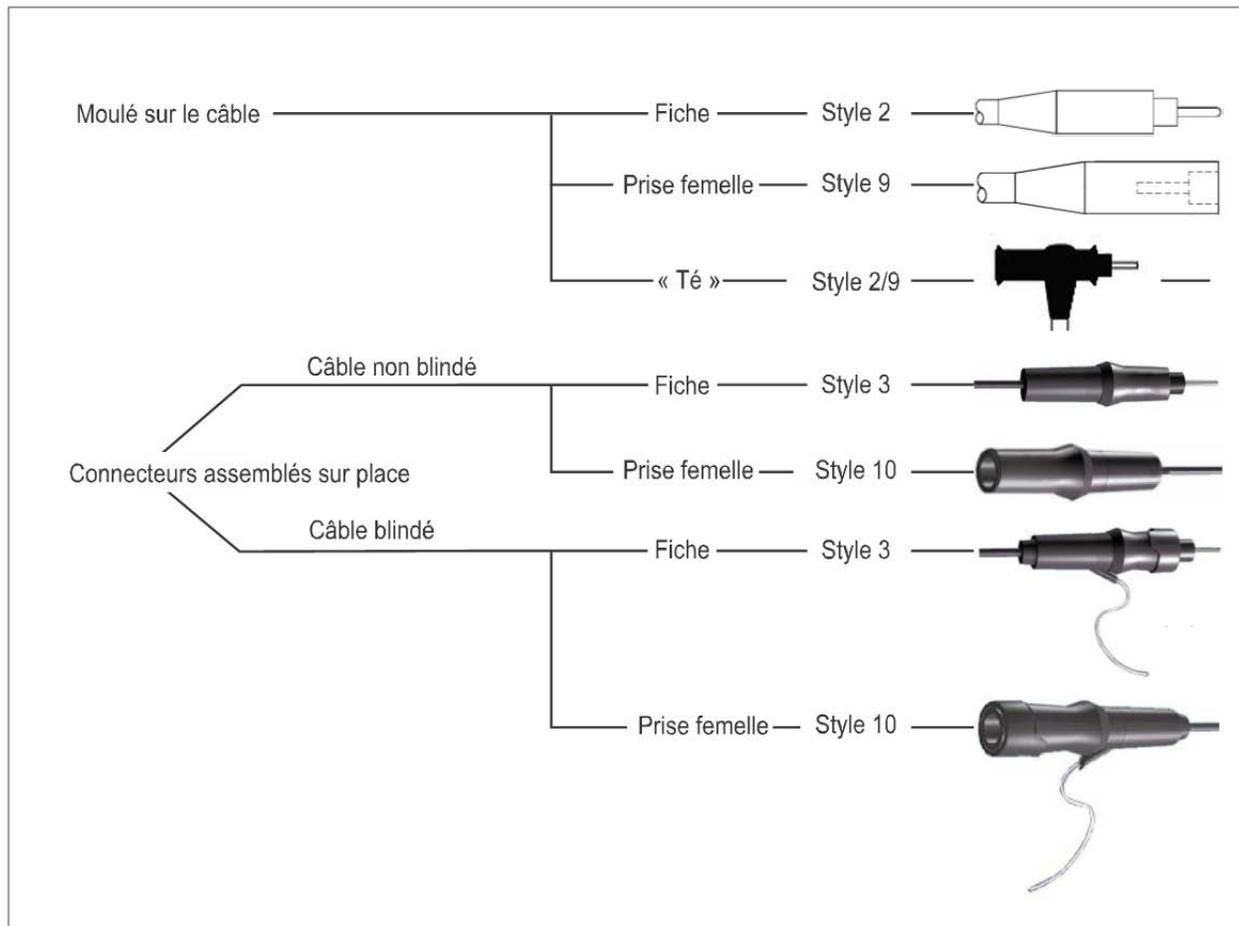


Figure 14-5. Connecteurs pour le circuit primaire

Câbles de commande et câbles téléphoniques

14.14.2 Pour les conducteurs des câbles de commande et des câbles téléphoniques, les raccordements se font par des épissures torsadées et soudées ou avec des connecteurs autodénudeurs pré-isolés qui se posent au moyen d'un outil spécial de sertissage. À noter que le code de couleur des conducteurs doit être respecté d'un bout à l'autre de l'installation.

Armure et blindage des câbles

14.14.3 La continuité électrique de l'armure et du blindage doit être assurée au niveau des épissures en les nettoyant et en les soudant. Au besoin, on peut ajouter de la tresse métallique et du ruban conducteur. L'armure et le blindage doivent être complètement isolés l'un de l'autre et par rapport à la terre, sauf dans les cas indiqués au § 13.5.6.

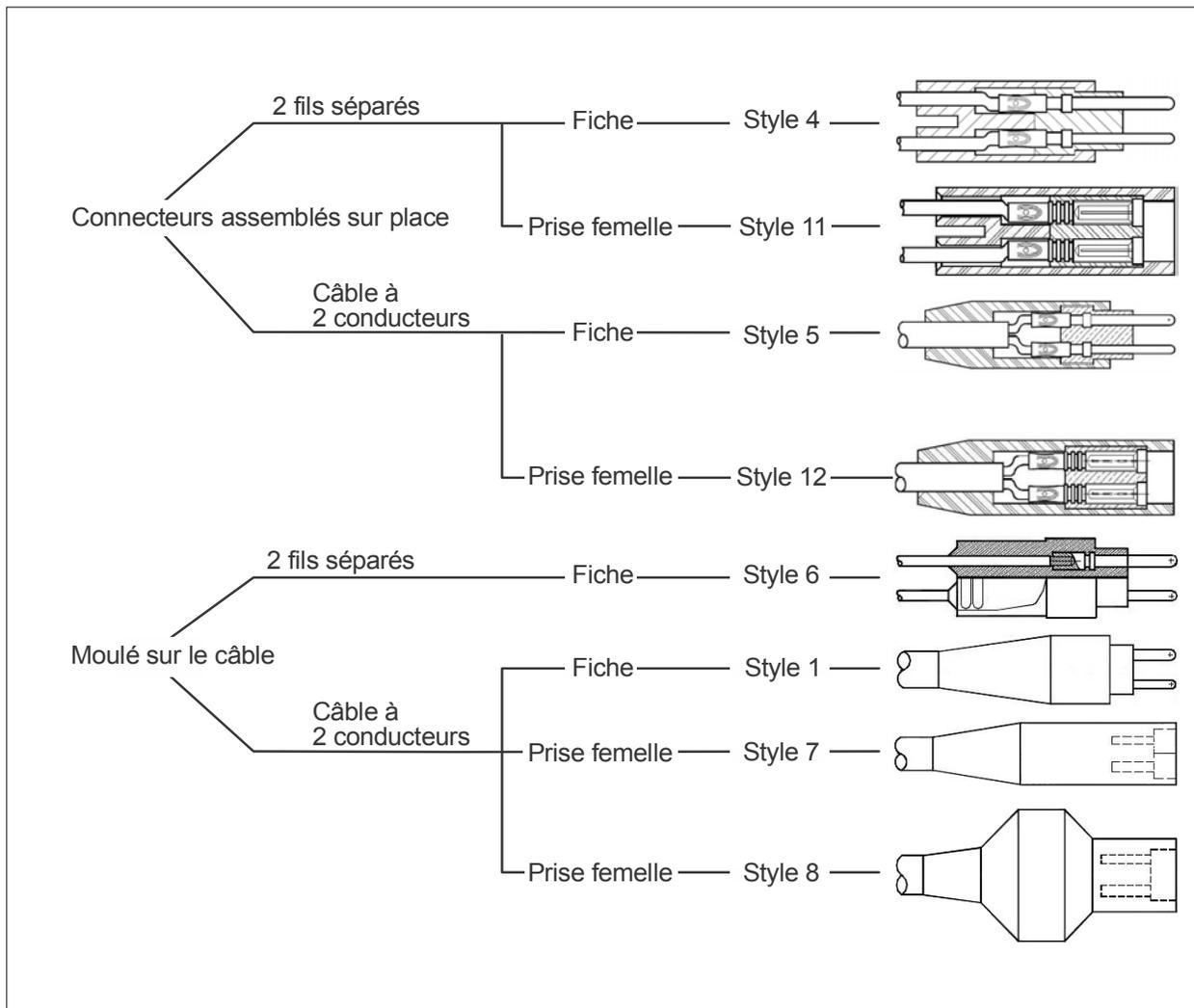


Figure 14-6. Connecteurs pour le circuit secondaire

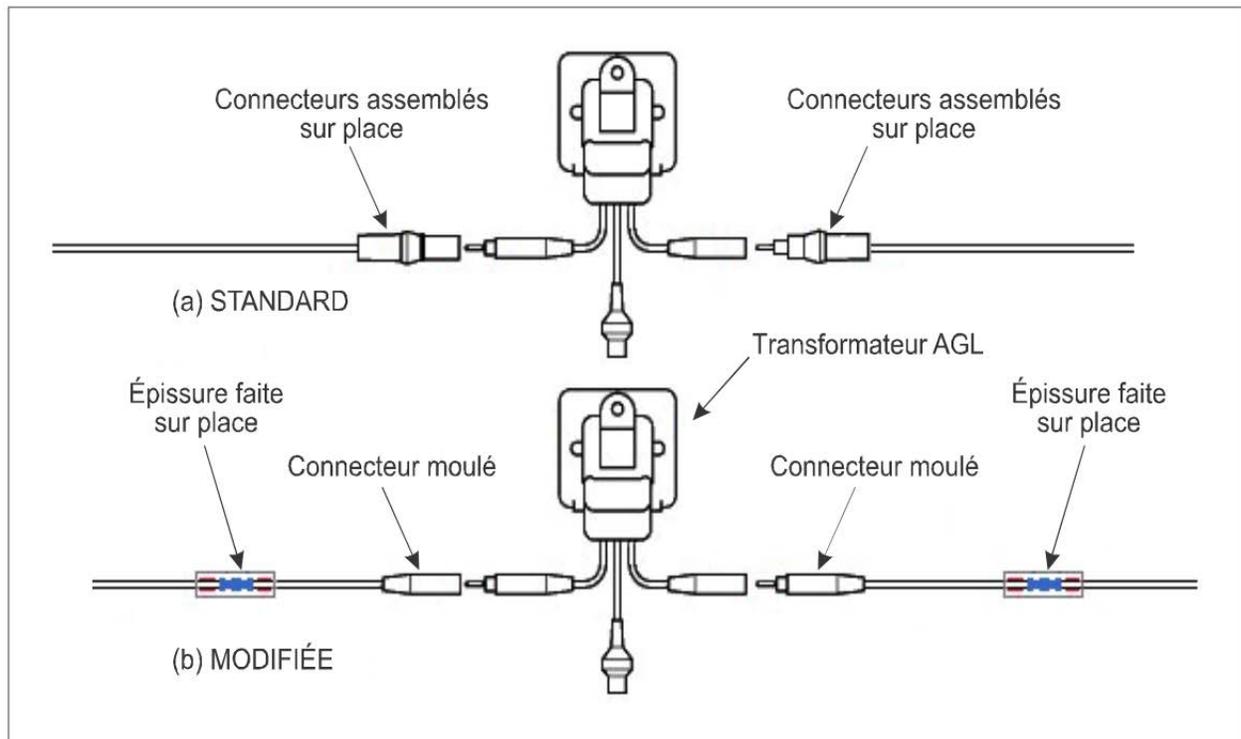


Figure 14-7. Connexions primaires avec épissures faites sur place

Chapitre 15

ESSAIS DE RECETTE ET MAINTENANCE

15.1 APPLICATION

Les procédures d'essai décrites dans cette section s'appliquent aux essais de recette de nouvelles installations et devraient précéder la mise en service opérationnel du système.

15.2 PÉRIODE DE GARANTIE

Des connecteurs humides ou sales et des câbles endommagés par de mauvaises pratiques d'installation produisent souvent des défaillances au bout de plusieurs mois. Chaque contrat d'installation devrait comporter une clause de garantie précisant que pendant une période d'un an, l'entrepreneur d'installation peut être tenu responsable de la réparation et du remplacement de tous les câbles et équipement défectueux par suite de pratiques de travail inappropriées ou de matériaux et d'équipement défectueux.

15.3 PROCÉDURES D'INSPECTION

15.3.1 *Examen visuel.* Les inspections visuelles approfondies sont les procédures les plus importantes de la phase d'inspection et d'essai. Des inspections visuelles fréquentes doivent être faites au cours des travaux de pose, à l'achèvement de l'installation et avant la mise sous tension des circuits. Une inspection visuelle attentive mettra en évidence des défauts qui peuvent être corrigés avant les essais de recette et la mise en service. Les essais électriques ou la mise sous tension initiale peuvent causer des dommages sérieux dans le cas d'une installation présentant des défauts d'exécution. Les inspections visuelles comprennent l'évaluation des aspects suivants :

- a) connexions externes réalisées avec soin ;
- b) bonnes pratiques de travail ;
- c) propreté ;
- d) risques de sécurité ;
- e) exigences particulières pour des éléments individuels.

15.3.2 Tout l'équipement fabriqué sur la base de spécifications doit subir des essais stricts en usine avant la livraison, mais doit aussi être inspecté visuellement à la livraison pour détecter immédiatement d'éventuels dommages subis en cours de transport.

15.4 INSPECTION DES CÂBLES, DES CONNECTEURS ET DES TRANSFORMATEURS D'ISOLEMENT

Les câbles des primaires et des secondaires des transformateurs devraient être livrés avec des connecteurs moulés posés en usine. En cours d'installation, l'inspection visuelle de ces éléments est d'une importance critique car des entailles mineures, des dommages ou des manipulations incorrectes peuvent entraîner une détérioration progressive qui se traduira par une défaillance complète, mais parfois un certain temps après les essais de recette. Au cours de l'installation, ces éléments doivent être inspectés pour vérifier :

- a) que les surfaces de contact des connecteurs moulés sont propres et sèches. S'ils sont propres et secs à l'intérieur, les connecteurs haute tension protégés par du ruban isolant formeront une connexion de qualité égale ou supérieure à celle d'une épissure haute tension classique. Inversement, si l'intérieur du connecteur est humide ou sale, l'application de ruban isolant ne produira jamais une bonne connexion. Il est recommandé d'appliquer deux ou trois tours de ruban pour tenir les connecteurs ensemble et garder leurs surfaces de contact propres. La propreté des surfaces de contact commence par le maintien en place des bouchons de protection posés en usine jusqu'à la connexion finale. Les surfaces de contact des connecteurs qui ne sont pas protégées ne doivent pas être posées, touchées ni même exposées à la respiration. Si une connexion doit être ouverte, il faut immédiatement protéger les connecteurs ;
- b) que les connecteurs sont engagés à fond. Après le branchement initial, les connecteurs mâle et femelle peuvent s'écarter partiellement sous l'effet de la pression de l'air emprisonné. Si cela se produit, il faut attendre quelques secondes avant de les repousser et d'appliquer deux ou trois tours de ruban pour les maintenir en place ;
- c) que les câbles n'ont pas été entaillés, vrillés, écrasés par une roue de véhicule, endommagés par des pierres ou détériorés de toute manière au cours des manipulations et de l'installation ;
- d) que les câbles sont enterrés à la profondeur prescrite par rapport au niveau du sol et que les autres exigences de détail des spécifications d'installation sont respectées ;
- e) que les câbles ne se croisent pas directement et que les distances de séparation prescrites sont respectées ;
- f) que les matériaux placés au-dessous et au-dessus des câbles ont été tamisés et sont exempts de pierres et de blocs au contact des câbles ;
- g) que les câbles ne font pas de coudes brusques à l'entrée ou à la sortie d'un conduit et sont convenablement supportés par des matériaux bien compactés permettant d'éviter de futurs tassements susceptibles d'entraîner des pliures des câbles.

15.5 INSPECTION DES RÉGULATEURS À COURANT CONSTANT

Chaque régulateur à courant constant doit être inspecté pour s'assurer que les traversées en porcelaine ne sont pas cassées, qu'il n'a pas subi de dommages en cours de transport, que ses connexions sont correctes, que les commutateurs et les relais fonctionnent librement sans être entravés ou bloqués, que les fusibles (s'il y en a) sont du bon calibre, et que le niveau d'huile est normal dans le cas des régulateurs isolés à l'huile. Pour cette inspection, seuls les couvercles des panneaux de relais doivent être retirés. Il n'est pas nécessaire d'ouvrir le réservoir principal des régulateurs isolés à l'huile. Les instructions de la plaque d'inspection du régulateur doivent être observées. Tous les couvercles doivent être nettoyés et replacés avec soin après l'inspection et les essais.

15.6 INSPECTION DES FEUX ET DES BALISES

L'inspection devrait porter sur la couleur, le nombre et l'emplacement des feux en suivant les plans d'installation. Chaque feu doit être inspecté pour déterminer s'il fonctionne bien, si l'optique n'est pas brisée ou fissurée, si la lampe installée est du type prescrit et si le feu est de niveau avec son faisceau correctement orienté.

15.7 INSPECTION DES ÉQUIPEMENTS DIVERS

Les équipements tels que les tableaux de commandes, les armoires de relais, les panneaux, etc., doivent être inspectés visuellement pour s'assurer qu'il n'y a pas de dommages, que les connexions sont correctes, que les fusibles et les disjoncteurs sont du bon calibre et que l'ensemble est conforme aux plans d'installation.

15.8 ESSAIS DE FONCTIONNEMENT DU SYSTÈME

Après l'inspection des composants et des circuits conformément aux paragraphes précédents, le système complet doit être soumis aux essais suivants :

- a) chaque commutateur des tableaux de balisage de la tour de contrôle doit être actionné au moins deux fois dans chaque position. Au cours de ce processus, tous les feux de balisage et tous les équipements des postes électriques doivent être observés pour vérifier que chaque commutateur commande effectivement le circuit correspondant ;
- b) les vérifications ci-dessus devront être répétées au poste de contrôle auxiliaire (poste électrique), puis à nouveau en utilisant les commandes locales des régulateurs ;
- c) chaque circuit de balisage doit faire l'objet d'un essai de fonctionnement continu à l'intensité maximale pendant au moins 6 heures. Une inspection visuelle sera effectuée au début et à la fin de cet essai pour déterminer que tous les feux fonctionnent normalement et à pleine intensité. L'affaiblissement de certains feux ou de l'ensemble d'un circuit est un signe de défaut à la terre. De plus, il faut mesurer la tension aux bornes de la lampe sur au moins un feu de chaque circuit multiple pour déterminer si elle est dans les tolérances de $\pm 5\%$ de la tension nominale marquée sur la lampe.

15.9 ESSAIS ÉLECTRIQUES DE L'ÉQUIPEMENT DES CIRCUITS SÉRIE

15.9.1 Les essais électriques sont utiles pour déterminer si la qualité de l'installation est acceptable et si son fonctionnement correspond aux performances opérationnelles prescrites. Certains de ces essais nécessitent l'utilisation de circuits et des mesures en haute tension. Ils ne doivent être effectués que par des techniciens qualifiés, familiers avec l'équipement électrique haute tension et toutes les précautions de sécurité à respecter.

Essais électriques des câbles

15.9.2 Les câbles directement enfouis (pas dans des conduits) doivent subir des essais avant et après le comblement de la tranchée. Chaque circuit souterrain doit être soumis aux essais ci-après.

15.9.3 Chaque circuit série doit être vérifié du point de vue de la continuité à l'aide d'un ohmmètre ou par une méthode équivalente. La résistance à la terre du circuit doit ensuite être vérifiée et un essai doit être effectué pour s'assurer qu'il n'y a pas de défauts à la terre. Tout défaut constaté au cours de ces essais doit être localisé et réparé avant de passer aux essais à haute tension.

15.9.4 Avant d'entreprendre un travail quelconque, l'entrepreneur doit effectuer des mesures de résistance d'isolement sur tous les circuits sur lesquels il peut avoir à travailler, y compris ceux qui passent dans un conduit, une chambre de visite ou un boîtier de transformateur, de façon à établir l'état initial de l'installation. Ces mêmes essais doivent être répétés après la fin des travaux pour confirmer qu'il n'y a pas eu de changements défavorables. Au cours de la période de garantie, l'entrepreneur peut également avoir à faire des essais de résistance d'isolement sur les circuits installés.

15.9.5 Chaque circuit série nouvellement installé doit être soumis à des essais haute tension pour s'assurer qu'il ne comporte pas de défauts à la terre. Lorsque c'est possible, ces essais devraient se dérouler alors que le terrain est saturé d'humidité, car l'expérience montre que des circuits qui passent les tests de résistance d'isolement par temps sec peuvent ne plus être conformes après une forte pluie. Chaque circuit, y compris les transformateurs connectés, devrait faire l'objet des essais suivants :

- a) au niveau du poste électrique, débrancher les bornes de sortie du régulateur. Placer les deux fils de façon qu'il y ait un espace de plusieurs pouces d'air entre les conducteurs nus et la terre. Vérifier que la gaine du câble est propre et sèche sur une longueur d'au moins 30 cm à partir des extrémités du câble. Vérifier également que la partie visible de l'isolant est propre et sèche à chaque bout du câble ;
- b) tester chaque circuit immédiatement après son installation en utilisant les valeurs « Premier test sur nouveaux circuits » du Tableau 15-1. Tester chaque circuit installé depuis 60 jours ou plus, même s'il n'a pas été mis en service, avec les valeurs de la colonne « Tests suivants et anciens circuits » ;
- c) connecter les deux conducteurs et appliquer la tension d'essai indiquée ci-après pendant une période de 5 minutes entre les conducteurs et la terre ;
- d) après des extensions de circuits anciens, tester les nouvelles sections en utilisant les valeurs « Premier test sur nouveaux circuits » du Tableau 15-1. Tester ensuite le circuit complet aux valeurs de tension réduites pour vérifier que le fonctionnement est stable ;
- e) le courant de fuite maximum acceptable, en microampères, ne doit pas dépasser les valeurs calculées au § 15.9.8.

Tableau 15-1. Tensions pour les tests de résistance d'isolement sur les circuits installés

	<i>Premier test sur nouveaux circuits</i>	<i>Tests suivants et anciens circuits</i>
Feux de balisage d'approche (circuits 5 kV)	9 000 V	5 000 V
Zone de toucher des roues et feux d'axe (circuits 5 kV)	9 000 V	5 000 V
Circuits des feux HI de bord de piste (circuits 5 kV)	9 000 V	5 000 V
Circuits des feux MI de piste et voies de circulation (circuits 5 kV)	6 000 V	3 000 V
Circuits à 600 V	1 800 V	600 V
HI = Haute intensité MI = Moyenne intensité		

15.9.6 Les tests du Tableau 15-1 doivent se faire à l'aide d'un appareil haute tension approprié fournissant une sortie continue, filtrée et stable. L'appareil haute tension doit comporter un voltmètre de précision et un microampèremètre permettant respectivement de lire la tension appliquée au circuit et le courant de fuite de l'isolation.

15.9.7 Les tests de fuites doivent être supervisés de près par une personne qualifiée pour s'assurer que les tensions appliquées ne sont pas excessives.

15.9.8 Pour chaque circuit complet, au cours de la dernière minute des tests haute tension, le courant de fuite de l'isolation, mesuré en microampères, ne devra pas dépasser la valeur calculée de la manière suivante :

- a) 2 microampères pour chaque transformateur série ;
- b) 1 microampère pour chaque 100 m de câble (pour tenir compte des pertes normales au niveau des connecteurs et des épissures) ;
- c) le total obtenu en microampères représente la valeur des fuites de chaque circuit complet.

15.9.9 Si le courant de fuite dépasse la limite calculée comme ci-dessus, le circuit est divisé en sections et le test est répété sur chaque section. Cette procédure permet de localiser les composants défectueux et de les remplacer jusqu'à ce que le circuit complet passe le test de fuites.

15.9.10 Il faut s'assurer que la tension spécifiée au § 15.9.5, alinéa b), est effectivement présente aux bornes du circuit pendant la mesure du courant de fuite. Cette tension devrait être ajustée de telle manière que le voltmètre indique la valeur désirée avant la lecture du courant de fuite. S'il n'est pas possible d'obtenir la tension désirée, il y a un problème dans le circuit en essai ou dans l'appareil d'essai. Corriger ce problème avant de poursuivre le test.

15.9.11 Pour les circuits nouvellement installés, la mesure de résistance d'isolement doit être faite immédiatement après que le circuit a passé les tests haute tension effectués avec l'appareil normalement utilisé par le service de maintenance de l'aérodrome. Cette mesure pourra ensuite être utilisée par la maintenance comme référence pour déterminer l'état du circuit au cours des futurs tests. La température ambiante et les conditions météorologiques au moment de l'essai doivent être notées.

NOTE DE SÉCURITÉ : *Après l'essai, le câble doit être mis en court-circuit pendant une période de 5 à 10 fois plus longue que le temps d'application de la haute tension. L'énergie absorbée quand le circuit est sous tension est stockée dans le diélectrique et produira une tension aux bornes du câble après sa déconnexion de la source haute tension, même s'il a été mis en court-circuit pendant un certain temps.*

15.10 ESSAIS ÉLECTRIQUES SUR LES AUTRES CÂBLES

Câbles d'alimentation de tension nominale 5 000 V et plus

15.10.1 Les câbles d'alimentation doivent être vérifiés par les méthodes décrites au § 15.9.5, sauf que pour un câble 5 000 V, la tension d'essai doit être 10 000 V. Pour les câbles dont la tension nominale est supérieure à 5 000 V, la tension d'essai est égale au double de la valeur nominale, plus 1 000 V. Les mesures doivent être prises entre les conducteurs et entre chaque conducteur et la terre, avec le blindage et l'armure du câble mis à la terre ; la mesure doit être relevée dans la minute qui suit la stabilisation de la lecture de l'instrument. Le minimum acceptable de la résistance est 50 mégohms. Les valeurs d'isolement d'origine du câble ont été sensiblement réduites à 50 mégohms pour compenser la longueur, le vieillissement et d'autres facteurs susceptibles d'influencer les résultats avant et pendant l'installation. Sauf pour une longueur de câble dépassant sensiblement 3 000 m, il n'est pas question d'accepter une

réduction de la résistance d'isolement spécifiée. La continuité du blindage ou de l'armure du câble doit également être vérifiée. On peut utiliser un instrument du type mégohmmètre.

Note.— Les lectures d'isolement ne seront pas exactes tant que le câble n'aura pas été complètement chargé par l'instrument de mesure.

Câbles d'alimentation secondaire de tension nominale 600 V et moins

15.10.2 Les câbles d'alimentation secondaire à 600 V et moins utilisés pour le balisage et l'alimentation devraient avoir une résistance d'au moins 50 mégohms entre conducteurs et entre conducteurs et la terre pour des mesures faites en courant continu à 500 V minimum.

Câbles de commande et câbles téléphoniques

15.10.3 Après l'installation, ces câbles doivent respecter les exigences du Tableau 15-2.

15.10.4 Les conducteurs sont acceptables s'ils passent avec succès les tests de continuité, d'absence de court-circuit et de résistance, soit 50 mégohms entre les conducteurs et entre chaque conducteur et le blindage à la terre ; la tension d'essai en courant continu doit être de 500 V minimum.

Câbles coaxiaux

15.10.5 Les câbles coaxiaux pour radiofréquences doivent être testés avant l'installation pour vérifier l'état de l'isolation et la résistance en boucle, et les résultats doivent être notés. L'essai d'isolation doit se faire entre le conducteur central et la tresse avec un instrument à courant continu 500 V. L'essai de résistance en boucle se fait de la même manière, mais avec le conducteur central relié à la tresse à l'extrémité opposée. Ce test se fait à l'aide d'un pont, d'un ohmmètre ou d'un autre instrument approprié. Après l'installation, les résistances du conducteur à la tresse et du conducteur à la masse doivent être supérieures à 50 mégohms en courant continu 500 V. La résistance en boucle peut varier de plus ou moins 10 % par rapport à la valeur mesurée avant l'installation, c'est-à-dire mesurée sur 1 000 m de câble sur touret, multipliée par le nombre de kilomètres et de fractions de kilomètres de câble installé. La résistance de la tresse à la masse doit également être mesurée et les résultats doivent être notés.

Tableau 15-2. Nombre minimum de conducteurs acceptables après installation

<i>Composition du câble</i>	<i>Nombre minimum de paires acceptables</i>
12 paires ou moins	Toutes
Plus de 12 paires à 25 paires	Toutes sauf une paire
Plus de 25 paires	Toutes sauf deux paires

Câble coaxial pressurisé

15.10.6 Après l'installation du câble, les tests suivants doivent être effectués :

- a) *Test électrique.* À l'aide d'un testeur d'isolation haute tension comportant un microampèremètre, les courants de fuite sont mesurés pour une tension continue de 3 000 V appliquée entre les deux conducteurs sur une période d'au moins 3 minutes. Sous cette tension, une fois que la capacité entre les conducteurs s'est chargée et que le courant s'est stabilisé, il ne doit plus y avoir de courant de fuite mesurable.
- b) *Test de la pression d'azote.* La pression d'azote spécifiée étant appliquée au câble, fermer le robinet de gaz et noter la température ambiante. Par la suite, six mesures successives de pression à intervalle d'une heure doivent être prises et notées. Après ces six mesures et lorsqu'il s'est écoulé une période d'environ 24 heures, une septième mesure est faite. Si les variations de pression ne sont dues qu'aux différences de température ambiante, le câble est acceptable. Le facteur de correction pour la température est 0,017 par degré Celsius.

15.11 ESSAIS ÉLECTRIQUES DES RÉGULATEURS

15.11.1 Il convient de vérifier que la tension de la prise d'entrée du régulateur correspond à la tension d'alimentation.

15.11.2 La charge étant déconnectée, mettre le régulateur une fois sous tension et observer si la protection de circuit ouvert le coupe en 2 ou 3 secondes :

- a) connecter le circuit de charge après une recherche des circuits ouverts et des défauts à la terre, comme expliqué au Chapitre 8, et inspecter pour voir si tous les transformateurs alimentent des groupes de lampes appropriés ;
- b) à l'aide d'un voltmètre et d'un ampèremètre, vérifier que l'erreur ne dépasse pas ± 1 % de la pleine échelle et mesurer simultanément la tension d'entrée et le courant de sortie (ampèremètre connecté aux bornes d'un transformateur d'isolement inséré dans le circuit de sortie du régulateur) pour chaque prise de réglage de l'intensité lumineuse ;
- c) utiliser un voltmètre enregistreur ou prendre des mesures de jour et de nuit à des intervalles suffisants pour obtenir une moyenne de la tension d'alimentation ;
- d) si le régulateur comporte des prises d'entrée étagées, choisir celle qui correspond le mieux à la tension d'alimentation moyenne. Le courant de sortie pour chaque prise de réglage de l'intensité lumineuse doit être à ± 2 % des valeurs indiquées après une éventuelle correction pour la tension d'alimentation.

15.11.3 Pour tous les régulateurs de courant qui possèdent des prises d'entrée de tension, le courant de sortie variera en proportion des changements de la tension d'entrée. Ainsi, si une tension d'entrée de 2 350 V est appliquée à la prise 2 400 V, les valeurs du courant de sortie devraient être à 2 % en dessous des valeurs nominales.

15.11.4 Pour les régulateurs qui ont une correction automatique de la tension d'entrée plutôt que des prises à sélectionner, le courant de sortie ne devrait pas changer avec les variations de la tension d'alimentation :

- a) si le courant de sortie de pleine intensité lumineuse diffère de plus de 2 % de sa valeur nominale (et si le régulateur n'est pas surchargé), il faut vérifier le réglage interne qui devrait être décrit sur le placard d'instructions du régulateur. Comme ce réglage peut être délicat, il est recommandé de ne rien faire pour un écart de ± 5 % dans les valeurs les plus basses ;
- b) de plus, il faut vérifier si le réglage n'a pas été changé volontairement pour répondre à une contrainte opérationnelle spécifique du lieu.

15.12 ESSAIS ÉLECTRIQUES SUR D'AUTRES ÉQUIPEMENTS

Mesurer les tensions et les courants d'entrée et de sortie pour déterminer les charges que représentent les circuits connectés. Vérifier si ces tensions et ces charges correspondent aux valeurs nominales du fabricant de l'équipement en cause. Noter ces mesures pour référence ultérieure lors de la maintenance ou d'une éventuelle modification du circuit.

15.13 ESSAIS DU SYSTÈME DE SURVEILLANCE

Après avoir exécuté les tests mentionnés ci-dessus et vérifier que le balisage fonctionne normalement, il faut vérifier le fonctionnement des systèmes de surveillance en simulant diverses pannes, comme des circuits ouverts, des courts-circuits, des défauts à la terre, des feux brûlés, des pannes de courant pour les circuits de balisage et les circuits de commande, et observer les réactions du système de surveillance. L'absence de détection d'une panne donnée doit être corrigée avant que l'ensemble du système puisse être accepté.

Chapitre 16

PROCÉDURES DE DÉPANNAGE

16.1 GÉNÉRALITÉS

Le présent chapitre propose des procédures générales de dépannage permettant d'isoler un défaut dans tous les types de circuits série de balisage d'aéroport. Deux de ces procédures sont des tests pratiques à effectuer avec le CCR sous tension. Les deux dernières décrivent des méthodes d'essai utilisant de l'équipement spécifique.

16.2 SÉCURITÉ

16.2.1 Les considérations de sécurité sont d'une importance vitale pour ceux qui travaillent sur les circuits de balisage d'aérodrome et particulièrement les circuits de type série :

- a) les tests de dépannage décrits dans ce chapitre peuvent comporter des tensions dangereuses. Des précautions appropriées doivent être prises pour la protection et la sécurité du personnel et des biens ;
- b) le personnel qui effectue les tests et les procédures de dépannage doit avoir une bonne expérience des techniques adaptées aux hautes tensions et doit être adéquatement supervisé. Tout le personnel de maintenance doit être convenablement formé aux procédures d'urgence pour le traitement des chocs électriques.

Note.— Les procédures de dépannage recommandées doivent être exécutées en tenant compte des règles de sécurité locales.

16.2.2 La majeure partie des équipements constituant les aides visuelles des aéroports sont exposés aux intempéries et peuvent représenter des dangers de chocs électriques s'ils sont endommagés par la foudre ou si l'isolant des câbles a été détérioré par l'exposition aux éléments. Les procédures de maintenance ne devraient être appliquées qu'après une inspection visuelle visant à rechercher les dangers possibles. Compte tenu des risques que représente la foudre, l'entretien des aides lumineuses à la navigation ne devrait jamais se faire en période d'activité orageuse locale. Chaque aéroport devrait établir et faire appliquer des procédures à suivre en cas d'accident. L'existence de plans d'intervention permet de gagner de précieuses secondes pour l'aide médicale aux personnes ayant subi des blessures. De plus, ces plans d'intervention doivent être régulièrement répétés et mis à jour.

16.3 RECHERCHE INITIALE DES DÉFAUTS

16.3.1 Les circuits série sont exposés à deux types principaux de défauts électriques, les courts-circuits à la terre et les circuits ouverts :

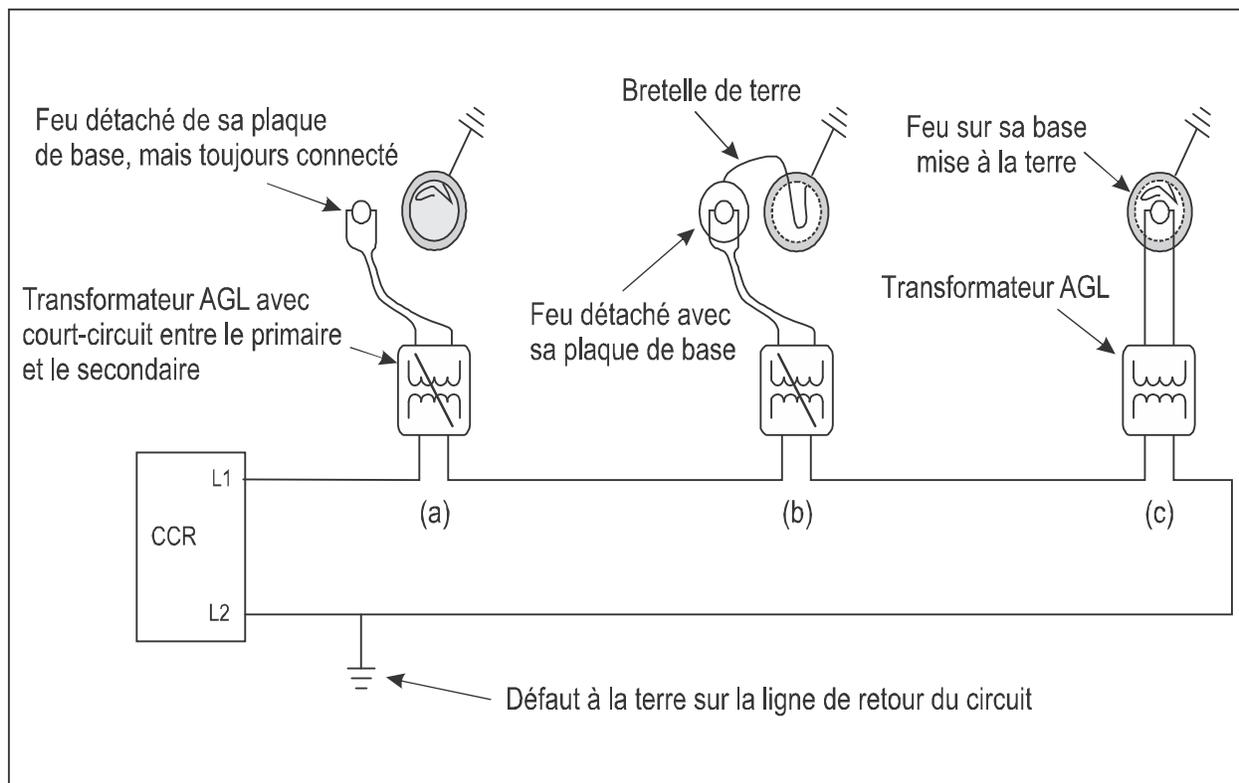


Figure 16-1. Défauts à la terre dangereux du transformateur d'isolement ou du circuit

- a) il faut être conscient qu'un circuit série de balisage d'aéroport alimenté par un régulateur à courant constant est un système isolé de la terre. Il en résulte que le circuit et son régulateur peuvent fonctionner normalement avec un seul court-circuit à la terre ;
- b) ce n'est qu'avec deux ou plusieurs défauts à la terre qu'un véritable « court-circuit » est créé et que le courant commence à s'écouler vers la terre, en contournant la charge des feux, de sorte qu'une section de balisage semble s'éteindre. À l'inverse, un seul circuit ouvert dans le primaire empêche le passage du courant et l'ensemble du circuit s'éteint.

16.3.2 En plus des défauts du circuit lui-même, il peut se produire des courts-circuits entre les enroulements du transformateur AGL. Il faut être conscient que ces transformateurs, bien qu'ils soient souvent appelés « transformateurs d'isolement », ne représentent aucun isolement pour la protection du personnel. Un transformateur en court-circuit peut ne pas causer un fonctionnement défectueux du circuit de balisage et peut passer inaperçu en service normal, bien que la tension primaire soit présente du côté secondaire.

16.3.3 Ce défaut d'un transformateur en court-circuit est particulièrement dangereux lorsqu'on travaille sur des feux encastrés et que l'on cherche à séparer le feu de l'embase alors que le circuit est sous tension. Dès que le feu est déboulonné et retiré de sa base, c'est l'électricien qui devient le chemin à faible résistance vers la terre. La conception du feu doit comprendre un fil volant de masse, comme le montre la Figure 16-1, qui maintient le socle du feu au potentiel du plot de terre à l'intérieur de la base. Ainsi, même si le feu est séparé de sa base, comme le montre la Figure 16-1 (b), le fil de masse continue d'être relié à la terre. Il est cependant impossible de savoir si ce fil est réellement connecté tant que le feu n'est pas démonté et, à ce moment, il est trop tard. Un feu hors sol peut avoir été

arraché de sa base tout en restant connecté, comme le montre la Figure 16-1 (a), et il n'y a pas de protection si quelqu'un ramasse le feu. Il faut donc toujours porter des gants isolants.

16.3.4 La mise à la terre du secondaire du transformateur réduit les risques que représentent les feux hors sol s'ils sont cassés et détachés de leur plaque de base, mais là encore cette protection dépend du bon raccordement du fil de masse. Mieux vaut prévenir que guérir et il faut toujours couper le circuit avant de remplacer des lampes ou de démonter un feu. De même, il ne faut jamais ramasser un feu hors sol qui a été arraché sans s'assurer que le circuit n'est plus sous tension.

16.3.5 Les régulateurs à courant constant plus gros que 10 kW doivent avoir une protection contre les circuits ouverts capable de couper le régulateur dans un délai de 2 secondes après l'interruption du courant. La plupart des fabricants offrent cette protection sur leurs régulateurs CCR. En cas de doute, il faut consulter le manuel d'utilisation du régulateur. Cependant, des circuits ouverts peuvent coexister avec des défauts à la terre et si le régulateur est capable de produire une tension suffisante pour surmonter la résistance qu'offre le circuit, il débitera un courant suffisant pour continuer à alimenter les feux.

16.3.6 Dans la plupart des cas, un défaut des feux de balisage sera signalé par la tour de contrôle ou par un rapport des opérations. Cependant, il arrive parfois qu'il soit signalé par un électricien qui fait une inspection de piste quotidienne ou une vérification du balisage. Dans les deux cas, le constat est soit qu'une série de feux est éteinte, soit que tout le circuit est en panne :

- a) la première étape de la recherche initiale du défaut est de procéder à une rapide inspection pour voir quels feux sont éteints sur le terrain. Cela permet de déterminer si tout le circuit est en panne ou s'il s'agit juste d'une partie d'un circuit spécifique. L'électricien peut ainsi avoir une bonne idée de la cause possible de la panne ;
- b) si tous les feux du circuit sont éteints, il pourrait s'agir d'une coupure dans le câblage ou d'un défaut de fonctionnement du CCR. Si la panne ne touche qu'une partie des feux, il s'agit très probablement d'un défaut à la terre à chaque extrémité de la section en panne. Pour ce genre de panne, il importe de se souvenir que s'il s'agit d'un court-circuit à la terre, plus longtemps le circuit reste sous tension, plus les dommages aux câbles risquent de s'étendre autour des points de court-circuit, sous l'effet des arcs.

16.3.7 Une fois que le circuit défectueux a été identifié, il est facile de localiser le régulateur qui l'alimente au poste électrique. La première chose à faire est de couper le régulateur par son interrupteur local (position OFF), puis de couper et de cadenasser l'alimentation du régulateur. Si le régulateur est équipé d'un coupe-circuit, il faut l'ouvrir en séparant les lames du sectionneur côté piste. Cela permet de vérifier la continuité et la résistance d'isolement du circuit de balisage. Après avoir débranché les bouts du circuit de balisage ou déconnecté au moins l'une des bornes du régulateur, il est possible de vérifier la continuité du circuit.

16.3.8 Le régulateur peut être équipé d'un dispositif d'isolation et de test de la charge (LDT). Le fait de remplacer la plaque « Circuit en service » par la plaque « Circuit en test » a pour effet de court-circuiter les bornes de sortie du régulateur et de les déconnecter du circuit de balisage.

16.3.9 Avec un multimètre (VOM = volts-ohms-milliampères), la première étape est de régler l'échelle à « $R \times 1$ » et de mettre l'indicateur à zéro (ce n'est pas nécessaire avec un multimètre numérique). L'opération se fait en réglant l'échelle du multimètre ($R \times 1$, dans ce cas) et en faisant se toucher les deux sondes. S'assurer que les sondes sont branchées dans les bonnes prises du multimètre (dans la plupart des cas, « + » et « commun ») et tourner le bouton « zéro ohm » jusqu'à ce que l'aiguille soit bien sur zéro (généralement tout à droite sur l'échelle de mesure). Après cela, la résistance du circuit de balisage peut être mesurée entre les deux conducteurs menant au circuit.

- a) S'il n'y a pas de continuité, vérifier s'il y a un court-circuit à la terre sur l'un ou l'autre des conducteurs, puis passer à la section 16-5 — *Localisation des défauts de circuit ouvert*.
- b) Si le circuit présente une certaine continuité (résistance mesurable), normalement entre 20 et 70 ohms, il ne s'agit pas d'un circuit ouvert.
- c) Si la résistance est largement supérieure à la normale (1 000 ohms et plus), il s'agit d'un défaut de circuit ouvert à haute résistance. Dans la plupart des cas, il peut s'agir d'un transformateur dont le primaire est en train de brûler, mais n'est pas encore complètement coupé. Cependant, il peut aussi s'agir d'un câble coupé dont les deux extrémités sont en contact avec la terre.

16.3.10 Si la résistance de la boucle est normale, passer à la vérification de la résistance à la terre de chacune des extrémités du circuit.

- a) Si le multimètre réglé à $R \times 1$ affiche une lecture de résistance à la terre, il y a effectivement un ou des courts-circuits à la terre et la suite des procédures de dépannage se passera sur le terrain.
- b) Si le multimètre n'indique aucune continuité (l'aiguille ne bouge pas), il faut vérifier la résistance à la terre en réglant le multimètre successivement aux échelles $R \times 100$ et $R \times 10\,000$ et, après avoir mis l'aiguille à zéro, rechercher une fuite à la terre à ces deux échelles. Prendre soin de placer le fil positif (rouge) à l'entrée du circuit ou du conducteur à tester, et le fil négatif (noir) à la terre. À l'échelle $R \times 10\,000$, le simple fait de toucher les sondes avec les doigts produit une lecture. Cependant, la plupart des défauts à la terre capables de provoquer l'extinction des feux sont causés par une résistance à la terre de moins de 1 000 ohms, généralement moins de 100 ohms, et seront facilement détectés sur l'échelle $R \times 1$.
- c) Si les mesures au voltmètre analogique ou numérique n'indiquent pas de défauts à la terre, utiliser un testeur de résistance d'isolement pour vérifier le circuit lui-même. Ces appareils fonctionnent à haute tension, 500 à 5 000 V, et permettent surtout de détecter les défauts à la terre à haute résistance.

16.3.11 Si aucun problème n'est détecté sur le circuit de balisage, l'étape suivante consiste à remettre le CCR sous tension à l'aide de la commande manuelle de sa face avant.

- a) Après avoir rebranché le circuit de balisage au CCR, ou refermé le coupe-circuit, et rétabli l'alimentation primaire au régulateur, commencer par placer le sélecteur du CCR à la position correspondant au niveau 1, et vérifier si le CCR démarre.
- b) Si le régulateur ne s'allume pas, il s'agit peut-être d'un problème aussi simple qu'un disjoncteur déclenché ou un fusible grillé ; commencer par vérifier que la tension d'entrée est présente au CCR.
- c) Si le CCR fonctionne pendant environ 2 secondes et se déclenche à nouveau, il s'agit probablement d'un mauvais fonctionnement du dispositif de détection de circuit ouvert ou de surintensité à l'intérieur du CCR.
- d) Si le circuit de balisage semble normal, débrancher et cadenasser la source d'alimentation primaire du CCR, puis effectuer un test de court-circuit à la sortie du régulateur avec un fil suffisamment gros (6 mm² ou 10 AWG), et vérifier à nouveau le fonctionnement du régulateur.
- e) Si le régulateur se déclenche à nouveau au bout de quelques secondes, il s'agit d'un problème interne du régulateur ou de ses circuits de commande. Consulter le manuel d'utilisation et de maintenance du CCR pour des instructions de dépannage adaptées.

16.3.12 Si le CCR reste sous tension et semble fonctionner normalement au réglage d'intensité le plus bas, continuer à augmenter pas à pas le réglage d'intensité tout en notant l'augmentation de l'intensité électrique de sortie sur le multimètre, jusqu'au maximum, soit le niveau 3 soit le niveau 5, selon le style du régulateur. Si le régulateur produit une intensité normale aux réglages bas, mais qu'elle devient insuffisante au réglage maximum, il s'agit probablement d'un problème de surcharge du régulateur ou d'excès d'inductance dans le circuit de balisage.

16.3.13 Effectuer un essai de court-circuit du régulateur en coupant et en cadenassant son alimentation, puis en connectant un fil de 6 mm² (10 AWG) entre ses bornes de sortie et en remettant le régulateur sous tension. Si le régulateur fonctionne normalement avec sa sortie en court-circuit, cela indique qu'il y a une surcharge dans le circuit de balisage. S'il ne s'agit pas de charges supplémentaires qui ont été ajoutées au circuit de balisage, il faut vérifier si des lampes sont grillées ou s'il y a des connexions secondaires coupées dans les transformateurs de feux (sur le terrain). Les nouveaux régulateurs sont capables de supporter jusqu'à 30 % de transformateurs AGL en circuit ouvert. Les anciens n'en tolèrent que 10 %. La présence d'un nombre important de transformateurs à sortie ouverte augmente la charge inductive vue du régulateur et entraîne un comportement anormal qui ressemble souvent à une surcharge. L'une des causes de cette situation peut être que la foudre a grillé un grand nombre de lampes du circuit.

16.4 LOCALISATION DES DÉFAUTS À LA TERRE SUR LE TERRAIN

16.4.1 Une fois établi qu'il y a un court-circuit à la terre dans le circuit, les procédures de dépannage se transportent sur le terrain. Ne pas oublier que, si le circuit présente une série de feux éteints, il y a TOUJOURS au moins deux courts-circuits ou défauts à la terre.

Note.— La description qui suit est simplifiée pour un système de balisage à un seul circuit. Si le système comprend deux circuits imbriqués, le segment en cause présentera un feu sur deux éteint ou faible.

- a) À ce point, le circuit peut être mis sous tension pour tenter de localiser les défauts par une inspection visuelle. S'il s'agit d'un circuit en boucle simple, l'observation visuelle est souvent le moyen le plus efficace pour détecter le problème.
- b) Il est recommandé d'avoir une autre personne au poste électrique avec une radio pour permettre de détecter la transition entre les zones normales et les zones défectueuses du circuit. La radio permet de demander au poste électrique de couper le régulateur et de le cadenasser pour permettre d'effectuer les réparations.
- c) L'électricien peut suivre le circuit en véhicule pour rechercher une série de feux éteints ou extrêmement faibles. Par la suite, chaque transition entre le dernier feu allumé et le premier feu éteint peut être matérialisée par un fanion ou une marque de peinture, comme le montre la Figure 16-2. Après avoir coupé et ouvert le circuit, vérifier les feux de part et d'autre des transitions marquées en recherchant les transformateurs grillés, les connecteurs défectueux, etc.
- d) Il faut toujours garder à l'esprit qu'il y a au moins deux courts-circuits dans la zone défectueuse et que les deux doivent être réparés. Dans certains cas, par exemple pour un câble enfoui directement ou pour un circuit resté sous tension pendant une longue période avec des défauts à la terre, il peut y avoir plus de deux courts-circuits à la terre.

16.4.2 La meilleure méthode pour trouver les défauts à la terre après une inspection visuelle consiste à utiliser le multimètre.

- a) Au poste électrique, laisser les extrémités du circuit séparées et suspendre les bouts des câbles en l'air s'ils sont débranchés du coupe-circuit ou d'une autre connexion.

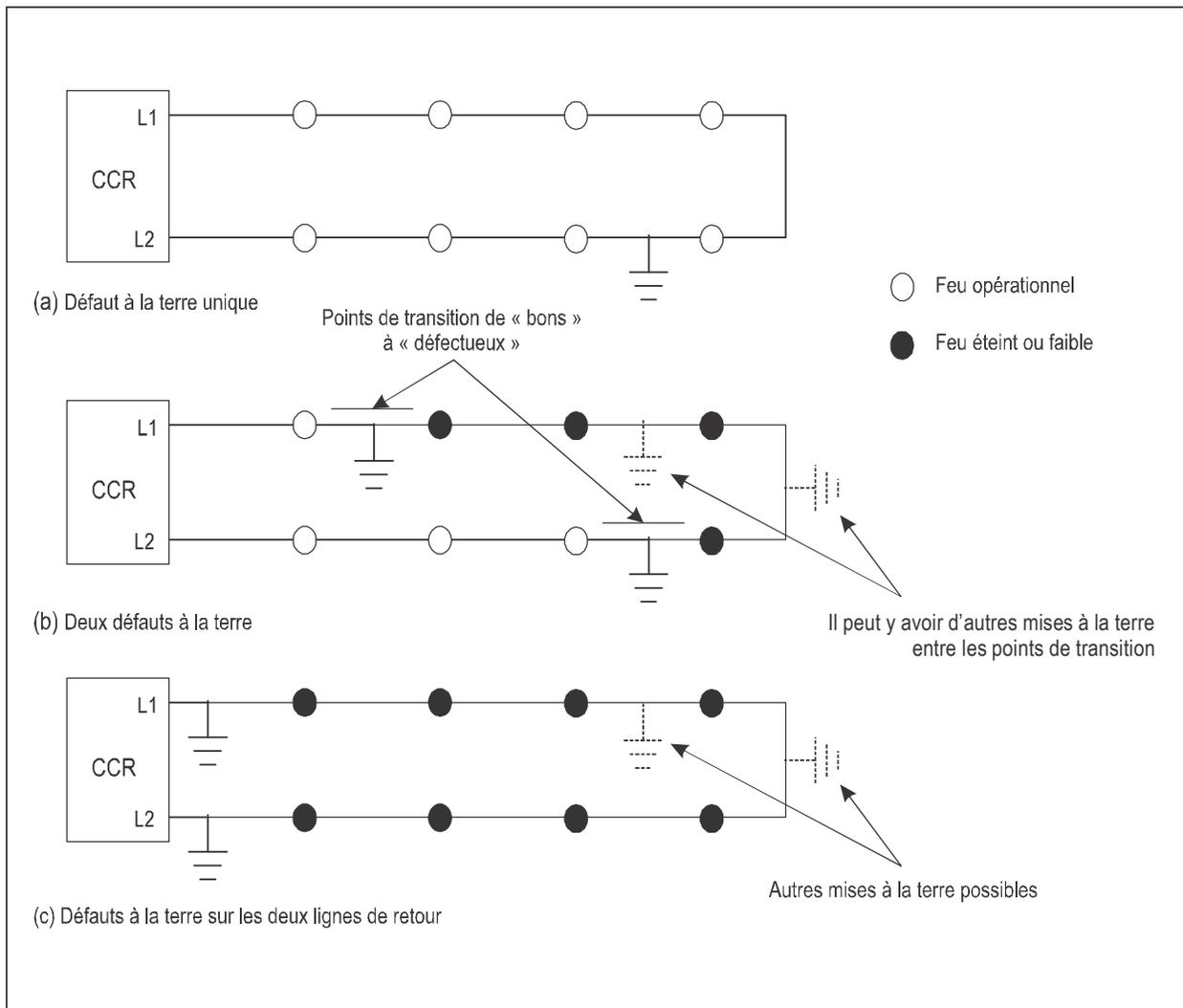


Figure 16-2. Défauts à la terre types

- b) Consulter les plans définitifs, s'ils sont disponibles, pour trouver le milieu du circuit et ouvrir le circuit à ce point en débranchant le câble d'un côté du transformateur (voir Figure 16-3).
- c) À ce point, prendre une lecture de résistance à la terre dans les deux directions pour déterminer sur quelle moitié du circuit le défaut se trouve. Il est tout à fait possible que le multimètre indique un défaut dans les deux directions ou dans une seule, car il peut y avoir deux ou plusieurs défauts sur la même partie du câble.
- d) En laissant cette connexion ouverte (si possible), choisir un point approximativement à mi-chemin entre le point milieu et le poste électrique dans la direction du défaut et ouvrir à nouveau le circuit à ce point. Comme précédemment, mesurer la résistance dans chaque direction pour trouver l'emplacement du défaut. Continuer à appliquer cette méthode, jusqu'à ce que chaque défaut soit localisé et corrigé.

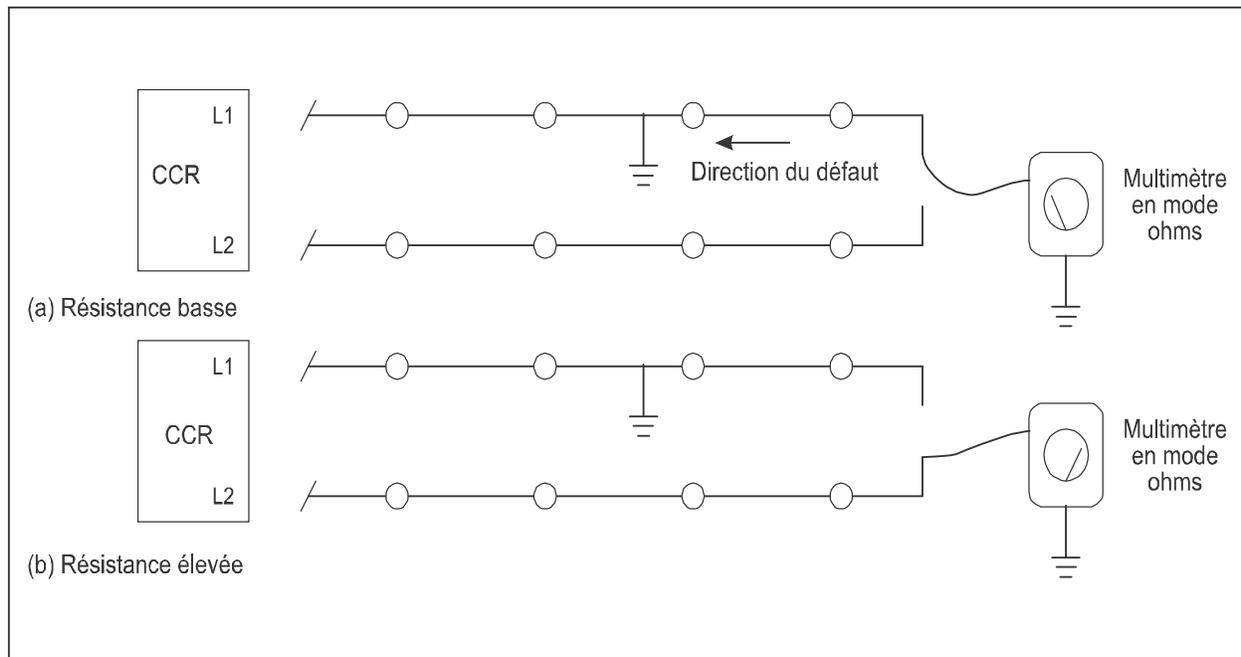


Figure 16-3. Localisation au multimètre des défauts à la terre

16.4.3 Pendant le dépannage, si l'on enlève un transformateur de sa base ou du sol, dans le cas où il est directement enfoui, il est possible que le défaut semble disparaître. Cela indique que c'est le transformateur qui est défectueux. En général, un transformateur grillé peut être identifié à l'œil. Cependant, dans le cas d'un court-circuit interne entre le primaire et le secondaire, on ne peut rien voir de l'extérieur. Examiner le feu fixé au transformateur et vérifier si le connecteur secondaire mâle ou femelle semble brûlé. C'est en général un indice sûr d'un court-circuit interne primaire-secondaire. Pour identifier le court-circuit, toucher avec l'une des sondes du multimètre l'un des fils primaires du transformateur et, avec l'autre sonde, toucher l'un des connecteurs femelles du secondaire. Si le transformateur est en court-circuit, l'aiguille indiquera la continuité. Il arrive aussi qu'une mesure entre l'un des connecteurs primaires et l'extérieur du transformateur indique une fuite importante à la terre. Cette vérification est plus facile à faire avec un testeur de résistance d'isolement. Pour vérifier l'intégrité de l'isolation du transformateur, on peut le plonger dans une cuvette d'eau et toucher avec la sonde positive du testeur de résistance l'un des fils primaires, la sonde négative étant reliée à un fil nu placé dans le fond de la cuvette. Pour toute fuite mesurée, le transformateur est suspect ou défectueux (selon la lecture). Un transformateur neuf devrait raisonnablement avoir plus de 1 000 mégohms, mais les lectures diminuent avec le vieillissement (voir Figure 16-4).

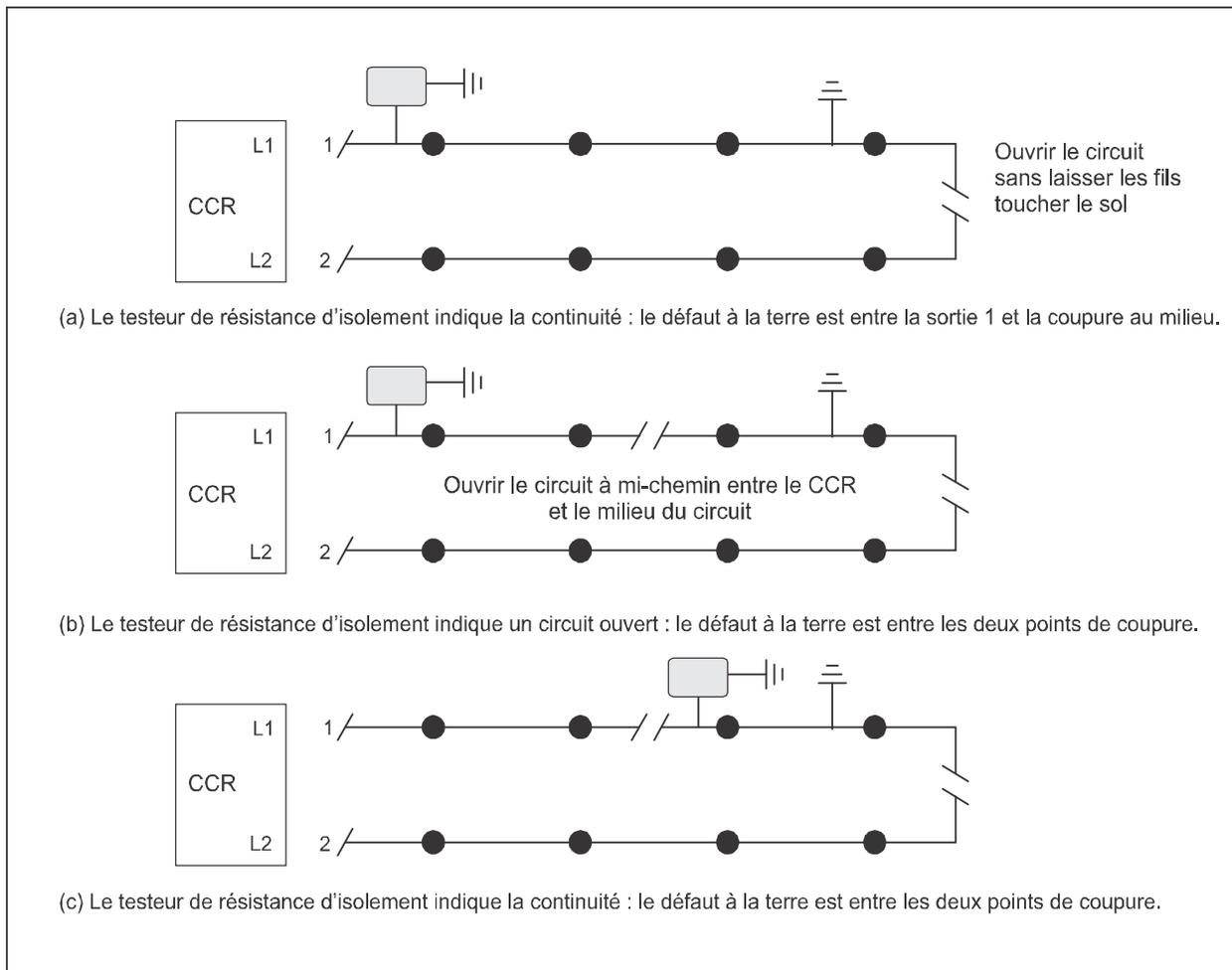


Figure 16-4. Autre méthode utilisant un multimètre ou un testeur de résistance d'isolement

16.5 LOCALISATION DES DÉFAUTS DE CIRCUIT OUVERT

16.5.1 On peut localiser les circuits ouverts par des méthodes similaires à celles utilisées pour les courts-circuits et les défauts à la terre. Si le circuit semble être à la fois à la terre et ouvert, la procédure de dépannage pour les défauts à la terre peut être utilisée, car il est probable que le circuit ouvert et le défaut à la terre sont au même endroit. Dans de nombreux cas, le câble se coupe en deux s'il est laissé sous tension avec un court-circuit à la terre. Si la recherche initiale a révélé qu'il existait un circuit ouvert dans le circuit de balisage et s'il ne semble pas être à la terre, il est recommandé de couper le régulateur et de cadenasser son alimentation, puis d'aller sur le terrain pour localiser le milieu approximatif du circuit.

CONSEIL : Lorsqu'un circuit ouvert est identifié, il est très probable que ce soit à l'endroit d'une récente activité d'excavation.

16.5.2 Lorsque le dépannage consiste à vérifier la continuité, il est utile de relier les deux bouts du circuit au niveau du poste électrique, soit par le coupe-circuit, soit par un autre moyen, comme le montre la Figure 16-5. De cette manière, après la correction du problème, on peut vérifier qu'il y a une boucle en un point quelconque du circuit.

- a) Au point milieu approximatif, débrancher le circuit au niveau du transformateur et le mettre à la terre dans les deux directions. Vérifier la continuité à la terre en un autre point du circuit en débranchant le transformateur.
- b) Si le circuit est bien bouclé au poste électrique et s'il n'y a qu'un seul circuit ouvert, on devrait obtenir la continuité dans un sens, mais pas dans l'autre, en direction du milieu qui est mis à la terre.
- c) Une fois le conducteur à la terre identifié, un autre électricien devrait se rendre au point milieu pour déconnecter et reconnecter le fil de la terre dans une direction, puis dans l'autre, pour déterminer celle qui contient le circuit ouvert.
- d) Passer ensuite à un point à mi-chemin entre la position présente et le point milieu mis à la terre du segment du câble qui est en circuit ouvert, puis prendre une autre mesure. Si la lecture indique une terre en direction du point milieu du circuit, il est possible de conclure que le circuit ouvert se trouve en arrière ou entre le point de mesure actuel et le dernier vérifié. En déplaçant le point de mise à la terre intentionnelle et en vérifiant la continuité de chaque segment du circuit, il est possible de repérer rapidement le ou les circuits ouverts.

16.6 DÉFAUTS DE CONTACTS INTEMPESTIFS ENTRE DES CIRCUITS

16.6.1 Sur les aéroports qui comportent des circuits multiples, il n'est pas rare de constater des défauts d'interconnexion intempestive entre deux circuits qui devraient être indépendants. On peut classer ces défauts d'interconnexion en deux grandes catégories. La première correspond au cas de deux ou plusieurs circuits qui contiennent des terres et/ou des circuits ouverts créant des connexions électriques entre circuits. La seconde catégorie correspond à deux ou plusieurs circuits qui ne contiennent pas de défauts, mais sont reliés par couplage capacitif.

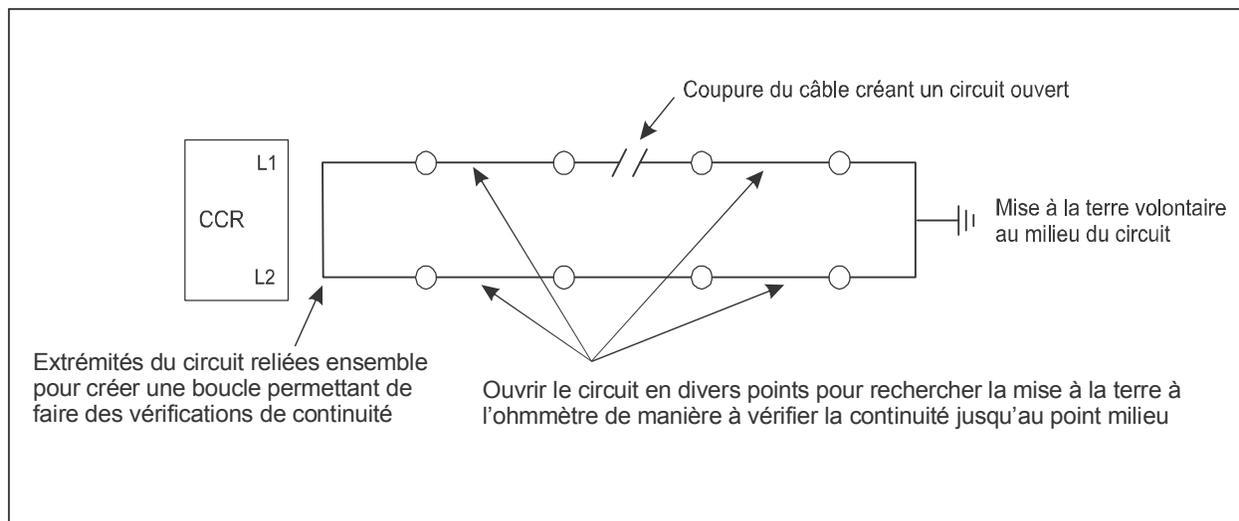


Figure 16-5. Localisation des défauts de circuit ouvert

16.6.2 Lorsque plusieurs circuits contiennent des défauts créant des interconnexions, il y a un tronçon du câble primaire qui est commun à tous les circuits en cause, comme le montrent les Figures 16-6 et 16-7. La cause la plus courante de ce problème est l'existence de plusieurs défauts à la terre. Une vérification de continuité entre les circuits suspects permettra de confirmer s'ils sont électriquement reliés. Pour identifier cette situation, il faut débrancher et isoler les fils de sortie du régulateur *B* pour pouvoir isoler le défaut dans le circuit du régulateur *A*. Cela suffira généralement à identifier le « tronçon commun » créé par les défauts.

16.6.3 La Figure 16-7 illustre ce qui peut se produire lorsque deux courts-circuits entre charges existent entre les circuits. L'important est d'observer l'intensité des feux, car ceux qui se trouvent entre les ponts de court-circuit sembleront faibles dans les deux circuits (parce que le courant se divise). Si on n'observe pas les feux allumés dans la charge *B*, il est facile de confondre cette situation avec les symptômes de deux terres dans le même circuit. L'indice à ne pas manquer est la série de feux allumés dans la charge *B*. En roulant le long du circuit, on peut localiser les transitions d'intensité (pleine/faible) et donc l'emplacement des courts-circuits. Si la charge située entre les courts-circuits de *A* est beaucoup plus grande (plus de feux) que celle entre les courts-circuits de *B*, il est évident que ces feux (les moins nombreux) seront plus intenses. Dans l'illustration, il y a le même nombre de feux entre les courts-circuits et le courant se partage donc également entre les deux chemins de charge.

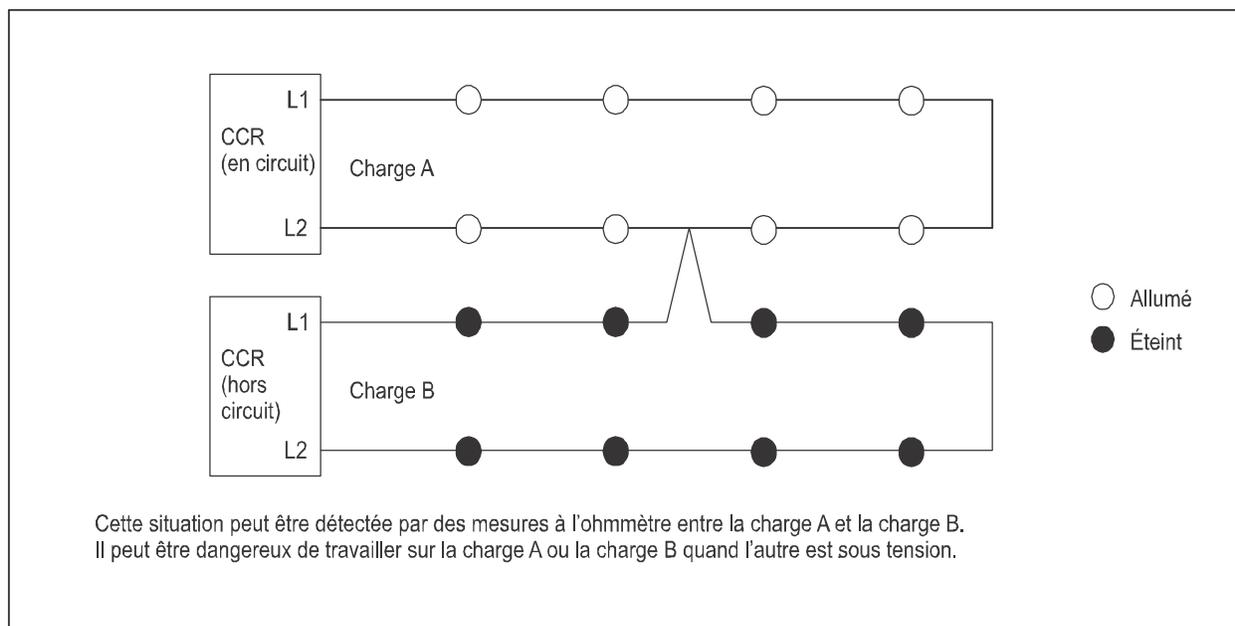


Figure 16-6. Défaut unique créant un pont entre les deux circuits

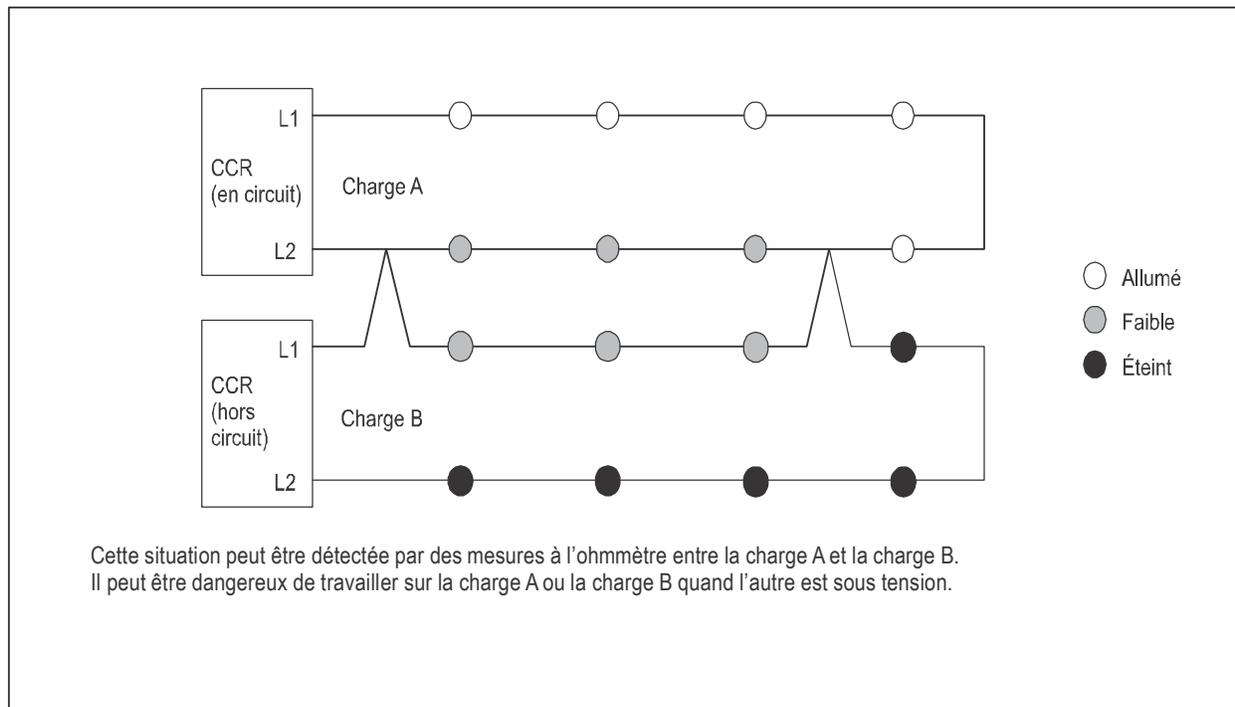


Figure 16-7. Deux défauts entre les deux circuits (interconnexion)

16.6.4 Il se produit un défaut de couplage capacitif lorsque deux ou plusieurs circuits série sont disposés parallèlement et très proches les uns des autres. Cette situation crée un problème au niveau des circuits surveillés car les courants induits peuvent simuler des défauts localisés. Une vérification de continuité entre les circuits suspects permettra de confirmer qu'il n'y a pas d'interconnexion entre eux. Pour corriger un problème de couplage capacitif, il suffit d'inverser les fils de sortie au niveau des régulateurs concernés. Cela devrait supprimer l'effet de couplage capacitif.

16.7 ESSAI DE MISE À LA TERRE INTENTIONNELLE

Note 1.— AVERTISSEMENT! Les méthodes et les procédures de dépannage décrites dans les paragraphes qui suivent mettent en jeu des tensions dangereuses et devraient être réservées à des électriciens qualifiés respectant les procédures de sécurité appropriées. Bien qu'elle soit utile ou nécessaire dans certains cas, il faut se souvenir que cette méthode est par nature « destructive » et, si elle est pratiquée sans précaution, peut causer plus de dommages dans le circuit de balisage.

Note 2.— La méthode de dépannage ci-après est un « essai destructif » que l'on doit réserver à des situations où l'urgence ou la difficulté des mesures à l'ohmmètre ou au contrôleur de résistance d'isolement ne permet pas de pratiquer un dépannage traditionnel. Un exemple d'application serait le cas de circuits directement enfouis pour lesquels le dépannage traditionnel est long et difficile puisqu'il consiste à excaver chaque connexion à tester. Une autre application de ce type de dépannage serait le cas d'un circuit de piste hors service dans lequel il est essentiel de rétablir le balisage pour permettre la reprise des opérations de trafic aérien. Cette méthode s'applique à des circuits ayant une très faible résistance à la terre au point de défaut, généralement de 1 000 ohms ou moins. Il est à noter que les petits régulateurs (10 kW ou moins) peuvent ne pas fournir assez de courant pour qu'elle soit efficace.

16.7.1 La mise à la terre intentionnelle constitue une autre méthode pour localiser un défaut à la terre unique, comme le montrent les schémas (a) et (b) de la Figure 16-8. Si la mesure de la résistance d'isolement indique une terre dans le circuit et que les inspections visuelles ne permettent pas de conclure, on pourra procéder de la manière suivante pour localiser le défaut.

- a) Avant tout, couper et cadenasser le régulateur. Ensuite, étiqueter les deux fils de sortie du régulateur « L1 » et « L2 ».
- b) Brancher un transformateur AGL de 45 W et un feu témoin entre la sortie « L1 » du régulateur et la terre, comme le montre la Figure 16-8. La résistance à la terre de la connexion d'essai doit être faible. Ensuite, mettre le régulateur sous tension en se tenant à l'écart du montage d'essai. Si le feu témoin s'allume, c'est qu'il y a au moins un défaut à la terre dans le circuit. L'intensité lumineuse du feu témoin est inversement proportionnelle à la résistance créée par le ou les défauts à la terre. Avec le régulateur sous tension, effectuer une inspection visuelle des feux sur le terrain.
- c) Une série de feux adressables faiblement allumés ou éteints est le signe d'un défaut à la terre entre le dernier feu allumé normalement et le premier feu éteint ou faible. Marquer le point de transition.
- d) Si tous les feux sont faibles ou éteints, le défaut à la terre se trouve entre la sortie « L2 » et le premier feu de balisage de ce côté du circuit.
- e) Si tous les feux semblent allumés normalement, le défaut à la terre se trouve entre la sortie « L1 » et le premier feu de balisage de ce côté du circuit.
- f) Couper et cadenasser le régulateur. Transférer le transformateur et le feu témoin de la sortie « L1 » à la sortie « L2 » (voir Figure 16-8). Mettre le régulateur sous tension : le feu témoin devrait s'allumer. Effectuer une inspection visuelle des feux sur le terrain.
- g) S'il y a une série de feux adressables faiblement allumés ou éteints et si le point de transition de « bons à défectueux » est à l'endroit marqué à l'étape c), le circuit a une seule mise à la terre à cet endroit. [Le point de transition est le même, mais les feux qui étaient allumés à l'étape c) doivent maintenant être éteints, et ceux qui étaient éteints à l'étape c) doivent maintenant être allumés.] Couper et cadenasser le régulateur. Vérifier les paires de connecteurs, les épissures de câble, etc., entre les deux feux adressables de la zone marquée et réparer ou remplacer les éléments soupçonnés d'être défectueux. À ce point, on peut utiliser un multimètre analogique ou un contrôleur de résistance d'isolement pour vérifier l'état des transformateurs, etc. Une fois le défaut à la terre éliminé, le feu témoin ne devrait plus s'allumer quand on met le régulateur sous tension. Il faut toujours se tenir à l'écart du câble primaire tant que le régulateur est sous tension.
- h) S'il y a une série de feux adressables faiblement allumés ou éteints et si le point de transition de « bons à défectueux » **n'est pas** à l'endroit marqué à l'étape c), il y a au moins deux mises à la terre dans le circuit. Marquer le nouveau point de transition. Couper et cadenasser le régulateur. Vérifier les connecteurs, le câble, le transformateur, etc., entre les deux feux adressables adjacents à la nouvelle marque de transition et réparer ou remplacer les éléments défectueux présumés. Après chaque réparation, remettre le régulateur sous tension et effectuer une nouvelle inspection visuelle du circuit. Comme auparavant, il faut se tenir loin du câble primaire sous tension et toujours cadenasser le régulateur avant de toucher au câble. Le point de transition de « bons à défectueux » devrait s'être déplacé en direction de la marque faite à l'étape c). Continuer à répéter cette séquence jusqu'à ce que la dernière terre ait été réparée et que le feu témoin ne s'allume plus lorsqu'on met le régulateur sous tension.

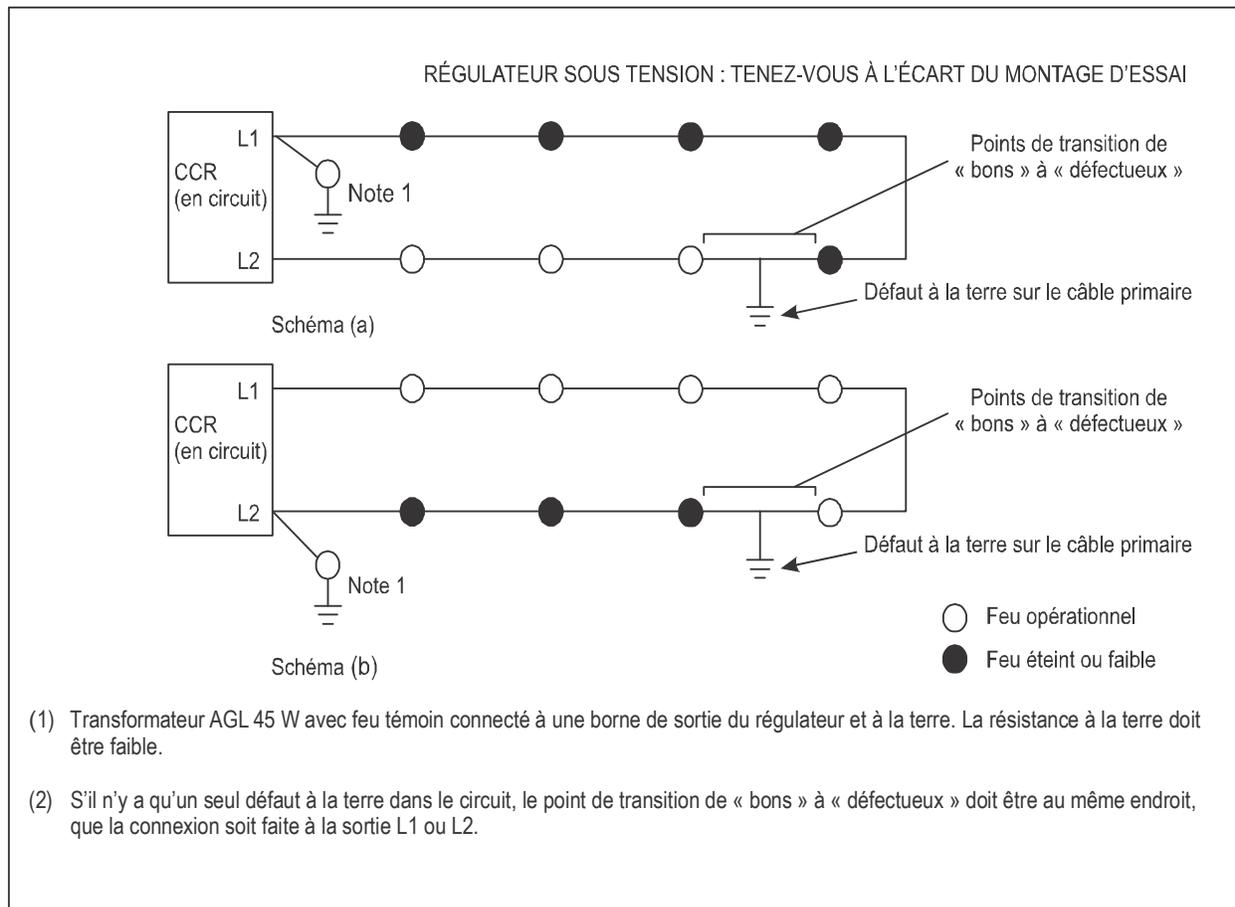


Figure 16-8. Essai avec mise à la terre intentionnelle

- i) Si tous les feux semblent correctement allumés, le défaut à la terre se trouve entre la sortie « L2 » et le premier feu de ce côté du circuit, le même qui a été testé à l'étape d). Couper et cadenasser le régulateur. Procéder de la même manière sur les feux de balisage en direction de la sortie « L2 ». Vérifier le câble, les connecteurs, les épissures, etc., et réparer ou remplacer tout élément suspect. Le défaut à la terre a été éliminé lorsque le feu témoin ne s'allume plus à la mise sous tension du régulateur.
- j) Si tous les feux sont faibles ou éteints, le défaut à la terre se trouve entre la sortie « L1 » et le premier feu de ce côté du circuit, le même qui a été testé à l'étape e). Couper et cadenasser le régulateur. Procéder de la même manière sur les feux de balisage en direction de la sortie « L1 ». Vérifier le câble, les connecteurs, les épissures, etc., et réparer ou remplacer tout élément suspect. Le défaut à la terre a été éliminé lorsque les feux adressables fonctionnent normalement et que le feu témoin ne s'allume plus lorsque le régulateur est mis sous tension. Retirer le ou les fanions de marquage sur le terrain.

16.7.2 En l'absence d'un contrôleur d'isolement, l'essai de mise à la terre intentionnelle peut être modifié pour devenir un outil utile de maintenance préventive, comme le montre la Figure 16-9. Connecter le transformateur et le feu témoin à la sortie du régulateur au niveau d'un coupe-circuit. Après avoir enlevé la barre du coupe-circuit, faire une mise

à la terre intentionnelle du circuit. Une fois par mois, couper le régulateur et retirer la barre du coupe-circuit. Mettre le régulateur sous tension en le réglant au niveau le plus haut et observer le feu témoin. Si le circuit contient un défaut à la terre, le feu s'allumera. L'intensité du feu est inversement proportionnelle à la résistance à la terre. Le principal avantage de ce test répété régulièrement est qu'il facilite la détection et la localisation d'un défaut à la terre unique, avant que d'éventuels défauts multiples ne compliquent l'aspect visuel du circuit. En règle générale, si le feu s'allume, il y a une terre à localiser et à réparer. Cette procédure devrait être incluse dans la routine de maintenance préventive et permet d'anticiper les problèmes créés par les mises à la terre.

16.8 ESSAI AVEC SORTIE À LA TERRE POUR LOCALISER LES CIRCUITS OUVERTS

16.8.1 L'essai avec sortie à la terre est similaire à celui qui est utilisé pour localiser les défauts à la terre. Pour que cet essai fonctionne, le défaut de circuit ouvert doit être solidement à la terre, comme le montre la Figure 16-10. Si le conducteur coupé n'est pas à la terre ou s'il l'est avec une trop grande résistance, cette méthode ne fonctionnera qu'avec les régulateurs les plus puissants. Après avoir vérifié que le régulateur est bien coupé, étiqueter ses fils « L1 » et « L2 ». Retirer « L1 » de la borne du régulateur. Placer un chapeau ou du ruban isolant sur l'extrémité nue du fil « L1 ». S'assurer qu'il ne touche rien et rester à l'écart lorsque le régulateur est sous tension. Ensuite, mettre à la terre la borne de sortie du régulateur qui portait le fil « L1 ». Là encore, la résistance à la terre de la connexion doit être aussi basse que possible. Remettre le régulateur sous tension à son niveau le plus haut. Se tenir à distance de la connexion à la terre.

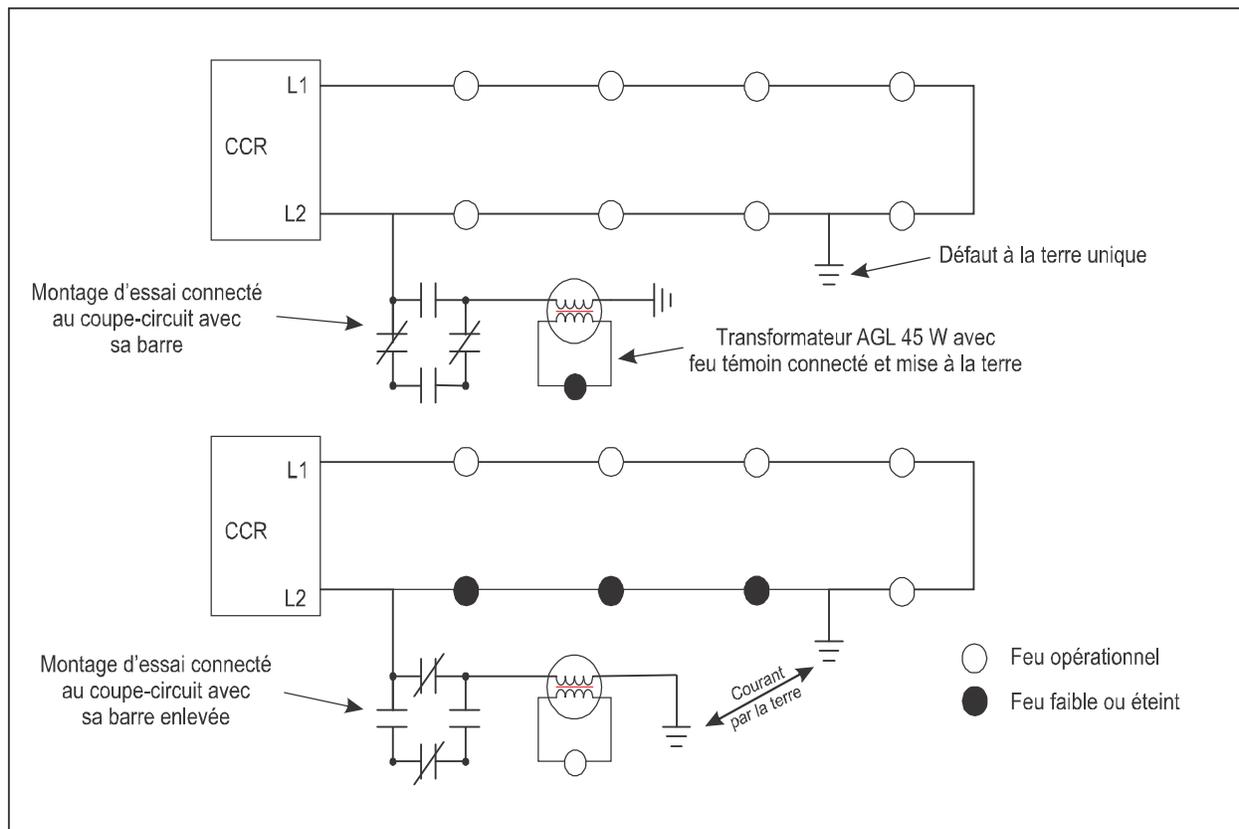


Figure 16-9. Mise à la terre intentionnelle utilisée comme technique de maintenance préventive

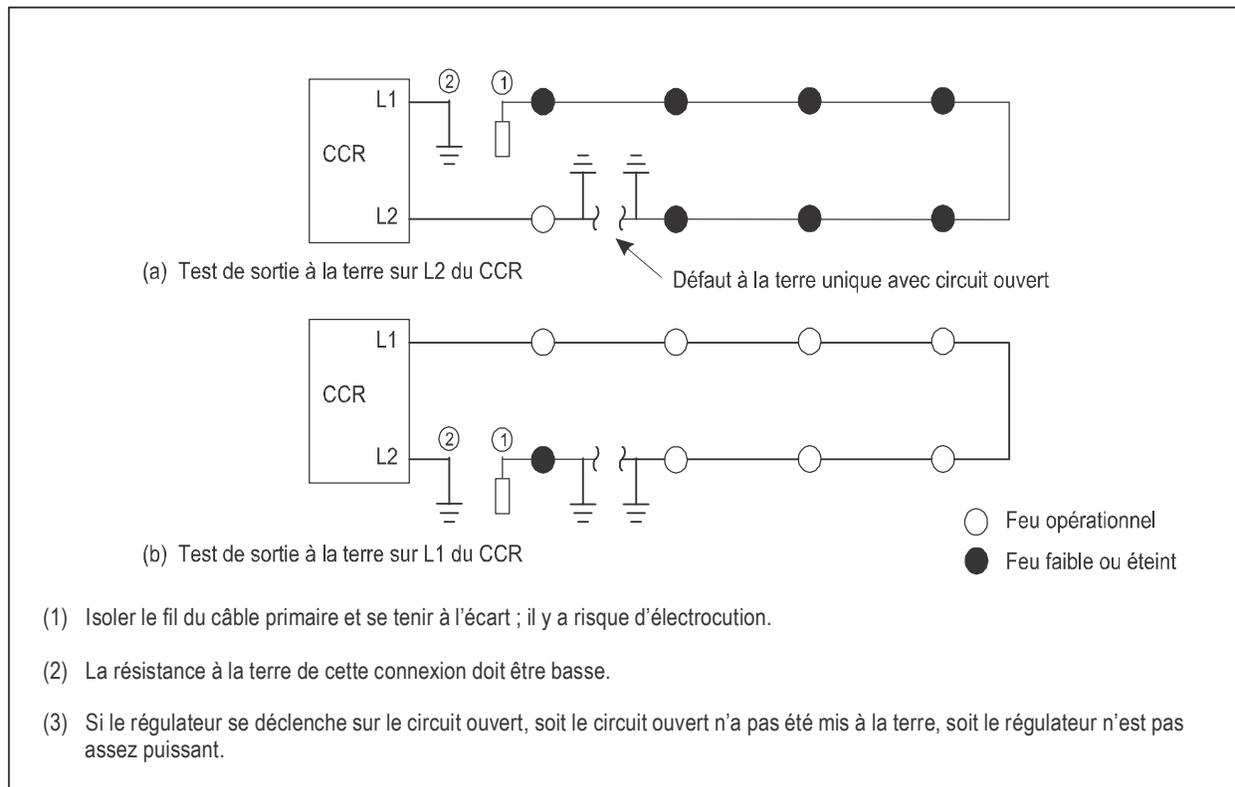


Figure 16-10. Essai avec sortie à la terre

16.8.2 Si la protection de circuit ouvert du régulateur se déclenche, ne pas tenter de le réarmer. Soit le régulateur n'est pas assez puissant, soit la résistance à la terre du défaut est trop grande. Dans la plupart des cas, les régulateurs 4 et 7,5 kW n'ont pas assez de puissance pour conduire l'essai si la résistance du défaut à la terre est appréciable. Idéalement, le meilleur régulateur à utiliser pour cet essai serait un 30 kW pour les circuits à 6,6 A, et un 70 kW pour les circuits à 20 A. Si possible, brancher le circuit à tester au plus gros régulateur du poste électrique et recommencer l'essai. Si le circuit ne peut pas être alimenté, le dépannage du circuit ouvert devra se faire à l'ohmmètre ou au mégohmmètre (voir section 16.5).

16.8.3 Si le régulateur reste en circuit et débite un courant de sortie, le défaut de circuit ouvert peut être trouvé par l'essai avec sortie à la terre. Avec ce genre de montage, il est courant que la sortie du régulateur fluctue. Le régulateur ne risque pas d'être endommagé, mais il ne faut pas prolonger l'essai au-delà de ce qui est nécessaire pour localiser le défaut. Une fois le défaut réparé, le régulateur devrait fonctionner normalement. Avec le régulateur sous tension, effectuer une inspection visuelle du circuit de balisage. Les feux devraient être allumés sur une partie du circuit et éteints sur l'autre. Marquer le point de transition de « bons à défectueux ». Le défaut de circuit ouvert est situé entre le dernier feu allumé et le premier feu éteint. Si tous les feux sont allumés, le circuit ouvert se trouve entre la sortie « L1 » et le premier feu de ce côté du circuit. Si tous les feux sont éteints, le circuit ouvert se trouve entre la sortie « L2 » et le premier feu de ce côté du circuit. Couper et cadenasser le régulateur.

16.8.4 Supprimer la connexion de terre de la sortie du régulateur. Rebrancher le fil « L1 » à la borne du régulateur, puis retirer le fil « L2 ». Placer un chapeau ou du ruban isolant sur l'extrémité nue du fil « L2 » en veillant à ce qu'il ne touche rien et en se tenant à l'écart quand le régulateur est sous tension. Ensuite, mettre à la terre la borne de sortie du régulateur qui portait le fil « L2 ». Remettre le régulateur sous tension à son niveau le plus haut. Se tenir à distance de la connexion à la terre. Faire une inspection visuelle du circuit de balisage. Les feux qui étaient éteints dans

l'essai précédent devraient maintenant être allumés, et ceux qui étaient allumés devraient être éteints. L'aspect visuel du circuit devrait être exactement l'inverse de celui du § 16.8.3 avec le point de transition de « bons à défectueux » au même endroit. Si c'est le cas, le défaut de circuit ouvert se trouve entre les deux feux qui sont de part et d'autre du jalon de marquage. Couper et cadenasser le régulateur. Commencer à l'un des feux et avancer en direction du suivant en vérifiant les enroulements du transformateur AGL, les connexions, les épissures et le câble primaire pour rechercher les coupures. Réparer ou remplacer les éléments défectueux. Pour vérifier si le problème a bien été corrigé, mesurer à l'ohmmètre la résistance entre les sorties « L1 » et « L2 ». Si elle est inférieure à 700 ohms, il n'y a pas de circuit ouvert. Toute valeur au-dessus de 700 ohms indique la présence d'un défaut de circuit ouvert ou d'une résistance anormalement haute dans le circuit. Il faut se souvenir que chaque circuit a une résistance différente selon le nombre et la puissance des feux adressables, mais 700 ohms représentent un maximum pour tout circuit de balisage. Retirer la mise à la terre du régulateur et rebrancher la sortie « L2 ». Mettre le régulateur sous tension à son niveau le plus élevé pendant environ 30 minutes. Cette durée représente une double vérification de la bonne exécution des travaux de réparation. Effectuer une inspection visuelle du circuit et retirer le ou les jalons de marquage sur le terrain.

16.9 UTILISATION DE LA THERMOGRAPHIE POUR LOCALISER LES DÉFAUTS À LA TERRE

Lorsqu'il y a deux courts-circuits à la terre dans un circuit série souterrain, le courant qui circule à travers l'isolation du câble ou du transformateur dégage de la chaleur. Dans un circuit électrique, une connexion défectueuse peut produire des arcs électriques. Dans le cas d'un circuit série alimenté par un régulateur à courant constant, celui-ci produit de très hautes tensions et des arcs peuvent causer de sérieux dommages et un fort dégagement de chaleur. Certains aéroports ont appris à mettre à profit ces circonstances défavorables. À l'aide d'un thermomètre à infrarouge relativement peu coûteux, l'électricien peut mesurer la différence de température entre un feu normal et un équipement de balisage qui dégage une température anormalement élevée. Il existe des thermomètres à infrarouge à visée par laser qui sont efficaces à des distances assez grandes pour être déployés à bord d'un véhicule en mouvement. Avec cet instrument, l'électricien peut rouler sur la piste ou la voie de circulation pour vérifier la température de chaque feu ou de son socle en concentrant son attention sur celui qui est plus chaud que les autres. Cette méthode s'est révélée très économique et rapide sur plusieurs aéroports.

16.10 UTILISATION D'ÉQUIPEMENTS DE DÉTECTION POUR LOCALISER LES DÉFAUTS À LA TERRE

Les technologies de localisation des câbles et de détection des défauts ont fait de grands progrès ces dernières années et de nombreux fabricants offrent des équipements capables de localiser un câble souterrain et de détecter les défauts de blindage ou les courts-circuits à la terre. Ces équipements comprennent un émetteur et un récepteur généralement monté sur une remorque tirée par un véhicule. Un tel équipement permet de détecter rapidement les défauts à la terre des câbles enfouis et leur localisation peut être très précise.

Chapitre 17

ÉQUIPEMENT D'ESSAI ÉLECTRIQUE

17.1 GÉNÉRALITÉS

17.1.1 Cette section décrit différents types d'équipements électriques utilisables pour la maintenance des systèmes d'aides lumineuses. Ces équipements sont cités dans l'ordre de leur efficacité relative. Pour la maintenance, il est recommandé que chaque installation dispose d'au moins un multimètre et un contrôleur d'isolement. Ces deux appareils sont nécessaires pour la plupart des procédures de maintenance et sont particulièrement utiles pour le dépannage. Le manuel du fabricant fourni avec l'équipement contient les instructions d'utilisation. Cependant, des vérifications périodiques devraient être effectuées sur l'ensemble des appareils d'essai et de mesure pour s'assurer de leur bon fonctionnement.

17.1.2 Les procédures techniques d'essai et de mesure décrites ci-après sont évidemment soumises aux règles de sécurité locales.

Sécurité — Gants isolants

17.1.3 Les organismes chargés de la santé et de la sécurité au travail (comme l'OSHA aux États-Unis) imposent que les employés qui travaillent sur les systèmes électriques d'aérodrome doivent porter des équipements de protection individuelle (EPI) contre les chocs électriques. Ces mesures comprennent des gants isolants en caoutchouc et des gants de protection en cuir. Bien qu'en règle générale, il soit déconseillé de travailler sur des circuits sous tension, il n'est pas toujours possible de l'éviter. De plus, des câbles et d'autres circuits présents dans une même chambre de visite ou un même boîtier de transformateur et que l'on suppose coupés de leur source d'alimentation peuvent en fait être sous tension à cause de défauts d'interconnexion entre les circuits. D'une manière générale, les personnes qui effectuent des essais ou des recherches sur les circuits d'aérodrome devraient toujours porter des gants isolants.

17.1.4 Les gants isolants devraient être certifiés et inspectés avant chaque utilisation quotidienne et immédiatement après un incident qui peut raisonnablement avoir causé des dommages. Avant chaque utilisation, les articles en caoutchouc doivent être inspectés visuellement en recherchant les trous, les filaments métalliques, les déchirures ou les accrocs, la détérioration par l'ozone, par les UV et par les produits chimiques. Les gants isolants devraient subir une épreuve de vérification périodique au minimum tous les 6 mois.

17.2 MULTIMÈTRE ANALOGIQUE (VOM = VOLT-OHM-MILLIAMPÈRE)

17.2.1 Le multimètre analogique est un instrument de mesure extrêmement utile pour les tensions alternatives et continues, les résistances et les faibles intensités en courant continu. Les appareils de bonne qualité ont une précision raisonnable et sont assez robustes pour effectuer de nombreux types de mesure dans des conditions différentes. Leur usage le plus fréquent est la mesure de résistance dans les circuits série pour le dépannage et la recherche des défauts. Le multimètre analogique est également utile pour observer des variations et des tendances fluctuantes, ainsi que pour de rapides vérifications de type tout ou rien.

17.2.2 Un multimètre analogique a cependant certaines limitations. En particulier, sa faible impédance d'entrée et sa sensibilité au brouillage électromagnétique ne permettent pas de faire certaines mesures, particulièrement sur des circuits électroniques ou dans un environnement exposé aux radiofréquences (RF). Il faut également se souvenir qu'un multimètre ne permet pas de faire des mesures d'intensité importantes, en particulier dans des circuits série de balisage, car il n'est pas conçu pour fournir les valeurs efficaces (RMS) vraies avec une haute précision.

Sécurité

17.2.3 Les aspects de sécurité doivent être pris en compte lorsqu'on utilise un multimètre. Les niveaux de tension et les risques de chocs des équipements à vérifier doivent être connus. Avant tout, le multimètre doit avoir été testé et étalonné. D'une manière générale, les équipements de mesure portatifs devraient être inspectés et calibrés une fois par an. Avant de faire des mesures, il est important de vérifier l'état des fils des sondes du multimètre. Les recommandations de sécurité générales pour des utilisations spécifiques du multimètre sont données dans le manuel du fabricant fourni avec l'équipement.

- a) *Mesures en haute tension.* On ne doit jamais chercher à prendre des mesures directes sur des circuits de distribution dont la tension est supérieure à 600 V. Ce genre de mesure doit se faire par l'intermédiaire de transformateurs spécialement adaptés à l'instrument de mesure.
- b) *Réglage du multimètre.* Pour les mesures de tensions sur des circuits d'alimentation et de commande, il faut d'abord s'assurer que les sélecteurs de fonction et de plage du multimètre sont dans la bonne position pour le circuit à vérifier avant de toucher les conducteurs avec les sondes. Pour éviter d'endommager le multimètre, il faut toujours choisir une plage qui produit une déviation de l'aiguille sur une partie de l'échelle. La précision est la meilleure quand l'aiguille est entre le tiers et la moitié de l'échelle.
- c) *Isolation du boîtier.* Le multimètre ne doit pas être tenu à la main pour les mesures. Poser l'instrument sur une surface plane. S'il doit tout de même être tenu à la main, il ne faut pas compter sur l'isolation du boîtier pour la protection contre les chocs électriques.

17.3 MULTIMÈTRE NUMÉRIQUE (DMM)

17.3.1 Le multimètre numérique est un autre instrument essentiel de la boîte à outils de l'électricien. Il combine la souplesse d'emploi avec une haute précision et, grâce à une gamme d'accessoires, il permet de faire des mesures très diverses. Le meilleur conseil pour l'achat de ce type d'instrument est de choisir le meilleur que l'on peut se payer. Il faut vérifier que le multimètre est véritablement conçu pour donner les valeurs efficaces (RMS) vraies et que les accessoires qui l'accompagnent sont de la meilleure qualité pour une haute précision.

17.3.2 Un multimètre numérique associé à une pince ampèremétrique de bonne qualité est une excellente combinaison pour mesurer l'intensité de sortie des régulateurs à courant constant. Vérifier que tous les accessoires répondent aux exigences de précision des mesures prévues. Veiller à ce que le multimètre et tous ses accessoires sont vérifiés et calibrés chaque année par un laboratoire d'étalonnage, dans les plages de mesures utiles. Dans le cas des circuits série de balisage d'aéroport, la plage utile de calibration est 2,8 à 20 A.

Sécurité

17.3.3 Toutes les précautions de sécurité indiquées pour les multimètres analogiques s'appliquent également aux multimètres numériques.

17.4 CONTRÔLEUR DE RÉSISTANCE D'ISOLEMENT (MÉGOHMMÈTRE)

17.4.1 Le contrôleur de résistance d'isolement ou mégohmmètre est un instrument indispensable pour l'entretien et le dépannage des câbles souterrains qui font partie des circuits série de balisage d'aéroport. Il permet de mesurer la résistance d'isolement à la terre des câbles souterrains, de mesurer la résistance d'isolement entre les conducteurs et de mesurer la résistance à la terre ou entre les enroulements des transformateurs, des moteurs, des régulateurs, etc. Les modèles fonctionnant sur batterie sont les plus répandus et ils se présentent sous des formes et des tailles diverses, avec affichage analogique ou numérique. La plupart des modèles numériques sont capables de produire un graphique à barres analogique qui complète les lectures numériques. Les instruments haute tension devraient comporter un voltmètre et un microampèremètre de précision pour mesurer à la fois la tension appliquée au circuit et le courant de fuite de l'isolation.

17.4.2 Une considération importante dans le choix d'un contrôleur de résistance d'isolement est sa tension de sortie. Certains modèles fonctionnant sur batterie et sur secteur ont des tensions de sortie sélectionnables qui peuvent aller jusqu'à 5 000 V en courant continu. Il faut choisir au minimum un contrôleur de résistance d'isolement ayant une tension de sortie de 1 000 V. Une tension maximale supérieure offre plus de possibilités pour détecter les défauts à haute résistance et pour se rapprocher de la tension nominale des câbles et des transformateurs. Il faut cependant noter que les câbles anciens de qualité douteuse ou les circuits qui ont fonctionné à des tensions beaucoup plus basses risquent d'être endommagés par des tests à plus de 1 000 V. L'utilisateur doit être prudent lorsqu'il contrôle pour la première fois des circuits anciens.

Sécurité

17.4.3 Les précautions suivantes doivent être observées :

- a) Ces essais doivent être supervisés de près par du personnel qualifié pour s'assurer que les tensions ne sont pas excessives.
- b) Avant de faire une mesure de résistance d'isolement, il faut procéder à une vérification de sécurité complète. L'équipement en essai doit être débranché de toutes ses sources d'alimentation. Ouvrir tous les commutateurs de sécurité et cadenasser les autres équipements de contrôle de façon à interdire toute mise sous tension accidentelle.
- c) Si les conducteurs de neutre ou de masse doivent être débranchés, il faut s'assurer qu'ils ne conduisent pas de courant et que leur déconnexion ne compromet pas la protection d'autres équipements.
- d) Observer la tension nominale du contrôleur et prendre des mesures de protection appropriées.
- e) Les équipements de grande taille et les longs câbles ont des capacités suffisantes pour accumuler des niveaux d'énergie dangereux à partir du courant d'essai. Après avoir pris les mesures de résistance et avant de manipuler les conducteurs d'essai, il est important de laisser l'énergie accumulée se décharger d'elle-même en maintenant le contrôleur branché pendant au moins 30 secondes avant de toucher les fils. De nombreux modèles de contrôleurs modernes ont une fonction de décharge automatique de l'énergie de l'équipement en essai et fournissent à l'utilisateur une indication visuelle ou sonore indiquant qu'il peut débrancher les fils sans risques. Consulter les instructions du manuel du fabricant de l'équipement.
- f) Le contrôleur ne doit pas être utilisé en atmosphère explosive. Une explosion peut se produire sous l'effet des petites étincelles qui se produisent lors de la connexion ou de la déconnexion des sondes d'essai, ou sous l'effet des arcs qui se forment dans ou sur une isolation défectueuse.

17.5 MESURES DE RÉSISTANCE D'ISOLEMENT

17.5.1 Dans le cadre de la maintenance préventive (PM), des vérifications régulières des circuits de balisage d'aéroport sont essentielles pour la fiabilité des opérations. En raison des très hautes tensions de fonctionnement, les composants du circuit série sont très exposés à des défaillances.

17.5.2 Des mesures de résistance d'isolement doivent être effectuées au moins une fois par mois sur tous les circuits de balisage. Si les installations de l'aéroport sont vieilles ou détériorées, il est recommandé de procéder à des vérifications hebdomadaires. La plupart des pannes potentielles peuvent être détectées durant la journée, avant qu'elles ne causent des problèmes ; les mesures préventives de résistance d'isolement devraient devenir une habitude. Des fiches d'essai contenant l'identification du circuit, la date et les résultats des mesures devraient être conservées dans le local du régulateur. Ces fiches devraient également servir à noter les circonstances particulières, comme les conditions météorologiques au moment de l'essai, l'activité orageuse récente, ainsi que l'emplacement des pannes et leurs causes, le cas échéant. La Figure 17-1 est un modèle de formulaire à cet effet.

17.5.3 Lors des essais sur des circuits anciens, particulièrement ceux qui fonctionnent normalement à basse tension, l'utilisation d'un contrôleur à 5 000 V peut mettre en évidence un défaut non détecté, comme un point faible dans un câble ou un transformateur. Lorsqu'on fait des contrôles à des tensions supérieures à 1 000 V, il est recommandé d'être prêt à effectuer immédiatement les réparations nécessaires.

17.5.4 Pour les mesures de résistance d'isolement faites dans le cadre de la maintenance préventive, il faut s'efforcer de respecter les mêmes conditions d'une fois à l'autre. Différentes circonstances peuvent influencer les résultats des mesures. Par exemple, pour obtenir des résultats précis et comparables, la durée de l'essai devrait être la même à chaque fois, de même que la tension d'essai.

FICHE D'ESSAI DE CIRCUIT DE BALISAGE D'AÉROPORT			
Poste ou sous-station _____			
Identification du circuit _____			
DATE	OHMS	CONDITIONS MÉTÉO ET OBSERVATIONS	INITIALES

Figure 17-1. Formulaire de fiche d'essai

17.5.5 Pour les mesures de résistance d'isolement, une considération importante est le temps que la lecture met pour atteindre son maximum. La principale cause de ce retard à indiquer la pleine charge est l'effet d'absorption diélectrique. Dans la pratique, la lecture peut prendre plusieurs minutes avant d'atteindre son maximum absolu. Il faut donc spécifier une durée minimale des mesures, sur la base de l'expérience.

17.5.6 Pour des mesures de résistance d'isolement faites à court terme, l'instrument devrait être laissé en circuit pendant une période prédéterminée, disons 30 secondes à 1 minute, après quoi la valeur peut être relevée. Cette période devra être respectée pour les mesures futures.

17.5.7 D'autres variables, comme le degré d'humidité, les conditions météorologiques et l'heure du jour, peuvent influencer les lectures. Idéalement, les mesures devraient être faites sur des circuits qui sont restés hors tension pendant plusieurs heures. Immédiatement après le fonctionnement du circuit, les lectures sont parfois plus élevées. Ce phénomène est un signe de la détérioration de l'isolation des transformateurs et aussi des câbles, qui tend à laisser entrer l'humidité. Lorsque le circuit est sous tension, l'échauffement des conducteurs chasse l'humidité de l'isolant et produit des lectures artificiellement hautes.

17.5.8 Il n'y a pas de valeur idéale pour les mesures de résistance d'isolement des circuits série, car elle dépend de la longueur du circuit, de son vieillissement, etc. La meilleure règle pour prendre une décision est de tenir compte de l'expérience passée sur la même installation. Chaque circuit peut être différent en fonction de son vieillissement, du fabricant des câbles et de l'équipement, des méthodes d'installation (enfouissement direct ou pose en conduits), des conditions météorologiques locales, et de la quantité d'humidité normalement présente dans le système.

17.5.9 La décision de considérer qu'un circuit est défectueux et d'entreprendre des réparations préventives peut varier d'un circuit à l'autre dans une même installation. D'une manière générale, on peut dire qu'un circuit ayant une résistance d'isolement inférieure à 1 mégohm constitue un risque de panne dans un avenir rapproché. La durée de vie d'un circuit dépend de la tension de son régulateur, du type de défaut et de la présence d'humidité à l'endroit considéré. Plus le circuit est important, en termes de kilowatts, plus la tension de sortie est élevée et plus l'état de l'isolation devient critique.

17.5.10 Le renseignement le plus important sur l'état de l'isolation est la décroissance de la résistance à la terre au fil des mois et des années. Il est inévitable que la résistance diminue au cours de la vie du circuit. Une baisse de 10 à 20 % par an est considérée comme normale. Par contre, une baisse annuelle de 50 % (4 % par mois) ou plus traduit l'existence d'un problème électrique (comme une forte résistance à la terre) ou une sérieuse dégradation de l'isolation du circuit. En pareil cas, c'est au responsable de la maintenance de décider s'il faut entreprendre une procédure de dépannage pour identifier le problème. Le Tableau 17-1 donne les valeurs typiques de la résistance à la terre d'une boucle de circuit.

Tableau 17-1. Valeurs de résistance suggérées pour la maintenance

<i>Longueur du circuit</i>	<i>Minimum suggéré pour la résistance à la terre</i>
Moins de 3 000 m	50 mégohms
3 000 m à moins de 6 000 m	40 mégohms
6 000 m et plus	30 mégohms

17.5.11 Il est à noter que la résistance d'isolement prescrite pour les nouvelles installations aura un effet considérable sur les frais d'entretien des circuits série de balisage après l'installation et l'acceptation. La tendance pour les nouvelles installations est de poser les câbles dans des conduits et les feux dans des embases étanches, plutôt que de les enfouir directement. Comme on peut obtenir des résistances initiales de 500 mégohms et plus, cette valeur devrait figurer dans le cahier des charges (voir Figure 17-2).

17.6 LOCALISATEUR DE CÂBLES ET DE DÉFAUTS

17.6.1 Un localisateur de câbles est un instrument indispensable pour inspecter rapidement les câbles et les conduits des circuits de balisage. Cet instrument est normalement constitué d'un émetteur qui est couplé directement (ou indirectement au moyen d'un coupleur à induction) au câble souterrain, et d'un récepteur permettant de recevoir le signal rayonné sur la longueur du câble. Les localisateurs de câbles sont très commodes pour suivre le tracé d'un conducteur lorsqu'on vérifie des câbles circulant dans des conduits de PVC, et plus encore, lorsqu'il s'agit de câbles enfouis directement.

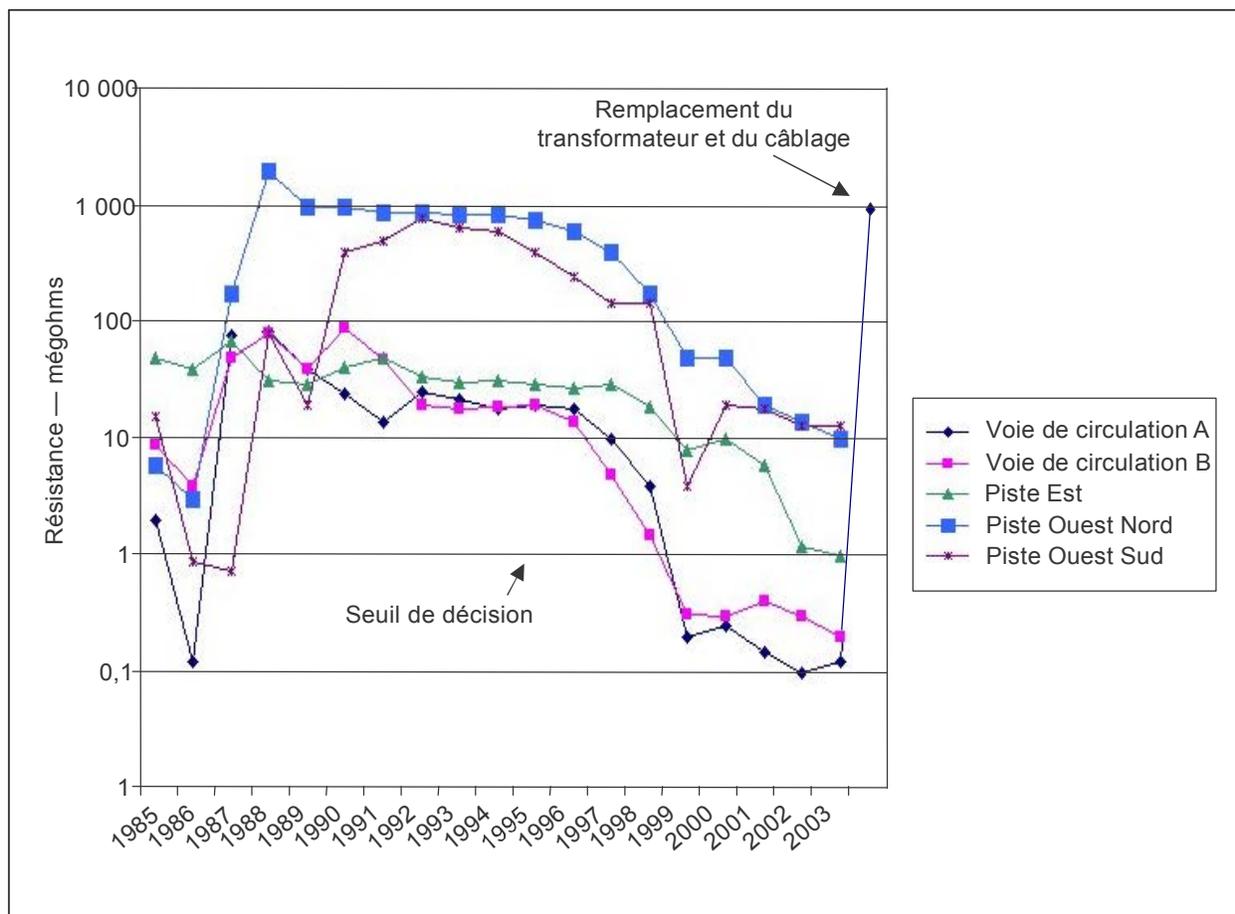


Figure 17-2. Exemple de graphique des mesures de résistance d'isolement

17.6.2 Pour des travaux d'excavation quelconques faits sur l'aéroport, il est nécessaire de disposer d'un localisateur qui évitera de couper des câbles par inadvertance. La plupart des récepteurs ont également la capacité de localiser des câbles à courant alternatif 60 Hz, sans qu'il soit nécessaire d'injecter un signal ou une tonalité dans le conducteur. Si les circuits de l'aéroport sont alimentés par des conducteurs directement enfouis ou utilisent des câbles de commande directement enfouis, il est recommandé de se procurer un localisateur offrant également la fonction de détection des défauts à la terre. Ces instruments ne permettent toutefois pas de détecter les défauts de câbles posés dans des conduits. Les localisateurs de câbles offrant la fonction de détection de défauts utilisent normalement une sonde montée sur remorque et utilisée avec le récepteur pour déterminer la direction dans laquelle se trouve un défaut entre le conducteur ou le blindage et la terre.

Sécurité

17.6.3 Lorsqu'on utilise un émetteur directement connecté au conducteur pour une localisation ou des essais, il faut toujours prendre soin de couper, cadenasser et étiqueter la source d'alimentation du circuit.

17.7 LOCALISATEUR DE DÉFAUTS À HAUTE RÉSTANCE

17.7.1 Un localisateur de défauts à haute résistance utilise un pont de Wheatstone modifié dans lequel deux segments du conducteur défectueux (de part et d'autre du défaut) représentent les deux branches extérieures du pont. Les deux autres branches sont internes à l'instrument. En utilisant un circuit détecteur à très haute résistance, il est possible de localiser les défauts à haute résistance. En pratique, ce montage de pont permet de localiser des défauts dont la résistance va de 0 à 200 mégohms avec une précision de $\pm 0,5\%$. L'erreur sur la position serait de l'ordre de 15 cm à 150 m, soit $\pm 0,10\%$.

17.7.2 Compte tenu de la haute sensibilité de ce montage d'essai, on peut souvent obtenir un équilibre (fausse détection) sur un conducteur normal (l'indication de défaut correspondant au milieu du conducteur). Ce défaut fictif résulte des fuites normales à travers l'isolation du câble et produit une lecture d'environ 50 % sur un câble normalement isolé de qualité uniforme et à une température uniforme. C'est pour cette raison que l'existence d'un défaut doit être confirmée par des mesures de résistance d'isolement avant de tenter d'en déterminer la position réelle le long du câble.

Sécurité

17.7.3 Avant de tenter une connexion quelconque, il faut s'assurer que tous les câbles à découvert sont hors tension.

17.8 AMPÈREMÈTRE À PINCE

17.8.1 Un ampèremètre à pince fournit la valeur efficace (RMS) vraie de l'intensité d'un courant alternatif. Certains modèles sont livrés avec des sondes interchangeables qui permettent d'utiliser l'instrument comme voltmètre ou comme ohmmètre. Pour mesurer la valeur efficace du courant, on utilise un type de sonde appelée « pince ampèremétrique ».

17.8.2 L'ampèremètre est l'instrument le plus important pour l'électricien et il doit s'agir d'un ampèremètre RMS. Les autres ampèremètres (qui fournissent une moyenne ou une indication de crête) ne sont pas adaptés aux circuits de balisage d'aéroport. Il faut savoir que des tolérances étroites sont essentielles au bon fonctionnement des feux de balisage. Une variation de 1 % de l'intensité peut faire varier l'intensité lumineuse (lumens) de près de 7 %. Les ampèremètres de moyenne et de crête ne mesurent pas correctement les formes d'onde non sinusoïdales et leur indication est inférieure aux niveaux réels du courant. Seuls les ampèremètres RMS sont capables de mesurer avec

précision les formes d'onde non sinusoïdales que produit un régulateur à courant constant associé à des charges de balisage. Comme la plupart des instruments sont étalonnés pour mesurer des intensités très supérieures à celles qui circulent dans les circuits de balisage, leur précision est douteuse dans le bas de l'échelle de mesure. Cet effet est particulièrement vrai dans le cas des circuits de balisage à lampes à DEL. Pour ce genre de circuit, il faut utiliser un ampèremètre à pince d'une précision de $\pm 2\%$ ou mieux, car de légères variations du courant dans le circuit série peuvent produire un changement important de l'intensité lumineuse des lampes et raccourcir sensiblement leur durée de vie. Il est même recommandé de faire vérifier l'instrument et de le faire calibrer dans la partie basse de sa plage de mesure par un laboratoire d'étalonnage officiel.

17.8.3 Un autre avantage des pinces ampèremétriques est qu'elles permettent de mesurer l'intensité sans interrompre le circuit ni entrer en contact direct avec le conducteur. À noter que les pinces ampèremétriques à effet Hall ne sont pas des accessoires recommandés, car elles ne fournissent pas une lecture RMS vraie des formes d'onde non sinusoïdales.

Sécurité

17.8.4 L'ampèremètre à pince réduit l'exposition de l'opérateur aux hautes tensions. Cependant, il est impératif d'observer les précautions de sécurité normales pour éviter de toucher à des conducteurs nus pendant les mesures. Pour les mesures sur le côté primaire du circuit, il faut d'abord couper le régulateur, mettre la pince en place et rallumer le régulateur tout en se tenant à une distance suffisamment proche pour pouvoir lire l'intensité. Couper également le régulateur pour retirer la pince.

17.9 TRACEUR DE CÂBLES

17.9.1 Un traceur de câbles est un instrument électronique servant à localiser, suivre et mesurer la profondeur d'un câble d'alimentation souterrain sous tension. L'instrument peut aussi servir à localiser les transformateurs souterrains, les épissures en T et les défauts à la terre d'un câble blindé.

Sécurité

17.9.2 Comme le traceur de câbles est utilisé pour suivre des câbles HT dont la tension est dangereuse et potentiellement mortelle, tous les techniciens qui participent aux mesures et aux essais doivent respecter des mesures de précaution pratiques pour éviter tout contact avec les conducteurs, les bornes ou autres équipements sous tension.

17.10 GÉNÉRATEUR D'IMPULSIONS/CONTRÔLEUR D'ÉPREUVE

17.10.1 Un générateur d'impulsions/contrôleur d'épreuve est un appareil compact logé dans un boîtier métallique. L'équipement d'essai comprend un générateur d'impulsions et une source interne d'alimentation continue. Le générateur d'impulsions utilise une batterie de condensateurs qui sont chargés à partir de la source continue et qui se déchargent périodiquement dans le câble pour créer la forme d'onde de tension.

17.10.2 Pour localiser un défaut par la méthode des impulsions, le générateur applique répétitivement une forme d'onde HT au câble à vérifier. La forme d'onde circule le long du câble jusqu'au défaut. À ce point, la tension crée un courant important qui circule sur le trajet de retour. Ce courant ou plutôt ses effets peuvent être localisés et la position du défaut sur la longueur du câble peut être déterminée à l'aide d'un détecteur acoustique ou directionnel (voir section 17.12).

Sécurité

17.10.3 L'appareil d'essai et le câble sont reliés à une source électrique à haute tension et toutes les personnes qui participent ou assistent à l'essai doivent prendre toutes les précautions pratiques de sécurité pour éviter un contact avec les parties sous tension de l'équipement d'essai et des circuits associés. Le technicien qui effectue l'essai doit se tenir à au moins un mètre de toutes les parties du circuit sous haute tension tant que l'appareil d'essai n'est pas coupé et que toutes les parties du circuit d'essai ne sont pas mises à la terre. Toutes les personnes qui ne participent pas directement à l'essai doivent être tenues à l'écart par des barrières, des cordons ou des avertissements.

17.10.4 Les impulsions HT et les courants résultants créent des problèmes de sécurité. Un fort courant variant rapidement, même avec des impédances faibles, peut engendrer des niveaux de tension dangereux. L'appareil d'essai possède deux systèmes de mise à la terre distincts : la mise à la terre du boîtier métallique et la mise à la terre de surtension. Le boîtier doit donc être relié à une bonne terre locale pour protéger l'opérateur des différences de potentiel qui peuvent apparaître entre le boîtier et la terre à proximité immédiate. La terre de surtension sert à ramener le courant d'impulsion aux condensateurs. Il s'agit d'un conducteur connecté au blindage du câble de sortie et qui ne doit pas être prolongé.

17.10.5 À la fin de l'essai, même après la mise hors tension de l'appareil, il reste de l'énergie accumulée dans les condensateurs et dans le câble. C'est la raison pour laquelle cet équipement comporte une mise à la terre manuelle. La résistance du voltmètre évacue progressivement l'énergie accumulée, jusqu'à un niveau inoffensif. La terre manuelle doit ensuite être fermée pour mettre les condensateurs et le câble en court-circuit direct. Avant de déplacer l'appareil d'essai, il est recommandé de mettre le câble en court-circuit et l'y laisser jusqu'à ce qu'il devienne nécessaire d'y accéder à nouveau.

17.10.6 Si l'appareil d'essai fonctionne correctement et si toutes les mises à la terre sont correctement faites, il n'est pas obligatoire de porter des gants de caoutchouc. Cependant, à titre de procédure de routine, certains sites exigent le port de gants isolants, non seulement pour faire les connexions aux bornes HT, mais aussi pour manipuler les commandes. C'est une excellente pratique de sécurité.

17.11 DÉTECTEUR ACOUSTIQUE

17.11.1 Le détecteur acoustique est un système d'instrumentation à part, conçu pour détecter l'intensité des impulsions sonores transmises par la terre. Il est principalement utilisé avec un générateur d'impulsions pour localiser les défauts dans les câbles électriques directement enfouis en écoutant les sons émis par le défaut sous l'effet des arcs créés par le générateur d'impulsions.

17.11.2 L'appareil est conçu pour être utilisable par tous les temps et peut facilement être amené par l'opérateur en n'importe quel endroit du terrain. Il est livré avec une mallette robuste pour le rangement et le transport.

17.11.3 L'opérateur place un capteur acoustique sur le sol et écoute les claquements ou les coups caractéristiques au moyen d'écouteurs, puis il se déplace le long du câble en recherchant l'endroit où le son est le plus fort. L'appareil contient un sonomètre de précision utile pour déterminer le point où l'intensité du son est la plus forte, qui est exactement à l'aplomb du défaut du câble. L'indicateur du sonomètre est souvent plus sensible que l'ouïe pour détecter les sons très faibles. Le sonomètre et l'amplificateur sont logés dans un boîtier léger et compact que l'opérateur porte par une sangle autour du cou, ce qui laisse les mains libres pour utiliser les commandes de l'instrument.

17.11.4 Une caractéristique importante du détecteur est son indicateur d'impulsions. C'est un système complètement séparé qui détecte les impulsions de courant appliquées au câble défectueux et donne un signal visuel à l'opérateur. Quand celui-ci est loin du générateur d'impulsions, il ne peut pas l'entendre. L'indicateur vérifie son fonctionnement et permet à l'opérateur de savoir exactement quand écouter les chocs et observer le sonomètre. Cette

fonction est particulièrement utile lorsqu'il y a un fort bruit de fond. L'indicateur d'impulsions et son antenne magnétique sont logés dans le même boîtier que l'amplificateur principal.

17.12 DÉTECTEUR DIRECTIONNEL

17.12.1 Un détecteur directionnel indique l'orientation et la force des brèves impulsions de courant que produit le générateur à décharge de condensateurs. Il est utile pour détecter les défauts des câbles d'alimentation souterrains, entre deux conducteurs ou entre un conducteur et le blindage.

17.12.2 Avec un choix de deux capteurs magnétiques et d'un capteur à conduction, le détecteur directionnel permet de localiser les défauts des câbles blindés et non blindés, qu'ils soient enfouis directement ou posés dans un conduit. Les capteurs magnétiques donnent la position approximative du défaut, mais, dans le cas des câbles non blindés directement enfouis, une localisation plus précise est possible en utilisant le capteur à conduction ou capteur de gradient de terre.

17.12.3 Ce détecteur est également utile pour suivre les câbles souterrains en donnant une position précise avec la profondeur. En plus de détecter les impulsions, l'appareil peut servir à suivre des câbles souterrains dans lesquels circulent des courants alternatifs à des fréquences comprises entre 60 et 1 000 Hz.

17.12.4 L'appareil est aussi accompagné d'un voltmètre à haute impédance permettant de détecter les défauts à la terre à haute résistance dans les câbles souterrains parcourus par un courant à 60 Hz, au moyen des sondes de gradient de terre.

17.12.5 Le détecteur est conçu pour fournir une réponse optimale à une forme d'onde type d'impulsion de courant envoyée dans un câble par une décharge de condensateur. Il mesure la force et la direction (polarité) du champ magnétique créé par les impulsions de courant. Il indique non seulement la présence ou l'absence d'une impulsion de courant à proximité, mais aussi sa direction et son amplitude. Ces informations sont utiles pour localiser le défaut avec précision.

17.12.6 Le détecteur directionnel comprend un ensemble amplificateur, une bobine de captage de gaine, une bobine de captage de surface et un cadre de sonde de gradient de terre.

- a) *Ensemble amplificateur.* L'ensemble amplificateur contient les circuits électroniques, la pile, l'indicateur et les commandes.
- b) *Bobine de captage de gaine.* Cet accessoire est constitué d'un noyau de fer en forme de C et d'une bobine moulée dans un bloc de caoutchouc plein. Il est conçu pour capter des signaux magnétiques faibles à haute fréquence, qui entourent le câble et sa gaine, et peut détecter avec précision celui des trois conducteurs de la gaine qui est parcouru par les impulsions de test.
- c) *Bobine de captage de surface.* C'est une antenne à barreau de ferrite contenue dans un tube de protection. Elle est montée dans une pièce en T fixée à l'extrémité d'une canne d'aluminium télescopique à poignée de caoutchouc. Cet accessoire est spécifiquement conçu pour détecter l'amplitude et la direction des champs magnétiques produits par les impulsions de courant. La pièce en T est articulée et peut être réglée à 0, 45 ou 90° pour faciliter la localisation du maximum et du minimum des signaux, et ainsi la position du câble.
- d) *Cadre de sonde de gradient de terre.* Cet accessoire est un cadre tubulaire rigide portant deux sondes en acier inoxydable séparées d'une distance fixe de 50 cm (20 pouces) qui sert à détecter une différence de potentiel à la surface du sol. Chaque sonde est reliée par un cordon à un connecteur. Le cadre est isolé pour la sécurité de l'opérateur.

Sécurité

17.12.7 Le générateur d'impulsions utilisé avec le détecteur directionnel et les câbles auxquels il est relié peut être une source d'énergie électrique à haute tension et toutes les précautions de sécurité prescrites dans la section sur le générateur d'impulsions doivent être observées. Lorsque le détecteur directionnel est utilisé avec les sondes de gradient de terre, il faut prendre garde de ne pas toucher des équipements ou des câbles sous tension, que ce soit en surface ou en profondeur et que l'énergie provienne du générateur d'impulsions ou d'une ligne électrique.

17.12.8 Des tensions dangereuses peuvent être rencontrées aux endroits suivants :

- a) sur ou à proximité de la connexion du générateur d'impulsions, y compris dans les conducteurs de terre ou mis à la terre à proximité ;
- b) à toute autre extrémité du câble ou de l'équipement auquel il est raccordé ;
- c) au niveau ou à proximité du défaut qui engendre les gradients de tension dans le sol. La position du défaut est inconnue, de sorte qu'il faut être prudent lorsqu'on suit le câble souterrain.

17.12.9 Toutes les personnes qui ne participent pas directement à l'essai doivent être tenues à l'écart par des barrières, des cordons ou des panneaux d'avertissement.

17.12.10 Une fois que la partie défectueuse du câble a été identifiée, l'électricien de maintenance devrait utiliser un localisateur de câbles pour déterminer la position exacte du défaut.

17.13 CONTRÔLEUR D'ISOLEMENT À LA TERRE

17.13.1 Un contrôleur d'isolement à la terre est utilisé pour vérifier l'efficacité des systèmes de mise à la terre. Pour cela, il mesure la résistance qui existe entre le circuit de mise à la terre et la terre elle-même. Les instructions du fabricant indiquent avec précision comment obtenir une lecture précise de la résistance de mise à la terre, car il est facile d'obtenir des mesures erronées, plus faibles que la résistance réelle, en cas de mauvaise utilisation. Le système de mise à la terre en question peut être utilisé pour les pylônes portant des balises, les postes de balisage, les groupes électrogènes et d'autres équipements d'aides visuelles à la navigation ; il peut aussi s'agir d'un système de contrepoids pour les câbles souterrains. Certains modèles récents sont munis d'une pince capable de mesurer la résistance à la terre des piquets ou des conducteurs de terre, simplement en mesurant le courant de fuite sans avoir à débrancher le conducteur en essai.

17.13.2 Pour une mise à la terre, le maximum acceptable est une résistance de 25 ohms, mais il est préférable d'avoir 10 ohms ou moins.

17.13.3 Dans bien des endroits, la nappe phréatique a tendance à baisser graduellement. Dans ces conditions, l'électrode des systèmes de mise à la terre qui fonctionnaient bien initialement perd progressivement de son efficacité. Il est donc important d'avoir un programme continu de vérifications périodiques des mises à la terre. En d'autres termes, il ne suffit pas de vérifier la résistance une fois au moment de l'installation.

17.13.4 La résistance à la terre peut être déterminée par la méthode de la « chute de potentiel », décrite dans la norme ANSI/IEEE 81. Cette méthode consiste à planter deux sondes en ligne droite par rapport à l'électrode à vérifier, comme le montre la Figure 17-3. La distance D devrait être suffisante pour s'éloigner des zones résistives autour de l'électrode de terre et de la sonde de courant de telle manière que la courbe des valeurs de résistance présente un plateau dans une tolérance établie. Normalement, la région du plateau se situe autour du point 62 %.

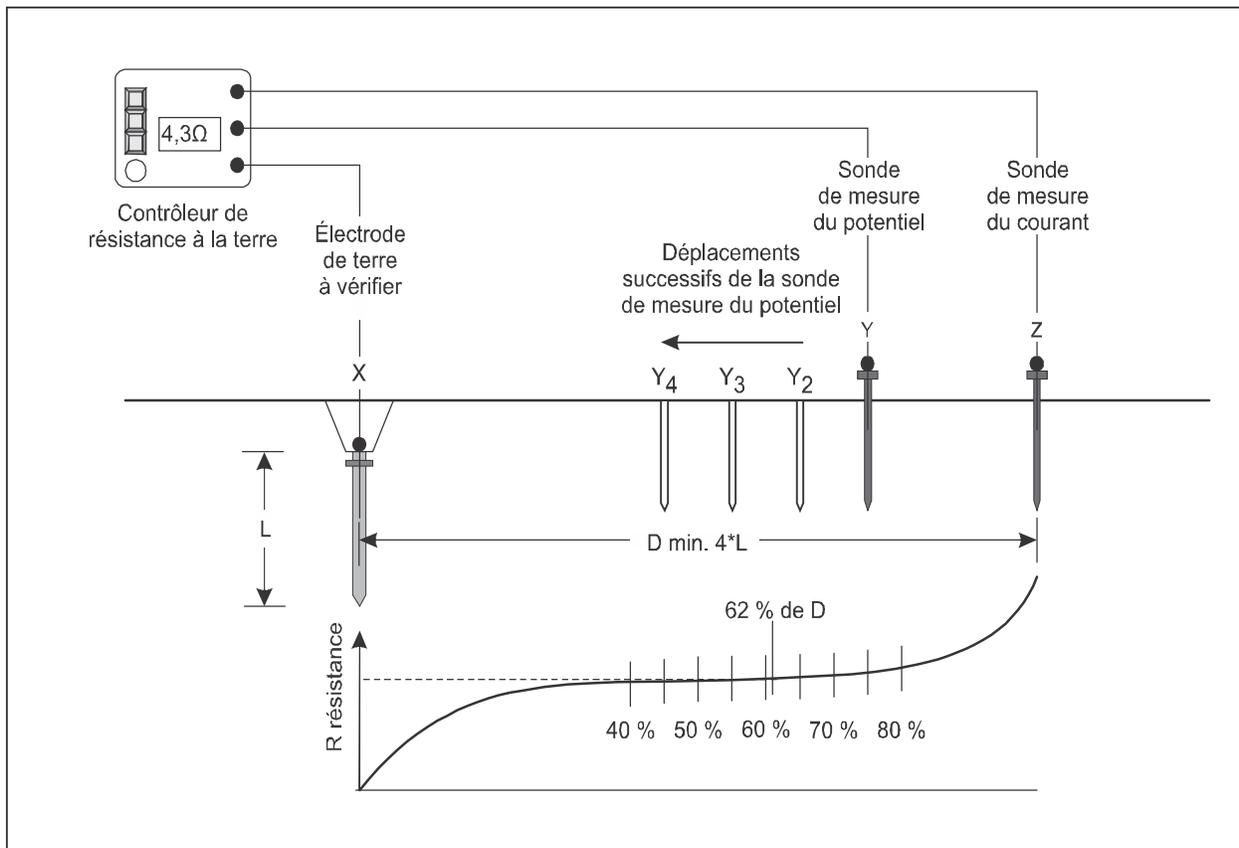


Figure 17-3. Mesures de résistance à la terre

Sécurité

17.13.5 La mise à la terre est un aspect très important du système de balisage d'un aéroport. Pour être efficace, la prise de terre doit avoir une très faible résistance à la terre. Plus la résistance inhérente est élevée, plus la tension peut s'accumuler dans la masse du châssis ou du bâti mis à la terre. Cette tension peut décharger à travers une personne en causant des blessures ou la mort. C'est la principale raison pour laquelle il est important de vérifier régulièrement l'efficacité du système de mise à la terre.

ISBN 978-92-9258-342-2



9

789292

583422