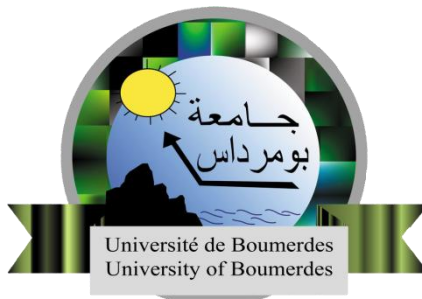


République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES



Faculté des Sciences de l'Ingénieur

Mémoire de fin d'études

Présenté par :

Mr REKKACHE Said

En vue de l'obtention du diplôme de **Master** en

Génie électrique

Option : Machines électriques

Thème :

**Dimensionnement et optimisation énergétique
d'un complexe administratif
Application : École supérieure d'hôtellerie
d'Oran**

Président	Mr HAMEL Meziane	MAA	UMBB
Promoteur	Mr BOUZIDA Ahcene	MCB	UMBB
Examineurs	Mr BOUDOUDA Aimad	MCB	UMBB
	Mr AIBECHE Abderazzak	MCB	UMBB

- Promotion Juin 2018-

ملخص:

هذا التقرير يقدم ملخصاً لدراسة المنجزة في شركة HBS : Honeywell Buildings Solutions هدفه حساب ودراسة الاستهلاك الطاقي من أجل تحسين وترشيد استهلاك الطاقة الكهربائية في المدرسة العليا للفندقة والإطعام ESHRA والتي مقرها على مستوى ولاية وهران.

ويمثل هذا المشروع في بدايته الأولى عن مقدمة عامة لشبكة التوزيع الكهربائية في المدرسة مع تقديم جميع العناصر التي تكون هذه الأخيرة. ثم إعداد متطلبات الطاقة عن طريق حساب الاستهلاك لمختلف الأجهزة الكهربائية، والتي نذكر منها مأخذ التيار، دوائر الإضاءة والتغذية لبعض الأنظمة والمحركات وجميع أجهزة الاستقبال وذلك لتحديد استطاعة المحول الكهربائي الرئيسي ومولد الطاقة الذاتي بالإضافة إلى الكوابل الكهربائية ثم طرح الطرق المثلى لتحسين استغلال الطاقة باستعمال نظام التسيير GTB وأخيراً مقارنة الاستهلاك باستخدام نظام الإدارة التقنية للمبني وبدون.

الكلمات المفتاحية: الدارة الكهربائية، نظام السلامة من الحرائق، نظام التدفئة، التهوية والتكييف، حساب الطاقة، محول كهربائي، مولد كهربائي.

Résumé :

Ce rapport présente la synthèse du travail effectué au sein de la société HBS (Honeywell Buildings Solutions), et ayant pour objectif, calcul et l'étude du bilan énergétique en vue de l'optimisation de l'énergie électrique dans une école supérieure d'hôtellerie et restauration ESHRA au niveau de la wilaya d'Oran.

Le présent travail consiste en premier lieu à une introduction générale aux systèmes de distribution électriques dans l'école avec la présentation de tous les éléments constituant cette dernière, puis l'élaboration du bilan de puissances à partir des différents consommateurs à savoir les prises de courant, les forces motrices, les circuits d'éclairage, les alimentations des centrales, les moteurs et tous les récepteurs et ce, afin de déterminer la puissance du poste de transformation, le groupe électrogène, les sections des câbles pour chaque armoire divisionnaire ainsi que les chutes de tensions ensuite la présentation des techniques d'optimisation de l'énergie électrique par l'utilisation du système de supervision gestion technique du bâtiment, enfin une comparaison avec et sans système de gestion technique du

Bâtiment a été achevé.

Mots clés : Circuit éclairage, contrôle d'accès, système de sécurité incendie, système chauffage-ventilation et climatisation, entreprise building Integrator, bilan de puissance, transformateur, groupe électrogène.

Abstract:

This report of end studies synthesis the work conducted in the company HBS (Honeywell Buildings Solutions), and has as objective, calculation and study of energy balance in order to optimize the electrical energy in a graduate school of hotel and restoration ESHRA situated in Oran

This work consists in a first time on a general introduction of electrical distribution systems in the school with presentation of all elements component this last, after the development of balance sheet of power from the different consumers: power outlets, motor forces, light circuits, alimentations for power plant, engines and all receptors. and this, to determine the transformation post, the generator, the cables sections for each divisional cabinet as well as the voltage drop, then the presentation of optimization of the electrical energy by using the supervision system GTB, finally a comparison with and without a system of technical management of the building.

Key words: Electrical circuit, access control, fire safety system, heating, ventilation and air conditioning system, business building Integrator, balance sheet, transformation post, generator.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents qui ont tant donné pour moi

Pour leur immense soutien, leur grand amour, leurs sacrifices et leurs prières.

A ma femme

Et ma petite princesse Yasmine la lumière de ma vie a qui je souhaite une vie durable avec plein de succès et que Dieu la protège

A mes chers frères.

A mes chères sœurs.

A toute ma famille.

A tous mes chers amis.

A toutes mes enseignantes et à tous mes enseignants.

A tous ceux qui m'aiment.

A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.

REMERCIEMENTS

Avant tout, je dois grâce à dieu qui ma comblé de ses bienfaits et m'a donné la force pour accomplir ce travail

J'exprime mon profond remerciement à tous les **professeurs de la Faculté des Sciences de l'ingénieur de Boumerdès** et **tout le cadre administratif** pour leurs efforts considérables, spécialement le département ingénierie des systèmes électriques.

J'adresse ma très grande reconnaissance au Professeur **Mr BOUZIDA Ahcene** pour la confiance qu'il ma accorder en acceptant d'encadrer mon travail, pour son orientation ainsi que pour l'intérêt avec lequel il a suivi la progression de mon travail, pour ses conseils durant toute les phases de mon projet.

Je remercie le professeur **Mr HAMEL Meziane** pour ses orientation et ses conseils depuis l'appariation de l'idée de ce projet.

Je tiens également à remercier le professeur **Mr GUENFAF Lakhder** qui n'a jamais cessé d'être a mes cotés à chaque demande,

J'adresse, aussi mes sincères considérations à **Mr MOUSSAFER Abderazak, Bensouih Mohamed** et **Mr ZIANE Oussama** pour m'avoir donné l'opportunité de passer ce stage dans les meilleures conditions, et pour leurs directives à chaque fois qu'ils étaient sollicités et pour les moyens qu'ils ont mis à ma disposition pour la réussite de ce travail tout au long de ma période de projet.

Je tiens aussi à remercier **Mr HAMMOUDI Said** Directeur Engineering Ligne Haut Tension CEEG/SONELGAZ, **Mr BADJA Nabil** et **AZZOUG Rachid** qui m'ont aidé pour pouvoir terminer mes études supérieurs

Je remercie, également les membres de jury d'avoir accepté d'évaluer mon travail.

Vers la fin, il m'est très agréable d'exprimer toute ma reconnaissance à ceux qui m'ont entouré de près ou de loin pendant mes années études pour leur soutien, leur aide et, surtout, pour leur sympathie. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde reconnaissance et mon profond respect.

SOMMAIRE

Introduction générale	1
Chapitre I : Description générale du projet	
I.1. Introduction.....	3
I.2. Présentation de la l'organisme d'accueil.....	3
I.2.1. Domaine d'activité.....	3
I.3. Présentation de l'école Supérieure d'Hôtellerie et de Restauration d'Oran (ESHRA).....	4
I.3.1. Durée du cursus.....	5
I.3.2. Conditions d'accès	5
I.3.3. Position géographique.....	5
I.3.4. Plan d'aménagement	6
I.3.5. Dimensionnement générales de l'école.....	7
I.4. Introduction aux systèmes électriques d'une installation.....	8
I.5. Principe de dimensionnement d'une installation électrique	8
I.5.1. Présentation des éléments de la distribution	9
I.5.1.1. Poste de transformation	9
I.5.1.1.1. Equipements des postes de transformations.....	11
I.5.2. Groupe électrogène	11
I.5.3. Inverseur des sources.....	12
I.5.4. Tableau Général Basse Tension (TGBT)	13
I.5.4.1. Constitution d'un TGBT.....	13
I.5.4.2. Distribution électrique et tableau divisionnaire	14
I.5.4.2.1. Description et rôle du tableau divisionnaire.....	14
I.5.4.2.2. Équipements internes, de façade et repère des câbles.....	14
I.5.5. Alimentation sans interruption ou onduleur	15
I.5.6. Batteries de compensation ou groupe statique.....	16
I.5.7. Câbles de liaison	16
I.5.8. Les jeux de barres.....	16
I.6. Les lots techniques de l'installation	17
I.6.1. Partie des courants faibles (CFA)	17
I.6.1.1. Système de sécurité incendie (SSI)	17
I.6.1.1.1. Système de détection incendie (SDI)	18
I.6.1.1.2. Système de mise en sécurité incendie (SMSI)	19
I.6.2. Système de contrôle des accès mécaniques et piétons par lecteurs de badges.....	20
I.6.2.1. Moyens d'indentification du contrôle d'accès.....	20
I.6.3. Système de sonorisation de sécurité.....	22
I.6.3.1. Constitution d'un système de sonorisation de sécurité.....	22
I.7. Partie des courants forts	23
I.7.1. Système CVC ou HVAC	23
I.7.1.1. Les chaudières.....	23
I.7.1.2. Les groupes d'eau glacés.....	24
I.7.1.3. Centrale de traitement d'air CTA.....	25

I.7.1.3.1.	Rôle des divers éléments.....	26
I.7.1.3.1.	Les ventilo-convecteurs.....	27
I.8.	Récepteurs électrique de l'installation.....	28
I.9.	Conclusion.....	28
Chapitre II : Etude et Calculs énergétiques		
II.1.	Introduction	29
II.2.	Etape d'une étude d'installation électrique	29
II.2.1.	Récolte d'informations	29
II.2.2.	Analyse des calculs	31
II.3.	Phase de calcul du bilan puissance	32
II.4.	Procédure du calcul du bilan puissance	32
II.4.1.	Formules de base pour calculer les puissances.....	33
II.4.2.	Calcul de la puissance appelée.....	35
II.4.3	Les coefficients des installations	35
II.4.3.1.	Coefficient simultanéité	35
II.4.3.2.	Coefficient d'utilisation	36
II.4.3.3.	Coefficient d'extension	37
II.5.	Calcul de la section de câbles.....	37
II.5.1.	Calcul l'intensité transportée par le câble.....	38
II.5.2.	Facteur de correction.....	38
II.5.3.	Calcul du courant de court circuit.....	39
II.6.	Calcul de la chute de tension.....	40
II.7.	Schéma synoptique de l'installation.....	42
II.7.1.	Répartition des tableaux et de charges.....	44
II.8.	Calcul manuel du bilan de puissance par tableau de distribution.....	44
II.8.1.	Introduction.....	44
II.8.2.	Bilan de puissance par tableau de distribution	45
II.8.2.1.	Cas des tableaux en énergie préférentielle (EP).....	45
II.8.2.2.	Cas des tableaux de l'énergie en continuité (EC):.....	48
II.8.2.3.	Cas des tableaux en énergie préférentielle (EP) et en continuité (EC).....	49
II.8.2.4.	Cas des tableaux en énergie de sécurité (ES).....	50
II.8.2.5.	Cas des tableaux en énergie de sécurité (ES) et en continuité.....	50
II.9.	Choix du transformateur BT.....	52
II.10.	Choix du groupe électrogène.....	53
II.11.	Choix de l'alimentation sans interruption.....	53
II.12.	Conclusion.....	53
Chapitre III : Optimisation de l'énergie électrique par la gestion technique du bâtiment		
III.1.	Introduction.....	54
III.2.	Présentation du logiciel « Enterprise Buildings Integrator ».....	55
III.2.1.	Différents types d'affichage de rapports des événements.....	55
III.3.	Systèmes concernés par la gestion technique du bâtiment GTB	57
III.4.	Schéma de principe de gestion technique du bâtiment.....	57

III.4.1.	Composition de base du système de gestion technique du bâtiment.....	58
III.5.	Façade principale du système de gestion du bâtiment.....	59
III.6.	Recommandations sur l'optimisation de la consommation énergétique dans l'école	60
III.7.	Optimisation sur les circuits d'éclairages.....	61
III.7.1.	Techniques d'optimisation de l'énergie électrique dans la partie éclairage.....	61
III.7.2.	Intégration des systèmes de contrôle (Horloge à fonction d'automate) aux circuits éclairage.....	61
III.7.2.1.	Réduction à partir des commandes à distances	62
III.7.2.2.	Réduction à partir d'un contrôle adopté par la GTB.....	65
III.7.2.2.1.	Résultats de la consommation d'énergie dans la partie électrique	66
III.7.2.2.2	Interprétation des résultats.....	68
III.8.	Techniques d'optimisation de l'énergie électrique dans la partie mécanique.....	69
III.8.1.	Réduction de la consommation énergétique dans les systèmes mécaniques.....	69
III.8.1.1.	Production « groupes d'eau glacé et chaudières ».....	69
III.8.1.2.	Distribution « pompes ».....	70
III.8.1.3.	Consommation « CTA, ventilo-convecteurs, Batteries terminaux ».....	71
III.8.2.	Réduction de la consommation de la partie mécanique à partir d'un contrôle adopté par la GTB.....	73
III.8.2.1.	Résultats de la consommation d'énergie dans la partie mécanique.....	74
III.8.2.2.	Interprétation des résultats.....	76
III.9.	Impact de la GTB sur les coûts énergétique.....	77
III.9.1.	Partie éclairage.....	77
III.9.2.	Partie Chauffage, Ventilation et Climatisation.....	78
III.10.	Conclusion	79
	Conclusion générale	80

Liste des figures

Figure I.1 :	Plan de maquette de l'école Eshra.....	5
Figure I.2 :	Position géographique de l'école Eshra.....	6
Figure I.3 :	Plan de masse de l'école Eshra.....	7
Figure I.4 :	Principe de la distribution électrique dans l'école.....	9
Figure I.5 :	Schéma synoptique du cheminement de l'énergie électrique depuis la centrale jusqu'aux consommateurs (client BT).....	10
Figure I.6 :	Poste de distribution HTA/BT.....	11
Figure I.7 :	Groupe électrogène vu interne.....	11
Figure I.8 :	Groupe électrogène vu externe.....	11
Figure I.9 :	Panneau de commande du groupe.....	12
Figure I.10 :	Principe de l'inverseur des sources.....	12
Figure I.11 :	Tableau Général Basse Tension (T.G.B.T).....	13
Figure I.12 :	Schéma de principe d'une ASI.....	15
Figure I.13 :	Schéma de principe des batteries de compensations.....	16
Figure I.14 :	Les jeux de barres.....	17
Figure I.15 :	Schéma synoptique du système de sécurité incendie.....	18
Figure I.16 :	Schéma de principe de désenfouage mécanique.....	20
Figure I.17 :	Schéma de configuration du système de contrôle d'accès.....	21
Figure I.18 :	Schéma synoptique du système de sonorisation de sécurité.....	22
Figure I.19 :	Schéma de principe d'une chaudière sur logiciel.....	24
Figure I.20 :	Schéma de principe d'un groupe d'eau glacé sur logiciel.....	24
Figure I.21 :	Schéma de principe de fonctionnement de la centrale de traitement d'air.....	25
Figure I.22 :	Centrale traitement d'air double CTA.....	26
Figure I.23 :	Vu du ventilo-convecteur sur logiciel.....	27
Figure I.24 :	Vu externe d'un ventilo-convecteur.....	27
Figure II.1 :	Diagramme des différentes puissances électriques (Triangle de Fresnel).....	33
Figure II.2 :	Schéma de la chute de tension maximale entre l'origine et l'utilisation.....	40
Figure II.3 :	Schéma de distribution de l'énergie électrique.....	43
Figure III.1.	Gestion des alarmes et événements.....	56
Figure III.2.	Exemple d'affichage d'un écran spécifique.....	56
Figure III.3.	Architecteure principe de fonctionnement de la GTB.....	57
Figure III.4.	Façade principale du système de GTB.....	59
Figure III.5.	Commande d'éclairage des escaliers du RDC (A) alimenté par TE-RDCA/EP.	62
Figure III.6.	Commande d'éclairage RDC Bloc A, escaliers 1, 2 et 3 avec plage d'horaires..	63
Figure III.7.	Mode automatique de l'éclairage RDC Bloc A, escaliers 1, 2 et 3.....	64
Figure III.8.	Etat d'alimentation de la TGBT_EN_EP.....	64
Figure III.9.	Exemple des valeurs réelles des tensions, courants et puissances.....	65
Figure III.10.	Variation de la consommation de la puissance active en fonction du temps (Circuit éclairage).....	67
Figure III.11.	Variation de la consommation de la puissance en fonction du temps (Circuit	67

	éclairage).....	
Figure III.12.	Trois groupes d'eau glacés en pleine de fonctionnement.....	70
Figure III.13.	Pompes jumelées en pleine de fonctionnement.....	71
Figure III.14.	CTA en pleine de fonctionnement.....	72
Figure III.15.	Ventilo-convecteur en pleine de fonctionnement.....	72
Figure III.16.	Batteries terminaux en pleine de fonctionnement.....	73
	Variation de la consommation de la puissance active en fonction du temps	
Figure III.17.	(Circuit CVC).....	75
	Variation de la consommation de la puissance apparente en fonction du temps	
Figure III.18.	(Circuit CVC).....	75

Liste de tableaux

Tableau II.1:	Coefficient de simultanéité dans le cas générale, norme NFC 15-100.....	36
Tableau II.2:	Coefficient de simultanéité dans le cas des tableaux de distribution.....	36
Tableau II.3:	Coefficient d'utilisation pour les récepteurs.....	37
Tableau II.4:	Caractéristiques de quelques types de récepteur.....	38
Tableau II.5:	Chutes de tension dans les installations NFC 15.100 (525).....	40
Tableau II.6:	Tableau électrique générale Usage électriques d'école en énergie préférentielle (TE-GEN1/EP).....	46
Tableau II.7:	Tableau électrique générale cuisine et house-keeping en énergie préférentielle (TE-GEN2/EP).....	46
Tableau II.8:	Tableau électrique générale usages mécaniques de l'école en énergie préférentielle (TE-GEN3/EP).....	47
Tableau II.9:	Tableau électrique général de l'école en énergie en continuité (TE-GEN/EC)	48
Tableau II.10:	Tableau électrique du poste de garde en énergie en continuité (TE-PDG/EC)	49
Tableau II.11:	Tableau électrique du service de cabine de réception, énergie en continuité (TE-SREC-/EC).....	49
Tableau II.12:	Tableau électrique des services en énergie préférentielle et en continuité (TE-SRE-/EP-EC).....	49
Tableau II.13:	Tableau électrique du local anti-incendie (TE-AI/ES).....	50
Tableau II.14:	Tableau électrique de la salle de contrôle (TE-SC/ES-EC).....	50
Tableau II.15:	Tableau électrique de la toiture (TE-TB/ES)	50
Tableau II.16:	Tableau récapitulatif des bilans de puissance.....	51
Tableau II.17:	Résultats du calcul de la puissance du transformateur à installer.....	52
Tableau II.18:	Spécification technique du groupe statique 160kv KVA.....	53
Tableau II.19:	Spécification technique du groupe statique 6,5kv KVA.....	53
Tableau III.1 :	Relevé des valeurs réelles des puissances dans 24 heures (partie éclairage).....	66
Tableau III.2 :	Ecart des valeurs de puissances en pourcentage (partie éclairage)	66
Tableau III.3 :	Relevé des valeurs réelles des puissances dans 24 heures (partie CVC).....	74
Tableau III.4 :	Ecart des valeurs de puissances en pourcentage (partie CVC).....	74
Tableau III.5 :	Tarif de l'énergie active et réactive facturée par KWh.....	77
Tableau III.6 :	Facture estimative de la consommation d'énergie active et réactive pour la partie éclairage sans optimisation.....	77
Tableau III.7 :	Facture estimative de la consommation d'énergie active et réactive pour la partie éclairage avec optimisation	76
Tableau III.8 :	Facture estimative de la consommation d'énergie active et réactive pour la partie CVC sans optimisation.....	78
Tableau III.9 :	Facture estimative de la consommation d'énergie active et réactive pour la partie CVC avec optimisation.....	78

Liste des abréviations

HBS:	Honeywell Buildings Solutions
ESHRA:	Ecole Supérieure d'Hôtellerie et de Restauration
CFO:	Courants forts
CFA:	Courants faibles
MT:	Moyen tension
BT:	Basse tension
HTA:	Haute tension/A
CLPG:	Cellule de protection générale
ERP:	Etablissement recevant du public
TGBT:	Tableau Général Basse Tension
ASI:	Alimentation sans interruption
ASSC :	Alimentation statique sans coupure
SSI:	Système de sécurité incendie
SDI :	Système de détection incendie
SMSI:	Un système de mise en sécurité incendie
CVC:	Chauffage, Ventilation et Climatisation
HVAC:	Heating, Ventilation and Air-Conditioning
CTA:	Centrale de traitement d'air
EP:	Energie préférentielle
ES:	Energie de sécurité
EC:	Energie en continuité
GTB:	Gestion technique des bâtiments.
UTA:	Unité de traitement d'air
EBI:	Enterprise Buildings Integrator (logiciel)

Introduction

Générale

Introduction Générale

De nos jours, l'évolution et l'analyse de la consommation énergétique dans le secteur du bâtiment en Algérie connaissent une croissance importante vue le développement de ce dernier, particulièrement dans la saison d'été et d'hiver, à cause du changement climatique y compris la demande en électricité.

L'intérêt de la mise en place d'une politique d'efficacité énergétique dans le bâtiment nécessite des techniques et des systèmes de très haute technologie qui permettent en même temps l'utilisation optimale de cette richesse, le confort en termes d'utilisation ainsi l'augmentation de la durée de vie des différents équipements liés à ce genre de solution.

L'éclairage présente l'un des plus grands systèmes en termes de consommation d'énergie, s'il s'agit d'un mauvais choix des équipements à installer et aussi le non respect des recommandations du fournisseur lors de l'utilisation de cette dernière.

L'école est soumise en permanence à des changements climatiques à savoir la température, l'ensoleillement, le vent ... ; ces facteurs viennent perturber son état thermique interne qui influera à son tour sur le confort des occupants.

Dans ce sens, et dont l'objectif est de rendre les occupants insensibles aux variations climatiques externes, il est nécessaire de mettre en place des systèmes de régulation qui prennent en compte tous les phénomènes météorologiques ainsi les caractéristiques thermiques des locaux et les exigences de confort.

Toutes ces conditions amènent à mettre des systèmes conformément aux normes en vigueur notamment le système de supervision qui permet de maîtriser les coûts relatifs à la consommation d'énergie et en impliquant une gestion optimale de toutes les installations des courants forts et des courants faibles.

C'est dans cette vision que se situe mon projet de fin d'études qui porte sur l'étude de dimensionnement et optimisation énergétique d'un complexe administratif.

Le mémoire est organisé de la manière suivante :

Le chapitre 1 sera consacré en premier lieu à la présentation générale de l'entreprise, de l'école et la définition de son système de distribution avec les différents éléments principaux constituant l'installation électrique y compris les lots courant faible et forts.

Le chapitre 2 présente l'étude et les calculs énergétiques en vue de déterminer les éléments électriques principaux de l'installation à savoir le transformateur, le choix du groupe électrogène, l'alimentation sans interruptions ainsi que le choix des batteries de compensation.

Le chapitre 3 se concentre sur un bilan de puissance avec et sans système de gestion technique centralisé par le logiciel EBI de HONEYWELL

Objectifs de travail :

Les objectifs principaux de ce travail qui traite les solutions optimales d'une installation électrique qui peuvent être résumées par les points suivants :

- ✓ Elaboration d'un bilan de puissance pour déterminer les différents équipements électriques.
- ✓ Réduire la consommation énergétique dans l'école.
- ✓ Réduire les coûts directs et indirects.
- ✓ Adaptation au changement climatique.
- ✓ Assurer une meilleure exploitation en termes confort et maintenance préventive.

CHAPITRE I :

Description générale du projet

I.1. Introduction

Le présent chapitre comprend une description générale du projet qui est l'école supérieure d'hôtellerie et restauration avec ses blocs constitutifs et les différents systèmes électriques et électroniques. On passera d'abord par la présentation de l'entreprise chargée de la réalisation de la partie GTB.

I.2. Présentation de l'organisme d'accueil

HBS Honeywell Buildings Solutions est un groupe industriel diversifié classé au Fortune 100, leader dans les systèmes de haute technologie utilisés dans les avions, voitures, résidences, bâtiments et usines de fabrication [1].

Présent en Algérie depuis 10 ans, Honeywell développe des technologies contribuant à l'urbanisation rapide du pays et à ses objectifs de croissance industrielle. Les technologies couvrent un vaste champ d'opérations, comprenant des solutions en matière d'efficacité énergétique, d'eau, de sécurité et de protection incendie pour les environnements résidentiels et commerciaux ; des systèmes de gestion et de contrôle des bâtiments ; des équipements de protection individuelle ainsi que des solutions pour le transport aérien.

Honeywell offre :

- Des solutions sophistiquées mais économiques – conçues pour offrir un retour sur investissement élevé.
- Une technologie intégrée et évolutive – pour protéger vos investissements même si vos exigences grandissent et évoluent.
- Les plus hauts niveaux de sécurité – pour dissuader, détecter et prévenir les dangers et minimiser les risques financiers et opérationnels.

I.2.1. Domaine d'activité

- **Système d'automatisation dont :**
 - ✓ **Conception et réalisation des installations de génie climatique** : elle concerne les domaines industriels et tertiaires à savoir climatisation, ventilation, filtration, désenfumage, plomberie sanitaire, chauffage et fluides industriels, protection incendie...

- ✓ **Electricité Bâtiments et tertiaire** : elle contribue à l'amélioration des performances dans un monde de plus en plus concurrentiel en matière de courants forts, courants faibles, mise en œuvre de groupes électrogènes, onduleurs, postes de transformation, armoires électriques automatismes, instrumentation. Dans le domaine tertiaire, HBS Algérie développe de nombreuses solutions associant ses compétences en électricité, réseaux et génie climatique, et met en œuvre des réponses souples et adaptées au service du confort et de la sécurité des occupants.
- **Système de sécurité et sureté** : HBS Algérie dispose des solutions globales en termes de sureté et sécurité de haut niveau de compétence dans les systèmes de détection et mise en sécurité incendie, contrôle d'accès, télésurveillances, anti intrusion.
- **Maintenance et exploitation** : HBS Algérie dispose d'une offre globale de maintenance et de gestion technique de haut niveau de compétences : maintenance corrective, maintenance préventive systématique et conditionnelle, ingénierie de maintenance...

I.3. Présentation de l'école Supérieure d'Hôtellerie et de Restauration d'Oran (ESHRA)

ESHRA est une institution publique placée sous la tutelle du ministère de l'Enseignement supérieur et de la recherche scientifique qui a été créée dans le cadre d'une stratégie nationale de soutien du secteur du tourisme qui participera au développement économique et touristique en Algérie.

Offrant un programme de formation de qualité internationale autour des métiers de l'accueil. Elle bénéficie d'infrastructures modernes et d'un enseignement de pointe dans la science, l'art et les techniques de management des métiers de l'accueil.

Les formations proposées permettent aux étudiants d'accéder au marché de l'emploi grâce aux études répondant parfaitement aux besoins du secteur du tourisme d'aujourd'hui et de demain, apportant une compétitivité considérable pour démarrer une carrière avec succès. Former des talents pour une carrière dans l'industrie de l'hôtellerie et de la restauration nord et transmettre du savoir, du savoir-faire et du savoir vivre continuellement mis à jour aux parties prenantes ; étudiants, enseignants, industrie et au marché en général.

ESHRA propose une licence en Gestion Hôtelière, accréditée par le gouvernement Algérien et le soutien académique de l'Ecole Hôtelière de Lausanne, cette école est la première en Afrique qui entreprend une collaboration avec Lausanne [2].

I.3.1. Durée du cursus

- ✓ Quatre (4) années d'études.
- ✓ Diplôme : Licence internationale en gestion hôtelière et restauration, agréée par le ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique et en collaboration académique avec l'Ecole Hôtelière de Lausanne [2].

I.3.2. Conditions d'accès

- ✓ Baccalauréat dans toutes les filières.



Figure I.1 : Plan de maquette de l'école Eshra [3]

I.3.3. Position géographique

L'école **Eshra** est située au nord de la ville d'Oran dans une région stratégique comme le montre le plan de position suivant :



Figure I.2 : Position géographique de l'Eshra

I.3.4. Plan d'aménagement

L'école Eshra, est constituée de trois blocs plus un bloc dédié aux locaux techniques, et sont repartis comme suit :

- ✓ **Bloc A** : représente les salles de formation comportant chacun un nombre de classes avec des cuisines repartis sur les quatre niveaux de l'étage 1 à l'étage 4 et le rez de chaussée réservé pour local sécurité et local d'alimentation sans interruptions (UPS).
- ✓ **Bloc B** : représente l'hébergement des étudiants repartis sur les quatre niveaux du 1^{er} au 4^{ème} et les professeurs en 5^{ème} étage qui comporte chacun un nombre de chambres.
- ✓ **Bloc C** : regroupe le restaurant, les halls d'accueils et l'auditorium.
- ✓ **Bloc H** : regroupe les différents locaux techniques à savoir le transformateur, la TGBT, la centrale thermiques (la chaudière) et la centrale hydraulique (le groupe eau glacé)

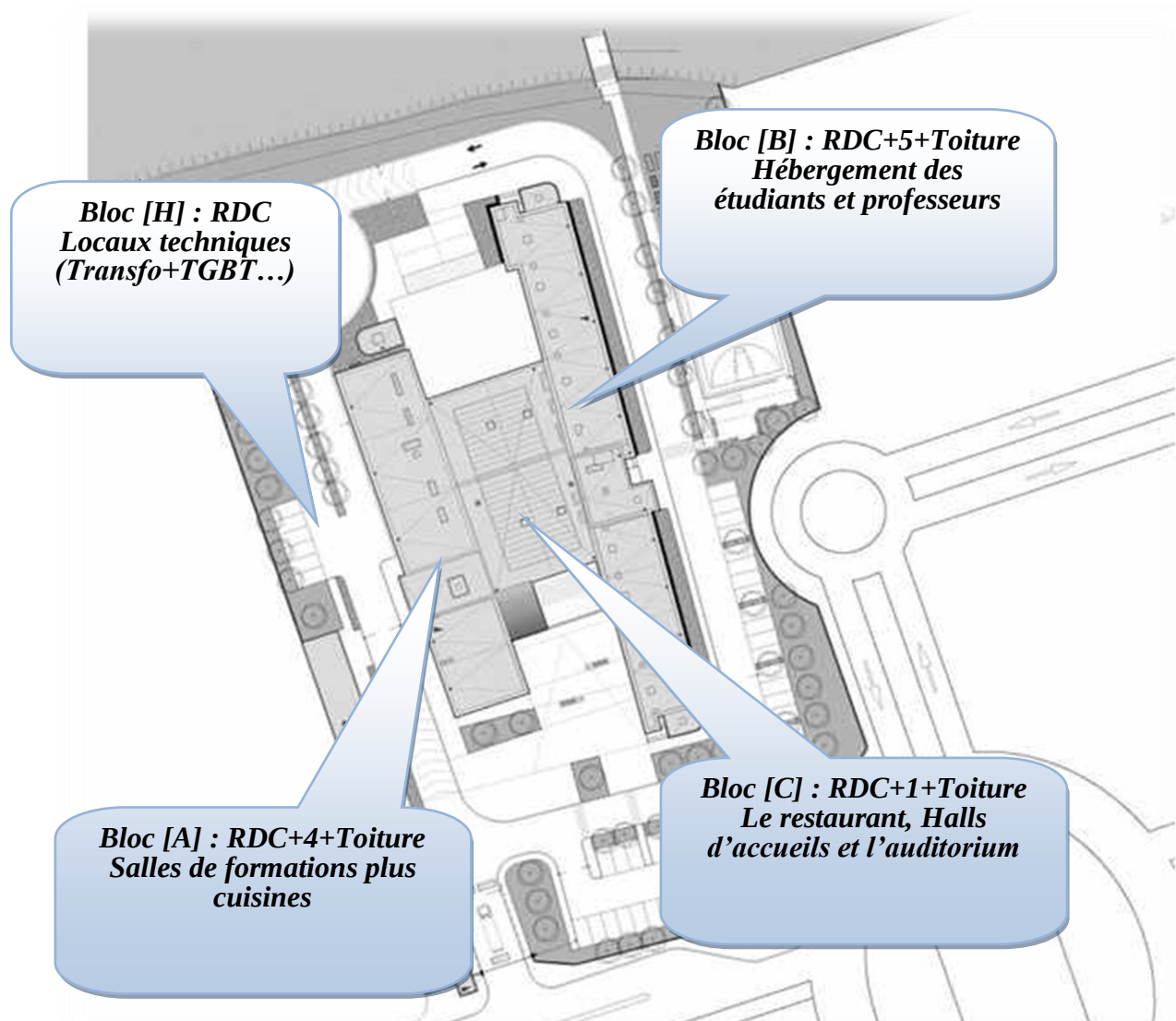


Figure I.3 : Plan de masse de l'école Eshra [3]

I.3.5. Dimensionnement générales de l'école

- ✓ Surface terrain: 13.100 m².
- ✓ Bâtiment: 9.660 m².
- ✓ Catégorie: Ecole public.
- ✓ Parking : 50 voitures.
- ✓ Chambres 2 lits: 50.
- ✓ Chambres 1 lit: 4.
- ✓ Suites Professeurs : 6.
- ✓ Cuisines didactiques: 48 places.
- ✓ Cuisine professionnelle : 1.

- ✓ Salle Dégustation: 16 places.
- ✓ Salle d'étude Bibliothèque Laboratoire informatique : 31 places
- ✓ Classe entière: 62 places.
- ✓ Auditorium: 170 places.
- ✓ Vestiaires étudiants: 60 personnes.
- ✓ Vestiaires personnel: 24 personnes.
- ✓ Restaurant: 135 places.
- ✓ Administration [3].

I.4. Introduction aux systèmes électriques d'une installation

Dans le domaine du bâtiment, l'électricité est l'énergie la plus utilisée cela implique que tous les systèmes électriques soit conçus de sorte à respecter les aspects suivants:

- ✓ La mise en sécurité des installations électrique et des matériels.
- ✓ La protection des occupants contre le contact direct, avec une pièce nue mise sous tension, les risques d'arc électrique dont les conséquences sont l'électrisation, l'électrocution, l'incendie et l'explosion.
- ✓ Le respect des règles de sécurité et les normes locales et internationales lors de l'utilisation ou des opérations sur ou à proximité des installations électriques.
- ✓ La bonne gestion de la consommation électrique afin de réduire les pertes et éventuellement économiser l'électricité [4].

I.5. Principe de dimensionnement d'une installation électrique

Le dimensionnement d'une installation électrique est un art difficile dans la mesure où il nécessite de prendre en considération des impératifs techniques, normatifs et économiques.

L'étude d'une architecture complète se résume en quatre (04) grandes fonctions élémentaires : le poste de transformation avec un système de secoure en énergie, les câbles, les tableaux pour la distribution et le système de protection.

L'objectif final de dimensionnement est de mettre à disposition les fonctionnalités électriques auprès de l'exploitant en garantissant la sécurité des biens et des personnes.

De façon systématique, nous distinguons deux lots techniques dans une installation :

- **Les courants forts (CFO) :** regroupent tous les systèmes qui ont besoins d'une basse tension (230v et 380v).

- **Les courants faibles (CFA) :** regroupent tous les systèmes qui ont besoin d'une alimentation de faible tension (24v et 48v).

Le présent organigramme permet de définir les différentes parties constituant l'installation électrique comme le poste transformation, le groupe électrogène, les onduleurs, la TGBT et les différentes parties des tableaux de distributions...

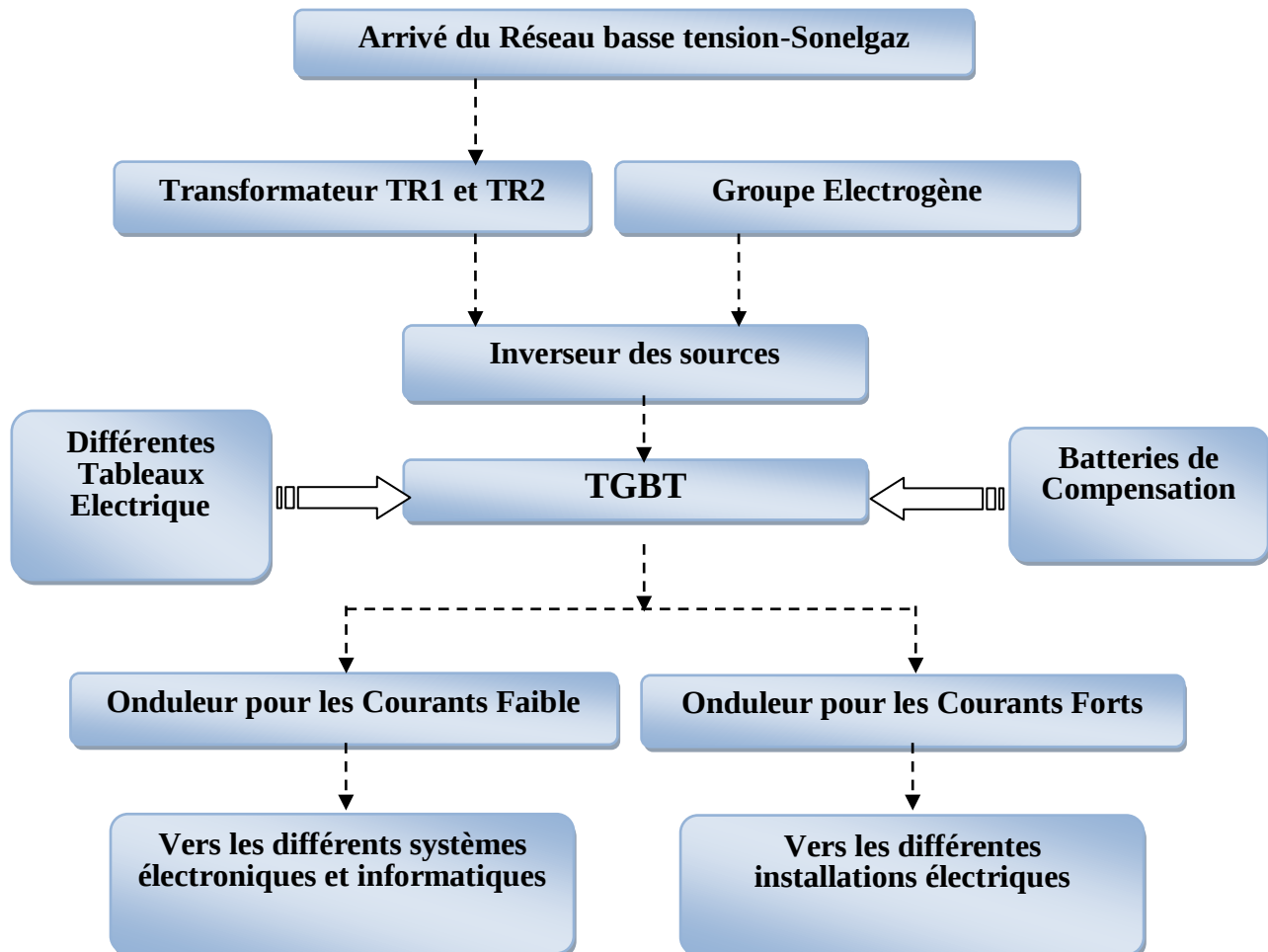


Figure I.4 : Principe de la distribution électrique dans l'école

I.5.1. Présentation des éléments de la distribution

Le réseau principal de distribution électrique à l'intérieur de l'école est triphasé avec une tension de 380 V/220V, 50 Hz, qui va alimenter en principe tous les systèmes installés dans cette dernière.

I.5.1.1. Poste de transformation

Un poste de transformation est un élément du réseau électrique essentiel servant à la fois à la transmission et à la distribution d'électricité pour les consommateurs.

Il permet d'élever la tension pour sa transmission ou de l'abaisser pour l'alimentation des différentes installations électriques équipées par des cellules arrivées, départs et de protections et se trouvent aux extrémités des lignes de transports de l'électricité et de distribution.

Il existe plusieurs types de transformateur à savoir :

- **Postes de sortie des centrales de production** : servent à assurer le raccordement des centrales au réseau électrique.
- **Postes d'interconnexion** : servent à l'interconnexion de plusieurs lignes électriques haute tension (HT), très haute tension (THT).
- **Postes de distribution** : servent à abaisser le niveau de tension afin de permettre la distribution de l'énergie électrique aux utilisateurs.

Le cheminement de l'énergie électrique depuis les centrales de production jusqu'aux consommateurs en basse tension (BT).

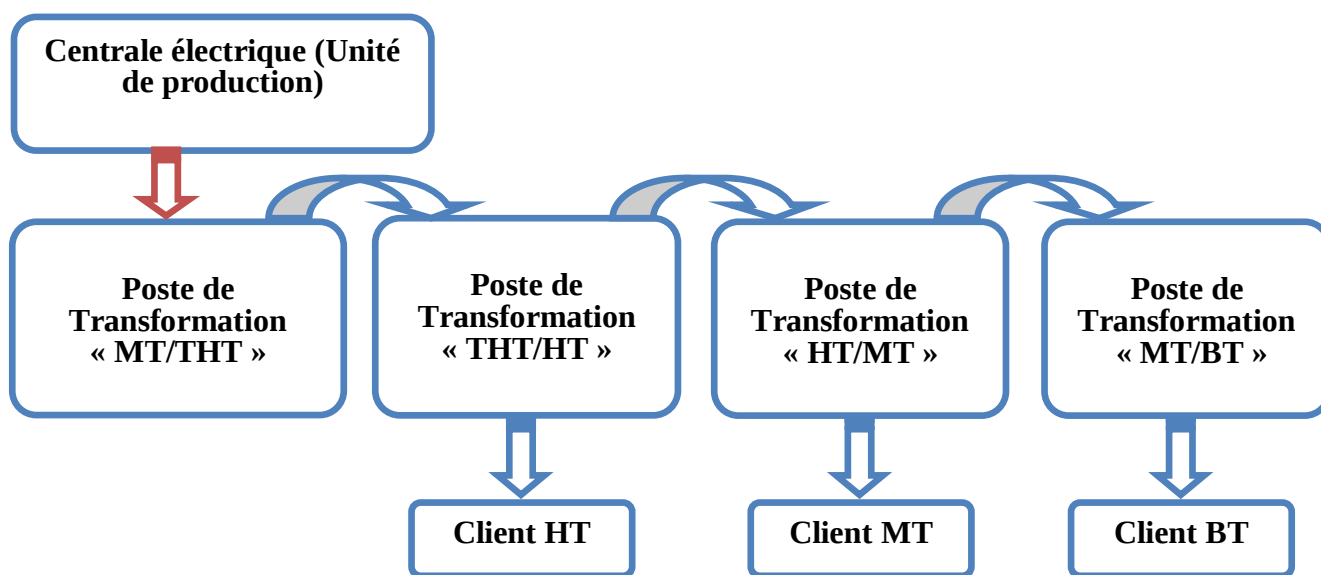


Figure I.5 : Schéma synoptique du cheminement de l'énergie électrique depuis la centrale jusqu'aux consommateurs (client BT)

Dans ce cas on se base sur le poste de transformation MT/BT qui est situé généralement dans des endroits spécifiques à savoir les groupes d'abonnés ou particuliers. Il abaisse la tension à des valeurs appropriées aux appareils soit domestiques ou industriels.

Ce genre de postes est localisé entre le réseau de distribution HTA, MT et le réseau de distribution de la basse de tension.

- ✓ Cellules de départs: assurent l'alimentation vers le réseau extérieur.

- ✓ Cellules des protections : assurent la protection du poste de transformation.
- ✓ Cellule de protection générale (CLPG) : elle se trouve juste après le poste.

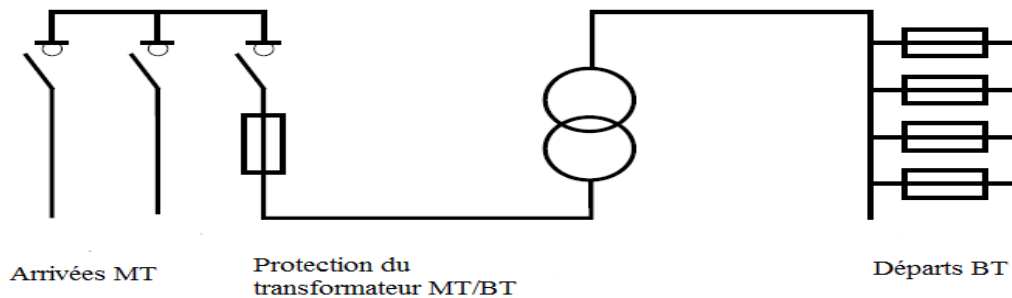


Figure I.6 : Poste de distribution HTA/BT

I.5.1.1.1. Equipements des postes de transformation

- **Départ** : C'est un ensemble d'appareils de connexion reliant électriquement une ligne, un câble ou un transformateur aux jeux de barres.
- **Câble** : C'est un élément essentiel du réseau, sa fonction est le transit de l'énergie électrique. Sa durée de vie dépend des conditions auxquelles il est soumis [5].
- **Boîte de dérivation** : c'est une carcasse métallique destinée à réaliser la jonction des câbles HTA souterrains.
- **Disjoncteur** : c'est un appareil de protection, assure l'élimination des défauts survenant dans les circuits qu'ils protègent.

I.5.2. Groupe électrogène

Un groupe électrogène est un dispositif autonome capable de produire de l'électricité, sa puissance s'exprime soit en VA (Voltampère), KVA (Kilovoltampère) ou en MVA (Mégavoltampère), Ils sont constitués généralement d'un moteur thermique qui actionne un alternateur. [6]

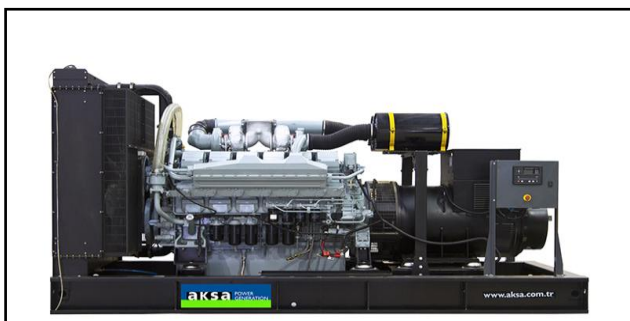
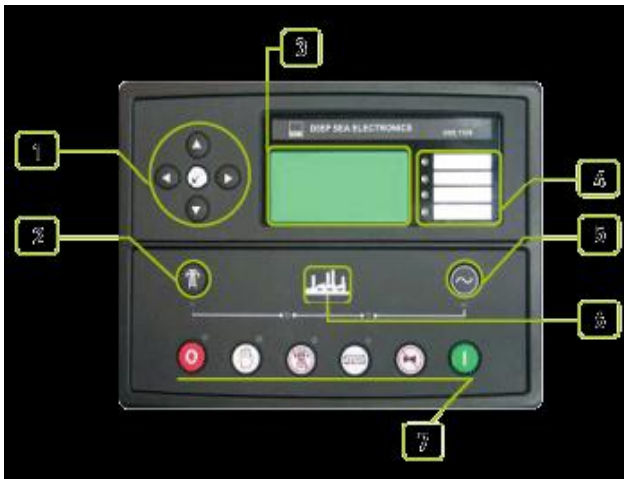


Figure I.7: Groupe électrogène vu interne [7]



Figure I.8: Groupe électrogène vu externe [7]



1. Les boutons de navigation de menu.
2. Le bouton de réseau et de transfert.
3. Les situations d'exploitation par LCD et les paramètres de mesures.
4. LED d'alarme de panne.
5. Le bouton de générateur et de transfert
6. LED de situation
7. Les boutons de choix de mode du fonctionnement

Figure I.9 : Panneau de commande du groupe [7]

Ce dispositif est utilisé dans des situations où l'interruption de l'alimentation électrique entraîne des conséquences graves ou des pertes financières à titre d'exemple dans les hôpitaux, les usines de productions, les aéroports, les centres informatiques.

Il fonctionne à base du carburant (gazoil), son rôle est d'assurer la continuité de service en cas de coupure du réseau électrique et permet d'atteindre des puissances et des durées de fonctionnement importantes selon la norme NF pour les établissements recevant du publics ERP.

I.5.3. Inverseur des sources

Ce dispositif permet le démarrage automatique du groupe électrogène d'une installation sans intervention humaine il détecte d'une façon automatique le retour de l'électricité et l'arrêt du groupe. Il est équipé généralement par un disjoncteur qui assure l'inversion des sources secourue ou normale en toute sécurité en cas d'interruption de l'alimentation en électricité.

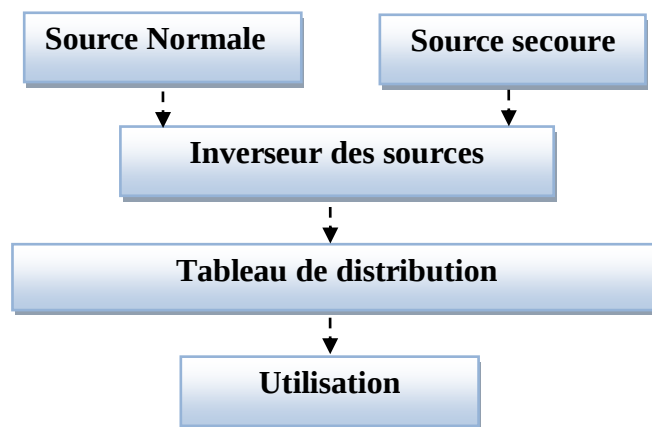


Figure I.10 : Principe de l'inverseur des sources

I.5.4. Tableau Général Basse Tension (TGBT)

Est un signe qui désigne *Tableau Général Basse Tension* c'est le cœur de l'installation vu qu'il assure la protection de tous les départs de l'installation électrique.

Ce tableau fait le lien entre le réseau de distribution du fournisseur et l'alimentation en électricité du réseau des consommateurs, aussi est suivi par des tableaux divisionnaires qui permettent d'adapter la tension électrique.



Figure I.11 : Tableau Général Basse Tension (TGBT)

En général, la TGBT contient des disjoncteurs de branchements, différentielles, des interrupteurs sélectionneurs, des parafoudres, une interface téléphonique.... [8].

Aussi des appareils de mesures affichent les grandeurs électriques, des outils de supervision qui permet de visualiser en temps réel l'état des éléments de l'installation électriques (mesures et commande à distance) [8].

I.5.4.1. Constitution d'un TGBT

Les TGBT ont tous en commun les 6 parties suivantes (mais modulées différemment) :

- ✓ La tête d'installation : les disjoncteurs, les interrupteurs, les sectionneurs....
- ✓ La protection contre la foudre : parafoudre type I (TGBT) et II (tableau divisionnaires).
- ✓ La protection tête de groupe : disjoncteurs.
- ✓ La protection des départs : disjoncteurs, sectionneurs....

- ✓ Les commandes et divers : les minuteries ; télerrupteurs...
- ✓ Les coffrets et armoires [8].

Il pourrait aussi y avoir :

- ✓ Des appareils de mesure, qui affichent la grandeur électrique ou contrôlent et optimisent à distance une installation électrique via un réseau dédié.
- ✓ Des outils de supervision, qui permettent de visualiser en temps réel l'état des éléments de l'installation électrique (mesure et commande à distance).

I.5.4.2. Distribution électrique et tableau divisionnaire

I.5.4.2.1. Description et rôle des tableaux divisionnaires :

Du fait de la modularité des solutions, le tableau divisionnaire présente beaucoup d'avantages à savoir :

- ✓ Facilité de mise en œuvre
- ✓ Facilité de maintenance.
- ✓ L'optimisation de l'espace de câblage, châssis extractibles, plaques amovibles.
- ✓ Sont installés à proximité de la zone qu'ils protègent, comme ils sont également plus faciles et rapide de réagir en cas de coupure d'un circuit.

I.5.4.2.2. Équipements internes, de façade et repère des câbles

- **La disposition des équipements internes devra être :**
 - ✓ Homogène entre les différents tableaux
 - ✓ Fixés sur platine et/ou rail modulaire.
 - ✓ Composés de plastrons préfabriqués, rendront inaccessibles les contacts directs avec les éléments conducteurs.
 - ✓ Présent un degré de protection contre les contacts directs au moins égal à IP2X.
- **Le repérage des câbles est une :**
 - ✓ Précaution essentielle pour garantir des interventions rapides et sûres.
 - ✓ Les fabricants généralement proposent des systèmes de repérages manuels et informatisés pour faciliter cette opération
- **Les équipements en façade permettent :**
 - ✓ Des manœuvres de sectionnement par l'intermédiaire d'organes de commande (commande de l'interrupteur général, arrêt d'urgence).

- ✓ Sont situés sur la face avant des tableaux avec voyants de présence de tension. Comme pour toutes les installations [8].

I.5.5. Alimentation sans interruption ou onduleur

Une alimentation sans interruption ou une alimentation statique sans coupure (ASSC), ou encore un onduleur, est un dispositif de l'électronique de puissance qui permet de fournir un courant alternatif stable et dépourvu de coupures ou de microcoupures, quoi qu'il se produise sur le réseau électrique.

Les ASI de dernières générations permettent également de maximiser le facteur de puissance du réseau, et de délivrer une haute qualité d'énergie en sortie.

Le terme onduleur est fréquemment utilisé, l'ensemble du dispositif. C'est le cas pour les « onduleurs » que l'on intercale entre le réseau de distribution et les serveurs d'un centre informatique [9].

Mode de fonctionnement :

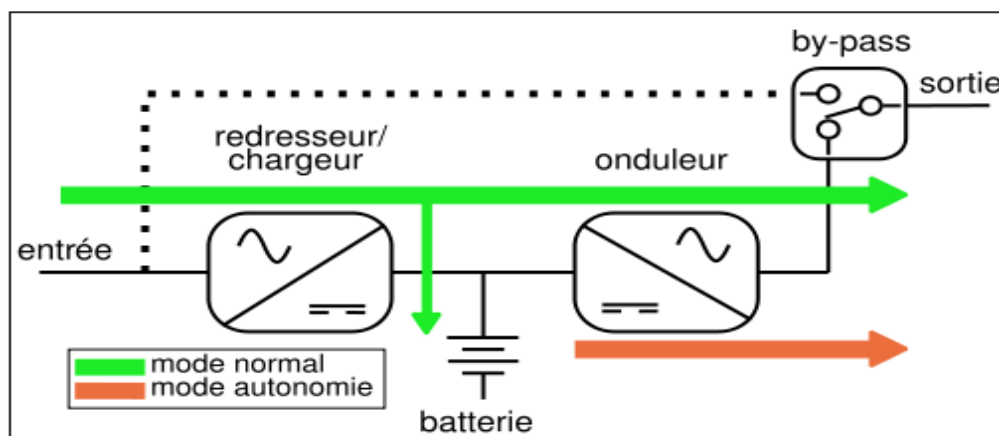


Figure I.12 : Schéma de principe d'une ASI [10]

- ✓ **En mode normal :** l'onduleur est en série entre le réseau et la charge. La puissance fournie à la charge transite en permanence par le duo chargeur-onduleur qui réalise une double conversion alternatif/continu - continu/alternatif [10].
- ✓ **En mode autonome :** l'onduleur et la batterie assurent l'alimentation de la charge.

L'onduleur régénère en permanence la tension fournie par le réseau, ce qui permet une régulation précise de la tension et de la fréquence de sortie. Par ailleurs, le passage du mode normal au mode autonome s'effectue instantanément, sans aucun délai de permutation [10].

I.5.6. Batteries de compensation ou groupe statique

Les condensateurs de compensation sont alors dimensionnés de manière que le facteur de puissance global soit supérieur à 0,85, dans le cas le plus fréquent.

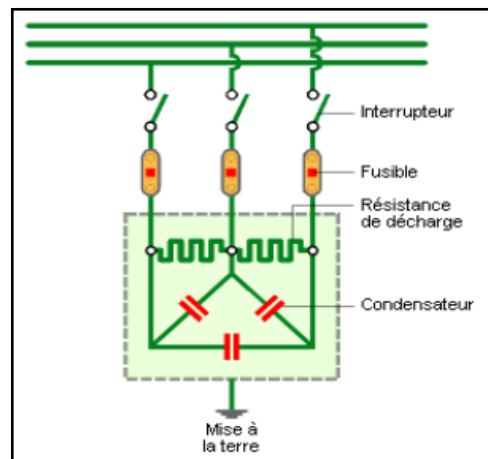


Figure I.13 : Schéma de principe des batteries de compensations [11]

I.5.7. Câbles de liaison

Les câbles électriques sont des éléments importants d'une installation électrique, en outre un surdimensionnement engendre des surcoûts dans la réalisation du projet, par contre un sous dimensionnement peut engendrer des échauffements et causer la dégradation des équipements alimentés d'où la nécessité d'un dimensionnement optimal.

Le choix des sections des câbles doit satisfaire plusieurs conditions pour assurer la sûreté de l'installation, et ce, en conformité avec les recommandations de la norme NF C 15-100.

I.5.8. Les jeux de barres

Sont destinés à assurer le transport d'énergie électrique entre le transformateur et les tableaux généraux de distribution dits TGBT.



Figure I.14 : Les jeux de barres

Le choix d'un jeu de barres se fait en fonction de 4 paramètres :

- ✓ Le type du matériau (cuivre ou aluminium).
- ✓ L'intensité du courant à faire transiter.
- ✓ La valeur du courant de court-circuit éventuel à supporter.
- ✓ La disposition des barres en fonction des raccordements.

Les principaux problèmes posés par l'emploi des jeux de barres peuvent se regrouper en deux catégories :

- ✓ Les conditions d'équilibre thermique avec leur environnement immédiat, qui déterminent les courants admissibles, pour une température acceptable du métal ; elles sont soumises à l'influence de nombreux facteurs
- ✓ Les conditions de réalisation mécanique, en fonction des contraintes susceptibles de leur être appliquées, tant en service normal qu'en cas de défaut (court-circuit) [12].

En conclusion, tous ces éléments englobent l'installation électrique pour assurer une fiabilité des fonctionnalités techniques dans les meilleures conditions possibles en terme de l'alimentation ; la distribution et la protection.

I.6. Les lots techniques de l'installation

I.6.1. Partie des courants faibles (CFA)

Cette partie concernera les systèmes suivants :

I.6.1.1. Système de sécurité incendie (SSI): Système constitué de l'ensemble des équipements nécessaires à la détection d'incendie et éclairer par le schéma synoptique suivant [13]:

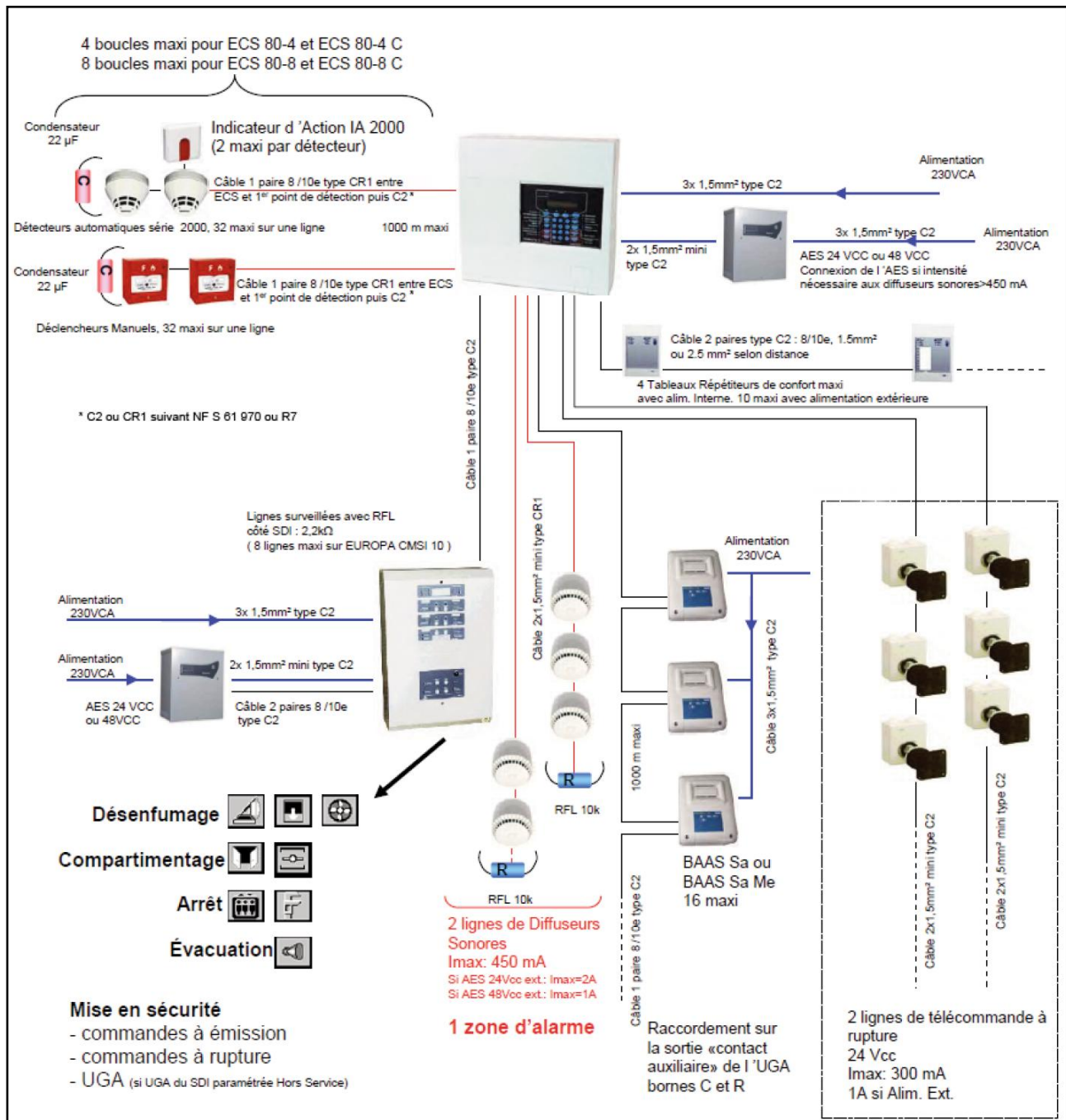


Figure I.15 : Schéma synoptique du système de sécurité incendie [13]

Dans sa version la plus complexe, un SSI est composé de deux sous-systèmes principaux :

I.6.1.1.1. Système de détection incendie (SDI)

Système constitué de l'ensemble des équipements nécessaires à la détection d'incendie et comprenant :

- ✓ Les détecteurs d'incendie
- ✓ L'équipement de contrôle et de signalisation (ECS).
- ✓ Les alimentations électriques secourues.
- ✓ Les déclencheurs manuels.
- ✓ Les organes intermédiaires [14].

I.6.1.1.2. Un système de mise en sécurité incendie (SMSI)

Système constitué de l'ensemble des équipements qui assurent, à partir d'information ou d'ordres reçu, les fonctions préalablement établies nécessaires à la mise en sécurité d'un bâtiment ou d'un établissement en cas d'incendie.

Le système de mise en sécurité incendie est l'ensemble des équipements nécessaires au fonctionnement de la mise en sécurité des personnes et du bâtiment en cas d'incendie. Les fonctions de mise en sécurité permettent :

- ✓ Une évacuation rapide et sûre (désenfumage).
- ✓ Eviter la propagation du feu (compartimentage).
- ✓ Faciliter l'engagement des secours.

Il est composé d'un :

- ✓ Centralisateur de mise en sécurité incendie (CMSI) permet d'analyser et de gérer la mise en sécurité aussi bien des commandes automatiques et manuels à savoir les moteurs de désenfumages et d'extractions, les clapets coupe feu, les volets et éventuellement les diffuseurs sonores,...
- ✓ Alimentation électrique de sécurité et a pour but d'assurer le fonctionnement du SSI en cas de coupure de courant électrique et a une autonomie minimale de 12 heures en veille et 10 minutes sous alarme, elle est également connecté au CMSI et a une autonomie minimale de 12 heures en veille et 01 heure sous alarme [15].

Cette partie du système a pour but de désenfumer le compartiment sinistré à l'aide des ventilateurs évacuation de fumée et amenée d'air frais, muni de coffrage électrique asservi au système de sécurité anti-incendie (SSI).

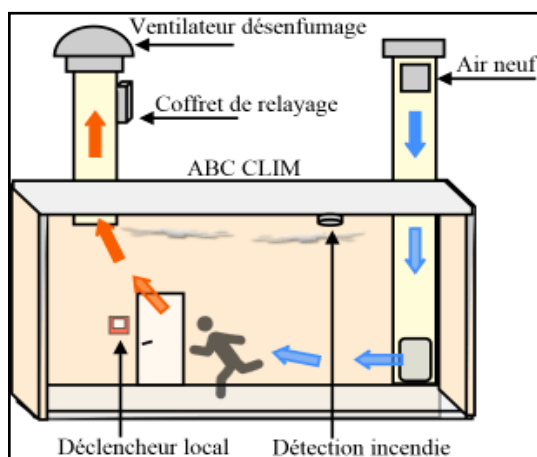


Figure I.16 : Schéma de principe de désenfumage mécanique [16]

I.6.2. Système de contrôle des accès mécaniques et piétons par lecteurs de badges

Le contrôle d'accès est une technique qui consiste à soumettre l'entrée d'un établissement ou, des locaux à l'intérieur d'une entreprise, à une autorisation d'accès.

Cette autorisation d'accès a pour but de protéger des personnes, des biens ou des informations. Elle peut s'adresser :

- ✓ Au personnel de l'entreprise ou seulement aux visiteurs et fournisseurs.
- ✓ A certains membres du personnel pour certains lieux sensibles (bureaux, études, salles informatiques,...).
- ✓ A toutes les heures ou certaines heures de la journée ou de la nuit.

Pour L'autorisation d'accès, il y a trois façons de prouver son identité face à un système informatique :

- ✓ De montrer ce que l'on sait (un mot de passe ou code).
- ✓ De montrer ce que l'on possède (un objet, telle une carte à puce, un badge).
- ✓ De prouver qui l'on est grâce à une caractéristique physique propre (biométrie) [17].

I.6.2.1. Moyens d'indentification du contrôle d'accès

L'identification est la première fonction primaire intervenant dans la configuration d'un système de contrôle d'accès. Elle permet de déterminer avec beaucoup de précision, quel est l'utilisateur qui se présente à l'accès pour lui donner une autorisation de passage ou un refus. La base de données de ce système définira pour chaque identifiant ses droits d'accès.

C'est cet identifiant qui est présenté à une unité de lecture ou de reconnaissance. L'unité a pour fonction de transformer l'information introduite en entrée en une information de sortie compréhensible en langage informatique destinée à l'unité de traitement. Elle est appelée « lecteur ». Il existe différents types de lecteurs qui dépendent des technologies des identifiants sélectionnés. On peut distinguer trois familles principales d'identifiants :

- **Les codes (clavier) :** le clavier est un dispositif qui permet la reconnaissance des codes. L'utilisateur saisit un code qui est comparé à celui de la base de données du système.
- **Les cartes d'accès (magnétiques, optiques, électromagnétiques) :** ce sont des dispositifs qui permettent la lecture des informations contenues dans les badges. L'utilisateur présente son badge au lecteur, qui décrypte les informations contenues et les transmet à l'unité de traitement pour comparaison avec la base de données. Dans ce cas, la disparition de badge identifiant peut être rapidement connue avec une réaction immédiate.
- **Les caractéristiques physiologiques d'une personne (empreintes...) :** la biométrie est une technique visant à établir l'identité d'une personne en "mesurant" une de ses caractéristiques physiques. L'utilisateur se présente au lecteur, qui mesure les caractéristiques et les transmet à l'unité de traitement pour comparaison avec celles contenues dans la base de données.

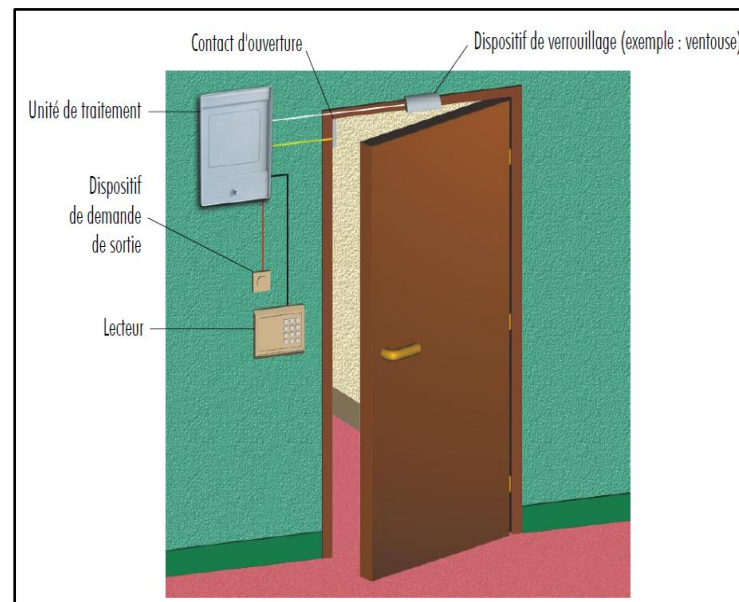


Figure I.17 : Schéma de configuration du système de contrôle d'accès

I.6.3. Système de sonorisation de sécurité

Le principe de mise en place d'une solution de sonorisation consiste à produire un fond sonore agréable et audible dans les différents secteurs du bâtiment, à destination des personnels et des visiteurs....

Un système de ce type est particulièrement utile dans des situations d'urgence, où il est important d'alerter le public de manière audible et ciblée. Les personnes peuvent alors être évacuées de façon ordonnée.

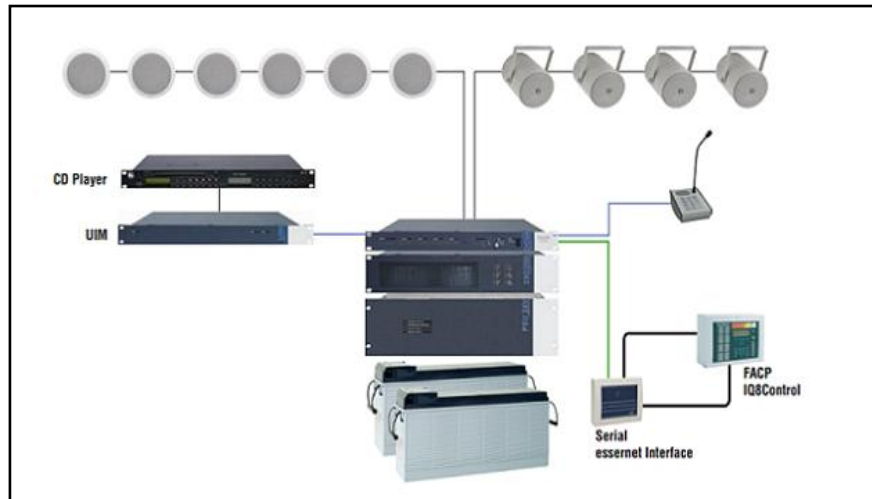


Figure I.18 : Schéma synoptique du système de sonorisation de sécurité [18]

I.6.3.1. Constitution d'un système de sonorisation de sécurité

Le système SSS (Système de Sonorisation de Sécurité) est composé de :

- **Les hauts parleurs :** sont utilisées pour des messages et des signaux d'alarme (alarme d'évacuation, signal de fin d'alerte), ainsi que pour des signaux d'avertissement.
- **Les modules de sorties numériques :** le module de sortie numérique est l'élément de commande centrale, il dispose d'interfaces vers tous les modules d'entrée/sortie, gère et surveille les circuits des haut-parleurs. Tous les amplificateurs de puissance sont surveillés en permanence. En cas de défaut, un amplificateur de secours remplace l'amplificateur de puissance défectueux de façon automatiquement.
- **Les amplificateurs de puissance :** les amplificateurs de puissance possèdent des canaux amplificateurs indépendants, ils sont contrôlés et surveillés par les modules de sortie numérique.
- **Alimentation de secours:** gestionnaire d'alimentation de secours pour l'alimentation électrique de sécurité des équipements SSS.

- **Batterie d'accumulateur pour alimentation électrique de sécurité:** batterie d'accumulateur 12V /105 ou 150 Ah pour Alimentation Electrique de Sécurité.
- **Lecteur CD/Tuner/MP3:** utiliser comme une source de musique.
- **Station d'appel numérique:** les stations d'appel numériques servent à la sélection de circuits de haut-parleurs, la transmission d'annonces vocales, ainsi que de diverses alarmes.

I.7. Partie des courants forts

Il s'agit de différents systèmes qui présentent une consommation importante de l'énergie électrique, à savoir le système CVC/HVAC (Chauffage, Ventilation et Climatisation/ Heating, Ventilation and Air-Conditioning) et le système d'éclairage.

I.7.1. Système CVC ou HVAC

Le système « **Heating, Ventilation and Air-Conditioning** », en abrégé HVAC, diffusé mondialement, est un ensemble de domaines techniques regroupant les corps d'état traitant du confort aéraulique. Ce qualificatif s'applique à tous types de bâtiments (habitat, tertiaire, industriel), et regroupe les spécialistes du chauffage, de la ventilation et de la climatisation. L'objectif de ce genre de système est d'assurer aux usagers des conditions d'hygiène et de sécurité respectant la réglementation en vigueur, ainsi qu'un certain niveau de confort maîtrisé dans un bâtiment.

- ✓ Le niveau d'hygiène (CO₂, polluants, particules, odeurs, etc.)
- ✓ Le niveau de sécurité (clapets coupe feu dans les gaines de ventilation, désenfumage, etc.)
- ✓ La température d'ambiance (en hiver et en été)
- ✓ L'hygrométrie (l'humidité de l'air). [19]

Le fonctionnement de ce système est basé sur trois étapes principales à savoir :

- ✓ **La production** : les chaudières et les groupes eau glacé
- ✓ **La distribution** : les pompes.
- ✓ **La consommation** : les CTA, le ventilo-convecteurs...

I.7.1.1. Les chaudières

Les chaudières des systèmes de chauffage sont en général alimentées par des combustibles, tels que le fioul, le gaz ou le charbon. En brûlant, le combustible chauffe des pièces métalliques, qui transfèrent la chaleur de l'eau, de la vapeur ou même de l'air.

Les chaudières à gaz répondent aux besoins de chauffage et eau chaude sanitaire ainsi que l'alimentation des batteries chaudes au niveau des CTA et les ventilo convecteurs.

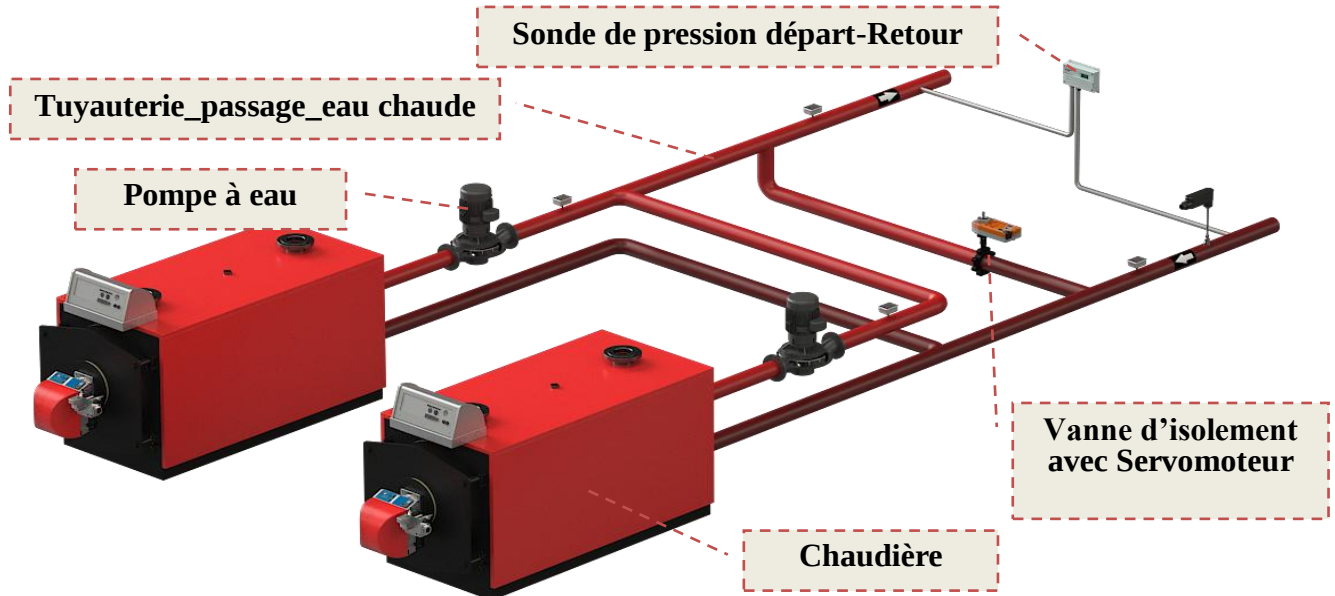


Figure I.19 : Schéma de principe d'une chaudière sur logiciel

I.7.1.2. Groupe d'eau glacé

Les groupes d'eaux glacées sont la partie la plus importante dans une installation HVAC, leurs rôles est de refroidir l'eau (Eau glacée) pour l'alimentation de toutes les CTA.

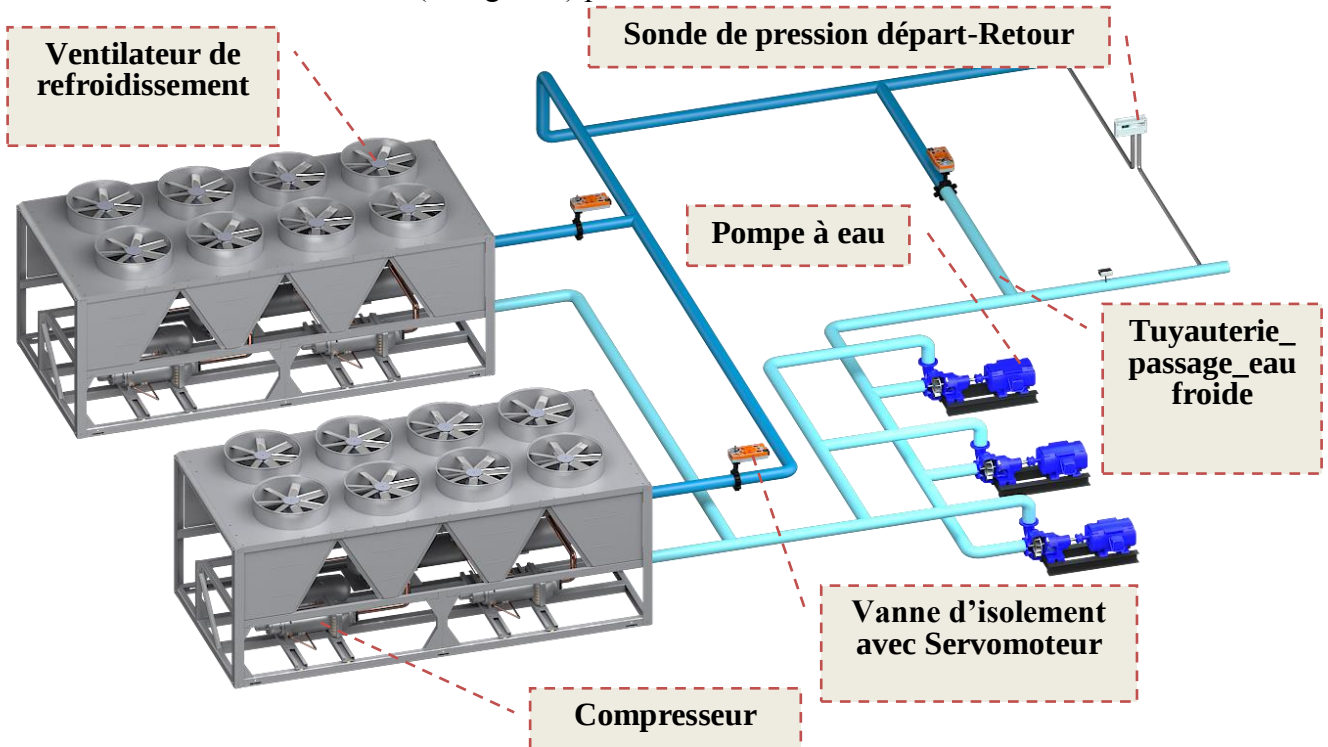
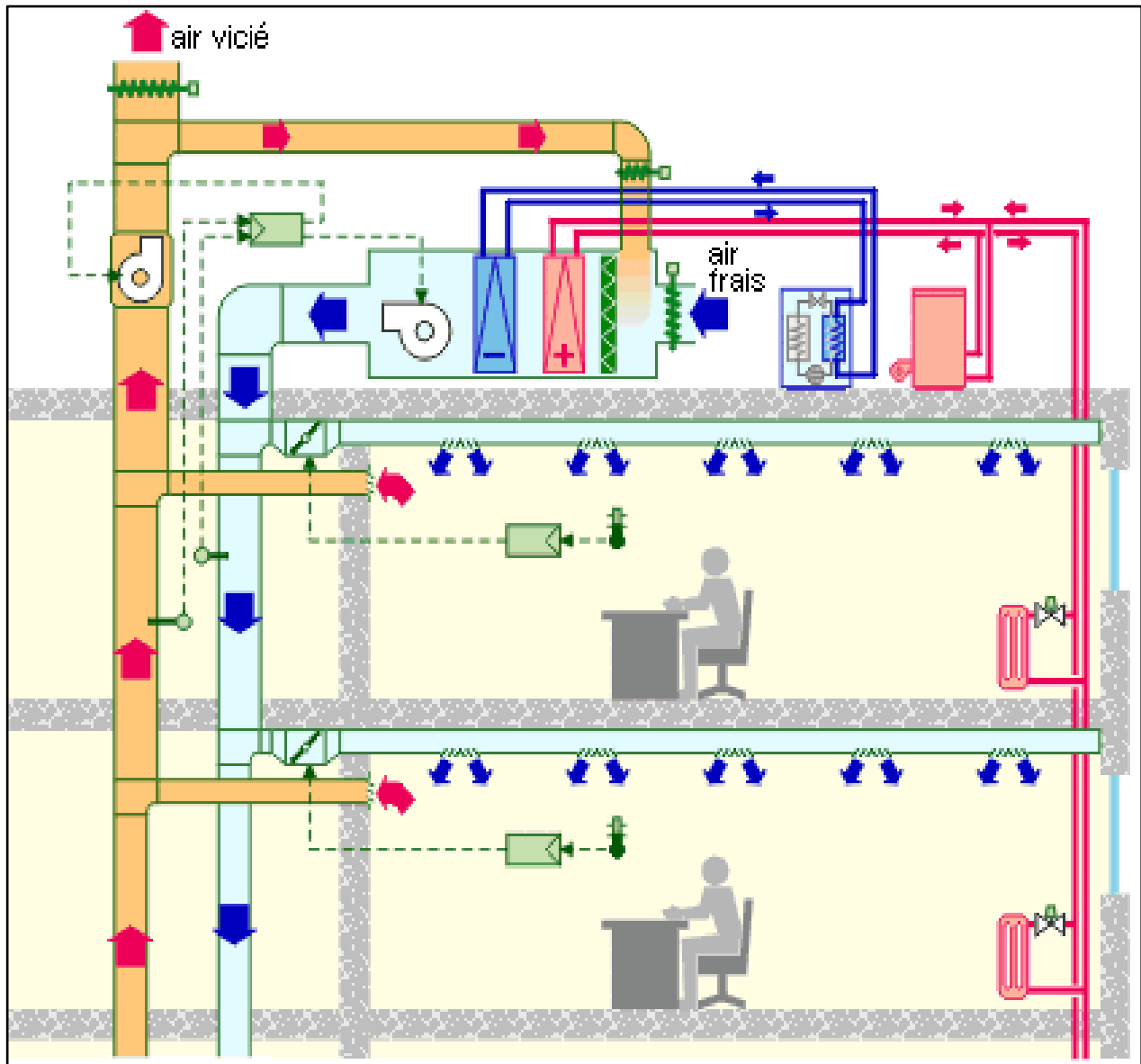


Figure I.20 : Schéma de principe d'un groupe d'eau glacé sur logiciel

I.7.1.3. Centrale de traitement d'air CTA

Est un élément technique dédié au chauffage, au rafraîchissement, à l'humidification ou à la déshumidification, qui peut être un système d'air à débit constant ou variable.

Le schéma suivant explique le principe de fonctionnement d'une centrale de traitement d'air dans l'immeuble



.Figure I.21 : Schéma de principe de fonctionnement de la centrale de traitement d'air [20]

La CTA double flux, elle permet toutes les combinaisons possibles entre la reprise d'air, l'air neuf, l'air rejeté, l'air traité suivant la configuration.

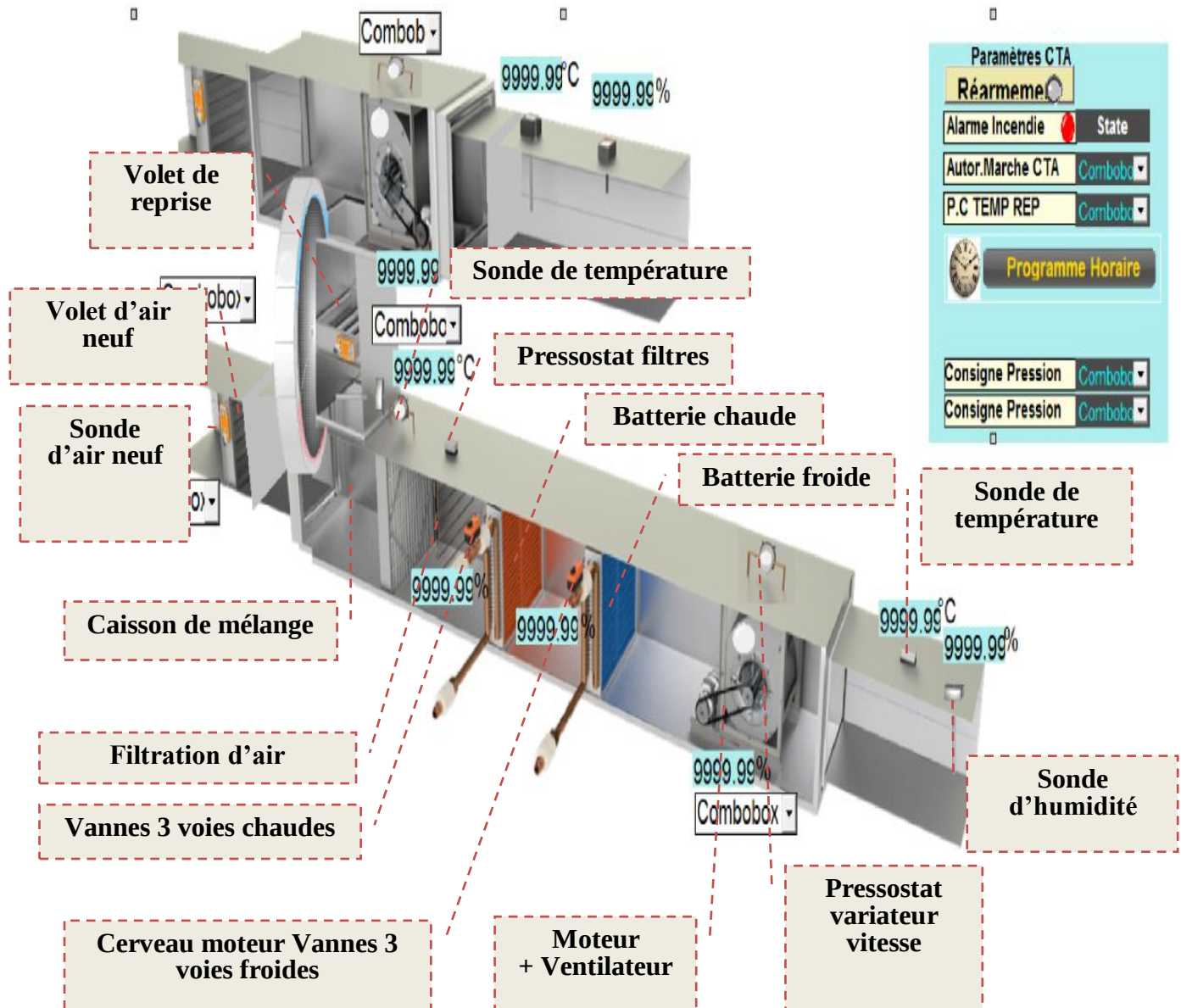


Figure I.22 : Centrale traitement d'air CTA [20]

I.7.2.3.1. Rôle des divers éléments de la CTA

- **Volet d'air neuf** : ce volet motorisé réglé en fonction de la régulation du débit d'air neuf.
- **Volet de reprise** : il régule l'admission de l'air repris dans le local à traiter, fonctionne en parallèle avec le volet d'air neuf.

- **Caisson de mélange** : un ensemble de 2 ou 3 registres permettant le réglage des débits d'air neuf, d'air recyclé, d'air rejeté, le tout constitue le caisson de mélange.
Les registres sont pilotés par des servomoteurs (rotatifs ou linéaires).
- **Filtration**: la filtration protège la CTA contre la poussière et les diverses particules nuisibles au fonctionnement et au confort des personnes.
- **Batterie chaude** : spirale en cuivre où l'eau chaude circule munie d'ailettes en aluminium afin de favoriser l'échange avec l'air, l'eau et l'air circulant à contre-courant.
- **Batterie froide** : la batterie froide peut être à détente directe (fluide frigorigène) ou à eau glacée (configuration identique à la batterie eau chaude).
- **Moteur-ventilateur** : un groupe moteur-ventilateur à entraînement direct (raccordement direct par l'arbre de transmission) ou par un jeu de poulies – courroie pour faire entraîner l'air vers les locaux.

I.7.1.3.2. Les ventilo-convecteurs

Le ventilo-convecteur est un appareil terminal, l'air repris est filtré puis traverse une ou deux batteries à eau ou électrique avant d'être envoyé dans la pièce. Il peut être placé au sol, fixé au mur ou au plafond ou intégré dans le plafond [21].

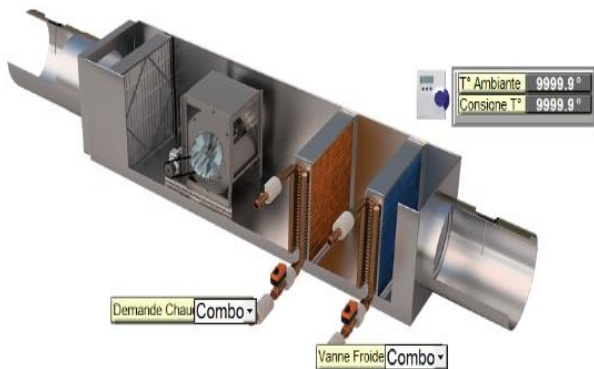


Figure I.23 : Vue du ventilo-convecteur sur logiciel [22]



Figure I.24 : Cassette d'un ventilo-convecteur [23]

I.8. Récepteurs électriques de l'installation:

L'installation dans son ensemble est constituée par une distribution électrique équilibrée des énergies de consommation de différents récepteurs installés suivant leurs puissances dédiée et calculée, le choix des récepteurs est arrêté par rapport à la fiabilité et la durée de vie pour le besoin du projet en tenant compte de l'optimisation en termes d'utilisation afin de minimiser des dépenses énergétique inutiles et c'est le but recherché dans notre projet.

Notre installation dans sa globalité est constituée des récepteurs suivants :

- ✓ Eclairages
- ✓ Prises monophasé et triphasé.
- ✓ Forces motrices.
- ✓ Moteurs électriques.

Dans notre étude, mon travail est consacré uniquement à parler et développer la partie éclairage dont l'optimisation énergétique des circuits dédiées à la partie électrique.

I.9. Conclusion

Cette étude nous a permis de connaître la stratégie de l'état de développer le secteur du tourisme en créant des écoles supérieures comme Eshra Oran qui la deuxième école dans sa série en Algérie ainsi que l'environnement du travail avec certains système de haute technologies dans les domaines du courants fort et du courant faible.

Ce genre d'immeuble comme le notre nécessite des installations électriques et électroniques avec un bon dimensionnement de tous les équipements constituant cette dernière et ce, depuis la source jusqu'aux récepteurs avec un système de distribution conforme et qui répond aux normes en vigueur et ce, tout en respectant la qualité et le cout globale de ces dernières.

CHAPITRE II :

Etude et Calculs énergétiques

II.1. Introduction

Ce chapitre est consacré aux différents calculs afin d'établir un bilan de puissance général relatif à l'installation, en utilisant des puissances des récepteurs constituent l'installation pour pouvoir dimensionner le poste de transformation ainsi que le groupe électrogène, les tableaux, les sections des câbles reliant les armoires électriques et les chutes de tensions et cela, se déroulera en plusieurs étapes.

II.2. Etape d'une étude d'installation électrique

Pour atteindre ces objectifs, l'étude d'une installation électrique se fait méthodiquement en respectant les étapes citées ci-dessous.

II.2.1. Récolte d'informations

Dans cette étape, il est nécessaire de connaître l'établissement faisant l'objet de l'étude pour cela, les informations suivantes sont indispensables.

- ✓ **Le plan architectural de l'établissement.**
- ✓ **Définir la nature des récepteurs à alimenter et leurs emplacements à savoir :**
 - a) **L'éclairage :** le type, le nombre et l'emplacement.
 - b) **Les prises de courants :** 16A destinées pour une utilisation bureautique et au de-là de 32A monophasé ou triphasé pour les forces motrices.
 - c) **La climatisation et le chauffage :** ce type nécessite un seul circuit par unité, la section du câble, le calibre de la protection dépend de la puissance installée de l'unité correspondante.
 - d) **D'autres récepteurs :** selon le besoin tel que les pompes, les extracteurs, les condensateurs peuvent exister dans une installation électrique dont il est indispensable de connaître leur puissance et l'emplacement exacte pour déterminer le circuit de protection adéquat.
- ✓ **Le mode de l'architecture de la distribution électrique pour assurer :**
 - a) Un entretien et exploitation facile.
 - b) Un faible courant de court circuit.
 - c) Plusieurs niveaux de protection.
- ✓ **Répartition de l'installation électrique :** pour permettre d'aboutir à définir les tableaux, les coffrets et l'armoire générale.

- ✓ **Choix de la source d'alimentation** : selon le bilan de puissance, le raccordement peut se faire à partir du réseau MT/BT ou bien directement par réseau BT et pour le faire il est nécessaire de déterminer :
 - a) **Puissance installé** : est la somme de toutes les puissances des récepteurs, elle correspond aux plaques signalétiques en tenant compte de rendement.
 - b) **Puissance consommée réellement par les récepteurs** : dépend du mode de fonctionnement de ces dernières pour la calculée, il est nécessaire de tenir compte d'un facteur d'utilisation.
 - c) **Puissance appelée** : tient compte de fait qu'un certain nombre de récepteur ne fonctionne pas aux mêmes tempes, il est nécessaire de tenir compte des facteurs de simultanités.
- ✓ **Puissance de la source d'alimentation** : elle calculée en introduisant un coefficient d'extension de sécurité qui tient compte d'une éventuelle croissance de demande d'énergie.
- ✓ **Le choix de régime du neutre qui se divise en trois types** :
 - a) **Régime TT** : le neutre de transformateur est relié à une prise de terre, les masses de l'installation sont raccordées à une prise de terre impudente.
 - b) **Régime IT** : le neutre de transformateur est isolé de la terre ou relié à une prise de terre à travers une impédance de valeur élevée. les masses de l'installation sont raccordées à une prise de terre impudente.
 - c) **Régime TN** : le neutre de transformateur est relié à une prise de terre. les masses de l'installation sont raccordées à travers un conducteur de mise à la même prise de terre. On distingue deux types **TN-S** (conducteur indépendant de neutre), **TN-C** (conducteur confondu avec le neutre).
- ✓ **Le choix des sections du câble des conducteurs** : il doit être choisie de telle façon que l'élément de protection agisse avant la distribution du câble donc elle doit satisfaire ce qui suit :
 - a) **Le bon fonctionnement de l'installation.**
 - b) **Un dimensionnement économique.**
 - c) **La sécurité des personnes.**
 - d) **La protection des équipements alimentés.**
- ✓ **L'intensité de courant transportée par le câble en régime nominale** : dépend en générale par la puissance appelée par récepteur, l'alimentation et le facteur de puissance.

Cette intensité doit être corrigée par des facteurs de corrections qui dépendent généralement de :

- a) **La température ambiante.**
- b) **La température admissible par le câble.**
- c) **La condition de mode de pose.**
- ✓ **Le courant de court circuit** : ce courant se manifeste lorsqu'il y a une liaison direct.
- ✓ **La chute de tension** : est la différence exprimée en volt entre la source d'alimentation et l'arrivée (coté récepteur) d'un câble, cette dernière est généralement exprimée en pourcentage par rapport à la tension de la source.
- ✓ **Calibre des disjoncteurs de protection** : un disjoncteur est un appareil mécanique de connexion capable d'établir, supporter et d'interrompre un courant dans un circuit électrique. Le choix d'un disjoncteur dépend de :
 - a) **Caractéristique de l'installation** : tension, nombre de pôles, intensité de courant et pouvoir de coupure.
 - b) **Continuité de service désirée** : soit par une sélectivité totale ou partielle.
 - c) **Règles de protection** : protection des personnes contre les contacts directs indirects, protection des câbles et des équipements [24].

II.2.2. Analyse des calculs

L'analyse des calculs est une vérification de la note de calcul qui a été élaborée afin de développer la réalisation en termes des résultats obtenues en comptant sur les paramètres suivants :

- ✓ **Vérification des sélectivités** : la sélectivité sera donnée aux différentes protections en amont et en aval dans le but de limiter les conséquences d'un défaut à la seule partie de l'installation concernée. Il existe 4 types de sélectivité.
 - a) **Ampèremétrique** : consiste à placer en amont un coupe-surintensité d'intensité nominale supérieure (2 rangs) à celle du coupe-surintensité directement en aval
 - b) **Chronologique** : consiste à placer en amont un coupe-surintensité dont le temps de réaction est supérieur (à intensité équivalente) à celui du coupe-surintensité directement en aval.
 - c) **Logique** : consiste à placer en amont des coupes surintensité en cascade qui vont communiquer entre eux par un bus et décider lequel doit couper le circuit. bus logique.

d) Filiation: augmentation du pouvoir de coupure par celui placé en amont lors de très grand courant de court circuit. Défaut : toute l'installation est mise HS. [25]

- ✓ **Vérification des chutes de tensions :** depuis le tableau calcul sorti toutes les chutes de tensions calculées sont conformes aux valeurs limitées par normes en vigueur. La chute de tension doit être vérifiée entre l'origine de l'installation et l'utilisation. Si la chute de tension est acceptable, la section normalisée sera donc la section juste supérieure à la section trouvée, sinon, il faut augmenter la section et revérifier la chute de tension jusqu'à l'obtention d'une chute de tension conforme à la norme [26].
- ✓ **Vérification des dimensionnements des câbles :** les valeurs des sections des câbles calculés sont conformes aux différentes protections en amont.

II.3. Phase de calcul du bilan puissance

Cette phase peut définir le dimensionnement de l'installation et on distingue deux méthodes :

- **Méthode théorique :** cette partie consiste à faire les calculs théoriquement par l'utilisation des différentes formules fondamentales d'électricités on commençant par les valeurs électrique des récepteurs dans le but de faire le dimensionnement des différents corps de l'installation (disjoncteurs, câbles, poste de transformation...).
- **Méthode à base de logiciel :** consiste à installer des applications sur ordinateur qui permettent de faire les calculs d'une façon rapide, fiable et plus efficace à base des données injectées au préalable dans le but de faire une synthèse générale de l'installation.

II.4. Procédure du calcul du bilan puissance

L'estimation de la puissance électrique est nécessaire en régime permanent pour toutes les installations électriques. Elle permet d'assurer le fonctionnement des équipements. Chaque élément nécessite un courant différent des autres, donc une puissance différente. La puissance estimée est la puissance apparente appelée par la charge qui est différente de celle utilisée.

II.4.1. Formules de base pour calculer les puissances

La puissance installée est la somme **approximative** des puissances apparentes de tous les appareils dans l'installation qui consomment de l'électricité. (**Le théorème de Boucherot** traduit la conservation de l'énergie : **P totale** = Σ **P** partielles et **Q totale** = Σ **Q** partielles mais ce théorème ne s'applique pas pour les puissances apparentes **S**, **S totale** $\neq \Sigma$ **S** partielles).

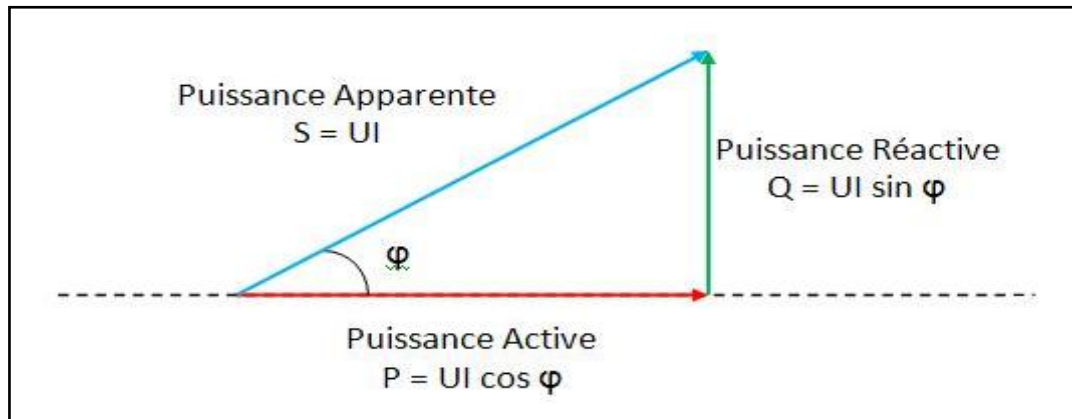


Figure II.1 : Diagramme des différentes puissances électriques (Triangle de Fresnel) [27]

- **La puissance active P**

Est la puissance utile. Correspond à une énergie active qui est absorbée et transformée dans le récepteur en énergie thermique, mécanique ...

- **La puissance réactive Q**

Correspond à une énergie réactive qui va périodiquement de la source vers le récepteur puis du récepteur vers la source, et ainsi de suite sans ne jamais être absorbé par le récepteur. L'existence d'une puissance réactive conduit à une augmentation du courant dans le générateur et la ligne alimentant le récepteur. Cette augmentation engendre un surcroît de pertes et nécessite un surdimensionnement des moyens de transport [28].

- **La puissance apparente S**

Est un élément de dimensionnement de la ligne et de générateur pour une puissance active donnée. Cette puissance estimée en « **KVA** » n'est pas la puissance utile, c'est la puissance appelée par l'installation électrique, elle vaut la puissance utile divisée par le facteur de puissance. Ainsi et comme tous les équipements sont caractérisés par leur puissance « **Pu** » nominale il est nécessaire de savoir le facteur de puissance du réseau afin de pouvoir estimer **S** et par suite la demande totale de toute l'installation.

La puissance apparente **S** est donnée par les relations suivantes :

✓ $S = \sqrt{3} \times U \cdot I$ avec « U » tension composée pour un réseau triphasé.

✓ $S = V \cdot I$ avec « V » tension simple pour un réseau monophasé.

La forme générale de la puissance apparente « S » inclut la puissance active « P », la puissance réactive « Q » ainsi S vaut :

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

Avec :

✓ « P » puissance active représentée **en monophasé** par la relation suivante:

$$P = U \cdot I \cdot \cos \phi \text{ en Watt}$$

✓ « Q » puissance réactive **en monophasé** est donnée par la relation suivante:

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \phi \text{ en VAR}$$

✓ « P » puissance active représentée **en triphasé** par la relation suivante:

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \phi \text{ en Watt}$$

✓ « Q » puissance réactive **en triphasé** est donnée par la relation suivante:

$$Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin \phi \text{ en VAR}$$

Avec :

✓ « I » : La valeur efficace du courant.

✓ « U » : La valeur de la tension composée.

✓ « ϕ » : La valeur du déphasage du courant par rapport à la tension.

✓ « $\cos \phi$ » : facteur de puissance **Fp**.

Le facteur de puissance « Fp » est défini par le rapport entre la puissance active **P (en Watts)** et la puissance apparente **S (en voltampères)**. Il varie entre 0 et 1 et n'a pas d'unité :

$$Fp = \frac{\text{Puissance active}}{\text{Puissance apparente}}$$

On peut écrire si le courant et la tension sont des fonctions sinusoïdales donc le réseau ne contenant pas d'harmoniques, le facteur de puissance est égal au cosinus du déphasage entre le courant et la

tension **Fp = $\cos \phi$** avec:

$$Fp = \frac{P}{S}$$

On remplace « S » avec sa formule on trouve :

$$Fp = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

II.4.2. Calcul de la puissance appelée

La puissance appelée du transformateur correspondant à la puissance utile « **Pu** » en (kW) s'exprime par une puissance apparente « **S** » en (KVA).

Cette puissance est évaluée en prenant en compte le facteur de puissance du réseau.

$$S (KVA) = \sum \frac{P (KVA) \times Ku \times Ks}{Fp}$$

Avec: **Ks** est le facteur de simultanéité et **Ku** est le facteur d'utilisation.

Dans la plus part des cas d'une installation électrique compensée, le facteur de puissance « **Fp** » est égal à 0,86

$$Fp = \cos \varphi = 0.86$$

Dans notre cas, le bilan puissance a été réalisé à base des puissances assignées des récepteurs en leur appliquant des facteurs d'utilisation et de simultanéité.

L'établissement des fiches Excel par armoire et par circuits avec des formules fondamentales de l'électrotechnique en intègre des facteurs d'utilisations (**Ku**) et des simultanéités (**Ks**), cela me permet de faire sortir une consommation globale et prévisionnelle de tous les circuits électriques de l'école.

Cette consommation global sera multiplié par un autre facteur dit extension ou sécurité (**Ke**) afin d'avoir une marge sécuritaire de l'installation en cas d'extension ou augmentation de la demande de puissance prévisible.

II.4.3. Les coefficients des installations

Le choix des facteurs d'utilisation et de simultanéité (Ku, Ks) dépendent essentiellement du mode d'emploi des différentes installations.

II.4.3.1. Coefficient de simultanéité

Ce facteur est inférieur ou égale à 01 et pris en considération lorsque plusieurs récepteurs sont alimentés depuis le même jeu de barres, ne fonctionnent pas en même temps, alors que leurs puissance d'utilisation sera inférieure à leurs puissance absorbée d'utilisation, ce qui nécessite une connaissance approfondie des conditions de fonctionnement et d'exploitation des systèmes installés,

Donc on peut écrire pour chaque récepteur :

$$Pu < Ks \times Pa$$

Avec :

- ✓ **Pa** : la puissance absorbée par le récepteur.
- ✓ **Pu** : La puissance d'utilisation.

- ✓ **Ks** : le facteur de simultanéité qui dépend du nombre de départs dans chaque armoire.

Ci-dessous le tableau indique les différentes Ks, correspondant aux différents tableaux de distribution.

- ✓ **Dans le cas général:**

Utilisation	Ks
Les circuits d'éclairages	1
Les circuits prise de services et courants	0,6
Les forces motrices	0,75
Alimentation des moteurs électriques puissants	1
Alimentation des moteurs moyens	0,75
Alimentation d'autres moteurs	0,6
Alimentation des centrales relatives aux systèmes des courants faibles	1
Alimentations chauffage et conditionnement d'aire	1

Tableau II.1 : Coefficient de simultanéité dans le cas générale, norme NF C 15-100 [29]

- ✓ **Dans le cas des tableaux électrique de distribution**

Nombre de circuits	Ks
Entre 2 et 3	0.9
Entre 4 et 5	0.8
Entre 6 et 9	0.7
Entre 10 et plus	0.6

Tableau II.2 : Coefficient de simultanéité dans le cas des tableaux de distribution

II.4.3.2. Coefficient d'utilisation

Ce facteur est inférieur ou égale à 01 caractérise le fait qu'un récepteur absorbe en régime normal une puissance inférieure à sa puissance nominale donc ne fonctionne pas en pleine de charge, il est pris en considération pour savoir l'importance d'utilisation des récepteurs.

Donc on peut écrire pour chaque récepteur :

$$Pu < Ku \times Pa$$

Avec :

- ✓ **Ku** : le facteur d'utilisation du récepteur.
- ✓ **Pa** : la puissance absorbée par le récepteur.
- ✓ **Pu** : La puissance d'utilisation.

Dans une installation industrielle, le facteur Ku peut varier entre 0,3 et 0,9. En l'absence d'indications plus précises, un facteur d'utilisation de 0,75 peut généralement être adopté pour les appareils à

moteur. Pour les appareils d'éclairage et de chauffage, le facteur d'utilisation est toujours égal à 1 [29].

Ci-dessous le tableau indique les différentes K_u , correspondant aux différents récepteurs

Utilisation	K_u
Canalisations principales des circuits d'éclairages	1
Les circuits prise de services et courants	0,7
Les forces motrices	0,75
Alimentation des moteurs	0,75
Alimentation des centrales relatives aux systèmes des courants faibles	1
Alimentations chauffage et conditionnement d'aire	1

Tableau II.3 : Coefficient d'utilisation pour les récepteurs

II.4.3.3. Coefficient d'extension

En outre, toutes les extensions seront prises en considération lors de la conception et la détermination du poste de transformation, ce facteur varie entre 1,2 et 1,5 avec une estimation de 30% dans les cas les plus fréquents et dans notre cas et afin d'assurer et éviter toute éventuelle consommation extensible, on prend en considération un facteur dont la valeur est $K_e = 1,5$ qui sera multiplié par la puissance calculée du poste de transformation.

En conclusion les trois coefficients sont appliqués dans le but de faire des calculs du bilan de puissance pour les tableaux divisionnaires, terminaux et particuliers.

II.5. Calcul de la section des câbles

Les câbles électriques sont considérés comme les piliers d'une installation électrique, en outre un surdimensionnement engendre des surcoûts dans la réalisation du projet, par contre un sous dimensionnement peut engendrer des échauffements et causer la dégradation des équipements alimentés d'où la nécessité d'un dimensionnement optimal pour éviter des chutes de tension.

En conformité avec les recommandations de la norme NF C 15-100, le calcul de la section des câbles obéit aux critères suivants :

- ✓ **Le mode de pose et cheminement du câble** : suivant qu'il s'agit d'une installation fixe ou mobile, on retiendra un câble souple ou rigide, en fonction des risques mécaniques.

- ✓ **La température ambiante** : les températures minimales ou maximales auxquelles le câble sera soumis détermineront la qualité des matériaux à employer pour la construction de ce câble.
- ✓ **La nature des âmes** : les âmes conductrices des câbles seront en cuivre ou en aluminium.
- ✓ **L'intensité transportée** : cette intensité est calculée en fonction de la puissance appelée par le récepteur, elle ne doit pas dépasser l'intensité admissible par le câble compte tenu les différents facteurs de corrections dus à la température et aux modes de pose.
- ✓ **L'intensité de court circuit** : la valeur de courant de court circuit et le temps de coupure sur défaut ne provoque pas un échauffement supérieur à celui admissible par le matériau constituant l'isolation de câble [30].

II.5.1. Calcul l'intensité transportée par le câble

C'est l'intensité que doit supporter le câble en régime permanent, pour calculer ce courant, on doit connaître la puissance de récepteur, la tension d'alimentation et le facteur e puissance.

Le tableau suivant illustre les caractéristiques de quelques types de récepteur

Type de récepteur	Caractéristiques	Courant nominal
Lampes incandescence	$U, P_{\text{imp}}, \cos\varphi=1$	$I=P_{\text{imp}}/U$
Lampes fluorescentes tubulaire classiques	$U, P_{\text{imp}}, P_{\text{Bals}}$ $\cos\varphi=0.56$ sans compensation $\cos\varphi=0.86$ avec compensation $\cos\varphi=0.96$ avec ballast électronique	$I=P_{\text{imp}}/(U \cdot \cos\varphi)$ $I=(P_{\text{imp}} + P_{\text{Bals}})/(U \cdot \cos\varphi)$
Moteur asynchrone	U, P_{mot}, η (rendement) $\cos\varphi=0.17$ à vide $\cos\varphi=0.55$ à 25% de charge $\cos\varphi=0.8$ à 75% de charge $\cos\varphi=0.85$ à 100% de charge	En monophasé $I=P_{\text{mot}}/(\eta \cdot U \cdot \cos\varphi)$ Ou en triphasé $I=P_{\text{mot}}/(\sqrt{3} \cdot \eta \cdot U \cdot \cos\varphi)$

Tableau II.4 : Caractéristiques de quelques types de récepteur [31]

II.5.2. Facteur de correction

L'intensité calculée dans la section doit être corrigée tenant compte de certains facteurs qui dépendent :

a) Facteur de correction pour la température ambiante et admissible par le câble.

Elle est admise à 20°C pour les câbles enterrés et 30°C pour les câbles à l'air libre. Pour des températures ambiantes différentes, les valeurs des intensités calculées doivent être multipliées par le facteur de correction K_{ta} , donné par la formule suivante :

$$K_{ta} = \sqrt{\frac{\varnothing - T}{\varnothing - t}}$$

Avec

- ✓ $\varnothing$: est la température admissible par l'âme conductrice en régime permanent.
- ✓ T : est la température ambiante en °C, $t=20^\circ\text{C}$ ou 30°C selon que le câble soit enterré ou à l'air libre.

La température admissible en régime permanent dépend de la nature du câble :

- Câbles BT isolé en PVC : $\varnothing = 70^\circ\text{C}$.
- Câbles BT isolé en PR : $\varnothing = 90^\circ\text{C}$.

b) Facteur de correction pour le mode de pose

Le courant transporté par le câble sera corrigé de la manière suivante :

$$I_r = \frac{I_c}{K_{ta} \cdot K_{mp}}$$

Avec

- ✓ I_r : est l'intensité de courant corrigée.
- ✓ I_c : est l'intensité de courant calculée.
- ✓ K_{mp} : facteur de correction du mode de pose.

En se basant sur les tableaux fournis par les constructeurs des câbles, il est possible de déterminer la section des câbles « S » relative à l'intensité de courant « Ir ».

II.5.3. Calcul du courant de court circuit

Dans les installations électriques, un court circuit se manifeste lorsqu'il y a un contact ou liaison directe entre :

a) Une phase et le neutre :
$$I_{cc} = \frac{U}{Z_p + Z_n}$$

b) Deux phases :
$$I_{cc} = \frac{U}{2 \cdot Z_p}$$

c) Trois phases :
$$I_{CC} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot Z_P}$$

Avec :

- ✓ **U** : est la tension entre deux phases.
- ✓ **Z_P** : est l'impédance par phase en amont de défaut.
- ✓ **Z_n** : est l'impédance du conducteur neutre [31].

Le cas le plus favorable est le court circuit entre trois phases car il génère une intensité de courant importante.

II.6. Calcul de la chute de tension

La norme NF C 15-100 impose que la chute de tension entre l'origine de l'installation BT et tout point d'utilisation n'excède pas les valeurs du tableau ci-dessous.

Depuis le disjoncteur de branchement, la chute de tension maximale entre l'origine de l'installation BT et l'utilisation

Abonné alimenté par le réseau BT de distribution publique	Éclairage	Autres usages (force motrice)
	3%	5 %
Abonné propriétaire de son poste HTA-A/BT (HTA en AC : $1000 < U_n \leq 50\,000$)	6 %	8 %

Tableau II.5 : Chutes de tension dans les installations NFC 15.100 [32]

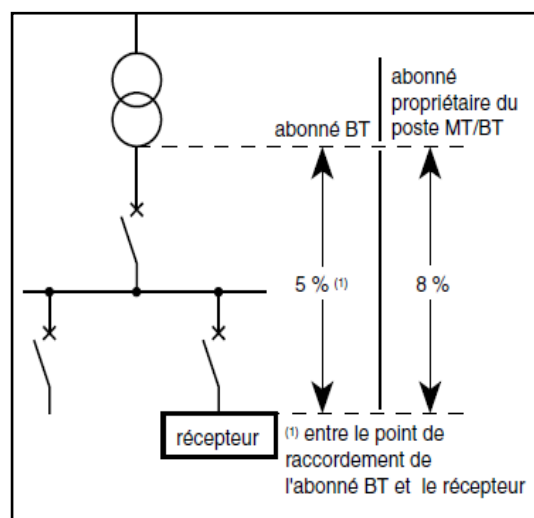


Figure II.2 : Schéma de la chute de tension maximale entre l'origine et l'utilisation

Avec :

- ✓ **05%** : de la tension d'alimentation pour les abonnés en basse tension.
- ✓ **08%** : de la tension d'alimentation pour les abonnés en basse tension propriétaire de poste MT/BT.

Les chutes de tension sont déterminées à l'aide des formules [33] :

En monophasé	$\Delta U = 2 \cdot I(R_L \cdot \cos\varphi + X_L \cdot \sin\varphi)$
---------------------	---

En triphasé	$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I(R_L \cdot \cos\varphi + X_L \cdot \sin\varphi)$
--------------------	--

$$R_L = \frac{\rho \cdot L}{S}$$

Avec :

- ✓ ΔU : étant la chute de tension, en volts,
- ✓ I : étant l'intensité de courant transportée en fonctionnement normale.
- ✓ R_L : La résistance du conducteur en courant alternatif, à la température de fonctionnement (Ω/m).
- ✓ X_L : étant la réactance linéique des conducteurs, prise égale, en l'absence d'autres indications, à 0,08 m Ω/m .
- ✓ $\cos \phi$: étant le facteur de puissance du récepteur égal à 0.86 ($\sin \phi = 0,015$), en l'absence d'indications précises, le facteur de puissance est pris égal à 0,8 ($\sin \phi = 0,6$) ;
- ✓ L : étant la longueur simple de la canalisation, en Km.

Avec

- ✓ ρ : étant la résistivité à la température en service normal, soit 0.01742 $\Omega mm^2/m$ à 20°C, pour le cuivre et 0.02826 $\Omega mm^2/m$ pour l'aluminium.
- ✓ S : étant la section des conducteurs, en mm^2 .

La chute de tension relative (en pour-cent) est égale à :

$$\Delta U = 100 \frac{U}{U_0}$$

U_0 : étant la tension entre phase et neutre, en volts.

Dans l'annexe « A », un exemple de calcul montrant l'application des étapes de calcul de la section des câbles et les chutes de tensions.

II.7. Schéma synoptique de l'installation

La distribution basse tension est réalisée depuis le TGBT principale vers les armoires de distributions puis vers l'ensemble des récepteurs à base des câbles électrique bien déterminés selon plusieurs paramètres et ce, à partir de deux transformateurs TR1 et TR2 (Transformateur de secours) de puissance normalisée.

A l'aide du logiciel **AUTOCAD**, une proposition d'une architecture de distribution basse tension réels est illustrée par la **Figure II.3**.

Le schéma synoptique ci-dessous donne une vision globale des différents départs de l'installation électrique de l'école et ce, depuis le poste de transformation (TR1 et TR2), le groupe électrogène, la T.G.B.T et l'alimentation sans interruption ASI jusqu'aux tableaux secondaires au niveau des étages.

Figure II.3 : Schéma de distribution de l'énergie électrique

II.7.1. Répartition des tableaux et de charges

Selon le schéma de l'installation électrique du bâtiment qui a été réalisé *figure II.3*. Il montre que l'école est dotée par deux transformateurs TR1 (principal) et TR2 (secours/réserve) avec une puissance de 1600 KVA pour chacun et un groupe électrogène de 1760 KVA avec une alimentation sans interruption (ASI) alimenté par des batteries (DC) et depuis la TGBT (AC/DC) principale qui a pour rôle d'assurer la continuité de service en cas de coupure instantanée pour certains systèmes de l'installation qui nécessite une marche sans interruption surtout pour les systèmes du courant faibles notamment les parties sécurités.

L'inverseur assure le basculement en cas de coupure du réseau entre le TR1, TR2 et le groupe électrogène. Ces équipements ont été installés dans des locaux techniques conformes qui répondent aux normes en vigueur afin de garantir leurs bons fonctionnements.

La répartition des tableaux de distributions pour les trois sources (énergie préférentielle, énergie en continuité et énergie en sécurité) a été faite afin de garantir une meilleure utilisation et le bon fonctionnement des différents systèmes installés au niveau de l'école.

II.8. Calcul manuel du bilan de puissance par tableau de distribution

II.8.1. Introduction

Après avoir réalisé le schéma synoptique de l'installation et précisé la puissance des récepteurs, à partir des fiches techniques, le calcul des sommes des puissances installées dans chaque bâtiment.

La méthode est basée sur :

- ✓ Le recueil de l'ensemble des puissances des récepteurs par tableaux de distribution qui concernera les circuits d'éclairage, les prises ou les forces motrices, les moteurs...
- ✓ L'estimation, en appliquant les règles en vigueur de la norme NFC 15-100 pour le poste de transformation.
- ✓ La puissance appelée **Sa** en **KVA** correspondant à **Pu** en tenant compte du facteur de puissance.

Une fois que la puissance totale de la TGBT principale est déterminée, on applique un coefficient d'extension pour déterminer la puissance fournie à l'ensemble des tableaux ce qui permet de calculer la puissance totale à installer.

La puissance du transformateur principale et secourue sera donc la puissance normalisée juste supérieure.

II.8.2. Bilan de puissance par tableau de distribution

II.8.2.1. Cas des tableaux en énergie préférentielle (EP)

Pour le bilan de puissance on se base uniquement sur les tableaux généraux basses tensions et les tableaux divisionnaires en énergie préférentielle et en continuité dont les consommations sont réparties sur les circuits pour chaque récepteur.

- Bilan de puissance du tableau divisionnaire N°01 qui alimente quinze (15) tableaux secondaires en énergie préférentielle

Tableau Electrique	S (kva)	I (A)	I corrigé (A)	S (mm²)	L (M)	$\Delta V\%$
Tableau Electrique 1 (TE-RDCA/EP)	41,963	60,639	72,796	5G25	45	1,647
Tableau Electrique 2 (TE-N1A/EP) + Ascenseur	37,320	53,931	64,743	5G25	57	1,733
Tableau Electrique 3 (TE-N2A/EP) + (TE-SH/EP)	40,744	58,878	70,682	5G25	65	1,928
Tableau Electrique 4 (TE-N3A/EP)	43,481	62,834	75,431	5G25	70	2,077
Tableau Electrique 5 Pour Ascenseur	18,750	27,095	32,527	5G10	80	2,320
Tableau Electrique 6 (TE-RDCB/EP) + Buanderie (TE-BUA/EP)	87,900	127,023	152,489	3*50+1N35+1G35	85	2,367
Tableau Electrique 7 (TE-N1B/EP)	39,788	57,496	69,023	5G25	95	2,347
Tableau Electrique 8 (TE-N2B/EP)	39,788	57,496	69,023	5G25	100	2,421
Tableau Electrique 9 (TE-N3B/EP) + Buanderie (TE-BUAN3/EP)	70,163	101,391	121,718	3*50+1N35+1G35	105	2,334
Tableau Electrique 10 Pour Ascenseur	18,750	27,095	32,527	5G16	117	2,201
Tableau Electrique 11 (TE-RDCC/EP)	29,231	42,242	50,710	5G10	40	2,022
Tableau Electrique 12 (TE-ENTC/EP)	5,513	7,966	9,563	5G4	85	2,006
Tableau Electrique 13 Restaurant (TE-RB/EP)	93,578	135,228	162,338	3*50+1N35+1G35	40	1,680
Tableau Electrique 14 Auditorium (TE-AUD/EP)	10,763	15,553	18,671	5G4	60	2,420
Tableau Electrique 15 (TE-N4B/EP) + Buanderie (TE-BUAN4/EP)	87,731	126,779	152,196	3*70+1N50+1G70	110	2,259

Puissance Total en kva	665,460					
Facteur de Simultanéité Ks	0,60					
Puissance Total en kva	399,276	576,988	692,66	$2*(3*(1*240))+1N95+1G95$	40	0.916

Tableau II.6 : Tableau électrique général usage électrique d'école en énergie préférentielle (TE-GEN1/EP)

- Bilan de puissance du tableau divisionnaire N°02 qui alimente six (06) tableaux secondaires en énergie préférentielle

Tableau Electrique	P (kva)	Ic (A)	I corrigé (A)	S (mm²)	L (M)	ΔV%
Tableau Electrique 1 TE-CUIR1/EP	130,68	188,84	226,70	3*50+1N35+1G35	37	2,028
Tableau Electrique 2 TE-CUIR2/EP	97,875	141,44	169,79	3*50+1N35+1G35	38	1,754
Tableau Electrique TE-CUII/EP	226,732	327,65	393,33	3*95+1N50+1G50	45	2,175
Tableau Electrique Cuisine Demo Classe (L4)	81,918	118,38	142,11	3*50+1N35+1G35	50	1,830
Tableau Electrique 5 TE-HK/EP	81,101	117,2	140,69	3*95+1N50+1G50	41	2,918
Tableau Electrique TE-STO/EP	10,218	14,77	17,72	5G1, 5	40	2,533
Puissance Total kva	628,526					
Facteur de Simultanéité Ks	0,7					
Puissance Total kva	439,968	635,79 2	763,26	$2*(3*(1*240))+1N95+1G95$	40	1,009

Tableau II.7 : Tableau électrique générale cuisine et house-keeping en énergie préférentielle (TE-GEN2/EP)

- Bilan de puissance du tableau divisionnaire N°03, alimente cinq (05) tableaux secondaires en énergie préférentielle

Tableau électrique	P (kva)	I (A)	I corrigé (A)	S (mm²)	L (M)	ΔV%
Tableau Electrique 1 Toiture (TE-TA/EP)	91,957	132,887	159,53	3*50+1N35+1G35	65	0,995
Tableau Electrique 2 Toiture (TE-TB/EP)	26,576	38,405	46,10	5G6	57	2,519
Tableau Electrique 3 Toiture (TE-TC/EP)	52,893	76,436	91,76	5G16	65	2,190
Tableau Electrique 4 Centrale thermique (TE-CT/EP)	72,562	104,859	125,88	5G25	70	2,096
Tableau Electrique 5 Centrale Hydrique (TE-CHY/EP)	45,078	65,143	78,20	5G16	80	2,282
Puissance Total kva	289,069					
Facteur de Simultanéité Ks	0,8					
Puissance Total kva	231,25	334,18	401,18	3*(1*185)*1N70+1G70	40	0,159

Tableau II.8 : Tableau électrique générale usages mécaniques de l'école en énergie préférentielle (TE-GEN3/EP)

II.8.2.2. Cas des tableaux de l'énergie en continuité (EC)

- Bilan de puissance du tableau divisionnaire général de l'école, alimente dix (10) tableaux secondaires, énergie en continuité.

Tableau Electrique	S (kva)	Ic (A)	I corrigé (A)	S (mm²)	L (M)	ΔV%
Tableau Electrique 1 (TE-RDCA/EC)	5,213	7,533	9,043	5G1, 5	45	1,717
Tableau Electrique 2 (TE-N1A/EC)	4,856	7,018	8,425	5G1, 5	57	1,977
Tableau Electrique 3 (TE-N2A/EC)	23,156	33,463	40,171	5G6	65	2,606
Tableau Electrique 4 (TE-N3A/EC)	13,500	19,509	23,420	5G4	70	2,463
Tableau Electrique 5 (TE-RDCB/EC)	5,213	7,533	9,043	5G4	85	2,294
Tableau Electrique 7 (TE-N2B/EC)	3,000	4,335	5,204	5G1, 5	100	2,119
Tableau Electrique 8 (TE-ENTC/EC)	1,856	2,682	3,220	5G1, 5	85	1,240
Tableau Electrique 9 (TE-AUD/EC)	0,656	0,948	1,138	5G1, 5	60	0,507
Tableau Electrique 10 (TE-SS/EC)	12,694	18,344	22,021	5G2, 5	25	2,234
Tableau Electrique 11 (TE-N1C/EC)	3,356	4,850	5,822	5G1, 5	40	1,096
Puissance Total kva	73,500					
Facteur de Simultanéité Ks	0,6					
Puissance Total kva	44,1	63,728	76,505	5G16	40	0,264

Tableau II.9 : Tableau électrique général de l'école en énergie en continuité (TE-GEN/EC)

- Bilan de puissance du tableau électrique du poste de garde, énergie en continuité.

Tableau Electrique	S (kva)	Ic (A)	I corrigé (A)	S (mm ²)	L (M)	ΔV%
Tableau Electrique 1 Poste de Garde	19,620	28,353	34,037	5G16	150	1,719
Puissance Total kva	19,620	28,353	34,037	5G16	150	1,719

Tableau II.10: Tableau électrique du poste de garde en énergie en continuité (TE-PDG/EC)

- Bilan de puissance du tableau électrique services de cabine de réception, énergie en continuité.

Tableau Electrique	S (kva)	Ic (A)	I corrigé (A)	S (mm ²)	L (M)	ΔV%
Tableau Electrique 1 Service Cabine de réception	12,534	18,113	21,744	5G2, 5	50	2,332
Puissance Total kva	12,534	18,113	21,744	5G2, 5	50	2,332

Tableau II.11 : Tableau électrique du service de cabine de réception, énergie en continuité (TE-SREC-/EC)

II.8.2.3. Cas des tableaux en énergie préférentielle (EP) et en continuité (EC)

- Bilan de puissance du tableau électrique services, en énergie préférentielle et en continuité EP/EC.

Tableau Electrique	S (kva)	Ic (A)	I corrigé (A)	S (mm ²)	$\frac{L}{(M)}$	ΔV%
Tableau Electrique 1 Service	56,400	81,503	97,843	5G25	61	1,318
Puissance Total kva	56,400	81,503	97,843	5G25	61	1,318

Tableau II.12 : Tableau électrique des services en énergie préférentielle et en continuité (TE-SRE-/EP-EC)

II.8.2.4. Cas des tableaux en énergie de sécurité (ES)

- Bilan de puissance du tableau électrique du local anti-incendie en énergie de sécurité ES.

Tableau Electrique	S (kva)	Ic (A)	I corrigé (A)	S (mm ²)	L (M)	ΔV%
Tableau Electrique 1 Locale Anti Incendie	93,825	135,585	162,767	3*50+1N35+1G35	74	1,357
Puissance Total kva	93,825	135,585	162,767	3*50+1N35+1G35	74	1,357

Tableau II.13: Tableau électrique du local anti-incendie (TE-AI/ES)

II.8.2.5. Cas des tableaux en énergie de sécurité (ES) et en continuité

- Bilan de puissance du tableau électrique de la salle de contrôle en énergie de sécurité ES.

Tableau Electrique	S (kva)	Ic (A)	I corrigé (A)	S (mm ²)	L (M)	ΔV%
Tableau Electrique 1 Salle de contrôle	19,245	27,811	33,386	5G4	15	0,683
Puissance Total kva	19,245	27,811	33,386	5G4	15	0,683

Tableau II.14 : Tableau électrique de la salle de contrôle (TE-SC/ES-EC)

- Bilan de puissance tableau electrique local anti-incendie / ES

Tableau Electrique	S (kva)	Ic (A)	I corrigé (A)	S (mm ²)	L (M)	ΔV%
Tableau Electrique 1 Toiture	28,761	41,562	49,895	5G16	125	2,104
Puissance Total kva	28,761	41,562	49,895	5G16	125	2,104

Tableau II.15 : Tableau électrique de la toiture (TE-TB/ES)

Une fois que toutes les puissances relatives aux différents tableaux divisionnaires et secondaires en énergie préférentielle, en continuité et sécurité ont été calculées, ces dernières seront regroupées dans un tableau et cela pour faire sortir la puissance totale de la TGBT.

Type d'énergie	Tableau Electrique	Réf-Tableaux	Niveau	S (kva)	I (A)	I corrigé (A)	S (mm²)	L (M)	ΔV%
Energie préférentielle	TE-1 général usages électriques de l'école	TE-GEN1/EP	Niveau RDC Bloc A	399,28	576,99	692,663	2*(3*(1*150))+1N70+1G70	40	2,144
	TE-2 cuisines et house-keeping	TE-GEN2/EP	Niveau RDC Bloc A	439,97	635,79	763,256	2*(3*(1*150))+1N70+1G70	40	2,258
	Tableau Electrique 3 usages mécaniques école	TE-GEN3/EP	Niveau RDC Bloc A	231,25	334,18	401,181	3*185*1N70+1G70	40	2,093
	Alimentation sans interruption ASI	ASI-1	Niveau RDC Bloc H	100	144,51	173,480	3*50*1N35+1G35	40	2,272
	Alimentation By-pass ASI-	By -pass ASI-1	Niveau RDC Bloc H	100	144,51	173,480	3*50*1N35+1G35	40	2,272
Energie en continuité	Tableau Electrique général de l'école	TE-GEN/EC	Niveau RDC Bloc A	44,100	63,73	76,505	5G16	40	2,511
	Tableau Electrique du poste de garde	TE-PDG/EC	Niveau RDC Bloc H	19,62	28,35	34,037	5G25	125	2,380
	Tableau Electrique services cabine de réception	TE-SERC/EC	Niveau RDC Bloc H	12,53	18,11	21,843	5G10	50	2,046
Energie préférentielle et Energie en continuité	Tableau Electrique Service	TE-SER/EP-EC	Niveau RDC Bloc H	56,40	81,50	97,843	5G25	61	2,774
Energie de sécurité et en continuité	Tableau Electrique salle de contrôle énergie de sécurité et en continuité	TE-SC/ES-EC	Niveau RDC Bloc A	19,24	27,81	33,386	5G4	15	2,139
Energie de sécurité	Tableau Electrique Toiture	TE-TB/ES	Niveau Toiture Bloc B	28,76	41,56	49,895	5G25	125	2,810
	Tableau Electrique pour ascenseur		Niveau Toiture Bloc A	20	28,90	34,696	5G25	100	2,212
	Tableau Electrique local anti-incendie	TE-AI/ES	Niveau RDC Bloc H	93,82	135,58	162,76	3*50+1N35+1G35	74	2,813
Puissance Totale en (Kva)				1564.984					
Facteur de simultanéité (Ks)				0.6					
TGBT				938,99	1 356,93	1 413,46	3*(3*(1*240))+N95+1G95	15	1,248
Puissance totale en (Kva)				938,99					

Tableau II.16 : Tableau récapitulatif des bilans de puissance

II.9. Choix du transformateur BT

Pour déterminer la puissance du transformateur, on doit connaître toutes les puissances nominales et la localisation des différents récepteurs et aussi prendre en considération la possibilité d'extension de l'installation.

TGBT	Niveau	Puissance Electrique en KVA
Tableau Général Basse Tension (TGBT)	Niveau RDC Bloc H	938,991
Puissance Total en (KVA)		938,991
Facteur d'extension (Ke)		1,5
Puissance Total en (KVA)		1 408.49

Tableau II.17 : Résultats du calcul de la puissance du transformateur à installer

La puissance calculée pour l'ensemble de l'école, s'élève à la valeur de **938,991 KVA**, ce qui nécessite d'appliquer un coefficient de sécurité ou d'extension de valeur de **1,5**.

En tenant compte de ce facteur, la puissance devient **1 408,49 KVA** cette valeur nous amène à choisir un transformateur adéquat.

Pour faire sortir le transformateur adéquat à notre installation et qui correspond à la valeur de la puissance trouvée on utilise des valeurs normalisées : 160 - 250 - 400 - 630- 800 - 1000 – 1250- **1500**- 1600-1800- 2000- 2500 KVA.

Donc le transformateur qui raccorde l'installation électrique de l'école au réseau de distribution principal est à une puissance de 1500 KVA.

Et par mesure de sécurité le transformateur choisi et installé actuellement au niveau de l'école est de **1600KVA**, et qui peut répondre au besoin pour toute éventuelle extension de cette école.

L'école Eshra a été doté par un deuxième transformateur de secours de même puissance que celle du premier qui a pour but d'assurer la continuité du service en cas de panne survenu sur le premier transformateur.

II.10. Choix du groupe électrogène

Une fois que la puissance totale à installer a été déterminée, donc la valeur du groupe devra être correspondre à celle du transformateur afin de secourir la totalité de l'installation en cas de problème survenu donc la puissance du groupe sera la puissance normalisée de valeurs **1760KVA**.

II.11. Choix de l'alimentation sans interruption

Les onduleurs qui ont été choisis pour la continuité du service disposent des valeurs de puissances suivantes 160KVA et l'autre 6,5KVA, leurs caractéristiques sont résumées dans les tableaux ci-dessous [34]:

Caractéristiques techniques	
Puissance nominale	160KVA
Facteur de puissance	0,9
Puissance active	144KW
Tension	400KV
Autonomie typique (min)	20 minutes

Tableau II.18 : Spécification technique du groupe statique 160 KVA.

Caractéristiques techniques	
Puissance nominale	6,5 KVA
Facteur de puissance	0,8
Tension	230 KV
Autonomie typique	12 minutes

Tableau II.19 : Spécification technique du groupe statique 6,5 KVA.

II.12. Conclusion

Ce chapitre nous a permis de voir la procédure de calcul des bilans des puissances en utilisant des formules de base de l'électrotechnique et ce, seulement pour faire sortir les différents équipements constituant l'installation électrique relatif à notre école soit en énergie préférentielle, en continuité et en sécurité qui sont des postes de transformations et le groupe électrogène et les alimentations sans interruption selon leurs utilisations en triphasé ou en monophasé. Aussi l'avantage de faire un bon dimensionnement en utilisant des coefficients pour éviter toute éventuelle sur ou sous dimensionnement de notre installation.

CHAPITRE III :

Optimisation de l'énergie électrique par la Gestion Technique du Bâtiment

III.1. Introduction

Le système Gestion Technique des Bâtiments (GTB) intègre plusieurs fonctions concernant le bâtiment. Il assure le contrôle et la supervision de tous les équipements qui y sont connectés selon des programmes déterminés conçus pour aboutir aux résultats voulus.

Les systèmes modernes de gestion technique des bâtiments sont soumis à des exigences rigoureuses : la fiabilité absolue, l'efficacité énergétique et l'optimisation des coûts sont des notions essentielles pour les exploitants de bâtiments.

L'étude dans ce chapitre consiste à assurer deux fonctions principales dont :

- ✓ La première est l'optimisation de la consommation énergétique par la gestion contrôlée et la supervision des systèmes :
 - a) D'électricité (disjoncteurs, bilans en temps réel des équipements à savoir le transfo-groupe électrogène, l'éclairage...)
 - b) CVC (Chauffage, Ventilation et Climatisation).
- ✓ La deuxième est de superviser tous les systèmes connectés en temps réel pour assurer une meilleure exploitation par les services techniques de maintenance et cela permet de préserver les équipements.

Il existe d'autres systèmes qui présentent une consommation relativement importante.

La GTB contrôle et commande les systèmes suivants:

- ✓ Le CVC qui comprend les groupes d'eau glacés, les centrales thermiques ou chaudières et les ventilo-convecteurs.
- ✓ Les pompes d'eau.
- ✓ Le réservoir de Fuel oil du groupe électrogène (niveau,...).
- ✓ Les postes de transformations.
- ✓ Les citernes principales d'eau (niveaux,...).
- ✓ Les moteurs d'extractions et de désenfumages.
- ✓ Les tableaux principaux de distribution de l'énergie électriques.
- ✓ Les systèmes de sécurité incendie (gestion de confort).
- ✓ Les pompes d'eau glacée.
- ✓ Les centrales ou unités de traitement d'air (UTA ou CTA).
- ✓ Les circuits d'éclairages.

Le Système de GTB sera intégré afin de permettre le contrôle et la surveillance continus des divers systèmes de l'école.

La GTB permettra de fournir :

- ✓ La régulation de la température désirée, conduit à une économie d'énergie avec un environnement sain et équilibré.
- ✓ L'usage optimal d'équipement en augmentant sa durée de vie
- ✓ L'efficacité énergétique.
- ✓ Le déclenchement d'alarmes et des défaillances qui a pour but d'alerter les opérateurs lors d'une panne survenue sur les installations.
- ✓ Les programmes d'entretien pour aider les opérateurs à maintenir l'efficacité des divers systèmes.

III.2. Présentation du logiciel « Enterprise Buildings Integrator »

Le logiciel « Enterprise Buildings Integrator (EBI) » est un système de gestion sophistiqué qui :

- Affiche les données du système de façon intelligible.
- Permet de piloter les systèmes en envoyant des commandes appropriées.
- Exécute automatiquement des tâches planifiées.
- Informe des activités du système, notamment des alarmes et des événements survenant dans le système.
- Produit des rapports complets [35].

III.2.1. Différents types d'affichage de rapports des événements

- ✓ Les alarmes et les événements sont générés d'une manière automatique soit :
 - a) Sur tranche horaires.
 - b) Sur code ou nom du rapport.
 - c) Sur la durée des alarmes.
 - d) Sur tous les points.

Les figures **Figure III.1** et **Figure III.2** montrent l'interface du logiciel permettant de surveiller les différentes alarmes et événements.

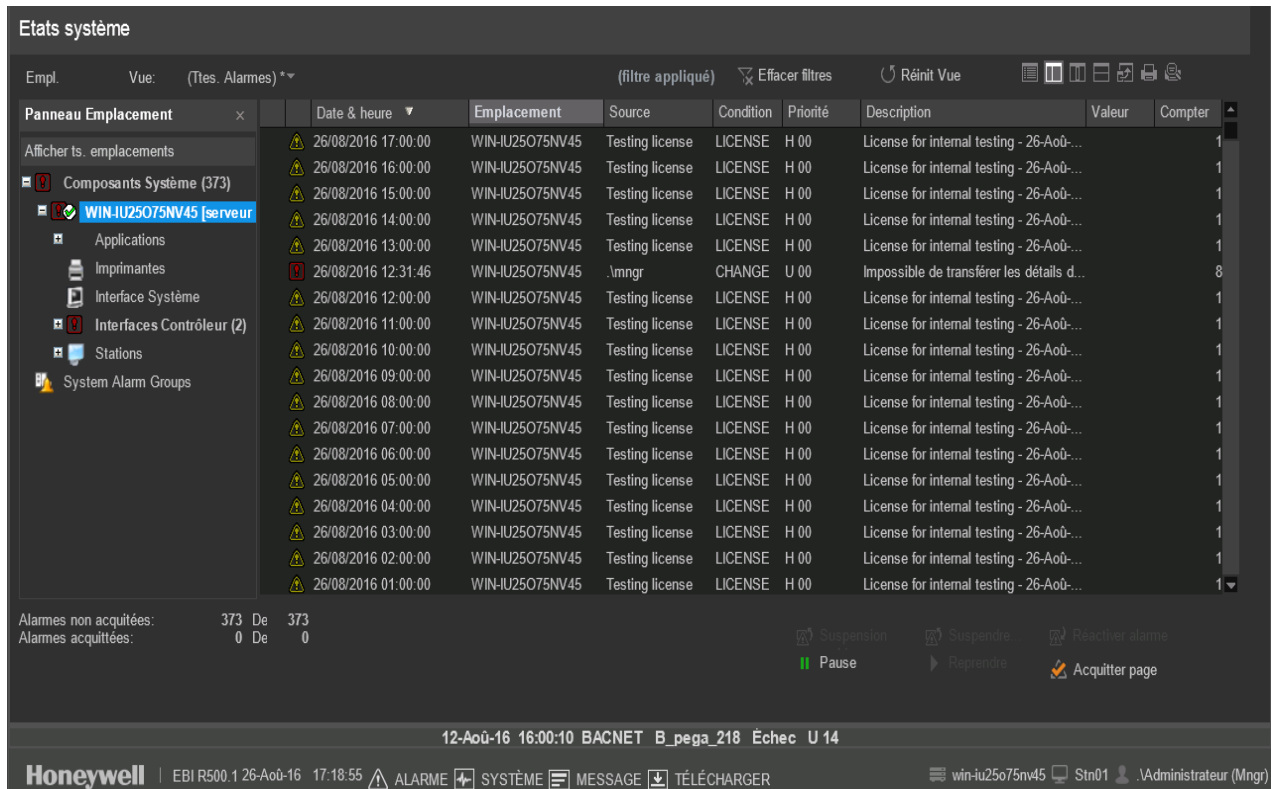


Figure III.1 : Gestion des alarmes et événements [36]

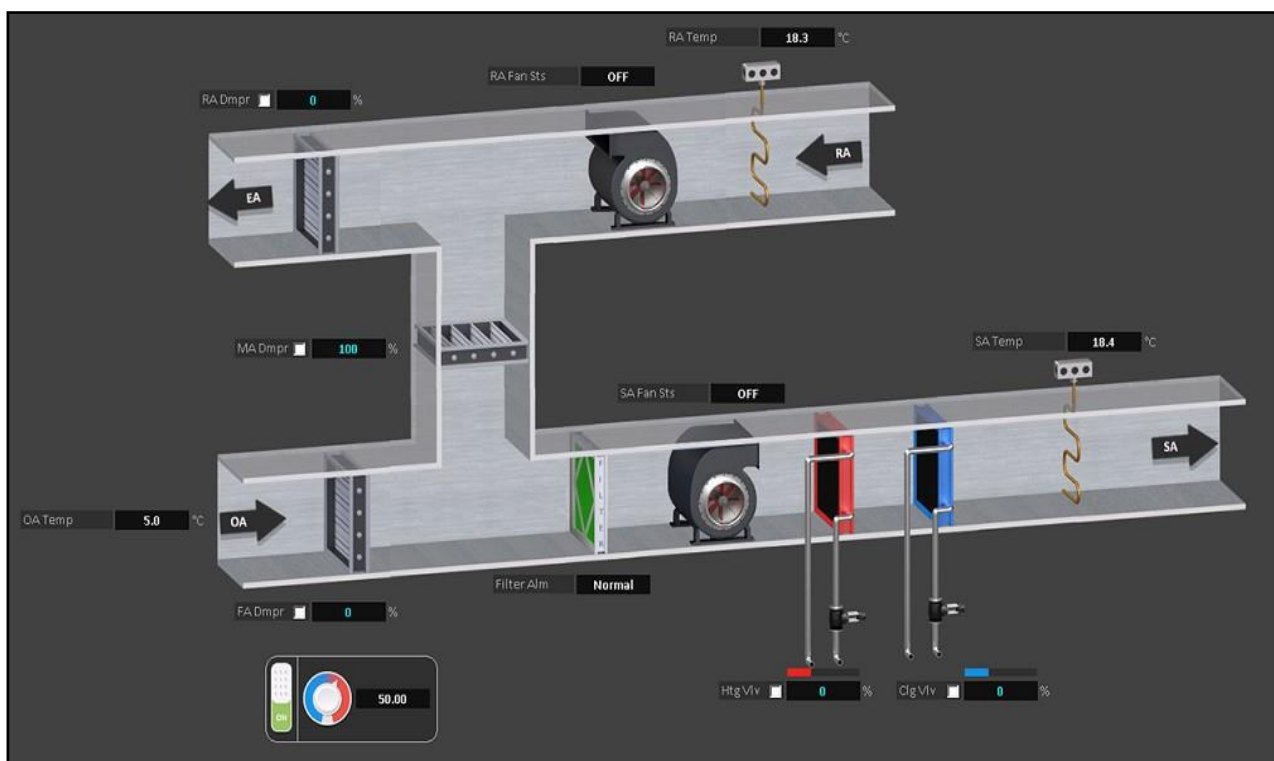


Figure III.2 : Exemple d'affichage d'un écran spécifique [36]

III.3. Systèmes concernés par la gestion technique du bâtiment GTB

Les parties concernées par la gestion technique du bâtiment dans l'école sont les suivantes :

- **Les circuits d'éclairage** : pour une optimisation énergétique de consommation électrique globale de l'école.
- **Le système CVC** : (Chauffage, Ventilation et Climatisation) : pour une optimisation importante de la consommation électrique globale au niveau de l'école.

Ces deux systèmes seront contrôlés, commandés et gérés selon les recommandations à travers un logiciel propre à la société Honeywell **Enterprise Buildings Integrator, EBI** -V.500/2/Mais 2016.

III.4. Schéma de principe de contrôle et de la commande des installations par GTB

La Figure III.3 l'architecture principale et la composition du système gestion.

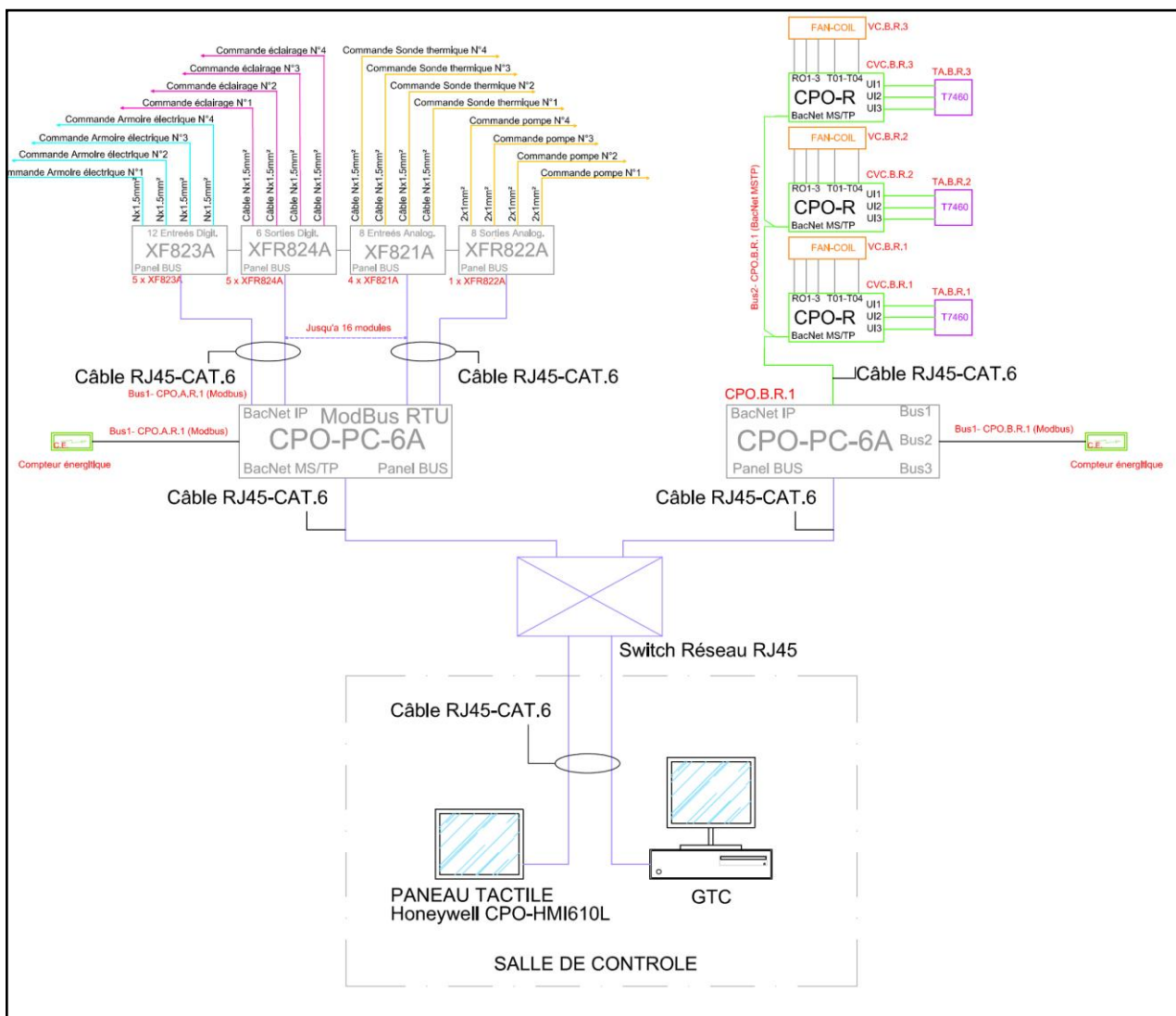


Figure III.3 : Architecture principale de fonctionnement de la GTB

Le fonctionnement de ce système se base sur un programme effectué par le logiciel « EBI » selon les exigences du bureau d'étude chargé du suivi et les recommandations du fournisseur pour assurer une efficacité énergétique ainsi que le confort des occupants et des exploitants pour répondre aux besoins du client final.

III.4.1. Composition de base du système GTB

- ✓ **Un écran plus serveur équipé par logiciel de supervision EBI R500:** c'est le cœur de l'installation permet d'assurer l'affichage, la supervision, l'enregistrement et la commande de tous les équipements installés dans l'école.
- ✓ **Un panneau tactile réf-CPO-HM1610L :** un tableau supplémentaire pour affichage selon la demande du client.
- ✓ **Switch réseau :** est un équipement qui reçoit et repartit les informations sur le réseau, en les envoyant vers un destinataire précis sur le réseau et en les orientant sur le port adéquat. Les Switch ont plusieurs avantages : ils sécurisent les données transmises sur le réseau et peuvent augmenter le nombre d'équipements connectés sur un réseau Ethernet.
- ✓ **Un Automate réf-CPO-PC-6A :** est un automate modulaire programmable pour une grande variété d'application complexe, dispose d'un grand nombre d'entrées et sorties et des relais, il peut gérer jusqu'à 16 modules entrées/sorties.
- ✓ **Des modules Entrées/Sorties :** utilisés selon les besoins du projet, délivrent 16 entrées/sorties programmables dont le détail de ces dernières est:
 - a) **Module Universel (Input) réf-XF823A :** possède 12 entrées digitales programmables, on utilise uniquement 05 selon la répartition.
 - b) **Module digital (Output) réf-XFR824A:** possède 06 sorties digitales programmables, on utilise uniquement 05 selon le besoin.
 - c) **Module Universel (Input) réf-XF821A:** possède 08 entrées universelles programmables, on utilise 04 selon le besoin.
 - d) **Module digital(Output) réf-XF822A:** possède 08 sorties universelles programmables, on utilise 01 selon le besoin.
- ✓ **Protocole de communication BacNet MS/TP:** BACnet est un protocole de communication de données pour les réseaux d'automatisation et de contrôle du bâtiment prend en charge le chauffage, la ventilation, la climatisation, les systèmes d'éclairage, d'accès et de détection d'incendie et leurs équipements associés.

✓ Câble de liaison :

- a) Câble N*1.5 mm² et N*1mm² : ce sont des câbles dédiés aux différents raccordements afin d'assurer la communication entre les équipements.
- b) Câble RJ45-CAT.6 : est un câble RJ45 de catégorie 6 utilisé pour assurer la communication entre le PC, le panneau tactile et l'automate ainsi que les modules entrées/sorties.

Une installation comme la notre dispose plusieurs switch réseaux, automates et modules vu le volume de cette dernière.

III.5. Façade principale du système de gestion du bâtiment

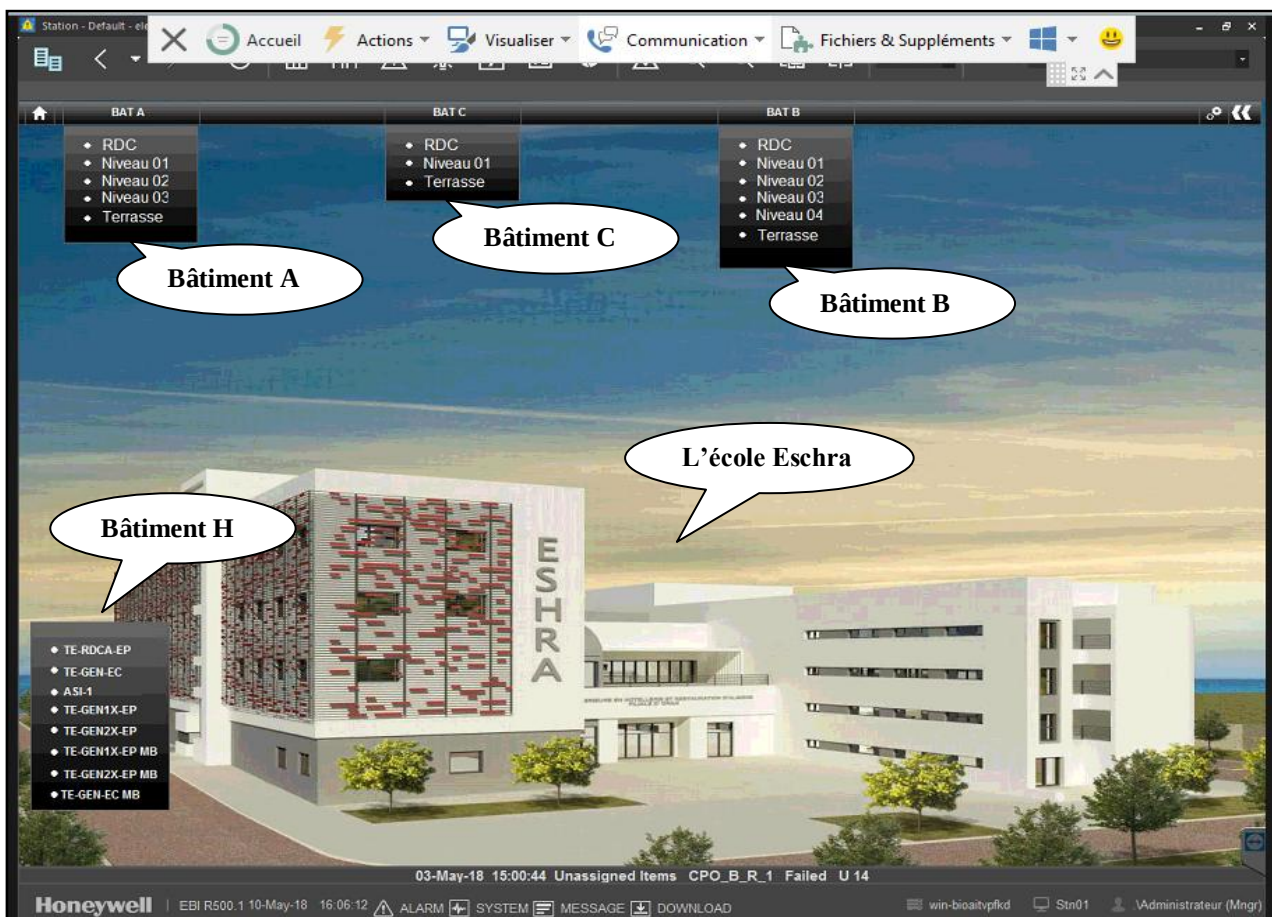


Figure III.4 : Façade principale du système de GTB [37]

La **Figure III.4** représente la façade d'exploitation principale de l'école, qui permet de faire des commandes, des contrôles de point de vue précise pour une meilleure utilisation.

Le bâtiment se divise en quatre parties principales : le bloc A, B, C et H chacun est composé de niveaux (étages), un simple clic sur l'un des blocs provoque l'appariation des fenêtres portant les noms des étages qui permettent par la suite le choix du niveau concerné par le contrôle et la commande.

Un clic sur le niveau concerné, une fenêtre s'affiche montrant les différentes installations et systèmes reliés à la GTB soit des tableaux électriques ou les différents systèmes à savoir la détection incendie, le CVC ou autres avec le choix du mode d'utilisation : mode bus en mesurant les grandeurs électriques comme les tensions, les courants et les puissances ou le mode normal qui supervise les états de chaque événement, et commande les différents départs électrique ainsi que les horloges.

Egalement, il existe d'autres fonctionnalités de gestion à titre d'exemple la gestion des badges d'accès, l'établissement des rapports journaliers ou mensuels des événements comme les alarmes, les défauts ou les actions survenues sur les installations; Le contrôle des variations de température par l'élaboration des courbes.

III.6. Recommandations sur l'optimisation de la consommation énergétique dans l'école

La réduction de la consommation dans l'école est assurée par un ensemble de techniques telles que :

- ✓ Architectures adaptées avec un bon coefficient d'isolement thermique dans le bâtiment.
- ✓ Bons dimensionnements des points lumineux (lampes à faible consommation).
- ✓ Bons dimensionnements de la partie mécanique (CVC).
- ✓ Programmes de contrôle et de gestion optimale par des contrôleurs (Automates) en agissant sur la partie éclairage et CVC.

Ces recommandations ont un impact important pour assurer une gestion optimale de la consommation énergétique dans l'école, une solution a été adaptée pour cette école en se basant sur les systèmes présentant une consommation adhérente en termes d'énergies qui sont successivement l'éclairage et le CVC.

A. PARTIE ELECTRIQUE

OPTIMISATION SUR LES CIRCUITS D'ECLAIRAGES

**Tous les circuits d'éclairages sont concernés par la gestion technique
des bâtiments
« GTB »**

III.7. Optimisation de la consommation sur les circuits d'éclairages

Dans le monde notamment dans notre pays l'éclairage domestique et professionnel représente 40% de la consommation national d'énergie selon les statistiques de l'année 2018 [38]. A partir de la puissance électrique consommée par les luminaires qui constituent une source de chaleur provoquant une augmentation de la capacité de refroidissement pour atteindre le niveau de confort thermique, par suite une augmentation des charges pour les climatiseurs donc une consommation d'électricité élevé ce qui rend nécessaire la prise des mesures visant la réduction de cette consommation [39].

L'évolution technologique dans le domaine de l'éclairage est liée aux économies d'énergie, pour cette raison, les installations nouvelles, comme dans notre cas, sont équipées par des lampes à haut rendement lumineux.

III.7.1. Techniques d'optimisation de l'énergie électrique dans la partie éclairage

Dans cette partie, le programme de supervision et gestion d'éclairage de notre école sera divisé sous forme des plages d'horaires qui correspondent au fonctionnement de cette dernière ainsi que des commandes directes à partir de logiciel par les exploitants.

La réduction de la consommation est effectuée à travers des automates de gestion équipés par des horloges programmables pour asservir l'éclairage soit à l'intérieur ou l'extérieur.

Pour atteindre une gestion optimale, l'intégration d'un système pour réduire la consommation énergétique est nécessaire à savoir :

- ✓ L'éclairage dans les couloirs est contrôlé par des détecteurs de mouvement/autonome.
- ✓ L'éclairage et l'extraction d'air dans les sanitaires et vestiaires est contrôlé par des détecteurs de mouvement /autonome.

Ces deux parties sont commandées par la présence d'un mouvement

- ✓ L'éclairage dans les escaliers, les classes, les locaux techniques, les cuisines, les chambres, l'extérieur est contrôlé par des horloges/GTB.

III.7.2. Intégration des systèmes de contrôle (Horloge à fonction d'automate) aux circuits éclairage.

Ce sont des modules programmables qui sont intégrés dans l'installation de l'éclairage dans le but de réduire le gaspillage et la consommation de l'électricité toute en assurant une gestion optimale à travers la GTB:

III.7.2.1. Réduction à partir des commandes à distances

Des captures d'images relevées à partir du logiciel montrent le fonctionnement de l'éclairage des escaliers du rez de chaussée bloc (A) qui sont alimentés par le tableau électrique secondaire TE-RDCA/EP comme est éclairci sur les figures ci-dessous et en agissant de deux manières à savoir :

- ✓ Commande manuelle prioritaire telle que la position ON ou OFF.
- ✓ Commande automatique elle suit le programme horaire de l'école.

Le même principe sera appliqué sur l'ensemble des circuits éclairage avec des programmes d'horaires prédéfinis par l'opérateur responsable de l'exploitation.

La **figure III.5** montre que l'éclairage relatif aux escaliers du niveau RDC bloc (A) peuvent être commandés en mode manuel en agissant sur l'icône (ON-Marche ou active et OFF-Arrêt ou inactif). Ou bien en mode automatique à partir des horloges programmables sur des durées bien déterminées par l'opérateur selon les procédures de fonctionnement internes de l'école comme le montre la figure suivante:

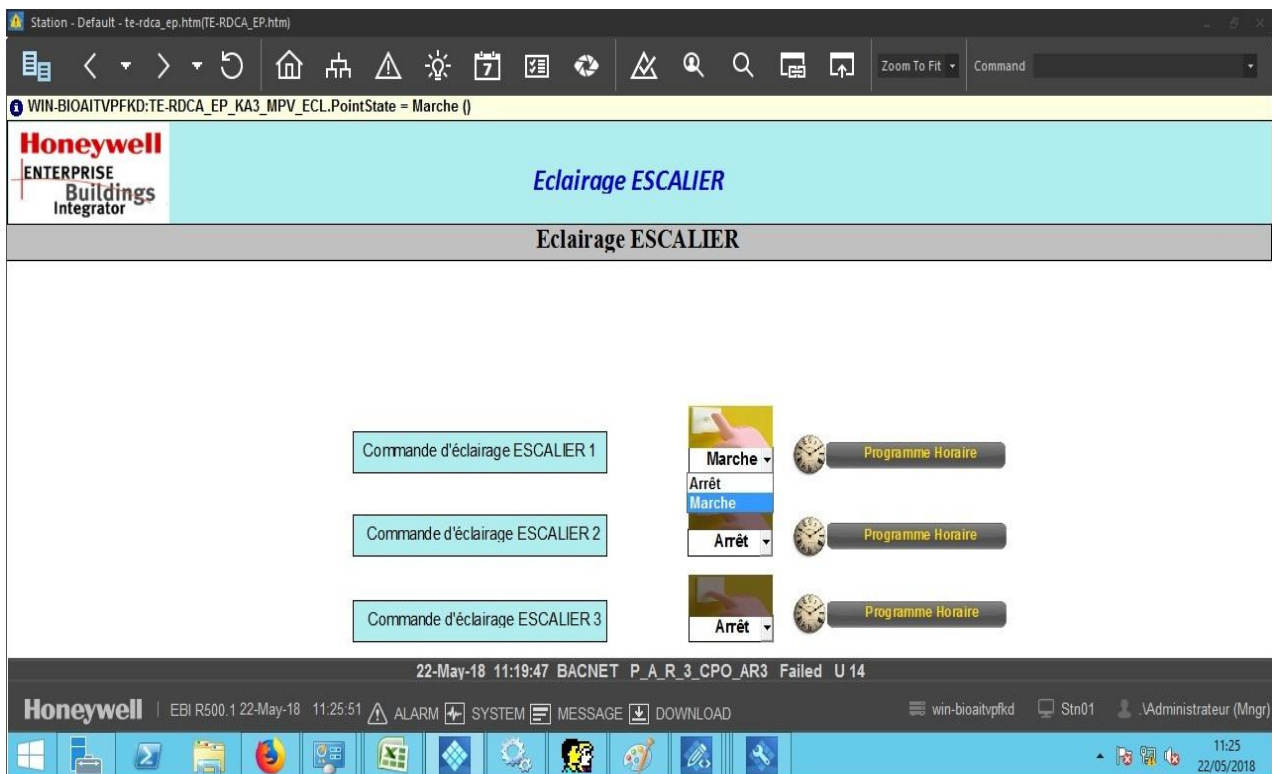


Figure III.5 : Commande d'éclairage des escaliers du RDC (A) alimenté par TE-RDCA/EP [40]

La **figure III.6** montre la commande d'éclairages à partir des horloges avec des plages d'horaires prédéfinis comme suit:

- ✓ De 07h30 au 18h00 l'éclairage est actif au niveau de RDC bloc (A) étage 01, 02 et 03.
- ✓ De 18h00 au 23h59 l'éclairage est inactif au niveau de RDC bloc (A) étage 01, 02 et 03.
- ✓ De 00h01 au 07h30 l'éclairage est nul au niveau de RDC bloc (A) étage 01, 02 et 03.

Station - Default - Point Detail:Hr_ESC1 - sysdtlbacnetschweekly.htm[sysdtlbacnetschweekly.htm]

System Configuration /Facility/Hr_ESC1

DETAIL WEEKLY SCHEDULE EXCEPTION SCHEDULE PROPERTY SELECTION RECENT EVENTS ADVANCED

Day	Time	Value
Monday	07 : 30 : 00	Active
Monday	18 : 00 : 00	Inactive
Monday	23 : 59 : 00	NULL
Monday	00 : 01 : 00	Inactive
Tuesday	07 : 30 : 00	Active
Tuesday	18 : 00 : 00	Inactive
Tuesday	23 : 59 : 00	NULL
Tuesday	00 : 01 : 00	Inactive
Wednesday	07 : 30 : 00	Active
Wednesday	18 : 00 : 00	Inactive
Wednesday	23 : 59 : 00	NULL
Wednesday	00 : 01 : 00	Inactive
Thursday	07 : 30 : 00	Active
Thursday	18 : 00 : 00	Inactive
Thursday	23 : 59 : 00	NULL
Thursday	00 : 01 : 00	Inactive
Friday	07 : 30 : 00	Active
Friday	18 : 00 : 00	Inactive
Friday	23 : 59 : 00	NULL
Friday	00 : 01 : 00	Inactive
Saturday	07 : 30 : 00	Active
Saturday	18 : 00 : 00	Inactive
Saturday	23 : 59 : 00	NULL

Left click a row from table to modify
Right click a row from table to modify or delete

Day: Monday Time: 00:00:00 Value: Inactive ☐ NULL

Insert Modify

22-May-18 11:19:47 BACNET P_A_R_3_CPO_AR3 Failed U 14

Honeywell | EBI R500.1 22-May-18 11:22:59 ALARM SYSTEM MESSAGE DOWNLOAD win-bioaitvpfkd Stn01 .Administrateur (Mngr)

Figure III.6 : Commande d'éclairage RDC Bloc A, escaliers 1, 2 et 3 avec plage d'horaires [40]

Le mode automatique est expliqué sur la figure suivante :

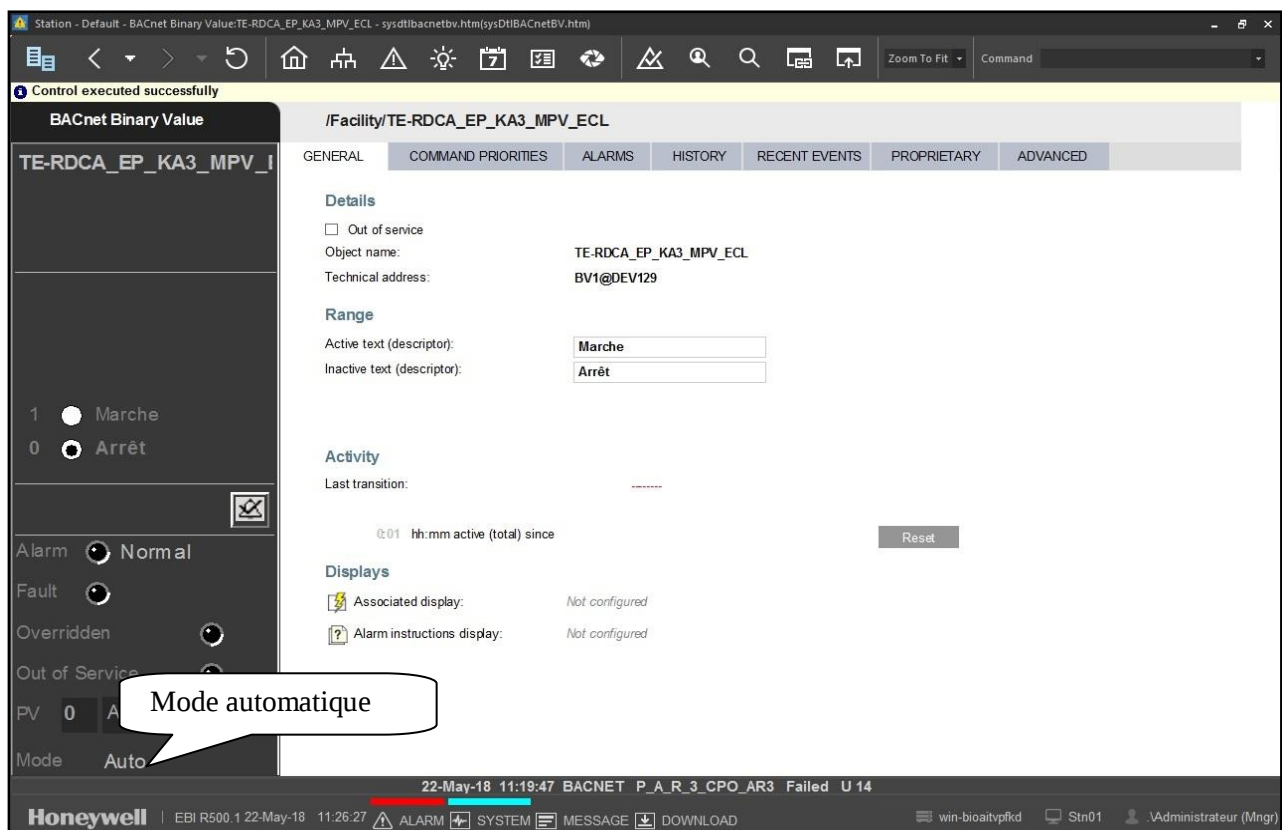


Figure III.7 : Mode automatique de l'éclairage RDC Bloc A, escaliers 1, 2 et 3 [40]

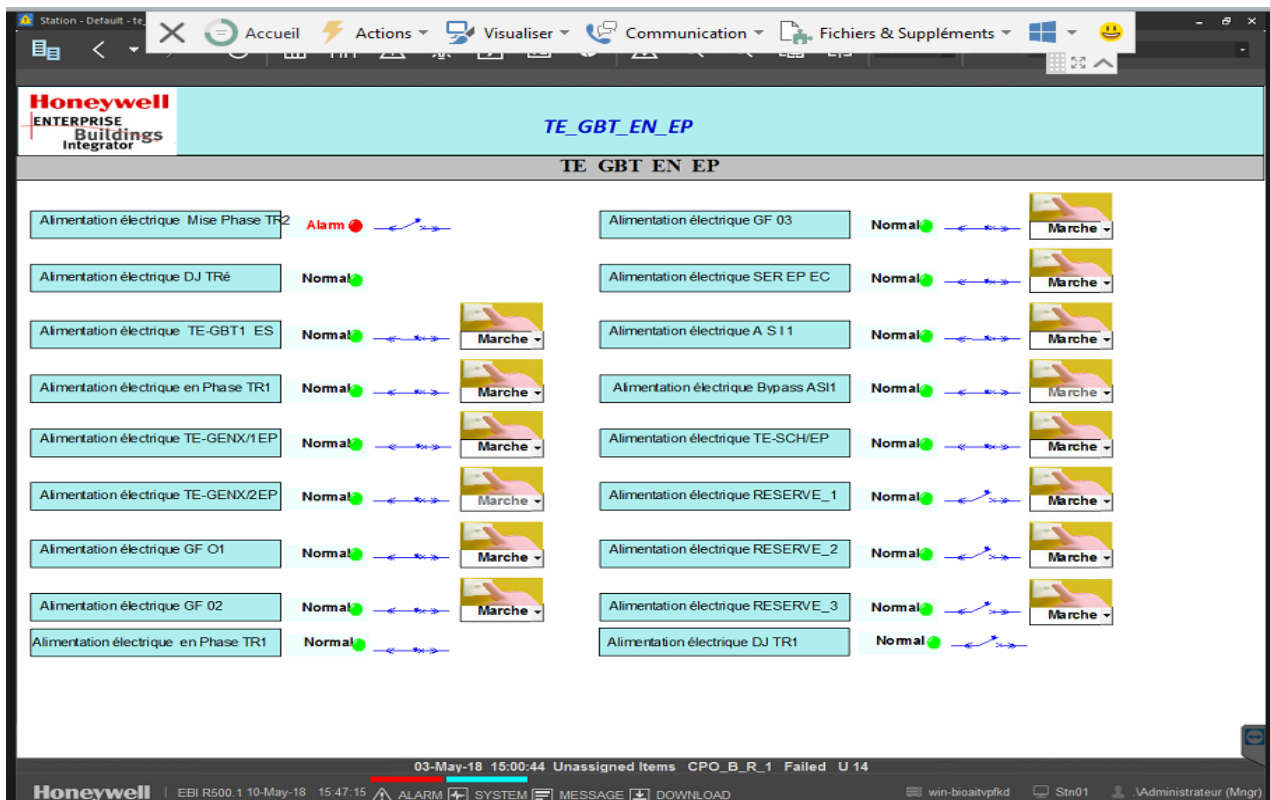


Figure III.8 : Etat d'alimentation de la TGBT_EN_EP [40]

La **figure III.8** montre les différents départs de la TGBT-EP principale vers les tableaux électriques et leurs états de fonctionnement dont les symboles des disjoncteurs et les voyants ainsi que les couleurs expriment l'état de l'alimentation de ces dernières, selon ces conditions si:

- Fermé position Marche/Voyant vert (état Normale) : Les tableaux sont alimentés.
- Fermé position Marche (**Couleur grise**) /Voyant vert (état Normale) : Le tableau est forcé manuellement à être utilisé en permanence sur site.
- Ouvert position Arrêt/Voyant rouge (état Alarme) : Les tableaux ne sont pas alimentés suite à une commande ou défaut.

La figure III.9 montre que les tableaux sont équipés par des compteurs dans le but est de mesurer la consommation réelle pour chaque armoire électrique.

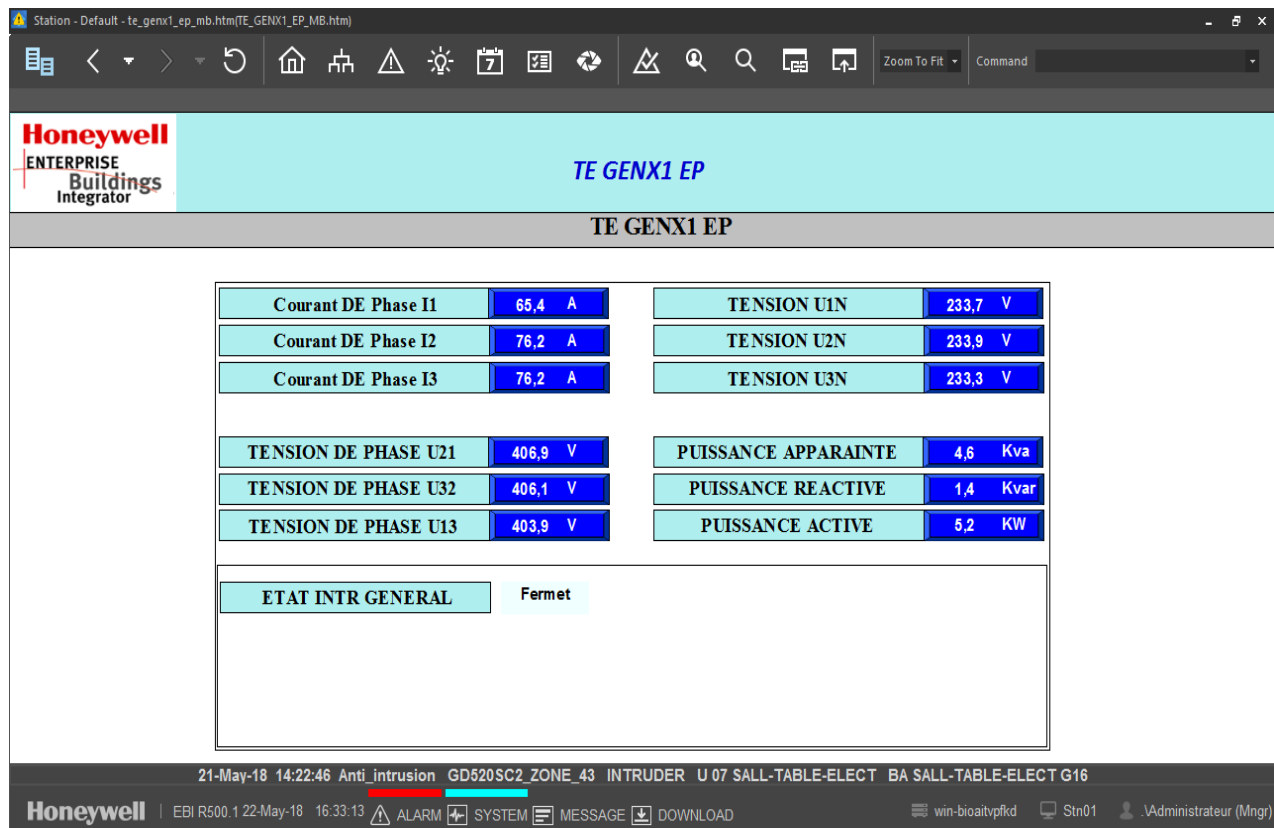


Figure III.9 : Exemple des valeurs réelles des tensions, courants et puissances [40]

III.7.2.2. Réduction à partir d'un contrôle adopté par la GTB

Les trois bâtiments A, B et C sont dotés chacun par un tableau électrique à partir de la TGBT principale dont ces dernières sont équipées par :

- ✓ Des horloges à fonction d'automate avec des plages horaires bien définis.
- ✓ Des compteurs d'énergies pour visualiser les grandeurs électriques à savoir les puissances actives, réactives et apparentes.

III.7.2.2.1. Résultats de la consommation d'énergie dans la partie électrique

Les valeurs des puissances sont mentionnées dans le **tableau III.1** et **Tableau III.2** selon des plages d'horaires proposés dont les armoires concernées pour l'éclairage sont GENX1-EP (Tableau général N°01 en énergie préférentielle) et GENX2-EP (Tableau général N°02 en énergie préférentielle).

Bâtiments	Tableaux électriques	Consommations moyennes								
		P (kw)	Q (kvar)	S (kva)	P (kw)	Q (kvar)	S (kva)	P (kw)	Q (kvar)	S (kva)
		Relevé du 24/05/2018 du 08h au 17h59			Relevé du 24/05/2018 du 18h au 23h59			Relevé du 24/05/2018 du 00h au 7h30		
A	GENX1-EP	45,65	19,89	49,80	38,21	19,86	42,32	28,70	19,80	32,30
B										
C										
H	GENX2-EP	8,448	1,90	8,70	7,071	1,60	7,39	4,53	0,86	4,66
Total		54,10	21,79	58,50	45,28	18,26	49,71	33,23	18,94	36,96
		Consommation sans optimisation			Consommation avec optimisation					
Ecart en %		100%			16,3 %	1,337 %	15,01%	38,58 %	5,186 %	36,82%

Tableau III.1 : Relevé des valeurs réelles des puissances dans 24 heures (partie éclairage)

Du 8h00 au 17h59 et du 18h00 au 23h59						
Période N°01	P (Kw)	Avant l'optimisation	54,105	100	Ecart en %	
		Après l'optimisation	8,819	P	16,300	%
	Du 8h00 au 17h59 et du 18h00 au 23h59 au 7h30					
	S (Kva)	Avant l'optimisation	58,500	100	Ecart en %	
		Après l'optimisation	8,781	S	15,010	%
	Du 8h00 au 17h59 et du 18h00 au 23h59 au 7h30					
Période N°01	Q (kvar)	Avant l'optimisation	21,790	100	Ecart en %	
		Après l'optimisation	0,300	Q	1,377	%
	Du 8h00 au 17h59 et du 00h00 au 7h30					
	P (Kw)	Avant l'optimisation	54,105	100	Ecart en %	
		Après l'optimisation	20,875	P	38,582	%
	Du 8h00 au 17h59 et du 00h00 au 7h30					
Période N°01	S (Kva)	Avant l'optimisation	58,500	100	Ecart en %	
		Après l'optimisation	21,540	S	36,821	%
	Du 8h00 au 17h59 et du 00h00 au 7h30					
	Q (kvar)	Avant l'optimisation	21,790	100	Ecart en %	
		Après l'optimisation	1,130	Q	5,186	%

Tableau III.2 : Ecart des valeurs de puissances en pourcentage (partie éclairage)

La variation de la consommation des puissances active et apparente en fonction du temps pour les circuits d'éclairages est représentée dans les Figure III.10 et Figure III.11.

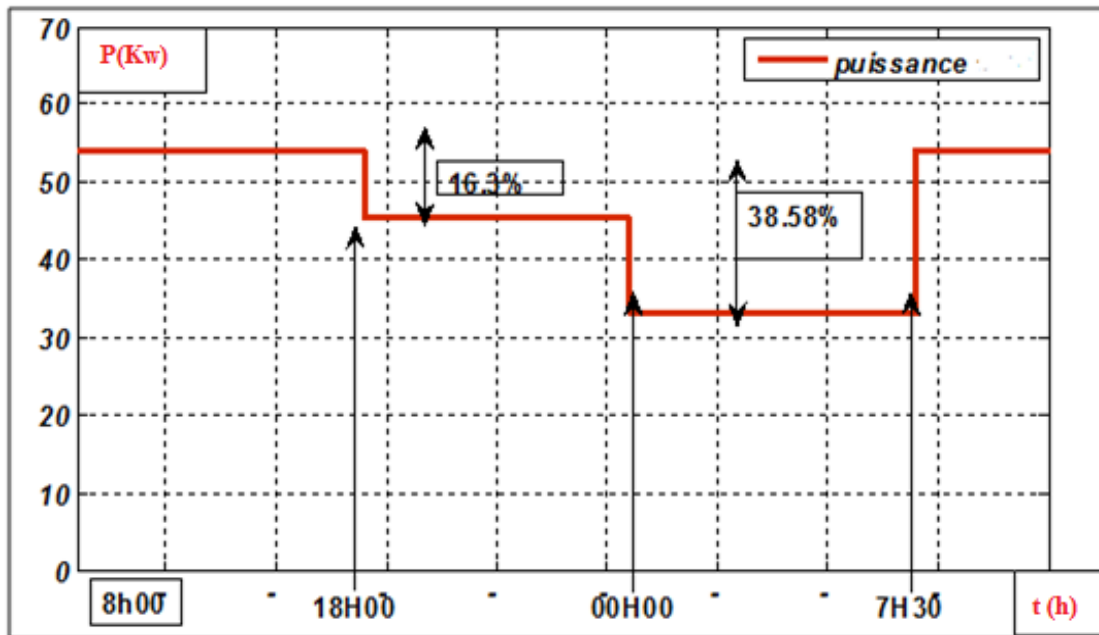


Figure III.10 : Variation de la consommation de la puissance active en fonction du temps (Circuit éclairage)

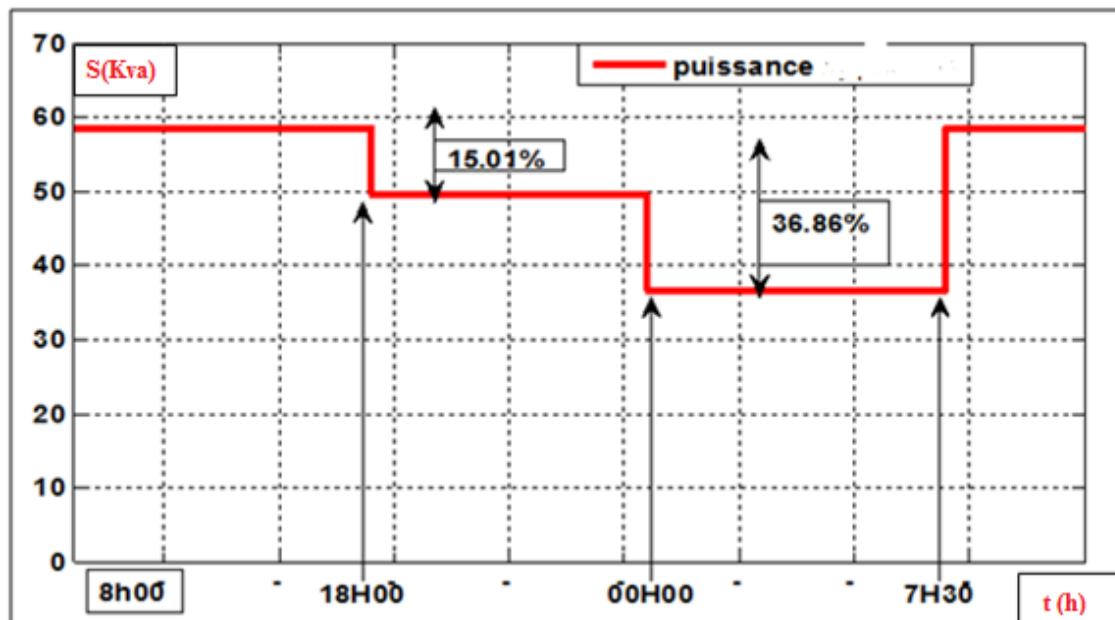


Figure III.11 : Variation de la consommation de la puissance apparente en fonction du temps (Circuit éclairage)

III.7.2.2.2. Interprétation des résultats

Afin de pouvoir juger l'utilité de ce genre de système en termes de confort et de gestion pour optimisation depuis un poste de contrôle, on a constaté lors d'une simulation réelle sur site dont les valeurs des puissances relevées mentionnées dans le **tableau III.1**, ce système a pu apporter une optimisation de plus de 30% uniquement dans la partie éclairage suite à l'utilisation des plages d'horaires adapté au fonctionnement de l'école réparties comme suit :

- ✓ De 08h du matin à 17h59 période d'occupation de toutes les classes, bibliothèque, l'administration, les cuisines, poste de garde et certains endroits comme l'auditorium, les locaux techniques mais d'une façon relativement faible.
- ✓ De 18h00 à 23h59 période d'occupation des chambres d'hôtels, les cuisines, poste de garde, l'éclairage extérieur.

Dans ces deux périodes, la consommation d'énergie par les circuits d'éclairages a diminué selon le mode choisi de 16.3% de la consommation globale de l'école soit 45.28KW au lieu 54.10KW.

- ✓ Du 00h00 au 7h30 période d'inoccupation des classes, l'autodrome, bibliothèque, les cuisines et les locaux techniques.

Dans cette période là où il intervient le système GTB en fixant des plages d'horaires bien définis relative à l'école tout en gardent la priorité en mode manuel dont l'optimisation de l'énergie sera importante vu qu'elle atteindra les 38.58% par rapport à la consommation globale.

B. PARTIE MECANIQUE :

OPTIMISATION SUR LES SYSTEMES MECANIQUES

**Le système CVC (chauffage, ventilation et climatisation) est concerné
par la gestion technique du bâtiment**

« GTB »

III.8. Techniques d'optimisation de l'énergie électrique dans la partie mécanique

Les systèmes mécaniques représentent la plus grande partie de la consommation en énergie électrique, vu le volume important des équipements (moteurs à pompe, chaudières, centrales traitement d'aire, ventilo-convecteurs...) associés à ce genre des systèmes, ce qui oblige la mise en place d'un système à haute performance pour assurer une meilleure exploitation de toutes ces dernières.

La conception et l'installation des systèmes mécaniques ont pour but d'assurer les critères suivants :

- Le confort des occupants en leurs assurant l'offre à la demande en termes de régulation.
- Une haute performance des installations mécaniques tout en assurant une consommation électriques réduite et supervisées dont :
 - ✓ L'alimentation en eau (03 groupe à eau glacé)
 - ✓ L'eau chaude sanitaire (03 chaudières)
 - ✓ La climatisation (12 centrales de traitements d'airs).
 - ✓ La ventilation (ensemble des ventilo-convecteurs)
 - ✓ Batteries terminaux grande surface

Tous ces équipements seront contrôlés et gérés par des automates dédiés à ce genre de fonction comme indiqué sur le schéma synoptique (**Figure III.4**).

III.8.1. Réduction de la consommation énergétique dans les systèmes mécaniques

III.8.1.1. Production « groupes d'eau glacé et chaudières »

La conception de cette partie a été arrêtée selon un besoin en alimentation d'eau chaude et froide dont trois équipements montés en cascade pour chacune.

Ce montage permet de faire fonctionner ces équipements en optimisant leurs fonctionnements en termes de :

- a) Durée de fonctionnement vu qu'ils fonctionnent un/une sur trois par équipement selon un programme prédéfinis à travers des horloges.
- b) Consommation d'énergie vu qu'ils fonctionnent un/une sur trois par équipement selon un programme prédéfinis à travers des horloges.

Et permet aussi de faire basculer sur un autre équipement d'une manière automatique en cas de problème survenu sur l'un et l'une de ces équipements.

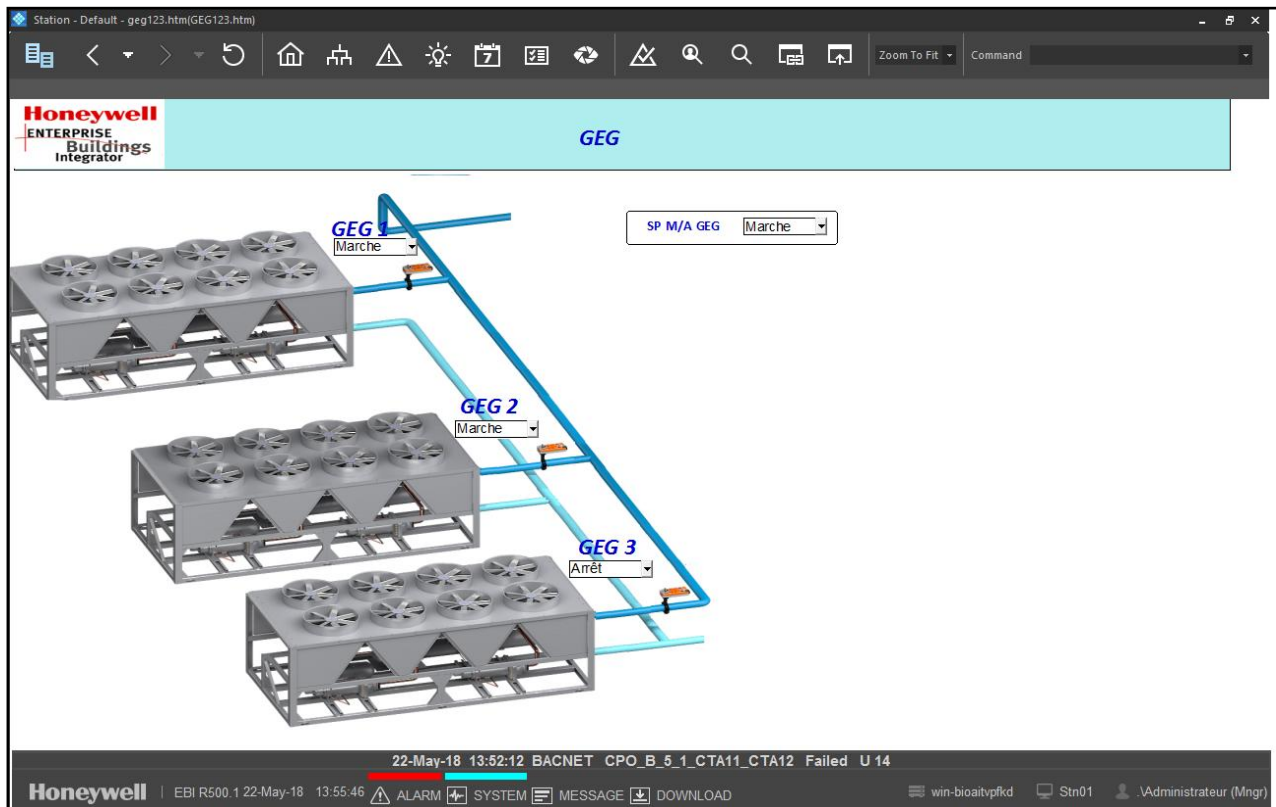


Figure III.12 : Trois groupes d'eau glacés en pleine fonctionnement [40]

III.8.1.2. Distribution « pompes »

- a) **Pompes jumelées** : ce sont des pompes montées d'une manière jumelée pour permettre un fonctionnement en cascade à travers un programme d'horaire prédéfinis par le logiciel de supervision et en cas de problème survenue sur la pompe qui est en marche toute en indiquant l'état de chacune des deux pompes sur ce dernier.

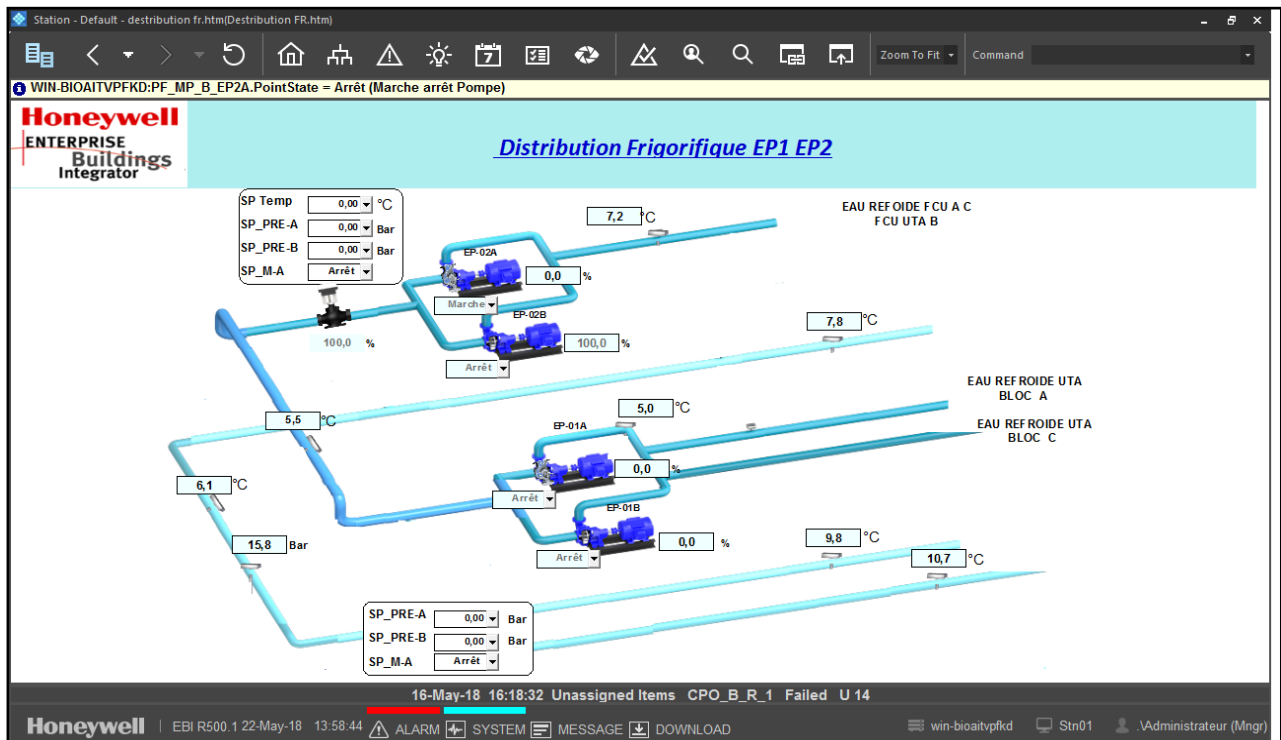


Figure III.13 : Pompes jumelées en pleine fonctionnement [40]

III.8.1.3. Consommation « CTA, ventilo-convecteurs, Batteries terminaux »

a) **CTA** : ces équipements ont un rôle important dans l'optimisation d'une manière générale dont :

- Ils fonctionnent sur des plages d'horaire prédéfinis selon un programme pré établi au préalable par l'opérateur.
- Si la température ambiante désirées atteinte, dans ce cas-là, la CTA ordonne la production (les groupes d'eau glacée et la chaudière) de ce mettre à l'arrêt à l'aide d'un automate (interconnecté entre eux).

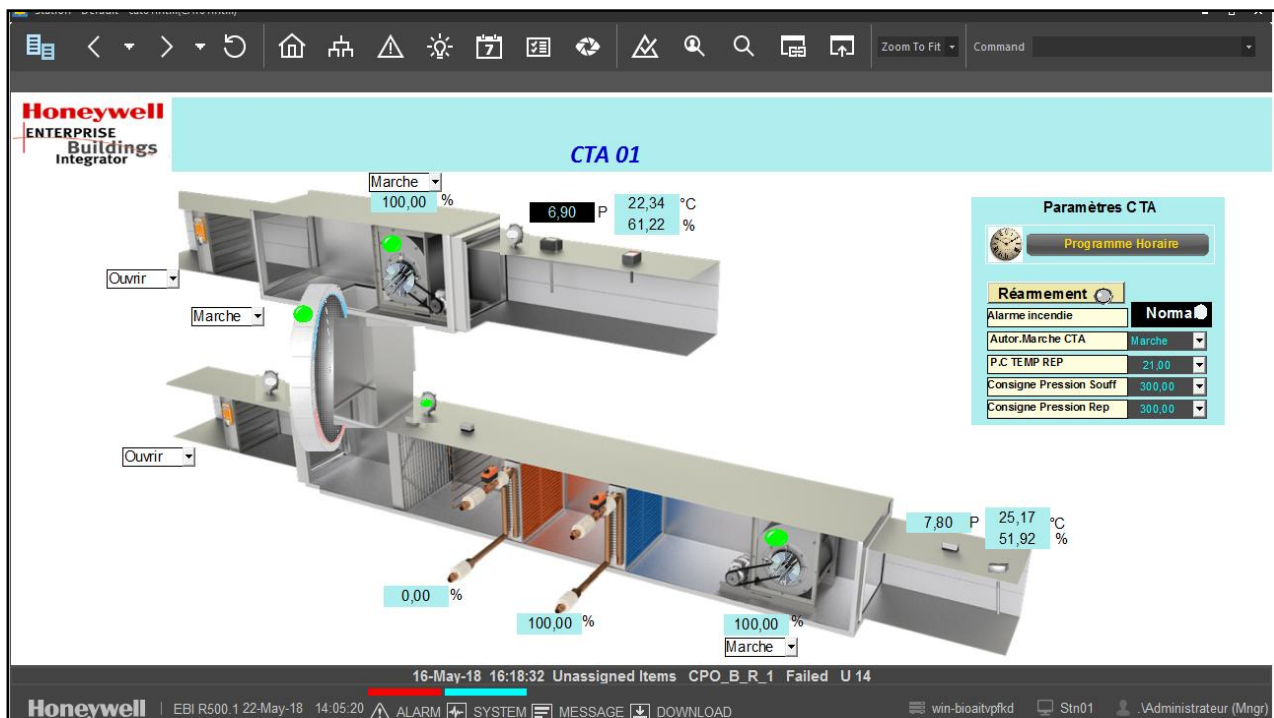


Figure III.14 : CTA en pleine fonctionnement [40]

- b) **Ventilo-convecteurs** : le nombre de ces équipements est important dans l'école soit un nombre de 147 unités, dont la manière pour faire réduire et optimisé la consommation est la même avec celle des CTA.

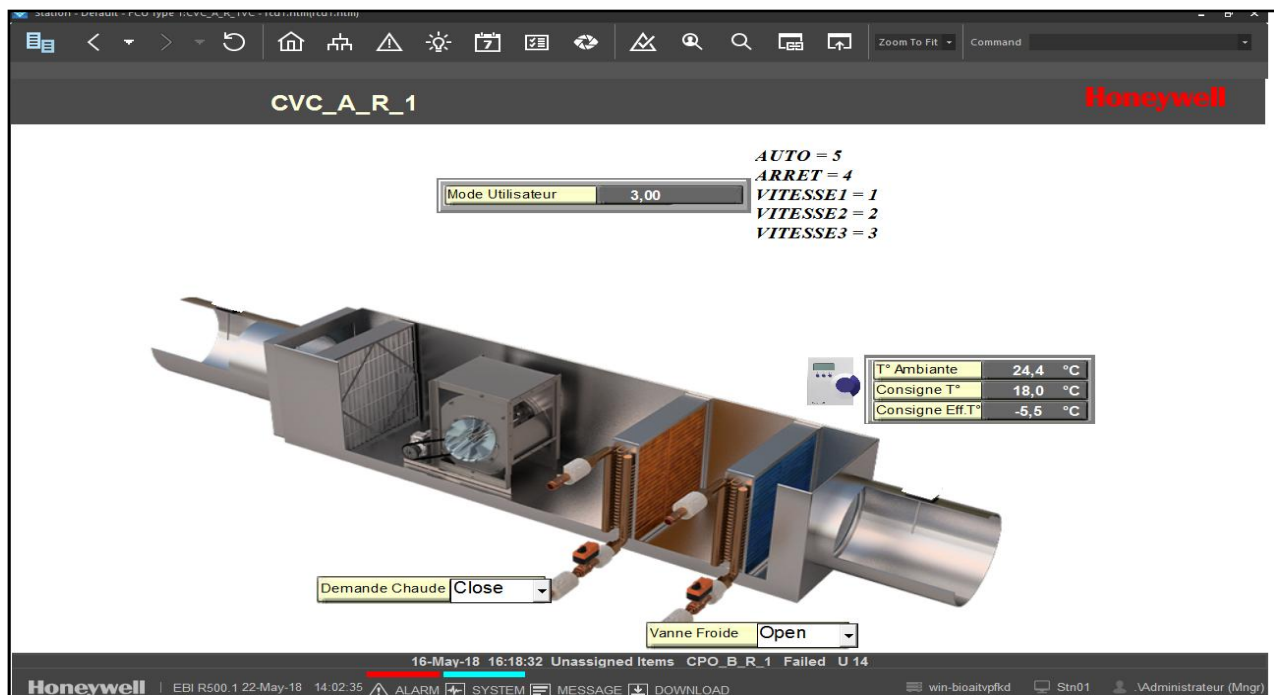


Figure III.15 : Ventilo-convecteur en pleine fonctionnement [40]

- c) **Batteries terminales** : ce sont des points qui sont installés sur les gaines pour faire pulser l'air chaud suite aux consignes prédéfinies par le logiciel de supervision si la CTA est l'arrêt, les vannes d'eau chaude sont fermés donc il n'y a pas une demande.

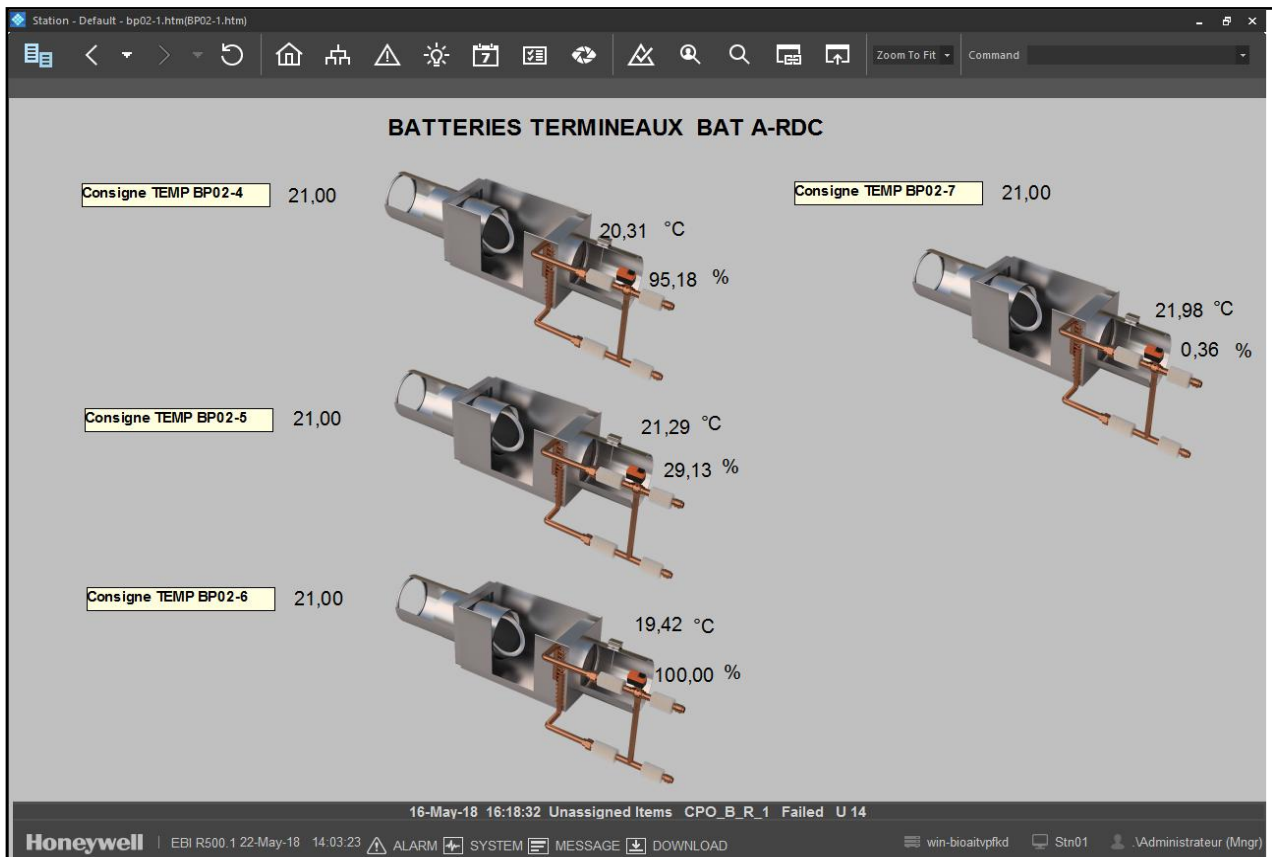


Figure III.16 : Batteries terminaux en pleine fonctionnement [40]

III.8.2. Réduction de la consommation de la partie mécanique à partir d'un contrôle adopté par la GTB:

La réduction de la consommation de cette partie se fait de la manière suivante :

- ✓ Fonctionnement avec des plages horaires de 24 heures.
- ✓ Mesure des différentes puissances après l'écoulement.

III.8.2.1. Résultats de la consommation d'énergie dans la partie mécanique

Les valeurs des puissances selon les plages d'horaires proposés sont mentionnées sur le tableau suivant :

Bâtiments	Tableaux électriques	Consommations moyennes								
		P (kw)	Q (kvar)	S (kva)	P (kw)	Q (kvar)	S (kva)	P (kw)	Q (kvar)	S (kva)
		Relevé du 24/05/2018 du 08h au 17h59			Relevé du 24/05/2018 du 18h au 23h59			Relevé du 24/05/2018 du 00h au 7h30		
A B C	EP EC	<u>104</u>	<u>43,62</u>	<u>113,04</u>	73,52	21,56	80,73	<u>50,58</u>	<u>13,61</u>	<u>52,45</u>
Total		<u>104</u>	<u>43,62</u>	<u>113,04</u>	73,52	21,56	80,73	<u>50,58</u>	<u>13,61</u>	<u>52,45</u>
		Consommation sans optimisation			Consommation avec optimisation					
Ecart en %		100%			29,31 %	50,573 %	28,59 %	51,36 %	68,806 %	53,60 %

Tableau III.3 : Relevé des valeurs réelles des puissances dans 24 heures (partie CVC)

	Du 8h00 au 17h59 et du 18h00 au 23h59					
Période N°01	P (Kw)	Avant l'optimisation	104,00	100	Ecart en %	
		Après l'optimisation	30,482	P	29,310	%
	Du 8h00 au 17h59 et du 18h00 au 23h59					
	S (Kva)	Avant l'optimisation	113,044	100	Ecart en %	
		Après l'optimisation	32,319	S	28,590	%
	Du 8h00 au 17h59 et du 18h00 au 23h59					
	Q (Kvar)	Avant l'optimisation	43,620	100	Ecart en %	
		Après l'optimisation	22,060	Q	50,573	%
	Du 8h00 au 17h59 et du 00h00 au 7h30					
Période N°01	P (Kw)	Avant l'optimisation	104,000	100	Ecart en %	
		Après l'optimisation	53,420	P	51,365	%
	Du 8h00 au 17h59 et du 00h00 au 7h30					
	S (Kva)	Avant l'optimisation	113,044	100	Ecart en %	
		Après l'optimisation	60,596	S	53,604	%
	Du 8h00 au 17h59 et du 00h00 au 7h30					
	Q (Kvar)	Avant l'optimisation	43,620	100	Ecart en %	
		Après l'optimisation	30,013	Q	68,806	%

Tableau III.4 : Ecart des valeurs de puissances en pourcentage (partie CVC)

Les résultats de la consommation des puissances active et apparente de la partie mécanique sont représentés dans des courbes dont le détail est comme suit :

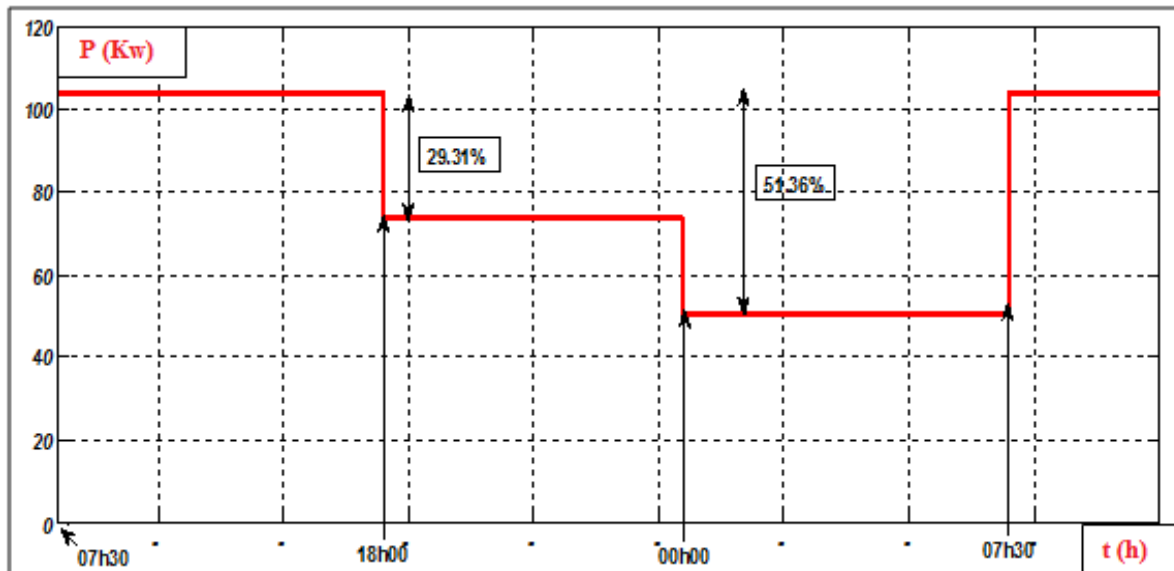


Figure III.17 : Variation de la consommation de la puissance active en fonction du temps
(Circuit CVC)

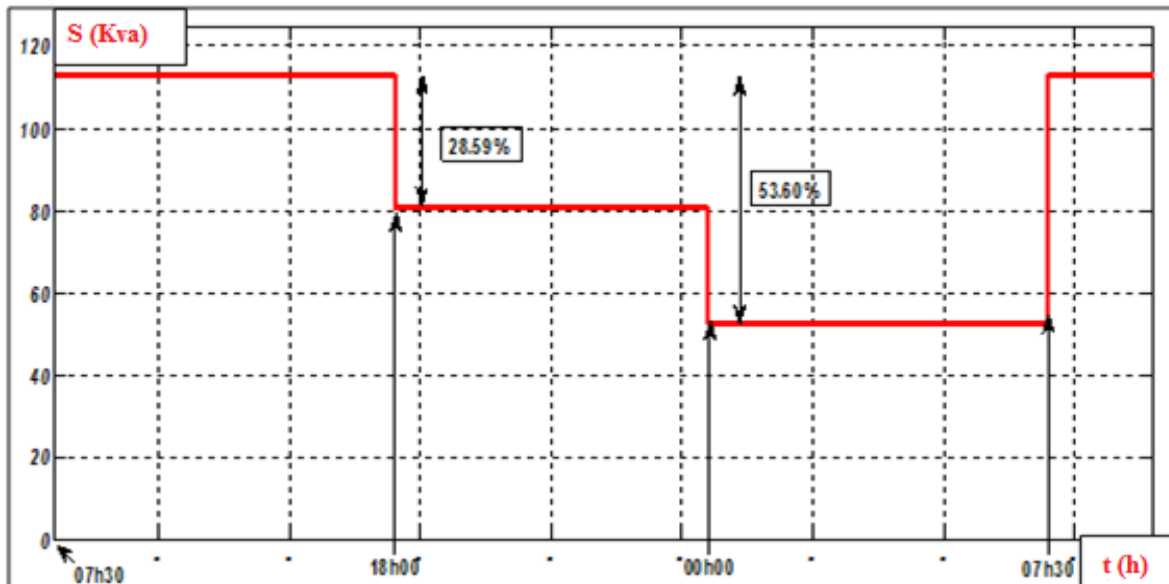


Figure III.18 : Variation de la consommation de la puissance apparente en fonction du temps
(Circuit CVC)

III.8.2.2. Interprétation des résultats

Additivement à ce qu'on a vu pour l'éclairage, et de la même manière et d'après les résultats mentionnés dans le **tableau III.3**, on voit que la gestion technique des bâtiments a pu minimiser environ plus de 50% la consommation globale pour cette partie que l'on considère importante en terme de consommation vu les pompes, les moteurs et les équipements lourds associer à cette dernière dont les plages d'horaires sont comme suit :

- ✓ De 08h du matin à 17h59 période d'occupation de toutes les classes, bibliothèque, l'administration, les cuisines, poste de garde et certains endroits comme l'auditorium, les locaux techniques qui nécessitent une régulation adéquate selon les saisons.
- ✓ De 18h00 à 23h59 période d'occupation des chambres d'hôtels, les cuisines, poste de garde, le club, les salles de sports.

Dans ces deux périodes la consommation d'énergie par le système chauffage, ventilation et climatisation a diminué selon le mode choisi de 29.31% de la consommation globale de l'école soit 73,52KW au lieu 104 KW.

- ✓ De 00h00 à 7h30 période d'inoccupation des classes, l'auditorium, bibliothèque, les cuisines et les locaux techniques.

Dans cette période, là où il intervient le système GTB en fixant des plages d'horaires bien définis relative à l'école tout en gardent la priorité en mode manuelle dont l'optimisation de l'énergie sera importante vu qu'elle atteindra les 53.6% par rapport à la consommation globale dans la partie mécanique.

Les résultats obtenus pour l'éclairage et pour le CVC, sont approximatifs et ne reflètent pas exactement le bon fonctionnement du logiciel de la GTB pour la simple raison que l'école n'est pas encore exploitée à 100%, tous les travaux sont en cours de réalisation et mise en service.

Du point de vue initial on remarque que ce logiciel a des fonctionnalités importantes pour réduire la consommation d'énergie qui conduit et apporte des intérêts et des avantages en termes de cout de revient des équipements, prestations de service de maintenances y compris la facture d'électricité.

C.IMPACT DE LA GTB SUR LES COUTS

ENERGETIQUES

III.9. Impact de GTB sur les couts énergétiques

En appliquant les tarifications adoptées pour les abonnées « MT » propriétaire des postes de transformation pour un fonctionnement en trois tranches selon le tableau suivant :

Tarif 41	Pointe 17h à 21h	Plaines 6h à 17h et 21h à 22h30	Nuit 22h30 à 6h
Active	872,02 cDA	193,76 cDA	102,40 cDA
Réactive	45,53 cDA	Bonus : 9,11 cDA	

Tableau III.5 : Tarif de l'énergie active et réactive facturée par KWh [41]

III.9.1. Partie éclairage

Afin de voir l'impact de cette solution dite GTB sur le plan économique pour la partie éclairage, une facture estimative avec et sans compensation a été réalisée dans le **tableau III.6 et tableau III.7**, en appliquant les tarifs réels en **KWh** selon trois plages d'horaires de consommation à savoir pleines, pointe et nuit et ce, pour les puissances actives et réactives dans un mois vu que la facturation se fait mensuellement.

Puissance	Heurs	Consommation KW	Nombre d'heurs	Nombre jours	Consommation Total KWh/Mois	Prix Unitaire/KWh	Montant total TTC
Active	Pleines	54,105	10	26	14 067,300	2,3060	32 439,194
	Pointe	54,105	6	26	8 440,380	10,3770	87 585,823
	Nuit	54,105	8	26	11 253,840	1,2150	13 673,416
Réactive	Pleines	21,790	10	26	5 665,400	0,5420	3 070,647
	Pointe	21,790	6	26	3 399,240	0,5420	1 842,388
	Nuit	21,790	8	26	4 532,320	0,5400	2 447,453
Montant Total en TTC							141 058,920

Tableau III.6 : Facture estimative de la consommation d'énergie active et réactive pour la partie éclairage sans optimisation

Puissance	Heurs	Consommation KW	Nombre d'heurs	Nombre jours	Consommation Total KWh/Mois	Prix unitaire/KWh	Montant total TTC
Active	Pleines	54,105	10	26	14 067,300	2,3060	32 439,194
	Pointe	45,286	6	26	7 064,598	10,3770	73 309,334
	Nuit	33,230	8	26	6 911,840	1,2150	8 397,886
Réactive	Pleines	21,790	10	26	5 665,400	0,5420	3 070,647
	Pointe	21,490	6	26	3 352,440	0,5420	1 817,022
	Nuit	20,660	8	26	4 297,280	0,5420	2 329,126
Montant Total en TTC							121 363,209

Tableau III.7 : Facture estimative de la consommation d'énergie active et réactive pour la partie éclairage avec optimisation

Soit une différence de **19 704, 741 DA** avec le système d'optimisation.

III.9.2. Partie Chauffage, Ventilation et Climatisation

Avec le même principe que pour l'éclairage, une facture estimative avec et sans compensation a été réalisée dans le **tableau III.8 et tableau III.9** pour la partie chauffage, ventilation et climatisation, en appliquant les tarifs réels en **KWh** selon trois plages d'horaires de consommation à savoir pleines, pointe et nuit pour les puissances actives et réactives en un mois (facturation mensuelle).

Puissance	Heurs	Consommation KW	Nombre d'heurs	Nombre jours	Consommation Total KWh/Mois	Prix Unitaire/KWh	Montant total TTC
Active	Pleines	104,000	10	26	27 040,000	2,3060	62 354,240
	Pointe	104,000	6	26	16 224,000	10,3770	168 356,448
	Nuit	104,000	8	26	21 632,000	1,2150	26 282,880
Réactive	Pleines	43,620	10	26	11 341,200	0,5420	6 146,930
	Pointe	43,620	6	26	6 804,720	0,5420	3 688,158
	Nuit	43,620	8	26	9 072,960	0,5420	4 917,544
Montant Total en TTC							271 746,200

Tableau III.8 : Facture estimative de la consommation d'énergie active et réactive pour la partie CVC sans optimisation

Puissance	Heurs	Consommation KW	Nombre d'heurs	Nombre jours	Consommation Total KWh/Mois	Prix unitaire/KWh	Montant total TTC
Active	Pleines	104,000	10	26	27 040,000	2,3060	62 354,240
	Pointe	73,518	6	26	11 468,746	10,3770	119 011,173
	Nuit	50,580	8	26	10 520,640	1,2150	12 782,578
Réactive	Pleines	43,620	10	26	11 341,200	0,5420	6 146,930
	Pointe	21,560	6	26	3 363,360	0,5420	1 822,941
	Nuit	13,607	8	26	2 830,256	0,5420	1 533,999
Montant Total en TTC							203 651,861

Tableau III.9 : Facture estimative de la consommation d'énergie active et réactive pour la partie CVC avec optimisation

Soit une différence de **68 094,339DA** avec le système d'optimisation

- Pour une consommation sans optimisation, on aura :
 - ✓ **141 058,920 + 271 746,200**, soit un total de **412 805,120 DA/mois** et **4 953 770,231 DA/année.**
- Pour une consommation avec optimisation, on aura :
 - ✓ **121 363,209 + 203 651,861**, soit un total de **325 015,070 DA/mois** et **3 900 180,834 DA/année.**

Donc le système GTB a pu apporter une optimisation de **21,268%** du montant global de la facture, soit **87 799,116 DA/mois** et **1 053 589,398 DA/année**.

III.10. Conclusion

Le présent chapitre représente les résultats du travail, qui nous a permis de voir l'intérêt de ce genre de système d'une installation relativement importante ainsi que les différentes techniques d'optimisation en utilisant le logiciel de la gestion technique des bâtiments **EBI** (Entreprise **B**uilding **I**ntegrator) pour deux parties principales présentant des consommations énergétiques considérables à savoir les circuits d'éclairages et le système chauffage, ventilation et climatisation (CVC) sur des plages d'horaires proposés.

Les résultats obtenus lors des essais expriment ce qui peut être apporté comme bénéfice au propriétaire en optimisant la consommation d'énergie, le temps d'exploitation, l'établissement des rapports, réduction sur les montants des factures, et en conséquence, augmentation de la durée de vie des équipements.

Conclusion

Générale

Conclusion générale

Au terme de ce projet de fin d'études, un récapitulatif permet de dresser le travail avec sa complexité, ses contraintes aussi le supplément de formation qui j'ai eu au cours de ce stage. Cependant, nous pouvons considérer que ce projet de fin d'études s'est articulé en trois chapitres principaux.

Le premier chapitre était une introduction aux systèmes électriques qui m'a permis de connaître la façon dans laquelle le système de distribution électrique dans l'école est composé et ce, dans le but d'assurer une distribution idéale et efficace avec ses principaux équipements constituant le réseau depuis la source jusqu'aux récepteurs avec certains système dit en courant faible et en courant fort vu qu'ils nécessitent une gestion optimale et de confort dans le cadre de notre étude.

Le deuxième chapitre a été consacré à l'étude technique de l'installation électrique dont l'objectif étant de déterminer le besoin en énergie à travers la récolte des informations en termes de puissance de tous les appareils électrique susceptibles de véhiculer cette énergie selon une architecture proposée et réalisée à l'aide du logiciel AUTOCAD. Il était nécessaire en premier lieu d'élaborer un bilan de puissance ce qui conduit au choix du poste de transformation ainsi que des caractéristiques, ce qui permet de dimensionner les sections des différents câbles d'alimentations y compris le calcul des chutes des tensions.

Le troisième chapitre a consisté aux différentes techniques d'optimisation à l'aide du logiciel EBI (Entreprise Building Integrator) pour les deux parties qui présentent une consommation d'énergie considérable dont l'objectif est d'avoir une réduction dans le circuit d'éclairage, système chauffage, ventilation et climatisation (CVC) en 24 heures ce qui va apporter des avantages en termes de gestion des différents systèmes installés dans l'école tout en assurant une optimisation de la consommation.

Les résultats obtenus lors des essais montrent l'intérêt de l'utilisation de ce genre de logiciel dans les grands bâtiments et cela nécessite des procédures d'exploitation, de suivi et de maintenance pour augmenter la durée de vie des équipements. Cependant les valeurs obtenues durant les essais restent partielles vu qu'elles n'ont pas été réalisées en plein exploitation de l'école.

Références

Bibliographiques

- [1] Site officiel de honeywell, <https://www.honeywell.com/>, février 2018.
- [2] Site officiel de la radioalgerie, <http://www.radioalgerie.dz/news/fr/article/20141024/17585.html>, février 2018.
- [3] Site officiel de fabripartners, <http://www.fabrispartners.it>, février 2018.
- [3] Site officiel d'école eshra, <http://eshra.dz/fr/>, février 2018.
- [4] Document de sécurité industrielle et Habilitation électrique (Cours Master II Machine électrique) et Roula Maatouk, « thème : Conception d'une école selon les normes d'un bâtiment vert Al Bateen-Abou Dhabi », Mémoire, Institut des sciences appliquées et économique-Université Libanaise, année 2010 (page. 09).
- [5] Technique de l'ingénieur, D 4600.
- [6]https://fr.wikipedia.org/wiki/Groupe_%C3%A9lectrog%C3%A8ne#Fonctionnement, février 2018.
- [7] Fiche technique du groupe électrogène, Aksa.
- [8] <http://tgbt.over-blog.com/>, février 2018.
- [9] https://fr.wikipedia.org/wiki/Alimentation_sans_interruption, mars 2018.
- [10] Roula Maatouk, « Conception d'une école selon les normes d'un bâtiment vert Al Bateen-Abou Dhabi », Mémoire, Institut des sciences appliquées et économique-Université Libanaise, année 2010 pagination (page. 16-17).
- [11]<https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=11473#c1312+c1313+c1314+c1315>, mars 2018.
- [12] <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/energies-th4/reseaux-electriques-industriels-et-tertiaires-42265210/jeux-de-barres-a-basse-tension-d5165/>, mars 2018.
- [13] Catalogue: système de sécurité incendie. Édition 2010-2011-ISSER By Honeywell (page 33)
- [14] Règle APSAD R7 – édition 07.2006.0 détection automatique d'incendie Page 13.
- [15] Règle APSAD R7 – édition 07.2006.0 détection automatique d'incendie Page 13.
- [16] <https://www.abcclim.net/desenfumage-type-balayage-erp.html>, mars 2018.
- [17] Catalogue 2012-2013 systèmes de sonorisation et de confort, lycée Professionnel de Romps ay BAC PRO SEN cours sur le contrôle d'accès.
- [18] Site officiel groupe adefi, http://www.adefi-securite.com/Sonorisation_securite_SSS.html, mars 2018
- [19] https://fr.wikipedia.org/wiki/Chauffage,_ventilation_et_climatisation et Rapport de stage Master II, « La conduite efficace d'un projet de Gestion Technique de Bâtiment », année 2012.
- [20] Support de formation PowerPoint SIEMTEC établi par Mr. Bensouih Mohamed, année 2012.
- [21] <https://www.climamaison.com/lexique/ventilo-convecteur.htm>, mars 2018.
- [22] Support de formation PowerPoint SIEMTEC établi par Mr. Bensouih Mohamed, année 2012.

- [23] <http://genieclimatique.fr/Produits-et-Services/Fiche/962/Ventilo-convecteur-parametrable>, mai 2018.
- [24] Sarl SINELEC, « guide de conception d'une installation électrique BT », année 2015.
- [25] http://www.installations-electriques.net/Instal/NIBT_pour_tous/disj%20selectivite.pdf, mai 2018
- [26] AFRIA Mustapha, « Thèmes : Etude technique et conception de l'installation. Électrique d'une nouvelle unité industrielle de production des armoires électriques », thèse, université : Université Sidi Mohamed Ben Abdallah, faculté des Sciences et Techniques de Fès Département de Génie Industriel, pays : Maroc), année (2014), pagination (pp. 49).
- [27] <https://www.google.dz/search?q=diagramme+puissance>, mai 2018.
- [28] Cours Master I module réseaux électrique spécialité machine électrique département ingénierie des systèmes électriques UMBB, année 2016.
- [29] Document Norme électrique officiel-NFC 15-100 installation électrique à basse tension, année décembre 2002, page (43).
- [30] Sarl SINELEC, « guide de conception d'une installation électrique BT », année 2015, (page 06)
- [31] Sarl SINELEC, « guide de conception d'une installation électrique BT », année 2015, pagination (page 07-10).
- [32] Document Norme électrique officiel-NFC 15-100 installation électrique à basse tension, année décembre 2002, page (220).
- [33] Sarl SINELEC, « guide de conception d'une installation électrique BT », année 2015, (page 12).
- [34] Dossier techniques d'installation (fiche techniques des alimentations sans interruption), école Eschra Oran, année 2016.
- [35] HBS, guide de l'opérateur Honeywell, logiciel « Enterprise Buildings Integrator » EBI-ZZDOC500-03 Mai 2016 version 500, (page 12).
- [36] HBS, Guide de l'opérateur Honeywell, Logiciel « Enterprise Buildings Integrator » EBI-ZZDOC500-03 Mai 2016 version 500, (page 14).
- [37] Capture d'écran prise à partir du logiciel EBI R500 en fonctionnement, site école eshra Oran, année 2018.
- [38] Site officiel Algérie éco, <https://www.algerie-eco.com/2018/03/15/guitouni-leclairage-public-represente-40-de-la-consommation-nationale-denergie/>, mai 2018.
- [39] Roula Maatouk, « Conception d'une école selon les normes d'un bâtiment vert Al Bateen-Abou Dhabi », Mémoire, Institut des sciences appliqués –Université libanaise ISAE-Cnam-Liban, pays : émirats arabes unis, année (2010), (page 18).

- [40] Capture d'écran prise à partir du logiciel EBI R500 en fonctionnement, site école Eshra Oran, année 2018.
- [41] Commission de régulation de l'électricité et du gaz (CREG), tarification de l'électricité haute tension type A, juin 2018.

ANNEXE

« A »

I. Méthodes de calcul

I.1. Calcul de la section du câble

L'objectif est de calculer la section des câbles BC, FG et HI.

On choisit un câble cuivre de type **U1000R2V** isolé en PR (non armé multipolaire).

▪ Etape 1 : Calcul des courants transportés par les différentes liaisons

$$I_{HI} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\phi} = \frac{20 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.86} = 35,333A$$

$$I_{FG} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{399,276 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 400} = 56,988A$$

$$I_{BC} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{938,99 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 400} = 356,219A$$

▪ Etape 2 : Calcul du facteur de correction selon la température ambiante.

On suppose que le tronçon BC est à l'air libre dans un poste MT/BT posé à l'abri du soleil sur des parois à la température **35°C**.

Les tronçons FG et HI sont posés jointifs dans un chemin de câble à **32°C**.

On a la formule suivante :

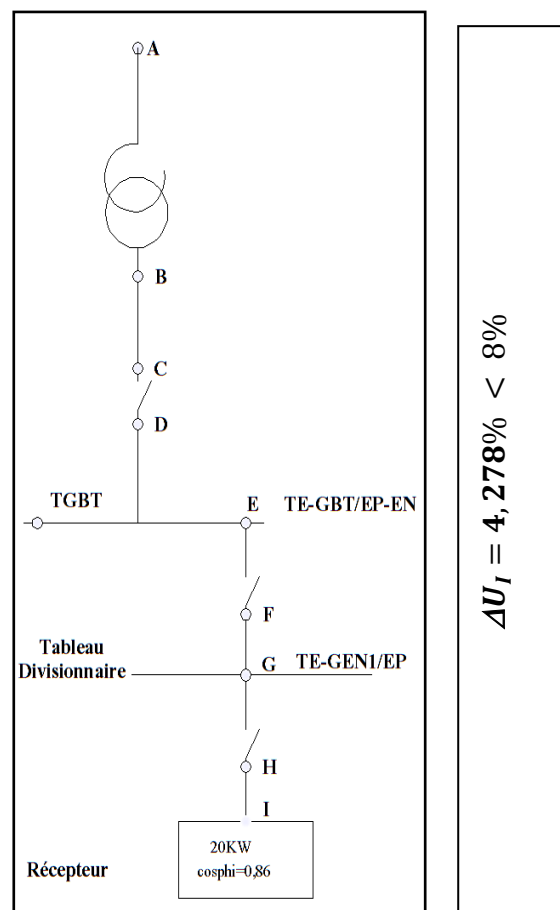
$$K_{ta} = \sqrt{\frac{\phi - T}{\phi - t}}$$

Avec

- ✓ ϕ : est la température admissible par l'âme conductrice en régime permanent.
- ✓ T : est la température ambiante en °C, $t=20^\circ\text{C}$ ou 30°C selon que le câble soit enterré ou à l'air libre.

La température admissible en régime permanent dépend de la nature du câble :

- Câbles BT isolé en PR : $\phi = 90^\circ\text{C}$.



$$K_{ta-BC} = \sqrt{\frac{\phi-T}{\phi-t}} = \sqrt{\frac{90-35}{90-30}} = 0,96$$

$$K_{ta-FG/HI} = \sqrt{\frac{\phi-T}{\phi-t}} = \sqrt{\frac{90-32}{90-30}} = 0,98$$

▪ **Etape 3 : Calcul du facteur de correction selon le mode de pose**

Tronçon BC : câble posé à l'air libre à l'abri du soleil sur des parois seul $K_{mp}=1$.

Tronçon FG et HI : Câble posé à l'air libre sur chemin de câble jointif. On suppose qu'il y a uniquement deux câbles jointifs dans le chemin de câble, on prend $K_{mp}=0.85$.

▪ **Etape 4 : Correction des intensités transportées**

On applique la formule suivante :

$$I_r = \frac{I_c}{K_{ta} \cdot K_{mp}}$$

Avec

- ✓ I_r : est l'intensité de courant corrigée.
- ✓ I_c : est l'intensité de courant calculée.
- ✓ K_{mp} : facteur de correction de mode de pose.

Application :

$$\circ I_{r-BC} = \frac{I_{c-BC}}{K_{ta} \cdot K_{mp}} = \frac{1356,921}{0,96 \cdot 1} = 1413,46A.$$

$$\circ I_{r-FG} = \frac{I_{c-FG}}{K_{ta} \cdot K_{mp}} = \frac{756,988}{0,98 \cdot 0,85} = 908,49A$$

$$\circ I_{r-HI} = \frac{I_{c-HI}}{K_{ta} \cdot K_{mp}} = \frac{35,333}{0,96 \cdot 1} = 42,416A$$

▪ **Etape 5 : Premier choix de la section du câble.**

A partir du tableau donnant l'intensité admissible en fonction de la section pour le câble U1000R2V, on choisit les sections :

- $S_{BC} = 3 \cdot (3 \cdot (1 \cdot 240)) + 1N95 + 1G95$.
- $S_{BC} = 2 \cdot (3 \cdot (1 \cdot 240)) + 1N95 + 1G95$.
- $S_{BC} = 5G10$.

I.2. Calcul la chute de tension

On peut calculer la chute de tension à partir de la formule suivante :

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I (R_L \cdot \cos\varphi + X_L \cdot \sin\varphi)$$

$$R_L = \frac{\rho \cdot L}{S}$$

Avec :

- ✓ ΔU : étant la chute de tension, en volts,
- ✓ I : étant l'intensité de courant transportée en fonctionnement normale.
- ✓ R_L : La résistance du conducteur en courant alternatif, à la température de fonctionnement (Ω/km).
- ✓ X_L : étant la réactance linéique des conducteurs, prise égale, en l'absence d'autres indications, à 0,08 m Ω/m .
- ✓ $\cos \phi$: étant le facteur de puissance du récepteur égal à 0.86 ($\sin \phi = 0,0015$) , en l'absence d'indications précises, le facteur de puissance est pris égal à 0,8 ($\sin \phi = 0,6$) ;
- ✓ L : étant la longueur simple de la canalisation, en Km.

Avec

- ✓ ρ : étant la résistivité à la température en service normal, soit 0.01742 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ à 20°C, pour le cuivre.
- ✓ S : étant la section des conducteurs, en mm^2 .

La chute de tension relative (en pour-cent) est égale à :

$$\Delta U = 100 \frac{U}{U_0}$$

U_0 : étant la tension entre phase et neutre, en volts.

I.3. Vérification de la chute de tension :

Les longueurs des câbles sont respectivement comme suit :

$$L_{BC} = 15\text{m}, L_{BC} = 40\text{m et } L_{BC} = 80\text{m}.$$

- La chute de tension au point « E » donnée par (en triphasé)

$$\Delta U_E = \sqrt{3} \cdot 1356,923 \left(\frac{0,01724 \cdot 15}{240} \cdot 0.86 + 0,08.0,015 \right) = 4,99V = 1.247\%.$$

$$\Delta U_E = 1,247\%$$

- La chute de tension au point « G » donnée par (en triphasé)

$$\Delta U_G = \Delta U_E + \sqrt{3} \cdot 756,988 \left(\frac{0,01724 \cdot 40}{240} \cdot 0.86 + 0,08.0,015 \right) = 4,99V = 1.247\%.$$

$$\Delta U_E = 1.247 + 1.201 = 2.448\%.$$

$$\Delta U_E = 2,448\%$$

- La chute de tension au point « I » donnée par (en triphasé)

$$\Delta U_I = \Delta U_E + \sqrt{3} \cdot 35,333 \left(\frac{0,01724 \cdot 80}{10} \cdot 0.86 + 0,08.0,015 \right) = 2,448 + 1,830V = 4,278\%.$$

$$\Delta U_I = 4,278\% < 8\%$$

A partir des calculs établis on conclut que les sections choisies vérifient le critère de chute de tension dans la limite des normes en vigueur.