

18/79

UNIVERSITE D'ALGER

100

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT D'ELECTRICITE

المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية

المكتبة

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

BIBLIOTHEQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

EQUIPEMENTS ELECTRIQUES

D'UN AÉROPORT

المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية

المكتبة

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

BIBLIOTHEQUE

Proposé par :

I. KRIVONICHENTCHKO

Maitre de Conférence

Etudié par :

AZIZ TEFFAH

AISSA TRIFI

UNIVERSITE D'ALGER

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT D'ELECTRICITE

PROJET DE FIN D'ETUDES

**EQUIPEMENTS ELECTRIQUES
D'UN AÉROPORT**

Proposé par :

I. KRIVONICHENTCHKO

Maitre de Conférence

Etudié par :

AZIZ TEFFAH

AISSA TRIFI

- JANVIER 1979 -

à ma femme et à mes parents.
à mes enfants.
à mes amis.

Aïss. Trifi

À ma famille et à mes amis
auprès de qui j'ai affermi ma
personnalité....

AZIZ TEFFAH.

- Remerciements -

Nous tenons à remercier tous les professeurs de l'École Nationale Polytechnique d'Alger qui ont contribué à notre formation universitaire et, en particulier, Monsieur Igor KRIVONICHENTCHKO pour l'aide qu'il nous a apporté lors de l'étude de notre projet.

Nous remercions Monsieur ISSAD du Département Électricité de l'E.N.E.M.A. pour son aimable coopération et ses collègues des divers services de l'E.N.E.M.A. pour les renseignements utiles qu'ils ont bien voulu nous fournir.

Nos remerciements vont aussi à M^{elle} F. CHELIHI et M^r ALAKMA ainsi que tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de cet ouvrage.

— S O M M A I R E —

CHAP I - GENERALITES.	
1 Introduction	1
2 Définitions	1
3 Position du problème	2
CHAP II - BALISAGE LUMINEUX	
1 Introduction	5
2 Classification des pistes	5
3 Constitution du balisage	6
CHAP III CIRCUIT D'ALIMENTATION DU BALISAGE .Système Série	
1 Description du système série	13
2 Eléments constitutifs	14
3 Régulateur à amplificateur magnétique	17
4 Avantages du système série	20
5 Tension dans le circuit primaire	23
CHAP IV - ESTIMATION DE LA PUISSANCE ELECTRIQUE	
1 Présentation de l'aéroport	24
2 Puissance aérogare	25
3 Bloc de trafic	26
4 Bloc technique	26
5 Parking avion	26
6 Eclairage des voies intérieures	26
7 Moyens de radio-navigation	26
8 Balisages	27
9 Installations Industrielles	27
10 Bilan général	28
CHAP V - DEFAUTS ET PROTECTIONS	
1 Défauts	30
2 Protection contre les surintensités	34
3 Détermination des courants de court-circuit	40
CHAP VI - ALIMENTATION ELECTRIQUE	
1 Critères d'exploitation	43
2 Eléments constitutifs d'un poste	44
3 Schémas des postes	45
4 Distribution	51
CHAP VII - CENTRALE DE SECOURS	
1 Rappel des spécifications O.A.C.I.	54
2 Générateurs de secours	54
3 Local "centrale "	59
4 Dimensionnement des groupes	60
Tarification de l'énergie électrique	61

Introduction :

Notre étude porte sur l'alimentation électrique d'un aéroport de moyenne importance. Afin d'éviter des pertes de puissance et de gros investissements, la distribution électrique se fera en moyenne tension (5,5 kV).

L'alimentation du balisage lumineux sera du type série qui présente certains avantages notamment pour la sécurité aéronautique.

Dans le but d'assurer une continuité de service, l'aéroport sera doté d'une centrale de secours équipée de groupes électrogènes automatiques.

Un bilan des puissances sommaire a été établi en tenant compte des principaux utilisateurs, ceux-ci étant classés par ordre de priorité dans leurs alimentations.

Les coupes-circuits fusibles et les relais ampèremétriques constituent les protections principales du réseau général.

Chapitre I . GENERALITES .

1. Introduction.

Selon l'OACI (Organisation de l'Aviation Civile Internationale), un aéroport ou aérodrome est une surface sur terre ou sur mer (comportant éventuellement bâtiments, installations et matériels) destinée à être utilisée en totalité ou en partie pour : l'arrivée, le départ et les évolutions d'aéronefs. (OACI-Annexe 14)

2. Définitions.

Du point de vue fonctionnel, un aéroport sera composé des éléments suivants (OACI-Annexe 14) :

- Aire de manœuvre.

Partie destinée à l'atterrissage, au décollage des aéronefs à leurs évolutions à la surface. Elle sera constituée essentiellement d'une ou de plusieurs pistes et de chemins de roulements.

- Aire de trafic.

Partie destinée à l'embarquement et au débarquement des passagers, du fret, du ravitaillement, du stationnement, et de l'entretien des aéronefs.

- Aéro-gare.

Partie destinée à accueillir les passagers au départ, à l'arrivée, en transit. Elle abrite les services annexes tels que : compagnies aériennes, police, douanes, magasins, hôtellerie etc....

- Bloc de trafic.

Installations comprenant la tour de Contrôle, les services d'exploitation de la navigation aérienne, de la météorologie, des télécommunications et administration de l'aéroport.

- Bloc technique. (moyens généraux)

Partie destinée à la maintenance des installations électriques, radio-électriques, ateliers de mécanique, génie-civil, pompiers, infirmerie, etc....

- Installations

Équipements électriques et radio-électriques destinés à l'exploitation de la navigation aérienne. Comprennent :

Radar, phares et radio-phares, balisages nocturnes, ILS. (Instruments Landing System) etc,...

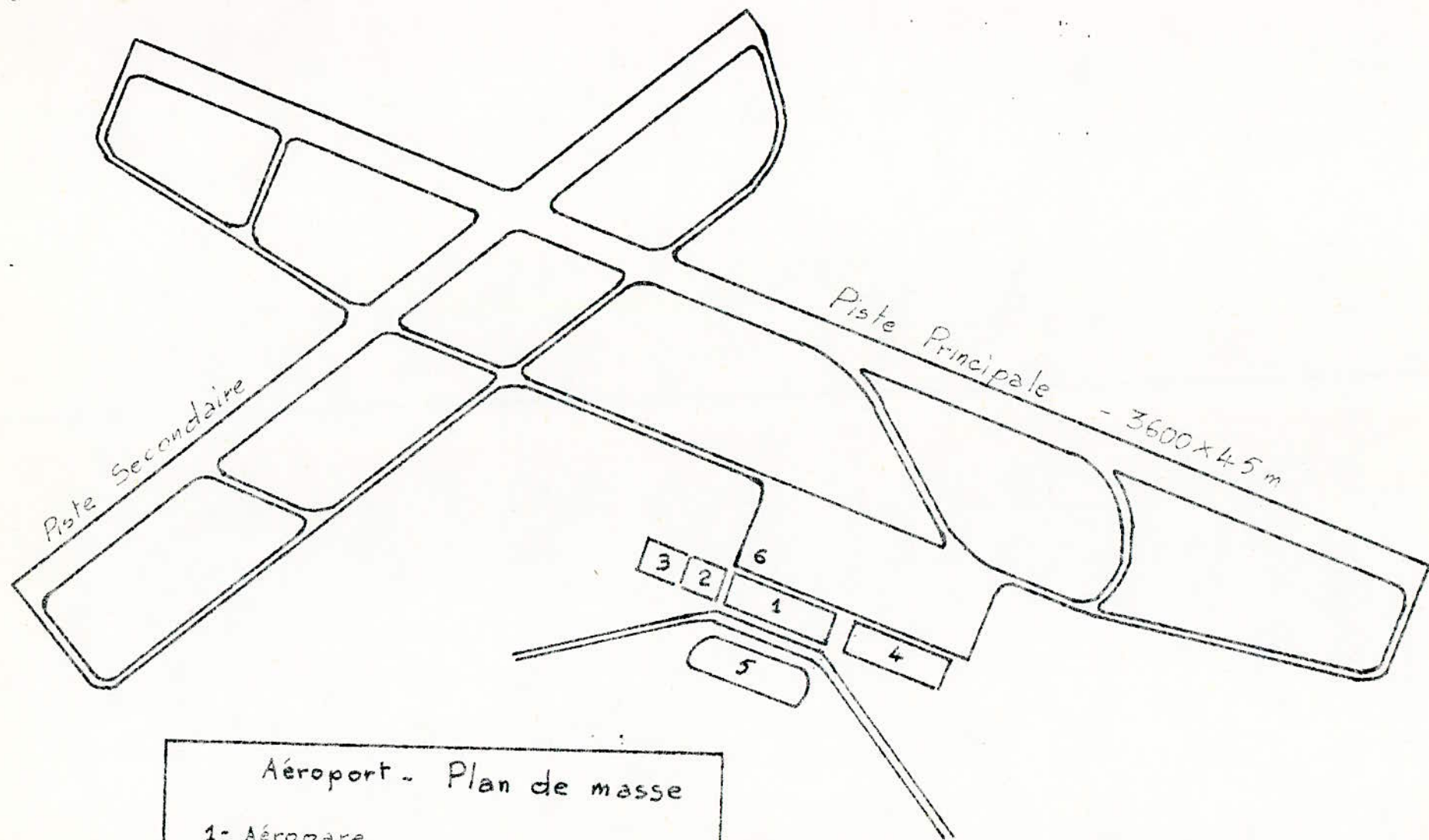
3. Position du problème

La caractéristique principale du réseau de distribution électrique d'un aéroport est la grande dispersion des installations à alimenter. Si l'on fait le rapport de la puissance électrique installée à la superficie totale de l'aéroport, on arrive à des chiffres très faibles et de loin inférieurs à ceux que l'on trouverait pour une usine ou une agglomération.

Évidemment ce rapport ne caractérise pas exactement la situation réelle : un aéroport comporte plusieurs zones où sont plus ou moins concentrées les installations à alimenter ; même si l'on envisage en particulier ces zones, on arrive encore à un rapport relativement faible ; c'est dire que l'installation électrique d'un aéroport exige un réseau haute tension important, un grand nombre de cabines de transformation

et en réseau basse tension comportant les conducteurs de sections élevées.

Mais cette caractéristique de grande dispersion est particulièrement marquante dans le problème de l'alimentation des installations de balisage lumineux. Celles-ci se situant évidemment en dehors des zones de concentration indiquées, on se trouve ainsi en présence de difficultés techniques considérables.



Aéroport - Plan de masse

- 1- Aéroport
- 2- Bloc de trafic
- 3- Bloc technique
- 4- Hangars
- 5- Parking Automobiles
- 6- Parking Avions

Chapitre II - BALISAGE LUMINEUX -

1. Introduction.

Il ne faut pas confondre le balisage lumineux et l'éclairage ; en fait les zones opérationnelles de l'aéroport ne sont ^{pas} illuminées, ce serait irréalisable (surface de plusieurs centaines d'hectares) surtout dans l'espace aérien dégagé du secteur d'approche qui s'étend sur une distance d'une dizaine de kilomètres en amont de la piste d'atterrissage.

Cette distinction est indispensable pour comprendre la fonction des aides visuelles au sol telles que définies par l'OACI. Les divers feux disposés sur l'aéroport sont en fait des balises ou des signaux.

Des marques peintes servant d'aides visuelles diurnes sont aussi prévues mais elles ne font pas l'objet de notre étude.

2. Classification des pistes (OACI, Annexe 14 chap 1^{ère}).

Les pistes sont classées d'après la possibilité de leurs utilisations :

a) Piste avec approche aux instruments :

Piste aux instruments desservie par des aides visuelles et une aide non visuelle assurant au moins un guidage en direction satisfaisant pour une approche en ligne droite.

b) Piste avec approche de précision, catégorie I :

Piste aux instruments desservie par un ILS et des aides visuelles et destinée à l'approche jusqu'à une hauteur de décision de 60 m (200 pieds) et jusqu'à une portée visuelle de piste de l'ordre de 800 m (2600 pieds)

3.2.2. Type haute intensité.

Pour les pistes avec approche de précision, l'OACI recommande l'installation d'un dispositif à haute intensité (annexe 14)

A - Haute intensité type CALVERT.

Ce type compose d'une ligne de base d'approche située dans le prolongement de l'axe de piste. Cette ligne a une largeur variable dont le minimum se situe à l'entrée de la piste.

En travers de cette ligne et perpendiculairement sont disposés des barres pour indiquer la distance au seuil (voir figure 1.) Ces feux sont des projecteurs orientés de montures normalisées.

- Composition -

Axe	:	60 feux blancs de 300 W
Seuil	:	8 feux verts de 300 W.
Présignalisation	:	6 feux rouges de 300 W.
Barres des 150 m	:	8 feux blancs de 300 W.
" des 300 m	:	10 feux blancs de 300 W.
" " 450 m	:	12 " " " "
" " 600 m	:	14 " " " "
" " 750 m	:	16 " " " "
" " 900 m	:	18 " " " "

On dispose également sur l'axe 28 feux à éclats successifs

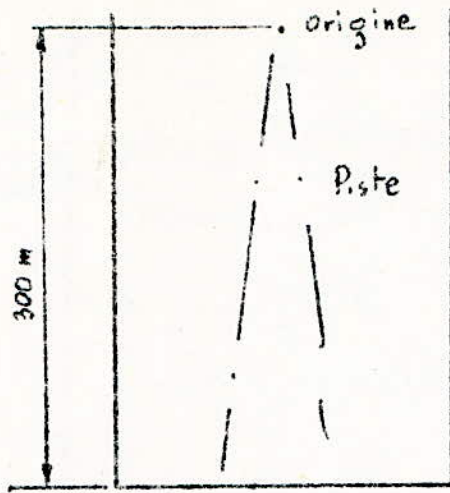
• Puissance totale : 45,6 kW.

- Alimentation : série ou parallèle.

B - Haute intensité type ALPA-ATA.

Il est constitué d'une rangée de feux disposés dans le prolongement de l'axe de la piste s'étendant sur une longueur de 900 m.

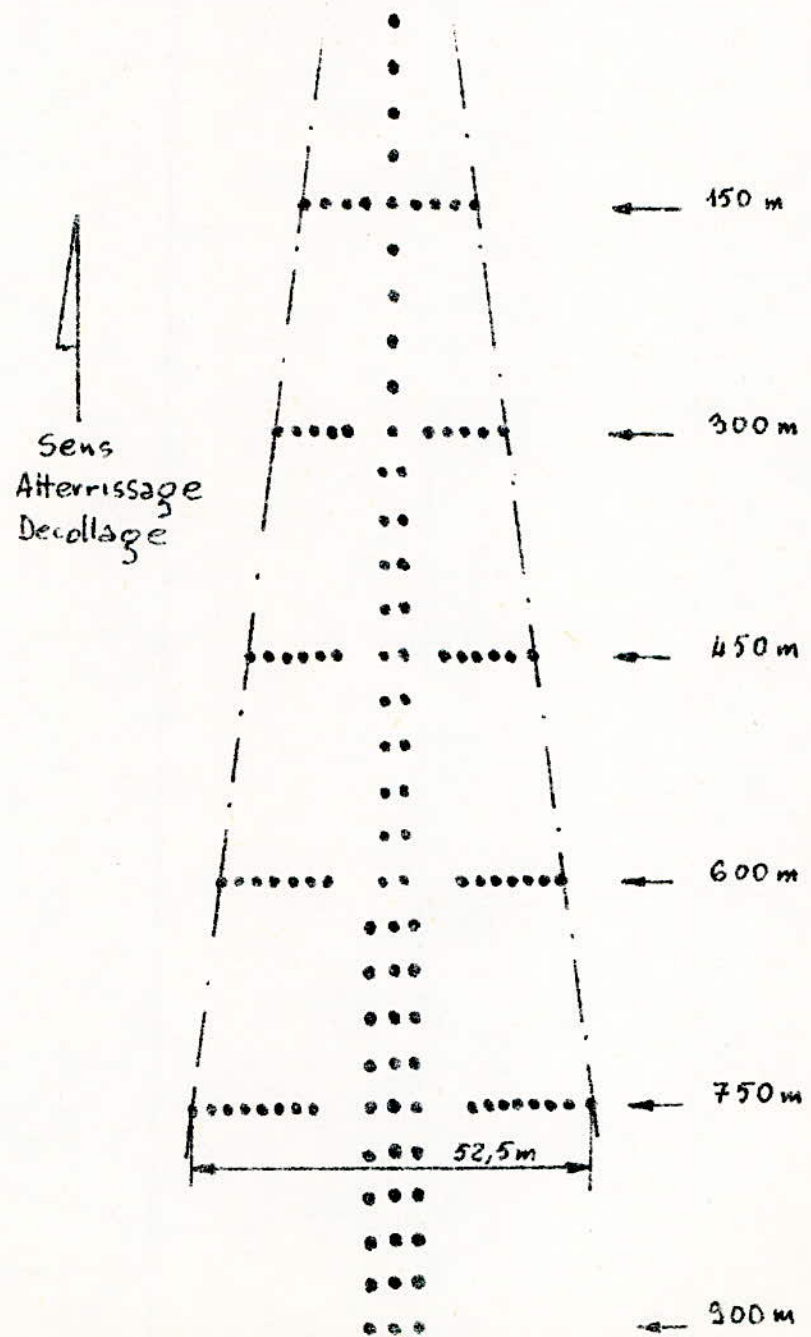
En outre le dispositif comporte deux rangées latérales sur une longueur de 270 m. et symétriques par rapport à la rangée de base.



Approche
Système CALVERT

Fig. 1.

← 0 - Seuil



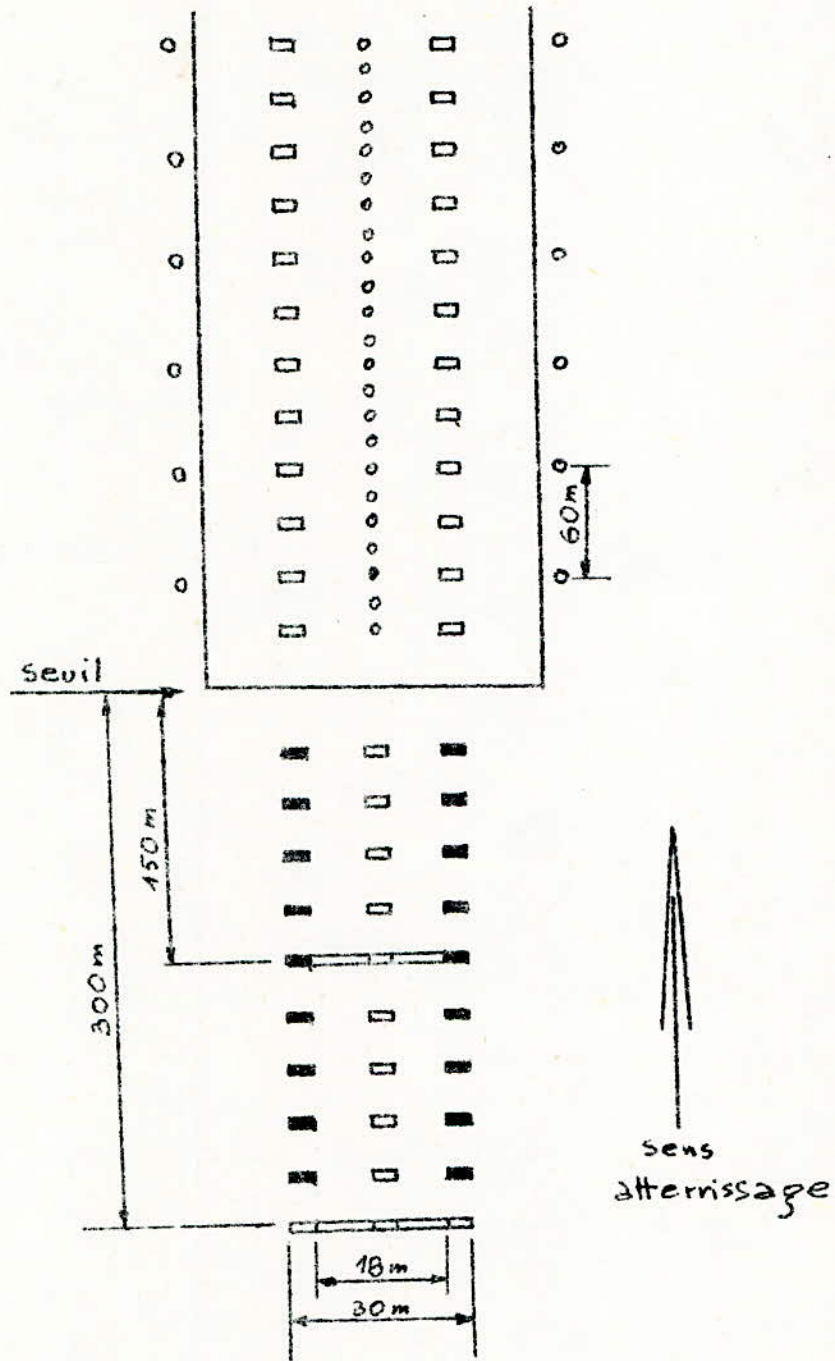


fig. 2. Balisage de la Piste et des 300 derniers metres de l'approche de precision categorie II

Deux barres transversales sont disposées à 150 et 300 m du seuil de piste.

des feux de la ligne axiale sont des barettes de 5 lampes (voir figure. 2.).

- Composition -

Axe : 140 feux blancs de 300W plus 28 feux à éclats successifs.

Rangées latérales : 54 feux rouges par groupes de 3 de 300W.

Barres des 150 m : 6 feux blancs 300 W.

" " 300 m : 16 feux blancs de 300 W.

- Puissance totale : 64,8 kW.

- Alimentation : série

3.3. Balisage des bords de piste :

Ce balisage est constitué de feux omnidirectionnels montés sur socles à bagues caissons et disposés sur chaque côté de la piste sur toute sa longueur, la distance entre 2 feux est de 60 m, la couleur est blanche à intensité variable.

- Puissance totale (pour une piste de 3600 m) : 8 kW.

3.4. Balisage d'extrémités de piste :

des feux d'extrémités de piste sont des projecteurs bidirectionnels de couleur rouge vers la piste (fin de piste) et verte vers la rampe (Seuil).

de nombre minimum et: feux est de 6 de chaque côté de l'axe.

3.5. Balisage de la zone d'impact :

Deux rangées de feux disposés symétriquement par rapport à l'axe et s'étendant sur 900 m à partir du seuil ; ces feux sont constitués de barettes directionnelles, encastrées dans la piste, la couleur est blanche et l'intensité variable - Puissance totale : 18 kW.

3.6. Balisage axial

des pistes pour le trafic aérien international doivent avoir un marquage de l'axe central, qui s'étend sur toute la longueur de la piste, et forme ainsi le prolongement optique de la ligne de base d'approche. Ce marquage est constitué de feux à haute intensité encastrés, bidirectionnels de couleur blanche; la distance entre deux feux est de 30 m, pour une piste de 3600 m de longueur nous aurons:

- Puissance totale : $2 \times 24 \text{ kW}$.

3.7. Balisage des chemins de roulement et du Parking

le balisage des chemins ou voies de roulement est identique au balisage des bords de piste; seule la couleur diffère, néanmoins le dispositif dépend de trois facteurs:

- Complexité du plan de l'aérodrome
- Volume de la circulation
- Conditions de visibilité

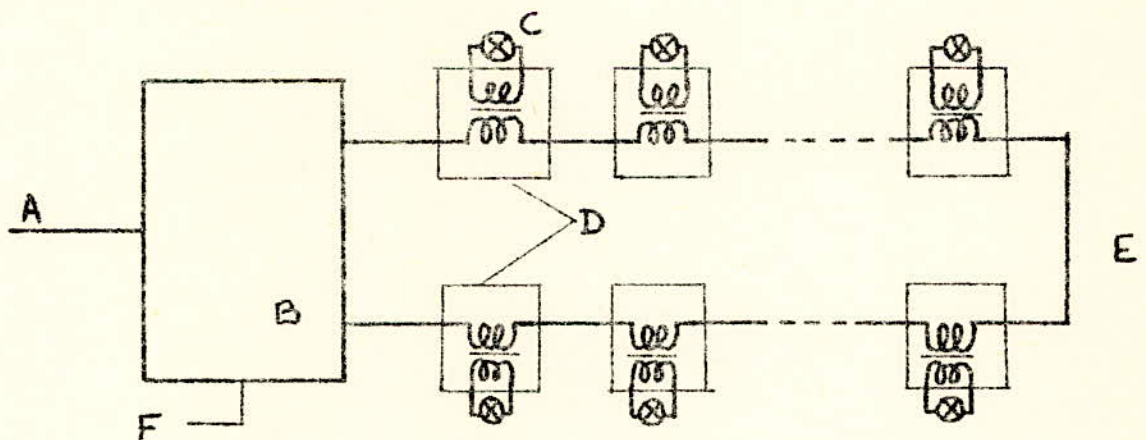
Chapitre III CIRCUIT D'ALIMENTATION DU BALISAGE - SYSTEME SERIE

1. Description du système série.

Dans le système série toutes les utilisations sont intercalées en série dans le seul conducteur d'alimentation : un courant constant circule dans ce conducteur.

Afin d'éviter que la mise hors service de l'une des charges ne supprime la possibilité du passage du courant dans le conducteur et n'interrompe donc l'alimentation de tout le système, les utilisations sont intercalées dans la ligne par l'intermédiaire de petits transformateurs. Si l'une ou plusieurs des lampes sont hors service, le courant continue à passer dans les primaires des transformateurs et alimenter les autres. (voir figure 1)

fig.1 - Schéma d'une distribution série.



A : Arrivée d'alimentation
B : Régulateur à courant constant
C : Lampes.

D : Transformateurs d'isollements
E : Câble monopolaire
F : Télécommande.

La tension qui règne aux bornes de sortie du régulateur à courant constant est fonction de l'impédance de la charge à alimenter.

Elle est égale au produit de l'impédance totale du circuit par le courant d'alimentation, cette tension est élevée : plus de 2200 Volts pour une puissance de 15 kW sous 6,6 Amperes.

Par contre la tension d'alimentation des lampes est faible et généralement le courant d'alimentation constant des lampes est égal au courant du circuit primaire.

Exemple de lampes utilisées :

Lampe de 200 W ; $U = 30\text{ V}$; $I = 6,6\text{ A}$.

2. Eléments constitutifs du circuit série.

2.1. Le régulateur à courant constant :

d'alimentation du circuit balisage série peut-être assurée soit par un transformateur, soit par un régulateur à courant constant.

Si c'est un transformateur, sa tension secondaire doit être calculée exactement pour faire circuler le courant désiré dans le circuit d'impédance donnée, ce qui supprime l'éventualité de lampes hors services.

Par contre le régulateur à courant constant, assure dans le circuit de balisage série un courant constant dans des conditions prédéterminées (choix de la brillance des lampes) et ceci indépendamment de la charge qui est fonction du nombre de lampes, des mauvais contacts éventuels, de la longueur de la ligne et de la possibilité d'alimenter plusieurs circuits d'impédances différentes à l'aide d'un sélecteur (voir figure - 2)

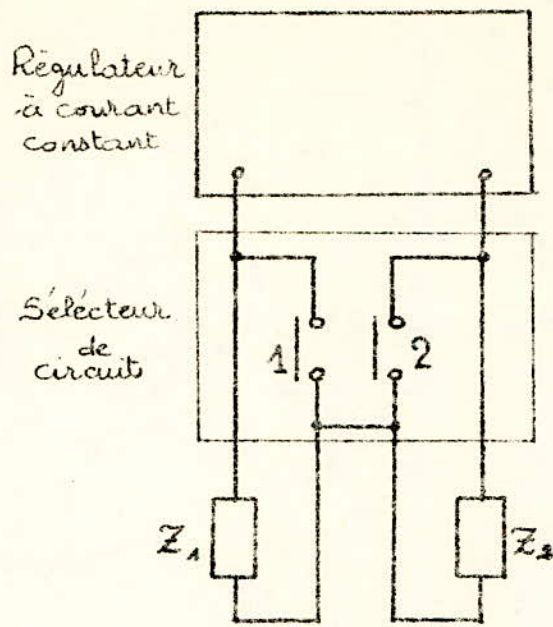


Fig-2. Le sélecteur de circuit

1. des contacts 1 et 2 sont ouverts, les impédances Z_1 et Z_2 sont en séries
2. En fermant le contact 1 par exemple, le contact 2 restant ouvert, on court-circuite l'impédance Z_1 . Ainsi, pour le régulateur, Z_2 devient l'unique charge.
3. En fermant le contact 2 c'est Z_1 qui reste l'unique charge

Il existe deux types de régulateurs :

- a) Régulateur à amplificateur magnétique (le plus utilisé)
- b) Régulateur à circuit résonnant.

2.2. Transformateur d'isolement.

Le transformateur d'isolement qui raccorde les lampes au circuit d'alimentation série peut aussi servir d'adaptateur lorsque le courant du circuit série et le courant nominal de la lampe sont différents. des rapports de transformations que l'on rencontre sont : 6,6/6,6 A ; 6,6/20 A ; 20/6,6 A.

L'absence de fusibles de protection fait que ces transformateurs peuvent être enterrés.

2.3. Câbles "série".

Les câbles "série" du type coaxial (tableau-1.) sont généralement enterrés, des points de vérification au sol facilitent les contrôles en cas de pannes.

Tableau 1. Câble spécial "Balisage" unipolaire coaxial

6/10kV $1 \times 8 \text{ mm}^2 + 1 \times 4 \text{ mm}^2$ MT 1024

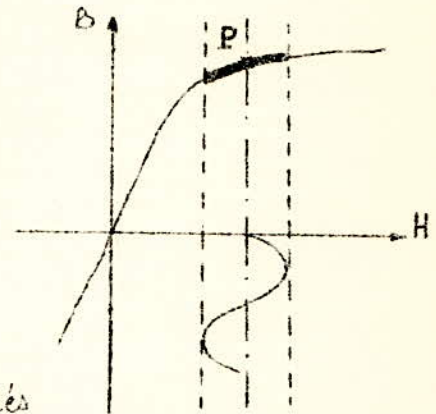
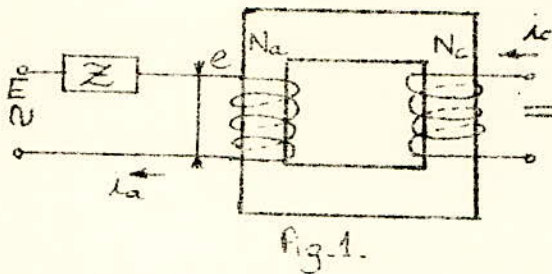
Thomson - Brandt d'après appel d'offres E.N.E.M.A.

Type de câble	CABLE DE BALISAGE 6/10 KV
Sections ($n \times \text{mm}^2$)	$1 \times 8 + 1 \times 4$
DESCRIPTION DES CABLES	REFERENCE 52748
<input type="checkbox"/> AME nature composition diamètre (mm)	cuivre étamé recuit 7 fils 3,5
<input type="checkbox"/> SEMI-CONDUCTEUR SUR AME nature diamètre (mm)	ruban semi-conducteur, 4
<input type="checkbox"/> ENVELOPPE ISOLANTE nature épaisseur radiale (mm) diamètre (mm)	PRC chargé 5 14
<input type="checkbox"/> SEMI-CONDUCTEUR SUR ENVELOPPE ISOLANTE nature diamètre (mm)	Elastomère spécial extrudé et pelable 16
<input type="checkbox"/> CONDUCTEUR CONCENTRIQUE nature composition	cuivre rouge recuit 15 fils $\varnothing 0,594 \text{ mm}$
<input type="checkbox"/> SEPARATEUR	1 ruban polyester rubané à recouvrement $\varnothing = 17,5 \text{ mm}$
<input type="checkbox"/> GAINÉ EXTERIEUR nature épaisseur radiale (mm) diamètre nominal (mm)	PRC 2 21,5
<input type="checkbox"/> TOLERANCE SUR DIAMETRE EXTERIEUR (mm)	$20,4 < \varnothing < 22,5$
CARACTERISTIQUES TECHNIQUES	
<input type="checkbox"/> TEMPERATURE DE FONCTIONNEMENT de l'âme cuivre en régime permanent ($^{\circ}\text{C}$)	90
<input type="checkbox"/> INTENSITE ADMISSIBLE en régime permanent (A) câble enterré (\varnothing ambiant = 20°C) câble sur tablette (\varnothing ambiant = 30°C)	92 80
<input type="checkbox"/> INTENSITE ADMISSIBLE en court-circuit (température initiale = 90°C) pendant 0,3 seconde en kA	2,03
<input type="checkbox"/> RESISTANCE DU CONDUCTEUR (Ω/km) à 20°C à 90°C	1,39 3,06
<input type="checkbox"/> CAPACITE ENTRE CONDUCTEUR ET MASSE (nF/km ou pF/m)	120
<input type="checkbox"/> RAYON DE COURBURE MINIMAL (mm)	210
<input type="checkbox"/> MASSE/METRE (kg/m)	0,517
<input type="checkbox"/> CONDITIONNEMENT MAXIMUM	2500 m sur touret $\varnothing 2,200$

3. Régulateur à Amplificateur magnétique.

a) Inductance saturable.

Elle est constituée d'un circuit magnétique sur lequel sont disposés un enroulement parcouru par un courant alternatif de la charge et un enroulement auxiliaire ou de contrôle parcouru par un courant continu (figure 1). La courbe de magnétisation $B = f(H)$, (figure 2.) décrit les propriétés du matériau magnétique constituant le noyau (on suppose l'hystérésis négligeable)



de flux Φ et l'induction B sont reliés par :

$$\Phi = B \cdot S.$$

Et le champ H aux ampères par :

$$H = \frac{N_a i_a + N_c i_c}{l}$$

fig. 2 - $B = f(H)$

S : section du circuit magnétique.

N : nombre de spires d'un enroulement

l : longueur moyenne du circuit magnétique.

On suppose que le courant continu demeure constant, malgré les ampères alternatifs, c'est-à-dire qu'il est fourni par une source à haute impédance.

On suppose aussi que les ampères alternatifs sont faibles..

Le point figuratif P décrit un petit arc de la courbe de magnétisation autour du point de fonctionnement défini par les ampères-tours continus. Si on assimile ce petit arc à sa tangente, on définit ainsi une perméabilité moyenne μ telle que :

$$\Delta B = \mu \cdot \Delta H.$$

La tension e aux bornes de l'enroulement alternatif est donnée par la relation :

$$e = N_a \frac{d\phi}{dt}$$

$$\text{Soit } e = \frac{N_a^2}{l} \cdot S \cdot \mu \cdot \frac{di_a}{dt} = L \frac{di_a}{dt} \quad (i_c = \text{constante}).$$

L'enroulement alternatif présente donc un coefficient d'auto-induction $L = \frac{N_a^2}{l} \cdot S \cdot \mu$.

qui dépend de μ , donc du point de fonctionnement défini par le courant continu de l'enroulement de contrôle qui sature plus ou moins le circuit magnétique. Le circuit parcouru par le courant alternatif se comporte alors comme une impédance variable commandée par le courant continu.

Pour une tension E appliquée au circuit alternatif, il est donc possible de faire ^{varier} l'intensité du courant d'utilisation.

b) Amplificateur magnétique

Les formules précédentes nous donnent la relation fondamentale entre le flux et les tensions induites. Les amplificateurs magnétiques ou transducteurs utilisent le principe de l'inductance saturable, mais les ampères-tours alternatifs font décrire au point figuratif une portion étendue de la courbe de magnétisation.

L'inconvénient principal du circuit de la figure 1. est qu'il faut introduire une forte auto-inductance dans le circuit de commande pour maintenir i_c constant.

Cet inconvénient est évité en adaptant un montage symétrique de deux enroulements d'utilisation, des enroulements sont couplés de façon que leurs flux s'annulent dans le noyau central (figure 3).

Ainsi l'enroulement de contrôle n'est pas le siège d'une f.e.m. induite due aux variations du flux.

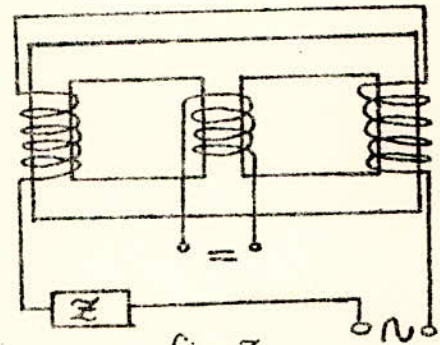
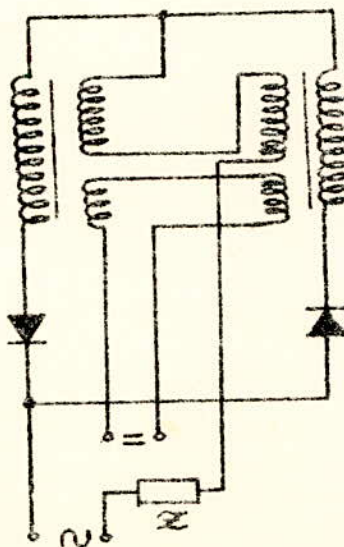


fig. 3.

c) Amplificateur magnétique du type "Auto-saturation"

de flux ne peut varier que pendant les alternances de polarité telle que la tension appliquée à l'enroulement d'utilisation produise des ampères-tours $N_u I_u$ qui s'opposent aux ampères-tours de commande $N_c I_c$, car la direction relative des ampères-tours de commande par rapport aux ampères-tours d'utilisation est la même pour les deux enroulements d'utilisations.

On obtient cette variation de flux en montant des redresseurs qui saturent les enroulements d'utilisation. C'est alors un amplificateur magnétique à auto-saturation.



On adjoint aussi des enroulements de réaction alimentés par le courant d'utilisation redressé. Ces enroulements, placés dans le sens convenable s'opposent ainsi à la saturation des enroulements d'utilisation. Il se produit alors un effet de réaction.

4. Avantages du système série.

4.1. Constance de l'intensité lumineuse:

La constance de l'intensité lumineuse des feux des balisages, alimentés suivant le système série, constitue l'avantage le plus marquant de ce mode d'alimentation.

Le flux lumineux d'une lampe est fortement affecté par l'intensité du courant qui traverse le filament et donc par la tension d'alimentation :

$$\frac{F}{F_0} = \left(\frac{V}{V_0} \right)^{3,5}$$

F et F_0 : flux lumineux d'une lampe.

V et V_0 : tension d'alimentation, respectivement de F et F_0 .

Cette formule est valable pour : $V - V_0$ inférieure à 30% d'exposant 3,5 montre que : pour une chute de tension de 5% on a une diminution de plus de 16% du flux ou de l'intensité lumineuse.

Or les chutes de tension aux bornes des lampes sont introduites par les lignes d'alimentation et les résistances de contacts.

a) Pour les lignes d'alimentation série, le courant qui circule dans le circuit primaire étant le même pour chacun des transformateurs, le courant d'alimentation des lampes est également le même pour chacune d'entre elle d'où : l'intensité lumineuse de tous les feux du circuit est rigoureusement identique. Ainsi une augmentation même considérable de la longueur des câbles d'alimentation ne présente aucun inconvénient.

b) des résistances de contact dans le circuit secondaire des transformateurs, en alimentation série, n'exerce presque aucune influence sur le courant secondaire et donc sur le flux lumineux des lampes. des transformateurs d'isolement sont construits de

telle sorte qu'une augmentation de l'impédance de charge (même de 10%) ne puisse provoquer une diminution du courant débité de plus de 1%.

4.2. Suppression des fusibles de protection des circuits:

En alimentation par régulateur à courant constant trois fusibles (ou disjoncteurs) constituent la protection nécessaire et suffisante d'un circuit série : deux fusibles pour l'alimentation primaire, un fusible pour les bobines des contacteurs. Aucune protection ne doit être prévue dans le circuit primaire ni dans le petit circuit secondaire de chaque lampe.

Un court-circuit ou un défaut de terre peuvent se produire et subsister à la lampe ou au transformateur lui-même sans provoquer aucune perturbation dans le reste du circuit de balisage.

En alimentation parallèle, des fusibles doivent être prévus, non seulement à l'alimentation générale, mais encore à toute modification de section des câbles et à chacune des lampes.

4.3. Simplicité des raccordements:

des erreurs de raccordement pouvant survenir pendant l'installation du système de balisage en série sont pratiquement inexistantes. Il suffit, en effet, de raccorder entre eux les primaires des transformateurs au moyen du câble monopolaire.

4.4. Economie considérable en matières premières:

La distribution de l'énergie électrique suivant le système série s'effectuant à l'aide d'un seul conducteur de faible section, le poids du cuivre intervenant dans la fabrication des câbles d'une boucle série est très réduit.

La comparaison entre le système série et le système parallèle pour l'installation du balisage de notre aéroport a donné :

a) Système parallèle.

<u>Câble armé (mm²)</u>	<u>longueur (m)</u>	<u>Poids cuivre (kg)</u>
<u>Piste :</u>		
4 x 35 + 2,5	5200	6600
4 x 6	5200	1100
<u>Approche :</u>		
4 x 2,5	250	22
4 x 4	380	140
4 x 6	340	70
4 x 10	320	135
4 x 16	640	365
4 x 25	710	630
4 x 35	300	360
4 x 35	360	1220
4 x 35	360	1520
4 x 120	360	1550
4 x 150	<u>300</u>	<u>1550</u>
<u>Totaux :</u>	<u>14420 m</u>	<u>13712 kg.</u>

b) Système série.

Nous préciserons que pour augmenter la sécurité, on réalise l'alimentation du balisage par deux circuits distincts ce qui double la longueur des câbles et par conséquent leurs poids en cuivre. Ainsi chaque circuit alimente un feu sur deux.

<u>Câble néoprène (mm²)</u>	<u>Longueur (m)</u>	<u>Poids cuivre (kg)</u>
<u>Piste :</u>		
1 x 10	3600	350
1 x 6	4800	255
<u>Approche :</u>		
1 x 6	4300	380
1 x 6	<u>2200</u>	<u>118</u>
<u>Totaux :</u>	<u>20.900 m.</u>	<u>1603 kg.</u>

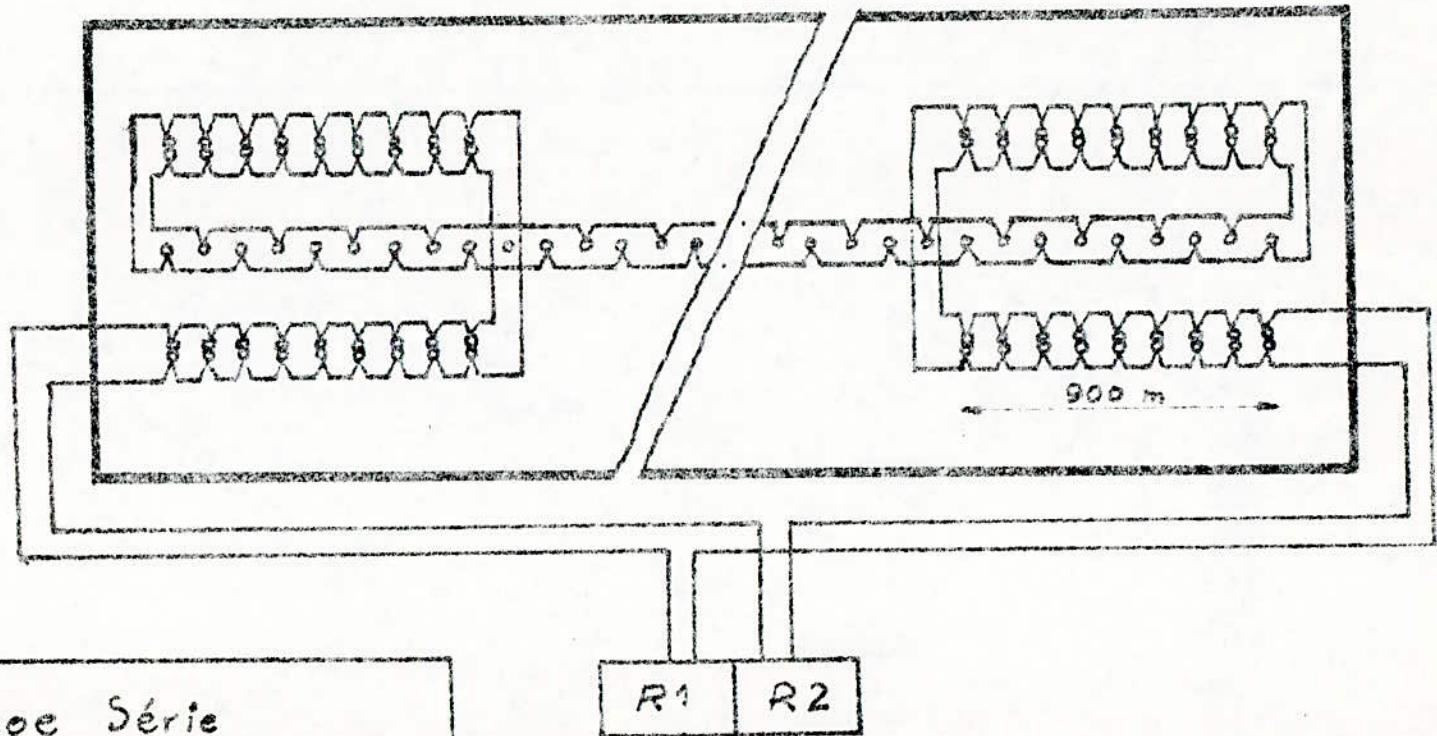
Le prix des câbles dépendant surtout du poids de cuivre, on remarque l'économie en poids de cuivre faite en alimentation série.

5. Tension dans le circuit primaire.

La haute tension primaire existe seulement dans les cabines placées dans la centrale électrique où règnent des tensions élevées et où opère un personnel qualifié.

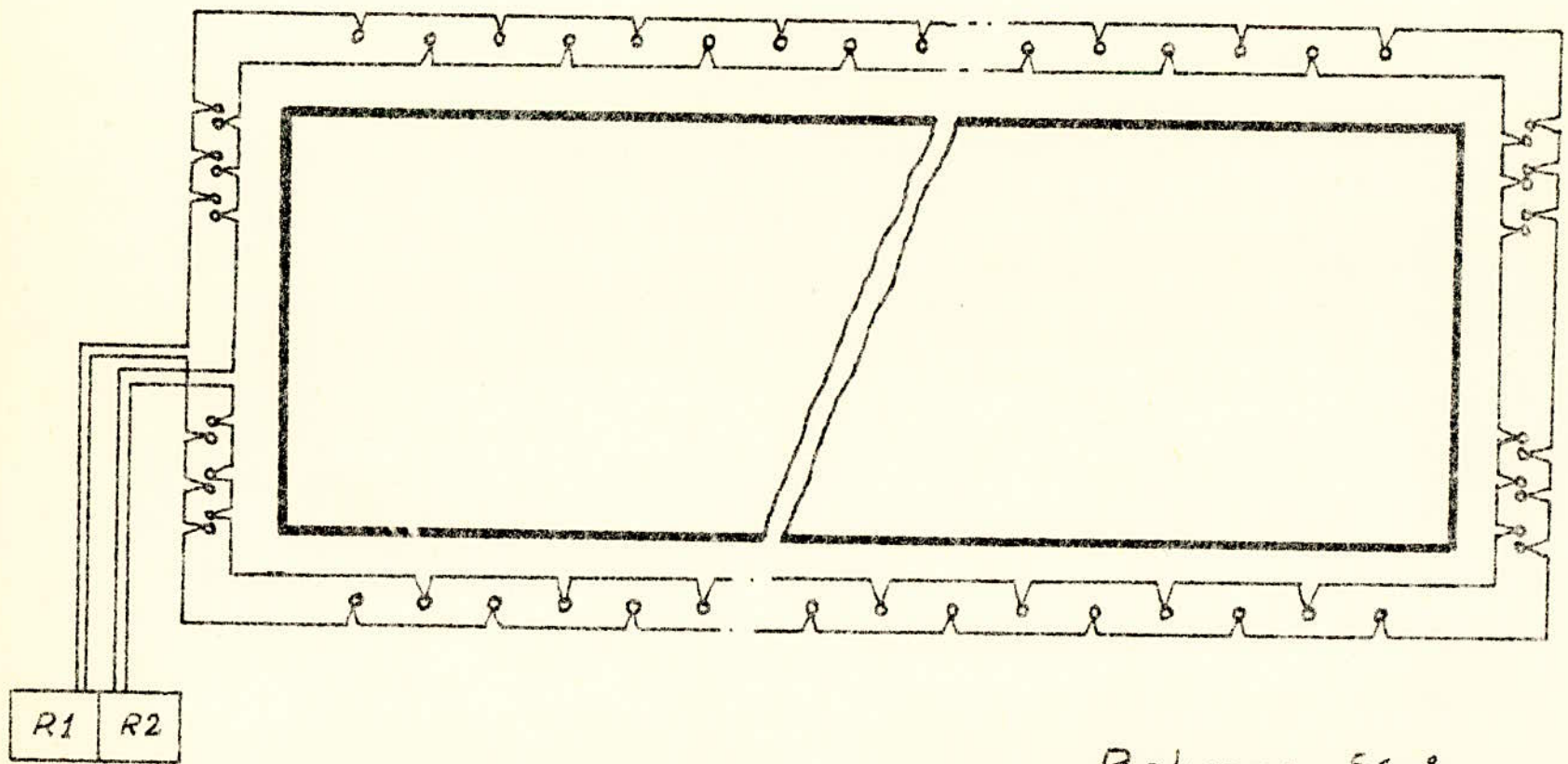
Dors d'une ouverture accidentelle du circuit primaire, la tension aux bornes du régulateur tend à croître, mais une protection limite à 1,4 fois la tension de régime de régulateur est automatiquement déconnecté du réseau d'alimentation après 0,5 s maximum.

Remarque : ce système série s'impose de plus en plus actuellement pour le balisage des pistes, approche, et voies de circulation. L'intérêt du régulateur à courant constant s'affirme également malgré son prix qui contribue à augmenter les frais de premières installations.



Balisage Série

- Axial et zones d'impacts
- R1, R2 : Circuits 1 et 2



Balisage Série

schéma de connexion des feux de bord et d'extrémités de piste. R1 et R2 : les regulateurs des circuits 1 et 2

Chapitre IV - ESTIMATION DE LA PUISSANCE ELECTRIQUE.

1. Présentation de l'Aéroport.

Notre aéroport (fictif) disposera d'éléments standards, et il aura les caractéristiques suivantes à savoir:

- Nombre de passagers - an : 1.000.000

- Nombre des mouvements d'aéronefs - an :

• de jour : 10.000

• de nuit : 5.000

• total : 15.000

- Classe d'aéroport : A }
- Catégorie de piste : II } Classification O.A.C.I.

- Aéronef "type" : moyen courrier B.727.

Cette donnée nous permet d'établir un aéroport doté de:

- 1 piste principale de 3600 x 45 m.

- 1 piste secondaire de 2400 x 45 m.

- 1 parking d'une dizaine de postes de stationnement de dimensions : 600 x 100 m.

- De plusieurs bretelles reliant les pistes au parking

- 1 aéro-gare (en forme de parallélépipède) de dimensions : 60 x 60 x 14 m.

- 2 hangars de 60 x 30 x 15 m. chacun

- 1 bloc de trafic

- 1 bloc technique.

- 1 parking "auto"

- Équipements radio-électriques.

2. Puissance aéroport.

a) Eclairage : (Source MAZDA)

- Éclairement à réaliser : $E = 500 \text{ lux}$
- Surface totale : $S = 3600 \text{ m}^2$
- Choix : éclairage direct par tubes fluorescents de 50 W groupés par 5
- Flux unitaire : $\phi = 4600 \text{ lux.}$
- Facteur d'utilisation : $\mu = 0,15$
- Facteur de dépréciation : $d = 1,5$

$$\text{Comme : } \phi = \frac{E \cdot S \cdot d}{\eta \cdot \mu}$$

On en déduit η le nombre de lampes :

$$\eta = \frac{E \cdot S \cdot d}{\mu \cdot \phi} = \frac{500 \times 3600 \times 1,5}{0,15 \times 4600}$$

$$\eta = 377 \text{ et } P = 60 \text{ kVA}$$

b) Climatisation :

La climatisation est assurée par une centrale chauffante alimentée au fioul ou au gaz ; l'énergie électrique est alors à négliger (accélérateurs, pompes, ...).

La production du froid et la ventilation ainsi que l'aération nécessiteront une puissance de : $P = 100 \text{ kVA}$ (Selon constructeur).

c) Bandes transporteuses de bagages :

Les différentes bandes de transports, les escaliers mécaniques, les box d'enregistrement et accessoires nécessitent une puissance de l'ordre de : $P = 40 \text{ kVA}$

d) Divers :

- des restaurants et les différents bars demandent : 70 kVA.
- des magasins et bureaux : 20 kVA.

e) Puissance totale aéroport :

$$P = 70 + 100 + 40 + 60 + 20 = 290 \text{ kVA}$$

3. Bloc de trafic :

Le bloc de trafic ne nécessite pas une puissance importante, ses équipements se réduisent à une télécommande, l'éclairage, les ensembles émetteurs - récepteurs transistorisés.

On lui attribue une puissance : $P = 20 \text{ kVA}$

4. Bloc technique :

- Ateliers : 20 kVA
 - Station de pompage eau : 50 kVA
 - Station de pompage carburant : 50 kVA
- Puissance totale : $P = 120 \text{ kVA}$

5. Parking avion (Éclairage).

On disposera 10 pylônes supportant 15 projecteurs chacun de 2 kW d'où la puissance de : $P = 300 \text{ kVA}$

6. Éclairage des voies d'accès intérieures.

Puissance estimée à : 10 kVA

7. Moyens de Radio-Navigations.

- V.O.R. : 10 kVA
- I.L.S. : 30 kVA
- Radar : 50 kVA

D'où la puissance de : $P = 100 \text{ kVA}$

8. Balisages.

a) Piste principale.

- Rampe d'approche	: 80 kVA
- Bords de piste	: 10 "
- Entrée et fin de piste	: 40 "
- Axe de piste	: 30 "
	<hr/>
	160 kVA

b) Piste secondaire :

- Rampe d'approche	: 15 kVA
- Bords de piste	: 5 "
- Entrée et fin de piste	: 30 "
	<hr/>
	50 kVA

c) Voies de circulation et obstacles.

des feux des voies de circulation étant d'une puissance de 30 W et de part la dispersion des feux d'obstacles on a attribué à ce balisage une puissance : $P = 50 \text{ kVA}$

d) Bilan des puissances des balisages.

$$P = 160 + 50 + 50 = 260 \text{ kVA.}$$

9. Installations industrielles.

Les installations industrielles situées dans les zones aéroportuaires sont constituées de hangars destinés au magasinage du fret et à la maintenance des avions.

Le total des demandes formulées par les différents utilisateurs en énergie électrique se situe à environ : 500 kVA

10. Bilan de la demande générale.

Désignation	Puissance (kVA)
- Aérogare	290
- Bloc de trafic	20
- Bloc technique	120
- Parking	300
- Eclairage (Voies intérieures)	10
- Moyens de Radio-Navigation	100
- Balisages	260
- Installations industrielles	500
Total	1600

Ce bilan représente une puissance P égale à la somme de toutes les puissances nominales.

Notre installation devant supporter une surcharge maximale normalement prévue ainsi que d'une extension éventuelle de l'aéroport, on a alors une puissance installée P_i telle que $P_i = \alpha \cdot P$ avec (α : coefficient tenant compte de la surcharge et de l'extension) $\alpha = 1,5$

La normalisation nous impose une puissance souscrite P_s telle que $P_s \geq P_i$. (contrat de fourniture).

Quant à la puissance consommée elle tient compte d'un coefficient dit de simultanéité.

des réseaux électriques sont avant tout des installations complexes et coûteuses. Aussi un grand soin devra être apporté à l'entretien et à la protection du système.

Ces installations peuvent être affectées par des dérangements ou défauts de causes et d'effets divers.

Ces perturbations influent directement sur les grandeurs électriques qui caractérisent le fonctionnement normal de l'installation, ainsi d'après les grandeurs les plus affectées on distingue :

- des baisses ou manques de tension
- des surtensions.
- des surintensités.

Afin de palier à ces défauts et minimiser leurs effets sur les différents équipements, on procède à l'installation d'une protection dont les critères seront :

- Efficacité : cette protection doit jouer son rôle dès l'apparition du défaut.
- Sélectivité : la tronçon du réseau concerné par le défaut doit être isolé sans perturber l'ensemble de l'installation.
- Economie : Choix judicieux de l'appareillage de protection.

1. Défauts :

1.1. Baisse ou manque de tension :

des baisses de tension et les coupures d'alimentation sont pratiquement inévitables. leurs effets se traduisent par une diminution des performances des récepteurs ou leurs arrêts totaux. Néanmoins ils peuvent supporter économiquement un écart de 5% de la tension nominale.

des baisses de tension sont causées par une instabilité du réseau, la coupure d'une phase au primaire d'un transformateur triphasé, ou un court-circuit.

d'installation de groupe électrogène à démarrage automatique est une solution à ce problème. la détection de ces défauts est assurée par des relais à minimum de tension du type à induction, temporisés pour éviter les déclenchements intempestifs lors de baisses de tension fugitives.

1.2. Surtension

des surtensions peuvent être d'origine interne ou externe et se traduisent par des contraintes diélectriques très importantes

a). des surtensions d'origines externes sont totalement indépendantes de la tension de service et peuvent prendre des valeurs très élevées. Elles proviennent de :

- Contacts entre réseaux à tensions différentes.
- Charges électrostatiques (Coups de foudre).

b). des surtensions d'origines internes dépendent des caractéristiques de la configuration du réseau (sefs, capacités, ...), des appareils de coupure et des conditions utilisation du neutre. Sur les réseaux à neutre

-directement à la terre, la valeur de crête maximum de surtension peut atteindre le double de la tension normale par contre lorsque le neutre est isolé, elle peut atteindre jusqu'à cinq fois la valeur de la tension normale.

Isolément : l'isolation du matériel est soumise à deux sortes de contraintes :

- contraintes permanentes
 - contraintes anormales dues aux surtensions
- la normalisation nous donne :

Tension de Service (kV)	Tension Nominale du matériel (kV)	Niveau d'isolement		Niveau de protection maximum (kV)
		50 Hz, 1 mn (kV)	choc (onde 1/50) (kV)	
6	7	15	60	40
10	11,5	24	80	55
15	17,5	36	100	70
20	23	47	120	95
30	35	71	170	140
45	52	105	240	200
63	70	141	310	260

1.3 surintensités.

des principales causes des surintensités sont :

- Une surcharge : imposé à l'appareillage en service normal, mais cette surintensité est parfois modérée et tolérable jusqu'à certaines limites. des câbles et appareillages supportent ainsi une certaine "surchargeabilité".
- Un court-circuit : ou surintensité brusque provenant d'un contact accidentel entre des conducteurs à des potentiels différents.

1.3.1. deux causes.

Elles sont nombreuses et peuvent provenir :

- D'une fausse manœuvre (ouverture d'un sectionneur en charge, ...).
- D'un court-circuit.
- D'une mise sous tension d'un transformateur à circuit secondaire ouvert qui provoque un fort appel de courant.
- De la détérioration d'un câble
- D'imprudences diverses (masses métalliques sur un jeu de barres, ...)
- Des régimes transitoires des machines (Démarrage de moteurs, ...)

1.3.2. deux effets.

des surintensités imposent aux matériels des contraintes très fortes et, de façon générale, nuisent à la stabilité du réseau. Les contraintes se manifestent sous les aspects d'un échauffement dû à l'effet Joule et d'efforts électrodynamiques.

a) Effet Joule.

Un conducteur de résistance R parcouru par un courant I pendant un temps t acquiert une énergie calorifique de valeur :

$$W = RI^2t$$

l'élevation de température est donnée par la solution de l'équation différentielle régissant l'équilibre thermique en fonction du t :

$$\theta = \frac{P}{K} - \left(\frac{P}{K} - \theta_0 \right) e^{-\frac{K}{mc} \cdot t}$$

- $P = RI^2$
- K : constante qui dépend de la surface du conducteur
- m : masse du conducteur
- c : chaleur massique.
- θ_0 : température initiale.

dans que $\frac{Kt}{mc}$ est assez grand alors :

$$\theta = \frac{P}{K} = \frac{RI^2}{K} \quad \text{on pose } \frac{R}{K} = A \text{ d'où } \theta = A \cdot I^2$$

Il convient de remarquer que l'élevation de température donc de l'échauffement est d'autant plus importante que la surintensité est élevée atteignant des valeurs susceptibles d'altérer les propriétés des conducteurs et détruire les isolants

b) Effet électrodynamique

d'effort électrodynamique s'exerçant sur deux conducteurs parallèles parcourus par des courants I_1 et I_2 est donné par :

$$F = \frac{k_1 k_2 L}{d} \cdot I_1 \cdot I_2$$

L : longueur des conducteurs

d : distance entre les conducteurs.

k_1 : coefficient qui tient compte des unités.

k_2 : " de Dwight relatif à la géométrie des conducteurs.

des efforts électrodynamiques imposent des contraintes qui se traduisent violemment par des déformations de barres et de connexions, des avaries de supports d'isolateurs et des dégâts considérables notamment dans les enroulements des transformateurs et des bobines de réactances. des efforts électrodynamiques sont essentiellement calculés pour s'assurer si une canalisation donnée est capable de résister aux forces qui se développent en cas de court-circuit.

2. Protection contre les surintensités.

Il y a d'abord les précautions prises lors de la mise en place de l'installation électrique et du choix de l'équipement.

On cherchera à connaître :

- des contraintes thermiques,
- des contraintes mécaniques,

ceci afin de déterminer le courant admissible qu'il ne faut pas dépasser. Pour les surintensités dues aux courants de court-circuit, on adopte deux principes :

- limiter ces courants à des valeurs admissibles.
- Élimination des courts-circuits en isolant le tronçon du réseau concerné.

a) limitation des surintensités.

des courants de court-circuit sont limités en plaçant des impédances à la sortie des transformateurs, par la mise à la terre du neutre à travers des impédances, ainsi que par une forte réactance dans les câbles et les jeux de barres. On procède aussi à un fractionnement du réseau en exploitation normal afin de limiter les puissances interconnectées.

b) Élimination des surintensités.

devant un court-circuit violent, la limitation du courant s'avère souvent insuffisante. Il faut alors effectuer des coupures et isoler rapidement le tronçon du circuit en défaut. Ce but est atteint grâce aux appareils de protection qui surveillent constamment le réseau de distribution.

Cet appareillage est constitué essentiellement de :

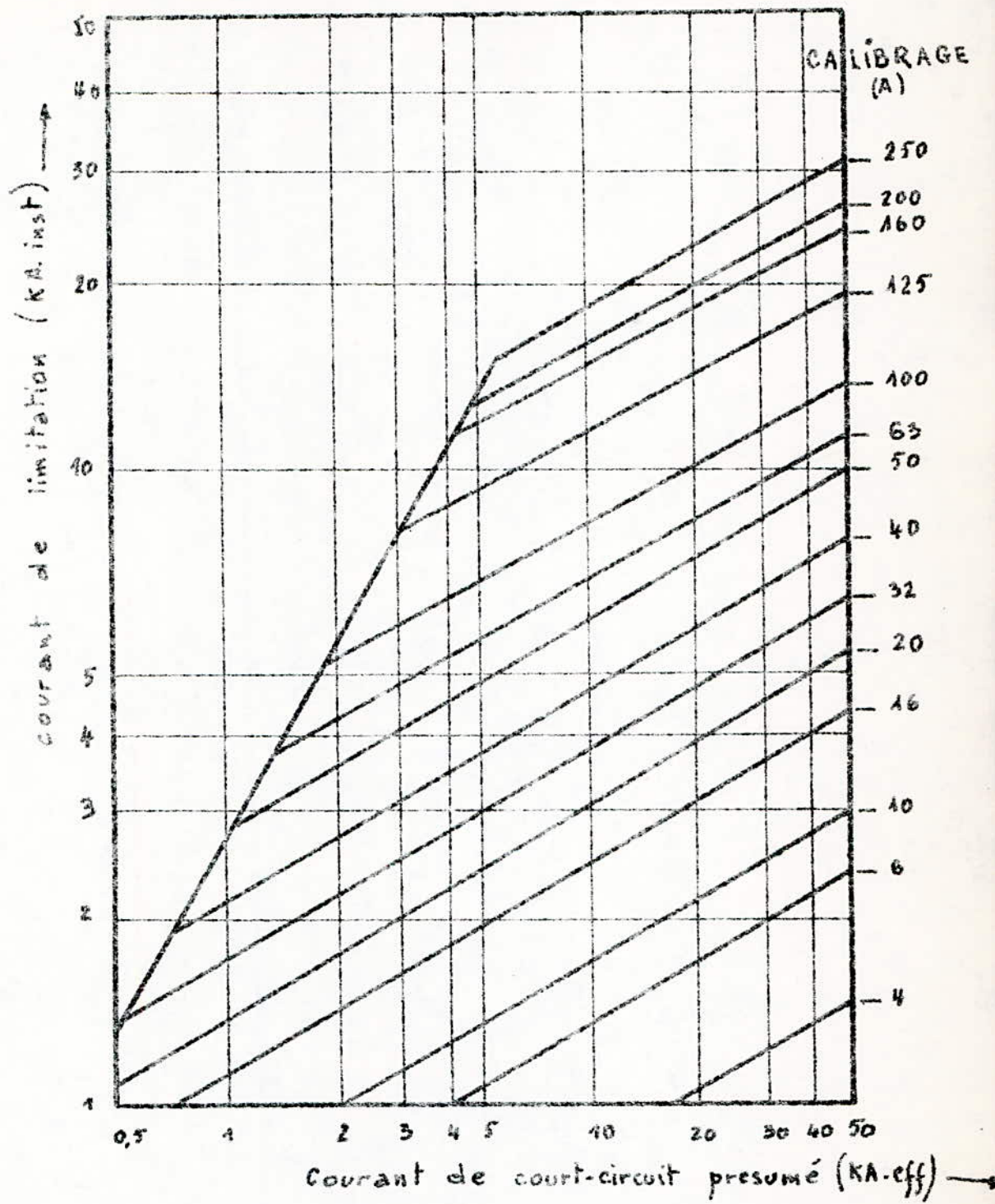
- Coupes-circuits fusibles.
- Relais thermiques.
- Relais magnétiques.
- Relais ampérométriques.

Coupe-circuit fusible : est un conducteur en métal introduit dans le circuit à protéger. Il est calibré de façon à supporter sans s'échauffer le courant normal et à fondre lorsque le courant a atteint une valeur critique. Le temps de fusion est généralement proportionnel à la valeur de surintensité. Néanmoins, il ne constitue pas une protection efficace contre les surcharges.

Avec des coupes-circuits à fusion enfermés on arrive à des durées de fonctionnement qui ne dépassent pas quelques millièmes de secondes ; les pouvoirs de coupure peuvent atteindre 100.000 A pour des calibres de 200 A.

L'intensité de fusion varie avec :

- le diamètre du fil.
- la nature du fil et ses caractéristiques physiques et électriques : valeur spécifique, conductibilité thermique, résistivité électrique, ...
- les conditions de refroidissement.
- les variations de courant en fonction du temps et le temps de passage du courant.
- la température ambiante.



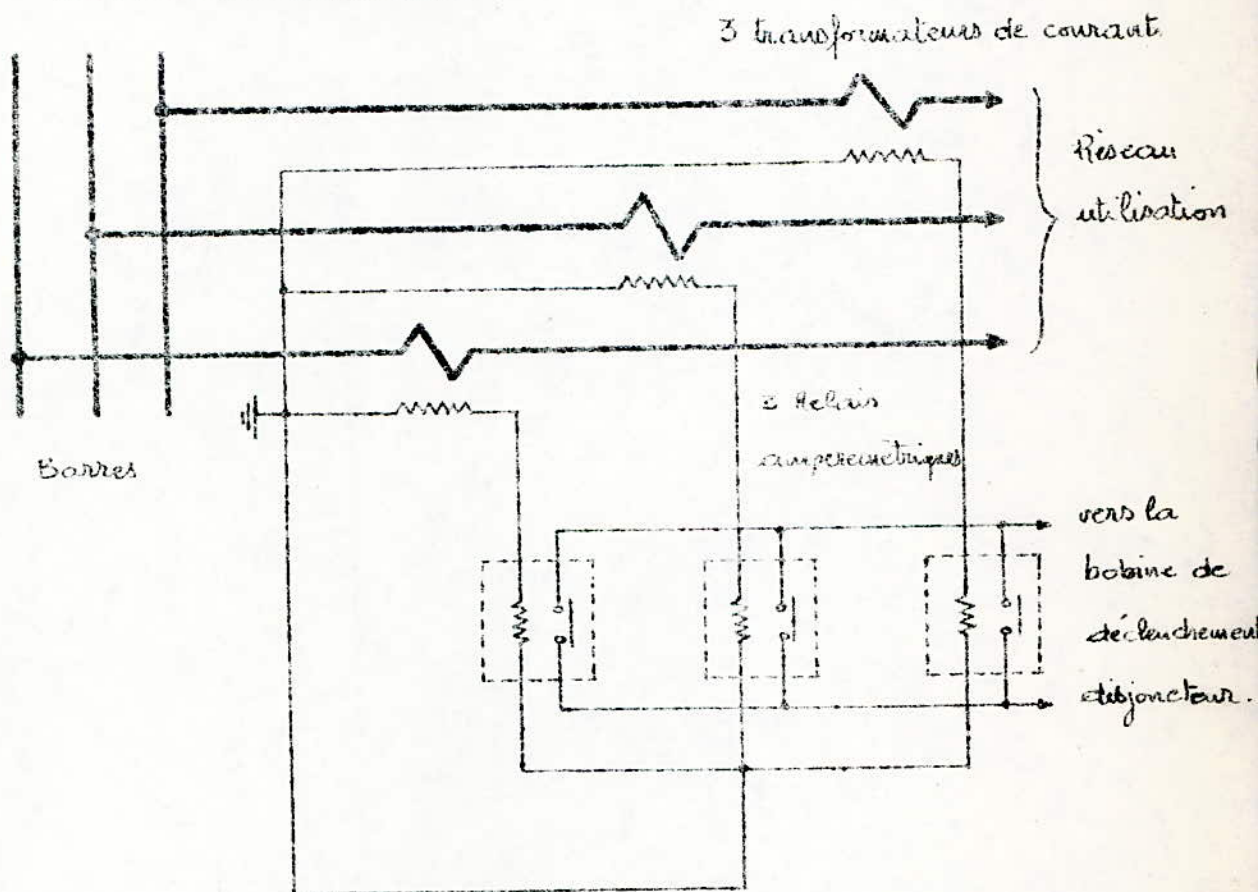
COURANT DE LIMITATION (Doc CEM.)

Protection ampéremétrique de phase.

Dans une installation importante les défauts les plus fréquents sont les courts-circuits. Ils entraînent une surintensité par rapport au courant qui parcourait la ligne avant le défaut. La protection la plus simple et la plus utilisée est la protection ampéremétrique. La sélection peut être obtenue par des relais temporisés.

Un relais à maximum d'intensité est monté dans chaque phase et est réglé à une intensité supérieure à l'intensité maximum admissible.

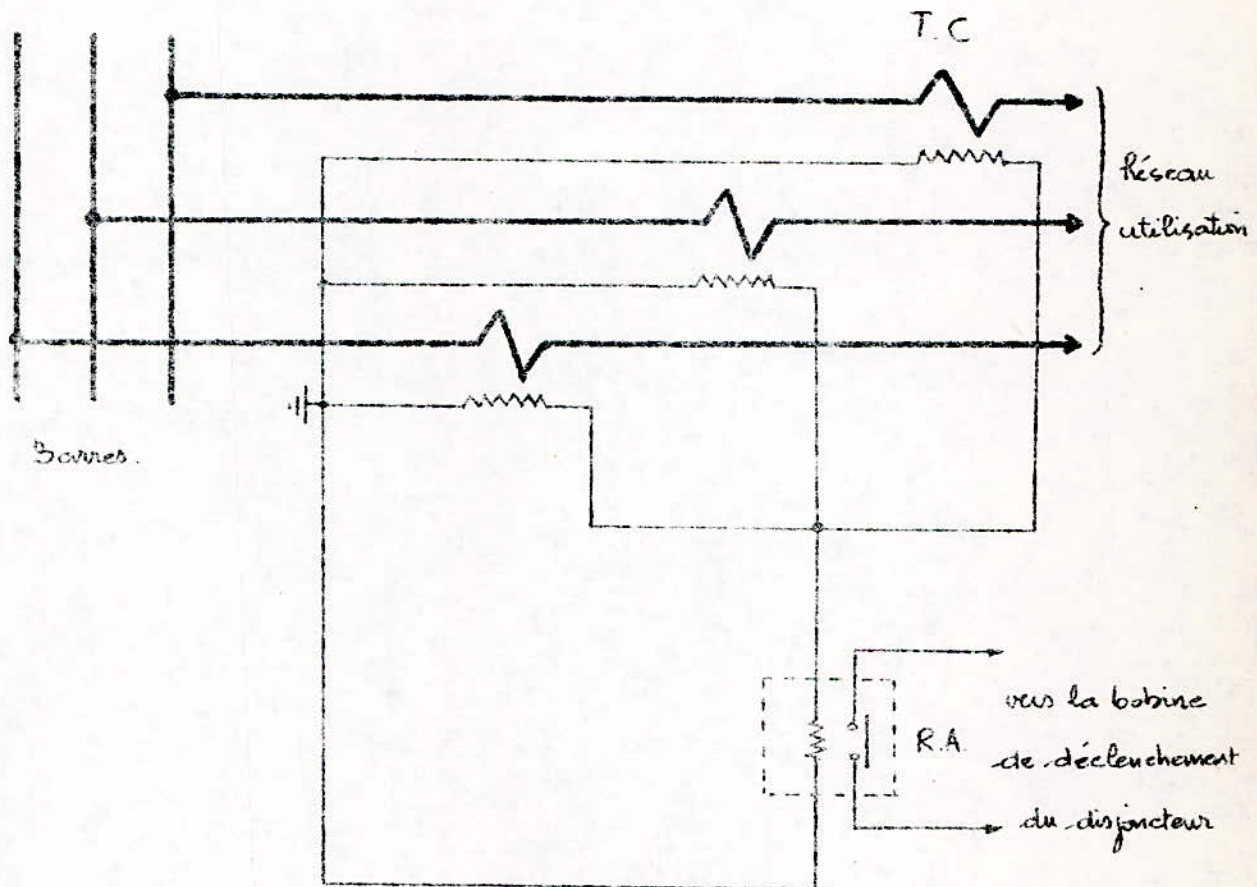
Schema de montage.



Protection ampéremétrique de terre :

Parmi les courts-circuits le défaut d'une phase à la terre est le cas le plus rencontré. Il est dû à une mise accidentelle à la terre d'un fil de phase d'un réseau ou à l'intérieur d'une machine (transformateur, ...) par claquage à la masse.

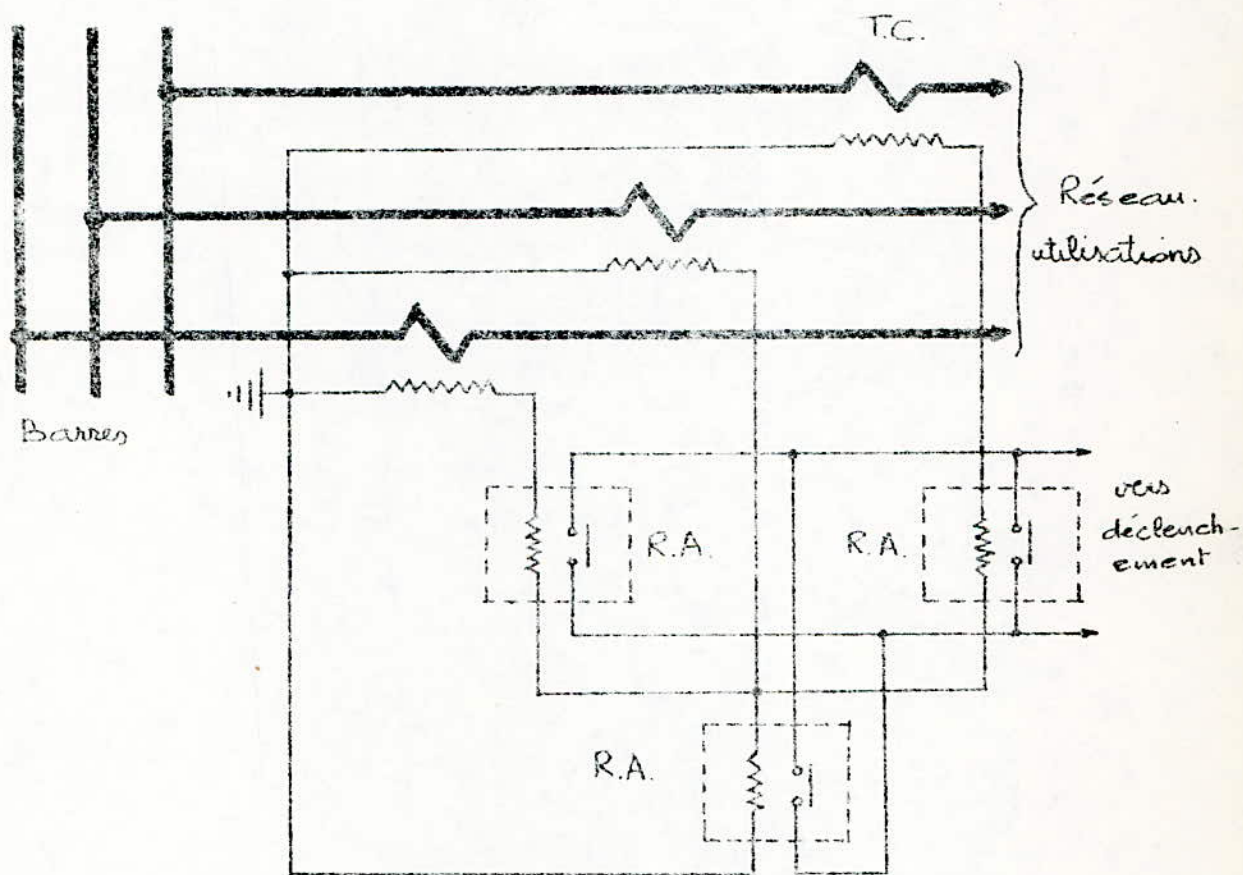
Schéma de montage :



Protection ampéremétrique de phase et de terre.

Pour la détection des courts-circuits entre phases on peut simplifier le montage de la figure 1 en adoptant un montage à deux relais ampéremétriques et trois transformateurs de courant, puisque un défaut polyphasé interresse au moins deux phases.

On ajoute un troisième relais ampéremétrique de terre pour les courts-circuits entre phase et terre.



On dispose d'une source auxiliaire de courant continu pour la bobine de déclenchement du disjoncteur. des différents contacts à fermeture des relais sont montés en parallèle, la fermeture de l'un des contacts provoque le déclenchement du disjoncteur.

3. Détermination des courants de court-circuit.

L'important est de connaître la limite supérieure du courant de court-circuit susceptible d'apparaître dans les circonstances d'exploitation les plus défavorables et cette limite peut être déterminée avec une certaine approximation en admettant diverses simplifications (on néglige les valeurs des résistances et les capacités devant celles des réactances).

Pour simplifier les calculs on peut négliger d'une part l'impédance en amont des transformateurs d'alimentation et d'autre part l'apport au court-circuit des charges.

Pour calculer la puissance de court-circuit en un point d'un réseau, il y a donc lieu de connaître les réactances des machines synchrones, asynchrones, des transformateurs, des lignes aériennes et des câbles souterrains de ce réseau. Les réactances des machines et transformateurs sont généralement données en pour cent de l'impédance nominale, c'est-à-dire l'impédance représentée par le rapport de la tension étiquetée nominale V_n sur le courant nominal I_n .

Si la réactance en court-circuit est de x pour cent on a :

$$Z_{cc} = \frac{x}{100} \cdot \frac{V_n}{I_n}$$

$$\text{ou : } Z_{cc} = \frac{x}{100} \cdot \frac{\sqrt{3} V_n}{\sqrt{3} I_n}$$

$$\text{mais } U_n = \sqrt{3} V_n \quad \text{et} \quad S_n = \sqrt{3} U_n I_n$$

$$\text{donc } Z_{cc} = \frac{x}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n}$$

Dans le cas d'un court-circuit triphasé on a :

$$I_{cc} = \frac{V_n}{Z_{cc}} \quad (\text{la tension avant le défaut est égale à la tension nominale } V_n)$$

$$\text{or : } S_{cc} = 3 \cdot V_n \cdot I_{cc} = 3 \frac{V_n \cdot V_n}{Z_{cc}} = \frac{U_n^2}{Z_{cc}}$$

$$S_{cc} = \frac{U_n^2}{Z_{cc}} = U_n^2 \cdot \frac{100}{x} \cdot \frac{S_n}{U_n^2} = \frac{100}{x} \cdot S_n.$$

$$\boxed{S_{cc} = \frac{100}{x} \cdot S_n.}$$

S_{cc} représente la puissance de court-circuit triphasé aux bornes d'une machine ou d'un transformateur en supposant la puissance amont infinie.

Réactances des transformateurs

La réactance intervenant dans le cas d'un court-circuit triphasé symétrique est la réactance de fuite entre les enroulements primaires et secondaires.

La valeur est généralement indiquée sur la plaque des caractéristiques des transformateurs et est généralement appelée tension de court-circuit en pour cent.

$$\text{On a en effet : } \frac{U_{cc}}{U_n} = \frac{Z_{cc} I_n}{Z_n I_n}$$

$$\text{or : } \boxed{\frac{U_{cc}}{U_n} = \frac{Z_{cc}}{Z_n}.}$$

Exemple : pour un transformateur de 10 % de tension de court-circuit triphasé symétrique S_{cc} sur les bornes côté aval est en admettant une puissance infinie en amont :

$$S_{cc} = \frac{100}{10} \cdot S_n = 10 \cdot S_n.$$

Tableau : donnant la tension de court-circuit en pour cent des transformateurs selon la tension de service en KV et la puissance en KVA.

P (kVA)	Tension Nominale (kV)	$\mu_{cc} \%$
5 à 5600	6,3 et 10	5,5
50 " 2400	35	6,5
3200 " 4200	35	7,0
5600 " 10.000	35 à 38,5	7,5
15.000 " 34500	35 " 38,5	8,0
3200 " 62000	110 " 121	10,5

Exemple de calcul de courants de court-circuit :

Cas du transformateur alimentant les zones semi-prioritaires :

$$S_n = 800 \text{ kVA}$$

$$U_n = 5,5 \text{ kV}$$

$$\mu_{cc} = 5,5$$

$$I_{cc} = \frac{V_n}{Z_{cc}} \quad \text{avec} \quad Z_{cc} = \frac{\mu_{cc} \%}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n}$$

$$I_{cc} = \frac{100 S_n}{\sqrt{3} \cdot \mu_{cc} \% \cdot U_n}$$

$$\text{d'où} \quad I_{cc} = \frac{100 \times 800}{\sqrt{3} \times 5,5 \times 5,5}$$

$$\Rightarrow \quad I_{cc} = 1540 \text{ A}$$

Chapitre VI - ALIMENTATION ELECTRIQUE.

1. Critères d'exploitation.

1.1. Du point de vue aéronautique, les critères de l'exploitation sont assez stricts à cause des dangers relatifs aux vitesses élevées des avions modernes (un avion de 80 tonnes procède à sa phase d'approche finale à une vitesse de 300 km/h environ). D'où l'importance de la sécurité qui en découle, sécurité des personnes et du matériel volant très coûteux.

Pour assurer la régularité et la sécurité de la navigation aérienne l'O.A.C.I. précise en ce qui concerne l'alimentation électrique (Document 7920. AN/865, 4^{ème} partie):

- Des sources d'alimentation secteur indépendantes: l'alimentation nécessaire à l'aéroport doit provenir de deux sous-stations distinctes, au moyen de lignes de transmission distinctes, suivant des trajectoires distinctes. En cas de panne de l'une des stations, l'alimentation est fournie par l'autre station. La commutation doit se faire automatiquement et elle peut être instantanée.

- d'installation d'une centrale électrique de secours à commutation rapide et automatique.

1.2. Du point de vue de l'exploitation électrique le réseau se trouve constitué par un ensemble de câbles souterrains reliés aux transformateurs aux générateurs et aux différents récepteurs par l'intermédiaire de

tableaux de distribution.

Ces tableaux de distribution réalisent des changements de schémas au moyen d'appareils nécessaires permettant d'assurer les manœuvres suivantes.

a) Manœuvres d'exploitation normales: mises sous tension et coupures dans les limites de la charge maximum en service normal. des appareils d'interruption sont dotés d'un pouvoir de coupure.

b) Manœuvres nécessitées par les perturbations: ces manœuvres d'ouvertures et de fermetures des circuits en charge doivent pouvoir être réalisées dans tout le domaine des courants de court-circuit susceptibles d'être débités par le réseau. De telles manœuvres doivent être effectuées rapidement et automatiquement par des disjoncteurs et des coupes-circuits fusibles à haut pouvoir de coupure.

c) Manœuvres d'entretien: pour la révision, l'entretien, et la réparation du matériel ou des câbles. Ces opérations, effectuées à vide, sont assurées par les sectionneurs qui sont à coupures visibles dans l'air pour une large sécurité d'emploi.

2. Eléments constitutifs d'un poste:

2.1. Disjoncteurs: appareils de commutation en charge utilisés pour effectuer des manœuvres en régime normal, et pour interrompre automatiquement le circuit en cas de défaut. La commande des disjoncteurs est électrique ou pneumatique, elle peut être locale ou à distance, manuelle ou automatique. Les disjoncteurs possèdent un haut pouvoir de coupure correspondant aux courants de court-circuit.

2.2. Sectionneurs: appareils ayant pour but d'ouvrir ou de fermer des circuits à haute tension qui peuvent être ou non sous tension, mais qui ne sont parcourus par aucun courant d'utilisation car ils sont sans pouvoir de coupure. Ils réalisent la mise "hors" ou "en circuit", sûre et visible de l'appareil qu'ils encadrent de manière à assurer la sécurité et la réparation du matériel.

2.3. Seljs: sont montées dans les circuits de lignes ou sur les barres collectrices pour diminuer le courant de court-circuit.

2.4. Barres: sont des circuits auxquels peuvent être reliées toutes les machines, alternateurs, transformateurs, et toutes les lignes de même tension qui aboutissent. Suivant l'importance du circuit on utilise des tableaux à un, deux, ou trois jeux de barres.

2.5. des comptages: désignent globalement l'ensemble des appareils de mesure et de comptage.

3. Schémas des postes.

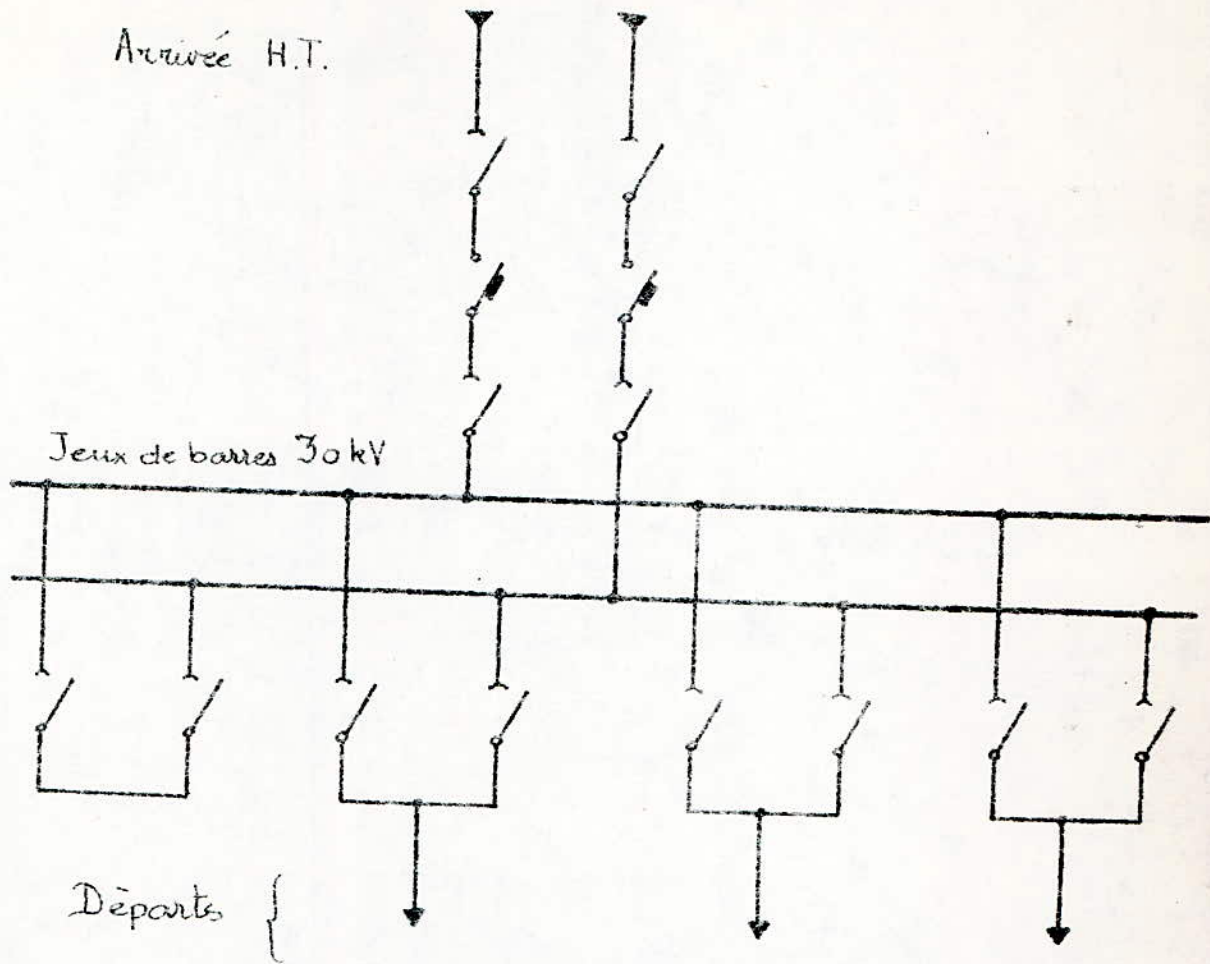
3.1. Poste H.T.

Le raccordement du poste au réseau national se fera par deux arrivées distinctes (conformément aux recommandations O.A.C.I.)

Chaque arrivée est constituée d'un câble triphasé enterré capable de faire travailler la puissance nominale.

La recherche de la continuité maximale de service conduit à l'utilisation de deux jeux de barres principaux, auxquels seront raccordés les différents départs classés selon leurs importances en zones prioritaires, zones semi-prioritaires et zones non prioritaires.

Schema



Ce schéma à deux jeux de barres donne la possibilité de passer toutes les arrivées et tous les départs sur un même jeu de barres ou au contraire répartir sur les deux jeux de barres une seule arrivée.

3.2. Poste HT/MT.

3.2.1. Départ non prioritaire.

La zone industrielle est desservie à partir du poste HT sous la tension du réseau (30 kV) par un câble unique. Ce câble aboutit au poste de transformation commun aux utilisateurs industriels.

3.2.2. Départs semi-prioritaires

des zones semi-prioritaires sont les ensembles qui ne peuvent supporter qu'une coupure d'alimentation de courte durée.

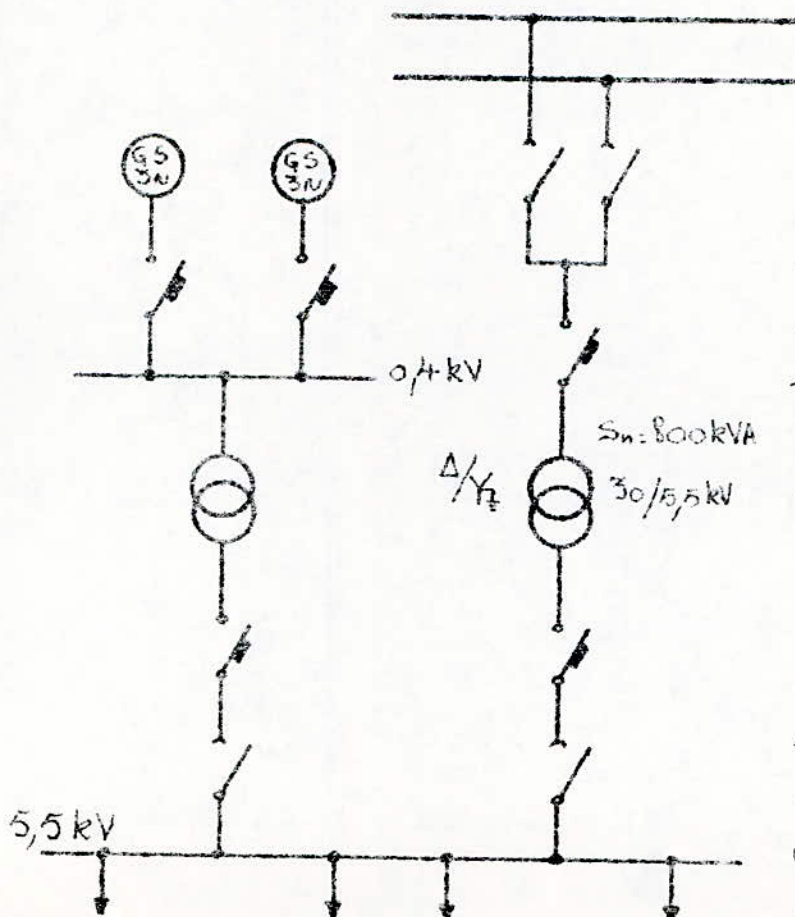
En cas de panne du secteur, ces zones sont secourues par des groupes de secours automatiques.

Ces zones sont :

- d'aérogare
- de parking avion.
- de bloc technique.
- d'éclairage des voies intérieures.

Ces zones sont desservies en M.T (5,5 kV) par un réseau radial à partir d'un seul jeu de barres.

Schéma



On dispose pour les zones semi-prioritaires d'un transformateur abaisseur 30 kV/5,5 kV couplé au réseau, d'un transformateur élévateur 0,4/5,5 kV raccordé aux générateurs de secours par des disjoncteurs de coupages permettant la marche en parallèle des générateurs de secours

3.2.3 Departes prioritaires.

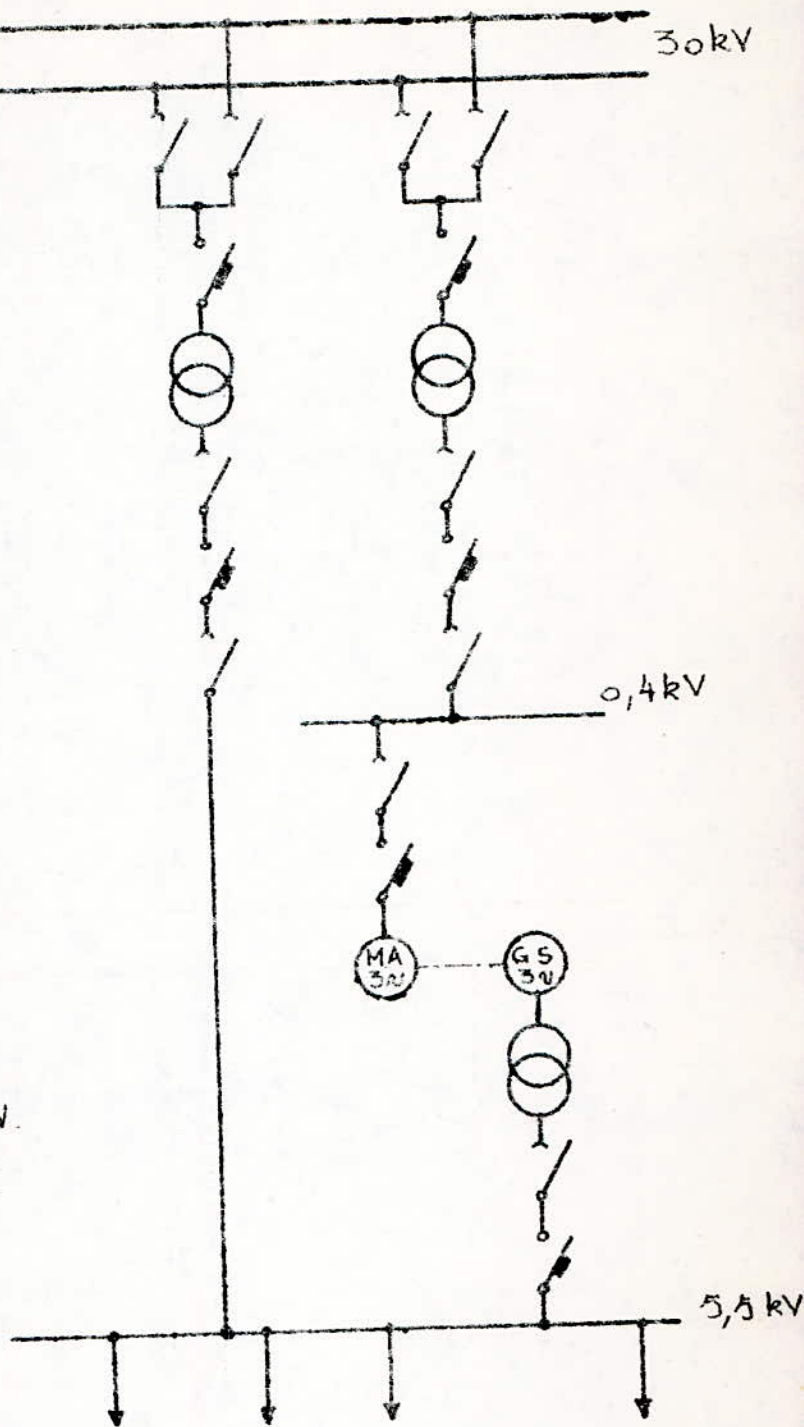
des zones prioritaires sont les zones qui ne peuvent subir aucune coupure à savoir :

- des balisages lumineux
- des moyens de Radio-Navigation.
- de bloc de trafic
- des auxiliaires de la centrale.

Ces zones sont desservies en M.T (5,5 kV) par un jeu de barres unique auquel est raccordé l'alternateur du groupe sans coupure en passant par un transformateur élévateur 0,4/5,5 kV.

L'alternateur est entraîné par un moteur électrique puissant couplé au réseau par l'intermédiaire d'un transformateur abaisseur 30/0,4 kV.

En cas de panne ou de maintenance du groupe, l'alimentation secteur pourra de secours ; un transformateur abaisseur 30/5,5 kV est aussi prévu.



- Schéma -

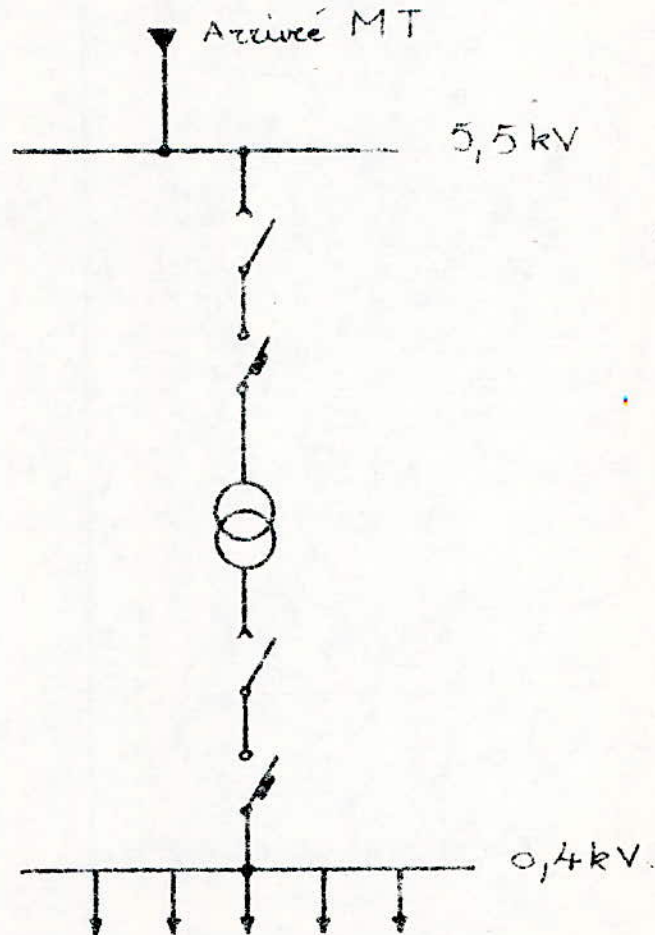
3.5 Postes M.T./B.T.

Certains ensembles de l'aéroport (Aérogare, ...) utilisent un réseau B.T. (380/220V) pour les besoins internes. leur alimentation s'effectue alors de la façon suivante :

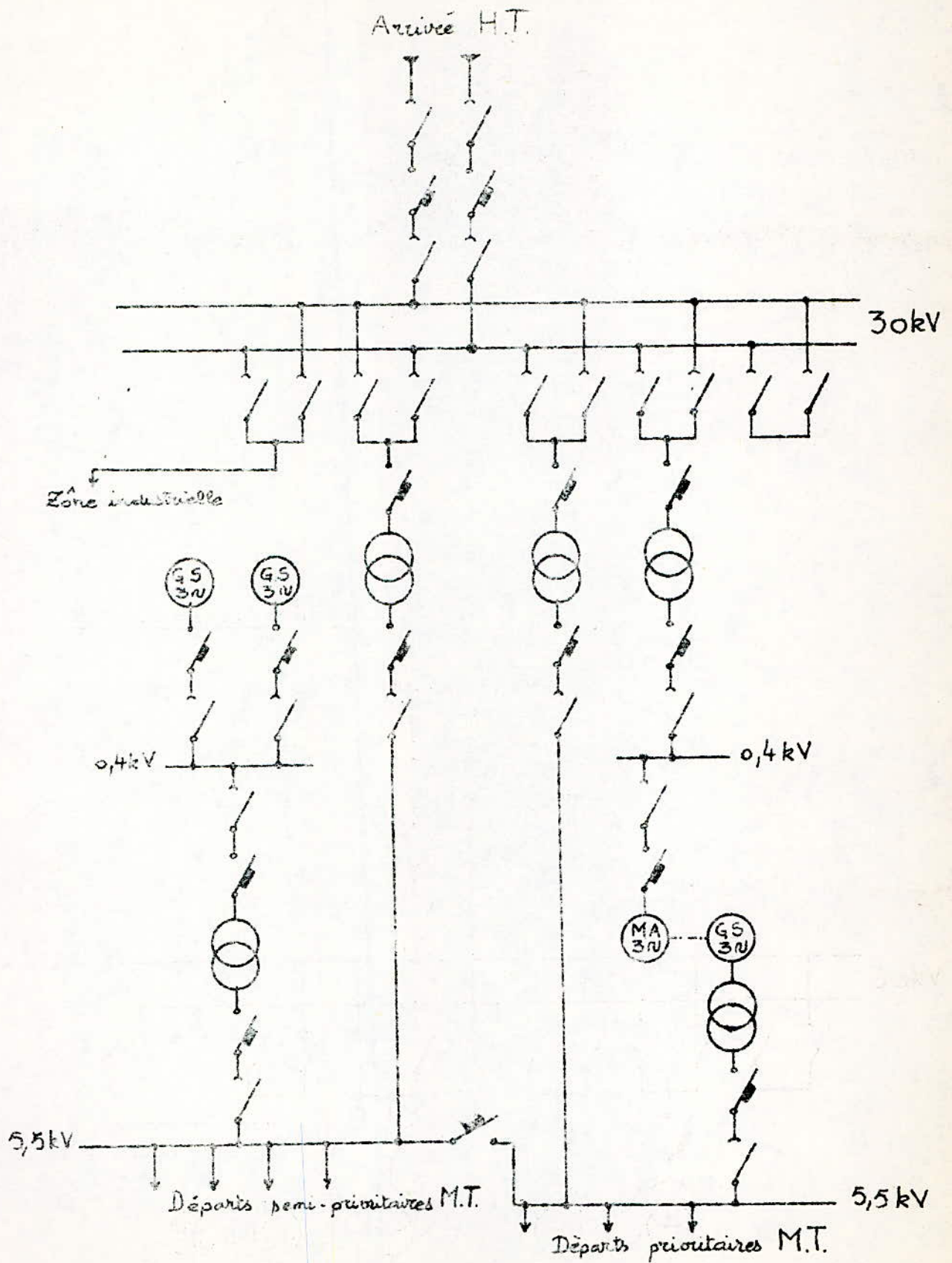
- Un poste de livraison est installé à la base de l'ensemble considéré, ce poste comporte un ou plusieurs transformateurs M.T./B.T. qui alimentent l'ensemble des canalisations et colonnes B.T.

Le réseau B.T. sera du type antenne, car il s'agit d'éléments en bout de chaîne ne représentant qu'une faible puissance par rapport à l'ensemble.

- Schéma -



3.4 Schéma général.



Caractéristiques des câbles et chute de tension

des chutes de tension seront négligées en fait des courtes longueurs des câbles et de la distribution en moyenne tension (faibles courants).

$$\Delta U = R I = r \cdot l \cdot \frac{S}{\sqrt{3} U}$$

r : résistance en Ω/km .

l : distance en km.

S : puissance en kVA.

U : tension en kV.

ΔU : chute de tension en V.

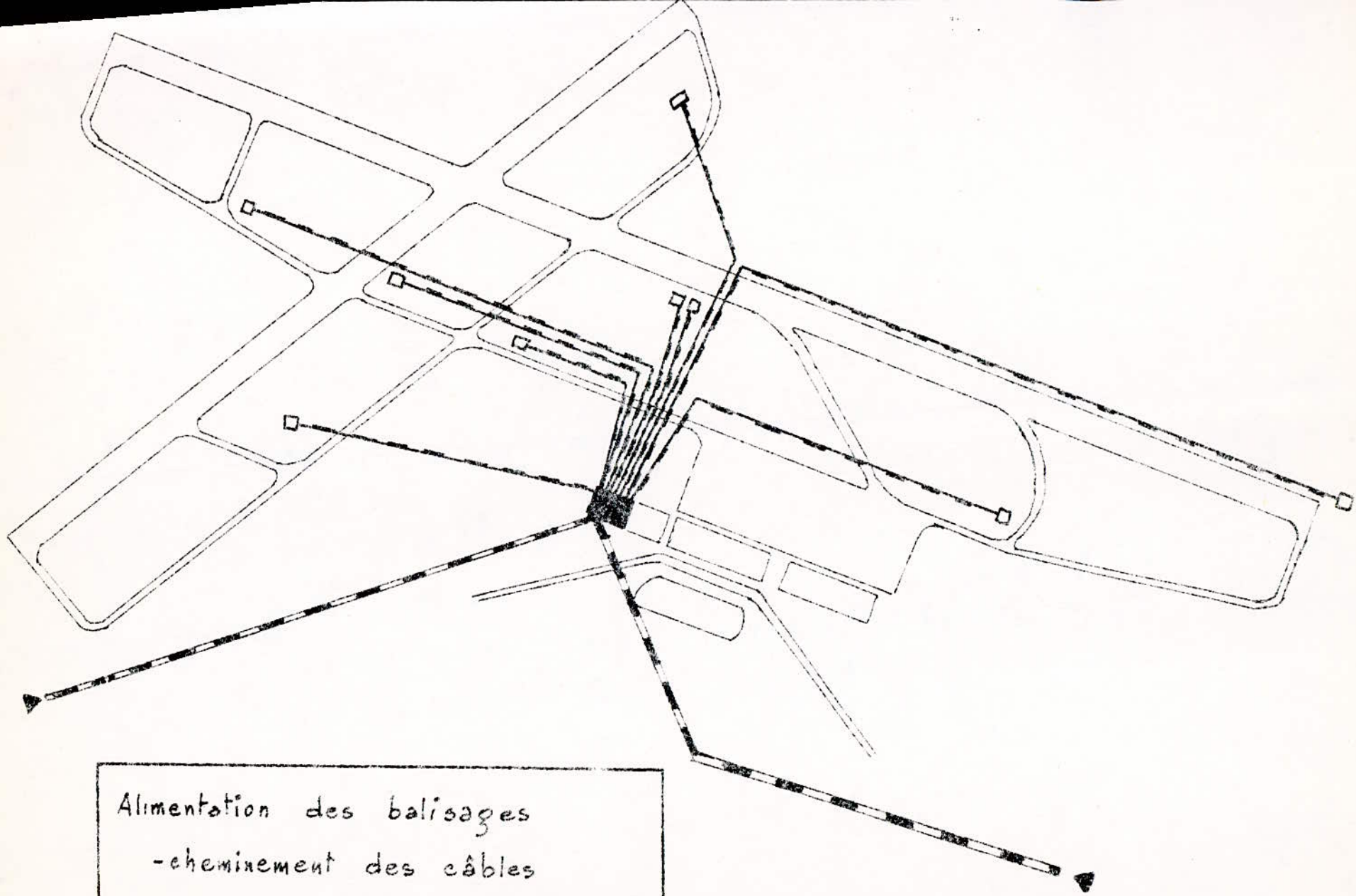
Câbles utilisés :

- Zone industrielle :

- Tension : 30 kV.
- Section : $3 \times 150 \text{ mm}^2$
- Résistance à 50°C : $0,43 \Omega/\text{km}$.
- Intensité admissible : 320 A.
- Chute de tension : $\Delta U = 2 \text{ V}$

- Aéroport :

- Tension : 5,5 kV
- Section : $3 \times 16 \text{ mm}^2$
- Résistance à 20°C : $1,15 \Omega/\text{km}$.
- Intensité admissible : 115 A.
- Chute de tension : $\Delta U = 37 \text{ V}$.



Alimentation des balisages
-cheminement des câbles
—— : câbles bipolaires. $2 \times 6 \text{ mm}^2$

Chapitre VII - CENTRALE DE SECOURS.

1. Rappel des spécifications O.A.C.I.

Certaines parties des installations électriques, définies comme étant prioritaires à savoir les dispositifs de balisage lumineux et les aides à la navigation aérienne ainsi que certains équipements électroniques, ne peuvent supporter aucune baisse de tension ou coupure de courant même résultant d'un déclenchement-réenclenchement aussi rapide soit-il.

Il convient donc de prendre des mesures pour garantir l'alimentation ininterrompue des zones prioritaires.

Le temps de commutation devrait être aussi court que possible et il devrait être déterminé pour chaque type d'opération.

Le temps de commutation est défini comme étant l'intervalle de temps qui s'écoule entre la panne de la source normale d'alimentation et le rétablissement complet de l'alimentation.

Les temps de commutation recommandés par l'O.A.C.I. (Manuel d'aérodromes, 4^{ème} partie, chap 1^{er}) sont indiqués dans le tableau 1.

des solutions qui se présentent quant à assurer la continuité de l'alimentation électrique sont nombreuses.

Toutefois, l'O.A.C.I. préconise la méthode suivante.

2. Un générateur de secours.

L'alimentation auxiliaire peut être assurée au moyen d'un générateur électrique fonctionnant sous le contrôle de l'administration de l'aéroport.

Tableau 1. Spécifications relatives à la source d'alimentation auxiliaire.

Piste avec approche de précision,	Balisage lumineux	
	Aides nécessitant une alimentation	Délai maximal de commutation.
Catégorie I	- Dispositif lumineux d'approche	15 p
	- Feux de bord de piste	15 p
	- Feux de seuil de piste	15 p
	- Feux de voie circulation essentielle	15 p
	- Feux d'obstacles.	15 p
Catégorie II	- Dispositif lumineux d'approche	1 p
	- Feux de bord de piste	15 p
	- Feux de seuil de piste	1 p
	- Feux d'axe de piste.	1 p
	- Feux de zone d'impact	1 p
	- Feux de voie de circulation essentielle	15 p
	- Feux d'obstacles	15 p.
Catégorie III	(Comme pour la catégorie II)	

Une centrale sera installée regroupant les différentes sources d'alimentation auxiliaire qui sont de deux types :

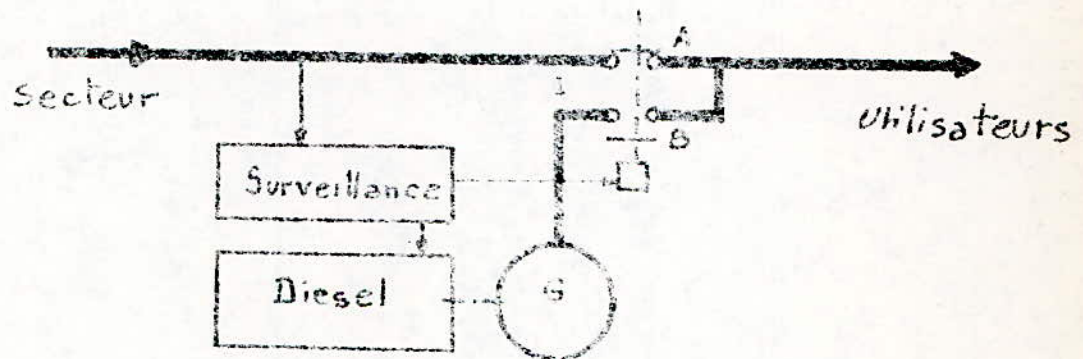
- Type secours pour les zones semi-prioritaires, en prévision d'une panne de l'alimentation secteur.
- Type normale qui utilise un générateur comme source d'alimentation principale pour les zones prioritaires.

Ces sources d'alimentation sont en fait des groupes électrogènes constitués essentiellement de moteurs diesels et d'alternateur délivrant la tension de service.

On rencontre trois classes de groupe selon le temps de prise en charge.

2.1. Groupe pour interruption de courte durée :

a) Schema :



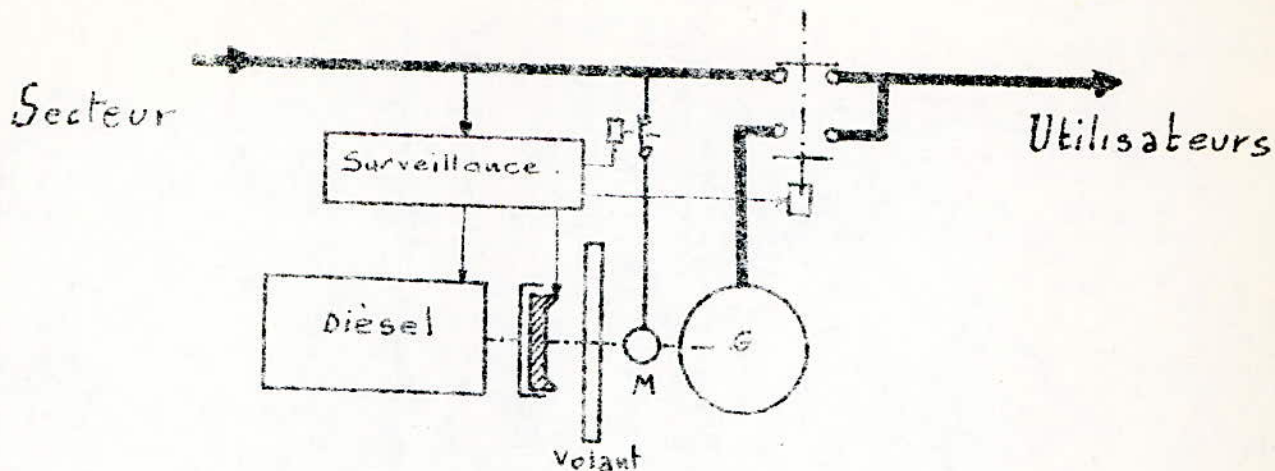
b) Principe de fonctionnement :

Le secteur alimente directement les utilisations, l'inverseur **1** étant en position A.

En cas d'un manque de tension secteur, un ordre est donné au diesel de démarrer et à l'inverseur de basculer en position B. Le temps d'interruption est généralement de 20 secondes.

2.2. Groupe à coupure brève.

a) Schéma.



b) Constitution.

Sur un même châssis, on dispose de :

- 1 moteur diesel.
- 1 embrayage électromagnétique.
- 1 volant d'inertie.
- 1 alternateur.
- 1 moteur électrique de faible puissance permettant d'entraîner l'alternateur à vide et le volant d'inertie.

c) Principe de fonctionnement.

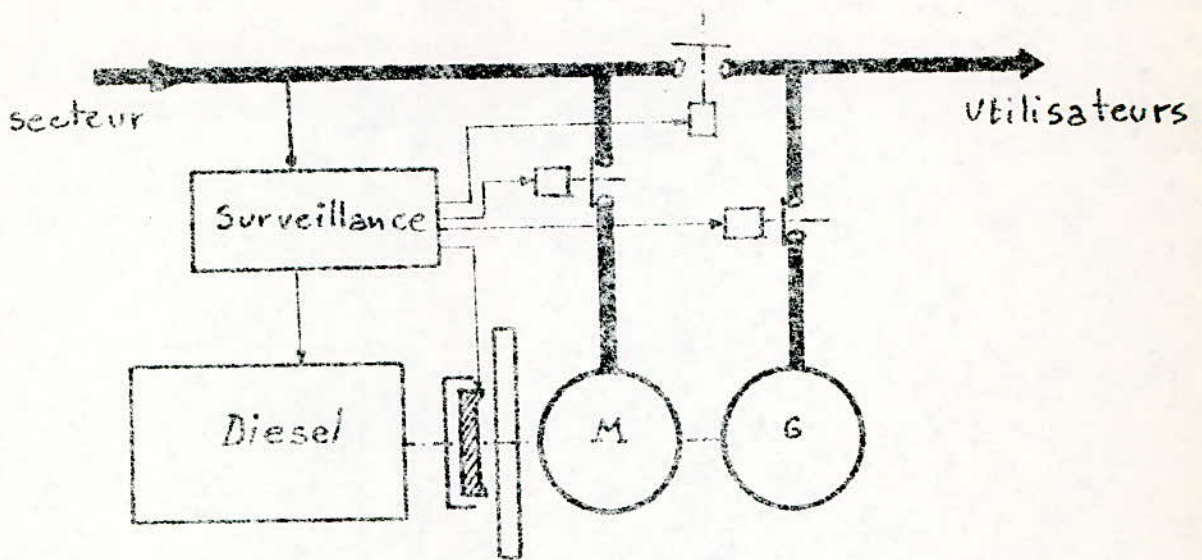
dans le secteur est présent, le groupe est en position d'attente

- le diesel est à l'arrêt.
- l'embrayage débrayé.
- le moteur électrique entraîne, à une vitesse légèrement supérieure à celle du synchronisme, l'alternateur excité à vide et le volant.

À la coupure du secteur, l'inverseur bascule permettant à l'alternateur de débiter dans le circuit d'utilisation en prélevant de l'énergie cinétique sur le volant, parallèlement le diesel démarre, et l'embrayage colle. Le temps de commutation est de 0,2 secondes.

2.3) groupe sans coupure (à temps "zéro")

a) Schema.



b) Constitution.

da même que le groupe à coupure brève excepté le électrique qui est d'une puissance telle qu'il puisse l'alternateur à pleine charge.

c) Principe de fonctionnement.

Secteur présent : le groupe est en position d'attente

- de diesel est à l'arrêt

- d'embrayage ouvert.

- le moteur électrique est alimenté par le secteur, il entraîne le volant d'inertie et l'alternateur qui fournit l'énergie au circuit d'utilisation.

Disparition du secteur : l'alternateur continue à débiter sur l'utilisation sans aucune interruption, l'énergie nécessaire est prélevée sur celle emmagasinée par le volant.

Parallèlement le moteur diesel démarre et l'embrayage se colle dès que le moteur diesel atteint une vitesse voisine de sa vitesse nominale.

2.4 Types de démarrage des moteurs diesels.

Le moteur diesel doit être maintenu réchauffé en période d'attente, ainsi le démarrage se fera dès la première sollicitation. Parmi les modes de démarrage couramment utilisés on rencontre :

- de démarrage électrique impliquant des batteries d'accumulateurs et chargeurs.
- de démarrage pneumatique qui peut être réalisé de deux manières :
 - par
 - par moteur pneumatique

3. Local "Centrale".

La centrale de secours sera proche du point de livraison de l'énergie. Le local doit être accessible pour la mise en place des machines et son volume suffisant pour une installation économique et rationnelle.

On doit tenir compte du volume propre des groupes, de l'espace nécessaire pour l'entretien, ainsi que des volumes des auxiliaires.

Pour définir le débit d'air nécessaire à la centrale, on considère l'apport d'air comburant pour le moteur diesel ainsi que l'évacuation des calories rayonnées par le moteur diesel et l'alternateur. Les constructeurs proposent un débit de 28 à 30 m³ d'air par cheval-vapeur et par heure.

Le moteur diesel étant un générateur de vibrations, pour éviter la transmission de celles-ci au bâtiment, on dispose des amortisseurs sous les châssis des groupes.

Pour parfaire l'isolation, on utilise un massif sur lequel repose le groupe, et on désolidarise les canalisations par interposition de manchettes souples.

des incendies pouvant survenir facilement, l'installation de lutte anti-feu devra être très efficace.

4. Dimensionnement des groupes.

Pour notre étude nous avons défini :

<u>Puissance nécessaire.</u>	
Réseaux prioritaires	380 kVA
Réseaux semi-prioritaires	720 kVA

Nous avons opté pour :

1 groupe de 400 kVA pour les réseaux prioritaires.
2 groupes de 400 kVA chacun pour les réseaux semi-prioritaires

Tarification de l'énergie électrique.

En ce qui concerne les réseaux électriques, la gestion économique porte sur deux sortes de dépenses.

- des dépenses de première installation qui sont les plus importantes
- des dépenses de fonctionnement.

Ces dépenses doivent être supportées par les usagers auxquels l'administration de l'aéroport facture la production et la livraison de l'énergie.

Cette facturation comporte d'une part les frais fixes et d'autre part les frais proportionnels.

Frais fixes :

- Amortissements du coût de construction des bâtiments (centrale, ...)
- Valeur locative des terrains utilisés par ces bâtiments.
- Amortissements des équipements de la Centrale électrique.
 - Groupes électrogènes amortissables en 10 ans.
 - Équipements périphériques amortissables en 15 ans.
- Amortissements des cellules H.T et transformateurs (15 ans)
- Câbles (Coût des câbles et leurs poses).
- Balisages

Frais proportionnels :

- Frais du personnel
- Frais d'entretien
- Coût d'achat de l'énergie à S. ONELGAZ.
- Coût du carburant consommé par les groupes électrogènes.

Une étude plus approfondie doit être entreprise pour déterminer les taux exacts de ces redevances.

- Conclusion -

d'étude d'un projet telle que l'installation électrique d'un aéroport est en réalité beaucoup plus complexe et la résolution des problèmes spécifiques à cette installation est toujours effectuée suivant des critères techniques et des considérations économiques.

Mais notre travail peut être considéré comme une approche permettant de dégrossir le problème et nous espérons avoir apportés une modeste contribution au domaine aéronautique qui est en plein développement dans notre pays.

- Bibliographie -

- HEINY et NAUDY - Technologie d'Électricité.
- LE VERRE - Cours d'Électricité E.N.A.C.
- TRANCHANT - Le Balisage.
- ADB Air Equipement - Note sur le Système Série.
- NASLIN - Technologie et Calcul Pratique
des Systèmes Asservis.
- Documents O.A.C.I. - Annexe 14, Doc N° 7920AN/865