

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

**Ecole Nationale Polytechnique**

**Département d'Electrotechnique**



## **Mémoire du Projet de Fin d'Etudes**

**Pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Electrotechnique**

### **Intitulé**

**ETUDE TECHNIQUE ET CONCEPTION DE L'INSTALLATION  
ELECTRIQUE D'UNE USINE DE PRODUCTION DE FILMS  
AGROALIMENTAIRES**

**Présenté par :**

**Zakaria TRACHI et Abderrachid MESBAH  
Soutenu le 01/07/2020**

**Devant le jury composé de :**

**Pr. TEGUAR Madjid  
Pr. TAHMI Redouane  
Pr. MEKHALDI Abdelouahab  
Mr. KADRI Farid**

**Président  
Encadreur  
Examineur  
Encadreur**

**Ecole Nationale Polytechnique  
Ecole Nationale Polytechnique  
Ecole Nationale Polytechnique  
EL-KINDI Engineering**



**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

**Ecole Nationale Polytechnique**

**Département d'Electrotechnique**



## **Mémoire du Projet de Fin d'Etudes**

**Pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Electrotechnique**

### **Intitulé**

**ETUDE TECHNIQUE ET CONCEPTION DE L'INSTALLATION  
ELECTRIQUE D'UNE USINE DE PRODUCTION DE FILMS  
AGROALIMENTAIRES**

**Présenté par :**

**Zakaria TRACHI et Abderrachid MESBAH  
Soutenu le 01/07/2020**

**Devant le jury composé de :**

**Pr. TEGUAR Madjid  
Pr. TAHMI Redouane  
Pr. MEKHALDI Abdelouahab  
Mr. KADRI Farid**

**Président  
Encadreur  
Examineur  
Encadreur**

**Ecole Nationale Polytechnique  
Ecole Nationale Polytechnique  
Ecole Nationale Polytechnique  
EL-KINDI Engineering**

## ملخص :

يمثل العمل الذي تم تنفيذه في هذه الأطروحة دراسة وأبعاد التركيب الكهربائي لمصنع BFP الذي يقع في سطيف. يتم استكمال هذه الدراسة عن طريق التأريض والحماية من الصواعق. تأخذ هذه الدراسة وهذا البعد في الاعتبار مشاكل التوافق الكهرومغناطيسي التي قد تكون موجودة أثناء التشغيل العام للمعدات الموجودة في هذا المصنع. أجريت هذه الدراسة وفقاً للمعايير الدولية (IEE، BS، NF C 15-100، IEC).  
الكلمات المفتاحية: التركيب الكهربائي، حجم الكبلات، الإضاءة، المأخذ الأرضي، الحماية من البرق، معايير، التوافق الكهرومغناطيسي.

---

## Abstract:

The work carried out in this thesis represents a study and design of an electrical installation of the BFP Plant in Sétif.

The study consists of several parts, which are a power study to size the site power and size the used cables, a lighting study for the production area and the establishment of a reliable grounding and lightning protection system. This study follows international standards (IEC, NF C 15-100, BS, IEEE).

Keywords: electrical installation, cable sizing, lighting, grounding, lightning conductor, standards, electromagnetic compatibility.

---

## Résumé:

Le travail effectué dans cette thèse représente une étude et dimensionnement d'une installation électrique de l'usine BFP qui se situe à Sétif.

Cette étude est complétée par une mise à la terre et une protection contre la foudre.

Cette étude et ce dimensionnement tiennent compte des problèmes de compatibilité électromagnétique qui peuvent exister lors du fonctionnement global des équipements présents dans cette usine.

Cette étude est faite suivant les normes internationales (CEI, NF C 15-100, BS, IEEE).

Mots clés : installation électrique, dimensionnement des câbles, éclairage, mise à la terre, paratonnerre, compatibilité électromagnétique, normes.

# ***REMERCIEMENTS***

Nous remercions ALLAH le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Nos sincères remerciements à Pr. Redouane TAHMI et Mr. Farid KADRI d'avoir accepté de nous encadrer et de nous orienter durant l'élaboration de ce modeste travail.

Nous remercions également les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail et pour toutes leurs remarques et critiques, ainsi que tous les enseignants de l'Ecole Nationale Polytechnique et l'effectif de l'entreprise El Kindi Engineering.

Nos profonds remerciements vont également à toutes les personnes qui nous ont aidé et soutenu de près ou de loin.

# Table des matières

## LISTE DES TABLEAUX

## LISTE DES FIGURES

## ABREVIATIONS

## INTRODUCTION GENERALE

### CHAPITRE 1 : Généralités sur le projet

1. Introduction.....	15
2. Normes.....	15
3. Données des Installations Electriques .....	16
3.1 Classification des zones.....	16
3.2 Classification des charges.....	16
3.3 Cahier de charge de l'installation .....	16
4. Conception des sources d'énergie.....	19
4.1 Alimentation par générateur de secours (Groupe électrogène) .....	19
4.2 L'alimentation sans interruption ASI.....	20
5. Régime du neutre .....	20
6. PRINCIPAUX ELEMENTS ÉLECTRIQUES.....	20
Transformateurs de puissance .....	20
Génératrice de secours (groupe électrogène) .....	20
7. MATÉRIEL ET INSTALLATION .....	20
CABLES .....	20
ÉCLAIRAGE .....	20
MISE A LA TERRE ET PROTECTION CONTRE LA Foudre.....	21
8. Conclusion.....	21

### CHAPITRE 2 : Bilan de puissance

1. Introduction.....	23
2. Schéma unifilaire de l'installation .....	23
3. Méthodologie d'établissement du bilan de puissance .....	24
4. Compensation de l'énergie réactive .....	25
5. Dimensionnement des transformateurs.....	26
6. Bilan de puissance de l'installation.....	26
7. Dimensionnement du groupe électrogène et UPS.....	32
8. Conclusion.....	34

## **CHAPITRE 3 : Canalisation Electrique**

1. Introduction.....	36
2. Définitions .....	36
3. Composition des câbles électriques.....	36
4. Conception du système de cheminement des câbles.....	37
5. Détermination de la section minimale des canalisations.....	38
Calcul du courant d'emploi IB .....	38
Courants admissibles dans les canalisations.....	38
Choix du dispositif de protection.....	39
Section du conducteur de protection PE .....	40
Vérification après le choix de la section.....	40
Choix des dispositifs des protections.....	42
6. Résultats donnés par Caneco BT .....	47
Présentation de Caneco BT .....	47
Procédures .....	48
Résultats obtenus avec Caneco-BT.....	52
Interprétations des résultats.....	60
7. Conclusion.....	61

## **CHAPITRE 4: Système d'Eclairage**

1. Introduction.....	63
2. Notions sur l'éclairage.....	63
Grandeurs photométriques .....	63
Les luminaires.....	66
Types d'éclairage.....	67
3. Les dispositifs utilisés en éclairage .....	68
4. Conception de l'éclairage de l'usine .....	70
Etude d'éclairage de l'usine.....	70
Conception de l'éclairage.....	70
Choix du Type de luminaire.....	72
5. Simulation et implantation de l'éclairage par logiciel DIALux.....	73
6. Conclusion.....	78

## **CHAPITRE 5 : Mise à la terre et protection contre la foudre**

1. Introduction.....	80
2. Mise à la terre.....	80
Nature du sol.....	80
Méthodologie de dimensionnement d'un système de mise à la terre.....	81

Note de calcul.....	85
3. Protection contre la foudre .....	88
Types des Systèmes de Protection contre la Foudre.....	89
Conception d'un PDA.....	91
Dimensionnement du système de protection contre la foudre .....	94
4. Conclusion .....	100

## **CHAPITRE 6 : Compatibilité Electromagnétique**

1. Introduction.....	102
2. Généralités .....	102
2.1. Types de perturbations électromagnétiques .....	102
2.2. Sources de perturbation électromagnétiques.....	102
2.3. Les couplages en CEM .....	102
3. CEM dans notre projet .....	105
3.1. Mise à la terre.....	105
3.2. Equipements.....	106
3.3. Câblage.....	107
3.4. Armoires électriques.....	107
3.5. Les harmoniques.....	108
4. Conclusion .....	108

## **CONCLUSION GENERALE .....109**

## **BIBLIOGRAPHIE**

## **ANNEXES**



# LISTE DES TABLEAUX

**Tab 1.1.** Cahier de charge de l'installation

**Tab 2.1.** Bilan de puissance

**Tab 2.2.** Charges alimentées par le groupe électrogène

**Tab 2.3.** Equipements alimentés à partir des coffrets secourus

**Tab 2.4.** Tableau récapitulatif de dimensionnement de l'installation

**Tab 3.1.** Mode de pose pour le compresseur d'air

**Tab 3.2.** Tableau récapitulatif pour le calcul sections des câbles théoriquement

**Tab 3.3.** Sections des canalisations données par Caneco BT

**Tab 3.4.** Type de câbles utilisés avec la section et la longueur correspondante

**Tab 4.1.** Indice de rendu de couleur

**Tab 4.2.** Température de couleur de lumière

**Tab 4.3.** Performance de différentes lampes

**Tab 4.4.** Prescriptions d'éclairage de différentes zones

**Tab 4.5.** Liste des luminaires

**Tab 5.1.** Coefficients P et Q selon l'arrangement de l'électrode

**Tab 5.2.** Constants liés aux types des matériaux utilisés

**Tab 5.3.** Les valeurs de  $N_g$  max

**Tab 5.4.** Détermination du coefficient d'environnement C1.

**Tab 5.5.** Détermination du coefficient C2

**Tab 5.6.** Détermination du coefficient C3

**Tab 5.7.** Détermination du coefficient C4

**Tab 5.8.** Détermination du coefficient C5

**Tab 5.9.** Niveaux de protection contre la foudre

# LISTE DES FIGURES

**Fig 3.1.** Interface du logiciel Caneco BT

**Fig 3.2.** Saisie des données pour la machine HOSOKAWA

**Fig 3.3.** Résultats donné par Caneco BT pour la machine Hosokawa

**Fig 3.4.** Schéma d'installation en Caneco BT

**Fig 4.1.** Les grandeurs photométriques de base

**Fig 4.2.** Classification des lampes

**Fig 4.3.** Fiche technique des lampes utilisées

**Fig 4.4.** Lampes utilisées pour l'éclairage extérieure

**Fig 4.5.** Vue extérieure de l'usine

**Fig 4.6.** Vue de la zone éclairée

**Fig 4.7.** Diagramme de fausses couleurs avec les courbes isolux

**Fig 5.1.** Mesure de la résistivité de la terre

**Fig 5.2.** La formation d'un coup de foudre

**Fig 5.3.** SPF de type conducteurs maillés

**Fig 5.4.** SPF type fils tendus

**Fig 5.5.** Diagramme montrant le principe de fonctionnement pour capturer un coup de foudre

**Fig 5.6.** Rayon de protection d'un PDA en fonction de la hauteur h

**Fig 5.7.** Paratonnerre PDA Nimbus 60

**Fig 5.8.** Schéma de positionnement des paratonnerres

**Fig 6.1.** Schéma explicatif du couplage par impédance commune

**Fig 6.2.** Couplage inductif de mode différentiel et de mode commun

**Fig 6.3.** Exemple de couplage champ à câble et de couplage champ à boucle

**Fig 6.4.** La mise à la terre des deux transformateurs

**Fig 6.5.** Raccordement d'un équipement sensible et un autre perturbateur

**Fig 6.6.** L'un des supports utilisés au niveau de l'usine

**Fig 6.7.** Performances CEM pour différents exemples de conduits métalliques

**Fig 6.8.** Séparation entre la partie sensible et la partie de puissance dans une armoire

# ABBREVIATIONS

ASI	Alimentation sans interruption
ATS	Automatic Transfer Switch
BFP	Biaxial Films Packaging
BOPP	Biaxially Oriented Polypropylene
BS	British standards
BT	Basse tension
CEI	Commission Electrotechnique Internationale
CEM	Compatibilité Electromagnétique
Cd	Candela
E/PR :	Ethylene/Propylene Rubber
EN :	La norme européenne
GE :	Groupe électrogène
HCL	Human Centric Lighting
Icc :	Courant de court-circuit
IEEE :	Institute of Electrical and Electronics Engineers
If:	Courant de défaut à la terre
IRC	Indice de rendu de couleur
ISO	Organisation internationale de normalisation
Lm	Lumen
LED	Light Emitting Diode ( diode électroluminescente )
Lx	Lux
MT	Moyenne tension
N	Neutre
NF C	La norme française classe C
UPS	Uninterruptible Power Supply
Pa	Puissance absorbée
PDA	Paratonnerre à dispositif d'amorçage
PTS	Paratonnerre à tige simple
PE	Conducteur de protection ( Protection Earthing)
PEN	Conducteur de protection + Neutre
PVC	PolyVinylChloride
Pn	Puissance nominale

$P_{\text{cont}}/Q_{\text{cont}}$	Puissance active/réactive d'une machine mise en service continu
$P_{\text{int}}/Q_{\text{int}}$	Puissance active/réactive d'une machine mise en service intermittent
$P_{\text{rés}}/Q_{\text{rés}}$	Puissance active/réactive d'une machine de réserve.
Rcd	Résistance du conducteur de protection
Re	stance d'une électrode
SPF	Système de protection contre la foudre
$T_{\text{cp}}$	Température de couleur
TGBT	Tableau Général Basse Tension
XLPE	Cross Linked Polyethylene
$Z_s$	Impédance triphasé du réseau amont
$Z_{\text{tr}}$	Impédance équivalente au secondaire du transformateur

---

# **INTRODUCTION GENERALE**

---

Le travail présenté dans ce mémoire représente, en premier lieu, une synthèse sur l'installation électrique de l'usine Biaxial Films Packaging, réalisée suite à un stage effectué au sein du bureau d'études El Kindi Engineering.

Biaxial Films Packaging SPA (BFP) met en place une ligne de production de film agroalimentaire BOPP de 8,7 m de large dans la zone industrielle de Sétif nord-est de l'Algérie. La production devrait commencer mi-2021 et la capacité annuelle de la ligne devrait être plus de 40 000 tonnes.

Ce projet de fin d'études présente en globale la conception de l'installation électrique, la conception d'éclairage et les forces motrices dans l'usine, il couvre aussi la protection des personnes ainsi que les équipements et du matériel électrique à installer dans la nouvelle ligne de production d'emballages de films biaxiaux.

Vous trouverez l'architecture de l'usine en **Annexe A**.

BOPP (Biaxially Oriented Polypropylene) est un film en polypropylène qui est « bi- axialement orienté ». Le résultat est un matériau avec une résistance supérieure à des manomètres bas, la planéité, la clarté, et une excellente imprimabilité. Le BOPP est utilisé dans une gamme presque illimitée d'applications d'emballage flexibles, de rubans sensibles à la pression, d'étiquettes, de papeterie, de métallisation, de produits de consommation ainsi que dans une grande variété d'utilisations sans emballage.

SARL ELKINDI ENGINEERING : est une entreprise d'étude et réalisation spécialisée dans le domaine du Génie Electrique et Automatismes avec une profonde expérience dans la conception des installations électriques dans les domaines industriels.

SARL ELKINDI ENGINEERING active dans les secteurs économiques suivants :

- Industrie (Infrastructure, Agroalimentaire, Pharmaceutique ...etc.)
- Hydraulique (Station de pompage, Station de traitement, Barrage ...)
- Pétrole, Gaz et Energie (Ouvrages concentrés et canalisation hydrocarbures, sous stations électriques)

Ces activités principales sont :

- Conceptions et Solutions Techniques (Engineering) ;
- Rénovation/Extension des installations ;
- Fabrication des armoires électriques et automatique (PLC, IHM ...etc.).
- Automatismes, Informatique industrielle, Instrumentation et systèmes de Télégestion ;
- Assistance technique et Conseils.

La problématique de notre travail est braquée vers la réalisation d'une étude électrique complète concernant l'alimentation de ce site de production, le dimensionnement des câbles utilisés, l'éclairage de la zone de production et l'établissement d'un système de mise à la terre et de protection contre la foudre.

Enfin, il est très important de protéger tous les appareillages dans une installation électrique. La sélectivité des protections des disjoncteurs existants avec ceux introduits dans la nouvelle installation doit être menée minutieusement afin de satisfaire les conditions de continuité de service, la protection du personnel et des ouvrages de l'entreprise.

Le document est structuré en six chapitres. Le premier chapitre présente une introduction générale au projet. Le deuxième chapitre présente l'établissement du bilan de puissance de l'installation pour dimensionner le transformateur, le groupe électrogène et l'UPS. Le troisième chapitre est consacré au dimensionnement des câbles ainsi que leurs cheminements. Le quatrième chapitre présente la distribution de l'éclairage pour la partie intérieure et extérieure de l'usine. Le cinquième chapitre présente le système de mise à la terre et protection contre la foudre. Le dernier chapitre contient des recommandations pour la phase de réalisation afin de garantir la compatibilité électromagnétique.

---

# **CHAPITRE 1 :**

## **Généralités sur le projet**

---



### **1. Introduction :**

Nous entrons dans une période où gérer la consommation de l'énergie est une obligation tant sur le plan environnemental que le plan économique. La maîtrise de la consommation d'énergie repose sur le choix judicieux des différents éléments électriques (câbles, transformateurs, disjoncteurs, relais, ...), leur emplacement, ainsi que les dispositions générales à prendre pour leur entretien, en vue de garantir au maximum la sécurité du présent matériel et surtout des personnes ayant accès à ce matériel.

Dans cette étude, nous allons montrer en détail les différentes étapes à suivre pour aboutir à une étude optimale de notre usine.

### **2. Normes :**

Le travail suivant est conforme aux normes internationales suivantes :

- Commission Electrotechnique Internationale (CEI)
- La norme NF C 15-100
- La norme NF C 17-100 et 17-102
- La norme EN 12-464
- La norme BS 7430
- La norme IEEE Std 80

### **3. Données des Installations Electriques :**

#### **3.1 Classification des zones :**

La nouvelle ligne de production de films est considérée comme une « zone non dangereuse », la conception électrique ne prend en considération l'existence de gaz et / ou vapeurs inflammables en fonctionnement normal.

#### **3.2 Classification des charges:**

Chaque charge électrique peut être classée en plusieurs catégories différentes, par exemple :

- Vitale : Toute charge relative à la sécurité des personnes comme l'éclairage de secours, le système anti-incendie, la vidéo-surveillance ...etc. aucune coupure d'énergie n'est tolérée pour ce type de charge.
- Essentielle : toute charge peut provoquer une dégradation ou perte du produit fabriqué, quand on a une coupure d'énergie. Donc ces charges doivent être alimentées par 2 types d'alimentation.
- Normale : toute charge n'a aucun effet sur la sécurité des personnes ou la production quand on a une coupure d'énergie.

Toutes les charges vitales, essentielles et normales peuvent être divisées en trois catégories de fonctions :

- Service continu : sont celles qui fonctionnent normalement en continu sur une période de 24 heures, par exemple., les charges de processus, les systèmes de commande, l'éclairage et les petites cartes de distribution électrique, les systèmes d'alimentation sans interruption, etc.
- Service intermittent : qui ne fonctionnent qu'une fraction d'une période de 24 heures, par exemple, pompes intermittentes et charges de traitement, portes et portails automatiques, etc.
- Service de réserve : sont celles qui sont en disponibilité ou qui fonctionnent rarement dans des conditions normales, par exemple, les charges de secours, les systèmes d'urgence, etc.

#### **3.3 Cahier de charge de l'installation :**

Le cahier de charge est le suivant :

	<b>Désignation Equipement</b>	<b>Puissance nominale kW</b>	<b>Intensité(N) A</b>
1	Compresseur d'air 1	132	275
2	Compresseur d'air 2	132	275
4	Sécheur d'air 1	2	4
5	Sécheur d'air 2	2	4
7	CPS crane	30	
8	Pallet Conveyors	19	30
9	RP2 Crane	70	110
10	RP7 Crane	15	25
11	Horizontal Straping machine	7	17
12	Strapping-WrappingPallet Machine	16	25
13	PrimarySlitterConveyors	65	105
14	RP2 Coordinator	6	10
15	Chiller 1	432	715
16	Chiller 2	432	715
17	Chiller 3	432	715
21	Cooling tower TEC1200	63	117
23	URA 1	4	10
24	URA 2	4	10
25	URA 3	4	10
26	URA 4	4	10
27	URA 5	4	10
28	UTA 1	4	10

29	UTA 2	4	10
30	UTA 3	4	10
31	UTA 4	4	10
32	UTA 5	4	10
33	UTA 6	4	10
34	UTA 7	4	10
35	UTA 8	4	10
36	UTA 9	4	10
37	UTA 10	4	10
38	UTA 11	4	10
39	UTA 12	4	10
40	UTA 13	4	10
41	UTA 14	4	10
42	UTA 15	4	10
43	UTA 16	4	10
44	UTA 17	4	10
45	UTA 18	4	10
46	UTA 19	4	10
47	UTA 20	4	10
48	UTA 21	4	10
49	KIT SCAMBIO	22,5	41,5
50	Porte motorisée D2.2	3	
51	Porte motorisée D3.12	3	
52	Porte motorisée D3.2	3	
53	Porte motorisée D1.2	3	
54	Porte motorisée D1.1	3	
55	Porte motorisée D3.5	3	
56	Porte motorisée D2.3	3	
57	Porte motorisée D1.3	3	
58	Porte motorisée D2.1	3	
59	Porte motorisée D3.12	3	
60	Porte motorisée D3.7	3	
61	Porte motorisée D3.10	3	
62	Porte motorisée D3.6	3	
63	Porte motorisée D3.9	3	
64	Porte motorisée D3.3	3	
65	Porte motorisée D3.4	3	
66	Porte motorisée D3.5	3	
67	Portes motorisées (Qte 06)	12	
68	Portes motorisées (Qte 03)	9	
69	DOCK 1	3	

70	DOCK 2	3	
71	DOCK 3	3	
72	Portes motorisées (Qte 02)	4	
73	BOBINEUSE KAMPF	130	204
74	Boiler	68	108
76	Hosokawa 1	275	550
77	Hosokawa 2	52	100
78	Metalizer	319	513
80	PrimarySlitter	141	
84	EREMA Machine	310	476
85	Maintenance Work Shop	30	
86	Pompe Incendie & St EAU & Pompe de surpression	60	
87	Auto Debugging machine	20	
88	Filter cleaning machine	100	
89	Système Eclairage	25	
90	Salle de contrôle	5	
91	Salle MT	5	
92	Salle GE	5	
93	Eclairage extérieur	32	
94	Bloc Administratif	20	
95	Monte-charge 1	5	
96	Monte-charge 2	5	
97	Crane	7	

Tab 1.3. Cahier de charge de l'installation

#### 4. Conception des sources d'énergie :

L'énergie électrique est fournie par deux lignes aériennes différentes de 10 kV.

Deux types de systèmes d'alimentation sécurisés sont mis en place pour garantir la continuité de service.

- Alimentation par générateur de secours.
- Système d'alimentation sans interruption (ASI).

##### 4.1 Alimentation par générateur de secours (Groupe électrogène) :

Les charges essentielles sont connectées au jeu de barres de secours dans le Tableau Général Basse Tension (TGBT) qui peut être alimenté, soit par le réseau normal, soit par le générateur de secours.

Lorsque l'alimentation électrique normale est rétablie, le générateur de secours doit être

synchronisé avec la source normale; le relais de contrôle du synchronisme donne l'instruction à l'ATS (Automatic Transfer Switch) d'effectuer le transfert stand-by / normal. Une fois l'opération effectuée, le générateur est automatiquement arrêté (après temporisation).

### 4.2 L'alimentation sans interruption ASI :

Les charges vitales (salle de contrôle, éclairage de secours) sont alimentées par un ASI de puissance de 10 kVA.

### 5. Régime du neutre :

Les Régimes du neutre ont pour objectif d'assurer la protection des biens et des personnes contre les défauts d'isolement.

Le régime de neutre choisis par le client est TNS, et c'est un bon choix car :

- Il assure protection des personnes contre les chocs électrique (contacte directe et indirecte).
- Il assure la protection contre les surtensions.
- Il est obligatoire pour des sections inférieures à 10 mm<sup>2</sup>.

### 6. PRINCIPAUX ELEMENTS ÉLECTRIQUES :

#### Transformateurs de puissance :

Les transformateurs de distribution sont installés sous abri, à l'extérieur. Chaque transformateur est conçu pour 120% de la puissance requise (20% pour des futures extensions).

#### Génératrice de secours (groupe électrogène) :

Le générateur est installé à l'extérieur sous abri et doit avoir une enceinte insonorisée. Il est conçu pour 120% de la puissance requise (20% pour des futures extensions).

### 7. MATÉRIEL ET INSTALLATION :

#### CABLES :

Tous les câbles sont acheminés dans l'air (si possible), le cheminement des câbles est envisagé sur des chemins de câbles ou des échelles de câbles en acier galvanisé à chaud ou en conduits.

#### ÉCLAIRAGE

- Le système d'éclairage normal est alimenté par le Tableau de distribution d'éclairage normal qui à son tour sera alimenté par le tableau de distribution BT. La provision des circuits vers les appareils d'éclairage est de 230 V (monophasé + N + PE).
- Le système d'éclairage de secours est alimenté par 400/230 V, 3 phases avec neutre mis à la terre, alimenté par le tableau de distribution d'éclairage d'urgence (, qui à son tour sera alimenté par le tableau électrique BT. Les circuits d'alimentation des appareils d'éclairage doivent être de

230 V (monophasé + N + PE).

- Le matériel d'éclairage doit être alimenté entre phase et neutre à partir du réseau de distribution d'éclairage 400/230 V.
- Dans la mesure du possible, des appareils à LED sont utilisés pour l'éclairage à l'intérieur de l'usine et des bâtiments. L'éclairage extérieur, routier, général et de clôture ; on propose de le contrôler par un interrupteur photosensible. (Cellule photoélectrique).
- On doit toujours assurer l'équipotentielle dans l'éclairage.

### MISE A LA TERRE ET PROTECTION CONTRE LA Foudre

Dans l'installation, le système de mise à la terre et les systèmes de protection contre la foudre sont installés afin d'assurer le flux vers la terre des courants électriques provenant des courants de défaut des décharges atmosphériques et des décharges électrostatiques.

## **8. Conclusion :**

Ce chapitre nous donne un aperçu général sur le projet, les normes internationales qu'il faut respecter ainsi qu'une petite introduction aux chapitres traités par la suite. L'usine est parmi les usines les plus grandes en Afrique, où on peut toucher plusieurs aspects dans l'ingénierie.

---

# **CHAPITRE 2 :**

## **Bilan de puissance**

---



### 1. Introduction :

Afin de concevoir une installation électrique, il est nécessaire d'estimer la puissance maximale (puissance d'utilisation) absorbée par l'installation.

Le calcul de puissance maximale d'utilisation tient en compte les facteurs suivants :

- Le facteur de diversité (le non fonctionnement simultané de tous les équipements pour un groupe donné),
- Le facteur de charge qui est le niveau d'utilisation réel des récepteurs installés (par exemple un moteur électrique n'est généralement pas utilisé à sa pleine capacité de charge, etc.),
- Le niveau d'utilisation prévisionnel des récepteurs installés et des extensions de charges possibles.

### 2. Schéma unifilaire de l'installation :

#### Définition :

Un schéma unifilaire est une représentation schématique d'une installation électrique fixe, qui ne tient pas compte de la position du matériel électrique mais qui donne, grâce aux symboles, la composition de chaque circuit élémentaire et l'interconnexion des circuits élémentaires entre eux pour former l'installation électrique.

Il comporte les sources d'alimentation et la liste des équipements installés ainsi que l'emplacement des dispositifs de protection utilisés.

Pour établir et lire un schéma électrique, il est évidemment utile de connaître les symboles normalisés (NF C 03-201 pour notre cas).

#### SEE Electrical :

SEE Electrical est l'un des logiciels de la série SEE (SEE Building, SEE calculation, etc.) développé par la société IGE+XAO. C'est un logiciel professionnel permettant la conception des schémas électriques de tous types d'installations basse tension dans le respect des spécifications de la norme française et de ses guides d'application.

Pour concevoir notre **schéma unifilaire (Annexe B)**, nous classifions les charges selon leur nature (vitale, essentielle et normale) pour savoir à quel jeu de barre on associe chaque charge. Par exemple dans notre cas, nous avons des charges alimentées seulement par le transformateur, autres alimentées par le transformateur et le GE, et une petite partie secourue alimentée par les trois sources d'alimentation (Transformateur + GE + UPS).

### 3. Méthodologie d'établissement du bilan de puissance :

L'établissement du bilan de puissance est une étape indispensable dans la conception d'une installation électrique. Il prend en compte la totalité des puissances des appareils installés et leur utilisation en tenant en compte de leur nature, de type, et les différentes caractéristiques électriques.

L'élaboration d'un bilan de puissance nécessite la connaissance de l'installation (schéma unifilaire) et les modes de fonctionnement des récepteurs. Afin d'établir un bilan de puissance, il est nécessaire de connaître les notions suivantes [3] :

#### **Facteur de charge $K_u$ :**

Ou facteur d'utilisation en % est le rapport entre la puissance électrique effectivement consommée et la puissance nominale.

$$\text{facteur de charge} = \frac{\text{puissance électrique consommée (réelle)}}{\text{puissance nominale (max)}} \%$$

#### **Facteur de simultanéité :**

Selon CEI (CEI réf 691-10-03), c'est un rapport exprimé en valeur numérique ou en %, de la puissance maximale appelée par un ensemble de charges ou un groupe d'appareils électriques, au cours d'une période déterminée, à la somme des puissances maximales individuelles appelées pendant la même période.

#### **Facteur de diversité $K_d$ :**

Ce facteur est défini comme étant l'inverse du facteur de simultanéité.

#### **Puissance installée :**

La puissance installée (kW) est la somme des puissances nominales de tous les récepteurs de l'installation.

L'indication de la puissance nominale ( $P_n$ ) est marquée sur la plupart des appareils et équipements électriques. En pratique, la puissance nominale n'est pas toujours la puissance réellement consommée par le récepteur.

#### **Puissance absorbée $P_a$ :**

La puissance (apparente) absorbée  $P_a$  par une charge (qui peut être un simple appareil) est obtenue à partir de sa puissance nominale et de l'application des coefficients suivants :

La puissance apparente consommée de la charge :

$$Pa = \frac{Pn * Ku * Kd}{\eta * \cos(\varphi)}$$

Il faut savoir également le type de service pour chaque charge, parce que chaque puissance doit être multipliée par un facteur lié à son propre type de service.

- Pour un service continu, on définit un facteur  $K_{cont}=1$ .
- Pour un service intermittent, on définit un facteur  $K_{inter}=0.3$
- Pour un service de réserve, on définit un facteur  $K_{rés}=0.1$

### **4. Compensation de l'énergie réactive :**

Beaucoup de machines industrielles fonctionnent grâce à la présence d'un champ magnétique interne. La création et l'entretien de ce champ magnétique réclame de l'énergie réactive. On rappelle que seule la puissance active est utilisable. L'énergie réactive est indispensable au fonctionnement des machines mais n'apporte aucune valeur ajoutée à l'entreprise.

Nous utilisons dans cette étude une compensation locale automatique, où les batteries de condensateurs se trouvent au plus près des consommateurs d'énergie réactive, ce qui fait que toutes les charges (et compris l'éclairage) sont à un facteur de puissance fixe égale à 0.9.

Le choix de ce type est imposé par le propriétaire de l'usine, techniquement parlant nous pensons que c'est le meilleur choix, l'installation est compensée mais le coût est important.

Nous ne pouvons faire aucun calcul parce que nous n'avons pas les données des machines avant la compensation.

## 5. Dimensionnement des transformateurs :

Pour définir la puissance nécessaire d'un transformateur il est important de :

- Etablir le bilan des puissances installées
- Tenir en compte le facteur d'utilisation de chaque récepteur,
- Déterminer le cycle et la durée de charge ou de surcharge de l'installation
- Compenser l'énergie réactive si nécessaire.

Une fois les calculs faits, nous choisissons la puissance de transformateur parmi les puissances standardisées par la norme en tenant compte :

- Des extensions futures.
- De la sûreté de fonctionnement.

## 6. Bilan de puissance de l'installation :

En se basant sur la liste des équipements (Tab 1.3) et leurs puissances, nous pouvons déterminer la puissance maximale appelée par l'installation.

Prenant l'exemple d'un compresseur d'air dont la puissance nominale  $P_n=132$  kW et

$$\cos \varphi = 0.9; \text{rendement} = 0.95; K_u = 0.8; K_d = 1$$

La puissance absorbée est :

$$P_a = \frac{132 * 0.8 * 1}{0.95} = 111,16 \text{ kW}$$

Rendement	0.95
Cos $\varphi$	0.9
Facteur d'utilisation $K_u$	0.8
Facteur de diversité	1

Nous multiplions la puissance absorbée par le facteur qui tient compte du type de service, si le type de service est continu on multiplie par 1 et on trouve  $P_a=111.16$  kW, s'il est intermittent on multiplie par 0.3 et on trouve  $P_a=33.35$  kW, enfin s'il est un service de réserve nous devons multiplier par 0.1 et on trouve  $P_a=11.11$  kW [2].

Avant de dimensionner le transformateur, nous avons multiplié la puissance totale absorbée par 1.2 (c'est- à-dire 20 % pour les futures extensions).

## Chapitre 2 : Bilan de puissance

	Désignation Equipement	Puissance nominale (kW)	Intensité(N)	Puissance absorbée (kW)	type	P <sub>cont</sub> (k W)	Q <sub>cont</sub> (kVAr)	P <sub>int</sub> (kW)	Q <sub>int</sub> (kVAr)	P <sub>res</sub> (kW)	Q <sub>res</sub> (kVAr)
1	Compresseur d'air 1	132	275	111,16	C	111,16	53,84				
2	Compresseur d'air 2	132	275	111,16	C	111,16	53,84				
4	Sécheur d'air 1	2	4	1,68	C	1,68	0,82				
5	Sécheur d'air 2	2	4	1,68	C	1,68	0,82				
7	CPS crane	30		25,26	I			7,58	3,67		
8	Pallet Conveyors	19	30	16,00	C	16,00	7,75				
9	RP2 Crane	70	110	58,95	I			17,68	8,56		
10	RP7 Crane	15	25	12,63	I			3,79	1,84		
11	Horizontal Straping machin	7	17	5,89	C	5,89	2,85				
12	Strapping-WrappingPallet Machine	16	25	13,47	C	13,47	6,53				
13	PrimarySlitterConveyors	65	105	54,74	C	54,74	26,51				
14	RP2 Coordinator	6	10	5,05	I			1,52	0,73		
15	Chiller 1	432	715	363,79	C	363,79	176,19				
16	Chiller 2	432	715	363,79	C	363,79	176,19				
17	Chiller 3	432	715	363,79	S					36,38	17,62
21	Coolingtower TEC1200	63	117	53,05	C	53,05	25,69				
23	URA 1	4	10	3,37	C	3,37	1,63				
24	URA 2	4	10	3,37	C	3,37	1,63				

25	URA 3	4	10	3,37	C	3,37	1,63				
26	URA 4	4	10	3,37	C	3,37	1,63				
27	URA 5	4	10	3,37	C	3,37	1,63				
28	UTA 1	4	10	3,37	C	3,37	1,63				
29	UTA 2	4	10	3,37	C	3,37	1,63				
30	UTA 3	4	10	3,37	C	3,37	1,63				
31	UTA 4	4	10	3,37	C	3,37	1,63				
32	UTA 5	4	10	3,37	C	3,37	1,63				
33	UTA 6	4	10	3,37	C	3,37	1,63				
34	UTA 7	4	10	3,37	C	3,37	1,63				
35	UTA 8	4	10	3,37	C	3,37	1,63				
36	UTA 9	4	10	3,37	C	3,37	1,63				
37	UTA 10	4	10	3,37	C	3,37	1,63				
38	UTA 11	4	10	3,37	C	3,37	1,63				
39	UTA 12	4	10	3,37	C	3,37	1,63				
40	UTA 13	4	10	3,37	C	3,37	1,63				
41	UTA 14	4	10	3,37	C	3,37	1,63				
42	UTA 15	4	10	3,37	C	3,37	1,63				
43	UTA 16	4	10	3,37	C	3,37	1,63				
44	UTA 17	4	10	3,37	C	3,37	1,63				
45	UTA 18	4	10	3,37	C	3,37	1,63				

## Chapitre 2 : Bilan de puissance

46	UTA 19	4	10	3,37	C	3,37	1,63				
47	UTA 20	4	10	3,37	C	3,37	1,63				
48	UTA 21	4	10	3,37	C	3,37	1,63				
49	KIT SCAMBIO	22,5	41,5	18,95	C	18,95	9,18				
50	Porte motorisée D2.2	3		2,53	C	2,53	1,22				
51	Porte motorisée D3.12	3		2,53	C	2,53	1,22				
52	Porte motorisée D3.2	3		2,53	C	2,53	1,22				
53	Porte motorisée D1.2	3		2,53	C	2,53	1,22				
54	Porte motorisée D1.1	3		2,53	C	2,53	1,22				
55	Porte motorisée D3.5	3		2,53	C	2,53	1,22				
56	Porte motorisée D2.3	3		2,53	C	2,53	1,22				
57	Porte motorisée D1.3	3		2,53	C	2,53	1,22				
58	Porte motorisée D2.1	3		2,53	C	2,53	1,22				
59	Porte motorisée D3.12	3		2,53	C	2,53	1,22				
60	Porte motorisée D3.7	3		2,53	C	2,53	1,22				
61	Porte motorisée D3.10	3		2,53	C	2,53	1,22				
62	Porte motorisée D3.6	3		2,53	C	2,53	1,22				
63	Porte motorisée D3.9	3		2,53	C	2,53	1,22				
64	Porte motorisée D3.3	3		2,53	C	2,53	1,22				
65	Porte motorisée D3.4	3		2,53	C	2,53	1,22				
66	Porte motorisée D3.5	3		2,53	C	2,53	1,22				

## Chapitre 2 : Bilan de puissance

67	Portes motorisées (Qte 06)	12		10,11	C	10,11	4,9				
68	Portes motorisées (Qte 03)	9		7,58	C	7,58	3,67				
69	DOCK 1	3		2,53	C	2,53	1,22				
70	DOCK 2	3		2,53	C	2,53	1,22				
71	DOCK 3	3		2,53	S					0,25	0,12
72	Portes motorisées (Qte 02)	4		3,37	C	3,37	1,63				
73	BOBINEUSE KAMPF	130	204	109,47	C	109,47	53,02				
74	Boiler	68	108	57,26	C	57,26	27,73				
76	Hosokawa 1	275	550	231,58	C	231,58	112,16				
77	Hosokawa 2	52	100	43,79	C	43,79	21,21				
78	Metalizer	319	513	268,63	C	268,63	130,10				
80	PrimarySlitter	141		118,74	C	118,74	57,51				
84	EREMA Machine	310	476	261,05	C	261,05	126,43				
85	Maintenance Work Shop	30		25,26	I			7,58	3,67		
86	Pompe Incendie & St EAU & Pompe de surpression	60		50,53	C	50,53	24,47				
87	Auto Debagging machine	20		16,84	C	16,84	8,16				
88	Filtercleaning machine	100		84,21	I			25,26	12,24		
89	Système Eclairage	25		21,05	C	21,05	10,20				
90	Salle de contrôle	5		4,21	C	4,21	2,04				
91	Salle MT	5		4,21	C	4,21	2,04				



## Chapitre 2 : Bilan de puissance

92	Salle GE	5		4,21	C	4,21	2,04				
93	Eclairage extérieur	32		26,95	C	26,95	13,05				
94	Bloc Administratif	20		16,84	C	16,84	8,16				
95	Monte-charge 1	5		4,21	C	4,21	2,04				
96	Monte-charge 2	5		4,21	C	4,21	2,04				
97	Crane	7		5,89	C	5,89	2,85				

**Total :**

2509,05	1215,12	63,41	30,71	36,63	17,74
2787,81 kVA		70,46 kVA		47,80 kVA	

**Tab 2.1. Bilan de puissance**

D'où :

Puissance max (kVA)	2813.72
Avec futures extensions (kVA)	3376.47
Intensité nominale (A)	4873
Transformateur (kVA)	5000

### 7. Dimensionnement du groupe électrogène et UPS :

Pour dimensionner le groupe électrogène il faut lister les équipements qui seront alimentés par lui en tenant compte de classement des charges (vitale, essentielle et non essentielle).

Le groupe alimente l'ensemble des équipements vitaux et essentiels.

L'UPS il va alimenter quelques charges vitales (salle de contrôle + une partie de l'éclairage).

Liste des équipements alimentés par GE :

ÉLÉMENT	Puissance absorbée (kW)
Maintenance Work Shop	25.26
Pompe Incendie & St Eau & Pompe de surpression	50.53
Bloc Administratif	16.84
Salle de contrôle	4.21
Salle MT	4.21
Salle GE	4.21
<b>coffret LDB/1 ( arrivée secourue )</b>	48
coffret UTA/URA ( arrivée secourue )	20.21
<b>Coffret LDB/2 (arrivée secourue)</b>	46.32

**Tab 2.2. Charges alimentées par le groupe électrogène**

Le coffret UTA/URA secourue comporte une partie des UTA/URA qui ne doivent pas être alimentés uniquement par le transformateur, et c'est la même chose avec le coffret LDB/1 et LDB/2 (arrivée secourue).

	Quantité	Puissance (kW)
<b>coffret UTA/URA (secourue)</b>		
URA	3	4
UTA	3	4
<b>coffret LDB/1 (secourue)</b>		
Système Eclairage	9	3
Porte motorisée	7	3
DOCK	3	3
<b>coffret LDB/2 (secourue)</b>		
Sécheur d'air	2	2
Système Eclairage	9	3
Porte motorisée	8	3

**Tab 2.3. Equipements alimentés à partir des coffrets secourus**

Donc :

Nous avons une puissance active de 223 kW et une puissance réactive de 108 kVAr.

Puissance apparente S :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 247.95 \text{ kVA}$$

Avec les futures extensions :  $P_{\max} = 247.95 * 1.2 = 297 \text{ kVA}$

- Donc nous choisissons un groupe électrogène dont la puissance est 300 kVA.

L'UPS alimente une partie de l'éclairage et la salle de contrôle comme indique le tableau suivant :

Désignation Equipement	Puissance nominale kW	Puissance absorbée kW
Salle contrôle	5	4.21
Système Eclairage	9	7.58

Tel que la puissance active égale 7.58 kW et la puissance réactive égale 3.67 kVAr, donc la puissance apparente égale 8.42 kVA

Avec les futures extensions :

- Nous choisissons un UPS dont la puissance est 10 kVA.

### **Tableau Récapitulatif :**

Puissance (kVA)	
Puissance maxima	3376
Transformateur	5000
GE	300
UPS	10

Tab 2.4. Tableau récapitulatif de dimensionnement de l'installation

### **8. Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons établi un bilan de puissance, celui-ci nous a permis de choisir le transformateur et les alimentations secourues adéquat à installer et qui vont répondre aux besoins des différentes charges en termes d'énergie. Dans le chapitre suivant, nous allons dimensionner les chemins de câbles, leurs sections.

---

# **CHAPITRE 3 :**

## **Canalisation Electrique**

---

### 1. Introduction :

Après l'établissement du bilan de puissance et le dimensionnement du transformateur, du groupe électrogène et du l'UPS, on passe maintenant au cheminement des câbles électriques. Où on doit concevoir un système pour cheminement des câbles, ensuite un calcul des sections minimales des conducteurs est nécessaire. On finalise l'étude par l'utilisation du logiciel Caneco BT (version étudiant) pour nous aider à déterminer la section minimale d'une canalisation tout en respectant les normes internationales pour les installations électriques en basse tension.

### 2. Définitions :

#### **Canalisation :**

Ensemble constitué par un ou plusieurs conducteurs électriques et les éléments assurant leur fixation et, le cas échéant, leur protection mécanique.

#### **Chemin de câbles (ou tablette) :**

Support constitué d'une base continue, munie de rebords et ne comportant pas de couvercle. A noter : un chemin de câbles (ou tablette) peut être perforé ou non perforé.

### 3. Composition des câbles électriques :

Les câbles sont de différents types. Dans notre travail, nous utilisons les câbles « **câble R2V** » ou encore « **câble U1000R2V** » qui est considéré comme étant le **câble électrique universel**. Il est largement utilisé par les électriciens et professionnels du bâtiment lors de la mise en place d'un réseau d'alimentation électrique. Il relie le tableau électrique au disjoncteur général ou aux différents équipements.

Le type d'isolation utilisé pour un R2V est XLPE (Cross Linked Polyethylene), mais les fils électriques qui le composent possèdent leur propre isolant en PVC, ce qui vaut une double isolation au câble électrique.

La tension maximale de service supportée par ce type de câble rigide est de 1000V.

## 4. Conception du système de cheminement des câbles:

Avant de commencer faire un chemin de câbles, il faut :

- Plan de tracé (Plan d'aménagement des équipements électriques)
- Liste des équipements
- Liste des charges électriques.
- Carnet des câbles d'alimentation électrique et de commande.
- Dessin de classification des zones dangereuses pour décider de l'emplacement destableaux de distribution, et autres équipements électriques.

**Les étapes de réalisation sont les suivantes :**

Étape 1 : S'assurer que les dernières révisions disponibles des documents d'entrée.

Étape 2 : Supprimer les informations inutiles du plan de tracé pour préparer la configuration de l'alimentation.

Étape 3 : Vérifier et marquer l'emplacement des charges électriques sur le plan de tracé conformément à la liste des équipements électriques.

Étape 4 : L'équipement électrique extérieur comme les boîtiers de contrôle local (LCS), les points de soudage doivent être situés.

Étape 5 : Marquer les itinéraires des câbles de la sous-station (point d'alimentation) à la charge électrique en tenant compte des informations sur les tranchées de câbles électriques

Étape 6 : Afficher les symboles dans la légende de tous les équipements électriques, tranchées de câbles (enterrées directement, caniveaux), chemins de câbles, gaines, rangée de gaines, etc., qui se trouvent sur le schéma de configuration.

Étape 7 : Pour l'identification de chaque chemin de câble, les câbles avec leurs numéros de repère doivent être spécifiés à chaque point d'arrêt du chemin de câbles sous forme de tableau.

Étape 8 : Finaliser le dessin.

Le cheminement de câbles doit suivre les différents supports situés dans l'usine pour optimiser le cout de l'installation.

Le schéma du cheminement de câbles est présenté en Annexe C.

## 5. Détermination de la section minimale des canalisations:

### 5.1. Méthodologie de dimensionnement des canalisations :

Il est important de calculer correctement la section des câbles utilisés dans une installation électrique. En effet, une section faible va entraîner un échauffement dû à la résistance du câble ; ce qui peut créer un incendie et une perte de tension. Une section trop importante peut entraîner un problème de poids et de coût. Les câbles électriques sont considérés comme les piliers d'une installation électrique, d'où la nécessité d'un dimensionnement optimal.

### Calcul du courant d'emploi $I_B$ :

Selon la relation suivante :

$$I_B = \frac{P_u}{\sqrt{3} * U * F_p}$$

$P_u$ : Puissance d'utilisation

$F_p$ : facteur de puissance

$U$  : tension d'alimentation

### Courants admissibles dans les canalisations :

C'est le courant maximal que la canalisation peut véhiculer en permanence sans préjudice pour sa durée de vie.

Pour déterminer ce courant, il faut procéder de la façon suivante :

- À l'aide des tableaux 1 et 2 (annexe D) définir le mode de pose, son numéro et sa lettre de sélection associés.
- À partir des conditions d'installation et d'ambiance, déterminer les valeurs des facteurs de correction qui doivent être appliqués.
- Calculer le facteur de correction global égal au produit des facteurs de correction
- À l'aide du tableau 13 (annexe D) pour les lettres de sélection  $B$ ,  $C$ ,  $E$ ,  $F$  et du tableau 14 (annexe D) pour la lettre de sélection  $D$ , déterminer le courant maximal  $I_0$  admissible par la canalisation dans les conditions standards ( $f_0$  à  $f_{10} = 1$ )
- Calculer le courant maximal admissible par la canalisation en fonction de ses conditions d'installation :  $I_a = I_0 / f$ .



### Choix du dispositif de protection :

En conformité avec la NF C 15-100, un dispositif de protection (disjoncteur ou fusible) assure correctement sa fonction si les conditions indiquées ci-après sont satisfaites.

#### **Courant nominal ou de réglage :**

Il est compris entre le courant d'emploi et le courant admissible  $I_a$  de la canalisation :

$$I_B \leq I_n \leq I_a$$

#### **Courant conventionnel de déclenchement :**

Il doit satisfaire la relation suivante :

$$I_2 \leq 1.45 I_a$$

Dans notre travail, nous utilisons des disjoncteurs type boîte moulé pour la protection.

- **Pour les disjoncteurs domestiques** : la norme NF C 61-410 spécifie :

$$I_2 = 1.45 I_n$$

- **Pour les disjoncteurs industriels** : la norme NF C 63-120 spécifie :

$$I_2 = 1.30 I_r$$

Or

$$I_2 \leq 1.45 I_a$$

### Section du conducteur de protection PE :

Dans une installation basse tension, les conducteurs de protection assurent l'interconnexion des masses d'utilisation et l'écoulement à la terre des courants de défaut d'isolement.

La section du conducteur PE est définie, pour la norme NF C 15-100, en fonction de la section des phases (pour le même métal conducteur) comme suit :

Pour  $S_{ph} \leq 16 \text{ mm}^2$  :  $S_{PE} = S_{ph}$

Pour  $16 \text{ mm}^2 \leq S_{ph} \leq 35 \text{ mm}^2$  :  $S_{PE} = 16 \text{ mm}^2$

Pour  $S_{ph} > 35 \text{ mm}^2$  :  $S_{PE} = \frac{S_{ph}}{2}$

### Vérification après le choix de la section :

#### Chute de tension :

La chute de tension (en Volt) sur une canalisation est calculée par la formule :

$$\Delta V = b * \left( \rho * \frac{L}{S} * \cos(\varphi) + \lambda * L * \sin(\varphi) \right) * I_B$$

$\Delta V$ : chute de tension, en volt

$b$  : coefficient :  $\begin{cases} 1 \text{ pour circuit triphasé} \\ 2 \text{ pour circuit monophasé} \end{cases}$

$r$  : résistivité du conducteur en service normal, soit 1,25 fois celle à 20 °C

$r = 0,0225 \text{ W mm}^2/\text{m}$  pour le cuivre ;  $r = 0,036 \text{ W mm}^2/\text{m}$  pour l'aluminium

$L$  : longueur de la canalisation, en mètre

$S$  : section des conducteurs, en  $\text{mm}^2$

$I_B$  : courant maximal d'emploi, en ampère

$\lambda$ : réactance linéique des conducteurs, en  $\text{W}/\text{m}$  :

$$\lambda = \begin{cases} 0.8 * \frac{10^{-3}\Omega}{\text{m}} \text{ pour les cables tripolaires} \\ 0.9 * \frac{10^{-3}\Omega}{\text{m}} \text{ pour les cables unipolaires serés en nappe ou en triangle} \end{cases}$$

Conformément à la norme NF C 15-100 § 525, la chute de tension entre l'origine de l'installation et tout point d'utilisation ne doit pas être supérieure aux valeurs du tableau 15 (Annexe D).

### Longueur maximale de canalisation :

La norme NF C 15-100 impose pour les schémas *TN* et *IT* que le seuil de déclenchement magnétique du disjoncteur soit inférieur au courant de court-circuit minimal. De plus, la temporisation éventuelle du disjoncteur doit être inférieure au temps de coupure maximal défini par la norme.

Pour un disjoncteur et une section de conducteur donnés, il existe donc une longueur maximale du circuit à ne pas dépasser afin de respecter les contraintes concernant la protection des personnes contre les contacts indirects.

Dans ce qui suit, nous appliquons la méthode conventionnelle pour déterminer les longueurs maximales des circuits. Celle-ci est plus pénalisante que la méthode des impédances, mais peut être appliquée en effectuant manuellement les calculs.

Dans la méthode conventionnelle, on néglige l'influence de la réactance des conducteurs pour des sections inférieures à 150 mm<sup>2</sup>.

Pour les fortes sections, on tiendra compte de l'influence de la réactance en divisant  $L_{max}$  par :

- 1,15 pour une section de 150 mm<sup>2</sup>
- 1,20 pour une section de 185 mm<sup>2</sup>
- 1,25 pour une section de 240 mm<sup>2</sup>
- 1,30 pour une section de 300 mm<sup>2</sup>

La longueur maximale de canalisation  $L_{max}$  est définie par la relation suivante :

$$L_{max} = \frac{0.8 * V_n * S_{ph}}{\rho * (1 + m) * I_m}$$

$V_n$ : Tension simple en volts

$S_{ph}$ : Section des phases en mm<sup>2</sup>

$\rho$  : Résistivité des conducteurs ( $\rho = 0.027$  W.mm<sup>2</sup>/m pour le cuivre ;  $\rho = 0.043$  W. mm<sup>2</sup>/m pour l'aluminium)

$$m = \frac{S_{ph}: \text{Section des phases}}{S_{PE}: \text{Section du conducteur de protection}}$$

$I_m$ : courant de fonctionnement du déclencheur magnétique du disjoncteur, on le tire à partir du catalogue de disjoncteur choisi.

### Contrainte thermique du conducteur :

Lors du passage d'un courant de court-circuit dans les conducteurs d'une canalisation pendant un temps très court (jusqu'à cinq secondes), l'échauffement est considéré adiabatique ; cela signifie que l'énergie emmagasinée reste au niveau du métal de l'âme et n'est pas transmise à

l'isolant. Il faut donc vérifier que la contrainte thermique du court-circuit est inférieure à la contrainte thermique admissible du conducteur :

$$t_c * I_{cc}^2 \leq k^2 * S^2$$

$t_c$  : temps de coupure du dispositif de protection en seconde  
 $S$  : section des conducteurs en  $\text{mm}^2$

$I_{cc}$  : courant de court-circuit en A

La valeur de  $k$  dépend du matériau de l'âme et de la nature de l'isolant dans le tableau 16 (annexe D).

Si le temps de coupure est donné, la section doit satisfaire la condition :

$$S \geq \frac{I_{cc}}{k} * \sqrt{t_c}$$

### Choix des dispositifs des protections :

Après avoir déterminé les différentes sections des différents circuits, nous présentons dans ce qui suit la démarche à suivre ainsi que les critères à prendre en considération pour déterminer les appareils de protections.

Les disjoncteurs sont les dispositifs les plus utilisés pour protéger les équipements, ils ont les caractéristiques principales suivantes : - Polarité du disjoncteur ; - tension assignée d'emploi  $U_e$  ; - courant nominal du dispositif de protection  $I_n$  ; - pouvoir de coupure  $I_{cu}$  ; - courant de réglage thermique  $I_r$  ou ( $I_{r\ th}$ ) ; - courant de réglage magnétique  $I_m$ , [13].

Le calibre du disjoncteur est défini à partir du courant d'emploi des récepteurs, souvent il peut être choisi immédiatement supérieur au courant d'emploi dans la liste des calibres existants.

Donc pour choisir un disjoncteur, il suffit de vérifier que :

$$I_n \geq I_B \text{ et } I_{cu} \geq I_c$$

**5.2. Exemple de calcul :**

Nous allons déterminer la section minimale des canalisations en prenant quelques exemples (Compresseur d'air 2, UTA 5 et Prise de courant 5).

Pour la totalité des charges, nous allons utiliser un logiciel de calcul CANECO BT afin de minimiser le temps de calcul, cela dit, ce logiciel respecte la norme NF C 15-100.

**Compresseur d'air 2 :**

$P_u=132 \text{ kW}$  ;



Calcul du courant d'emploi  $I_B$ : Selon la relation suivante :

$$I_B = \frac{P_u}{\sqrt{3} * U * Fp}$$

AN:

$$I_B = \frac{132000}{\sqrt{3} * 400 * 0.9} = 211 \text{ A}$$

Mode de pose [1]:

		câbles						
		multi-conducteurs	mono-conducteurs					
	- sur des chemins de câbles ou tablettes perforés en parcours horizontal ou vertical	13	<b>E</b>	F	1	$f_1$	$f_4$	$f_5$
	- sur des corbeaux	14	E	F	1	$f_1$	$f_4$	$f_5$

**Tab 3.1. Mode de pose pour le compresseur d'air**

Donc on est dans le mode de pose numéro 13, la lettre de sélection est E, et les facteurs de correction qu'il faut tenir compte sont  $f_1$ ,  $f_4$  et  $f_5$ .

### Facteur de correction globale :

On tire les valeurs des facteurs de correction  $f_1$ ,  $f_4$  et  $f_5$  :

- $f_1 = 0.91$  (vu que la température de l'air est 40 °C et le type d'isolement est PR)
- $f_4 = 0.72$  (plus de 9 câbles multiconducteurs jointifs)
- $f_5 = 1$  (une seule couche)

Le facteur de correction global  $f = f_1 * f_4 * f_5 = 0.65$

Le courant équivalent que la canalisation doit pouvoir véhiculer dans les conditions standards d'installation est :

$$I_z' = 211 / 0.65 = 318 \text{ A}$$

Le tableau (lettre de sélection E, PR3, cuivre) donne une section minimale  $S = 120 \text{ mm}^2$  qui a un courant admissible  $I_0 = 346 \text{ A}$ .

Protection : on prend un disjoncteur de type boite à molier NSX250H qui a les caractéristiques suivantes :  $I_{cc} = 1972 \text{ A}$  ;  $I_n = 250 \text{ A}$  ;  $I_m = 1643 \text{ A}$  ;

### **Vérification :**

Dans le but de vérifier si la section calculée est bonne, on calcule :

Chute de tension : Elle est donnée par la formule :

$$\frac{\Delta V}{U} = b * (\rho * \frac{L}{S} * \cos \varphi + \lambda * L * \sin \varphi) * \frac{I_B}{U}$$

AN :

$$\frac{\Delta V}{U} = (0.0225 * \frac{125}{120} * 0.9 + 0.8 * 10^{-3} * 125 * \sqrt{1 - 0.9^2}) * \frac{207}{400} = 1.32\%$$

Longueur maximale de canalisation: Avec la formule suivante :

$$L_{max} = \frac{0.8 * V_n * S_{ph}}{\rho * (1 + m) * I_m}$$

On trouve :

$$L_{max} = \frac{0.8 * 230 * 120}{0.027 * (1 + \frac{120}{75}) * 1582} = 210 \text{ m}$$

Contrainte thermique :

$$\frac{I_{cc}}{k} \sqrt{t_c} = \frac{1972 * \sqrt{2}}{135} = 20.65 \text{ mm}^2$$

Comme  $\frac{\Delta V}{U} \leq 8\%$  et  $L_{max} > 132m$  et  $S > 20.65 \text{ mm}^2$

Donc ; le choix de la section est  $S=120 \text{ mm}^2$

**UTA 5 :**

La puissance d'utilisation  $P_u=4 \text{ kW}$ .

Le courant d'emploi  $I_B$ :

$$I_B = \frac{P_u}{\sqrt{3} * U * Fp}$$

AN :

$$I_B = \frac{4000}{\sqrt{3} * 400 * 0.9} = 6 \text{ A}$$

On a le même mode de pose et le même facteur de correction que le compresseur d'air

- Mode de pose 13, lettre de sélection E.
- $f=0.65$

$$I_z' = 6/0.65 = 10 \text{ A}$$

Le tableau (lettre de sélection E, PR3, cuivre) donne une section minimale  $S = 1.5 \text{ mm}^2$  qui a un courant admissible  $I_a = 23A$ .

On choisit le disjoncteur NSX100F (calibre 16A) avec :  $I_m=190 \text{ A}$  ;  $I_{cc}=253 \text{ A}$ .

Vérification de la chute de tension : Elle est donnée par la formule :

$$\frac{\Delta V}{U} = b * \left( \rho * \frac{L}{S} * \cos \varphi + \lambda * L * \sin \varphi \right) * \frac{I_B}{U}$$

AN :

$$\frac{\Delta V}{U} = \left( 0.0225 * \frac{98}{1.5} * 0.9 + 0.8 * 10^{-3} * 98 * \sqrt{1-0.9^2} \right) * \frac{1.5}{400} = 4.94\%$$

Vérification de la longueur maximale de canalisation : Avec la formule suivante :

$$L_{max} = \frac{0.8 * V_n * S_{ph}}{\rho * (1 + m) * I_m}$$

On trouve :

$$L_{max} = \frac{0.8 * 230 * 1.5}{0.027 * \left( 1 + \frac{1.5}{1.5} \right) * 190} = 27m$$

Contrainte thermique :

$$\frac{I_{cc}}{k} \sqrt{t_c} = \frac{253 * \sqrt{2}}{135} = 2.65 \text{ mm}^2$$

Comme  $\frac{\Delta V}{U} < 8\%$  mais  $S < 2.65 \text{ mm}^2$   $L_{max} < 98 \text{ m}$  il faut augmenter la section en prenant

$$S = 6 \text{ mm}^2$$

La longueur maximale  $L_{max} = 99.68 \text{ m}$

Donc le choix de la section est  $S = 6 \text{ mm}^2$

**Prise de courant 5 :**

La puissance d'utilisation  $P_u = 7 \text{ kW}$ .

Le courant d'emploi :

$$I_B = \frac{P_u}{\sqrt{3} * U * \text{fp}} = \frac{7000}{\sqrt{3} * 400 * 0.9} = 11 \text{ A}$$

On a le même mode de pose et le même facteur de correction que le compresseur d'air

- Mode de pose 13, lettre de sélection E.
- $f = 0.65$

Le courant équivalent que la canalisation doit pouvoir véhiculer dans les conditions standards d'installation est :

$$I_z' = 11 / 0.65 = 17 \text{ A}$$

Le tableau (lettre de sélection E, PR3, cuivre) donne une section minimale  $S = 1.5 \text{ mm}^2$  qui a un courant admissible  $I_a = 23 \text{ A}$ .

On choisit le disjoncteur NSX100F (calibre 16A) avec :  $I_m = 190 \text{ A}$  ;  $I_{cc} = 253 \text{ A}$ .

Vérification de la chute de tension : Elle est donnée par la formule :

$$\frac{\Delta V}{U} = b * \left( \rho * \frac{L}{S} * \cos \varphi + \lambda * L * \sin \varphi \right) * \frac{I_B}{U}$$

On trouve :

$$\frac{\Delta V}{U} = \left( 0.0225 * \frac{98}{1.5} * 0.9 + 0.8 * 10^{-3} * 98 * \sqrt{1 - 0.9^2} \right) * \frac{1.5}{400} = 4.94\%$$



Vérification de la longueur maximale de canalisation : Avec la formule suivante :

$$L_{max} = \frac{0.8 * V_n * S_{ph}}{\rho * (1 + m) * I_m}$$

On trouve :

$$L_{max} = \frac{0.8 * 230 * 1.5}{0.027 * (1 + 1.5) * 190} = 27m$$

Contrainte thermique :

$$\frac{I_{cc}}{k} * \sqrt{t_c} = \frac{253 * \sqrt{2}}{135} = 2.65 \text{ mm}^2$$

Comme  $L < L_{max}$  et  $S < 2.65 \text{ mm}^2$ , il faut augmenter la section encore jusqu'à que :

$L > L_{max}$  et  $S > 2.65 \text{ mm}^2$ .

Pour notre cas on augmente S jusqu'à  $S=25\text{mm}^2$  :

$$L_{max} = \frac{0.8 * 230 * 6}{0.027 * (1 + \frac{25}{16}) * 190} = 132 \text{ m}$$

Donc nous choisissons une section  $S=25 \text{ mm}^2$

**Nous présentons les résultats dans le tableau suivant :**

	Puissance kW	Ib (A)	Ia (A)	Sph (mm <sup>2</sup> )	Spe (mm <sup>2</sup> )	Chute de tension (%)	Lmax(m)	Contrainte thermique (mm <sup>2</sup> )
Compresseur d'air 2	132	207	321	120	75	2,6	140,18	20
UTA 5	4	6	35	6	6	1,24	107,6	2.6
Prise de courant 5	7	11	35	25	16	0,67	132,97	5.5

**Tab 3.2. Tableau récapitulatif pour le calcul sections des câbles théoriquement**

## 6. Résultats donnés par Caneco BT :

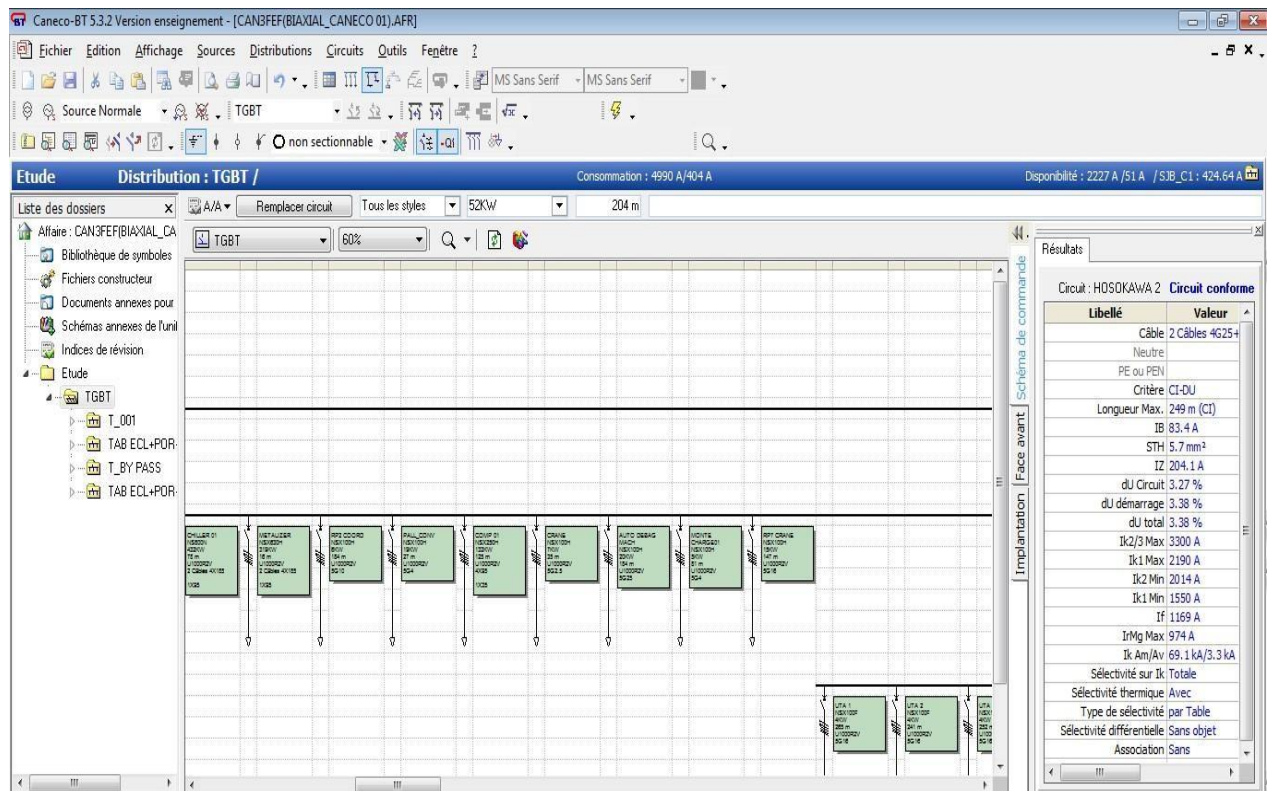
Présentation de Caneco BT :

Caneco BT est un logiciel de conception automatisée d'installations électriques basse tension du groupe ALPI. Il intègre en une seule et même solution les différents métiers de l'électricien : calculs et dimensionnement des circuits, schéma unifilaire, carnet de câbles, liste de circuits avec réglages et types de protections. Il sert à :

- Calculer et dimensionner économique des circuits : Il effectue les calculs électriques selon les normes en vigueur, et dimensionne automatiquement les matériels les plus adaptés à partir d'une base de données multi fabricants.

- Réaliser automatiquement des schémas électriques de puissance et de commande : Il permet la conception automatique des schémas de puissance et de commande grâce à quatre interfaces de travail dynamiques, et la conception automatisée des armoires préfabriquées. Il peut aussi prédéterminer les matériels électriques dimensionnés et les auxiliaires, conformément aux règles de conception du fabricant d'origine.
- Identifier des Nomenclatures des tableaux et des câbles de toute l'installation : Grâce à la base de données technique et tarifaire, qui regroupe 400 000 articles, il réalise la nomenclature et le chiffrage complet des tableaux et câbles.

L'interface utilisateur de Caneco BT ressemble à celle de la plupart des programmes fonctionnant sous environnement Windows. La barre des menus située en haut de l'écran présente les neuf menus de Caneco BT. Les commandes contenues dans ces menus permettent soit de déclencher directement une action, soit d'afficher un sous-menu ou une Boîte de dialogue. Sous cette barre de menus, figure la barre des outils qui permettent d'accéder directement à une commande existant dans les menus.



**Fig 3. 2. Interface du logiciel Caneco BT**

### Procédures :

Pour dimensionner toutes les protections et calculer les sections des câbles d'une installation électrique à l'aide du logiciel Caneco BT, il faut connaître les caractéristiques des sources d'alimentation, des circuits de distribution et des circuits terminaux. Notre installation sera alimentée par un transformateur MT/BT (source normale) et un groupe électrogène (source de

secore) en cas de défaut de fonctionnement des transformateurs.

Les caractéristiques du transformateur sont :

- La puissance de la source : 5000 kVA
- Nombre de source : deux sources
- Le régime du neutre : TNS
- La distance entre la source et le TGBT : 5 m
- Le mode de pose : sur chemins de câblés perforés horizontal ou vertical
- Les harmoniques : TH inférieur à 15 %
- Type de conducteur : Cuivre

La section des conducteurs est générée automatiquement par le logiciel. Il faut aussi connaître le régime du neutre et le type de protection du réseau aval. Après la définition des caractéristiques de la source, le logiciel affiche les résultats sous forme d'un tableau.

La deuxième étape consiste à dessiner le schéma unifilaire de l'installation en ajoutant des circuits au schéma et en remplissant les caractéristiques de chaque circuit.

**Fiche circuit**  
**HOSOKAWA 1 sur TGBT**  
 Divers (Standard).

Textes		Sélectivité par courbes		Coordination Câble/Protection	
Amont	Circuit	Données complémentaires		Résultats complémentaires	
<b>Circuit</b> <b>HOSOKAWA 1</b>					
Amont :	TGBT	Jeu de barre :	SJB_C1	Indice :	A
Alimentation :	Normal	Désignation :			
Conducteurs :	3P+N+PE				
<b>Protection Commande</b>					
Type :	Disj. Boitier moulé	Contacts indirects :	Prot Base		
<b>Protection</b> <input type="checkbox"/> NSX630H Micrologic 2.3 630A 4P3D					
<b>Protection surcharge</b>			<b>Protection court-circuit</b>		
Calibre :	630 A	1	I <sub>m</sub> Mg :	4410 A	<input type="checkbox"/> Retardé uniquement
IN/IrTh/IrLR :	441 A		T CR :	20 ms	
Thermique :	Sur circuit		I Inst :	6930.00	
<b>Câble</b>					
Longueur :	78 m		<b>Coefficients</b>		<b>Conducteurs</b>
Type :	U1000R2V		Température :	0.91 ...	Phase : <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 120 mm <sup>2</sup>
Ame :	Cu		Proximité :	0.77 ...	Neutre : <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 120 mm <sup>2</sup>
Pose :	13 Sur chemin de câb		Complémentaire :	1.00	PE : <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 70 mm <sup>2</sup>
Pôle :	Multi		Appliquer Fs :	<input type="checkbox"/> 1.00	Neutre chargé : <input type="checkbox"/>
			Correction totale :	0.70	
<b>Récepteur</b> <b>HOSOKAWA 1</b>					
Consommation :	1	275KW	Coefficients	Permanent	Démarrage
Harmoniques :	TH <= 15%		Utilisation :	0.8	Cos. Phi : 0.9
					Cos. Phi : 0.3
				DU max : 5 %	ID/IN : 1.00

Calculer    **OK**    Annuler    Aide

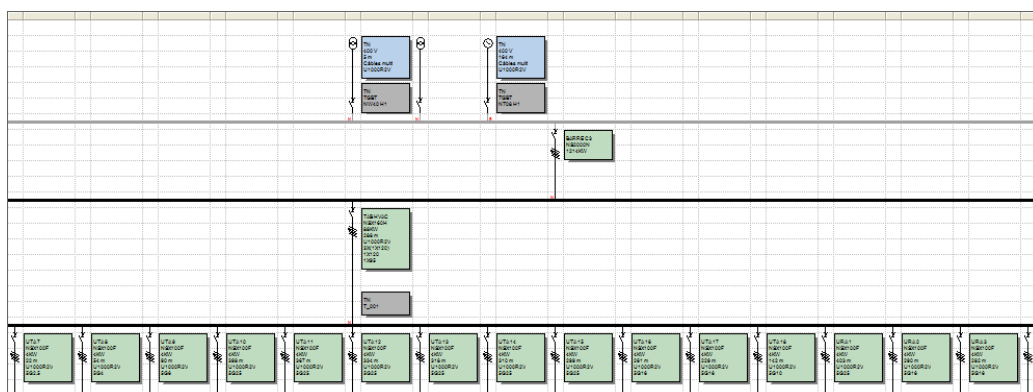
Fig. 3. 3. Saisie des données pour la machine HOSOKAWA

Le logiciel affiche les résultats de calcul lié au circuit ajouté dans un tableau à droite de fenêtre du logiciel comme indiqué en dessous:

Résultats	
Circuit : HOSOKAWA 2 <span style="color: blue;">Circuit conforme</span>	
<b>Libellé</b>	<b>Valeur</b>
Câble	2 Câbles 4G25+...
Neutre	
PE ou PEN	
Critère	CI-DU
Longueur Max.	249 m (CI)
IB	83.4 A
STH	5.7 mm <sup>2</sup>
IZ	204.1 A
dU Circuit	3.27 %
dU démarrage	3.38 %
dU total	3.38 %
Ik2/3 Max	3300 A
Ik1 Max	2190 A
Ik2 Min	2014 A
Ik1 Min	1550 A
If	1169 A
IrMg Max	974 A
Ik Am/Av	69.1 kA/3.3 kA
Sélectivité sur Ik	Totale
Sélectivité thermique	Avec
Type de sélectivité	par Table
Sélectivité différentielle	Sans objet
Association	Sans
Prix Liaison	6193.73 EUR

**Fig 3.4. Résultats donné par Caneco BT pour la machine Hosokawa**

Après la saisie de toutes les données des différentes machines, le schéma de l'installation prend la forme suivante : la source est composée de deux transformateurs de 2500 kVA.



**Fig. 3.5. Schéma d'installation en Caneco BT**

## Résultats obtenus avec Caneco-BT :

Nous avons réalisé les notes de calculs par circuit de plusieurs charges citées dans le cahier de charges en vue d'étudier la conformité de chaque circuit : chute de tension, les caractéristiques de câbles, les protections adaptées. Nous avons également effectué les calculs manuels afin de bien s'assurer de la pertinence des résultats obtenus avec le logiciel.

Nous avons obtenu avec le logiciel les résultats ci-dessous qui sont jugés conformes suivant Caneco-BT :

NUMERO CABLE	EQUIPEMENT	PUISSANCE [kW]	LONGUEUR [m]	NOMBRE DE CABLE / PHASE	SECTION CABLE [mm <sup>2</sup> ]	SECTION CABLE Neutre [mm <sup>2</sup> ]	SECTION CABLE PE [mm <sup>2</sup> ]	TYPE CABLE
C-TGBT-EREM 001	EREMA Machine	310	90	2	120	120	70	U1000R2V
C-TGBT-BO 001	Boiler	68	107	1	35	35	35	U1000R2V
C-TGBT-COMP 001	compresseur d'air 1	132	125	1	95	95	35	U1000R2V
C-TGBT-COMP 002	compresseur d'air 2	132	132	1	120	120	35	U1000R2V
C-TGBT-SECH 001	Sécheur d'air 1	2	121	1	10	10	10	U1000R2V
C-TGBT-SECH 002	Sécheur d'air 2	2	124	1	70	70	50	U1000R2V
C-TGBT-DEBAG 001	Auto debuging Machine	20	184	1	25	25	25	U1000R2V

C-TGBT-ADM 001	Bloc administratif	20	212	1	240	240	70	U1000R2V
C-TGBT-INCEND 001	Pompe incendie	60	215	2	150	150	95	U1000R2 V
C-UPS-CONTR 001	Salle de contrôle	5	89	1	10	10	10	U1000R2 V
C-TGBT-HOS 001	Hosokawa 1	275	78	2	120	120	70	U1000R2V
C-TGBT-COOL 001	Cooling tower TEC 1200	63	63	1	25	25	25	U1000R2V
C-TGBT-SCAMB 001	KIT SCAMBIO	23	54	1	10	10	10	U1000R2 V
C-TGBT-SLITT 001	Primary slitter	141	19	1	95	95	50	U1000R2V
C-TGBT-MCH 001	Monte charge 1	5	81	1	4	4	4	U1000R2 V
C-TGBT-MCH 002	Monte charge 2	5	114	1	6	6	6	U1000R2V
C-TGBT-SWPM 001	Strapping-Wrapping Pallet machine	16	113	1	16	16	16	U1000R2 V
C-TGBT-PCONV 001	Pallet convoyeur	19	128	1	4	4	4	U1000R2 V
C-TGBT-HSM 001	Horizontal Strapping Machine	7	144	1	10	10	10	U1000R2V
C-TGBT-CLEAN 001	filter cleaning machine	100	331	1	150	150	70	U1000R2 V
C-TGBT-CPSCR 001	CPS crane	30	200	1	25	25	25	U1000R2 V
C-TGBT-SLITCONV 001	Primary slitter Convoyor	65	171	1	70	70	50	U1000R2V
C-TGBT-RP7CR 001	RP7 crane	15	147	1	16	16	16	U1000R2 V
C-TGBT-CHIL 001	Chiller 1	432	78	2	185	185	95	U1000R2 V
C-TGBT-CHIL 002	Chiller 2	432	81	3	185	185	150	U1000R2V
C-TGBT-CHIL 003	Chiller 3	432	81	3	185	185	150	U1000R2 V
C-TGBT-TEPP 001	Tableau éclairage/portes/prises 1	147	127	1	95	95	35	U1000R2V

C-UPS-TEPP 001	Tableau éclairage /prises/portes 2	116	160	1	95	95	25	U1000R2V
C-TGBT- HVAC 001	Tableau HVAC (UTA/URA)	88	288	1	120	120	95	U1000R2V
C-TGBT-UPS 001	UPS	9	186	1	70	70	50	U1000R2V
C-TEPP2- PRIS 001	Prise de courant 1	7	54	1	10	10	10	U1000R2V
C-TEPP2- PRIS 002	Prise de courant 2	7	12	1	4	4	4	U1000R2V
C-TEPP2- PRIS 003	Prise de courant 3	7	75	1	16	16	16	U1000R2V
C-TEPP2- PRIS 004	Prise de courant 4	7	139	1	25	25	25	U1000R2V
C-TEPP2- PRIS 005	Prise de courant 5	7	126	1	25	25	25	U1000R2V
C-TEPP2- PRIS 006	Prise de courant 6	7	156	1	25	25	25	U1000R2V
C-TEPP2- PRIS 007	Prise de courant 7	7	203	1	35	35	35	U1000R2V
C-TEPP2- PRIS 008	Prise de courant 8	7	209	1	35	35	35	U1000R2V

C-TEPP1-PRIS 001	Prise de courant 9	7	22	1	4	4	4	U1000R2V
C-TEPP1-PRIS 002	Prise de courant 10	7	51	1	10	10	10	U1000R2V
C-TEPP1-PRIS 003	Prise de courant 11	7	82	1	16	16	16	U1000R2V
C-TEPP1-PRIS 004	Prise de courant 12	7	107	1	25	25	25	U1000R2 V
C-TEPP1-PRIS 005	Prise de courant 13	7	141	1	25	25	25	U1000R2 V
C-TEPP1-PRIS 006	Prise de courant 14	7	172	1	35	35	35	U1000R2V
C-TEPP1-PRIS 007	Prise de courant 15	7	205	1	35	35	35	U1000R2 V
C-TEPP1-PRIS008	Prise de courant 16	7	229	1	35	35	35	U1000RV
C-TGBT-CR 001	Crane	7	35	1	2,5	2,5	2,5	U1000R2V
C-TGBT-DOCK 001	Dock	9	22	1	10	10	10	U1000R2 V
C-TGBT-KAMPF 001	Bobineuse KAMPF	130	154	1	95	95	35	U1000R2 V
C-TGBT-GE 001	salle GE	5	164	1	25	25	25	U1000R2 V



C-TGBT-MT 001	salle MT	5	5	1	6	6	6	U1000R2V
C-TGBT-MAINT 001	Maintenance workshop	30	52	1	50	50	35	U1000R2V
C-TEPP2-PM 001	Porte motorisée D2.1	3	66	1	6	6	6	U1000R2V
C-TEPP2-PM 002	Porte motorisée D2.2	3	60	1	6	6	6	U1000R2V
C-TEPP2-PM 003	Porte motorisée D3.12	3	42	1	6	6	6	U1000R2V
C-TEPP2-PM 004	Portes motorisées (Qte 6)	12	75	1	10	10	10	U1000R2V
C-TEPP2-PM 005	Porte motorisée D3.3	3	49	1	6	6	6	U1000R2V
C-TEPP2-PM 006	Porte motorisée D3.12	3	73	1	6	6	6	U1000R2V
C-TEPP2-PM 007	Porte motorisée D3.4	3	74	1	6	6	6	U1000R2V
C-TEPP2-PM 008	Porte motorisée D3.5	3	96	1	6	6	6	U1000R2V
C-TEPP2-PM 009	Porte motorisée D1.1	3	120	1	16	16	16	U1000R2V
C-TEPP2-PM 010	Porte motorisée D1.2	3	118	1	16	16	16	U1000R2V
C-TEPP2-PM 011	Porte motorisée D1,3	3	182	1	16	16	16	U1000R2V
C-TEPP2-PM 012	Porte motorisée D2.3	3	159	1	16	16	16	U1000R2V
C-TEPP2-PM 013	Portes motorisées (Qte 3)	9	194	1	16	16	16	U1000R2 V
C-TEPP2-PM 014	Portes motorisées (Qte2)	4	215	1	16	16	16	U1000R2V

C-TEPP1-PM 001	Porte motorisée D3.10	3	104	1	6	6	6	U1000R2V
C-TEPP1-PM 002	Porte motorisée D3.7	3	169	1	10	10	10	U1000R2V
C-TEPP1-PM 003	Porte motorisée D3.12	3	280	1	16	16	16	U1000R2V
C-TEPP1-PM 004	Porte motorisée D3.6	3	150	1	10	10	10	U1000R2V
C-TEPP1-PM 005	Porte motorisée D3.9	3	70	1	4	4	4	U1000R2 V
C-HVAC-UTA001	UTA 21-22	4	265	1	16	16	16	U1000R2V
C-HVAC-UTA 002	UTA 24-25	4	241	1	16	16	16	U1000R2V
C-HVAC-UTA003	UTA A.23	4	252	1	16	16	16	U1000R2V
C-HVAC-UTA 004	UTA C.32	4	137	1	10	10	10	U1000R2V
C-HVAC-UTA005	UTA C.26	4	98	1	6	6	6	U1000R2V

C-HVAC-UTA 006	UTA C.22	4	65	1	4	4	4	U1000R2V
C-HVAC-UTA 007	UTA C.13	4	22	1	2,5	2,5	2,5	U1000R2V
C-HVAC-UTA 008	UTA C.9	4	54	1	4	4	4	U1000R2V
C-HVAC-UTA 009	UTA C.4	4	90	1	6	6	6	U1000R2V
C-HVAC-UTA 010	UTA D.3	4	398	1	25	25	25	U1000R2V
C-HVAC-URA 001	URA D.2	4	403	1	25	25	25	U1000R2V
C-HVAC-UTA 011	UTA D.6	4	367	1	25	25	25	U1000R2V
C-HVAC-UTA 012	UTA D.7	4	334	1	25	25	25	U1000R2V
C-HVAC-UTA 013	UTA D.11	4	318	1	25	25	25	U1000R2V
C-HVAC-UTA 014	UTA D.12	4	310	1	25	25	25	U1000R2V

C-HVAC-UTA 015	UTA D.15	4	299	1	25	25	25	U1000R2V
C-HVAC-URA 002	URA D.16	4	290	1	16	16	16	U1000R2V
C-HVAC-URA 003	URA D.17	4	282	1	16	16	16	U1000R2V
C-HVAC-UTA 016	UTA D.19	4	261	1	16	16	16	U1000R2V
C-HVAC-URA 004	URA D.20	4	257	1	16	16	16	U1000R2V
C-HVAC-UTA 017	UTA D.24	4	229	1	16	16	16	U1000R2V
C-HVAC-URA 005	URA D.24	4	235	1	16	16	16	U1000R2V
C-HVAC-UTA 018	UTA D.29	4	142	1	10	10	10	U1000R2V
C-TGBT-RP2CR 001	RP2 Crane	70	176	1	50	50	50	U1000R2V
C-TGBT-RPCORD 001	RP2 Cordinator	6	184	1	10	10	10	U1000R2V
C-TGBT-HOS 002	Hosokawa 2	52	204	2	25	50	25	U1000R2V
C-TGBT-MET 001	Metalizer	319	16	2	185	185	95	U1000R2V

**Tab 3.3. Sections des canalisations données par Caneco BT**

Le logiciel donne une liste de tous les câbles nécessaires utilisés avec leurs longueurs :

Type câble	Câble	Âme	Q6
U1000F2V	1*240	Cuivre	10m
U1000F2V	4*800	Cuivre	50m
U1000F2V	4*240	Cuivre	164m
U1000F2V	1*120	Cuivre	1132m
U1000F2V	1*150	Cuivre	162m
U1000F2V	1*25	Cuivre	160m
U1000F2V	1*35	Cuivre	533m
U1000F2V	1*50	Cuivre	171 m
U1000F2V	1*70	Cuivre	488m
U1000F2V	1*95	Cuivre	1237m
U1000F2V	4*35+N50	Cuivre	408m
U1000F2V	4*120	Cuivre	463m
U1000F2V	4*150	Cuivre	330m
U1000F2V	4*185	Cuivre	1104m
U1000F2V	4*50-G35	Cuivre	264m
U1000F2V	4*70-G30	Cuivre	543m
U1000F2V	4*85	Cuivre	577m
U1000F2V	5G10	Cuivre	1271 m
U1000F2V	5G16	Cuivre	3839m
U1000F2V	5G25	Cuivre	57m
U1000F2V	5G35	Cuivre	3040m
U1000F2V	5G35	Cuivre	107m
U1000F2V	5G4	Cuivre	237m
U1000F2V	5G30	Cuivre	147m
U1000F2V	5G6	Cuivre	871 m
U1000F2V	3G10	Cuivre	105m
U1000F2V	3G16	Cuivre	157m
U1000F2V	3G35	Cuivre	669m
U1000F2V	3G35	Cuivre	1018m
U1000F2V	3G4	Cuivre	34m

Tab 3.4. Type de câbles utilisés avec la section et la longueur correspondante

### Interprétations des résultats :

- En remarquant les résultats obtenus, on constate que la section d'une canalisation est directement liée au courant admissible  $I_a$ , ce qui fait qu'elle est directement liée au courant d'emploi  $I_B$ .
- L'augmentation du courant d'emploi signifie l'augmentation de la section, mais cette augmentation n'est pas proportionnelle.
- Le courant admissible dépend des conditions de pose et de groupement, la nature des âmes conductrices, et de la nature des isolations.
- La longueur de canalisation influe indirectement sur la section, elle interviendra pour d'autres raisons (Chutes de tension, protection contre les courts-circuits et contre les contacts indirects).
- Le logiciel Caneco BT donne des résultats identiques à ceux trouvés par calcul. Le logiciel nous permet un gain important de temps.

- Caneco BT présente l'avantage d'avoir une grande base de données (câbles, disjoncteur, ...etc.), donc les résultats donnés sont optimisés.
- Le calcul manuel reste très limité parce que c'est très complexe de faire une étude complète.

## **7. Conclusion :**

Le logiciel Caneco BT est un outil pratique pour le dimensionnement des installations électriques, il donne des résultats fiables, d'ailleurs il est utilisé par des sociétés reconnues mondialement, mais il nécessite une maîtrise d'outil. Dans le chapitre suivant, nous allons entamer le dimensionnement de système de l'éclairage.

---

# **CHAPITRE 4:**

## **Systeme d'Eclairage**

---

### 1. Introduction :

Quel que soit le type de l'installation électrique, l'objectif recherché lors de la conception de l'éclairage artificiel sera de minimiser la consommation électrique qui y est liée.

Pour assurer le confort visuel des occupants, un éclairage adéquat et approprié doit être assuré.

Ces particularités impactent les normes d'éclairement à appliquer, le choix du matériel et les solutions techniques et pratiques à mettre en place.

### 2. Notions sur l'éclairage [6]:

#### Grandeurs photométriques :

##### Flux lumineux $\phi_v$ en lumen (lm) :

Quantité de lumière émise par une source lumineuse dans toutes les directions, par unité de temps.

Instrument de mesure : sphère intégratrice.

##### Intensité lumineuse $I_v$ en candela (cd) :

C'est la quantité de flux lumineux émise dans une direction particulière, exprimée en candelas (cd).

$$I_v = \frac{d\phi_v}{d\omega}$$

$d\phi_v$  : Flux lumineux émis par la lampe.

$d\omega$  : L'angle solide contenant la direction donnée.

Instrument de mesure : luxmètre + mètre / Goniophotomètre (luminaires).

##### Eclairement $E$ en lux (lx) ou lumen/m<sup>2</sup> :

C'est la quantité de flux lumineux éclairant une surface par seconde.

$$E = \frac{\phi_v}{S}$$

$S$  : l'aire de la surface éclairée (m<sup>2</sup>). Instrument de mesure : luxmètre.



Efficacité lumineuse :

C'est le rapport de flux lumineux sur la puissance consommée de la lampe

$$\eta = \frac{\phi_v}{P}$$

L'utilisation d'une lampe d'efficacité lumineuse élevée diminue à la fois le coût d'installation (Puissance, mise en œuvre) et les dépenses de fonctionnement (énergie consommée).

Contraste :

Différence des luminances entre un objet et son entourage immédiat.

$$contrast = \frac{L_{objet} - L_{fond}}{L_{fond}}$$

Tel que :

L : c'est la luminance en candela par m<sup>2</sup>.

Instrument de mesure : Luminance mètre.

Facteur d'uniformité :

C'est le rapport entre éclairage minimum  $E_{min}$  et éclairage moyen  $E_{moy}$ . Il est important d'équilibrer correctement les niveaux d'éclairage dans les zones de travail et les zones environnantes immédiates afin d'obtenir une uniformité de luminance (ce que l'œil perçoit de la lumière) dans le champ visuel.

Indice de rendu de couleur IRC ou Ra :

C'est la capacité d'une source à restituer les différentes nuances colorées de l'objet qu'elle éclaire.

L'indice de rendu de couleur (IRC) est une moyenne de 13 valeurs calées chacune sur une couleur particulière, sa valeur varie de 1 à 100 (100 étant le rendu de la couleur naturelle).

$Ra < 25$	Faible
$25 < Ra < 65$	Moyenne
$65 < Ra < 90$	Bonne
$Ra > 90$	Elevée

**Tab 4.1. Indice de rendu de couleur**

### Température de couleur :

C'est la couleur apparente de la lumière d'une lampe. Elle est mesurée en degré kelvin (k).

$Ra < 25$	Faible
$25 < Ra < 65$	Moyenne
$65 < Ra < 90$	Bonne
$Ra > 90$	Elevée

**Tab 4.2. Température de couleur de lumière**

La température de couleur a une équivalence physique dans le cas de la lampe à incandescence (température du filament). La température de couleur est extrapolée dans le cas de la lampe à luminescence : température couleur proximale.

Plus la température de couleur est élevée, plus la lumière est "froide" plus elle se rapproche de la lumière du jour. Au contraire, plus la température de couleur est basse, plus la lumière est 'chaude'.

On mesure la température de couleur avec le colorimètre.

### La courbe Isolux :

Les diagrammes Isolux indiquent la répartition du niveau d'éclairement sur une surface visible.

### Diagramme de fausses couleurs :

Fausse couleur (ou pseudo couleur) désigne un groupe de méthodes de rendu des couleurs utilisées pour afficher les images en couleur qui ont été enregistrées dans les parties visibles ou non visibles du spectre électromagnétique, [6].

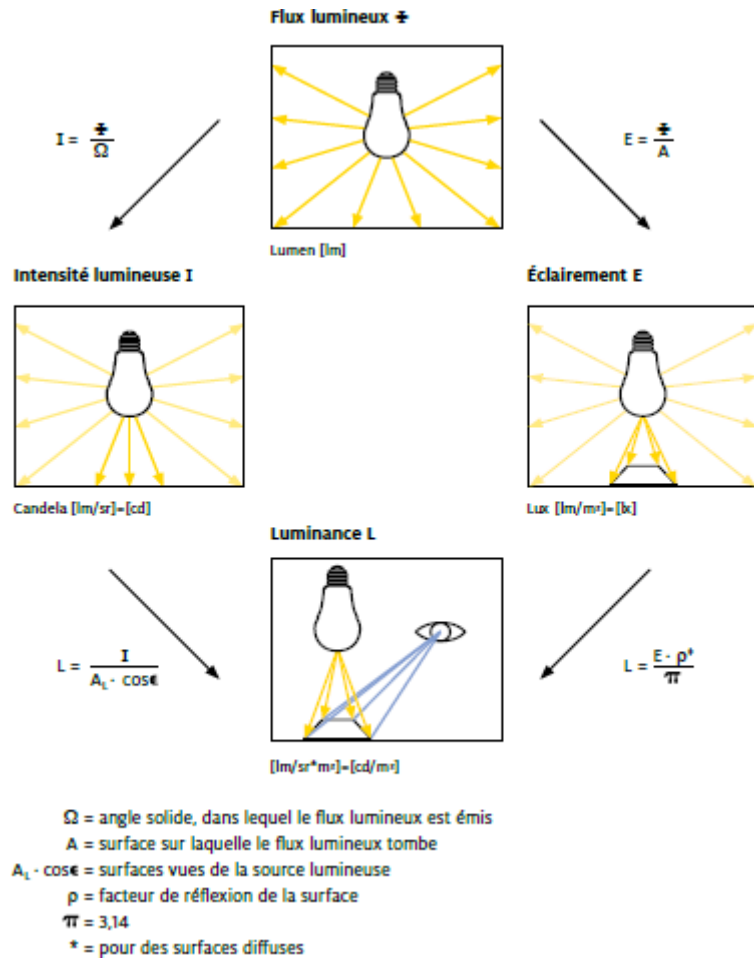


Fig 4.1. Les grandeurs photométriques de base

## Les luminaires :

### Définition :

Un luminaire est un appareil servant à répartir, filtrer ou transformer la lumière des lampes. Il comprend toutes les pièces nécessaires pour les fixer, les protéger et les relier au circuit d'alimentation.

### Rôles :

Distribuer le flux lumineux de la lampe de façon à obtenir la répartition désirée, contrôler le flux lumineux pour éviter toute gêne visuelle des divers observateurs potentiels.

- Protéger la lampe et son appareillage.
- Maximiser les performances photométriques de l'installation.

### Classification de luminaire :

Dans notre étude, Il y a plusieurs catégories de luminaires en éclairage intérieur et extérieur :

- Luminaires à suspension
- Luminaires encastrés
- Appliques
- Luminaires en saillie

### Critères de choix d'un luminaire :

Pour choisir un luminaire, il faut tenir compte de plusieurs critères essentiels:

- Rendement
- Distribution Lumineuse
- Facilité d'entretien
- Facteur d'utilisation
- Matériaux de luminaire
- Coût

### Types d'éclairage :

- Eclairage directe : La lumière tombe, avec une part très orientée, des luminaires placés au plafond directement sur les surfaces de travail. Il est caractérisé par :
  - Le plafond peut paraître obscur (effet de grotte).
  - L'agencement du poste de travail doit éviter toute formation d'ombres.
  - Une grande efficacité énergétique est obtenue pour le plan de travail.
- Eclairage indirecte : L'éclairage indirect utilise le **phénomène de réflexion**. La lumière produite est réfléchi sur une surface comme le plafond (cas le plus fréquent), mais aussi le mur ou le sol. L'avantage principal est d'obtenir une lumière atténuée et plus douce, ce qui évite l'éblouissement, les contrastes et les ombres.

Cependant, ce type d'éclairage présente quelques inconvénients. Tout d'abord, la consommation d'électricité sera plus importante. Du fait de la réflexion, il faut éclairer plus pour obtenir l'équivalent de l'éclairage direct. De plus, vos surfaces réfléchissantes doivent être parfaitement propres, car elles seront constamment mises en lumière et en valeur.

- Eclairage mixte :

L'éclairage mixte, comme son nom l'indique, mélange éclairages direct et indirect en divisant le faisceau lumineux en deux. La partie directe du faisceau éclaire la surface sans intermédiaire et la partie indirecte éclaire la surface après avoir été réfléchi. Plus l'éclairage direct est prédominant, moins la

consommation est importante.

L'avantage de ce type d'éclairage est d'illuminer toute la pièce avec un minimum de sources lumineuses différentes. Cependant, il est moins précis et consommera toujours plus d'énergie que l'éclairage direct.

### **3. Les dispositifs utilisés en éclairage :**

#### Les lampes incandescentes :

Les entreprises qui œuvrent dans le domaine de l'éclairage public écartent les lampes à incandescence parce que :

- Elles ont une efficacité lumineuse médiocre.
- Elles ont une courte durée de vie.
- Elles sont très vulnérables aux vibrations et aux chocs mécaniques.

#### Les lampes à luminescence :

Le principe de la luminescence est utilisé dans les lampes à décharge. Ce type de lampes est caractérisé par un grand rendement énergétique (une faible consommation) et par une durée de vie relativement importante allant jusqu'à 100 000 heures. Les inconvénients des lampes à décharge sont leur relative mauvaise qualité de la lumière ainsi que leur prix d'achat.

La classification suivante rassemble les principales sources de lumière rencontrées dans la vie de tous les jours :

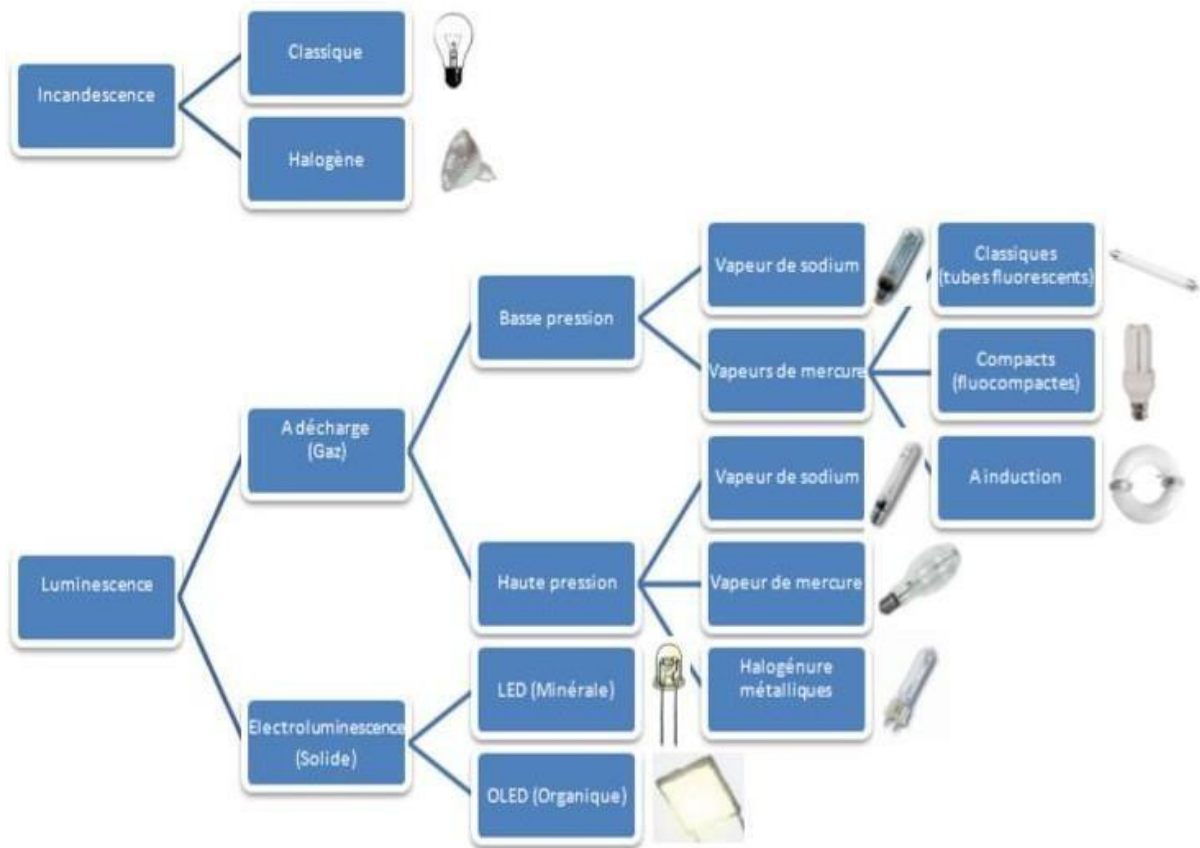


Fig. 4.2. Classification des lampes

Le tableau suivant synthétise les différences principales entre les différents types de lampes rencontrées en éclairage domestique et public, [6]:

	Incandescent	Fluorescence	Halogène	DEL	Halogénure métallique	Sodium basse pression
Durée de vie (h)	1000 à 2000	10000 à 20000	2000 à 4000	50000 à 100000	10000 à 20000	16000
Prix	Très faible	Faible	Moyen	Elevé	Moyen	Moyen
Consommation énergétique	Forte	Moyenne	Moyenne	Très basse	Moyenne	Très basse
IRC	Excellent	Moyen	Très bon	Bon	Bon	Nul

Tab 4.3. Performance de différentes lampes

### **4. Conception de l'éclairage de l'usine :**

Etude d'éclairage de l'usine :

Normes relatives aux luminaires :

Les luminaires doivent répondre aux normes européennes harmonisées de la série NF EN 60-598-2. Ces normes visent essentiellement la sécurité des luminaires.

Normes relatives à l'éclairagisme :

L'éclairage doit répondre aux normes européennes NF EN 12464-1 (07/11) : éclairage des lieux de travail – intérieurs

**Conception de l'éclairage :**

Lors de la conception de l'éclairage de la nouvelle unité industrielle, il y a lieu de procéder successivement :

Au découpage de l'unité en zones fonctionnelles :

- A l'évaluation du niveau d'éclairage de chaque zone fonctionnelle en fonction de l'activité exercée
- A la prise en compte des contraintes liées à l'exploitation (température, propreté et pollution de la zone, cycle d'entretien...).

Niveaux d'éclairage nécessaire par zone :

Les prescriptions d'éclairage dans le tableau suivant, [7]:

Type d'intérieur, tâche ou activité	Eclairage moyen à maintenir (lx)	UGR <sup>2</sup>	Indice de rendu des couleurs Ra
salle de conférence et de réunion	500	19	80
Archives	200	25	80
Zones de circulation et couloirs	100	28	40
Escaliers	150	25	40
Magasins et entrepôts	100	25	60
Zones de manutention, d'emballage et d'expédition	250	25	60
Bureaux du personnel	500	19	80
Vestiaires	200	25	80
Travail d'assemblage	300	25	80

**Tab 4.4. Prescriptions d'éclairage de différentes zones**



### Choix du Type de luminaire :

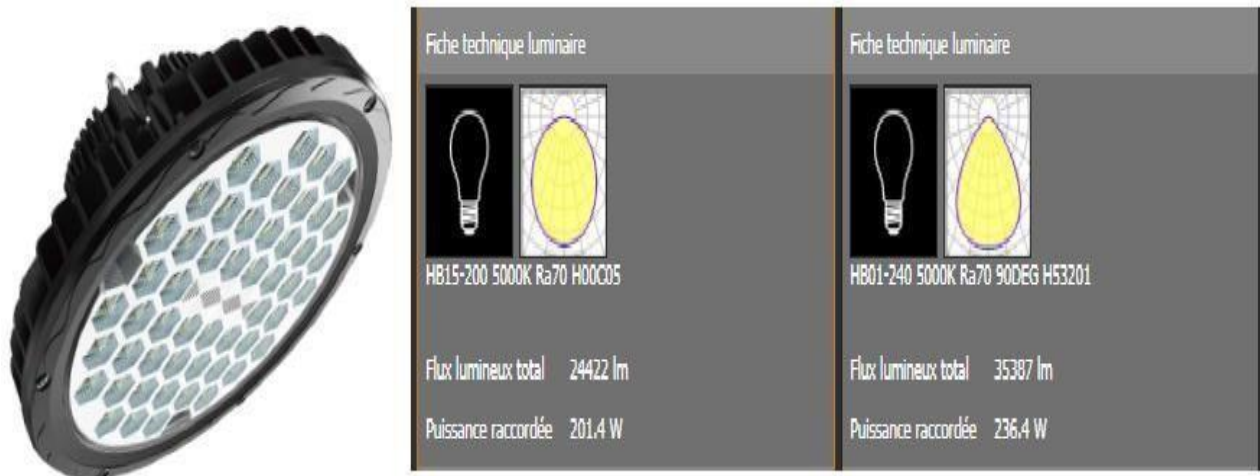
Les luminaires que nous avons choisis pour l'éclairage de l'usine sont les suivants :

Pour l'éclairage intérieur : nous utilisons dans toute la surface de l'usine le même type de luminaire à LED de 100.6 W avec une efficacité lumineuse de 148.2 lm/W.

Pour l'éclairage extérieur : nous utilisons des projecteurs et les lampes à LED

### Choix du type de la lampe :

Pour l'éclairage intérieur, notre choix s'est orienté vers les deux lampes HB01-240 (240 W) et HB15-200 (200 W) disponible sur le marché algérien. Les lampes présentent une efficacité lumineuse de 150 lm/W et 120 lm/W respectivement avec une durée de vie de 50000 heures.



**Fig 4.3. Fiche technique des lampes utilisées**

Pour l'éclairage extérieur, notre choix s'est orienté vers le projecteur Philips - BVP650 T25 (58W) et la lampe Philips - BGP322 T35 (106W)



**Fig. 4.4. Lampes utilisées pour l'éclairage extérieur**

### 5. Simulation et implantation de l'éclairage par logiciel DIALux:

Le logiciel DIALux propose des solutions pour le système d'éclairages de l'usine. Il intègre parfaitement les données CAO des programmes d'architecture et des maquettes 3D. C'est un outil gratuit qui permet non seulement de sélectionner nos futurs luminaires en fonction de nombreux paramètres, mais en plus assure de réaliser de vraies économies d'énergie en optimisant nos nouvelles solutions d'éclairage.

En utilisant la norme NF EN 12464, on détermine le niveau d'éclairage pour les différentes zones, on va tenir compte juste de la partie intérieure de l'usine, ce qui fait qu'on a deux zones :

Zone de production avec 150 lux, et la zone de circulation avec 300 lux.

On construit le modèle 3D de l'usine puis on positionne les lampes pour arriver aux niveaux d'éclairage cités précédemment, et on arrive à ces résultats :

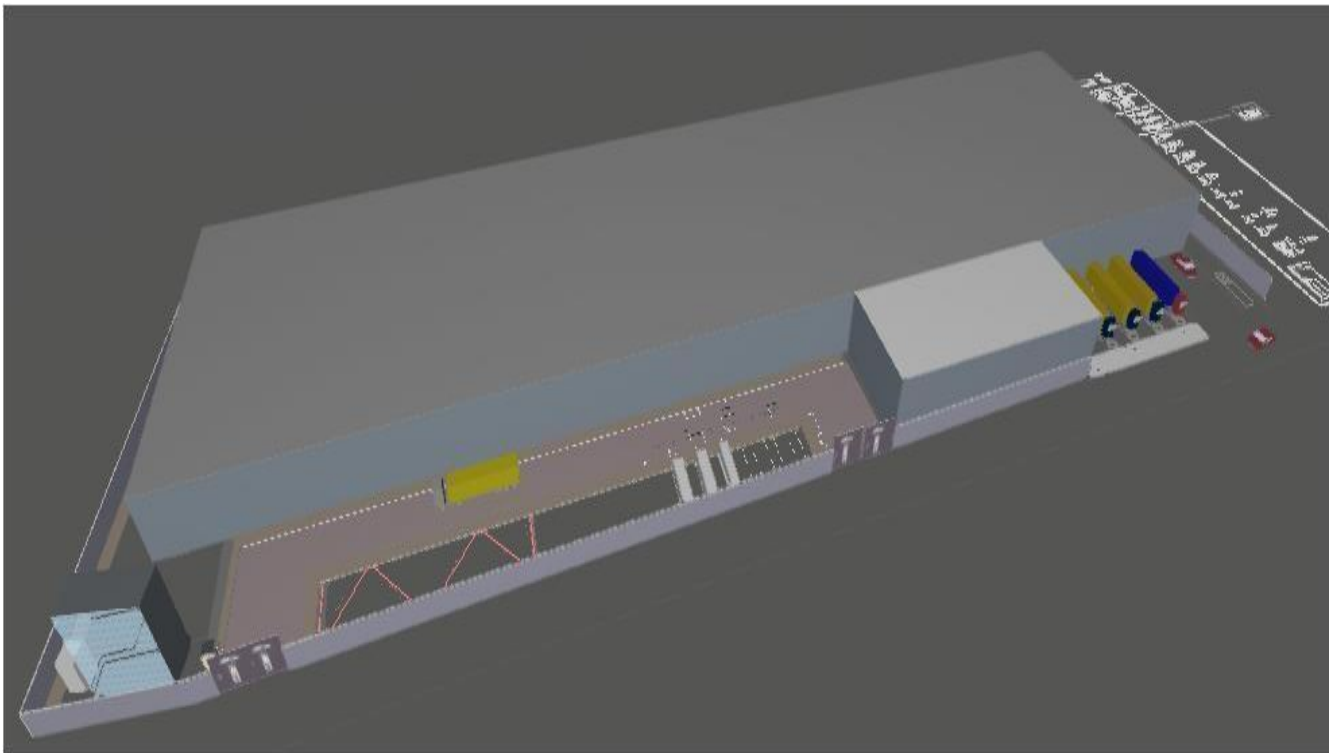


Fig. 4.5. Vue extérieure de l'usine

Après la simulation on a ces résultats :

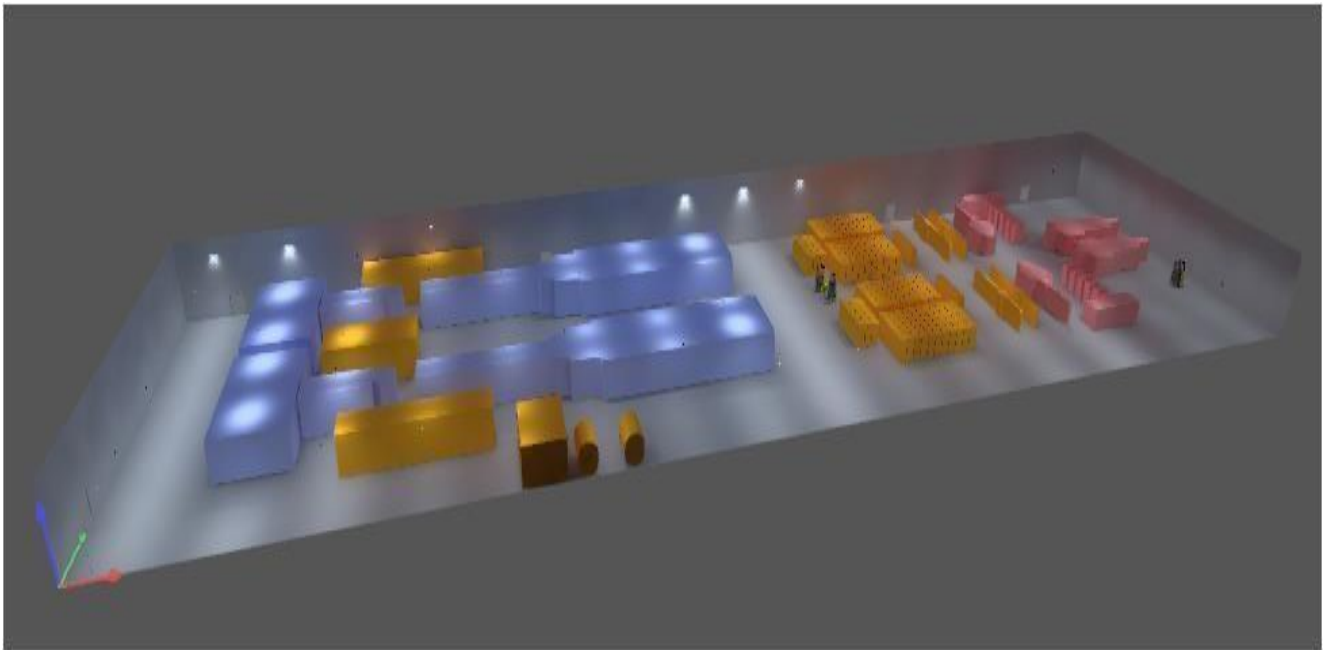


Fig 4.6. Vue de la zone éclairée

Les coefficients de réflexion utilisés sont :

Plafonds	70.0	%
Murs	55.0	%
Planchers	55.0	%

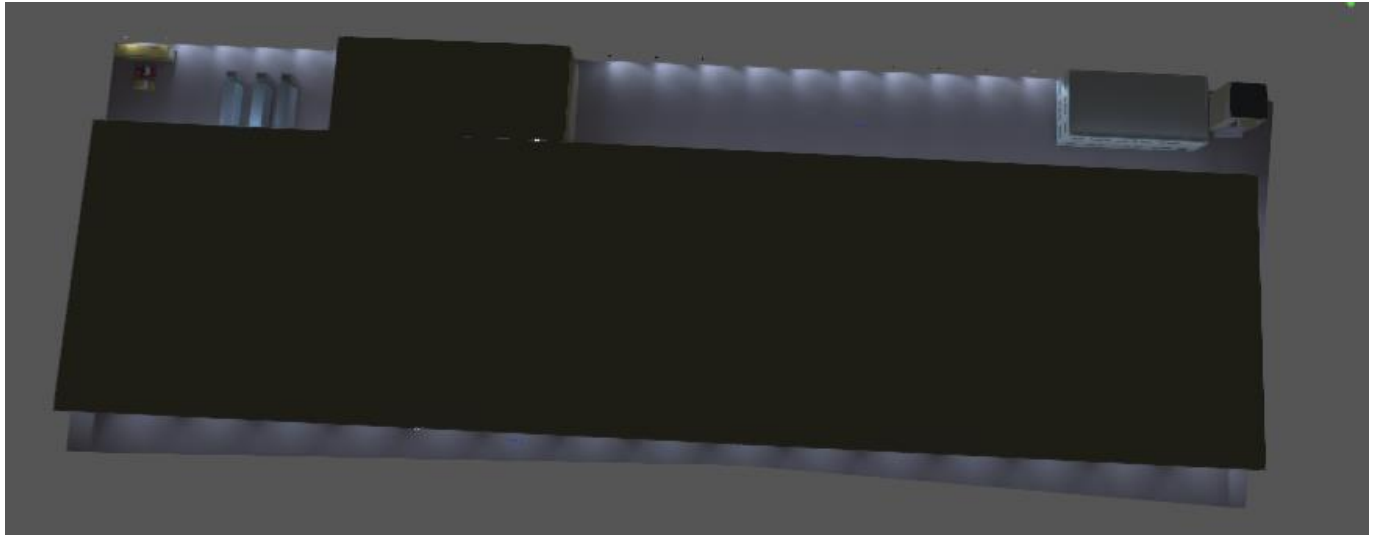


Fig 4.7. Vue extérieur de site.

Pour interpréter les résultats, le logiciel DIALux permet l'établissement de diagramme de fausses couleurs ainsi que le diagramme des courbes Isolux comme indiqué ci-dessous.

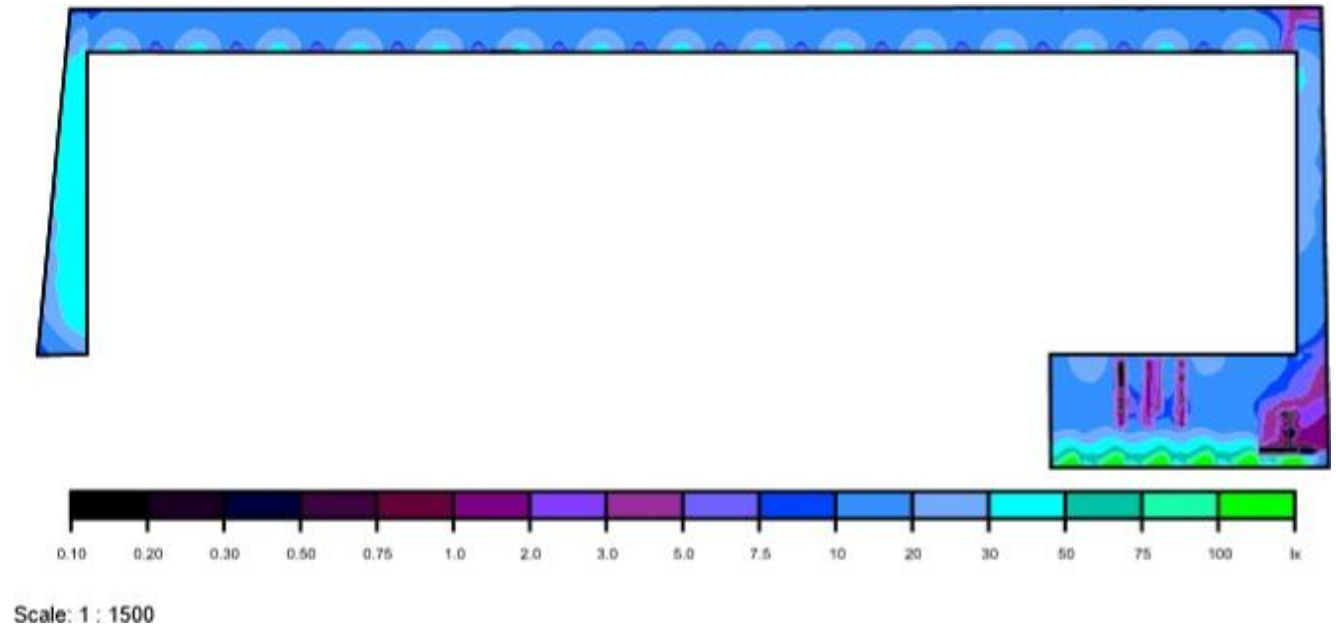


Fig 4.8. Diagramme de fausses couleurs avec les courbes isolux (vue extérieure 1)

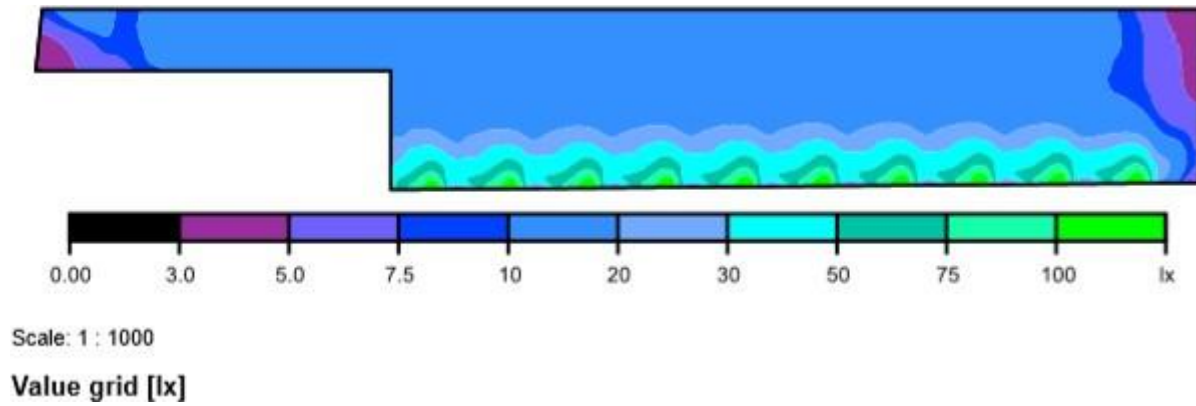


Fig 4.9 : Diagramme de fausses couleurs avec les courbes isolux (vue extérieur 2)

Le diagramme des fausses couleurs pour la partie intérieure se donne par :

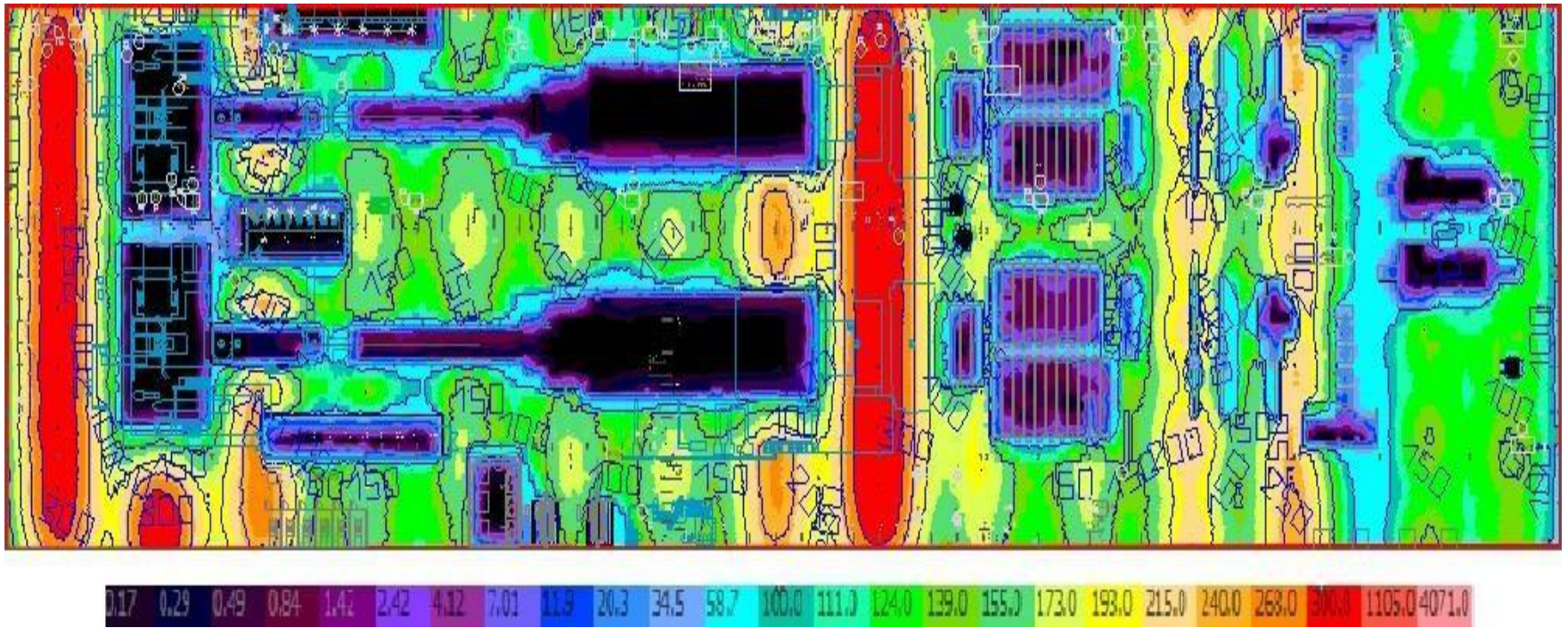


Fig 4.10. Diagramme de fausses couleurs avec les courbes isolux

### Interprétation :

#### Eclairage intérieur :

Les résultats obtenus sont validés après plusieurs essais, ce qui montre que le logiciel DIALux est un logiciel de simulation, on voit bien que l'éclairage des zones de circulation (en rouge) est autour de 300 lux, et les zones de production est de 124-155 lux.

Le nombre de lampes utilisées est 116 lampes distribuées sur 15 colonnes, la puissance totale est 25 kW.

### Liste de luminaires

$\Phi_{total}$ 3436155 lm	$P_{total}$ 25287.4 W	Rendement lumineux 135.9 lm/W				
Pce	Fabricant	Article n°	Désignation	P	$\Phi$	Rendement lumineux
55			HB01-240 5000K Ra70 90DEG H53201	236.4 W	35386 lm	149.7 lm/W
61			HB15-200 5000K Ra70 H00C05	201.4 W	24425 lm	121.3 lm/W

Tab 4.5. Liste des luminaires

#### Eclairage extérieur :

On voit bien que l'éclairage des zones est varié entre 15 et 30 Lux, et ces valeurs respectent la norme pour l'éclairage extérieur.

## 6. Conclusion :

Après avoir fait plusieurs essais à l'aide du logiciel DIALux et avoir élaboré une étude technico-économique comparative des solutions obtenues, nous avons abouti à une solution optimale de l'éclairage de l'usine en exploitant les luminaires existants sur le marché tout en respectant les prescriptions de la norme EN-12464. Dans la suite de notre travail, on va entamer la mise à la terre et la protection contre la foudre, ses principes et ses mises en œuvre.

---

# **CHAPITRE 5 :**

## **Mise à la terre et protection contre la foudre**

---



### **1. Introduction :**

La protection des équipements contre toute perturbation dans l'utilisation de l'électricité (court-circuit, foudre, etc.) nécessite l'installation d'un système fiable de mise à la terre ainsi qu'un système de protection contre la foudre.

La mise à la terre d'un système ou d'un équipement implique la connexion à la masse générale de la terre; cette connexion à une résistance non supérieure à celle requise pour actionner des mécanismes de sécurité pour isoler l'alimentation électrique d'une situation de défaut, et être capable de supporter le courant de défaut maximal attendu. Par conséquent, les divers facteurs qui affectent la résistance à la terre et la capacité de courant de défaut du conducteur enterré, désigné comme électrode de terre, doivent être pris en compte. Pour dimensionner ce système, on utilise les deux normes internationales BS 7430 et IEEE std80.

D'autre part, la foudre constitue une contrainte majeure dont il faut tenir compte. Nous allons dimensionner la protection contre la foudre conformément aux norme NF C 17-102 et la norme NF C 17-100.

### **2. Mise à la terre :**

#### **Nature du sol :**

La nature et les propriétés de base du sol dans un endroit donné ne peuvent pas être modifiées sans dépenses considérables, et une attention particulière à la géologie devrait être utilisée pour déterminer le meilleur emplacement pour un système de mise à la terre. Lorsqu'il existe une option, un site doit être choisi dans l'un des types de situations suivants dans l'ordre de préférence indiqué:

- a) Sol marécageux humide;
- b) Argile, sol limoneux, terre arable, sol argileux, sol argileux ou limon mélangé à de petites quantités de sable;
- c) Argile et limon mélangés à des proportions variables de sable, de gravier et de pierres;
- d) Sable humide et humide, tourbe.

Dans notre travail, nous sommes dans le cas -a-

Méthodologie de dimensionnement d'un système de mise à la terre :

### Mesure de résistivité du sol :

La méthode utilisée dans la mesure de la résistivité de terre est celle de WENNER, c'est une méthode largement connue et utilisée beaucoup :

- Conduisez quatre électrodes de test également espacées à une profondeur ne dépassant pas 5% de leur espacement  $a$ . Il est important de s'assurer que leurs zones de résistance ne se chevauchent pas.
- Faire passer le courant entre les deux électrodes extérieures.
- Mesurer le potentiel de terre entre les deux électrodes internes. La résistance  $R$  doit être prise comme le rapport de la tension entre les électrodes intérieures et du courant entre les électrodes extérieures. Dans un sol homogène, la résistivité moyenne  $\rho$  en ohmmètres ( $\Omega.m$ ) peut être prise comme:

$$\rho = 2 \times \pi \times a \times R$$

Tel que :

$a$  : est l'espacement entre les électrodes, en mètres (m);

$R$  : est la résistance mesurée entre les électrodes centrales, en ohms ( $\Omega$ ).

Dans notre travail, la mesure est faite par une entreprise spécialisée (Laboratoire des travaux publics de l'Est), et le résultat de mesure donne une résistivité de  $\rho=10.8 \Omega.m$

### Mesure du courant de défaut à la terre :

Dans une installation électrique,  $I_f$  en un point du réseau est donnée par la formule :

$$I_f = \frac{U_{20}}{Z_T \sqrt{3}}$$

- $U_{20}$  = tension entre phases à vide au secondaire d'un transformateur HT / BT (en V),
- $Z_T$  = impédance totale par phase du réseau en amont du défaut (en  $\Omega$ ).

### Méthode de calcul de $Z_T$ :

La méthode consiste à décomposer le réseau en tronçons et à calculer, pour chacun d'eux les résistances  $R$  et les réactances  $X$ .

#### • Réseau amont d'un transformateur MT/BT

Le courant de court-circuit triphasé (en kA) du réseau amont est indiqué en puissance de court-circuit  $P_{cc}$  (en MVA) par le distributeur d'énergie. De cette valeur est déduite l'impédance équivalente  $Z_s$  du réseau amont.

La formule à utiliser pour transformer l'impédance MT en impédance équivalente BT est :

$$Z_s = \frac{U_{20}^2}{P_{cc}}; X_s = 0.98 * Z_s \text{ et } R_s = 0.2 * Z_s$$

$Z_s$  = impédance triphasée du réseau amont exprimée en milli-ohm,

$U_{20}$  = tension BT phase-phase à vide en volt,

$P_{cc}$  = puissance de court-circuit triphasée du réseau amont exprimée en kVA.

### • Impédance d'un Transformateurs vue du secondaire :

L'impédance  $Z_{tr}$  d'un transformateur, vue au secondaire, est donnée par la relation :

$$Z_{tr} = \frac{U_{20}^2}{P_n} \times \frac{U_{cc}}{100} \rightarrow X_{tr} \cong Z_{tr} \text{ et } R_{tr} = 0.2 * Z_{tr}$$

Avec :

$U_{20}$  = tension entre phases, à vide au secondaire  $P_n$  = puissance du transformateur (en kVA)

$U_{cc}$  = tension de court-circuit en %

On veut dimensionner le système selon le cas le plus défavorable, c'est-à-dire un défaut au secondaire du transformateur pour maximiser le courant de défaut.

### Résistance de l'ensemble des électrodes utilisées :

Il existe plusieurs types des prises de terre (tige verticale, tige horizontale, tige plate, ...) mais dans notre cas, on choisit les tiges verticales. La résistance d'une tige (électrode de terre)  $R_r$  en ohms ( $\Omega$ ) peut être calculée à partir de:

$$R_r = \frac{\rho}{2\pi L} \left[ \log \left( \frac{8L}{d} \right) - 1 \right]$$

Tel que :

$\rho$  : est la résistivité du sol, en ohmmètres ( $\Omega.m$ ).

$L$  : est la longueur de l'électrode, en mètres (m).

$d$  : est le diamètre de la tige, en mètres (m).

Le changement de diamètre a peu d'effet sur la valeur globale de la résistance, et la taille est davantage régie par la résistance mécanique de la tige pour résister à l'entraînement mécanique lorsque des tiges de terre profondes sont requises, par ex. à des profondeurs de 20 m ou plus.

### Connexion parallèle de tiges alignées :

La résistance  $R_t$  en ohms ( $\Omega$ ) de 'n' tiges à entraînement vertical espacées de 's' mètres peut être calculée à partir de:

$$R_t = \frac{1}{n} \frac{\rho}{2\pi L} \left[ \log\left(\frac{8L}{d}\right) - 1 + \frac{1}{s} \log\left(\frac{1.78n}{2.718}\right) \right]$$

Tel que :

$\rho$  : est la résistivité du sol, en ohmmètres ( $\Omega\text{m}$ ).

$L$  : est la longueur de l'électrode, en mètres (m).

$d$  : est le diamètre de la tige, en mètres (m).

$n$  : est le nombre de tiges.

$s$  : est l'espacement entre les tiges, en mètres (m).

### **Résistance du conducteur de protection :**

Pour l'électrode conductrice ronde, la résistance  $R$ , en ohms, est donnée par l'équation suivante:

$$R_{cd} = \frac{\rho}{P\pi L} \left[ \log\left(\frac{2L^2}{wh}\right) - Q \right]$$

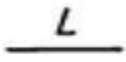
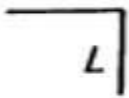

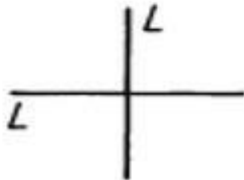
Tel que :

$L$  : longueur de conducteur ; en mètres (m).

$h$  : le profondeur de l'électrode ; en mètres (m).

$w$  : diamètre de conducteur ; en mètres (m).

$P$  et  $Q$  : coefficients données dans la table suivante, [8]:

Electrode arrangement	Coefficient		
	P	Q	
		Strip	Round
Single length <sup>a</sup> 	2	-1	-1.3
Two lengths at 90° 	4	0.5	0.9
Three lengths at 120° 	6	1.8	2.2
Four lengths at 90° 	8	3.6	4.1

Tab 5.1. Coefficients P et Q selon l'arrangement de l'électrode

Note : pour calculer le diamètre de conducteur, il faut d'abord calculer le courant de défaut pour déterminer la section de conducteur.

➤ Détermination de la section :

D'après la formule 42 de la norme IEEE Std 80, on a [9]:

$$(kciml) = I_f \times K_f \times \sqrt{tc}$$

Tel que :

A : la section de conducteur en kciml (tel que 1 kciml = 1.974 mm<sup>2</sup>).

I<sub>f</sub> : le courant de défaut (kA).

t<sub>c</sub> : la durée de défaut en s.

K<sub>f</sub> : est un constant déterminé suivant le tableau ci-dessous, [8]:

Material	Conductivity (%)	$T_m^a$ (°C)	$K_f$
Copper, annealed soft-drawn	100.0	1083	7.00
Copper, commercial hard-drawn	97.0	1084	7.06
Copper, commercial hard-drawn	97.0	250	11.78
Copper-clad steel wire	40.0	1084	10.45
Copper-clad steel wire	30.0	1084	12.06
Copper-clad steel rod	20.0	1084	14.64
Aluminum EC Grade	61.0	657	12.12
Aluminum 5005 Alloy	53.5	652	12.41
Aluminum 6201 Alloy	52.5	654	12.47
Aluminum-clad steel wire	20.3	657	17.20
Steel 1020	10.8	1510	15.95
Stainless clad steel rod	9.8	1400	14.72
Zinc-coated steel rod	8.6	419	28.96
Stainless steel 304	2.4	1400	30.05

Tab 5.2. Constantes liés aux types des matériaux utilisés

**La résistance totale du système :**

$$R_t = R_r + R_{cd}$$

Pour la société nationale de l'électricité et du gaz SONELGAZ, la résistance totale doit être inférieure à 1.5  $\Omega$ .

**Note de calcul :**

Résistivité du sol :

La résistivité du sol a été mesurée par deux ingénieurs conformément à la norme BS 7430.

$$\rho = 10.8 \Omega \cdot m$$

### La résistance de l'ensemble des électrodes de terre :

Le choix tombe sur le piquet rond en acier galvanisé allongeable AG-20 dont les caractéristiques sont :

$$L=2\text{m}; d=0.016\text{m};$$

Donc la résistance d'un seul piquet est donnée par :

$$Rr = \frac{\rho}{2\pi L} \left[ \log\left(\frac{8L}{d}\right) - 1 \right]$$

A.N :

$$Rr = \frac{10.8}{2\pi * 0.016} \left[ \log\left(\frac{8 * 2}{0.016}\right) - 1 \right] = 5.93 \Omega$$

La résistance de l'ensemble des piquets est donnée par :

$$Rt = \frac{1 \rho}{n 2\pi L} \left[ \log\left(\frac{8L}{d}\right) - 1 + \frac{1}{S} \log\left(\frac{1.78n}{2.718}\right) \right]$$

AN : avec le choix de 6 piquets, et une distance de 60m entre l'un et l'autre on trouve:

$$Rt = \frac{1}{6} \frac{10.8}{2\pi * 2} \left[ \log\left(\frac{8 * 2}{0.016}\right) - 1 + \frac{1}{60} \log\left(\frac{1.78 * 6}{2.718}\right) \right] = 1.02 \Omega$$

Courant de défaut If :

$$If = \frac{U20}{Zt\sqrt{3}}$$

Ayant les informations suivantes :

- Puissance de court-circuit (désignée par SONELGAZ)  $S_{cc}=113 \text{ MVA}$  ;
- Deux transformateur TRIHAL (Brand Schneider Electric) 2500 kVA, 10kV/400V, 50Hz
- Tension de court-circuit  $U_{cc}=6\%$ .

$$Zs = \frac{U20^2}{P_{cc}} = \frac{10000^2}{113000000} = 0.884 \Omega$$

$$Xs = 0.98 * Zs = 0.867 \Omega$$

$$Rs = 0.2 * Zs = 0.176 \Omega$$

Pour les deux transformateurs :

$$Ztr \cong Xtr = \frac{U20^2}{2 * Pn} \times \frac{U_{cc}}{100} = \frac{400^2 * 6}{5000000 * 100} = 0.00192 \Omega$$

$$Rtr = 0.2 * Ztr = 0.00038 \Omega$$

Le rapport de transformation:  $k^2 = \left(\frac{400}{10000}\right)^2 = 0.0016$

D'ou,  $Zt = \sqrt{(0.176 * 0.0016 + 0.00038)^2 + (0.867 * 0.0016 + 0.00192)^2}$

$$Zt = 0.00337 \Omega$$

$$If = \frac{400}{\sqrt{3} * 0.00337} = 68.44 \text{ kA}$$

Donc : la section du conducteur de protection :

$$A(kcml) = If \times Kf \times \sqrt{tc}$$

Avec :  $Kf = 7.02$ ;  $tc = 200 \text{ ms}$

$$A(kcml) = If \times Kf \times \sqrt{tc} = 68.44 \times 7.02 \times \sqrt{0.2} = 214.8 \text{ kcml}$$

$$A(mm^2) = \frac{A(kcml)}{1.974} = 108.85 \text{ mm}^2$$

Donc le conducteur de protection a une section de  $120 \text{ mm}^2$

Résistance du conducteur de protection :

Ayant une longueur de 360 m et un diamètre de  $d=0.001236 \text{ m}$  et une profondeur  $w=0.8\text{m}$ , on remplace dans la relation suivante :

$$Rcd = \frac{\rho}{P\pi L} \left[ \log \left( \frac{2L^2}{wh} \right) - Q \right]$$

Avec  $P=2$  et  $Q=1.3$  on trouve :

$$Rcd = \frac{10.8}{2\pi * 360} \left[ \log \left( \frac{2 * 360^2}{0.8 * 0.001236} \right) - 1.3 \right] = 0.087\Omega$$

Résistance totale  $R_t$  :

$$R_t = R_r + Rcd = 1.021 + 0.087 = 1.1\Omega$$

$R_t < 1.5\Omega \rightarrow$  Le système est fiable



### 3. Protection contre la foudre :

**La foudre** est un phénomène naturel dont les effets sont spectaculaires et destructeurs. Il est important de remarquer que toutes les régions ne sont pas identiquement exposées à ce phénomène : il existe généralement une carte des niveaux kérauniques pour chaque pays pour une détermination plus précise de l'exposition d'un lieu, [10].

La foudre est liée à la formation de nuages orageux qui, avec le sol, constituent un véritable dipôle. Le champ électrique au sol peut alors atteindre 20 KV/m par bonds successifs, un traceur se développe entre le nuage et le sol créant le canal ionisé dans lequel circule l'arc en retour ou coup de foudre (figure 6.2), [10].

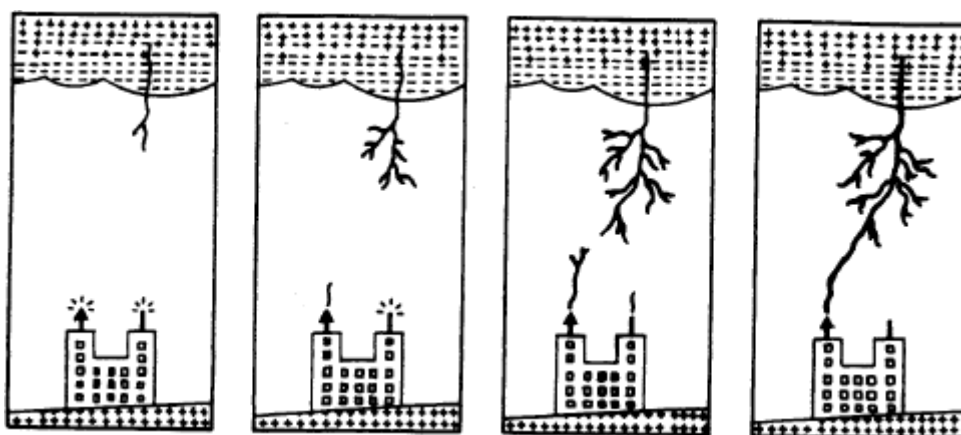


Fig 5.2. La formation d'un coup de foudre

#### **Coup de foudre direct :**

Le coup de foudre direct est celui qui atteint directement les installations électriques (lignes aériennes, postes, ...).

#### **Coup de foudre indirect :**

C'est la manifestation à distance d'un coup de foudre direct. Ses effets sont abordés selon trois aspects : les surtensions conduites, l'élévation du potentiel de terre et le rayonnement.

**Système de protection contre la foudre (SPF) :** installation complète, permettant de protéger une structure contre les effets de la foudre.

**Niveau de protection :** Terme donnant la classification d'un système de protection contre la foudre vis-à-vis de son efficacité.

**Conducteur de descente :** Partie de l'installation extérieure destinée à conduire le courant de décharge atmosphérique du dispositif de capture à la prise de terre.

**Paratonnerre à dispositif d'amorçage (PDA) :** Paratonnerre à tige équipé d'un système générant une avance à l'amorçage mise en évidence lorsqu'il est comparé dans les mêmes conditions à un paratonnerre à tige simple (PTS).

**Avance d'amorçage :** Gain moyen en instant d'amorçage du traceur ascendant du PDA par rapport à celui d'un paratonnerre à tige simple, issu de l'essai d'évaluation. Elle s'exprime en  $\mu\text{s}$ .

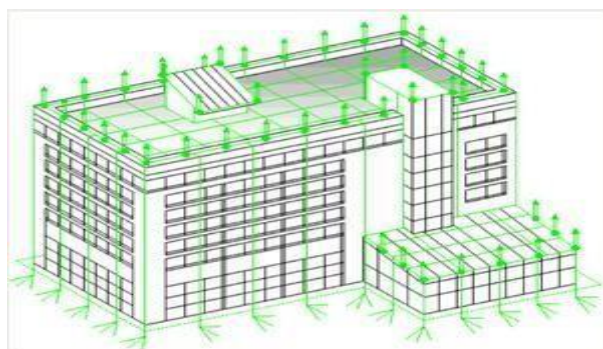
### Types des Systèmes de Protection contre la Foudre :

#### **Paratonnerre à tige simple :**

Ce type d'installation consiste en la mise en place d'un ou plusieurs paratonnerres à tiges, érigés en partie haute des structures à protéger. L'angle de protection concernant la zone protégée par ces tiges dépend du niveau de protection requis sur le bâtiment concerné et de la hauteur du dispositif de capture au-dessus du volume à protéger.

#### **Conducteurs maillés :**

La protection par cage maillée consiste en la réalisation sur le bâtiment d'une cage à mailles reliées à des prises de terre. Le système à cage maillée répartit l'écoulement des courants de foudre entre les diverses descentes, et ceci d'autant mieux que les mailles sont plus serrées. La largeur des mailles en toiture et la distance moyenne entre deux descentes dépendent du niveau de protection requis sur le bâtiment, [11].



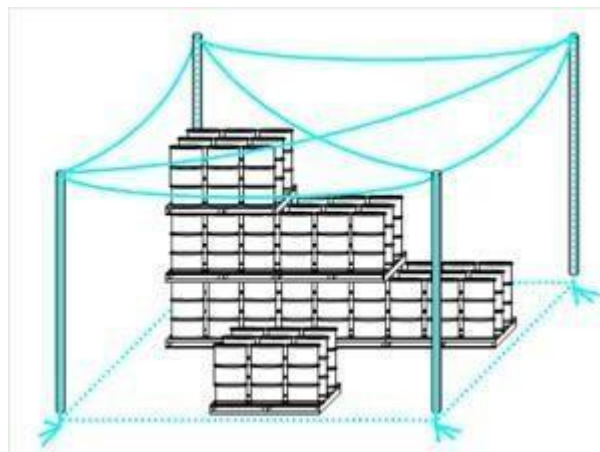
**Fig 5.3. SPF de type conducteurs maillés**

### **Fils tendus :**

Ce système est composé d'un ou plusieurs fils conducteurs tendus au-dessus des installations à protéger. La zone de protection se détermine par application du modèle électro géométrique. Les conducteurs doivent être reliés à la terre à chacune de leur extrémité.

L'installation de fils tendus nécessite une étude particulière tenant compte notamment de la tenue mécanique, de la nature de l'installation et des distances d'isolement.

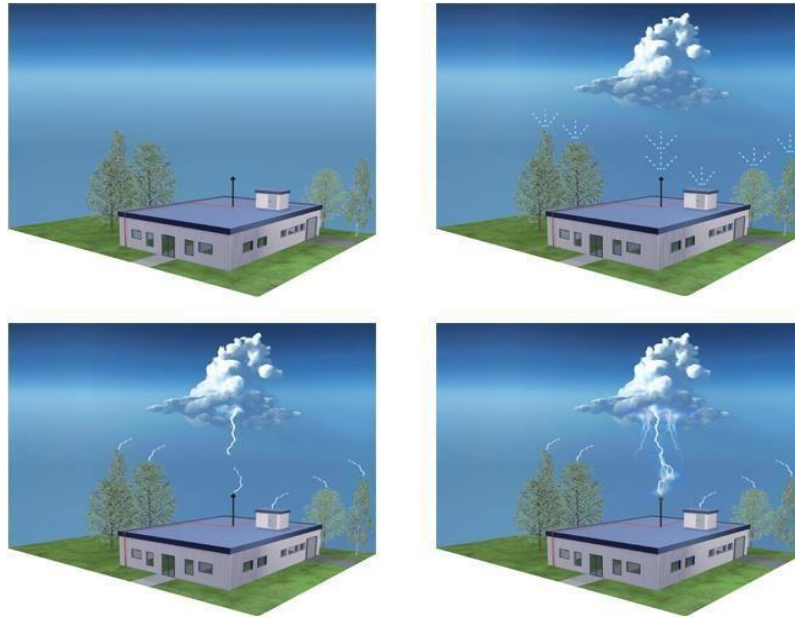
Le paratonnerre à fils tendus est plus particulièrement utilisé pour protéger des zones ouvertes lorsqu'il n'existe pas de support architectural, (figure 6.4), [11].



**Fig 5.4. SPF type fils tendus**

### **Paratonnerre à dispositif d'amorçage (PDA) :**

Le principe du paratonnerre à dispositif d'amorçage est de générer artificiellement à l'aide d'un dispositif d'ionisation un traceur ascendant plus précoce que les autres traceurs ascendants naturels, et donc d'établir un point d'impact privilégié sur sa pointe, [11].



**Fig 5.5. Diagramme montrant le principe de fonctionnement pour capturer un coup de foudre**

La capture du coup de foudre étant plus rapide qu'avec un paratonnerre à tige simple, cette technologie permet de bénéficier de zones de protection plus étendues, assurant la protection de structures de grandes dimensions.

Le rayon de protection généré est fonction de la valeur de l'avance à l'amorçage du paratonnerre ( $\Delta t$  en  $\mu s$ ), de sa hauteur, et de l'efficacité de la protection.

### Conception d'un PDA :

#### **Composition :**

Un paratonnerre à dispositif d'amorçage est composé d'une pointe caprice, d'un dispositif d'amorçage et d'une tige support sur laquelle se trouve un système de connexion du conducteur de descente.

Le PDA est installé préférentiellement à l'endroit le plus élevé de la structure qui le supporte. Il est toujours le point élevé de la zone qu'il protège.

### Avance d'amorçage :

Un PDA est caractérisé par son avance à l'amorçage. Elle est mise en évidence lors d'essais d'évaluation.

C'est l'avance à l'amorçage  $\Delta t$  qui sert dans le calcul des rayons de protection. Elle s'exprime par :

$$\Delta t = T_{PTS} - T_{PDA}$$

Avec :

$T_{PTS}$  : instant d'amorçage moyen d'un traceur ascendant d'un paratonnerre à tige simple (PTS).

$T_{PDA}$  : instant d'amorçage moyen d'un traceur ascendant d'un paratonnerre à dispositif d'amorçage (PDA).

### Zone protégée :

La zone protégée protection correspondant aux différentes hauteurs  $h$  considérées, [10].

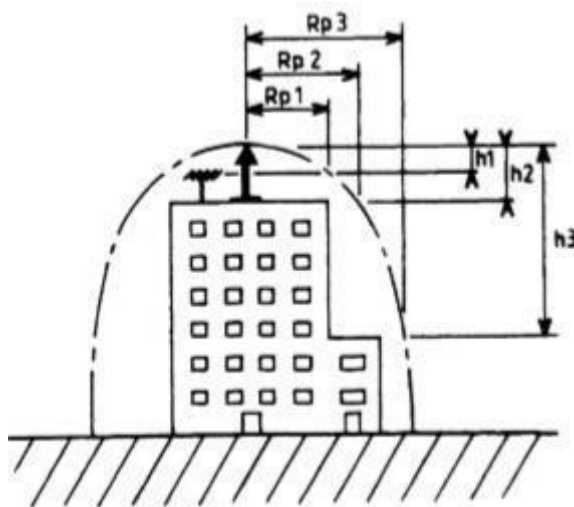


Fig 5.6. Rayon de protection d'un PDA en fonction de la hauteur  $h$

$h_n$  est la hauteur de la pointe du PDA par rapport au plan horizontal passant par le sommet de l'élément à protégé considéré.

$Rp_n$  est le rayon de protection du PDA pour la hauteur considérée.

### **Rayon de protection :**

Le rayon de protection d'un PDA dépend de sa hauteur (h) par rapport à la surface à protéger, de son avance à l'amorçage et du niveau de protection choisi.

$$Rp = \sqrt{(H \times (2D - \Delta L) + \Delta L \times (2D + \Delta L))} \text{ pour } h \geq 5\text{m.}$$

$R_p$  : rayon de protection.

H : hauteur de la pointe du PDA par rapport au plan horizontal passant par le sommet de l'élément à protéger.

D : 20 m pour le niveau 1. 45 m pour le niveau 2.

60 m pour le niveau 3.

$\Delta L$  :  $\Delta L_{(m)} = V(m/\mu s) \times \Delta t(\mu s)$  avec :

$\Delta t$  : avance à l'amorçage issue des essais d'évaluation des PDA.

Pour  $h \leq 5$  m, on utilise la méthode graphique présentée dans la norme NF C 17-102

### **Avantages et inconvénients:**

Un PDA présente les avantages suivants :

- Implantation possible du paratonnerre en dehors d'une zone dangereuse.
- Possibilité de protéger un ensemble de bâtiments avec le même paratonnerre.
- Economiquement intéressant
- Possibilité de protéger ensemble une structure et son environnement.
- Protection des zones ouvertes.

Il y'a quelques inconvénients d'un PDA comme la nécessité d'avoir une hauteur de paratonnerre minimale de 2 mètres et une contrainte de tenue mécanique des mâts.

### Dimensionnement du système de protection contre la foudre :

#### a. Méthodologie de calcul :

Dans cette partie, on va déterminer les différents paramètres du calcul du risque foudre tels que :

- Niveau de protection requis.
- Le choix du système de protection.

Selon la norme NF C 17-102, le niveau de protection est évalué suivant deux paramètres :

- $N_d$  : fréquence attendues des coups de foudre sur la structure.
- $N_c$  : fréquence acceptée des coups de foudre sur la structure.

Si  $N_d \leq N_c$  le système de protection contre la foudre n'est pas systématiquement nécessaire.

Si  $N_d > N_c$  un système de protection contre la foudre d'efficacité  $E$  doit être installé, sachant que :

$$E = 1 - N_c / N_d$$

#### Calcul de la fréquence attendue de coups de foudre $N_d$ :

Le calcul de la fréquence attendue de coups de foudre directs sur une structure dépend des données suivantes :

- La surface de captation équivalente de la structure
- La densité de foudre locale
- L'environnement proche autour de la structure considérée.

La fréquence annuelle moyenne  $N_d$  de coups directs sur une structure est évaluée à partir de l'expression :

$$N_d = N_g \max. A_e \cdot C1 \cdot 10^{-6}$$

- $N_g$  : densité de foudroiement locale (concernant la région où se situe la structure avec :

$$N_g \max = 0,04 N_k^{(1,25)} \text{ (voir Tab 5.3, [10])}$$

- $N_k$  : niveau céramique (obtenue de la base de données METEORAGE).

## Chapitre 5 : Mise à la terre et Protection contre la foudre

$N_k$	5	10	15	20	25	30	35	40	45
$N_{gmax}$	0.3	0.7	1.2	1.7	2.2	2.8	3.4	4	4.7

**Tab 5.3. Les valeurs de  $N_g$  max**

- $A_e$  : surface équivalente de captation (en  $m^2$ ).

$$A_e = L.l + 6.h1 (L+l) + 9 \pi.(h1)^2$$

Avec :

- $L$  : longueur de la structure à protéger.
- $l$  : largeur de la structure à protéger.
- $h1$  : hauteur de la structure à protéger.
- $C1$  : Coefficient d'environnement (autour de la structure), défini dans le tableau ci-dessous , [10]:

Situation relative de la structure	$C1$
Structure située dans un espace où il y a des structures ou des arbres de même hauteur ou plus élevées.	0.25
Structure entourée de petites structures	0.5
Structure isolée	1
Structure au sommet d'une colline ou sur un promontoire	2

**Tab 5.4. Détermination du coefficient d'environnement  $C1$**

Calcul de la fréquence acceptée de coups de foudre  $N_c$  :

Les valeurs de  $N_c$  sont estimées à travers l'analyse du risque de dommage en prenant en compte des facteurs appropriés tels que :

- Le type de construction ( $C2$ ).
- Le contenu de la structure ( $C3$ ).
- L'occupation de la structure ( $C4$ ).
- Les conséquences de foudroiement ( $C5$ ).



## Chapitre 5 : Mise à la terre et Protection contre la foudre

---

### Détermination de $N_c$ :

Selon ce qui a été dit plus haut, 4 facteurs déterminants, donnés par les coefficients  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$  et  $C_5$ , [10].

Posons  $N_c = C_2 \times C_3 \times C_4 \times C_5$ , par suite  $N_c$  s'exprime par :

$$N_c = \frac{5.5 \times 10^{-3}}{C}$$

Toiture Structure	Métal	Commune	inflammable
Métal	0.5	1	2
Courante	1	1	2.5
Inflammable	2	2.5	3

**Tab 5.5. Détermination du coefficient  $C_2$**

Sans valeur et inflammable	0.5
Valeur courante ou normalement inflammable	1
Forte valeur ou particulièrement inflammable	2
Valeur exceptionnelle, irremplaçable ou très inflammable, explosible	3

**Tab 5.6. Détermination du coefficient  $C_3$**

Inoccupée	0.5
Normalement occupée	2
Evacuation difficile ou risque de panique	3

**Tab 5.7. Détermination du coefficient  $C_4$**

Pas de nécessité de continuité de service, et aucune conséquence sur l'environnement.	1
Nécessité de continuité de service et aucune conséquence sur l'environnement.	5
Conséquences pour l'environnement.	10

**Tab 5.8. Détermination du coefficient  $C_5$**

La valeur de la fréquence acceptée de coups de foudre  $N_c$  sera comparée avec la valeur de la fréquence attendue de coups de foudre sur la structure  $N_d$ .

## Chapitre 5 : Mise à la terre et Protection contre la foudre

Cette comparaison permet de décider si un système de protection contre la foudre est nécessaire, et si oui, à quel niveau de protection :

- Si  $N_d \leq N_c$ , le système de protection contre la foudre n'est pas systématiquement nécessaire.
- Si  $N_d \geq N_c$ , un système de protection contre la foudre d'efficacité

$$E \geq 1 - \frac{N_c}{N_d}$$

est installé et le niveau de protection correspondant sélectionné selon le tableau suivant, [10]:

E : Efficacité calculée	Niveau de protection correspondant	Courant crête I ( KA )	Distance d'amorçage D (m)
$E > 0.98$	Niveau 1 + mesures complémentaires	-	-
$0.95 < E < 0.98$	Niveau 1	2.8	20
$0.80 < E < 0.95$	Niveau 2	9.5	45
$0 < E < 0.80$	Niveau 3	14.7	60

**Tab 5.9. Niveaux de protection contre la foudre**

### b. Application numérique :

Dans notre cas, on a :

- **$N_k = 20$** , alors la valeur correspondante de  **$N_g \text{ max} = 1.7$** .
- La surface équivalente  $A_e = L.l + 6.h_1 (L+l) + 9 \pi.(h_1)^2$  :

On a :

- $L = 243 \text{ m}$ .
- $l = 61 \text{ m}$ .
- $h_1 = 11 \text{ m}$ .

$$A_e = 38306.5 \text{ m}^2$$

- La valeur de coefficient  $C_1 = 0.25$ .

Alors, la valeur de  $N_d = N_g \text{ max. } A_e . C_1 . 10^{-6} = 0.016$ .

-Les valeurs de C2, C3, C4, C5 :

$$C2 = 0.5 ;$$

$$C3 = 1 ;$$

$$C4 = 2 ;$$

$$C5 = 5 ;$$

$$C = C2 \times C3 \times C4 \times C5 = 5$$

Et la valeur de Nc est :

$$Nc = \frac{5.5 \times 10^{-3}}{C} = 0.0011$$

Comme Nc est inférieur à Nd, alors la valeur de E égale :

$$E = 1 - Nc/Nd = 0.93$$

Et d'après le tableau, le niveau de protection contre la foudre correspondant au E = 0.93 est : le niveau 2 avec un courant de crête de 9.5 KA et une distance d'amorçage D = 45 m.

### **Choix de système de protection :**

Pour dimensionner le paratonnerre PDA, il faut avant calculer le rayon de protection : Comme h > 5 m, on applique directement la formule suivante :

$$Rp = \sqrt{H \times (2D - \Delta L) + \Delta L \times (2D + \Delta L)}$$

Avec :

$$-H = 16 \text{ m.}$$

$$-D = 45 \text{ m (niveau 2).}$$

$$-\Delta L_{(m)} = V(m/\mu s) \times \Delta t(\mu s) \text{ avec :}$$

$\Delta t$  : avance à l'amorçage issue des essais d'évaluation des PDA. Tel que:  $\Delta t = 60 \mu s$  ;  $V = 10^6$  m/s

$$\text{Alors : } \Delta L = 60 \text{ m}$$

La valeur de Rp est :

$$\mathbf{Rp = 101 \text{ m}}$$

### Résultats :

Après le calcul, on a choisi deux (2) paratonnerres à dispositif d'amorçage PDA avec un rayon de protection de 100 m, et les données de paratonnerre sont les suivantes :

Description	Nimbus 60
Poids de produit	3235 gr
Degré de protection du boîtier	IP 67
Avance à l'amorçage	60 [ $\mu$ s ]
Courant maximum supporté (10/350)	200 [kA]
Section minimale du câble	50 [mm <sup>2</sup> ]
Hauteur de produit	528,5 [mm]
hauteur de la pointe du PDA par rapport au plan horizontal	5 m



Fig 5.7. Paratonnerre PDA Nimbus 60

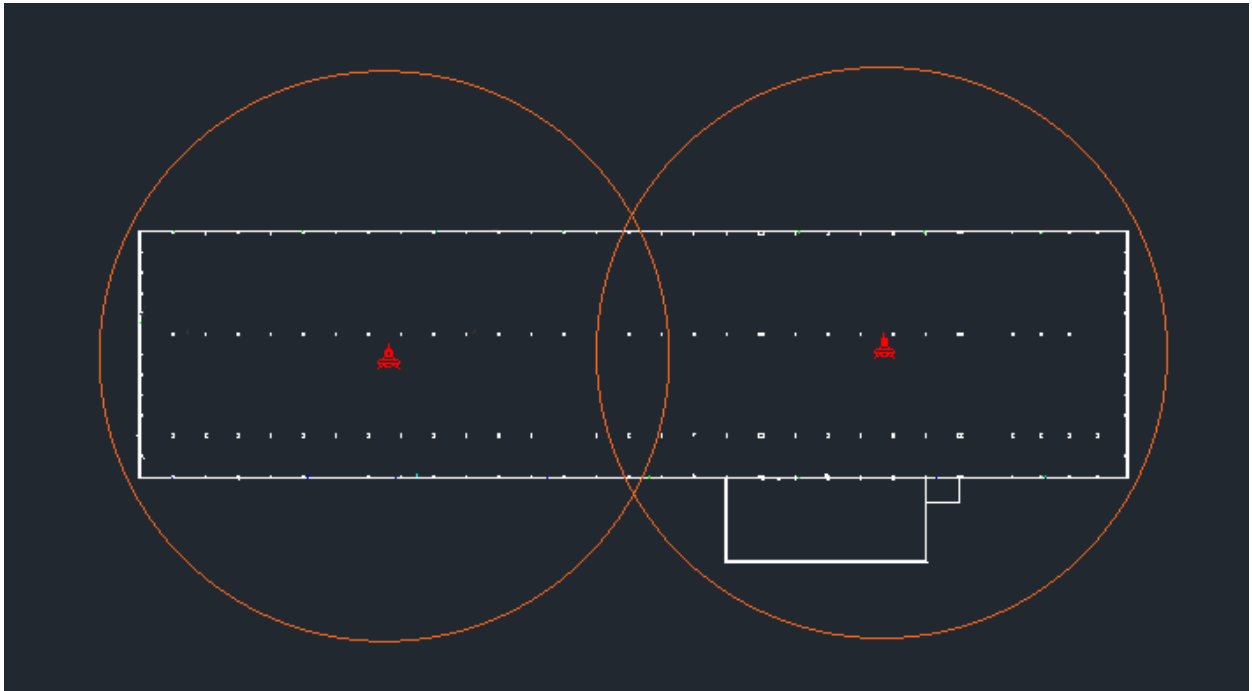


Fig 5.8. Schéma de positionnement des paratonnerres

#### 4. Conclusion :

Le dimensionnement d'un système de mise à la terre ou du paratonnerre nécessite un calcul qui n'est pas vraiment très complexe, mais un calcul qui se répète plusieurs fois pour arriver à des résultats conformes aux normes internationales concernées.

---

# **CHAPITRE 6 :**

## **Compatibilité**

### **Electromagnétique**

---

### 1. Introduction :

Certaines règles de base doivent être suivies afin de garantir la Compatibilité Electromagnétique. Le non-respect de ces règles peut avoir de graves conséquences sur le fonctionnement de l'installation électrique : perturbation des systèmes de communication, déclenchement intempestif des dispositifs de protection, voire destruction des appareils sensibles. La difficulté pour assimiler tous les aspects de la CEM est liée à la spécialisation nécessaire des scientifiques et des professionnels, dont la compétence s'est généralement affirmée.

Ce chapitre fournit les meilleures pratiques et recommandations sur la mise en œuvre de la CEM, les recommandations de câblage, etc.

### 2. Généralités :

#### 2.1. Types de perturbations électromagnétiques :

Nous distinguons plusieurs types de perturbation électromagnétique [12]:

**Tension** : variations, coupures, creux, surtensions

**Fréquence** : variations

**Forme d'onde** : harmoniques, transitoires, courants porteurs

**Phases** : déséquilibre

**Puissance** : courts circuits, surcharges (effets sur la tension).

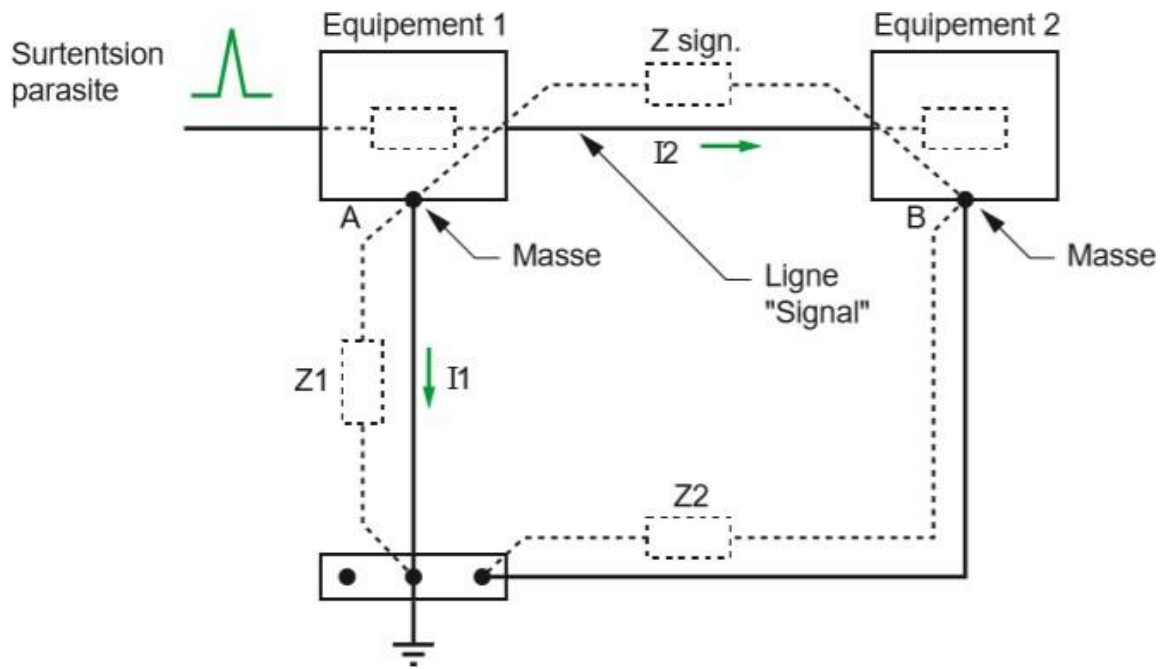
#### 2.2. Sources de perturbation électromagnétiques :

Les sources de perturbations électromagnétiques peuvent avoir lieu à l'intérieur de l'installation ou bien à son extérieur. Ils peuvent être des machines tournantes (machines à grande puissance généralement), des convertisseurs, l'éclairage fluorescent, la foudre, etc.

#### 2.3. Les couplages en CEM :

##### **Couplage par impédance commune :**

Deux ou plusieurs équipements sont interconnectés par leur réseau d'alimentation et les câbles de communication. Lorsque des courants d'origines externes (foudre, courants de défaut, courants perturbateurs) circulent à travers ces impédances communes, une tension indésirable est développée entre les points A et B, censés être équipotentiels. Cette tension parasite peut être gênante pour des circuits électroniques bas niveaux ou rapides. L'ensemble des câbles, y compris les conducteurs de protection, présente une impédance, en particulier aux fréquences élevées, [12].



**Fig 6.1. Schéma explicatif du couplage par impédance commune**

Les masses des équipements 1 et 2 sont reliées à une terre commune par des connexions d'impédances  $Z1$  et  $Z2$ . La surtension parasite s'écoule vers la terre, à travers  $Z1$ . Le potentiel de l'équipement 1 est porté à  $Z1 I1$ . La différence de potentiel avec l'équipement 2 (initialement au potentiel 0) se traduit par l'apparition du courant  $I2$ .

$$\frac{I2}{I1} = \frac{Z1}{(Zsign + Z2)}$$

Présent sur la ligne "signal", le courant  $I2$  perturbe l'équipement 2.

### **Couplage capacitif :**

Le perturbateur et la victime sont couplés par les capacités parasites. Le niveau de perturbation dépend des variations de tension ( $dv / dt$ ) ainsi que de la valeur de la capacité de couplage. Le couplage capacitif croît avec :

- La fréquence,
- La proximité perturbateur / victime,
- La hauteur des câbles par rapport à un plan de masse,
- L'impédance d'entrée du circuit victime (les circuits à haute impédance d'entrée sont plus vulnérables), [12].



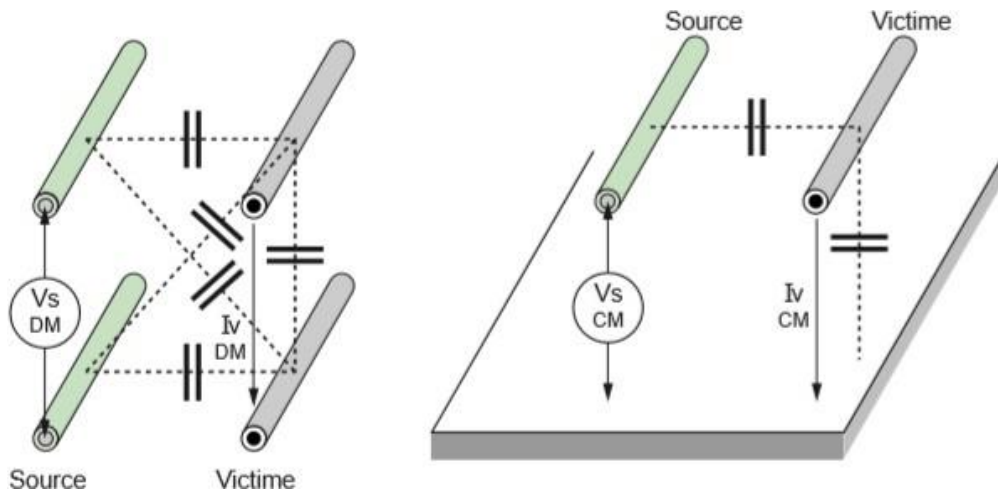


Fig 6.2. Couplage capacitif de mode différentiel et de mode commun

$V_s$  DM : Source de tension perturbatrice (mode différentiel)

$I_v$  DM : Courant perturbateur coté victime (mode différentiel)

$V_s$  CM : Source de tension perturbatrice (mode commun)

$I_v$  CM : Courant perturbateur coté victime (mode commun)

### Couplage inductif

Perturbateur et victime sont couplés par un champ magnétique. Le niveau de perturbation dépend des variations de courant ( $di / dt$ ) ainsi que de la valeur de la mutuelle inductance de couplage. Le couplage inductif croît avec [12]:

- La fréquence,
- La proximité perturbateur / victime et la longueur de câblage mise en parallèle,
- La hauteur des câbles par rapport à un plan de masse,
- L'impédance de charge du circuit perturbateur.

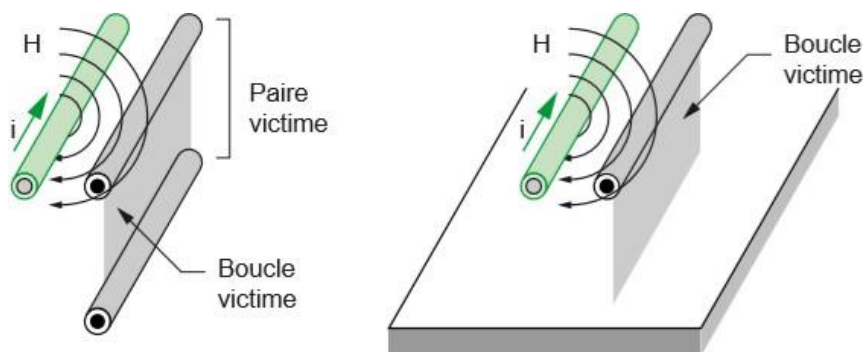


Fig 6.3. Couplage inductif de mode différentiel et de mode commun

### Couplage par rayonnement :

Les perturbations rayonnées sont véhiculées par le milieu ambiant (exemple l'air). Le niveau de perturbation dépend de la puissance de la source de rayonnement et de l'efficacité de l'antenne d'émission et de réception. Un champ électromagnétique est composé à la fois d'un champ électrique et d'un champ magnétique qui sont corrélés.

Il est possible de considérer séparément les composantes électriques et magnétiques. Le champ électrique (champ E) et le champ magnétique (champ H) sont couplés dans les systèmes de câblage via les fils et les boucles. Lorsqu'un câble est soumis à un champ électrique variable, un déplacement de charges est généré dans ce câble. Ce phénomène est appelé couplage champ à câble. De la même manière, lorsqu'un champ magnétique variable traverse une boucle, il crée une force contre électromotrice entre les deux extrémités de la boucle. Ce phénomène est appelé couplage champ à boucle, [12].

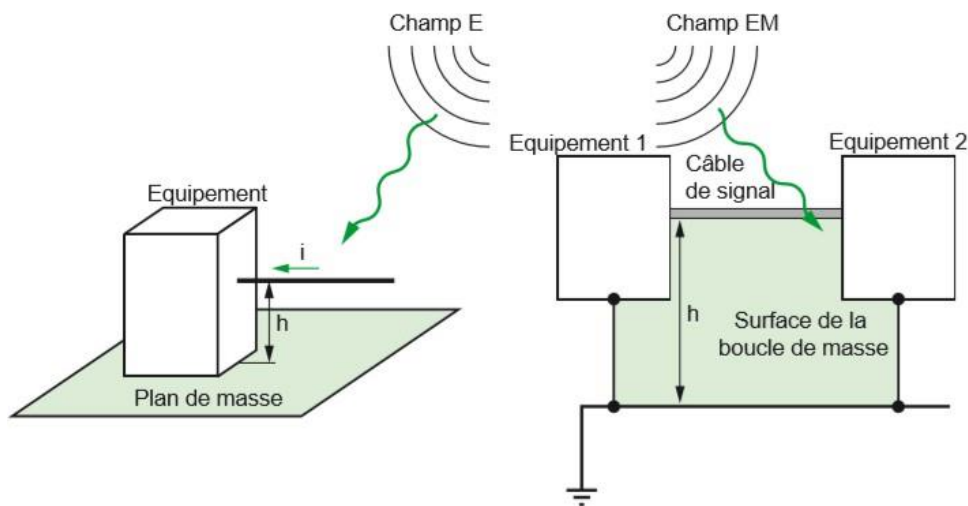


Fig 6.4. Exemple de couplage champ à câble et de couplage champ à boucle

### 3. CEM dans notre projet :

A cause de la crise sanitaire et ses conséquences (confinement et couvre-feu), nous n'avons pas pu visiter l'usine. Cette visite était prévue pour voir l'emplacement des équipements, leurs alimentations, faire des mesures sur ces équipements, etc... Ceci dans l'objectif d'émettre des recommandations pour garantir la CEM dans toute l'installation.

#### 3.1. Mise à la terre :

Dans notre étude, nous utilisons le régime du neutre TNS qui est un choix du propriétaire de l'usine, mais nous installons également six piquets de terre pour renforcer le système de mise à la terre. Indépendamment du côté économique, ce nombre est le minimum possible à utiliser

pour satisfaire les exigences du fournisseur d'énergie SONELGAZ.

La chose la plus importante est d'assurer l'équipotentialité entre les différentes masses en tenant compte des boucles entre masses qui sont le résultat d'un maillage systématique et rigoureux permettant d'assurer l'équipotentialité d'un site (éviter les couplages champ à boucle).

Il faut réduire la surface de chaque boucle en multipliant les connexions entre toutes les masses et en évitant le raccordement en étoile.

Pour les deux transformateurs, nous proposons de les relier comme indique la figure suivante :

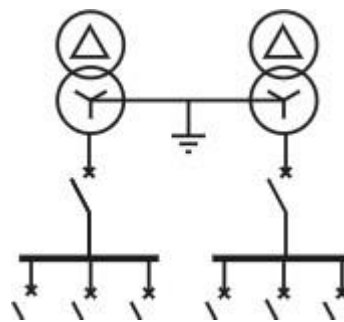


Fig 6.5. La mise à la terre des deux transformateurs

### 3.2. Equipements :

Nous pouvons distinguer deux types d'équipement : un équipement sensible et un équipement perturbateur. D'un point de vue CEM, il faut les éloigner le maximum possible les uns des autres. Il faut minimiser la distance entre les équipements à grande puissance et leur alimentation.

D'après le schéma de localisation des charges, nous voyons bien qu'il y'a plusieurs cas où la CEM est garantie. Par exemple, le chiller dont la puissance est 432 kW est installé à une distance de 78m du TGBT, la pompe incendie et la pompe de surpression sont installées également loin de tout équipement sensible (près du bloc administratif).

Dans le cas où nous ne pouvons pas éloigner un équipement sensible d'un autre perturbateur, nous devons l'isoler en utilisant un écran électrostatique constitué par un plan conducteur relié à la terre. C'est le cas par exemple pour toute machine avec sa partie de commande.

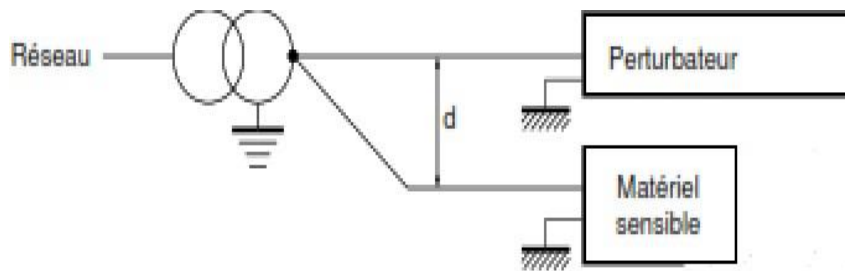


Fig 6.6. Raccordement d'un équipement sensible et un autre perturbateur

### 3.3. Câblage :

Concernant cette partie, la séparation entre les câbles de puissance et les câbles de commande est vivement recommandée. Pour cela nous proposons d'utiliser des supports à plusieurs niveaux, avec des goulottes métalliques perforés pour les câbles de puissance (qui est utilisé réellement), et non perforés pour les câbles de commande.

L'utilisation des chemins de câbles non perforés pour les câbles de commande permet d'éviter toute influence sur eux, et l'utilisation des chemins de câbles perforés pour les câbles de puissance est un bon choix, [12].

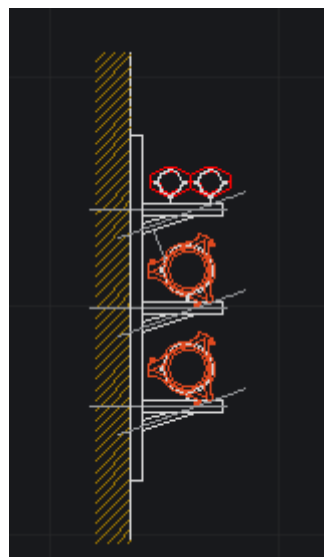


Fig 6.7. L'un des supports utilisés au niveau de l'usine

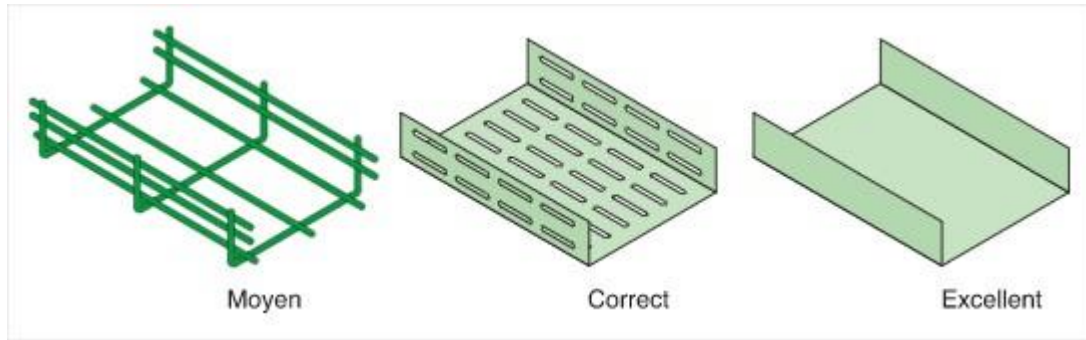


Fig 6.8. Performances CEM pour différents exemples de conduits métalliques

### 3.4. Armoires électriques :

Au niveau des armoires électriques, nous trouvons des circuits électroniques et des capteurs, ce qui signifie qu'ils peuvent être victimes de perturbations générées par des circuits de puissance dans la même armoire. Nous proposons d'utiliser une tôle métallique de séparation entre la partie de puissance et ces circuits comme indique la figure 7.9, nous utilisons aussi un blindage pour les câbles qui entrent dans le circuit électronique, [12].

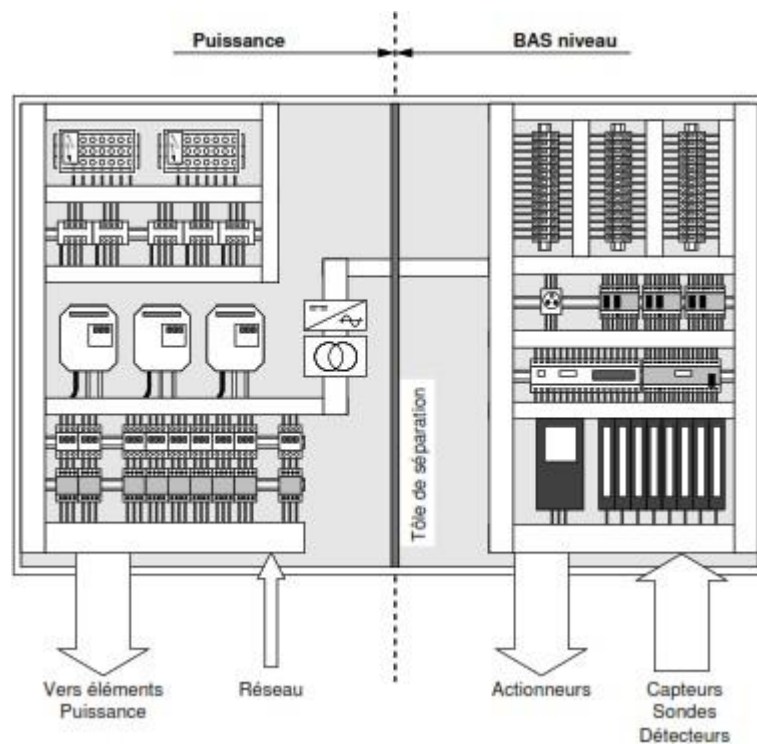


Fig 6.9. Séparation entre la partie sensible et la partie de puissance dans une armoire

### 3.5. Les harmoniques :

Les harmoniques ont comme source toute charge non linéaire, ils dégradent la qualité de l'énergie en agissant sur la forme de l'onde de l'alimentation.

Les charges non linéaires se trouvent à l'intérieur de l'usine, comme ils peuvent exister ailleurs vue que l'usine se situe dans une zone industrielle.

Nous proposons d'utiliser un filtre actif à l'entrée de l'usine (la source), et des filtres passifs pour tout équipement sensible.

### **4. Conclusion :**

Une bonne connaissance théorique de tous les problèmes possibles est indispensable pour satisfaire les obligations légales et les contraintes de CEM des clients. Le présent chapitre contient des recommandations pour la phase de réalisation de l'installation électrique.

Une visite de site est vivement souhaitée. Elle aurait permis d'avoir plus de données sur les charges, les armoires, les câbles, etc.

---

# **CONCLUSION GENERALE**

---

Nous avons effectué notre stage de fin d'études en Electrotechnique, en tant qu'un ingénieur d'étude au sein de l'entreprise EL KINDI ENGINEERING. Nous avons mis en pratique nos connaissances théoriques acquises durant notre formation, tout en étant confronté aux difficultés réelles au monde du travail et management d'équipes. Après notre rapide intégration au sein de l'entreprise, nous avons eu l'occasion de réaliser un projet réel et une étude complète et pratique dans tous les niveaux.

Nous pouvons considérer que ce travail de fin d'études, s'est articulé autour de quatre volets principaux.

Le 1er volet concerne l'étude et la conception de l'éclairage intérieur et extérieur de la nouvelle usine. Il nous a fallu, d'abord, choisir une solution d'éclairage respectant les prescriptions et les normes en vigueur et donnant une bonne répartition des différents luminaires dans les différents locaux de l'unité. Plusieurs propositions ont été étudiées à l'aide du logiciel Dialux. Nous avons, alors, abouti à une solution conforme aux normes d'éclairage intérieur et extérieur tout en utilisant des luminaires disponibles dans le marché Algérien.

Le 2ème volet concerne l'étude technique de l'installation électrique de l'usine. Dans cette partie, nous avons d'abord élaboré un bilan de puissance, puis nous avons choisi le transformateur triphasé qui va répondre aux besoins de l'installation en termes d'énergie. Ensuite, et à l'aide du logiciel AUTOCAD et SEE Electrical, nous avons tracé un schéma synoptique de l'installation et les chemins des câbles qui vont permettre l'acheminement de l'énergie depuis la source vers les différents consommateurs. Enfin, nous avons établi des notes de calcul du réseau électrique BT avec le logiciel Caneco BT.

Le 3ème volet concerne le système de mise à la terre et le système de protection contre la foudre. On a fait une étude de sol pour la mise à la terre et une étude de foudre pour cette région, pour qu'on puisse faire un système de mise à la terre et système de protection contre la foudre efficace et en respectant les normes internationales.

Le 4ème volet concerne la compatibilité électromagnétique, on a déterminé les sources de perturbations et on a proposée des recommandations pour assurer la compatibilité électromagnétique concernant plusieurs systèmes (mise à la terre, câblage, équipements, armoires électriques), pour éviter tous types de couplages électromagnétiques.



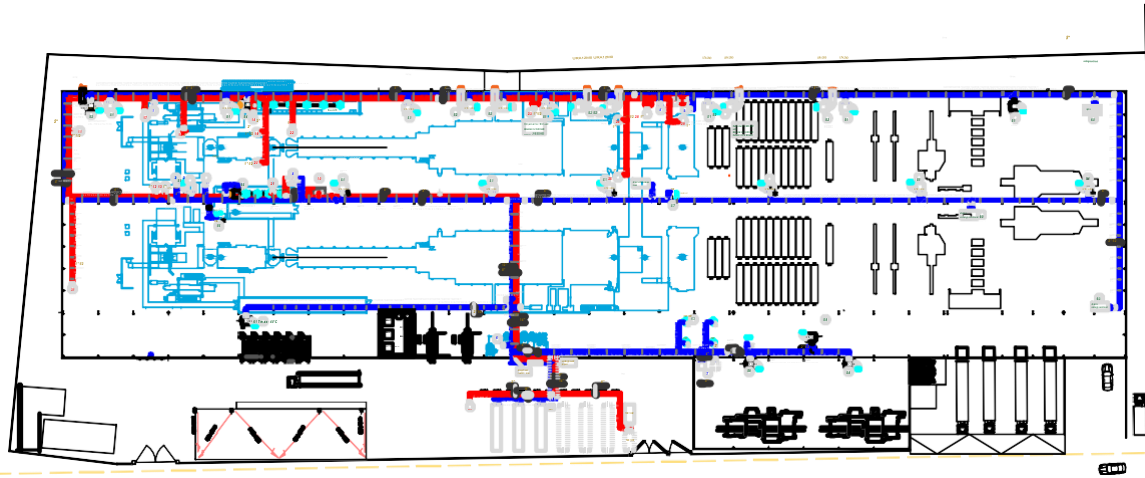
Ce stage a été très enrichissant ; il nous a permis de découvrir le domaine de l'étude et l'ingénierie, ses acteurs et ses contraintes. Il nous a permis de participer concrètement à ses enjeux à travers notre projet. Ce stage nous a permis de comprendre la partie administrative et réglementaire à travers ses études de normes et des réglementations.

En conclusion, notre stage nous a permis de mettre en œuvre des compétences scolaires, professionnelles et humaines pour un sujet intéressant, et il a vraiment confirmé nos ambitions futures d'exercer dans un domaine pareil, même s'il nous reste encore beaucoup à apprendre.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] : Choix et mise en oeuvre du materiel. La norme NF C 15-100, 2002. pp. 151-188.
- [2] : Alan L. Sheldrake, John Wiley. In: Handbook of electrical engineering- For Practitioners in the Oil, Gas and Petrochemical Industry,2003, pp. 12-18.
- [3] : Commission d'électrotechnique internationale. Vocabulaire Electrotechnique International VEI .[consulté le 23/02/2020]. Disponible sur le site : [www.iec.ch](http://www.iec.ch)
- [4] : WikiHow proposé par Schneider Electric. Conception d'une installation électrique. [consulté le 23/02/2020]. Disponible sur le site : <https://fr.electricalinstallation.org/frwiki/>
- [5] : Jean-Marie BEAUSY . In : Intensité admissible dans les canalisations et protection contre les surcharges, Mars 2013, p210-211.
- [6] : ZUMTOBEL. In : Manuel pratique de l'éclairage, Edition Juillet 2017, pp. 10-15.
- [7]: Lighting Design Criteria. La norme NF EN 12464, 2011.
- [8]: Selection and erection of equipment . La norme BS 7430, 2008.pp. 110-183.
- [9]: Principal design considerations . La norme IEEE Std 80, 2008.
- [10] : Installation Extérieure de protection contre la Foudre. La norme NF C 17-102, Juillet 1995.
- [11] : Early streamer emission. Protection contre la foudre.[consulté le 25 Mai 2020]. Disponible sur : <https://earlystreameremission.com/fr/monde-de-la-protection-contre-la-foudre/protection-contre-les-effets-de-la-foudre/>
- [12] : WikiHow proposé par Schneider Electric. Amélioration de la CEM.[consulté le 09 Juin 2020]. Disponible sur : [https://fr.electricalinstallation.org/frwiki/Recommandations\\_pour\\_l%27am%C3%A9lioration\\_de\\_la\\_CEM](https://fr.electricalinstallation.org/frwiki/Recommandations_pour_l%27am%C3%A9lioration_de_la_CEM)
- [13] : CHIHAB AYOUB. In : Etude et conception de l'installation électrique du bâtiment du bloc 4 de l'université euro-méditerranéenne. Thèse de Licence : génie électrique. Université de Fès : Faculté des sciences et techniques, Juin 2018.[consulté le 20 Avril 2020].

Annexe A: Architecture de l'usine



Room	Area (m²)	Volume (m³)	Thermal Load (kW)
Room 1	100	1000	10
Room 2	200	2000	20
Room 3	300	3000	30
Room 4	400	4000	40
Room 5	500	5000	50
Room 6	600	6000	60
Room 7	700	7000	70
Room 8	800	8000	80
Room 9	900	9000	90
Room 10	1000	10000	100

System	Capacity (kW)	Efficiency (%)	Power (kW)
System 1	100	95	105
System 2	200	95	210
System 3	300	95	315
System 4	400	95	420
System 5	500	95	525
System 6	600	95	630
System 7	700	95	735
System 8	800	95	840
System 9	900	95	945
System 10	1000	95	1050

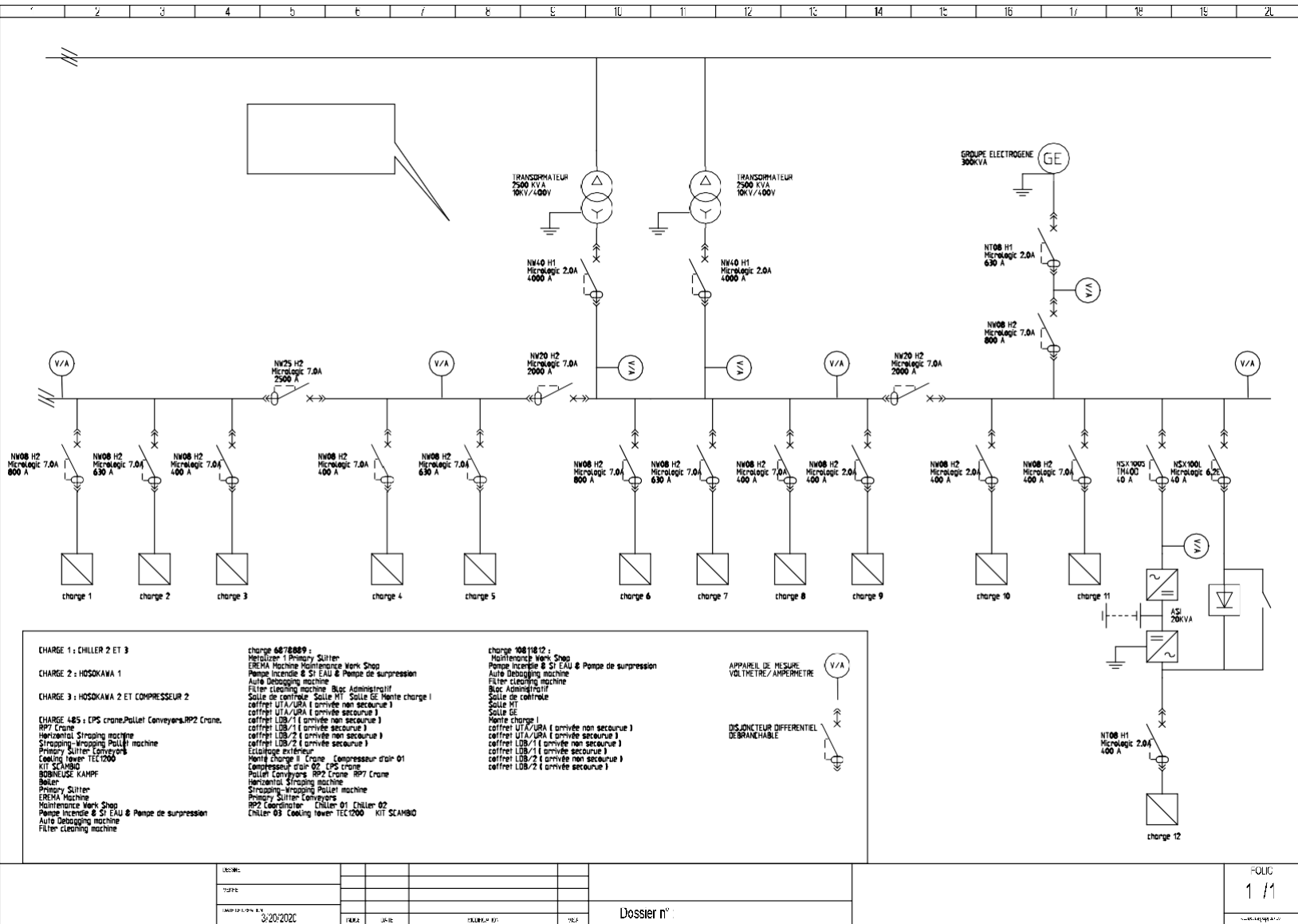
TOTAL THERMAL LOAD CHILLED WATER: 786 kW

TOTAL THERMAL LOAD CHILLED WATER: 808kW

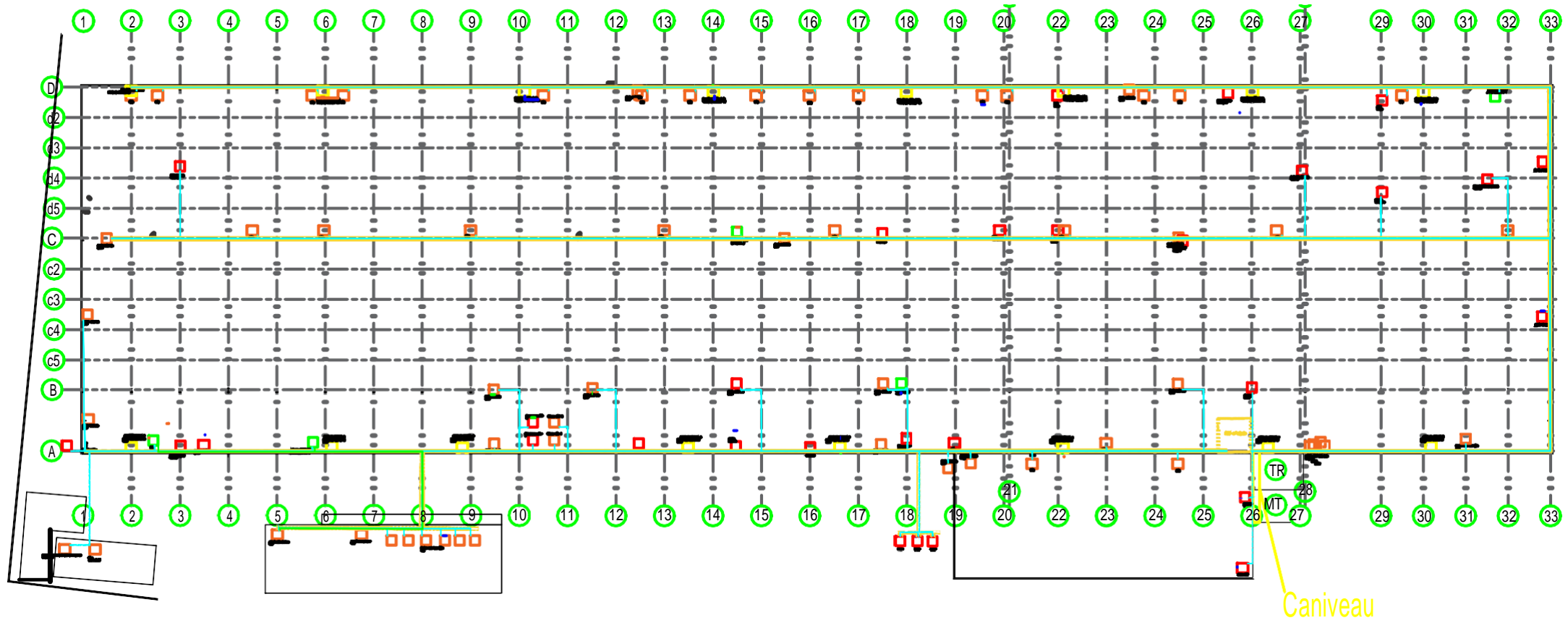
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

# Annexe B: Schéma Unifilaire



# Annexe C: Cheminement de câbles



## Distribution des charges

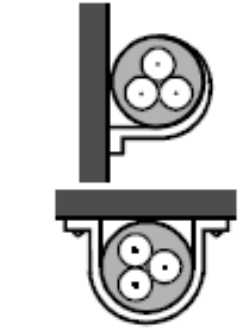


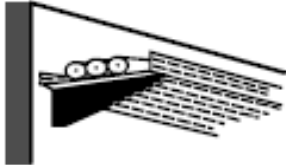
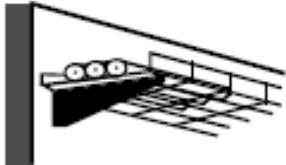
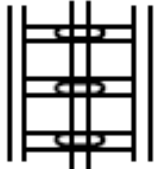
## Annexe D :

### Mode de pose :


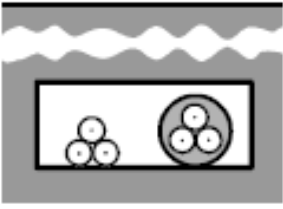

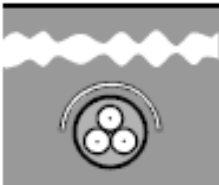
Les tableaux suivants indiquent les principaux modes de pose utilisés dans les réseaux industriels ; les autres modes de pose sont donnés dans la norme NF C 15-100 - tableau 52C.

Pour chaque mode de pose sont indiqués :

- Son numéro et sa lettre de sélection associés
- Les facteurs de correction à appliquer.

Exemple	Description	N°	Lettre de sélection	Facteurs de correction				
				$f_0$	à appliquer			
	- câbles mono ou multiconducteurs avec ou sans armure :							
	- fixés sur un mur	11	C	1	$f_1$	$f_4$	$f_5$	
	- fixés à un plafond	11A	C	0,95	$f_1$	$f_4$	$f_5$	
	- sur des chemins de câbles ou tablettes non perforés	12	C	1	$f_1$	$f_4$	$f_5$	
			câbles					
			multi-conducteurs	mono-conducteurs				
	- sur des chemins de câbles ou tablettes perforés en parcours horizontal ou vertical	13	E	F	1	$f_1$	$f_4$	$f_5$
	- sur des corbeaux	14	E	F	1	$f_1$	$f_4$	$f_5$
	- sur des échelles à câbles	16	E	F	1	$f_1$	$f_4$	$f_5$

Tab 1. Mode de pose pour la lettre de sélection C, E et F<sup>[1]</sup>

Exemple	Description	N°	Lettre de sélection	Facteurs de correction à appliquer				
				$f_0$	$f_2$	$f_3$	$f_8$	$f_9$
	Câbles mono ou multi-conducteurs dans des conduits ou dans des conduits profilés enterrés	61	D	0,8	$f_2$	$f_3$	$f_8$	$f_9$
								
	Câbles mono ou multi-conducteurs enterrés sans protection mécanique complémentaire	62	D	1	$f_2$	$f_3$	$f_{10}$	-
	Câbles mono ou multiconducteurs enterrés avec protection mécanique complémentaire	63	D	1	$f_2$	$f_3$	$f_{10}$	-

Tab 2. Mode de pose pour la lettre de sélection D<sup>[1]</sup>

**Facteurs de correction :**

- Facteur de correction par rapport à la température ambiante différente de 30 °C  $f_1$  :

Il est donné par la formule suivante :

$$f_1 = \sqrt{\frac{\theta_p - \theta_0}{\theta_p - 30}}$$

$\theta_0$ : température de l'air, en °C

$\theta_p$ : température maximale admise par l'isolant en °C

Températures ambiantes (°C) $\theta_0$	Isolation		
	Elastomères (caoutchouc) $\theta_p = 60\text{ °C}$	PVC $\theta_p = 70\text{ °C}$	PR et EPR $\theta_p = 90\text{ °C}$
10	1,29	1,22	1,15
15	1,22	1,17	1,12
20	1,15	1,12	1,08
25	1,07	1,06	1,04
35	0,93	0,94	0,96
40	0,82	0,87	0,91
45	0,71	0,79	0,87
50	0,58	0,71	0,82
55	-	0,61	0,76
60	-	0,50	0,71
65	-	-	0,65
70	-	-	0,58
75	-	-	0,50
80	-	-	0,41
85	-	-	-
90	-	-	-
95	-	-	-

Tab 3. Valeurs du facteur de correction  $f_1$  en fonction de la température ambiante et le type d'isolation <sup>[1]</sup>

- Facteurs de correction pour des températures du sol différent de 20 °C  $f_2$  :

Il est donné par la formule suivante :

$$f_2 = \sqrt{\frac{\theta_p - \theta_0}{\theta_p - 20}}$$

$\theta_0$  : température du sol, en °C

$\theta_p$  : température maximale admise par l'isolant en °C



Températures du sol $\theta_0$ (°C)	Isolation	
	PVC $\theta_p = 70$ °C	PR et EPR $\theta_p = 90$ °C
10	1,10	1,07
15	1,05	1,04
25	0,95	0,96
30	0,89	0,93
35	0,84	0,89
40	0,77	0,85
45	0,71	0,80
50	0,63	0,76
55	0,55	0,71
60	0,45	0,65
65	-	0,60
70	-	0,53
75	-	0,46
80	-	0,38

Tab 4. Valeurs du facteur de correction  $f_2$  en fonction de la température ambiante et le type d'isolation<sup>[1]</sup>

- **Facteurs de correction pour les canalisations enterrées, en fonction de la résistivité thermique du sol :  $f_3$**

La résistivité thermique du sol dépend de la nature et de l'humidité du terrain. Le facteur de correction à appliquer selon la résistivité du sol est donné par le tableau.

Résistivité thermique du terrain K.m/W	Facteur de correction	Nature
0,40	1,25	pose immergée
0,50	1,21	terrain très humide
0,70	1,13	terrain humide
0,85	1,05	terrain dit normal
1,00	1,00	terrain sec
1,20	0,94	
1,50	0,86	terrain très sec
2,00	0,76	
2,50	0,70	
3,00	0,65	

Tab 5. Valeurs du facteur de correction  $f_3$  en fonction du type de terrain<sup>[1]</sup>

- **Facteurs de correction pour les câbles multiconducteurs ou groupes de câbles monoconducteurs jointifs :  $f_4$**

Les facteurs du tableau sont applicables à des groupes homogènes de câbles, également chargés, pour les modes de pose indiqués.

N° des modes de pose	Nombre de câbles multiconducteurs ou groupes de câbles monoconducteurs jointifs								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
21, 22A, 23A, 24A, 25, 31, 31A, 32, 32A, 33A, 34A, 41, 43	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,55	0,55	0,50	0,50
11, 12	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70
11A	1,00	0,85	0,76	0,72	0,69	0,67	0,66	0,65	0,64
13	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72
14, 16	1,00	0,88	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78

Tab 6. Valeurs de  $f_4^{[1]}$

- **Facteurs de correction pour les câbles multiconducteurs ou groupes de câbles monoconducteurs disposés en plusieurs couches :  $f_5$**

Lorsque les câbles sont disposés en plusieurs couches, les facteurs de correction du tableau doivent être appliqués.

Nombre de couches	2	3	4 ou 5	6 à 8	9 et plus
Facteurs de correction $f_5$	0,80	0,73	0,70	0,68	0,66

Tab 7. Valeurs de  $f_5^{[1]}$

- **Facteurs de correction en fonction du nombre de conduits dans l'air et de leur disposition:  $f_6$**

Il est pris du tableau suivant :

Nombre de conduits disposés verticalement	Nombre de conduits disposés horizontalement					
	1	2	3	4	5	6
1	1	0,94	0,91	0,88	0,87	0,86
2	0,92	0,87	0,84	0,81	0,80	0,79
3	0,85	0,81	0,78	0,76	0,75	0,74
4	0,82	0,78	0,74	0,73	0,72	0,72
5	0,80	0,76	0,72	0,71	0,70	0,70
6	0,79	0,75	0,71	0,70	0,69	0,68

Tab 8. Valeurs de  $f_6^{[1]}$

- **Facteurs de correction en fonction du nombre de conduits enterrés ou noyés dans le béton et de leur disposition :  $f_7$**

On le tire du tableau suivant :

Nombre de conduits disposés verticalement	Nombre de conduits disposés horizontalement					
	1	2	3	4	5	6
1	1	0,87	0,77	0,72	0,68	0,65
2	0,87	0,71	0,62	0,57	0,53	0,50
3	0,77	0,62	0,53	0,48	0,45	0,42
4	0,72	0,57	0,48	0,44	0,40	0,38
5	0,68	0,53	0,45	0,40	0,37	0,35
6	0,65	0,50	0,42	0,38	0,35	0,32

Tab 9. Valeurs de  $f_7^{[1]}$

- **Facteurs de correction pour conduits enterrés non jointifs disposés horizontalement ou verticalement à raison d'un câble ou d'un groupement de 3 câbles monoconducteurs par conduit :  $f_8$**

On le tire du tableau suivant selon le nombre de conduits et la distance entre eux.

Nombre de conduits	Distance entre conduits (a)		
	0,25 m	0,5 m	1,0 m
2	0,93	0,95	0,97
3	0,87	0,91	0,95
4	0,84	0,89	0,94
5	0,81	0,87	0,93
6	0,79	0,86	0,93

Tab 10. Valeurs de  $f_8$  en fonction du nombre des conduits et la distance entre eux<sup>[1]</sup>

- **Facteurs de correction dans le cas de plusieurs circuits ou câbles dans un même conduit enterré :  $f_9$**

Ceci est applicable à des groupements de câbles de sections différentes mais ayant la même température maximale admissible.

Disposition de circuits ou de câbles jointifs	Facteurs de correction											
	Nombre de circuits ou de câbles multiconducteurs											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20
Posés dans un conduit enterré	1	0,71	0,58	0,5	0,45	0,41	0,38	0,35	0,33	0,29	0,25	0,22

Tab 11. Valeurs de  $f_9$  en fonction de nombre de circuits ou de câbles multiconducteurs<sup>[1]</sup>

- **Facteurs de correction pour groupement de plusieurs câbles posés directement dans le sol - câbles monoconducteurs ou multiconducteurs disposés horizontalement ou verticalement :  $f_{10}$**

On le tire du tableau suivant :

Nombre de câbles ou de circuits	Distance entre câbles ou groupements de 3 câbles monoconducteurs (a)				
	Nulle (câbles jointifs)	Un diamètre de câble	0,25 m	0,5 m	1,0 m
2	0,76	0,79	0,84	0,88	0,92
3	0,64	0,67	0,74	0,79	0,85
4	0,57	0,61	0,69	0,75	0,82
5	0,52	0,56	0,65	0,71	0,80
6	0,49	0,53	0,60	0,69	0,78

Tab 12. Valeurs de  $f_{10}$ <sup>[1]</sup>

**Courants admissibles (en ampère) par les canalisations dans les conditions standards d'installation pour les lettres de sélection B, C, E, F :**

Lettre de sélection	Isolant et nombre de conducteurs chargés								
	B	C	E	F					
	PVC 3	PVC 2		PR 3		PR 2			
		PVC 3		PVC 2	PR 3		PR 2		
			PVC 3		PVC 2	PR 3		PR 2	
				PVC 3		PVC 2	PR 3		PR 2
Section (mm <sup>2</sup> ) Cuivre									
1,5	15,5	17,5	18,5	19,5	22	23	24	26	
2,5	21	24	25	27	30	31	33	36	
4	28	32	34	36	40	42	45	49	
6	36	41	43	48	51	54	58	63	
10	50	57	60	63	70	75	80	86	
16	68	76	80	85	94	100	107	115	
25	89	96	101	112	119	127	138	149	161
35	110	119	126	138	147	158	169	185	200
50	134	144	153	168	179	192	207	225	242
70	171	184	196	213	229	246	268	289	310
95	207	223	238	258	278	298	328	352	377
120	239	259	276	299	322	346	382	410	437
150		299	319	344	371	395	441	473	504
185		341	364	392	424	450	506	542	575
240		403	430	461	500	538	599	641	679
300		464	497	530	576	621	693	741	783
400					656	754	825		940
500					749	868	946		1083
630					855	1005	1088		1254

**Tab 13. Valeurs de courants admissibles en fonction de la section des conducteurs en cuivre et type d'isolation pour les lettres de sélection B, C, E et F<sup>[5]</sup>**

**NB.** Si on a un système triphasé, la lecture se fait dans la colonne dont le chiffre après la matière d'isolation est 3 (PR3, PVC3).

**Courants admissibles (en ampère) par les canalisations dans les conditions standards d'installation pour la lettre de sélection D (canalisations enterrées) :**

Lettre de sélection <i>D</i>	Isolant et nombre de conducteurs chargés			
	PVC 3	PVC 2	PR 3	PR 2
Section (mm <sup>2</sup> ) <i>Cuivre</i>				
1,5	26	32	31	37
2,5	34	42	41	48
4	44	54	53	63
6	56	67	66	80
10	74	90	87	104
16	96	116	113	136
25	123	148	144	173
35	147	178	174	208
50	174	211	206	247
70	216	261	254	304
95	256	308	301	360
120	290	351	343	410
150	328	397	387	463
185	367	445	434	518
240	424	514	501	598
300	480	581	565	677
Section (mm <sup>2</sup> ) <i>Aluminium</i>				
10	57	68	67	80
16	74	88	87	104
25	94	114	111	133
35	114	137	134	160
50	134	161	160	188
70	167	200	197	233
95	197	237	234	275
120	224	270	266	314
150	254	304	300	359
185	285	343	337	398
240	328	396	388	458
300	371	447	440	520

Tab 14. Valeurs de courants admissibles en fonction de la section des conducteurs en cuivre et en aluminium et type d'isolation pour la lettre de sélection D <sup>[5]</sup>

### Chute de tension admissible pour les réseaux BT :

	Eclairage	Autres usages
A - Installations alimentées directement par un branchement à basse tension, à partir d'un réseau de distribution publique à basse tension.	3 %	5 %
B - Installations alimentées par un poste de livraison ou par un poste de transformation à partir d'une installation à haute tension (l'origine de l'installation est le point de raccordement HTA) *	6 %	8 %
(*) dans la mesure du possible, les chutes de tension dans les circuits terminaux ne doivent pas être supérieures aux valeurs indiquées en A.		

Tab 15. Chute de tension admissible pour les réseaux BT<sup>[1]</sup>

**Valeur du coefficient k :**

<b>Ame</b>	<b>Isolant</b>	PVC	PR
	Cuivre	115	135
	Aluminium	74	87

**Tab 16. Valeur du coefficient k conformément à la norme NF C 15-100**





