



HAL
open science

Conception d'une école selon les normes d'un bâtiment vert Al Bateen-Abou Dhabi

Roula Maatouk

► **To cite this version:**

Roula Maatouk. Conception d'une école selon les normes d'un bâtiment vert Al Bateen-Abou Dhabi. Energie électrique. 2010. dumas-00574424

HAL Id: dumas-00574424

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00574424v1>

Submitted on 8 Mar 2011

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Institut des Sciences Appliquées et Économiques - Université Libanaise
ISAE – Cnam Liban
Centre du Liban associé au
Conservatoire national des arts et métiers – Paris



MEMOIRE

présenté en vue d'obtenir

le **DIPLOME d'INGENIEUR CNAM**

En Electrotechnique
Par

MAATOUK Roula

**CONCEPTION D'UNE ECOLE SELON LES NORMES D'UN BÂTIMENT VERT
AL BATEEN-ABOU DHABI**

Soutenu le 8 Novembre 2010

JURY :

Président : Clément RAMIARINJAONA

Membres : Khaled ITANI

David CHEBAB

Claude ASMAR

Mohammad OUEIDAT

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS.....	1
LISTE OF ABBREVIATIONS.....	2
INTRODUCTION.....	4

SYSTEMES ELECTRIQUES

I. CHAPITRE 1: INTRODUCTION AUX SYSTEMES ELECTRIQUES	9
I.1. GÉNÉRALITÉS.....	9
I.2. NORMES.....	9
I.3. INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES.....	10
I.4. TENSION DU RÉSEAU ALIMENTANT L'INSTALLATION ÉLECTRIQUE.....	10
I.5. RÉSEAU PRINCIPAL DE DISTRIBUTION (Basse tension).....	11
I.6. TABLEAU PRINCIPAL DE DISTRIBUTION (MDB Main Distribution Board).....	11
I.7. TABLEAU SECONDAIRE DE DISTRIBUTION (SMDB Sub Main Distribution Board)	11
I.8. TABLEAU DE MOTORISATION (MCC Motor Control Center).....	11
I.9. DÉMARREURS	12
I.10. BANCS DE CAPACITÉS.....	14
I.11. BMS (building management system) – Gestion technique du bâtiment	15
I.12. ALIMENTATION SANS INTERRUPTION (UPS)	17
II. CHAPITRE 2: ECLAIRAGE CONTRÔLÉ.....	18
II.1. INTRODUCTION.....	18
II.2. DESCRIPTION DU SYSTEME D'ECLAIRAGE.....	18
II.3. PARAMETRES DE L'ECLAIRAGE	21
II.4. NIVEAU D'ECLAIRAGE	23
II.5. PROCEDURES POUR ASSURER L'ECLAIRAGE.....	25
II.6. CHOIX DES LUMINAIRES.....	27
II.7. LUMINAIRES ADOPTES SELON CHAQUE ESPACE	31
II.8. INTEGRATION DES DETECTEURS	32
II.9. INSTALLATION DE L'ECLAIRAGE	33
II.10. POTENTIEL DE RECHAUFFEMENT DE L'ATMOSPHERE (Global Warming Potential) ...	34

II.11. REDUCTION DE CONSOMMATIONS DANS L'ECLAIRAGE.....	35
III. CHAPITRE 3: PUISSANCES ET CHARGES	39
III.1. INTRODUCTION.....	39
III.2. PUISSANCE INSTALLEE	39
III.3. INSTALLATION ELECTRIQUE DE L' ECOLE	41
III.4. ESTIMATION DE LA DEMANDE MAXIMALE EN KVA	42
III.4. 1. CALCUL DE LA PUISSANCE INSTALLEE.....	43
III.4. 2. CALCUL DE LA PUISSANCE UTILISEE.....	44
III.4. 3. CALCUL DE PUISSANCE APPELEE	45
III.5. ORIGINE DES HARMONIQUES ET COMPENSATION DU REACTIF	46
III.6. LE NIVEAU DE COMPENSATION	47
III.7. MESURES DE L'ECONOMIE EN ENERGIE.....	49
III.8. ESTIMATION DE LA PUISSANCE DE LA GENERATION DE SECOURS	52
III.9. ANALYSE.....	56
<u>SYSTEMES MECANIQUES</u>	
IV. CHAPITRE 4: GÉNÉRALITÉS DE L'INSTALLATION MÉCANIQUE	58
IV.1. CRITERES DE CONCEPTION	58
IV.2. BASES DE CONCEPTION	58
V. CHAPITRE 5: ALIMENTATION EN EAU	60
V.1. INTRODUCTION:.....	60
V.2. ESTIMATION DU BESOIN EN EAU:	60
V.3. CARACTERISTIQUES DES POMPES CENTRIFUGES UTILISEES:	64
V.4. REGLAGE DU DEBIT	67
V.5. DIMENSIONNEMENT DES POMPES	67
V.6. CALCUL DE LA PUISSANCE ELECTRIQUE :.....	74
V.7. MODULATION DE LA PUISSANCE ELECTRIQUE, POMPES A VITESSE VARIABLE:..	74
V.8. ESTIMATION DE LA PERIODE DE REMBOURSEMENT (pay back period)	76
V.9. COLLECTION DE L'EAU DE PLUIE	77
V.10. TRAITEMENT DES EAUX USEES.....	80

V.11. ESTIMATION DU VOLUME D'EGOUTS	81
V.12. NOUVELLE TECHNOLOGIE POUR ECONOMISER DE L'EAU	83
V.13. TAUX DE REDUCTION DE CONSOMMATION ET ECONOMIE EN EAU	84
VI. CHAPITRE 6: EAU CHAUDE SANITAIRE	86
VI.1. INTRODUCTION	86
VI.2. ESTIMATION DU BESOIN EN EAU CHAUDE	86
VI.3. PANNEAUX SOLAIRES	88
VI.4. MODE D'INSTALLATION :	91
VI.4. DIMENSIONNEMENT DES CAPTEURS SOLAIRES	93
VI.5. REDUCTION DE CONSOMMATION INTEGRATION DES PANNEAUX SOLAIRES:	94
VI.5. DUREE DE REMBOURSEMENT "PAY BACK PERIOD"	96
VI.6. REDUCTION DU TAUX DE CO2 EMIS	97
VII. CHAPITRE 7: VENTILATION FORCÉE	98
VII.1. INTRODUCTION	98
VII.2. DESCRIPTION DU SYSTEME DE VENTILATION	98
VII.3. DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME DE VENTILATION	99
VII.4. INSTALLATION DU SYSTEME DE VENTILATION	101
VII.5. MISE EN OEUVRE DU SYSTEME DE VENTILATION	102
VII.6. DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME DE VENTILATION	105
VII.7. CALCUL DE LA CAPACITE DE REFROIDISSEMENT DE LA AHU	111
VII.8. CONTROLE DU SYSTEME DE VENTILATION	113
VII.9. EPARGNE EN ELECTRICITE CONSOMMEE GRACE AU CONTROLE	119
VII.10. TRANSFERT ENERGETIQUE DU SYSTEME DE VENTILATION	120
VII.11. REDUCTION ENERGETIQUE DU SYSTEME DE VENTILATION	121
VIII. CHAPITRE 8: CLIMATISATION SOLAIRE	122
VIII.1. INTRODUCTION	122
VIII.2. DESCRIPTION D'UN SYSTEME DE CLIMATISATION	122
VIII.3. PARAMETRES A CONTRÔLER POUR UN CONFORT THERMIQUE	123

VIII.4. LES APPORTS INTERNES.....	124
VIII.5. RENOUVELABLE: LA CLIMATISATION SOLAIRE	124
VIII.6. GROUPE DE BASE DES SYSTEMES DE PRODUCTION FRIGORIFIQUE	125
VIII.7. GROUPE DE PRODUCTION FRIGORIFIQUE A SORPTION	126
VIII.8. SYSTEME DE PRODUCTION D'EAU GLACEE , CAPTEURS SOLAIRES.....	131
VIII.9. CALCUL DE LA CAPACITE DE REFROIDISSEMENT	132
VIII.10. TAUX DE REDUCTION DE LA CAPACITE DE REFROIDISSEMENT	137
VIII.11. INSTALLATIONS DU SYSTEME DE CLIMATISATION:	138
VIII.12. DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME DE CLIMATISATION.....	139
CONCLUSION.....	142
LISTE DE FIGURES.....	144
LISTE DES TABLEAUX.....	147
BIBLIOGRAPHIE.....	150
RESUME.....	152
ANNEXE.....	153

REMERCIEMENTS

Mon DIEU, c'est à vous que j'adresse mon premier remerciement. Merci de m'avoir muni d'une haute persévérance et d'une grande patience pour que j'aie pu parvenir ici.

Je tiens à remercier le jury, président et membres pour leur présence et leur écoute.

Mon expérience professionnelle est grâce à SDT International. Je remercie Mr Wassim Tabet de m'avoir fait confiance et m'avoir délégué pour faire l'étude et la conception de ce projet.

Sincères remerciements à Mr. Khaled Itani, mon tuteur qui, dès mes premières années à l'ISAE , m'a dirigé, encouragé et soutenu tout en sachant comment me mettre sur les bonnes rails chaque fois que je trébuchais en ayant une confiance que je parviendrai à obtenir le diplôme d'ingénieur du CNAM.

J'adresse une pensée particulière à Mr. Fahed Gerges qui a vraiment été un supporteur génial, m'a soutenu moralement et matériellement, en mettant à ma disposition tous les moyens afin de m'offrir l'ambiance adéquate pour obtenir mon diplôme d'ingénieur.

Des remerciements du cœur s'adressent à ma mère, ma parraine, mon frère, Nadine Khoury, Lara Saadé et Mimi Gerges qui m'ont soutenu, supporté et encouragé, chacun à sa façon, durant ces longues années.

LISTES DES ABREVIATIONS

AHU	Air Handling Unit
ATS	Automatic Transfert Switch
TR	Tonnes de Refrigeration
HP	Horse Power
WC	Water Closet
FU	Fixture Unit
GPM	Gallon per minute
H	Enthalpie
RH	Taux d'humidité
Qs	Chaleur spécifique
Ql	Chaleur latente
CFM	Cubic Feet per meter
P	Puissance électrique
Kg	Kilogramme
g	Gramme
Kw	Kilowatt
KVA	Kilovolt ampere
m ³	mètre cube
L/s	Litre par seconde
m/s	mètre par seconde
DB	Dry Bulb
WB	Wet Bulb

° C	Degré celcius
in	inch
FU	Fixture Units
RDC	Rez De Chaussée
WC	Water Closet
LAV	Lavatory
UR	Urinal
SH	Shower
Fpm	Feet per minute
ASPE	American Society of plumbing Engineers
CIBSE	Chartered Institution of Building Services Engineers
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers
UPC	Uniform Plumbing Code
NFPA	National Fire Protection Association
SMACNA	Sheet Metal and Air Conditioning Contractors National Association

INTRODUCTION

‘‘Nous n’héritons pas la terre, nous l’empruntons à nos enfants’’. Cette formule d’Antoine de St Exupéry résume de façon saisissante la responsabilité qui pèse sur chacun de nous de promouvoir un développement durable, surtout que les effets du changement climatique s’accroissent dramatiquement. Comme nous le savons parfaitement, certains gaz à effet de serre dont le CO₂ est le plus important piègent la chaleur dans l’atmosphère. La combustion des fossiles augmente la teneur du CO₂ dans l’atmosphère provoquant un dérèglement climatique qui commence à impacter les écosystèmes marins et terrestres : sécheresse, pollution, montée des océans inondations, fonte des glaciers... Bref, les scientifiques estiment que sans modification des comportements, l’effet de serre pourrait supprimer toute vie sur terre d’ici quelques siècles.

Vue toutes ces prévisions catastrophiques il est urgent d’agir. Nous sommes sans doute une des dernières générations capables d’éviter des dommages irréparables. Ainsi la modulation des performances énergétiques d’un bâtiment est une impérative.

Dans la suite, les mesures étudiées et les systèmes traités sont conçus de sorte à mieux utiliser les différentes ressources naturelles afin d’assurer la satisfaction des besoins et la préservation de l’environnement en même temps.

Mon projet se résume par l’étude et la conception des services électromécaniques d’une école secondaire située à Abou Dhabi aux Emirats Arabes Unis. Le client a recommandé que son bâtiment respecte le développement durable en profitant le maximum possible des énergies renouvelables et en diminuant le plus possible les émissions des GES.



Figure 1 : *Perspective de l’école*

Cette école s'étendant sur une surface de 20 000 m², est constituée de trois blocs chacun de trois étages. Chaque étage comporte un nombre de classes, laboratoires, bureaux, vestibules et couloirs.

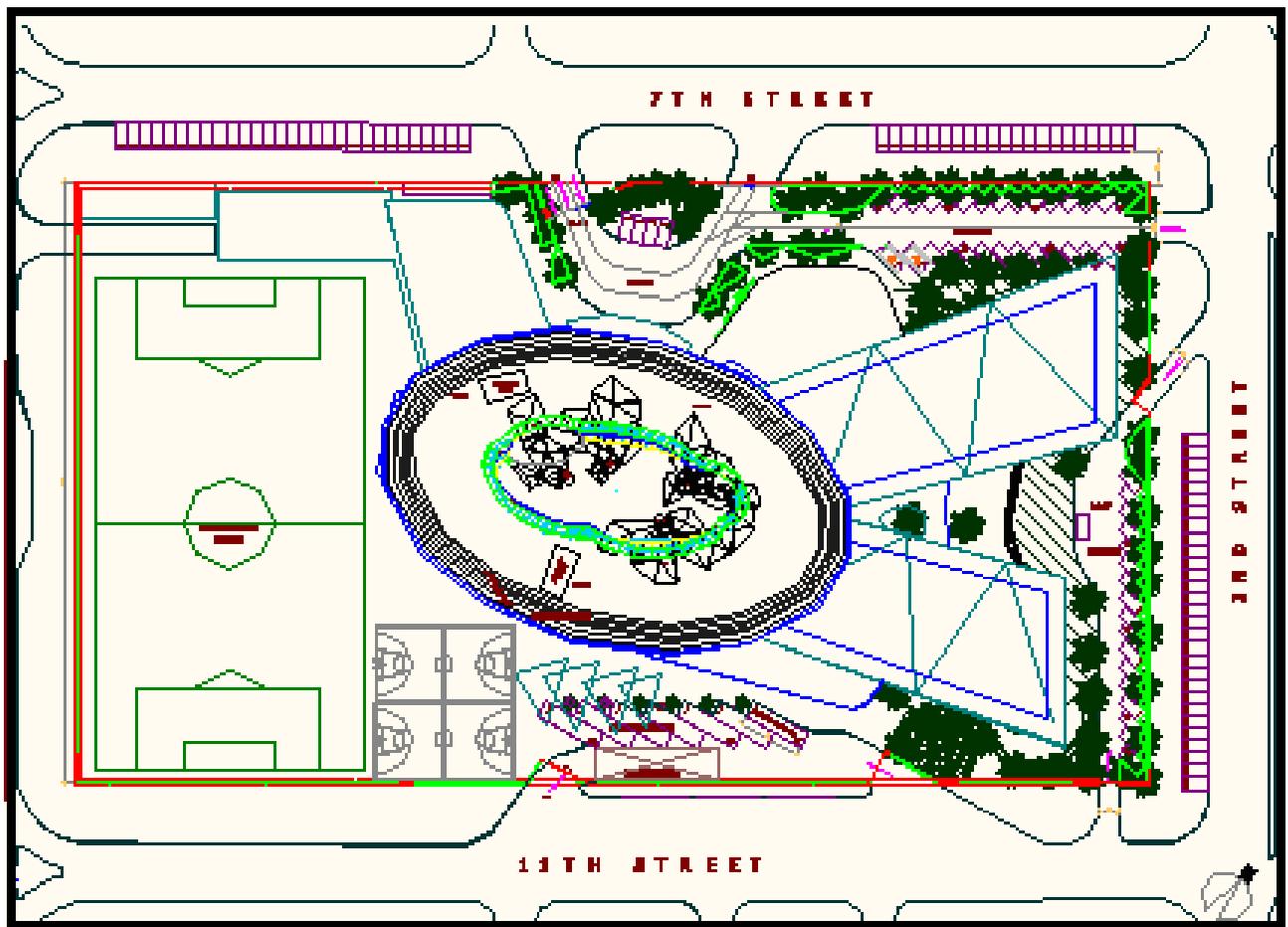


Figure 2: Exposé Général du plan de l'école

Le cahier de charges se résume comme suit :

- Les services électriques et mécaniques seront exécutés conformément aux normes et aux réglementations locales : UPC, CIBSE, ASPE, NFPA 13 : Installation D'extincteurs automatiques à eau, NFPA 14 : Tuyaux de support de Feu (Contremarche Mouillée), NFPA 20 : Pompe a Feu, NFPA 101 : Sécurités vitales
- L'utilisation des panneaux solaires pour la provision de l'eau chaude
- BMS (Building Management System) Gestion technique du bâtiment de sorte à bien gérer la consommation électrique et réduire les émissions des GES

Le client était prêt à écouter toutes les propositions des consultants électromécaniques afin de parvenir à satisfaire ce cahier de charges.

SDT la compagnie de consultation où je travaille depuis juillet 2006 a été élue pour étudier ce projet et réaliser la conception des services électriques et mécaniques.

Mr Wassim Tabet le directeur général de SDT m'a délégué, vue mes trois ans d'expérience et mon poste de chef de groupe, pour réaliser les études nécessaires afin de parvenir à une conception conforme au cahier de charge. SDT m'a donné la liberté de choisir l'équipe de travail : j'ai ainsi dirigé une équipe de quatre assistants.

Ainsi, le travail se déroulait de la sorte : une fois l'architecture reçue, les assistants préparent une série de dessins prêts pour l'installation des services. Je devrai donc consulter ces dessins et extraire toutes les informations nécessaires pour mes études : la constitution du bâtiment, la constitution de chaque étage, la surface des chambres, le nombre des résidents, l'exposition du bâtiment...

Par la suite, j'aborde les études électriques et mécaniques pour aboutir à des conclusions scientifiques permettant d'assurer une conception électromécanique nouvelle et satisfaisant le cahier de charges. Mes études concernaient : l'éclairage, l'alimentation électrique, les contrôles des luminaires, la ventilation contrôlée, la climatisation, l'alimentation en eau...et je désigne les installations électromécaniques sur ces dessins et c'est aux assistants de les reproduire sur AutoCad et de me les reporter à temps pour les contrôler et corriger si nécessaire puis approuver ces plans afin d'être consultés enfin de compte par le directeur général avant d'être envoyés au client.

Bref, les systèmes électromécaniques de notre école s'appuient sur l'énergie solaire, la récupération d'énergie, la gestion de la consommation et le traitement des eaux usées.

La première partie de ce rapport traite les systèmes électriques, étude, conception et installation. Alors que la deuxième partie du rapport comporte les études des services mécaniques et leurs conceptions.

Pour résumer le rapport d'une façon générale :

- ❖ La partie électrique : l'éclairage contrôlé basé sur des lampes performantes et des détecteurs de lux et de présence seront les grands titres traités.
- ❖ La partie mécanique : l'eau chaude sanitaire, la ventilation contrôlée et la climatisation modérée seront globalement les systèmes traités.

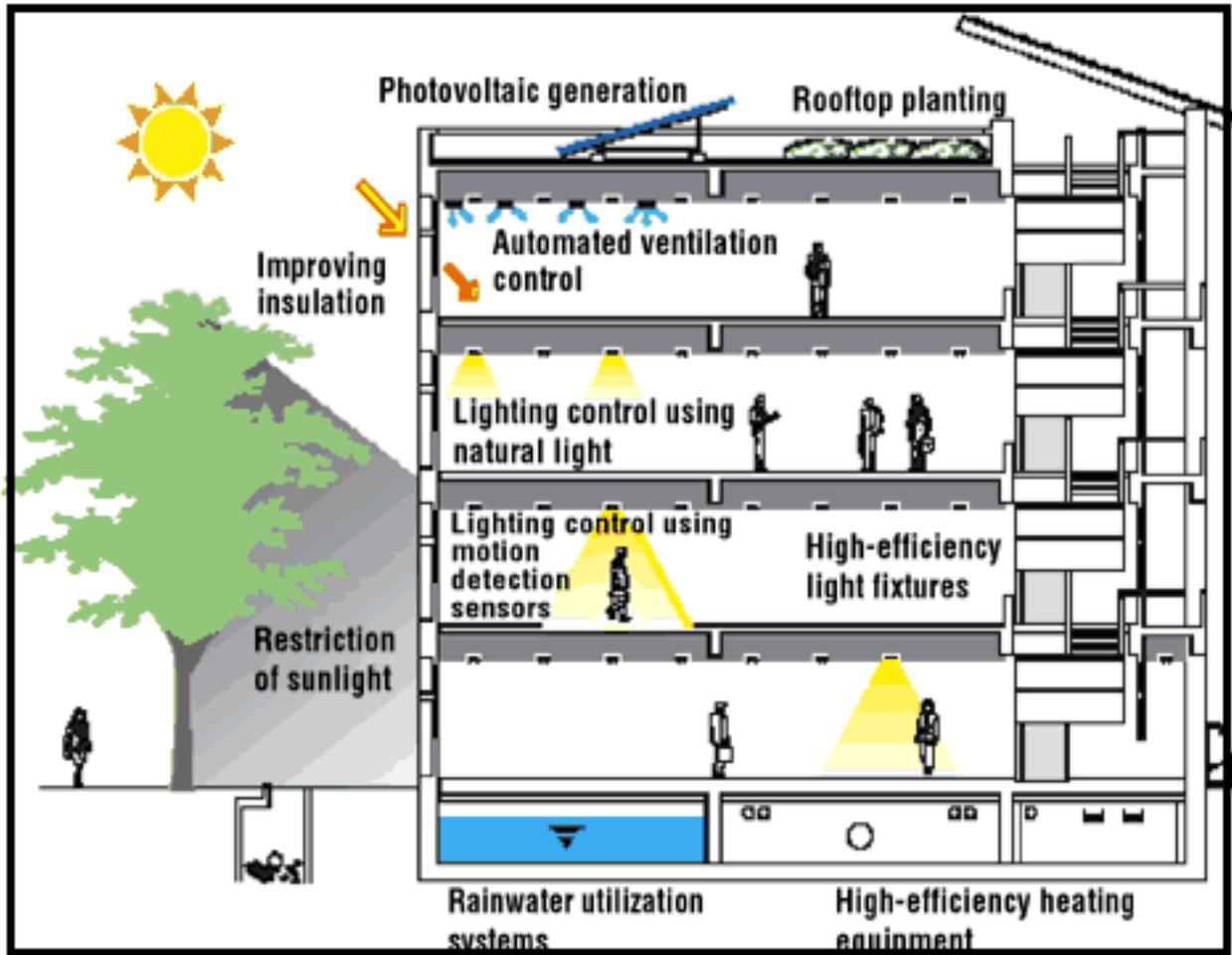


Figure 3: Schéma de conception d'un immeuble vert

A. PARTIE I :

SYSTEMES ELECTRIQUES

I. CHAPITRE 1:

INTRODUCTION AUX SYSTÈMES ÉLECTRIQUES

I.1. GÉNÉRALITÉS

❖ Critères & bases de conception

Les systèmes électriques seront conçus de sorte à avoir une priorité de respecter les aspects suivants:

- La sécurité de l'alimentation électrique
- La sécurité des occupants
- Les normes internationales
- Gestion de la consommation électrique pour réduire les pertes et économiser l'électricité

I.2. NORMES

Tous les équipements et l'installation entière seront conformes à normes internationales et locales.

Ainsi les Services d'éclairage et de Distribution de l'électricité seront conçus pour rencontrer les conditions suivantes :

- Normes britanniques 16e Edition de l'Institution d'Ingénieurs Electriciens,
- Entreprise Nationale de Distribution d'Abou Dhabi (ADDC)
- CIBSE
- ASHRAE Green Guide

I.3. INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES

La demande totale de cette école est estimée de 1500 KVA. Cette estimation est réalisée comme l'indique le tableau ci dessous :

Areas Breakdown		Lighting & small power Estimated VA/m2		Load/area (kVA)
Description	Area (m2)	Lighting	S.O. & Misc.	
Building Reception & corridors	800	25	20	36.0
Classrooms	12,000	30	20	600.0
Toilets	600	15	10	15.0
Library	100	30	20	5.0
Conference / Training Facility	200	30	20	10.0
Lounge / Cafeteria	230	40	20	13.8
Gynmasiums	655	40	25	42.6
Laboratories	6,500	30	40	455.0
Office	800	25	20	36.0
Total				1,456.1

Tableau I-1 : Alimentation électrique selon le type d'espace

I.4. TENSION DU RÉSEAU ALIMENTANT L'INSTALLATION ÉLECTRIQUE

(Moyenne tension)

L'alimentation électrique de l'école se fait à l'aide d'un câble moyenne tension provenant du réseau électrique municipal. Il atteindra la sous station localisée dans le bâtiment comportant les équipements de transformation où la tension va être convertie en basse tension pour être distribuée dans le bâtiment.

Cette sous station doit être équipée d'une ventilation adéquate pour éviter le réchauffement des équipements dont le fonctionnement se dégrade en cas de surchauffe.

I.5. RÉSEAU PRINCIPAL DE DISTRIBUTION (Basse tension)

Le réseau principal de distribution électrique à l'intérieur de l'école sera triphasé ayant une tension de 380 V/220V, 50 Hz. L'électricité alimentera les bus principaux.

Les charges des systèmes de protection contre les incendies et tout équipement ayant une influence sur la sécurité des occupants seront alimentées par un câble résistant au feu provenant directement de la sous station et non à travers les bus principaux.

I.6. TABLEAU PRINCIPAL DE DISTRIBUTION (MDB Main Distribution Board)

Ce tableau doit directement alimenter les tableaux secondaires de distribution ainsi que le centre de contrôle de motorisation et les jeux de barres.

Il doit être conçu pour un usage interne et installé sur terre ou accroché sur le mur de sorte à faciliter l'installation des accessoires de liaison avec la basse tension.

Ce tableau sera muni de deux entrées : une provenant du transformateur et l'autre du générateur.

La protection contre les surcharges sera assurée à l'aide d'un disjoncteur à air. Il doit être connecté au BMS ou centre de contrôle du bâtiment.

I.7. TABLEAU SECONDAIRE DE DISTRIBUTION (SMDB Sub Main Distribution Board)

Il doit être localisé dans chaque étage et il doit alimenter tous les tableaux électriques des différentes zones. Des accessoires de protection seront installés sur l'entrée et la sortie de ce tableau.

I.8. TABLEAU DE MOTORISATION (MCC Motor Control Center)

Il est responsable de l'alimentation de tous les équipements mécaniques. Les sorties vers les équipements doivent être protégées par des disjoncteurs et entraînées par des démarreurs à fréquence variable (VFD).

I.9. DÉMARREURS

Des démarreurs seront installés sur l'entrée de chaque équipement mécanique à vitesse variable selon les nécessités contrôlées par le BMS.

- Démarreur directement installé sur la ligne pour les charges < 11 HP

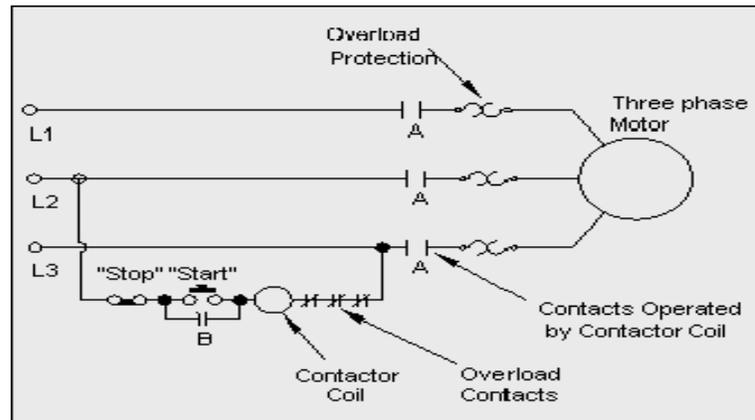


Figure I-1 : Schéma d'un démarreur directement sur ligne

L'appui sur le bouton Start stimule la bobine du contacteur. Le contacteur est désactivé si le circuit de contrôle est interrompu ; soit suite à un arrêt d'urgence ou une commande du relais de surcharge thermique, ou si l'alimentation est coupée. Le contacteur est calibré selon la puissance et le type du moteur.

- Démarreur étoile-triangle devra être utilisé pour les charges 11 HP < charge < 30 HP

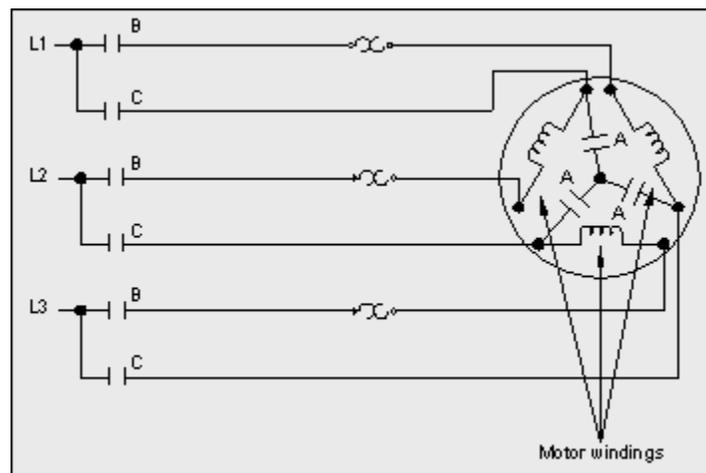


Figure I-2 : Schéma d'un démarrage étoile triangle

En fermant premièrement des contacts A et B, la configuration Y présente seulement 57% de la tension évaluée au moteur.

La pleine charge est appliquée en reconnectant le moteur dans une configuration de delta par la fermeture des contacts C et ouvrant ceux en A.

Le courant et le couple au début sont de l'ordre de 33% de leurs valeurs en pleine charge. Par suite l'utilisation de ces démarreurs se limite pour des charges nécessitant de faibles couples.

- Autotransformateurs pour les charges > 30 HP

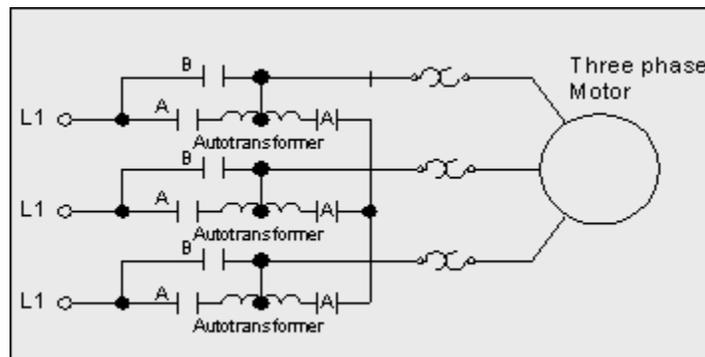


Figure I-3 : Schéma d'un autotransformateur

Un autotransformateur est un transformateur remontant peu à peu la tension selon la position du contact vis à vis le noyau.

Le moteur est premièrement stimulé à une tension réduite par la fermeture des contacts A. Après un laps de temps, les contacts A sont ouverts et les contacts B sont fermés, appliquant ainsi la tension maximale au moteur.

Ci dessous un schéma montrant les différentes performances du courant de démarrage selon les types de démarrage utilisé.

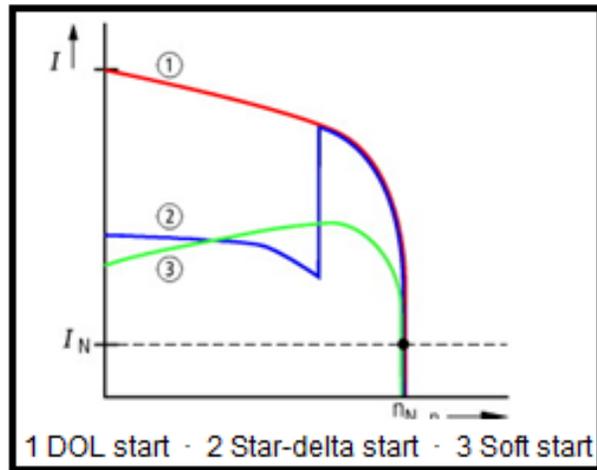


Figure I-4 : Courant de démarrage selon le type du démarreur

I.10. BANCS DE CAPACITÉS

Le facteur de puissance d'une installation doit être maintenu entre 0.9 et 1 en installant un banc de capacité pour compenser l'énergie réactive qui est à la base de la chute de tension et de la diminution du facteur de puissance.

Une telle compensation réduit les pertes et l'écart entre la puissance apparente et la puissance active, ainsi que la demande de l'électricité. Ces capacités seront installées en parallèle au niveau du tableau de distribution principal.

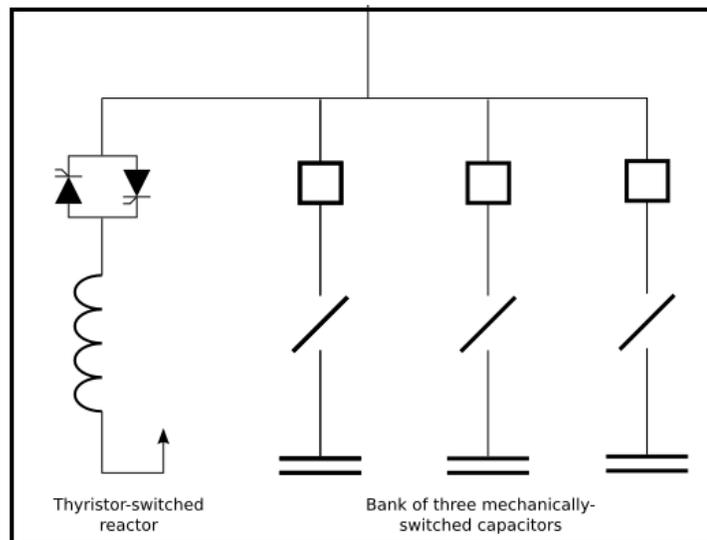


Figure I-5 : Schéma d'un banc de capacité SVC

Le système de contrôle qui génère les impulsions de gâchette des thyristors mesure la tension au point de connexion et celui à l'arrivée en fonction des charges connectées et indique à l'instant quelles valves doivent être amorcées afin de maintenir un profil de tension plat, donc une tension d'alimentation constante.

- Les condensateurs shunts fournissent de la puissance réactive, et augmentent localement la tension du réseau (utilisé en période de forte consommation).
- Les réactances shunts consomment de la puissance réactive, et diminuent la tension du réseau (utilisé en période de faible consommation, la nuit surtout).

I.11. BMS (building management system) – Gestion technique du bâtiment

Le système BMS 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. Notre rôle, en tant que consultants électromécaniques, est de préciser les points à contrôler et indiquer les sorties recommandées comme l'indique le tableau I-2. Un tableau concernant tous les équipements du bâtiment sera envoyé à une entreprise spécialisée afin d'assurer la programmation des protocoles indiqués.

Le BMS contrôle et commande les systèmes suivants:

- Les pompes d'eau
- Le réservoir de Fuel oil (niveau...)
- La citerne principale d'eau (niveaux)
- Les générateurs
- MDB tableau principal de distribution
- Les détecteurs de feu, de présence, de lux et de CO2 des différents espaces
- Les pompes d'eau glacée
- Les centrales de traitement d'air AHU
- L'éclairage de sécurité

I.12. ALIMENTATION SANS INTERRUPTION (UPS)

Une alimentation sans interruption (ou ASI, ou en anglais UPS, Uninterruptible Power Supply) est un dispositif de l'électronique de puissance qui permet de fournir à un système électrique une alimentation électrique stable et dépourvue de coupure ou de microcoupure, quelque soit l'état du réseau électrique. Il est constitué d'un redresseur et d'un onduleur et d'un contacteur statique de dérivation pour rediriger la charge vers le réseau dans l'éventualité d'une défaillance de l'ASI.

L'ASI est contrôlé par BMS. Il alimente des équipements dont le risque de coupure de l'alimentation est inacceptable ainsi qu'une partie de l'éclairage.

Mode de fonctionnement :

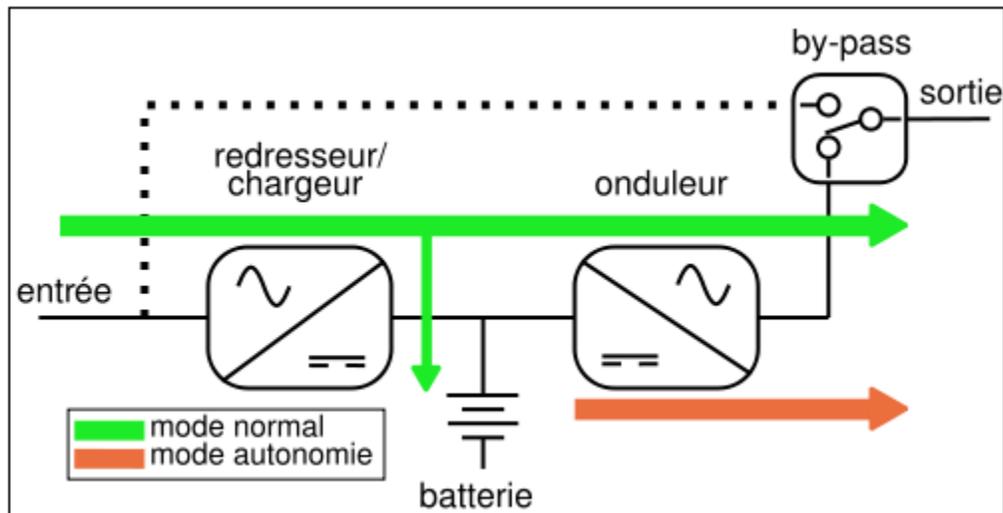


Figure I-6 : Schéma d'un ASI

- 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.
- 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.

II. CHAPITRE 2: **ECLAIRAGE CONTRÔLÉ**

II.1. INTRODUCTION

Dans le monde, l'éclairage domestique et professionnel représente une consommation d'énergie équivalente à 15% des émissions de CO₂. L'éclairage est alors considéré un producteur important de CO₂. Il contribue à une émission des gaz à effets de serre de deux manières ; l'une directe et l'autre indirecte.

Directement à travers la puissance électrique appelée par les luminaires; indirectement, en constituant une source de dissipation de chaleur principale provoquant une augmentation de la capacité de refroidissement nécessaire pour atteindre le niveau de confort thermique, par suite une augmentation des charges pour les climatiseurs donc un courant d'appel et une consommation d'électricité élevés.

D'où la nécessité de prendre des mesures visant la réduction de cette consommation.

II.2. DESCRIPTION DU SYSTEME D'ECLAIRAGE

- L'utilisation des luminaires à consommation électrique réduite et à performance d'illuminance élevée.
- Assurer le niveau d'éclairage recommandé par les normes des immeubles verts. Ainsi notre école sera efficacement allumée suite à une utilisation de systèmes d'éclairage soigneusement choisis. Les tableaux suivant ayant pour référence ASHRAE GREEN nous donnent une idée de l'éclairage qui sera adopté dans notre école.

Lighting for Offices, Including Commercial, Academic, and Institutional

Primary application	Luminaire type	Lamps or total lamp watts	Spacing between luminaires in plan view	Lamp ballast system
Open offices	Suspended linear fluorescent fixtures, consisting of nominal 4-ft sections in continuous rows with electronic ballast(s) Nominal 4-ft recessed or surface-mounted fluorescent troffers	One F54T5HO or two F32T8 or two F28T5 Two F32T8 lamps	Continuous rows no closer than 15 ft apart Regular grid 8 ft OC	Maximum 60 input watts per 4 ft unit, minimum ceiling height 10 ft Maximum 48 input watts per luminaire
Executive offices and conference rooms 200-250 ft ²	Four recessed or suspended 4-ft linear fluorescent fixtures four recessed 2-ft linear fluorescent fixtures	Two F32T8 lamps per fixture Two F32T8U lamps per fixture	No less than 8 ft OC	Maximum 48 input watts to each luminaire

Other Common Lighting Systems

Primary application	Luminaire type	Lamps or total lamp watts	Spacing between luminaires in plan view	Lamp ballast system
Copy room, storeroom, etc.	Nominal 4-ft recessed or surface-mounted fluorescent troffer, wraparound, strip lights, etc., with electronic ballast	One or two lamps totaling 64 watts or less	No less than 8 ft OC	Maximum 60 input watts to luminaire
Small utility, storage, and closet spaces	Single-lamp fluorescent with electronic ballast (strip, wrap, industrial, or other fixture.)	32 watts	One luminaire in a closet, electric room, or other small space	Maximum 35 input watts to luminaire
Storage and utility spaces	Industrials, wraparounds, strip lights, etc., consisting of nominal 4-ft sections	Two F32T8	Individual 12-lamp luminaires 8 ft OC Continuous single-lamp rows no closer than 8 ft apart	48 input watts per two lamps
Bathroom vanities and stairwells	Two-lamp fluorescent with electronic ballast (wrap, cove, troffer, corridor, vanity, valence, or other fixture)	Two F32T8	One luminaire per vanity in a toilet or locker room or one luminaire per landing in a stairwell	Maximum 48 input watts to luminaire

Tableau II-1 : Eclairage selon ASHRAE GREEN

- Intégrer les détecteurs de présence et de lux pour contrôler l'éclairage :

Recommended and Optional Lighting Controls

Type of Space	Minimum Recommended Control	Optional Control(s)
Private office, exam room	1	2 2+4 1+8 2+4+8 2+8
Open office	3	3+4 3+8 3+4+8
Conference rooms, teleconference rooms, boardrooms, classrooms	2	1 2+8 1+8
Server rooms, computer rooms, and other clean work areas	5	
Toilet rooms, copy rooms, mail rooms, coffee rooms	5 or 6	
Individual toilets, janitor closets, electrical rooms, and other small spaces	6	
Corridors, hallways, lobbies (private spaces only)	3	3+8
Public corridors	3	
Public lobbies	7	7+8
Industrial work areas	7	7+8
Warehousing and storage	9 (HID systems) 3 or 5 (fluorescent systems)	3 or 5 +8 (fluorescent)
Stores, newsstands, food service	7	
Mechanical rooms	Manual Switching only	
Stairs	None	Motion sensors can be used to reduce light levels to minimum egress lighting levels only

Control Options

- Ceiling-mounted motion sensor with transformer/relay, auxiliary relay, and series switch. The sensor should be located to look down upon the work area in order to detect small hand motion as well as major movements. The sensor may be mounted to the upper wall if a ceiling location is not workable. Note that the light switch is in series so that it can only turn lights off in an occupied room; it can not override the motion sensor's "Off" control.
- Similar to above, but without auxiliary relay and connection to receptacle. May also be used to control multiple dimmers
- Ceiling-mounted motion sensors connected to programmable time controller. During programmed "On" times, the lights remain on. During programmed "Off" times, motion within the space initiates lights on for a time out period. Controller shall be programmable according to day of the week and shall have an electronic calendar to permit programming holidays.
- Workstation motion sensor connected to a plug strip or task light with auxiliary receptacle.
- One or more ceiling-mounted motion sensors with transformer/relay, minimum two luminaires controlled.
- Switchbox motion sensor, one or more luminaires controlled.
- Programmable time controller with manual override switch(es) located in a protected or concealed location. Separate zones for retail and similar applications where displays can be controlled separately from general lighting. May also control dimmers.
- In addition to any of the above, an automatic daylighting sensor connected to dimming ballast(s) in each luminaire in the daylighted zone.
- A motion sensor connected to a high-low lighting system.

Tableau II-2 : Options de contrôle selon ASHRAE GREEN

II.3. PARAMETRES DE L'ECLAIRAGE

L'éclairage est caractérisée par:

- **Flux lumineux** : c'est la quantité d'énergie émise par une source sous forme de rayonnement visible dans toutes les directions par unité de temps. Unité : Lumen (lm)
- **Intensité lumineuse** : cette grandeur définit l'importance du flux lumineux émis dans une direction donnée par une source ponctuelle. Unité : Candela (cd)
- **Eclairement lumineux** : c'est le quotient du flux lumineux reçu par un élément d'une surface par l'aire de cet élément. Il caractérise la quantité de lumière reçue par unité de surface. Lux (lx), $1 \text{ Lux} = 1 \text{ Lumen/m}^2$.
- **Luminance** : Cette grandeur détermine l'aspect lumineux d'une surface éclairée ou d'une source, dans une direction donnée et dont dépend la sensation visuelle de luminosité. Unité : cd/m^2 .
- **Efficacité lumineuse** : c'est le quotient entre le flux lumineux émis par une source et la puissance électrique absorbée. Unité : lm/W .
- **Facteur de réflexion d'une surface** : c'est le rapport du flux lumineux réfléchi au flux incident. Ce facteur précise l'aptitude d'une surface à réfléchir la lumière incidente.
- **Contraste** : c'est l'appréciation subjective de la différence d'apparence entre deux parties du champ visuel vues simultanément ou successivement. Il peut s'agir d'un contraste de couleur, d'un contraste de luminance.
- **Température de couleur** : la température de couleur est la couleur apparente de la lumière fournie par une lampe et elle est exprimée en degré Kelvin qui permet de classer les lampes en : blanc « teinte chaude » $\text{TK} < 3300^\circ\text{K}$, blanc « intermédiaire » TK entre 3300°K et 5000°K , blanc « teinte froide » $\text{TK} > 5000^\circ\text{K}$. Plus la température des couleurs est élevée, plus le niveau d'éclairement doit être élevé.
- **Indice de rendu des couleurs** : L'indice de rendu des couleurs, désigné par IRC ou Ra, indique les aptitudes de la lumière émise par la source à restituer l'aspect coloré de l'objet éclairé.
- **Uniformité de l'éclairement** : Autre facteur intervenant dans le confort visuel : le nombre, la répartition et le choix des luminaires doivent assurer une uniformité de l'éclairement. Pour cela, aucun endroit du local ne doit avoir un niveau d'éclairement inférieur à 70 – 80% du niveau de l'endroit le plus éclairé.

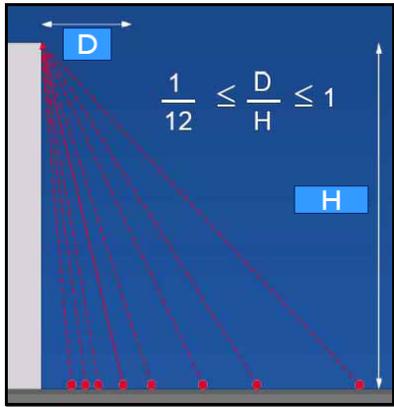


Figure II-1 : Uniformité verticale

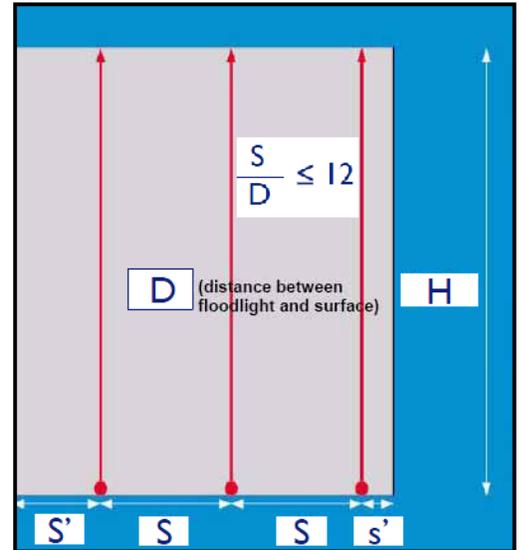


Figure II-2 : Uniformité horizontale

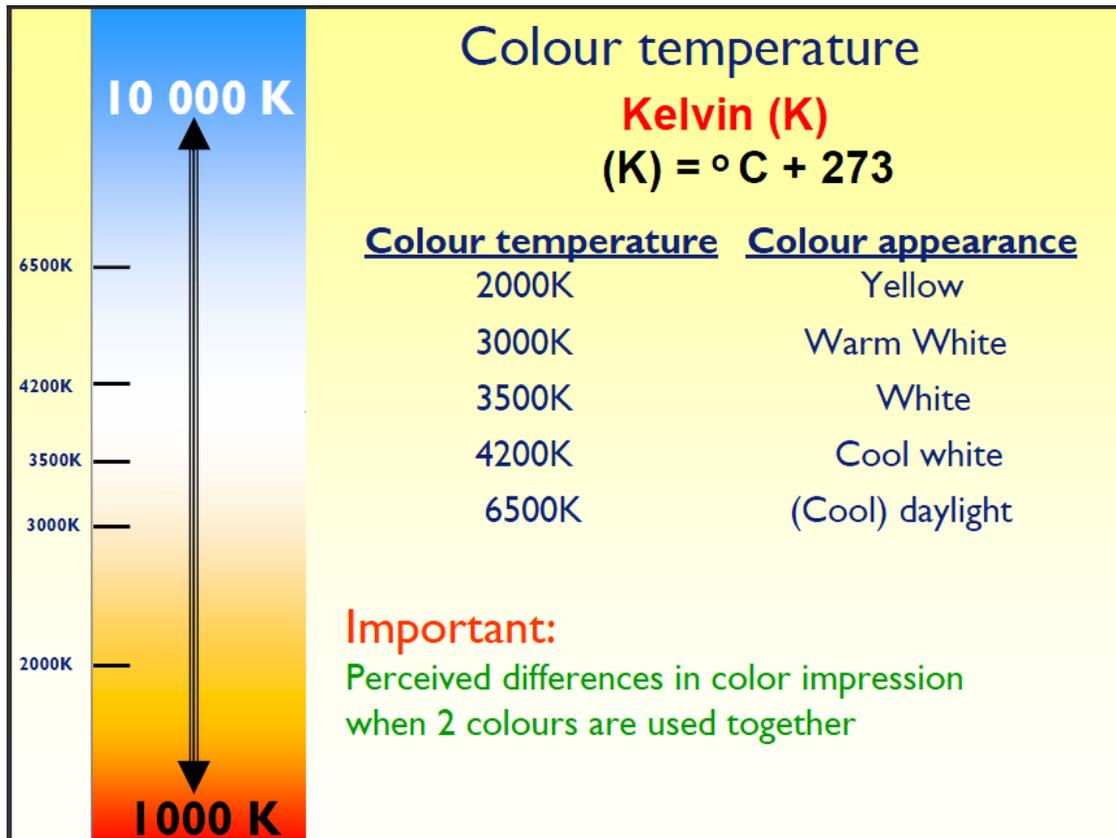


Figure II-3 : Couleur de la lumière en fonction de sa température

II.4. NIVEAU D'ÉCLAIRAGE

Notre école, qui est constituée de trois étages identiques, sera éclairée de sorte à ce que chaque espace ait la luminosité adéquate selon son fonctionnement. Ainsi la classe sera éclairée différemment d'un bureau ou d'un couloir. Ci dessous un plan montrant un étage de notre école Figure II-4 et un tableau indiquant le lux nécessaire pour chaque espace Tableau II-3.

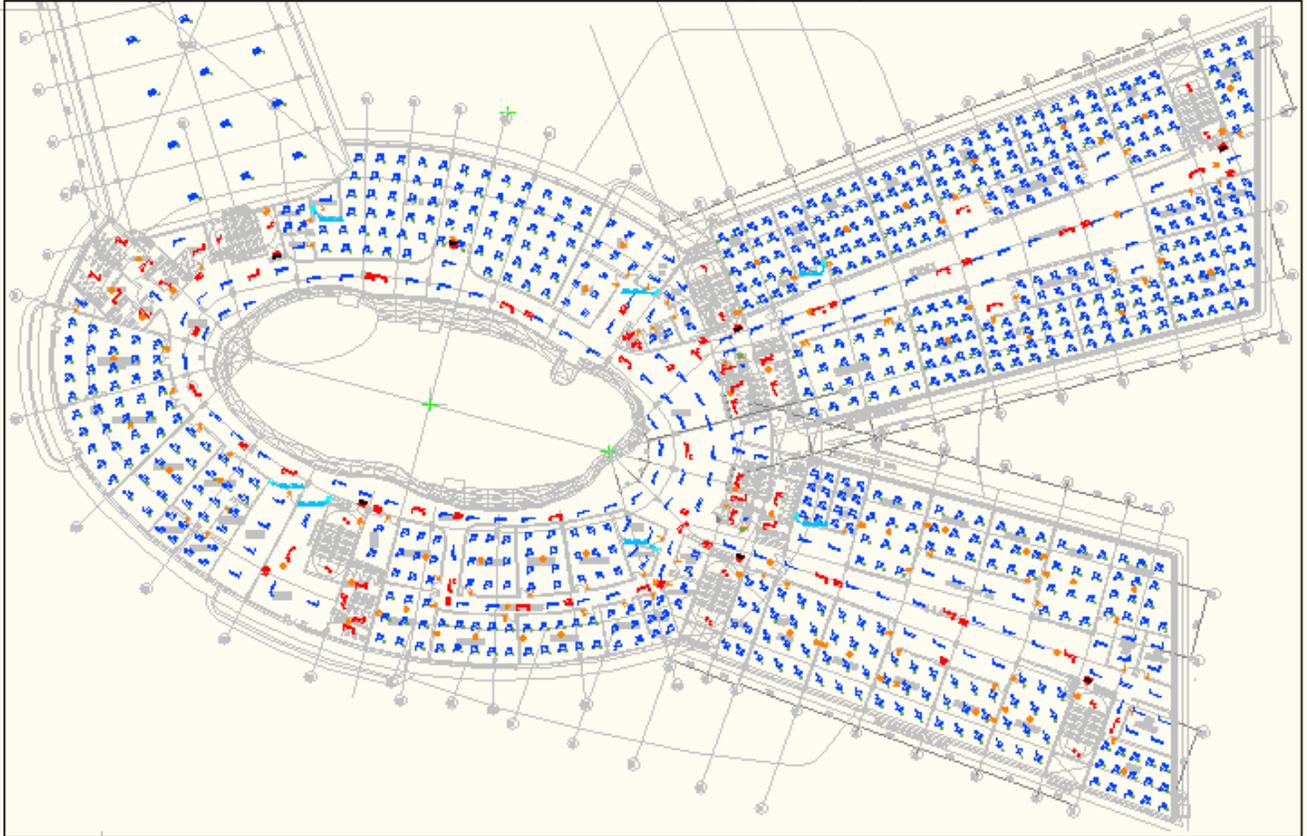


Figure II-4 : *Plan d'un étage du bâtiment*

Chaque étage est constitué de trois blocs comportant chacun un nombre de classes, de laboratoires de bureaux et de vestibules comme le montre la Figure II-5

Ainsi pour qu'un système d'éclairage soit efficace et à consommation électrique réduite il doit être conçu de sorte à assurer les densités d'éclairage Tableau II-3.

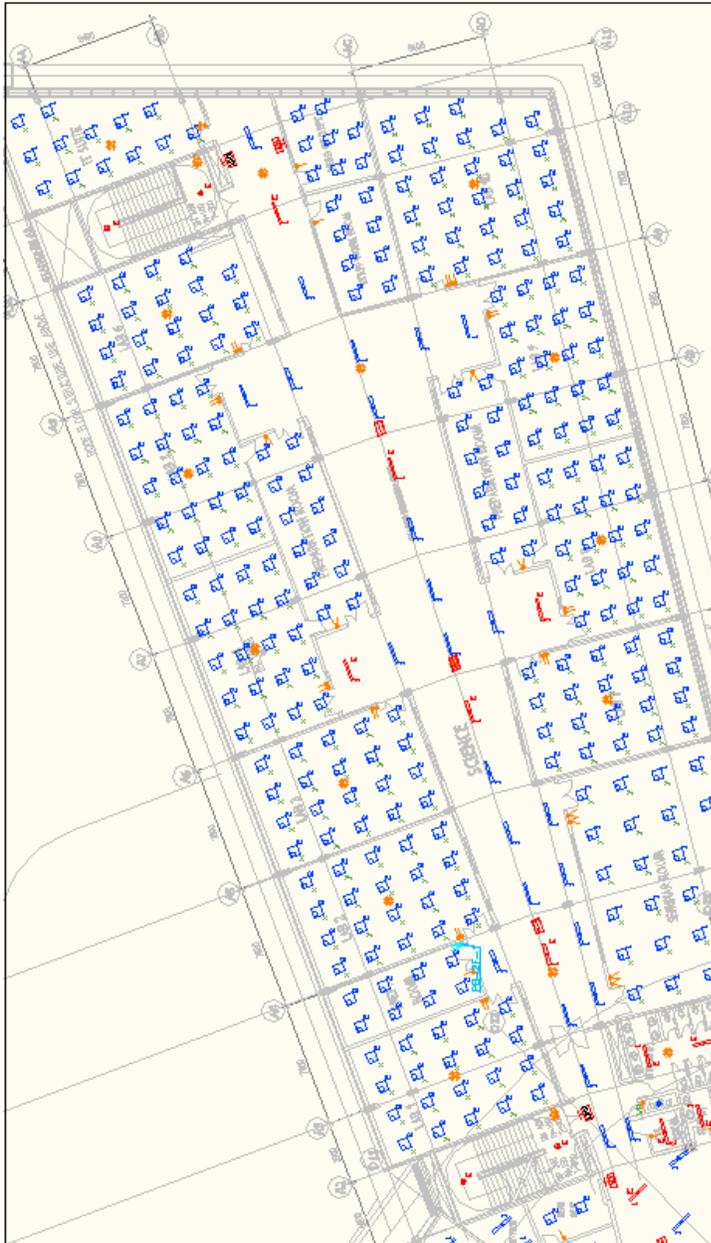


Figure II-5 : Plan d'un étage éclairé

APPLICATION	LUX	Ra
Classroom	300	80
Classroom for evening	500	80
Training Room	500	80
Lecture Hall	500	50
Music & Computer Room	300	80
Teaching Workshop	500	80
Laboratory	500	80
Art Room	500	80
Play Room	300	80
Sports Hall & Gym	300	80
Library	500	80
Assembly Hall	200	80
Stairs	150	80
Circulation Area	100	80
Entrance Hall	200	80
Toilet	150	80

Tableau II-3: Densité d'éclairage

II.5. PROCEDURES POUR ASSURER L'ECLAIRAGE

Source de confort et de productivité, l'éclairage représente 40 % de la quantité d'électricité consommée dans les bâtiments. La qualité de l'éclairage (stabilité de la lumière et continuité de service) dépend de celle de l'énergie électrique ainsi consommée.

Les principales évolutions technologiques dans le domaine de l'éclairage sont liées aux économies d'énergie, pour cette raison, les installations nouvelles sont équipées de lampes à haut rendement lumineux.

Un rayonnement lumineux artificiel peut-être produit à partir de l'énergie électrique selon deux principes : l'incandescence et l'électroluminescence.

➤ **L'incandescence**

C'est la production de lumière par élévation de température. Les niveaux d'énergie sont en très grand nombre, et par conséquent, le spectre de rayonnement émis est continu. Le cas le plus courant est un filament chauffé à blanc par la circulation d'un courant électrique. L'énergie fournie est transformée en effet Joule et en flux lumineux.

➤ **La luminescence**

C'est le phénomène d'émission par la matière d'un rayonnement lumineux visible ou proche du visible. Ainsi l'électroluminescence des gaz consiste au rayonnement lumineux émis par un gaz soumis à une décharge électrique.

Et comme nous concevons un bâtiment vert nous allons recourir aux luminaires qui assurent les luminosités nécessaires à faible consommation électrique. D'où le choix des lampes fluo-compactes qui ont été développées pour remplacer les lampes à incandescence : elles apportent une économie d'énergie significative (15 W contre 75 W pour une même luminosité) et une augmentation de la durée de vie 8000 h en moyenne.

➤ **Fonctionnement des lampes fluo-compactes**

Dans ces tubes, une décharge électrique provoque la collision d'électrons avec des ions de vapeur de mercure, d'où un rayonnement ultraviolet par excitation des atomes de mercure.

Le matériau fluorescent, dont est recouvert l'intérieur des tubes, transforme alors ce rayonnement en lumière visible. Ils nécessitent l'emploi de deux dispositifs : l'un pour l'allumage appelé « starter » et l'autre pour la limitation du courant de l'arc après allumage.

Les fonctions de starter et de ballast sont assurées par un circuit électronique intégré à la lampe.

➤ **La compensation**

Le courant absorbé par l'ensemble tube et ballast étant essentiellement inductif, le facteur de puissance est très faible (en moyenne entre 0,4 et 0,5). Dans notre installation qui comportant un grand nombre de tubes, il est nécessaire de prévoir une compensation pour améliorer le facteur de puissance.

Une compensation centralisée avec des batteries de condensateurs peut être prévue.

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, celui de la compensation parallèle, sa capacité est en moyenne de 1 μF pour 10 W de puissance active, pour tout type de lampe.

Par suite l'alimentation du système d'éclairage sera donnée par la Figure II-6 ci dessous.

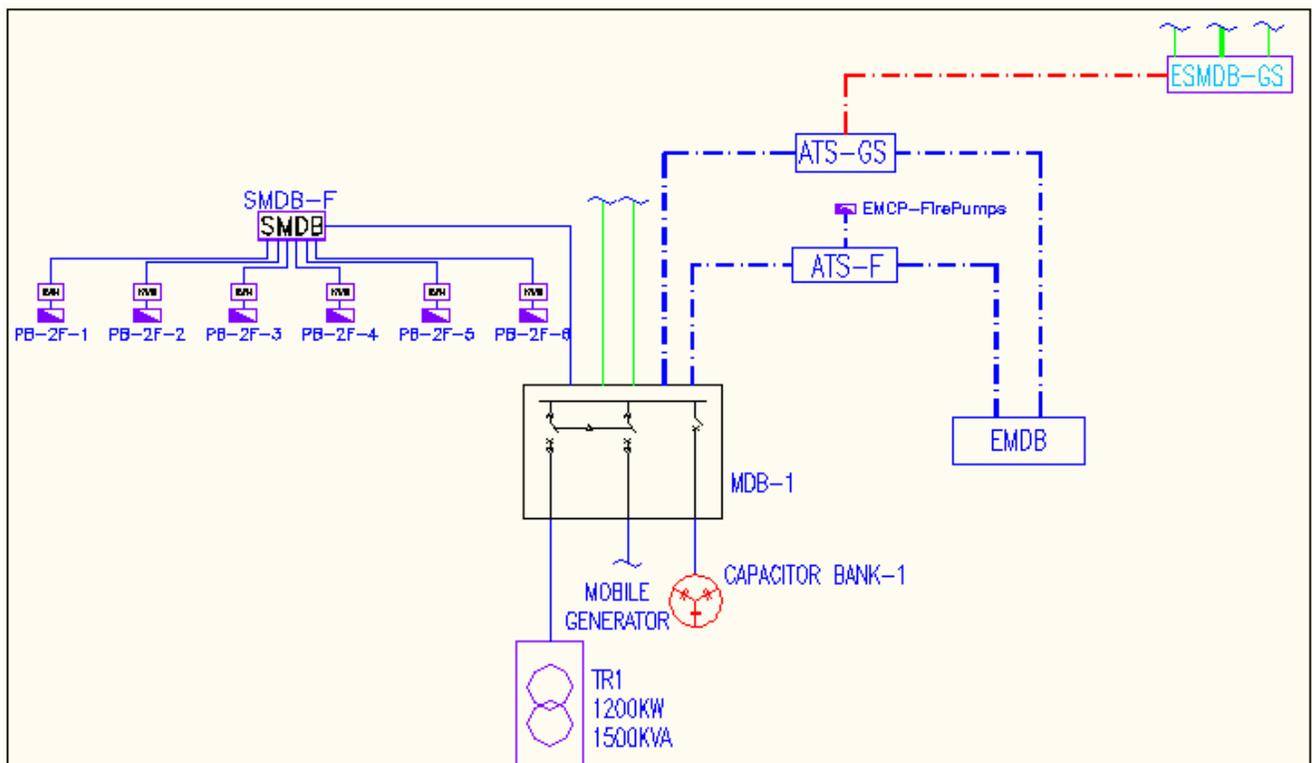


Figure II-6 : Diagramme de l'alimentation du réseau d'éclairage

II.6. CHOIX DES LUMINAIRES

Après avoir déterminé globalement le type de lampes qui sera adopté dans notre école, il nous reste de préciser quel modèle sera utilisé dans les différents espaces. Une étude sur un programme concernant l'éclairage DIALUX de Philips nous permet de prévoir la luminance, le niveau du lux en chaque point de la chambre ainsi que le nombre nécessaire de luminaires à utiliser en fonction des dimensions de l'espace et du lux recommandé.

The screenshot shows the 'DIALux Light Wizard' software interface. The main window title is 'DIALux Light Wizard'. The interface is divided into several sections:

- Data Input:** Enter all values required for the room and select your luminaire and its mounting type.
- Room Geometry:** Length (a): 5.487 m, Width (b): 3.658 m, Height: 2.743 m. There is a checkbox for 'Use L-Shaped Room' with dimensions c: 2.744 m and d: 1.829 m. A drawing shows a rectangle with dimensions 'a' and 'b'. A preview shows a simple rectangle.
- Reflection factors:** Ceiling: 80% (Standard Ceiling), Walls: 50% (Standard Wall), Ground: 20% (Standard Floor).
- Room Parameters:** Reference: Application example, Light loss factor: 0.80.
- Workplane:** Height: 0.760 m, Wall zone: 0.000 m.
- Luminaire Selection:** Luminaire: (empty dropdown), Catalogues button. Select the quantity here: (empty area). No image available.
- Luminaire Mounting:** Mounting: (empty dropdown). Modify the mounting height via one of the following parameters: Suspension Height: 0.000 m, Height above: 0.000 m, Mounting Height: 0.000 m. A diagram shows a rectangle with a red line labeled 'Workplane'.

➤ **Concernant les classes, les laboratoires et les bureaux**

Notre premier choix dans la sélection a été Philips impala TBS 160 4x TL-D18W/840 CON C6-D et le deuxième choix a été Philips impala TBS 160 5x TL-D14W/840 HF C6.

Luminous emittance 1:

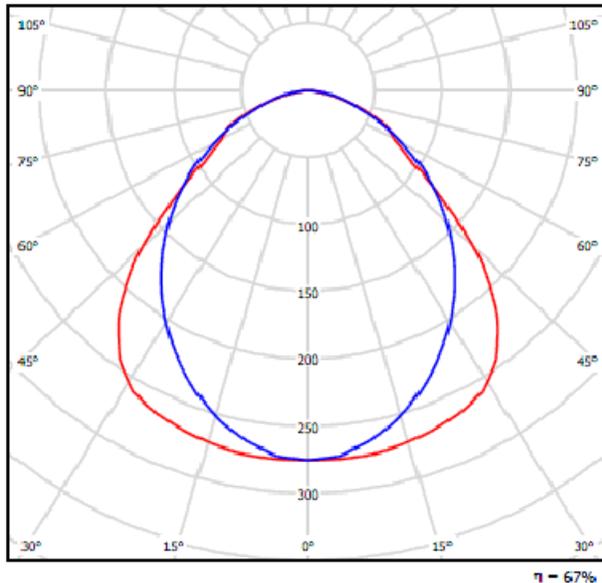


Figure II-7 : Emittance pour le choix 1

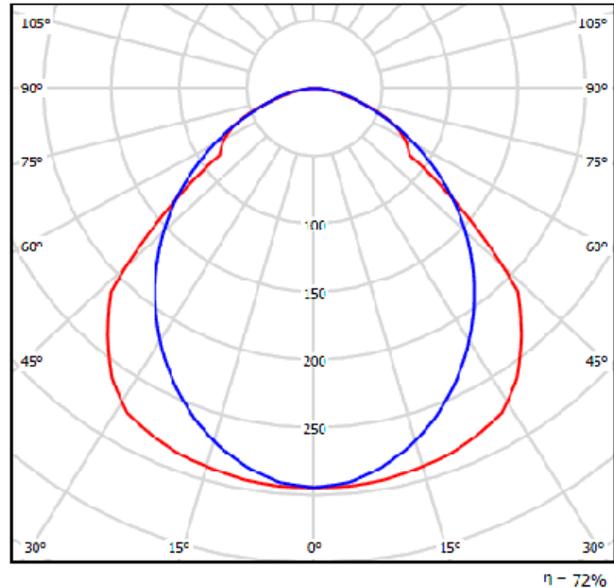


Figure II-8 : Emittance pour le choix 2

Nous remarquons que les deux luminaires pré indiqués ont presque même profile d'émission de lumière alors que le rendement du deuxième luminaire est supérieur à celui du premier luminaire.

N'oublions pas aussi que la consommation du premier luminaire est de 18 W par tube alors que celle du deuxième est de 14 W par tube.

Une économie en énergie du point de vue rendement et consommation est assurée en adoptant le deuxième choix donc le fluo-compacte TBS 160 5x TL-D14W/840

Selon le Tableau II-3 le niveau d'éclairage dans une classe est de 300 Lux. Une observation de la Figure II-9 permet de constater qu'avec le choix de TBS 160 5x TL-D14W/840 en plus de l'économie en énergie le Lux adéquat est assuré en tout point de la classe.

On note qu'avec le ballast électronique la puissance totale nominale du luminaire TBS 160 4x TL-D18W/840 CON C6-D est de 88 W tandis que celle de TBS 160 5x TL-D14W/840 HF C6 est de 63 W.

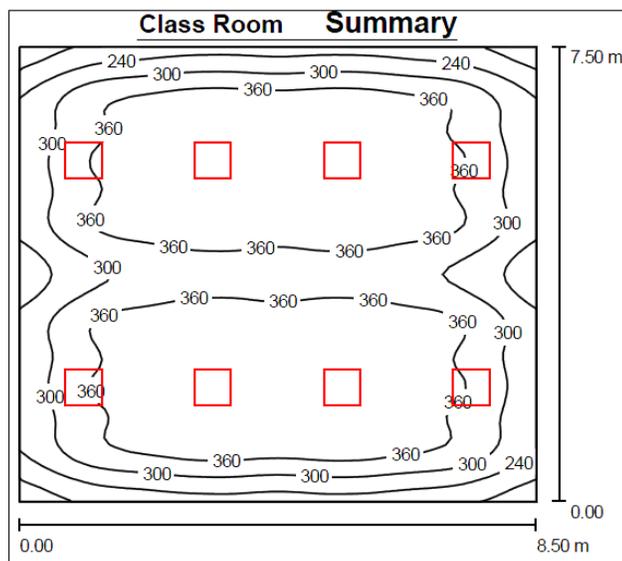


Figure II-9 : Disposition des luminaires selon Dialux dans une classe

➤ **Concernant les couloirs**

Notre premier choix dans la sélection a été Philips impala TBS 160 4x TL-D18W/840 CON C6-D et le deuxième choix a été Philips impala TBS 160 5x TL-D14W/840 HF C6

Luminous emittance 1:

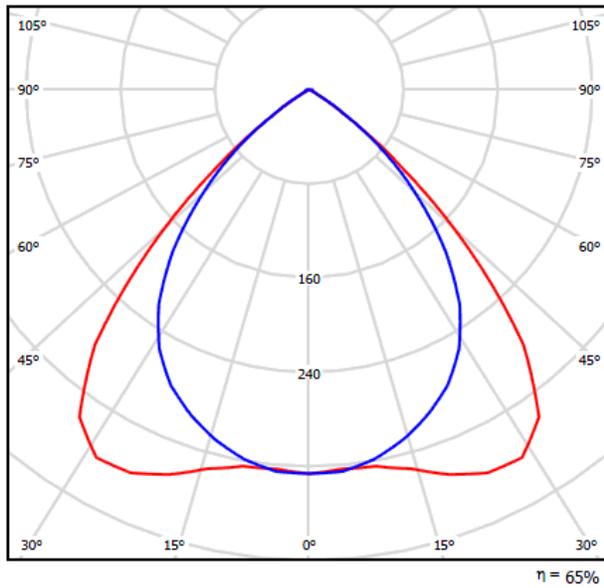


Figure II-10: Emittance pour le choix 1

Luminous emittance 1:

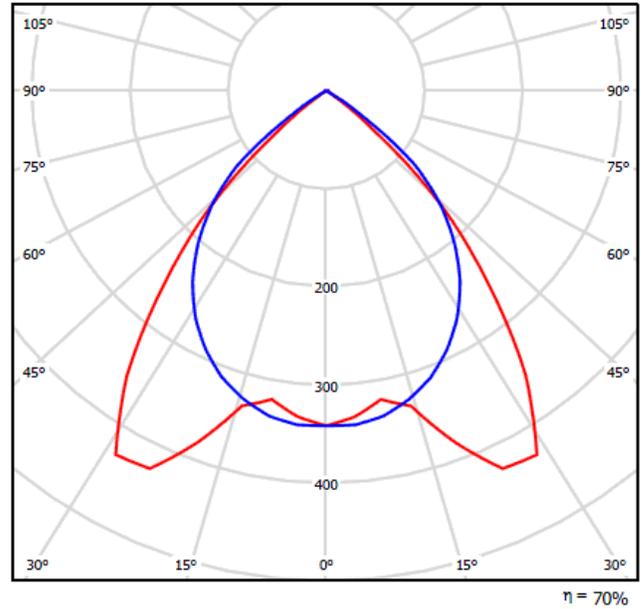


Figure II-11 : Emittance pour le choix 2

Une économie en énergie du point de vue rendement et consommation est assurée en adoptant le deuxième choix donc le fluo-compacte TBS 160 5x TL-D14W/840

Selon le Tableau II-3 le niveau d'éclairage dans une classe est de 200 Lux. Une observation de la Figure II-12 permet de constater qu'avec le choix de TBS 160 5x TL-D14W/840 en plus de l'économie en énergie le Lux adéquat est assuré en tout point du couloir.

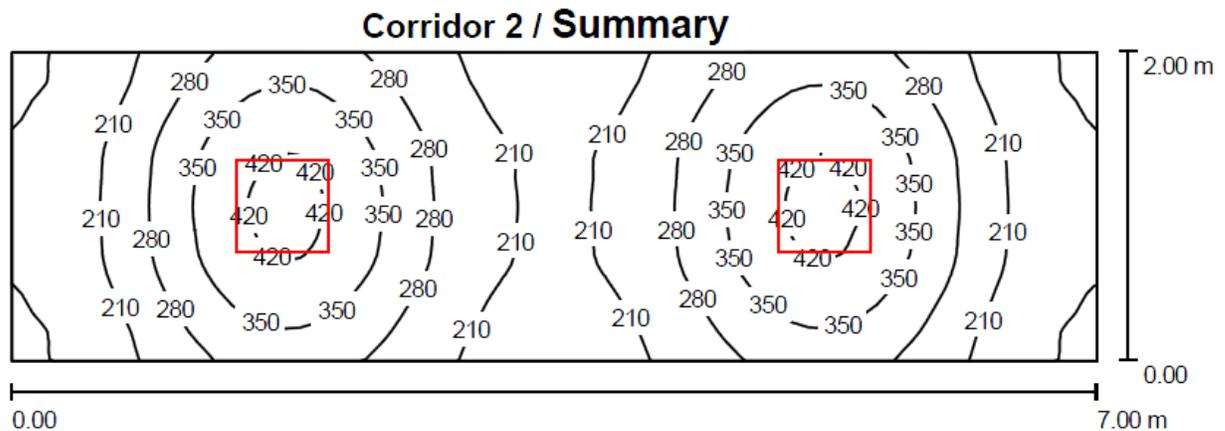


Figure II-12 : Disposition des luminaires selon Dialux dans un couloir

II.7. LUMINAIRES ADOPTES SELON CHAQUE ESPACE

<i>APPLICATION</i>	<i>Type de lampe</i>	<i>quantité</i>	<i>Pn par lampe</i>	<i>Pn Totale</i>
<i>Classe</i>	<i>Philips IMPALA TBS160 4xTL5-14W/840 HF C6</i>	<i>8</i>	<i>63</i>	<i>504</i>
<i>Laboratoire</i>	<i>Philips IMPALA TBS160 4xTL5-14W/840 HF C6</i>	<i>10</i>	<i>63</i>	<i>630</i>
<i>Corridors</i>	<i>Philips IMPALA TBS160 4xTL5-14W/840 HF L1</i>	<i>2</i>	<i>63</i>	<i>126</i>
<i>Vestibule</i>	<i>Philips IMPALA TBS160 4xTL5-14W/840 HF L1</i>	<i>2</i>	<i>63</i>	<i>126</i>

Tableau II-4 : *Eclairage adopté dans chaque espace*

Le Tableau II-4 montre la puissance électrique nominale Pn consommée par le système d'éclairage pour chaque espace selon son utilisation, donc la luminosité recommandée (tableau II-3) et ses dimensions c.-à-d. la quantité de lampes nécessaire pour assurer l'éclairage adéquat selon la simulation du DIALUX (paragraphe II-6)



Figure II-13 : *Eclairage d'un étage de l'école suivant les luminaires du paragraphe II-6*

II.8. INTEGRATION DES DETECTEURS

Les détecteurs de lux seront intégrés dans l'installation de l'éclairage des classes de sorte à permettre une chaîne d'éclairage comme le montre les Figures II-14 et II-15 suivantes, dans le but de réduire le gaspillage de l'électricité en assurant l'illuminance nécessaire sans excès non argumenté. Ainsi le contrôle est assuré de la sorte:

- L'éclairage dans les escaliers est contrôlé par détecteur/BMS de présence.
- L'éclairage dans les toilettes est contrôlé par détecteur/BMS de présence.
- L'éclairage dans les laboratoires et les salles de classe n'étant pas munies de fenêtres est contrôlé par un détecteur de présence. Ce contrôle peut être transféré à un commutateur ordinaire via un sélecteur auto/manuel.
- Les classes munies de fenêtres exposées ont un système d'éclairage constitué de deux circuits. Le contrôle d'éclairage de ces salles est réalisé comme suit :
- -Le premier circuit est contrôlé par un détecteur de présence.
- -Le deuxième circuit (comportant les lampes situées à côté des fenêtres) est contrôlé par un détecteur de présence et une cellule photo-électrique. En cas d'un faible niveau de lux, ce circuit sera allumé. Le détecteur de présence et la cellule photo-électrique peuvent être court circuités via un sélecteur auto/manuel, partant le contrôle d'éclairage de salle de classe aux commutateurs ordinaires.
- L'éclairage de toutes les salles de classe d'une certaine zone peut être éteint par un commutateur principal localisé dans le tableau électrique fournissant cette zone (via BMS).
- L'éclairage dans le vestibule principal est contrôlé par un commutateur/BMS temporisé.
- L'éclairage dans les couloirs est divisé en deux niveaux : le niveau 1 et le niveau 2

Niveau 1 : Les lampes qui fournissent le niveau de lux minimal acceptable sont toujours contrôlées par BMS

Niveau 2 : Les détecteurs de présence allument le reste des lampes en cas de détection de présence. Ces circuits aussi sont contrôlés par BMS.

II.9. INSTALLATION DE L'ÉCLAIRAGE



Figure II-14 : *Installation de l'éclairage dans les classes*



Figure II-15: *Installation de l'éclairage dans les corridors*

Comme nous remarquons d'après les figures ci dessus, le système d'éclairage des classes comporte en plus des luminaires, des détecteurs de lux et de présence connecté au BMS afin d'assurer le contrôle adéquat selon les conditions de l'espace concerné : présence d'élèves et niveau de la lumière naturelle.

II.10. POTENTIEL DE RECHAUFFEMENT DE L'ATMOSPHERE (Global Warming Potential)

Les GES proviennent de la combustion de carburant sont principalement le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), l'oxyde nitreux (N₂O).

Ces gaz diffèrent dans leur capacité à piéger la chaleur dans l'atmosphère. Cette capacité nommée potentiel de réchauffement planétaire (PRP) contribue au changement climatique en élevant la température dans l'atmosphère. Le Dioxyde de carbone (CO₂) est le gaz auquel on a assigné un potentiel de réchauffement de 1. Les émissions des autres GES sont reportées en équivalent CO₂, selon le potentiel de réchauffement planétaire (PRP) qui leur est associé. Par exemple, le PRP du CH₄ est de 21, ce qui signifie qu'une tonne de CH₄ équivaut à 21 tonnes de CO₂.

Le tableau II-5 montre le taux de CO₂ émis pour la production thermique de l'électricité. Ce taux inclus non seulement les émissions de CO₂ mais aussi ceux des autres GES qui y sont reportés.

Gas name	Chemical formula	Global warming potential (GWP)
Carbon dioxide	CO ₂	1
Methane	CH ₄	25
Nitrous oxide	N ₂ O	298
CFC-12	CCl ₂ F ₂	10 900
HCFC-22	CHClF ₂	1 810
Tetrafluoromethane	CF ₄	7 390
Hexafluoroethane	C ₂ F ₆	12 200
Sulphur hexafluoride	SF ₆	22 800
Nitrogen trifluoride	NF ₃	17 200

Tableau II-5 : *Potentiel de réchauffement planétaire pour chaque GES*

	Fioul Domestique	Charbon	Gaz Naturel
Emissions (kgCO ₂ /kWh)	0,271	0,343	0,206

Tableau II-6 : *Taux de CO₂ émis pour 1 kWh produit*

II.11. REDUCTION DE CONSOMMATIONS DANS L'ECLAIRAGE

Comme nous visons le développement durable, la réduction de la consommation électrique de l'éclairage est une nécessité surtout que l'éclairage constitue à peu près 40% de la consommation d'un bâtiment institutionnel. Cette réduction pourra être assurée suite à une utilisation de lampes à faible consommation et par un programme de contrôle de ces derniers.

➤ **Selon le choix des lampes**

<u>APPLICATION</u>	<u>Puissance nominale totale Installation 1</u>	<u>Puissance nominale totale Installation 2</u>	<u>Epargne en ELECTRICITE W</u>	<u>Reduction % de consommation électrique</u>
<i>Classe</i>	704	504	200	28.4
<i>Laboratoire</i>	880	630	250	28.4
<i>Corridors</i>	176	126	50	28.4
<i>Vestibule</i>	176	126	50	28.4

Tableau II-7 : Epargne assuré selon les luminaires adoptés dans chaque espace

Ainsi si nous adoptons les lampes 4x14 au lieu des lampes 4x18 déjà cités dans le paragraphe II-6, pour une classe nécessitant 8 lampes pour assurer le niveau de lux recommandé, nous pourrons épargner selon les Tableau II-4 et II-7 : $(8 \times 88) - (8 \times 63) = 704 - 504 = 200$ W par classe. Le même calcul sera réalisé pour les laboratoires, les couloirs et les vestibules pour les deux choix de lampes : 4x14 et 4x18. Le tableau II-7 montre ainsi une réduction globale de 28.4 %.

N'oublions pas que l'**électricité** ne produit pas de CO₂ lors de son utilisation mais elle en génère lors de sa production. Le coefficient de conversion appliqué pour déterminer la quantité d'énergie primaire utilisée dans la centrale électrique pour disposer d'une unité d'énergie finale (à l'utilisation) est de 2,58 pour une énergie primaire à base de fuel, qui est notre cas dans Al bateen, la région où se situe notre école à Abou Dhabi.

Energie ou source d'énergie ¹	Facteur de conversion d'énergie finale en énergie primaire [kWh/kWh]
Gaz naturel	1,17
Gaz liquéfié	1,16
Biogaz	1,14
Fuel (léger)	2,58
Bois (copeaux)	1,13
Capteur solaire thermique	1,17

Tableau II-8 : Facteur de conversion d'énergie primaire, finale

Par suite, pour une étage de notre école, constituée de six classes, six laboratoires, un couloir et un vestibule l'épargne sera de l'ordre de 28.5 % donc de $(200 \times 6 + 250 \times 6 + 50 + 50) = 2.8$ kWh. Ces 2.8 kWh de moins assurent une réduction de $(2.8 \times 0.271 \times 2.58) = 2$ kg en moins émis de CO₂.

Notre école se constitue de 3 blocs semblables donc si cette épargne est assurée dans les 8 autres étages, le taux total de réduction de consommation sera 28.5 % partout. Donc $9 \times 2 = 18$ kg de CO₂ en moins pour une heure d'usage. Avec une approximation de temps d'usage journalier de 6 heures, le taux de CO₂ épargné vue l'utilisation de lampes à haute performance et à faible consommation électrique est de 76 kg par jour soit 13 680 kg par année scolaire.

➤ **Selon le contrôle adopté**

Le programme du contrôle de l'éclairage de notre école sera divisé en deux. Ainsi lorsque les classes sont occupées, les couloirs sont normalement vides d'où le protocole de contrôle suivant :

❖ Durant les heures de cours :

- La puissance électrique consommée dans les classes est de 100% de la puissance nominale : les détecteurs de présence activés commandent l'allumage de toutes les lampes.
- La puissance électrique consommée dans les couloirs est de 50% de la puissance nominale : les détecteurs de présence ne détectent pas d'occupation, par suite la moitié des lampes du couloir, non commandés par ces détecteurs, sont en marche.

❖ Durant les heures de repos :

La puissance électrique consommée dans les classes est de 0% de la puissance nominale : les détecteurs de présence sont désactivés, ne détectent pas d'occupation, par suite le circuit d'éclairage de la classe est ouvert, pas de lampes allumées.

La puissance électrique consommée dans les couloirs est de 100% de la puissance nominale : les détecteurs de présence activés, détectant une présence, commandent l'allumage des lampes contrôlées du couloir, par suite toutes les lampes du couloir sont en marche.

Le tableau II-10 montre une réduction de 33 % dans la consommation électrique, si le protocole ci dessus est appliqué pour un étage comportant six laboratoires, six classes et un couloir. A savoir que d'une part, chaque circuit d'éclairage d'une classe comporte 8 luminaires chacun de 63 W et celui d'un couloir comporte 12 lampes de 63W chacune et d'autre part, que l'horaire d'une journée scolaire se partage en 3 heures de repos et 6 heures de cours.

La puissance électrique d'un étage sera donnée comme suit:

❖ Sans contrôle : $504 \times 6 \text{ classes} \times 9 \text{ heures} + 630 \times 9 \text{ heures} : 32886 \text{ W}$

❖ Avec contrôle : $504 \times 6 \times 6 + 630 \times 3 \text{ heures} + 630 \times 50\% \times 6 : 22680 \text{ W}$.

CLASSES				CORRIDORS			
HORAIRE	Puissance consommée /Pn	W	Puissance consommée W	HORAIRE	Puissance consommée/ Pn	W	Puissance consommée W
Heures de Cours	1	504*6	3024	Heures de Cours	0.5	(63*2*6)/2	378
Heures de Repos	0	0	0	Heures de Repos	1	(63*2*6)	756
Puissance Nominale Sans controle pour une etage W	27216			Puissance Nominale Sans controle pour une etage W	6804		
Puissance Nominale AVEC controle pour une etage W	18144			Puissance Nominale AVEC controle pour une etage W	4536		

Tableau II-9 : Epargne assuré selon le contrôle adopté dans chaque espace

<u>BLOC D'UNE ETAGE</u>	<u>Puissance nominale totale</u> <u>W</u>
<i>Classes</i>	3024
<i>Corridors</i>	756
<i>Puissance Nominale Sans controle pour une etage W</i>	34020
<i>Puissance Nominale AVEC controle pour une etage W</i>	22680
<u>PUISSANCE NOMINALE EPARGNE W</u>	11340
<u>TAUX D'EPARGNE EN ELECTRICITE %</u>	33.3

Tableau II-10 : *Epargne assuré selon le contrôle de présence pour un étage*

Donc une épargne électrique de 11.340 kWh par étage d'un bloc. Soit 11.34 multiplié par 9 (ayant 3 bloc chacun de 3 étages identiques) donc 102 kWh de moins d'énergie finale par suite $102 \times 2.58 = 263$ kWh au primaire ce qui induit 71 kg de CO₂ émis de moins par jour, donc 12780 kg de CO₂ dégagés annuellement en moins.

III. CHAPITRE 3: CHARGES ET PUISSANCES

III.1. INTRODUCTION

La puissance électrique 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 la puissance utilisée. En fait la puissance utilisée vaut la puissance apparente multipliée par le facteur de puissance. D'où la nécessité d'avoir un réseau ayant un facteur de puissance élevé afin de réduire les pertes et assurer une bonne gestion de l'électricité.

III.2. PUISSANCE INSTALLEE

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 : $P \text{ totale} = \sum P \text{ partielles}$ et $Q \text{ totale} = \sum Q \text{ partielles}$ mais ce théorème ne s'applique pas pour les puissances apparentes S , $S \text{ totale} \neq \sum S \text{ partielles}$).

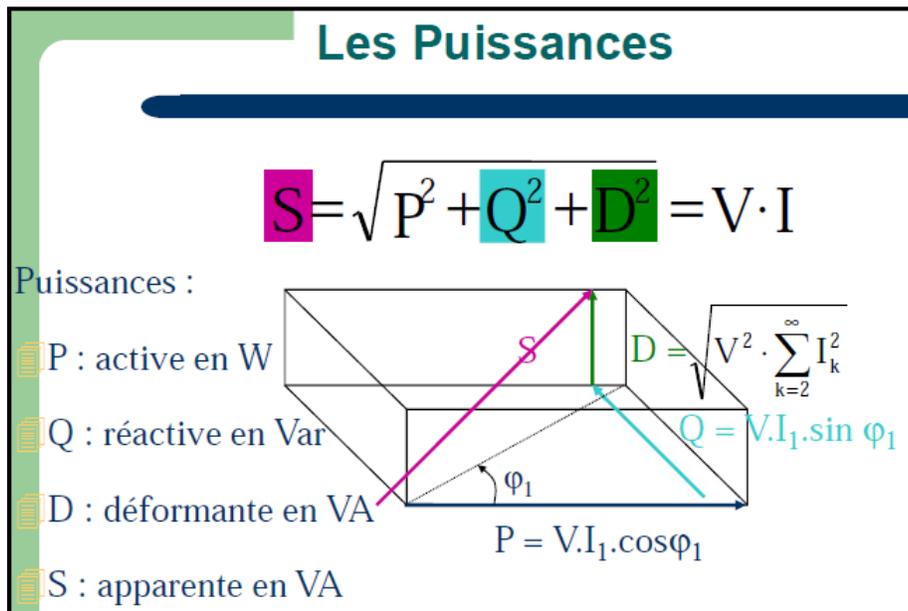


Figure III-1 : Diagramme des différentes puissances électriques

La puissance estimée S (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 nominale P_n 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 :

- $S = \sqrt{3} UI$, U tension composée pour un réseau triphasé

- $S = VI$, V tension simple pour un réseau monophasé

La forme générale de la puissance apparente inclut la puissance active P, la puissance réactive Q et la puissance déformante due à la présence des harmoniques sur le réseau ainsi S vaut :

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

La puissance active est donnée par la relation suivante: $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$ en watt

La puissance réactive est donnée par la relation suivante: $Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi$ en VAR

La puissance déformante: D est donnée telle que $D = \sqrt{S^2 - (P^2 + Q^2)}$

$$D^2 = U_1^2 (I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2) = U_1^2 \cdot I_h^2$$

Avec :

- I : la valeur efficace du fondamental du courant
- I_h : la valeur efficace de l'ensemble des harmoniques de rang supérieur à 1 du courant
- φ : la valeur du déphasage du courant fondamental I par rapport à la tension.
- $\cos \varphi$: facteur de déplacement

Le facteur de puissance est une caractéristique d'un récepteur électrique

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{\text{puissance active}}{\text{puissance apparente}}$$

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

En particulier, 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 φ**

- On a donc intérêt à augmenter le facteur de puissance pour réduire les pertes électriques définies par l'écart entre la puissance appelée et le travail fourni.

III.3. INSTALLATION ELECTRIQUE DE L'ECOLE

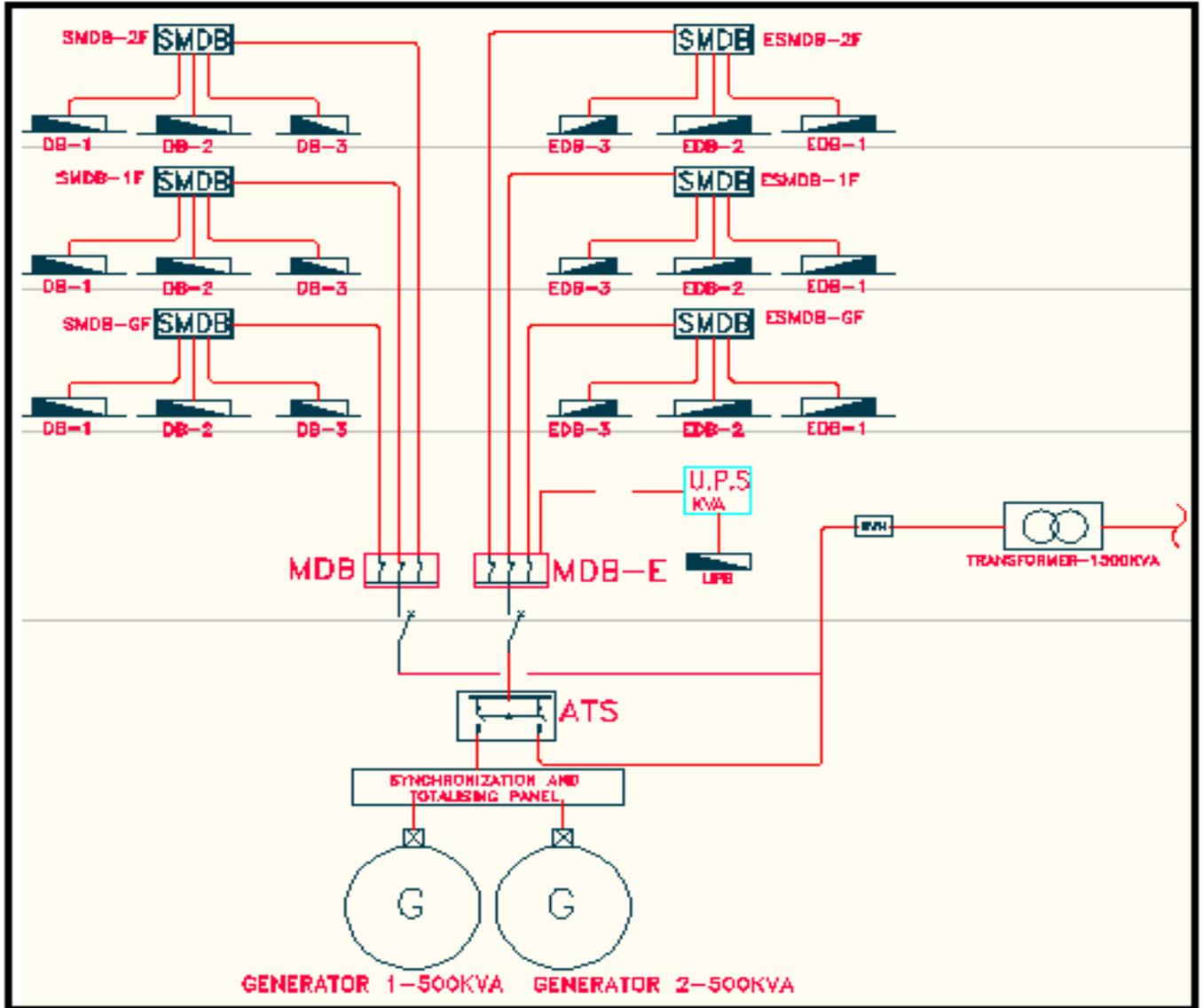


Figure III-2 : Diagramme schématique de l'installation électrique de notre école

Le câble principal provenant du réseau municipal à travers un transformateur MT/BT alimente d'une part un ATS (Automatique Transfer Switch), qui est aussi alimenté à travers le générateur, et d'autre part un MDB tableau principal. Ce tableau est connecté à des tableaux de distribution DB situés au niveau de chaque étage.

L'ATS alimente un EMDDB un tableau principal d'urgence (Emergency Main Distribution Board), ce tableau est connecté à des tableaux de distribution DB situés au niveau de chaque étage.

La division de chaque étage d'un bloc en deux tableaux électrique revient à diminuer la capacité d'alimentation de secours, soit un pouvoir de génération diminué de moitié. Par la suite, cette procédure sera traitée en détail.

Dans notre installation électrique (Figure III-2), apparait aussi un UPS et un tableau de synchronisation de générateurs. Plus tard dans notre rapport, le rôle et le fonctionnement de ces appareillages seront exposés en détails.

III.4. ESTIMATION DE LA DEMANDE MAXIMALE EN KVA

La méthode d'estimation de la puissance optimale du transformateur se résume de la manière suivante :

On établit un bilan des puissances pour déterminer la puissance appelée (ou absorbée) sur le réseau.

On calcule successivement :

La puissance installée P_i (somme des puissances actives en kW des récepteurs de l'installation)

La puissance utilisée P_u (partie de la puissance P_i en kW réellement utilisée) en tenant compte : des coefficients d'utilisation maximale des récepteurs (car ils ne sont pas en général utilisés à pleine puissance), des coefficients de simultanéité par groupes de récepteurs (car ils ne fonctionnent pas en général tous ensemble).

La puissance appelée S_a correspondant à P_u (car la puissance assignée des transformateurs est une puissance apparente en KVA alors que P_u est en kW) en tenant compte des facteurs de puissance et des rendements.

III.4. 1. CALCUL DE LA PUISSANCE INSTALLÉE

Comme c'est déjà connu, notre école est constituée de 3 blocs chacun de 3 étages. Le tableau ci dessous résume la constitution architecturale de notre bâtiment :

ETAGE POUR LES 3 BLOCS	SURFACE DES CLASSES (m ²)	SURFACE DES LABORATOIRES (m ²)	SURFACE DES BUREAUX (m ²)	SURFACE DES CHAMBRE MULTIFONCTIONNELLES(m ²)	SURFACE DES COULOIRS ET VESTIBULE (m ²)
REZ DE CHAUSSEE	2925	1470	360	600	2000
PREMIER ETAGE	2730	1470	180	600	1800
DEUXIEME ETAGE	2860	1470	180	800	1700

Tableau III-1 : Répartition surfacique des étages de l'école

La somme des puissances P_r en kW des récepteurs donne la valeur de la puissance installée. En se basant sur le tableau III-1 et le tableau III-2, et en considérant la puissance installée de la sorte :

Pour l'éclairage : Classes 25 W/m², Laboratoires 25 W/m², Bureaux 20 W/m², Chambres multifonctionnelles 20 W/m², Couloirs 30 W/m²,

Pour les prises de courant : Classes 25 W/m², Laboratoires 300 W/m², Bureaux 25 W/m², Chambres multifonctionnelles 25 W/m², Couloirs 4 W/m²,

Nous obtenons une puissance totale installée de 2150 kW soit 2500 KVA, comme le montre le tableau III-3

type de distribution	type d'exploitation	puissance installée estimée*
éclairage fluorescent	bureaux**	25 W/m ²
	ateliers**	15 W/m ² - hauteur plafond 6 m 20 W/m ² - hauteur plafond 9 m
force motrice	bureaux	25 W/m ²
	atelier peinture	350 W/m ²
	atelier chaudronnerie	450 W/m ²
	atelier usinage	300 W/m ²
	atelier montage	70 W/m ²
	atelier expédition	50 W/m ²
	traitement thermique	700 W/m ²
	chauffage	23 W/m ² (ateliers)
	conditionnement air	22 W/m ² (bureaux)
	compresseur d'air pompe	4 W/m ²

Tableau III-2 : Répartition de la puissance électrique selon les types d'exploitation

ETAGE POUR LES 3 BLOCS	CLASSES KW	LABORATOIRES KW	BUREAUX KW	CHAMBRE MULTIFONCTIONNELLES KW	COULOIRS ET VESTIBULE KW
Pi	425.75	1411.2	7.74	100	192.5
Pi Totale KW	2137.19				

Tableau III-3 : Répartition de la puissance électrique installée dans l'école

III.4. 2. CALCUL DE LA PUISSANCE UTILISÉE

La puissance installée donne une valeur trop élevée par rapport au besoin réel. Pour le calcul de la puissance utilisée les facteurs de simultanéité et d'utilisation maximale doivent être pris en compte : en effet, tous les récepteurs ne fonctionnent pas en même temps ni à pleine charge.

Le facteur d'utilisation maximale ($K_u < 1$) correspond à la fraction de la puissance totale du récepteur utilisée. Il s'applique toujours aux récepteurs à moteur pouvant fonctionner en dessous de la pleine charge. Alors que le facteur de simultanéité ($K_s < 1$) tient compte du fait que des groupes de récepteurs ne fonctionneront pas forcément simultanément.

Bref, on calcule la puissance utilisée totale à partir des valeurs de puissance installées des divers récepteurs corrigées de ces coefficients :

$$P_u(KW) = \sum P_r(KW) \times K_u \times K_s$$

Tableau de coefficients de simultanéité

équipements industriels ou tertiaires	
éclairage (attention : à vérifier pour les lampes à décharge)	1
ventilation	1
conditionnement d'air	1
fours	1
prises de courant (cas où 6 prises sont sur le même circuit)	0,25
machines-outils	0,75
compresseurs	0,75

Tableau III-4 : Facteurs de simultanéité pour les tableaux de distribution selon leur fonction

Dans notre école, le facteur de simultanéité influence énormément les prises de courant des laboratoires. En effectuant le calcul de Pu basé sur Pi préalablement calculée et sur le Tableau III -4, la puissance utilisée sera de l'ordre de : 1100 kW

ETAGE POUR LES 3 BLOCS	CLASSES	LABORATOIRES	BUREAUX	CHAMBRE MULTIFONCTIONNELLES	COULOIRS ET VESTIBULE
Pu	425.75	352.8	7.74	100	192.5
Pu Totale KW	1078.79				

Tableau III-5 : Répartition de la puissance électrique utilisée dans l'école

III.4.3. CALCUL DE PUISSANCE APPELÉE

La puissance appelée du transformateur correspondante à P_a (kW) s'exprime par une puissance apparente S_a en KVA.

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

$$S_a(KVA) = \sum S_r(KVA) = \sum \frac{P_r(KVA) \times K_u \times K_s}{FP}$$

Dans le cas le plus courant d'une installation d'éclairage compensée le facteur de puissance FP est égal à 0,86

Ainsi S_a sera de l'ordre de $1100/0.86 = 1300$ KVA

La puissance optimale du transformateur inclus aussi tous les équipements mécaniques : extracteurs, pompes d'eau, de feu... Par suite le transformateur qui raccorde l'installation électrique de l'école au réseau de distribution principal a une puissance de 1500 KVA.

Notons que pour les transformateurs, il existe des puissances normalisées : 160 - 250 - 400 - 630 - 800 - 1000 – 1250- 1500 KVA.

III.5. ORIGINE DES HARMONIQUES ET COMPENSATION DU REACTIF

Les harmoniques proviennent généralement des charges non linéaires :

- **Charges type informatique**
- **Variateurs de vitesse, courant, fréquence**
- **Alimentations sans interruption**
- **Eclairage Fluorescent**

Et dans notre école, l'éclairage ne comprend que des lampes fluorescentes et l'installation électrique comprend des ASI et des variateurs de vitesse concernant surtout les installations mécaniques (climatisation, alimentation en eau...)

- **Effets liés à la présence des harmoniques**
 - a. Surconsommation de courant
 - b. Echauffement des câbles, et courant élevé dans le neutre
 - c. Déclenchement intempestif des disjoncteurs
 - d. Dysfonctionnement des charges sensibles
 - e. Erreur de lecture des appareils de mesure
 - f. Papillotement ou effet flicker sur les écrans et éclairage

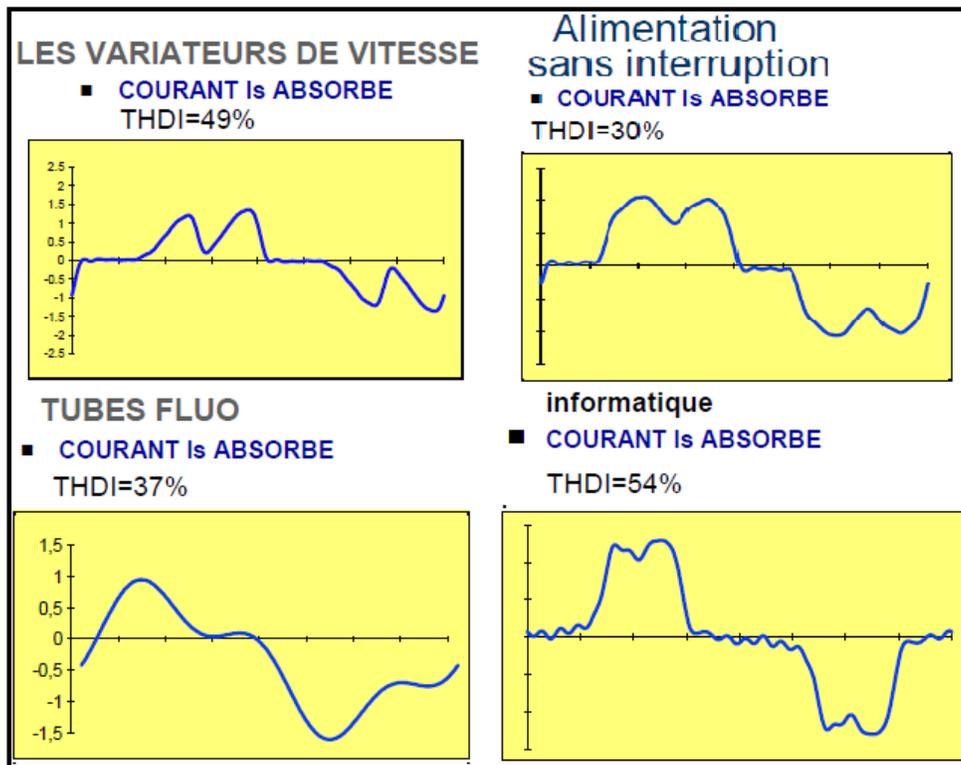


Figure III-3 : Profile des courants des ASI, lampes fluo, Variateurs...

III.6. LE NIVEAU DE COMPENSATION

Un calcul approximatif est généralement suffisant pour la plupart des cas pratiques, et peut être fondé sur la supposition d'un facteur de puissance de 0,8 avant la compensation. Améliorer le facteur de puissance à une valeur suffisante permet d'éviter les peines de tarif et de réduire les pertes.

Les bancs de condensateurs au bus bars de distribution principal de l'installation serait Q (KVAR) = $k \times P$ (kW). Avec k le facteur retrouvé à partir du tableau III-6, sachant le FP avant la compensation et celui visé après la compensation.

cos φ du récepteur	nombre de kvar à prévoir par kW de charge pour relever le cos φ à						
	0,86	0,88	0,90	0,92	0,94	0,96	0,98
0,40	1,688	1,750	1,805	1,861	1,924	1,998	2,085
0,41	1,625	1,687	1,742	1,798	1,860	1,935	2,021
0,42	1,564	1,626	1,681	1,738	1,800	1,874	1,961
0,43	1,507	1,569	1,624	1,680	1,742	1,816	1,903
0,44	1,441	1,503	1,558	1,614	1,677	1,751	1,837
0,45	1,380	1,442	1,501	1,561	1,626	1,695	1,784
0,46	1,329	1,391	1,446	1,502	1,567	1,636	1,725
0,47	1,280	1,342	1,397	1,454	1,519	1,588	1,677
0,48	1,226	1,288	1,343	1,400	1,464	1,534	1,623
0,49	1,180	1,242	1,297	1,355	1,420	1,489	1,578
0,50	1,182	1,194	1,248	1,303	1,369	1,441	1,529
0,51	1,086	1,148	1,202	1,257	1,323	1,395	1,483
0,52	1,044	1,106	1,160	1,215	1,281	1,353	1,441
0,53	1,000	1,062	1,116	1,171	1,237	1,309	1,397
0,54	0,959	1,021	1,076	1,130	1,196	1,268	1,356
0,55	0,919	0,981	1,035	1,090	1,156	1,228	1,316
0,56	0,885	0,947	0,996	1,051	1,117	1,189	1,277
0,57	0,842	0,904	0,958	1,013	1,079	1,151	1,239
0,58	0,805	0,867	0,921	0,976	1,042	1,114	1,202
0,59	0,768	0,830	0,884	0,939	1,005	1,077	1,165
0,60	0,734	0,796	0,849	0,905	0,971	1,043	1,131
0,61	0,699	0,761	0,815	0,870	0,936	1,008	1,096
0,62	0,665	0,727	0,781	0,836	0,902	0,974	1,062
0,63	0,633	0,695	0,749	0,804	0,870	0,942	1,030
0,64	0,600	0,662	0,716	0,771	0,837	0,909	0,997
0,65	0,569	0,631	0,685	0,740	0,806	0,878	0,966
0,66	0,538	0,600	0,654	0,709	0,775	0,847	0,935
0,67	0,508	0,570	0,624	0,679	0,745	0,817	0,905
0,68	0,479	0,541	0,595	0,650	0,716	0,788	0,876
0,69	0,449	0,511	0,565	0,620	0,686	0,758	0,840
0,70	0,420	0,482	0,536	0,591	0,657	0,729	0,811
0,71	0,392	0,454	0,508	0,563	0,629	0,701	0,783
0,72	0,363	0,425	0,479	0,534	0,600	0,672	0,754
0,73	0,336	0,398	0,452	0,507	0,573	0,645	0,727
0,74	0,309	0,371	0,425	0,480	0,546	0,618	0,700
0,75	0,282	0,344	0,398	0,453	0,519	0,591	0,673
0,76	0,255	0,317	0,371	0,426	0,492	0,564	0,652
0,77	0,229	0,291	0,345	0,400	0,466	0,538	0,620
0,78	0,203	0,265	0,319	0,374	0,440	0,512	0,594
0,79	0,176	0,238	0,292	0,347	0,413	0,485	0,567
0,80	0,150	0,212	0,266	0,321	0,387	0,459	0,541
0,81	0,124	0,186	0,240	0,295	0,361	0,433	0,515
0,82	0,098	0,160	0,214	0,269	0,335	0,407	0,489
0,83	0,072	0,134	0,188	0,243	0,309	0,381	0,463
0,84	0,046	0,108	0,162	0,217	0,283	0,355	0,437
0,85	0,020	0,082	0,136	0,191	0,257	0,329	0,417
0,86		0,062	0,109	0,167	0,230	0,301	0,390
0,87			0,083	0,141	0,204	0,275	0,364
0,88			0,054	0,112	0,175	0,246	0,335
0,89			0,028	0,086	0,149	0,230	0,309
0,90				0,058	0,121	0,192	0,281

Tableau III-6 : Facteurs de compensation du réactif

Vue la contenance de notre installation en charges non linéaire, le facteur de puissance est estimé 0.75.

Ainsi pour 1100 kW la puissance réactive au niveau des bancs de capacités est :

$Q \text{ (KVAR)} = k \times P \text{ (kW)} = 0.282 \times 1100 = 310 \text{ KVAR}$, sachant que le facteur de puissance visé est de 0.86

III.7. MESURES DE L'ECONOMIE EN ENERGIE

➤ Facteurs de simultanéité et d'utilisation

Comme nous l'avons vu précédemment, P_i vaut 2150 kW alors que P_{ca} vaut 1100 kW donc une réduction de $2150-1100 = 1050 \text{ kW}$ dans l'installation principale de notre réseau. Ainsi, sans ces facteurs, un surdimensionnement aurait affecté les conducteurs, les protections et le transformateur et par suite un appel plus grand de puissance du réseau de distribution municipal.

1050 kW en moins appelé signifie $1050 \times 2.58 = 2790 \text{ kW}$ produit (d'après les tableaux du chapitre 2) donc 756 kg en moins émis par heure, soit 1 224 720 kg non émis par an au niveau des centrales de production.

	Fioul Domestique	Charbon	Gaz Naturel
Emissions (kgCO ₂ /kWh)	0,271	0,343	0,206

Tableau III-7 : Taux de CO₂ émis pour 1 kWh produit

Energie ou source d'énergie ¹	Facteur de conversion d'énergie finale en énergie primaire [kWh/kWh]
Gaz naturel	1,17
Gaz liquéfié	1,16
Biogaz	1,14
Fuel (léger)	2,58
Bois (copeaux)	1,13
Capteur solaire thermique	1,17

Tableau III-8 : Facteur de conversion d'énergie primaire, finale

➤ **Compensation**

La diminution du facteur de puissance due à la présence des harmoniques entraîne une augmentation de la puissance appelée, en effet S vaut : $S = P / FP$ d'où la nécessité d'augmenter le facteur de puissance du réseau pour diminuer l'écart entre la puissance appelée et celle utilisée. La compensation se fait par des bancs de capacités installés au niveau du tableau principal et dont la valeur est calculée dans le paragraphe III-6.

➤ **Division des tableaux et de charges**

Dans le paragraphe III-3 l'installation schématique du bâtiment a été exposée. Elle montre que chaque étage est alimenté à travers deux tableaux : l'un alimenté à travers l'ATS et l'autre par le transformateur seulement. Chacun des tableaux comporte la moitié des lampes du couloir ainsi que des vestibules et des classes. Ainsi en cas d'absence d'alimentation électrique de la municipalité, le générateur alimentera la moitié de la charge. Assurant une luminosité minimale mais acceptable en attendant la répartition des pannes du réseau principal. Notons qu'il existe des équipements dont l'alimentation d'urgence est une impérative par exemple les pompes de l'extinction du feu et autres qui doivent être alimentés à travers le EMDB (Emergency Main Distribution Board). Cette mesure pourrait être omise si une commande de l'alimentation est adoptée : dans ce cas un seul tableau alimenterait chaque étage mais le raccordement des différents circuits sur ce tableau comporterait des appareillages de contrôle de délestage, ou

autres. Mais dans notre école, pour réduire la capacité de génération la division des tableaux des étages a été la solution adoptée. En fait, toute cette procédure a eu lieu pour ne pas surdimensionné le générateur et augmenter le taux de CO_2 émis de la combustion du fuel.

Comme le montre la figure III-5 l'éclairage du couloir est divisé en deux circuits, circuit a et circuit b. Le premier circuit est raccordé au tableau SMDB (Sub Main Distribution Board) de l'étage alors que l'autre est raccordé au tableau EMSDB (Emergency Sub Main Distribution Board)

Le Commutateur Automatique de Transfert est raccordé d'une part au réseau principal à travers un transformateur, et d'autre part à la source d'alimentation de secours. Quand les détecteurs de courant du circuit primaire détectent une perte de puissance sur ce circuit, l'ATS change tout de suite, en moins de 20ms, sa source d'alimentation : du transformateur à la source d'alimentation de sauvegarde. Les disjoncteurs protègent le système contre les surtensions.

L'ATS doit être correctement calibré pour supporter le courant des générateurs et celui provenant du réseau principal. Si l'ATS n'est pas bien dimensionné, il va s'échauffer et cesser de fonctionner correctement.

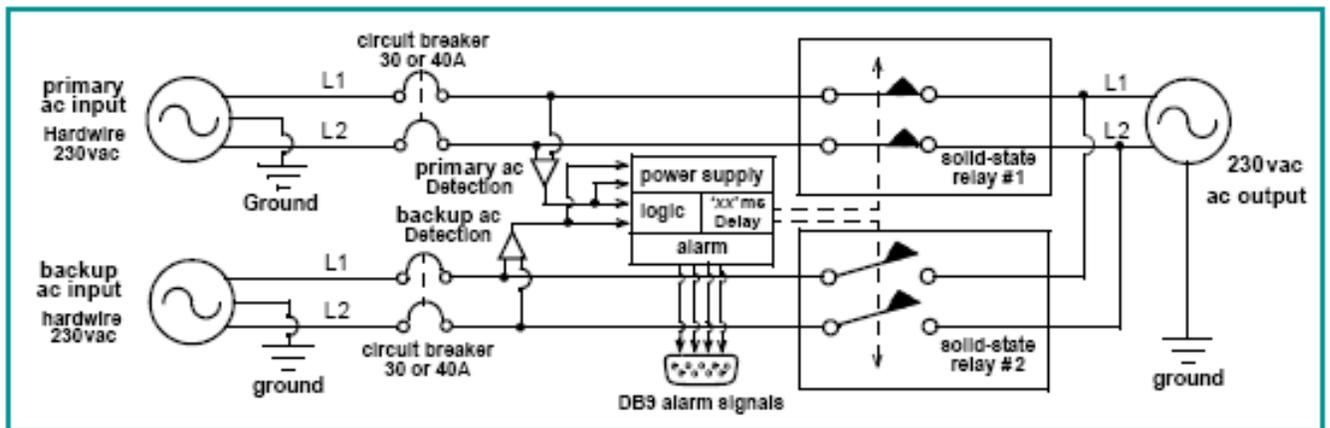


Figure III-4: Constitution d'un ATS : commutateur automatique de transfert

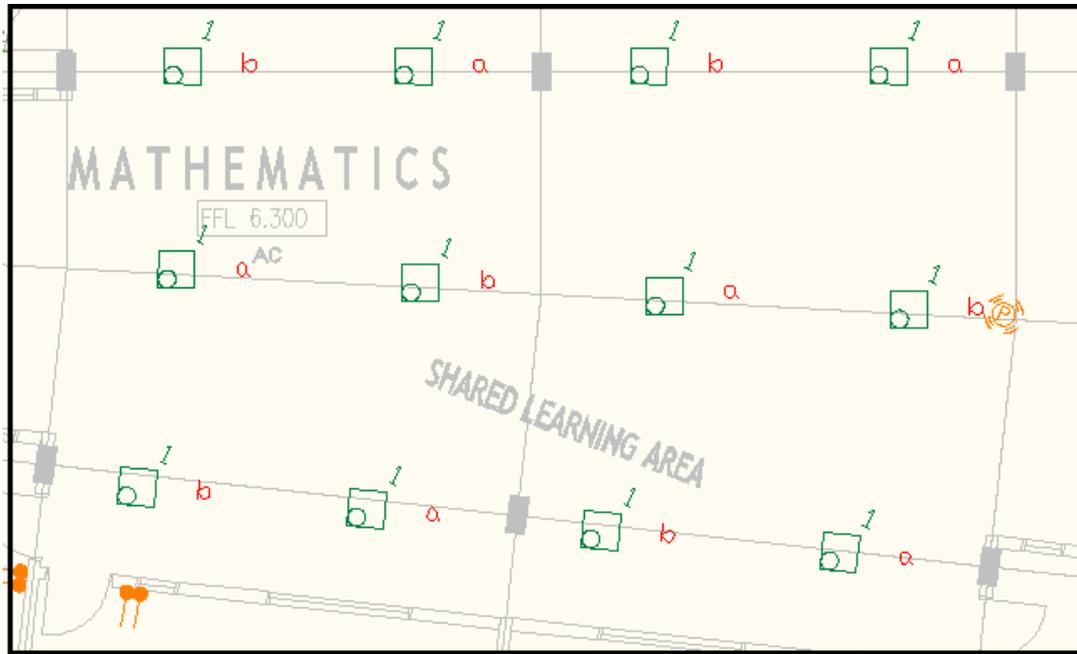


Figure III-5 : *Division de l'éclairage du couloir en 2 circuits*

III.8. ESTIMATION DE LA PUISSANCE DE LA GENERATION DE SECOURS

Une estimation des demandes d'urgence nous permet de préciser la puissance de génération. Ainsi en assurant 50% de l'alimentation aux classes, aux bureaux, aux couloirs et aux chambres multifonctionnelles, 25 % de l'alimentation aux laboratoires et en tenant compte des puissances des pompes de feu et des extracteurs de fumée, qui ne doivent être en aucun cas non alimentés pour la sécurité des occupants de l'école , on retrouve que le besoin est de 500 KVA.

ETAGE POUR LES 3 BLOCS	CLASSES	LABORATOIRES	BUREAUX	CHAMBRE MULTIFONCTIONNELLES	COULOIRS ET VESTIBULE
Pu	425.75	352.8	7.74	100	192.5
Pu Totale KW	1078.79				
Puissance de secours Totale KW	340.7364				
Puissance de secours des pompes de feu et extracteurs de fumee KW	85				
Puissance de secours Totale KVA	495.0423256				

Tableau III-9 : Répartition de puissance de secours dans l'école

Une solution visant l'économie en énergie et la préservation de l'environnement consiste à diviser cette puissance en deux. Par suite au lieu d'avoir un seul générateur de 500 KVA, on dispose de deux générateurs de 250 KVA chacun. Ainsi lors de la coupure de l'électricité, si la demande était inférieure à 250 KVA un seul générateur se mettra en marche, pour assurer la puissance appelée. Si on disposait d'un seul générateur de 500 KVA même si la demande était de 100 KVA seulement, ce dernier va démarrer pour assurer cette demande d'où un gaspillage énorme en fuel par suite en émission de CO_2 inutile.

Le protocole qui sera adopté dans notre installation (deux générateurs) :

- En cas de défaillance de l'électricité, un seul générateur démarre si $S < 250$ KVA

Si $S > 250$ KVA, le second générateur démarre et c'est le rôle du tableau de synchronisation d'assurer le synchronisme entre ces deux à l'aide des commutateurs de contrôle qui élèvent ou abaissent la vitesse et la tension des générateurs pour égaliser les fréquences afin d'assurer le synchronisme. L'investissement au début est plus élevé pour l'installation de deux générateurs mais à long terme c'est la solution la plus saine vue les émissions de CO_2 réduites :

Une sélection de générateur de 250 KVA montre qu'à pleine charge, la consommation de fuel d'un tel générateur est de 72.3 L/h, alors que celle d'un générateur de 500 KVA est de 127 L/h.

Donc pour une charge que peut supporter un seul générateur, exemple charge de 150 KVA, une réduction d'émission de CO_2 de $(127-73) \times 300.67 = 16\,237$ g par heure donc 16 kg de CO_2 en moins chaque heure d'opération si l'installation de deux générateurs 250 KVA est adoptée.

Equivalence	Facteur d'émission	
	en Kwh	(g de CO_2 /Kwh)
1 m ³ de gaz	11,63	234,66
1 Litre de fioul	9,94	300,67

Tableau III-10 : Emission de CO_2 vis à vis la combustion du fuel

STANDBY 250 ekW 312 kVA		CATERPILLAR®	
60 Hz 1800 rpm 480 Volts			
TECHNICAL DATA			
Open Generator Set - - 1800 rpm/60 Hz/480 Volts		DM6443	
Package Performance			
Genset Power rating with fan		250 ekW	
Genset Power rating @ 0.8 pf		312.5 kVA	
Fuel Consumption			
100% load with fan		72.3 L/hr	19.1 Gal/hr
75% load with fan		53.8 L/hr	14.2 Gal/hr
50% load with fan		37.8 L/hr	10.0 Gal/hr
Cooling System¹			
Air flow restriction (system)		0.12 kPa	0.48 in. water
Engine coolant capacity		15.9 L	4.2 gal
Exhaust System			
Combustion air inlet flow rate		21.4 m ³ /min	755.7 cfm
Exhaust stack gas temperature		534.5 °C	994.1 °F
Exhaust gas flow rate		61.5 m ³ /min	2171.9 cfm
Exhaust flange size (internal diameter)		152.4 mm	6.0 in
Exhaust system backpressure (maximum allowable)		6.7 kPa	26.9 in. water
Heat Rejection			
Heat rejection to coolant (total)		116 kW	6597 Btu/min
Heat rejection to exhaust (total)		275 kW	15639 Btu/min
Heat rejection to atmosphere from engine		55 kW	3128 Btu/min
Heat rejection to atmosphere from generator		21.1 kW	1200.0 Btu/min
Alternator²			
Motor starting capability @ 30% voltage dip		538 skVA	
Frame		446	
Temperature Rise		130 °C	234 °F
Lube System			
Sump refill with filter		39.0 L	10.3 gal

Tableau III-11 : Sélection d'un générateur 250 KVA

STANDBY 500 ekW 625 kVA

60 Hz 1800 rpm 480 Volts



TECHNICAL DATA

Open Generator Set - - 1800 rpm/60 Hz/480 Volts	DM8165	
Low BSFC		
Generator Set Package Performance		
Genset Power rating @ 0.8 pf	625 kVA	
Genset Power rating with fan	500 ekW	
Fuel Consumption		
100% load with fan	126.9 L/hr	33.5 Gal/hr
75% load with fan	98.3 L/hr	26.0 Gal/hr
50% load with fan	69.7 L/hr	18.4 Gal/hr
Cooling System¹		
Air flow restriction (system)	0.12 kPa	0.48 in. water
Air flow (max @ rated speed for radiator arrangement)	840 m ³ /min	29664 cfm
Engine Coolant capacity with radiator/exp. tank	57.8 L	15.3 gal
Engine coolant capacity	20.8 L	5.5 gal
Radiator coolant capacity	37.0 L	9.8 gal
Inlet Air		
Combustion air inlet flow rate	37.6 m ³ /min	1327.8 cfm
Exhaust System		
Exhaust stack gas temperature	510.9 ° C	951.6 ° F
Exhaust gas flow rate	103.5 m ³ /min	3655.1 cfm
Exhaust flange size (internal diameter)	152.4 mm	6.0 in
Exhaust system backpressure (maximum allowable)	6.8 kPa	27.3 in. water
Heat Rejection		
Heat rejection to coolant (total)	189 kW	10748 Btu/min
Heat rejection to exhaust (total)	478 kW	27184 Btu/min
Heat rejection to atmosphere from engine	15 kW	853 Btu/min
Heat rejection to atmosphere from generator	29.1 kW	1654.9 Btu/min
Alternator²		
Motor starting capability @ 30% voltage dip	1428 skVA	
Frame	LC6114F	
Temperature Rise	130 ° C	234 ° F
Emissions (Nominal)³		
NOx g/hp-hr	6.46 g/hp-hr	
CO g/hp-hr	.38 g/hp-hr	
HC g/hp-hr	.01 g/hp-hr	
PM g/hp-hr	.02 g/hp-hr	

Tableau III-12 : Sélection d'un générateur 500 KVA

III.9. ANALYSE

	GEH250 (3-Phase)	250 kVA 50Hz	Price: € 23,315.29
	GEP500-2	500 kVA 50Hz	Price: € 42,791.87

Tableau III-13 : *Prix des générateurs*

Si on va acheter deux générateurs 250 KVA chacun l'investissement initial sera de 46 650 Euros et si l'on achète un seul générateur de 500 KVA l'investissement initial sera de 42 800 Euros.

Ainsi la différence des prix d'investissement est de l'ordre de 3850 Euros sans compter les équipements de protection et le tableau de synchronisation nécessaire pour raccorder les deux générateurs 250 KVA.

Bien que l'installation de deux générateurs pourra atteindre 6000 Euros en plus qu'une installation d'un seul générateur, l'intégration d'une telle installation vaut la peine pour la préservation de l'environnement vu la réduction de l'émission de CO_2 de 16 kg par heure d'opération.

B. PARTIE II :

SYSTEMES MECANIQUES

IV. CHAPITRE 4

GENERALITES DE L'INSTALLATION MECANIQUE

IV.1. CRITERES DE CONCEPTION

La conception et l'installation des services mécaniques seront exécutés conformément aux normes internationales et réglementations locales tel qu'UPC, ASPE, ASHRAE et SMACNA de sorte à assurer les critères suivants :

- Le confort des occupants en accommodant l'offre à la demande
- Une haute performance des installations mécaniques à consommation électrique contrôlée

IV.2. BASES DE CONCEPTION

Les services qui seront étudiés dans ce rapport sont les suivants :

- L'alimentation en eau
- L'eau chaude sanitaire
- La ventilation
- La climatisation

Les Systèmes de HVAC (chauffage, ventilation et climatisation) seront conçus pour satisfaire les critères du climat conformément à l'emplacement géographique d'Abu Dhabi aux Emirats Arabes Unis. La longitude est de $-54,7^{\circ}$, la latitude $24,4^{\circ}$. Les températures en Été $46^{\circ}\text{C DB}/30^{\circ}\text{C WB}$ et en Hiver de $15^{\circ}\text{C DB}/8^{\circ}\text{C WB}$.

La longitude est une coordonnée géographique représentée par une valeur angulaire, c'est l'expression du positionnement est-ouest d'un point sur Terre alors que la latitude, qui est aussi une coordonnée géographique représentée par une valeur angulaire, exprime la position d'un point sur Terre par rapport au nord ou au sud de l'équateur qui est le plan de référence.

La température mouillée d'ampoule est la température que vous sentez quand votre peau est mouillée et est exposée à l'air en mouvement. Bref, la température d'ampoule mouillée WB (Wet Bulb) indique la quantité d'humidité dans l'air. Alors que la température sèche d'ampoule DB (Dry Bulb) est la

température mesurée par un thermomètre exposé librement à l'air mais protégé du rayonnement et de l'humidité.

La conception de la ventilation sera exécutée de sorte à maintenir un environnement sain et équilibré (une surpression est recommandée afin d'éviter les infiltrations et les contaminations).

Le Système de gestion du bâtiment BMS (Building Management System) sera intégré afin de permettre le contrôle et la surveillance continus des divers systèmes de l'école.

Les entrées du BMS seront des détecteurs autonomes communiquant avec la station de contrôle centrale localisée dans la pièce de sécurité centrale.

Le BMS contrôlera :

- Toutes les pompes d'eau
- Les ventilateurs et les extracteurs
- Les niveaux des réservoirs d'eau
- Système de contrôle de fumée (l'échappement de fumée & la surpression des escaliers)

Le BMS permettra de fournir:

- L'usage optimal d'équipement en augmentant sa durée la vie
- L'efficacité d'énergie
- Le déclenchement d'alarmes pour alerter les opérateurs lors d'une défaillance
- Les programmes d'entretien pour aider les opérateurs à maintenir les systèmes de construction
- La régulation de la température précisée, optimisant ainsi les coûts opérationnels par les économies d'énergie.

V. CHAPITRE 5

ALIMENTATION EN EAU

V.1. INTRODUCTION:

Cette ressource fondamentale est évidemment essentielle à chaque site de construction. Mais ce qui a changé ces dernières décennies est que l'eau est devenue une ressource précieuse. Au moment où la quantité totale d'eau dans ses diverses formes sur la planète est finie, la quantité d'eau fraîche, munie d'une qualité convenable n'est pas uniformément distribuée. Bref, il devient de plus en plus difficile de parvenir à distribuer suffisamment et équitablement la provision d'eau aux utilisateurs. Cette tendance a des implications de savoir prudemment gérer l'utilisation l'eau que nous avons. Il existe plusieurs techniques qui peuvent être adoptées afin de contribuer à une conception verte, minimisant les quantités d'eau exigées, réduisant par la suite l'énergie nécessaire recommandée pour le traitement de ces eaux.

V.2. ESTIMATION DU BESOIN EN EAU:

Le volume d'eau assurant le besoin de l'école quotidiennement sera calculé en se basant sur le nombre total d'étudiants et conformément aux normes internationales d'ASHRAE et d'ASPE **(Tableau V-1)**

L'estimation du nombre d'étudiants est retrouvé suite à une considération de la densité d'occupation de 50 % conformément à ASHRAE vue l'absence des meubles clairement installés. Alors que le volume d'eau recommandé par jour par élève est donné par ASPE.

➤ **Procédure d'estimation de l'eau domestique:**

1. Déterminer le type de l'immeuble.
2. Estimer le nombre d'occupants
3. Se référer au guide'' water consumption guide as per ASPE'' Volume 4
4. Une réserve de deux jours est recommandée pour chaque immeuble.
5. Ce volume sera divisé en 2 citernes: le premier contient l'eau non traitée, le second comprend l'eau filtrée.

Les ressources en eau fournissent une eau qui contient énormément de pollutions, détritiques impropres à la consommation, donc il faut la traiter avant l'utilisation. La filtration de l'eau publique

se fait par l'intermédiaire des filtres à sable et à charbon actif. Les filtres à charbon actif sont employés pour éliminer les mauvais goûts et odeurs, chlore, et beaucoup de contaminants organiques, alors que les filtres de sable emprisonnent les métaux lourds en suspension et le résidu de bactéries. Un filtre multimédia remplit les fonctions des deux filtres cités en dessus.

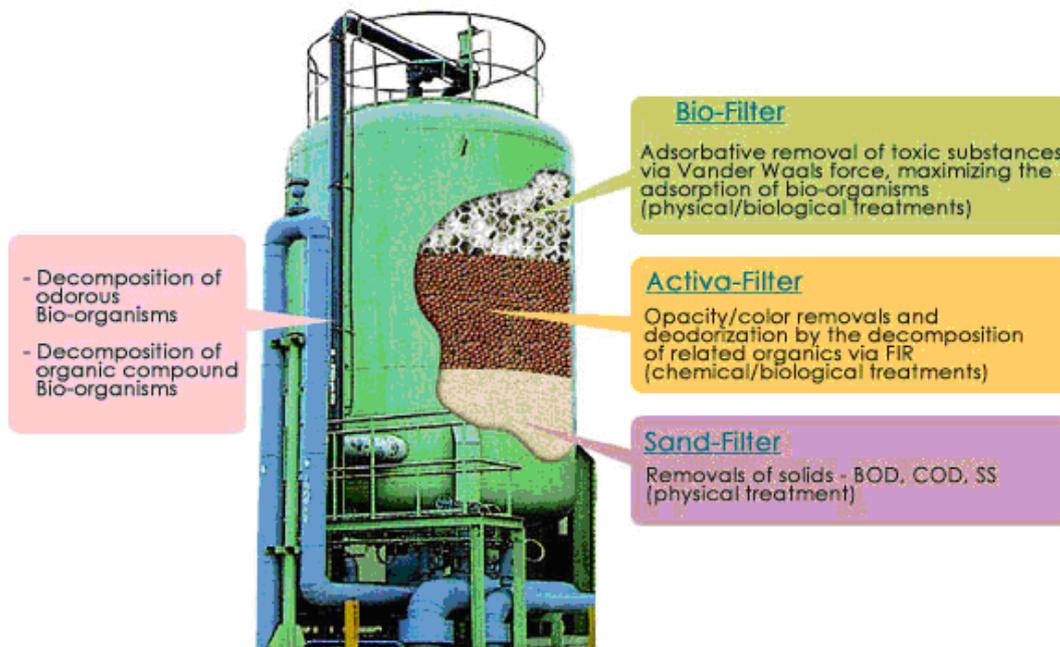


Figure V-1 : Schéma d'un filtre multimédia

<p>Water consumption guide: (Chapter 10 -water treatment ASPE Data Book-Volume 4)</p> <p>Schools: Full line - 20gpd / student; hot only - 3gpd / student.</p>

Tableau V-1: Volume d'eau recommandé par étudiant

Notons qu'un gallon vaut 3.79 litres et "full line" veut dire que le volume indiqué englobe la demande totale en eau par jour : c'est la somme de la demande d'eau froide et d'eau chaude.

Le tableau ci-dessous nous donne non seulement le besoin quotidien mais aussi 2 jours de réserve. Cette mesure est prise afin d'être paré contre un accident imprévu sur le réseau de distribution municipal.

Comme déjà mentionné auparavant, le service de protection contre les incendies ne sera pas traité dans ce rapport, mais le volume dédié pour lutter contre le feu doit sûrement rentrer dans l'estimation de l'eau vu son volume important normalement recommandé par NFPA d'une part, et la nécessité de la présence d'une telle eau du point de vue sécurité des personnes.



PROJECT: AL BUTEEN SCHOOL		
Water Supply Estimation		
GROUND FLOOR	NO of STUDENT	
		402
FIRST FLOOR	NO of STUDENT	
		609
SECOND FLOOR	NO of STUDENT	
		353
TOTAL ESTIMATED STUDENT		1364
WATER ESTIMATION FOR SCHOOL		
DOMESTIC WATER NEED IN THE SCHOOL (LITERS)	<i>(No of PERSONx75L/day)</i>	102300
CLEANING+IRRIGATION+CHILLER MAKEUP... (LITERS)	15000	
TOTAL DAILY CONSUMPTION (LITERS)	102300	
TWO DAYS RESERVE (LITERS)	204600	
FIRE RESERVE (LITERS)	114000	
TOTAL CONCRETE WATER TANK (LITERS)	318600	
CONCRETE WATER TANK (m3)	319	
<ul style="list-style-type: none"> The GRP water tanks on roof should be half day reserve with a total capacity of 50 cum 		

Tableau V-2: Réserve d'eau pour l'école (les trois blocs)

➤ **Procédure de distribution de l'eau domestique:**

La distribution de l'eau domestique se fait en général comme suit :

Une liaison entre le réseau municipal et la citerne de réserve localisée au niveau du sous-sol assure son remplissage. Des pompes montées en parallèle seront utilisées pour assurer la montée de l'eau jusqu'à la citerne localisée sur le toit. Puis une opération de filtration aura lieu pour atteindre la qualité d'eau voulue et sera réservée dans une nouvelle citerne. Le volume d'eau localisé sur le toit vaut la moitié de la demande quotidienne. Et par la suite une pompe de rappel "booster" assurera la pression recommandée pour alimenter les lavabos, les robinets et tout le système de distribution.

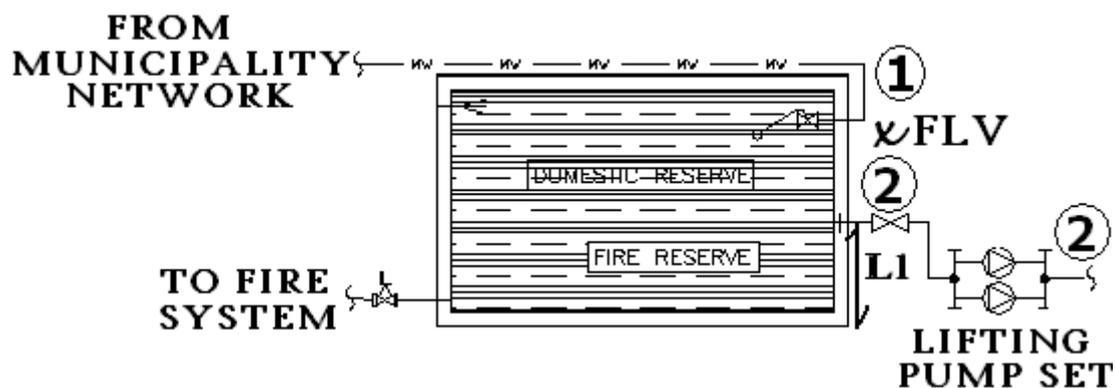


Figure V-2: *Différentes connexions au niveau de la citerne principale*

➤ **Procédure de dimensionnement d'une citerne combinant en même temps les réserves d'eau domestique et celles de la lutte contre l'incendie:**

- ❖ La ligne 1 de la Figure V-2 sera dimensionnée conformément aux tables du code ASPE (Tableau V-7) selon le débit indiqué par la municipalité
- ❖ La vanne flottante localisée à la fin de la ligne 1 aura un diamètre nominal identique à celui de la ligne 1
- ❖ La pompe centrifuge de refoulement, assurant le remplissage des citernes du toit aura une hauteur d'aspiration déterminée de sorte à ce que la réserve contre l'incendie reste intacte. Cette hauteur sera calculée de sorte à ce que cette hauteur multipliée par la longueur et la largeur de la citerne assure le volume d'eau permettant l'extinction du feu en cas d'incendie. Ce volume est indiqué par NFPA selon le type du bâtiment et son élévation.
- ❖ La hauteur d'aspiration de la pompe d'eau domestique est donc supérieure à celle dédiée à l'extinction de l'incendie

- ❖ La ligne 2 alimentant la citerne du toit est aussi dimensionnée selon les tables indiquées précédemment mais avec un débit calculé comme suit:

$$\text{Débit} = \text{volume de la citerne} / \text{durée de l'opération de remplissage}$$

- ❖ Ainsi dans notre cas pour qu'un volume de 50m^3 soit totalement rempli durant 6 heures, le débit doit être $8.5\text{m}^3/\text{h}$

V.3. CARACTERISTIQUES DES POMPES CENTRIFUGES UTILISEES:

Une pompe centrifuge est constituée par:

- ❖ une roue à aubes tournant autour de son axe
- ❖ un distributeur dans l'axe de la roue
- ❖ un collecteur en forme de spirale

La roue est placée dans une enceinte (le corps de pompe) possédant deux ou plusieurs orifices, le premier dans l'axe de rotation (*aspiration*), la seconde perpendiculaire à l'axe de rotation (*refoulement*). Le liquide pris entre deux aubes se trouve contraint de tourner avec celle-ci, la force centrifuge repousse alors la masse du liquide vers l'extérieur de la roue où la seule sortie possible sera l'orifice de refoulement. L'énergie fluide est donc celle provenant de la force centrifuge.

Une pompe est caractérisée par son débit et sa hauteur manométrique.

- Le débit d'une pompe est un volume de fluide déplacé par unité de temps.
- la HMT (hauteur manométrique) est l'addition de :
 1. La hauteur géométrique totale (différence d'altitude entre l'entrée du liquide et sa sortie à l'atmosphère)
 2. Des pertes de charges
 3. De la pression de refoulement à la sortie

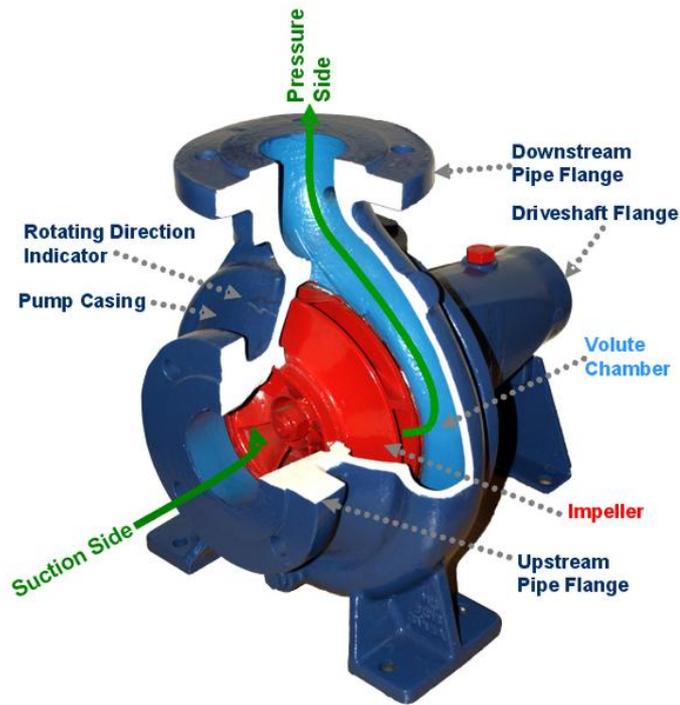


Figure V-3 : Pompe centrifuge

Des pompes centrifuges multicellulaires où plusieurs roues sont montées en série sur le même arbre sont utilisées dans le pompage de l'eau. Le refoulement d'une des pompes communique avec l'aspiration de la pompe suivante. La présence d'une pompe en état d'attente capable de reporter la charge en cas de défaillance d'une pompe active est une impérative dans l'installation sécurisée, pour éviter radicalement la coupure de l'alimentation en eau. Le rendement de ces pompes est de l'ordre de 60 à 70 %.

➤ **Types de pompes utilisées:**

- a. Pompe de transfert, de refoulement (lifting pump)
- b. Pompe d'appel (booster pump)
- c. Pompe de circulation (circulating pump)

➤ **Calcul du débit de la pompe:**

- A. Pour une pompe "lifting pump": le débit vaut le volume de la citerne divisé par la durée de l'opération de remplissage. Le résultat a pour unité le m^3/h . Pour avoir le résultat en L/s on divise par 3.6
- B. Pour une pompe "booster" le débit est trouvé en calculant la somme de tous les "FU" (fixture units) du bâtiment, puis conversion de cette valeur en gpm selon le *Tableau V-8*

C. Pour une pompe de circulation “circulating pump” le débit de cette pompe est généralement petit. En effet comme l’indique son nom, son rôle consiste à faire tourner continuellement l’eau chaude dans les tuyaux du système, de sorte qu’elle soit toujours proche des robinets pour éviter le gaspillage de l’eau dû à l’attente de l’arrivée de cette eau, qui a un trajet long allant des chauffe-eaux centrales situés dans la zone technique au RDC jusqu’au vestibule localisé au second étage. Une telle pompe contribue à l’épargne de l’eau donc au développement durable. Conformément à ASHRAE le débit d’une telle pompe est considéré comme suit :

- $\frac{1}{2}$ gpm (0.23 L / min) pour un système alimenté par un tuyau principal ayant un diamètre variant entre 3/4 – 1 in. (1.9-2.54cm)
- 1gpm (2.2 L/ min) pour un système alimenté par un tuyau principal ayant un diamètre variant entre 1 ¼ - 1 ½ in. (3.2 – 3.8cm)
- 2 gpm (4.4 L / min) pour un système alimenté par un tuyau principal ayant un diamètre supérieur à 2 in

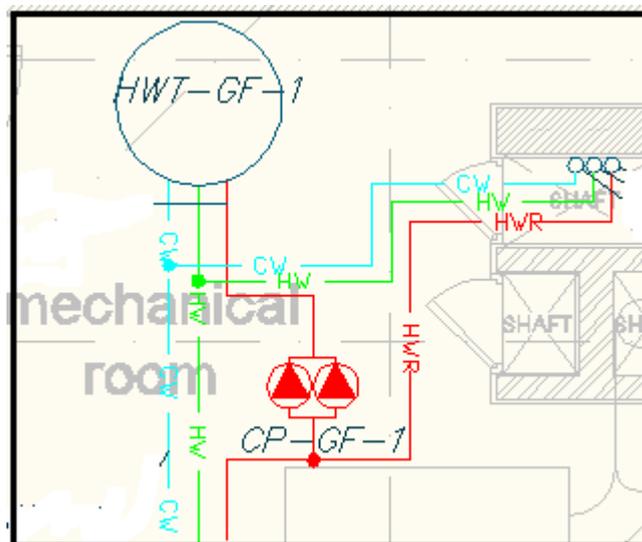


Figure V-4 : Pompe de circulation au niveau de la chauffe eau centrale

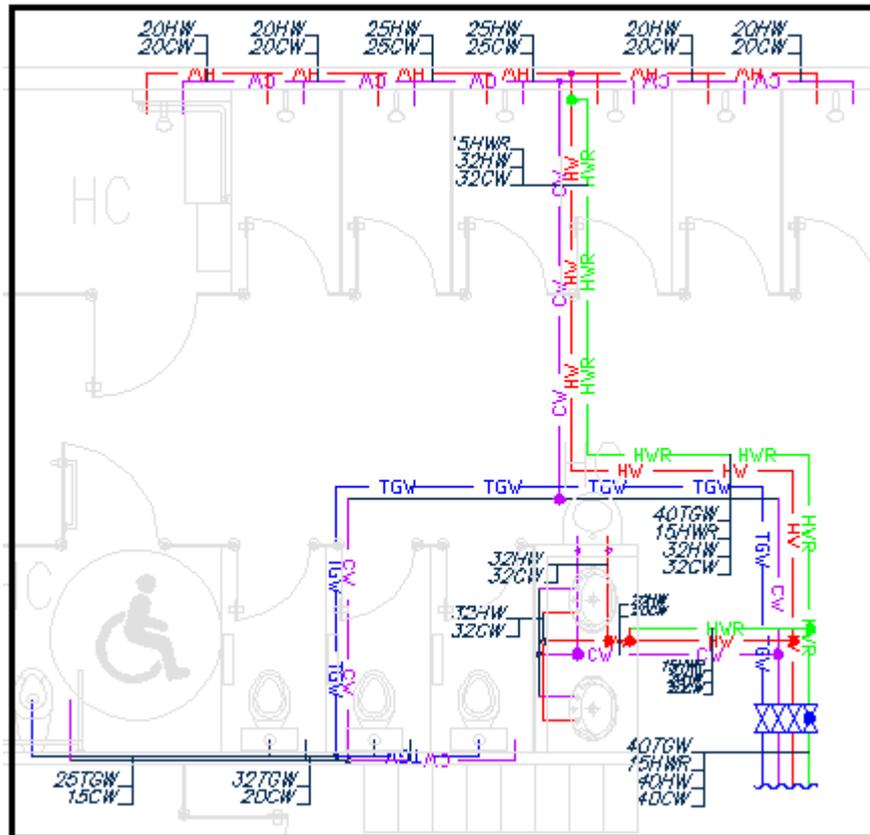


Figure V-5 : Eau chaude retournée par la pompe de circulation

V.4. REGLAGE DU DEBIT

La Variation de la vitesse de rotation de la pompe par un dispositif d'électronique de puissance est le moyen adopté dans l'installation mécanique de notre école.

Le réglage du débit est important pour des besoins dus au procédé mais aussi pour se placer dans des plages de fonctionnement où le rendement est meilleur et minimiser les consommations de puissance électrique.

V.5. DIMENSIONNEMENT DES POMPES

Pour dimensionner, calculer correctement le point de fonctionnement d'une pompe, il faut connaître les paramètres du réseau auquel est destinée la pompe. Ces paramètres sont:

1. Le débit volumique m^3/s
2. La hauteur d'aspiration
3. La hauteur de refoulement

4. Les pertes de charges à l'aspiration et au refoulement "pertes de charges régulières" et "pertes de charges singulières"
5. La pression ou dépression du réservoir aspiré (devra être ajoutée ou soustraite de la hauteur)
6. La pression ou dépression du réservoir de refoulement (devra être ajoutée ou soustraite de la hauteur)

Concernant les pressions ou les dépressions il faut penser à la pompe et à l'effort qu'elle devra fournir pour faire circuler le fluide:

- Si le fluide descend il enlève du travail à la pompe. La hauteur (côté entre axe de pompe et surface du réservoir) est donc négative. Ainsi la hauteur manométrique de l'eau dans un tuyau vertical exerce une pression. Cette pression gagnée durant le cheminement de l'eau refoulée doit être soustraite de la pression totale recommandée (descente=signe négatif)
- Si le fluide doit monter il ajoute du travail à la pompe. La hauteur (côté entre axe de pompe et surface du réservoir) est donc positive. La montée de l'eau exige un effort supplémentaire dû au frottement et à la marche contre le sens naturel de la pesanteur (monter=signe positif)

Deux pressions influent sur la hauteur manométrique d'une pompe : la pression statique et la pression résiduelle :

- ❖ La pression statique constitue la dénivellation entre le départ et l'arrivée. Donc c'est la différence entre la hauteur d'aspiration et celle de refoulement. Pour une pompe de circulation 'circulating pump': elle vaut zéro car dans un cas pareil, le système est un circuit fermé modélisé par une vase communicante, pas de dénivellation entre le départ et l'arrivée.
- ❖ La pression résiduelle constitue la pression voulue à l'arrivée, au refoulement. Elle dépend de l'usage de la pompe.

EQUIVALENT LENGTH OF PIPE FOR FRICTION LOSS IN THREADED FITTINGS & VALVES											
Fitting or Valve	Equivalent Feet of Pipe for Various Pipe Sizes										
	1/2"	3/4"	1"	1-1/4"	1-1/2"	2"	2-1/2"	3"	4"	5"	6"
45 deg Elbow	0.8	1.1	1.4	1.8	2.2	2.8	3.3	4.1	5.4	6.7	8.1
90 deg Elbow, std	1.6	2.1	2.6	3.5	4.0	5.2	6.2	7.7	10.1	12.6	15.2
Tee, run	1.0	1.4	1.8	2.3	2.7	3.5	4.1	5.1	6.7	8.4	10.1
Tee, Branch	3.1	4.1	5.3	6.9	8.1	10.3	12.3	15.3	20.1	25.2	30.3
Gate Valve	0.4	0.6	0.7	0.9	1.1	1.4	1.7	2.0	2.7	3.4	4.0
Globe Valve	17.6	23.3	29.7	39.1	45.6	58.6	70.0	86.9	114	143	172
Angle Valve	7.8	10.3	13.1	17.3	20.1	25.8	30.9	38.4	50.3	63.1	75.8
Butterfly Valve						7.8	9.3	11.5	15.1	18.9	22.7
Swing Check Valve	5.2	6.9	8.7	11.5	13.4	17.2	20.6	25.5	33.6	42.1	50.5

Tableau V-3: *Equivalence des accessoires de plomberie en mètre linéaire, pertes de charge*

Le tableau ci dessous indique la procédure pour déterminer la hauteur manométrique.

 SERVICES DESIGN TECHNOLOGY Lebanon - sarl MEP & Sustainability Consultants		
PUMP TYPE:		CIRCULATING CP-1
PIPE TYPE:		GALVANISED STEEL
FLOW(L/S) OF 1 PUMP:		0.3
TOTAL FLOW(L/S):		0.3
PIPE SIZE (mm):		25
FRICTION(m/100m):		11
STATIC HEAD(m)		0
RESIDUAL PRESSURE(m)		2
FITTINGS	QUANTITY	EQUIVALENT IN (m)
ELBOW 90	5	4.6
ELBOW45	0	0
TEE-LINE FLOW	3	0.81
TEE-BRANCH FLOW	2	3.06
UNION	1	0.27
GATE VALVE	1	0.18
GLOBE VALVE	1	7.63
ANGLE VALVE	0	0
CHECK VALVE	0	0
STRAINER	1	25
PIPING LENGTH(m)		90
TOTAL DEVELOPPED PIPING(m)		131.55
FRICTION(m)		14.4705
PUMP TOTAL HEAD=STATIC HEAD+(FRICTION+20%)+RESIDUAL PRESSURE		
PUMP TOTAL HEAD:		19.3646

Tableau V-4: Hauteur manométrique d'une pompe de circulation (circulating pump)

Notons que le frottement dépend du débit et du diamètre du tuyau ainsi que de sa nature.

Fixture Type	Flow Rate (gpm)	Flow Pressure (psi)
Bathtub	4	8
Bidet	2	4
Combination Fixture	4	8
Dishwasher, Residential	2.75	8
Drinking Fountain	0.75	8
Laundry Tray	4	8
Lavatory	2	8
Shower	3	8
Shower, Temp Controlled	3	20
Sillcock, Hose Bib	5	8
Sink, Residential	2.5	8
Sink, Service	3	8
Urinal, Valve	15	15
Water Closet; Blowout, Flushometer Valve	35	25
Water Closet, Flushometer Tank	1.6	15
Water Closet, Siphonic, Flushometer Valve	25	15
Water Closet, Tank, Close Coupled	3	8
Water Closet, Tank, One-Piece	6	20

Tableau V-5 : *Pression minimale acceptable*

Sizing sheet for PPR water supply pipes (flow resistance of 11/100) Polypropylene pipes					
Dimension in inches	Outside diameter(mm)	Internal diameter(mm)	Flow(L/s)	Flow(gpm)	F.U
3/8"	16	10.6	0.07	1.1	1.1
1/2"	20	13.2	0.14	2.2	2.2
3/4"	25	16.6	0.24	3.8	3.8
1"	32	21.2	0.45	7.13	7.5
1.1/4"	40	26.6	0.8	12.7	17.5
1.1/2"	50	33.2	1.55	24.56	42.5
2"	63	42.0	2.9	46	112
2.1/2"	75	50	4.75	75.3	250
3"	90	60	7.5	119	470
4"	110	73.4	13	206	980

Tableau V-6: *Tableau tuyaux de PPR figurant le diamètre en fonction du débit*

Ainsi pour notre pompe de refoulement ayant un débit de $8.5 \text{ m}^3/\text{h}$ donc $8.5/3.6 = 2.35 \text{ L/s}$ par suite le diamètre du tuyau devrait être 2 in donc 50 mm d'après le Tableau V-6

**Water pipe sizing fixture units versus psi/100 ft. (kPa/100 m),
Galvanized fairly-rough pipe**

Pressure Loss, psi/100 ft (kPa/100 m)	Pipe Size, in. (mm)						
	½ (12.7)	¾ (19.1)	1 (25.4)	1¼ (31.7)	1½ (38.1)	2 (50.8)	2½ (63.5)
	Fixture Units ^a						
1.0 (22.6)	0	1	4	8	16	42	37
1.1 (24.9)	0	1	5	9	17	45	42
1.2 (27.2)	0	1	5	10	19	48	46
1.3 (29.4)	0	1	6	11	20	51	51
1.4 (31.7)	0	2	6	11	20	54	55
1.5 (33.9)	0	2	6	12	21	56	62
1.6 (36.2)	0	2	6	12	22	58	67
1.7 (38.5)	0	2	6	12	23	60	74
1.8 (40.7)	0	2	6	13	23	63	80
1.9 (43)	0	2	7	13	24	66	86
2.0 (45.2)	0	3	7	14	25	70	90
2.2 (49.8)	0	3	7	15	26	77	102
2.4 (54.3)	0	3	7	15	28	85	112
2.6 (58.8)	0	3	8	16	30	92	124
2.8 (63.3)	0	3	8	17	32	99	136
3.0 (67.9)	0	3	9	18	33	105	148
3.2 (72.4)	0	3	9	19	35	112	162
3.4 (76.9)	0	3	10	20	36	118	174
3.6 (81.4)	0	4	10	20	38	123	186
3.8 (86)	0	4	11	21	40	129	198
4.0 (90.5)	1	4	11	21	42	135	210
4.2 (95)	1	4	12	22	43	141	221
4.4 (99.5)	1	5	12	23	45	147	238
4.6 (104.1)	1	5	12	23	46	153	246
4.8 (108.6)	1	5	12	24	48	160	256
5.0 (113.1)	1	5	13	24	49	167	265
5.2 (117.6)	1	6	13	25	51	174	278
5.4 (122.2)	1	6	13	26	52	180	290
5.6 (126.7)	1	6	14	27	54	185	302
5.8 (131.2)	1	6	14	27	55	191	314
6.0 (135.7)	1	6	15	28	56	197	329
6.2 (140.3)	1	6	15	29	57	202	343

Tableau V-7: Tableau de tuyaux galvanisés figurant le diamètre en fonction du débit

TABLE FOR CONVERTING DEMAND IN WSFU TO GPM ¹					
WSFU	GPM FlushTanks ²	GPM FlushValves ³	WSFU	GPM FlushTanks ²	GPM FlushValves ³
3	3		120	49	74
4	4		140	53	78
5	4.5	22	160	57	83
6	5	23	180	61	87
7	6	24	200	65	91
8	7	25	225	70	95
9	7.5	26	250	75	100
10	8	27	300	85	110
11	8.5	28	400	105	125
12	9	29	500	125	140
13	10	29.5	750	170	175
14	10.5	30	1000	210	210
15	11	31	1250	240	240
16	12	32	1500	270	270
17	12.5	33	1750	300	300
18	13	33.5	2000	325	325
19	13.5	34	2500	380	380
20	14	35	3000	435	435
25	17	38	4000	525	525
30	20	41	5000	600	600
40	25	47	6000	650	650
50	29	51	7000	700	700
60	33	55	8000	730	730
80	39	62	9000	760	760
100	44	68	10,000	790	790

NOTES: 1. This table converts water supply demands in water supply fixture units (WSFU) to required water flow in gallons per minute (GPM) for the purpose of pipe sizing.
2. This column applies to the following portions of piping systems:
(a). Hot water piping;
(b). Cold water piping that serves no water closets; and
(c). Cold water piping that serves water closets other than flush valve type.
3. This column applies to portions of piping systems where the water closets are the flush valve type.

Tableau V-8 : Tableau de conversion de FU au gpm

V.6. CALCUL DE LA PUISSANCE ELECTRIQUE :

La Puissance électrique de la pompe est donnée par l'équation suivante : $P = \rho \cdot V \cdot h / \eta$

Avec :

ρ la masse volumique de l'eau en kg/m^3 et vaut 1000 kg / m^3

V le débit de la pompe en m^3/h

h la hauteur manométrique en m

η le rendement de la pompe pas d'unité

Elle est généralement retrouvée suivant la courbe donnée par le fabricant variant selon le débit et la hauteur manométrique et la vitesse de rotation comme le montre la Figure V-7; Chaque pompe a ses courbes caractéristiques définies par le constructeur.

V.7. MODULATION DE LA PUISSANCE ELECTRIQUE, POMPES A VITESSE VARIABLE:

Les équipements d'entraînement à fréquence variable permettant la variation de la vitesse des moteurs permettant en conséquence l'économie de l'énergie. Ainsi ces mécanismes fonctionnent en convertissant la tension alternative (redresseur) du réseau en tension continue, puis en retransmettant ce signal au moteur selon des fréquences et des tensions variables (onduleur). Ils peuvent faire tourner l'équipement rotatif à des vitesses variant de 0 tr/min jusqu'à 100 % de la vitesse nominale du moteur.

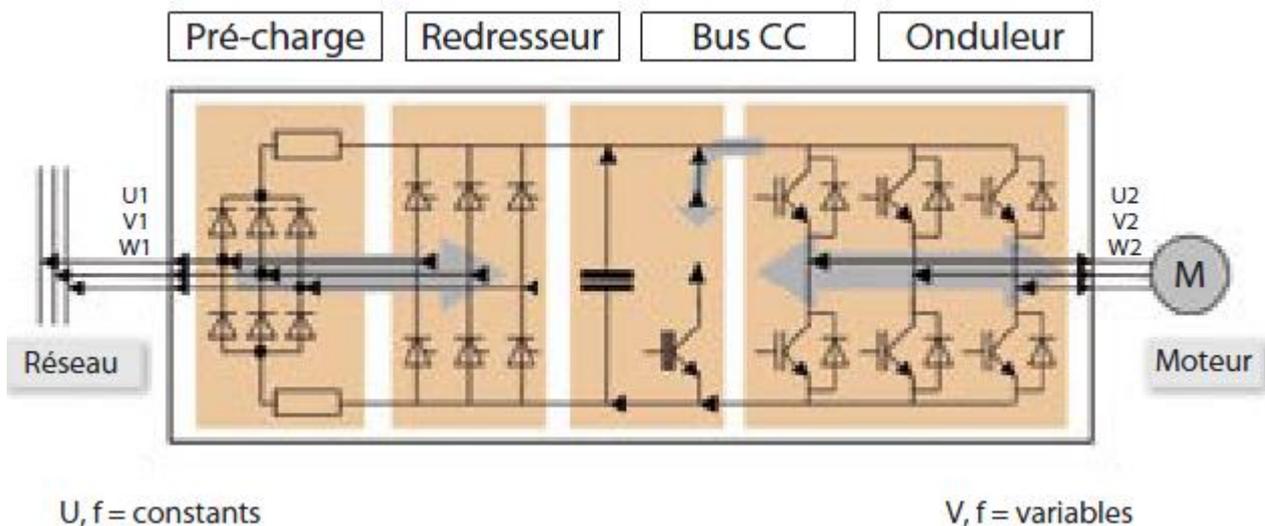


Figure V-6: Schéma d'un variateur de fréquence

Les économies d'énergie réelles générées par les mécanismes d'entraînement à fréquence variable sont calculées à partir des lois fondamentales régissant le fonctionnement des pompes. En théorie, la puissance d'entrée d'une pompe chute en fonction du rapport de débit (charge) à la (puissance) ³. Cela est illustré par l'équation ci-dessous :

$$W_2 = W_1 \times \left(\frac{Q_2}{Q_1}\right)^3$$

À titre d'exemple, si la puissance (W1) est à un débit de 100 % de (Q1) et si le débit est réduit à 80 pour 100, la nouvelle puissance (W2) sera égale à $W_1 \times (0,8)^3 = 0,51$ ou 51%.

Comme le montre la figure V-7 les pompes à pression ont une consommation électrique nominale de 4 kW, sans dispositif de variation de fréquence, cette puissance sera consommée à chaque fois la pompe est mise en marche indépendamment de la charge. Mais en présence de variateurs de fréquence, donc de vitesse, si la charge est de 75% la charge nominale la puissance consommée vaut $(0.75)^3 P_n$ donc 42 % la puissance nominale, ce qui implique une réduction de 58% de la consommation électrique, un pourcentage remarquable à considérer. Le tableau V-10 montre le pourcentage de variation de la puissance en fonction du pourcentage de la variation du débit.

SCHEDULE OF WATER PUMPS				
COLUMN NO.	1	2	3	4
UNIT NO.	P-B1-1	BP-R-1	BP-R-2	CP-R-1
SYSTEM SERVED	DOMESTIC WATER	DOMESTIC WATER SHOWERS & LOCKERS	DOMESTIC WATER TOILETS	CIRCULATING PUMP FOR HOT WATER RETURN
LOCATION	PUMP ROOM BASEMENT	ROOF	ROOF	ROOF
SPECIFICATION TYPE	LIFTING PUMP VERTICAL MULTISTAGE	BOOSTER WITH VARIABLE SPEED DRIVE	BOOSTER WITH VARIABLE SPEED DRIVE	CIRCULATOR CENTRIFIGAL IN LINE
FLUID	WATER	WATER	WATER	WATER
TEMPERATURE (°C)	30	30	30	70
FLOW RATE (L/S)	7	3.5	6.2	7.2
TOTAL HEAD (m. of water) *	56 *	31 *	35 *	30 *
RPM	2900	2900	2900	2900
BASE TYPE	CONCRETE BASE	CONCRETE BASE	CONCRETE BASE	CONCRETE BASE
APPROX. POWER (KW)	8 KW 3/415/50 HZ	1.75 KW 1/220/50 HZ	1.7 KW 1/220/50 HZ	3.3 KW 1/220/50 HZ
QUANTITY	1 SET-2 PUMPS	1 SET-2 PUMPS	1 SET-3 PUMPS	1 SET-2 PUMPS
REMARKS	2 PUMPS ALTERNATING ONE DUTY ONE STANDBY.	1 PUMP DUTY ONE STANDBY AND 100 L PRESSURE VESSELS	2 PUMPS DUTY ONE STANDBY AND 100 L PRESSURE VESSELS	1 PUMPS DUTY ONE STANDBY AND 100 L PRESSURE VESSELS

Tableau V-9: Tableau de fonctionnement des pompes à eau

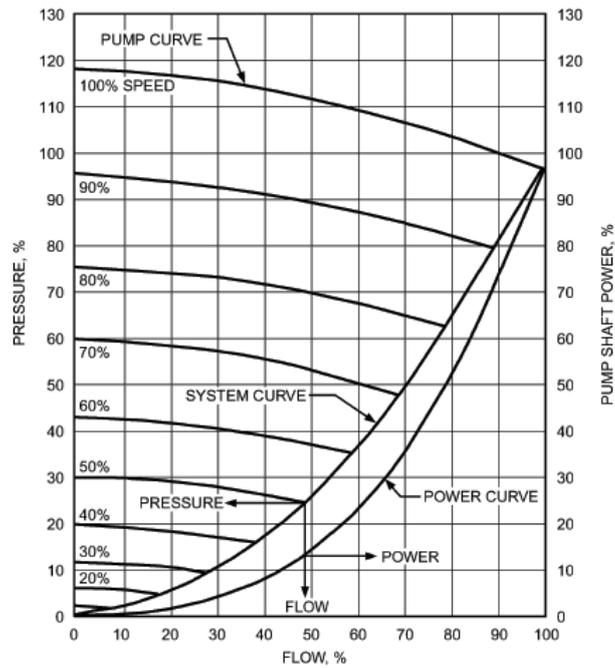


Figure V-7 : Puissance, pression et débit d'une pompe

V.8. ESTIMATION DE LA PERIODE DE REMBOURSEMENT (pay back period)

Une pompe d'appel pour l'école consomme 4 kW si aucune variation de vitesse n'est intégrée dans le système. D'après la compagnie "europump" une pompe à vitesse variable coûte à peu près 2500\$. Le prix du kWh à Abou Dhabi vaut 0.1\$. Pour une charge valant 75% la charge nominale, la période de remboursement est donnée par le Tableau V-10.

<i>Pay back period for a VSD for a booster pump of 4kw</i>		
<i>Initial Costs</i>	1150	\$
<i>Installation Costs</i>	500	\$
<i>Maintenance Costs</i>	500	\$
<i>Estimated Operating Hours/year</i>	1887	h
<i>Energy Costs without VSD</i>	7548	kwh
<i>Energy Costs without VSD for 0.1\$/kwh</i>	754.8	\$
<i>Costs with VSD</i>	2150	\$
<i>Energy Reduction</i>	58	%
<i>Pay back period</i>	3	years

Tableau V-10 : Estimation de période de remboursement

On rappelle que l'électricité ne produit pas de CO_2 lors de son utilisation mais elle en génère lors de sa production. Un coefficient de conversion est appliqué pour déterminer la quantité d'énergie primaire utilisée dans la centrale électrique pour disposer d'une unité d'énergie finale (à l'utilisation). Pour une consommation finale de 1kWh, la consommation d'énergie primaire est de 2,58 kWh.

	Fioul Domestique	Charbon	Gaz Naturel
Emissions (kgCO ₂ /kWh)	0,271	0,343	0,206

Tableau V-11 : Taux de CO₂ produit pour 1kWh généré

Dans un tel cas, 58% de puissance électrique en moins vaut 2.3 kWh épargné donc $2.3 \times 2.58 \times 0.271 = 1.6$ kg de CO_2 en moins pour chaque heure d'opération (selon le tableau V-15).

Justification Financière :

Le prix d'investissement sera remboursé dans 3 ans, avec une réduction annuelle de la consommation électrique concernant cette pompe d'appel, donc une réduction d'émission de CO_2 . Enfin 3 ans n'est pas une longue période et un tel investissement vaut la peine afin de contribuer à préserver un climat sain.

A noter que, notre école nécessite 2 pompes d'appel du même type indiqué, donc une épargne doublée et que cette réduction pourra augmentée si la charge est inférieure à 75% de la charge nominale.

Les variateurs de fréquence seront utilisées uniquement pour les pompes d'appel (Booster pumps) car concernant les pompes de refoulement, elles ont toujours un même débit, elles seront mises en marche lorsque les indicateurs de niveau des réservoirs du toit affichent le niveau bas. Le débit de ces pompes est prescrit dès le début de l'installation en fonction de la période de remplissage voulue et du volume des réservoirs sur le toit.

En ce qui concerne les pompes de circulation d'eau chaude, le débit est aussi constant visant une circulation continue de l'eau chaude indépendamment du taux d'utilisation.

V.9. COLLECTION DE L'EAU DE PLUIE

Afin de profiter au maximum des ressources naturelles, surtout qu'il ne pleuve pas très souvent dans une ville comme Abou-Dhabi, nous allons collecter l'eau pluviale et l'utiliser pour générer de l'eau potable.

L'eau pluviale que nous pourrions obtenir est fonction de la surface exposée à la pluie et du débit de pluie estimé. Le volume final est indiqué ci-dessous.



PROJECT:AL BUTEEN SCHOOL	
ESTIMATION OF RAIN WATER COLLECTION	
ROOF AREA(m2)	11000
FOR 5 in/h AS RATE OF RAINFALL :RAIN WATER VOLUME(m3)	1397.0

Tableau V-12: *Estimation du volume d'eau de pluie*

Si nous considérons un débit de pluie de 5 inch par heure (conformément au national plumbing code et à l'emplacement géographique d'Abou Dhabi) le volume de pluie collecté sera :

$$11000 \times 5 \times 0.0254 = 1397 \text{ m}^3$$

Le processus de traitement de l'eau de pluie afin qu'elle devienne potable nécessite des experts dans ce domaine. Ce qui nous importe, en tant que consultants électromécaniques, est d'estimer le volume à collecter et de ne pas gaspiller cette eau, par contre en profiter jusqu'à la dernière goutte.

Le schéma de la Figure V-8 ci-dessous nous donne une idée de l'opération de traitement et de filtration.

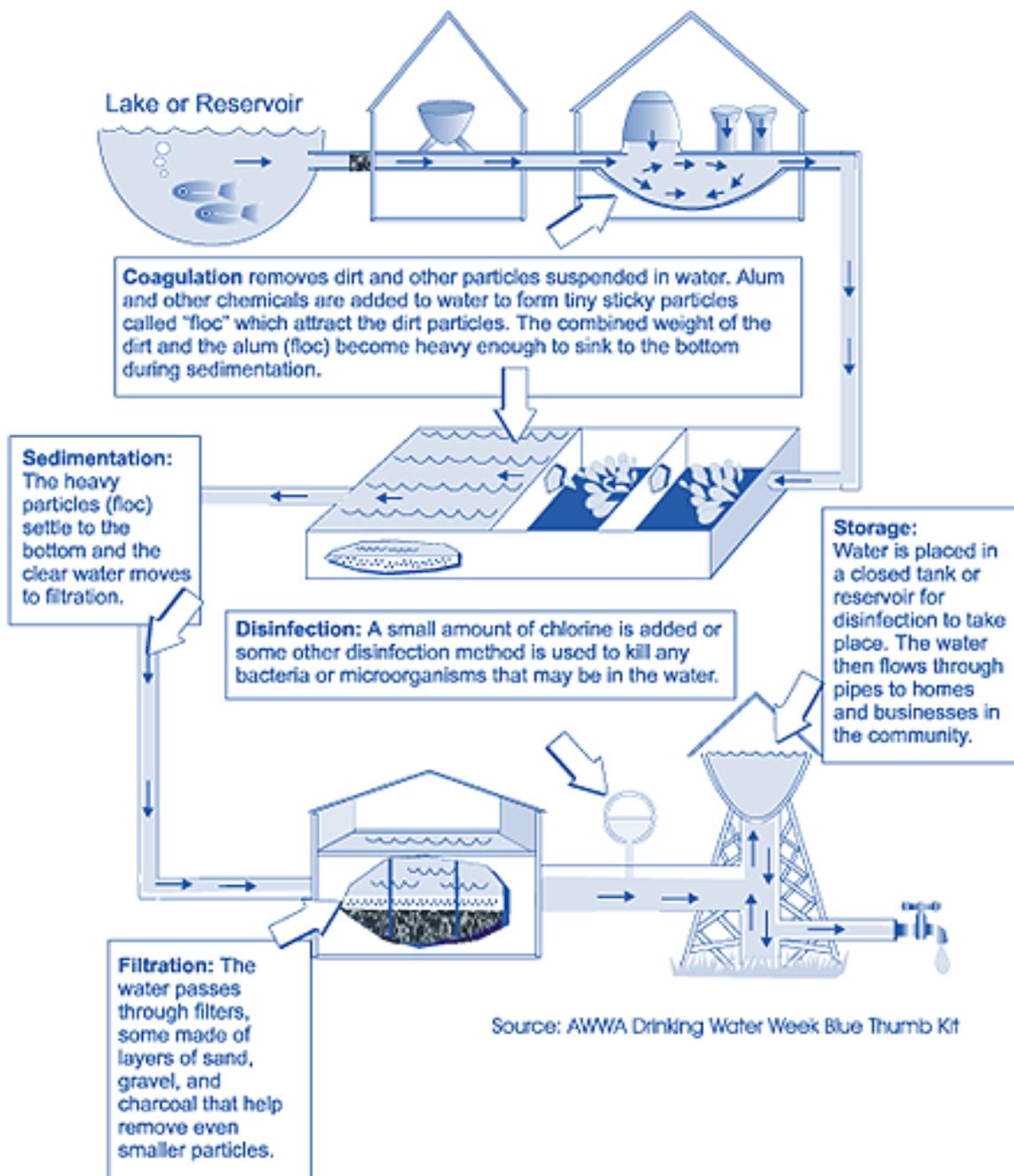


Figure V-8: *Processus pour obtenir de l'eau potable*

V.10. TRAITEMENT DES EAUX USEES

Suite à une opération de traitement spécialisé, l'eau résultante sera utilisée pour alimenter les WC, comme le montre la Figure V-9 ci-dessous. Notons que même l'eau provenant des WC peut être traitée mais cette technique est très compliquée et coûteuse. Conformément à l'avis du propriétaire cette technique n'a pas été adoptée.

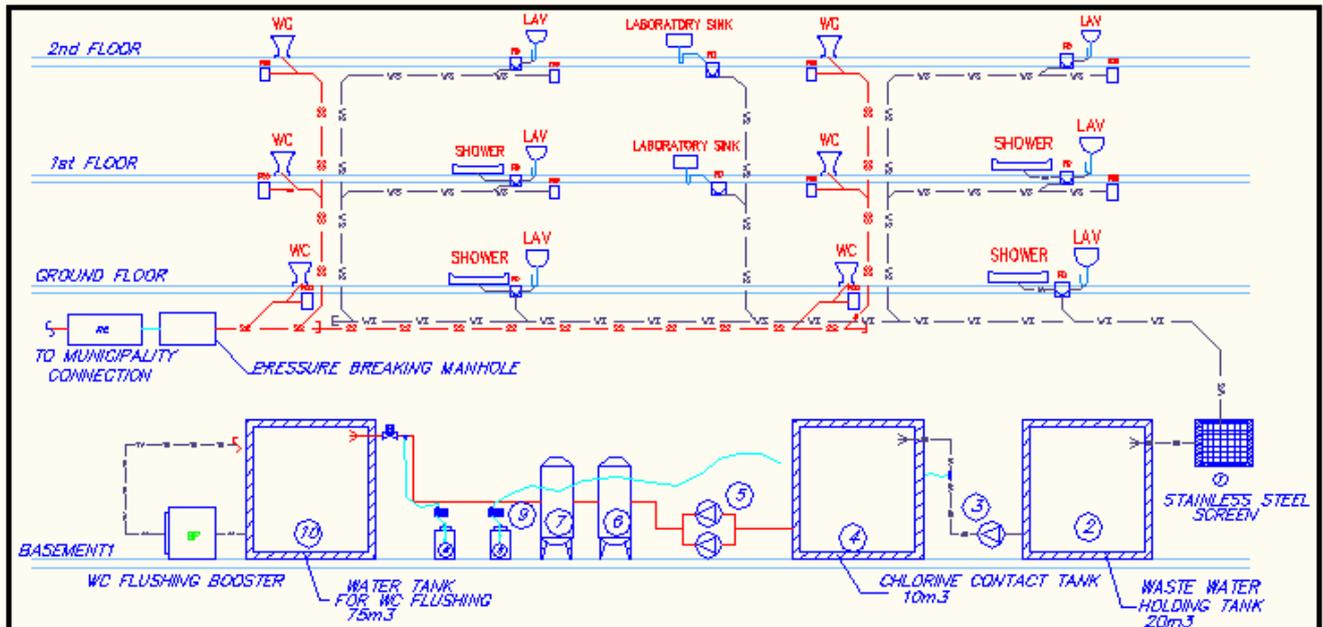


Figure V-9: *Diagramme de la collection des eaux usées et du traitement*

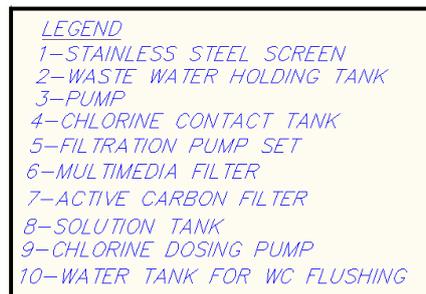


Figure V-10 : *Légende du diagramme de la collection des eaux usées et du traitement*

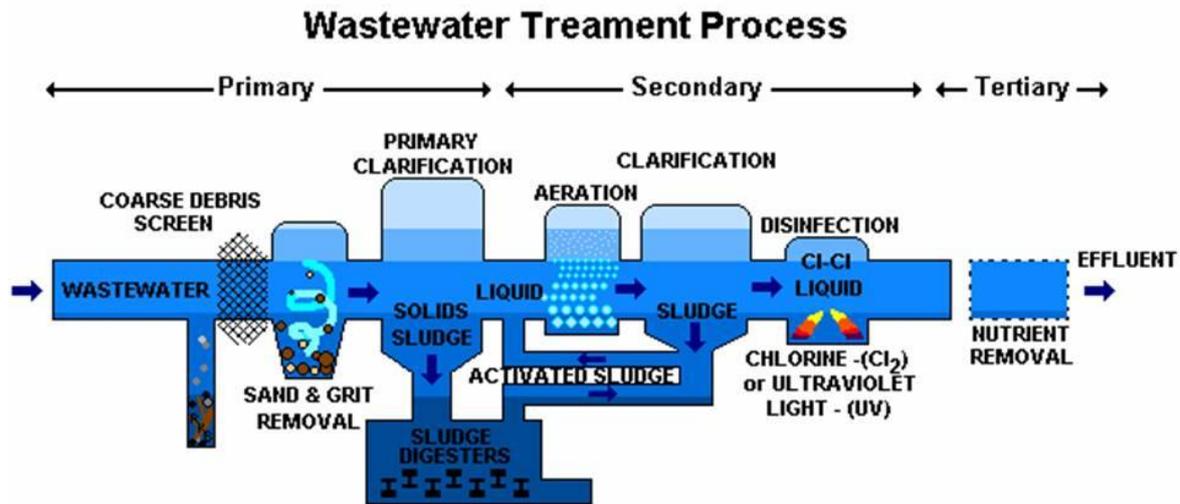


Figure V-11: *Processus de traitement des eaux usées*

V.11. ESTIMATION DU VOLUME D'EGOUTS

Dès le début de la conception du réseau sanitaire, l'eau usée provenant des WC doit être séparée de celles provenant des lavabos et des éviers. Par la suite, au moment où l'eau des WC est guidée vers le regard de la municipalité, l'autre partie d'eau est menée vers une citerne située au sous-sol, cette citerne est consacrée à la rétention des eaux usées "waste water holding tank".

Ainsi le volume quotidien provenant du réseau sanitaire est à la base du dimensionnement de cette réservoir.

En se basant sur un taux de 15 gallons/jour par élève d'usage d'eau domestique excepté celui des toilettes (WC) selon ASPE (Tableau V-14), le tableau ci dessous nous permet de prévoir le volume quotidien.

SERVICES DESIGN TECHNOLOGY Lebanon - sarl <small>MEP & Sustainability Consultants</small>	
<u>PROJECT: AL BUTEEN SCHOOL</u>	
<u>Waste Water Estimation</u>	
<u>TOTAL ESTIMATED STUDENT</u>	1364
<i>DAILY WASTE WATER m³</i>	78
<i>WASTE WATER HOLDING TANK FOR 2 PEAK HOUR m³</i>	19
<i>CHLORINE CONTACT TANK m³</i>	10
<i>FLUSHING TANK m³</i>	78

Tableau V-13: *Estimation du volume d'eau usée*

SEWAGE FLOWS ACCORDING TO TYPE OF ESTABLISHMENT.	
Type of Establishment	
Schools (toilets and lavatories only)	15 Gal. per day per person
Schools (with above plus cafeteria)	25 Gal. per day per person
Schools (with above plus cafeteria and showers)	35 Gal. per day per person
Day workers at schools and offices	15 Gal. per day per person
Day camps	25 Gal. per day per person
Trailer parks or tourist camps (with built-in bath)	50 Gal. per day per person
Trailer parks or tourist camps (with central bathhouse)	35 Gal. per day per person
Work or construction camps	50 Gal. per day per person
Public picnic parks (toilet wastes only)	5 Gal. per day per person
Public picnic parks (bathhouse, showers and flush toilets)	10 Gal. per day per person
Swimming pools and beaches	10 Gal. per day per person
Country clubs	25 Gal. per day per person
Luxury residences and estates	150 Gal. per day per person
Rooming houses	40 Gal. per day per person
Boarding schools	50 gal. per day per person
Hotels (with connecting baths)	50 Gal. per day per person
Hotels (with private baths-2 persons per room)	100 Gal. per day per person
Boarding schools	100 Gal. per day per person
Factories (gallons per person per shift-exclusive of industrial waste)	25 Gal. per day per person
Nursing homes	75 Gal. per day per person
General hospitals	150 Gal. per day per person
Public Institutions (other than hospitals)	100 Gal. per day per person

Tableau V-14: Débit d'eau usée selon le type d'immeuble

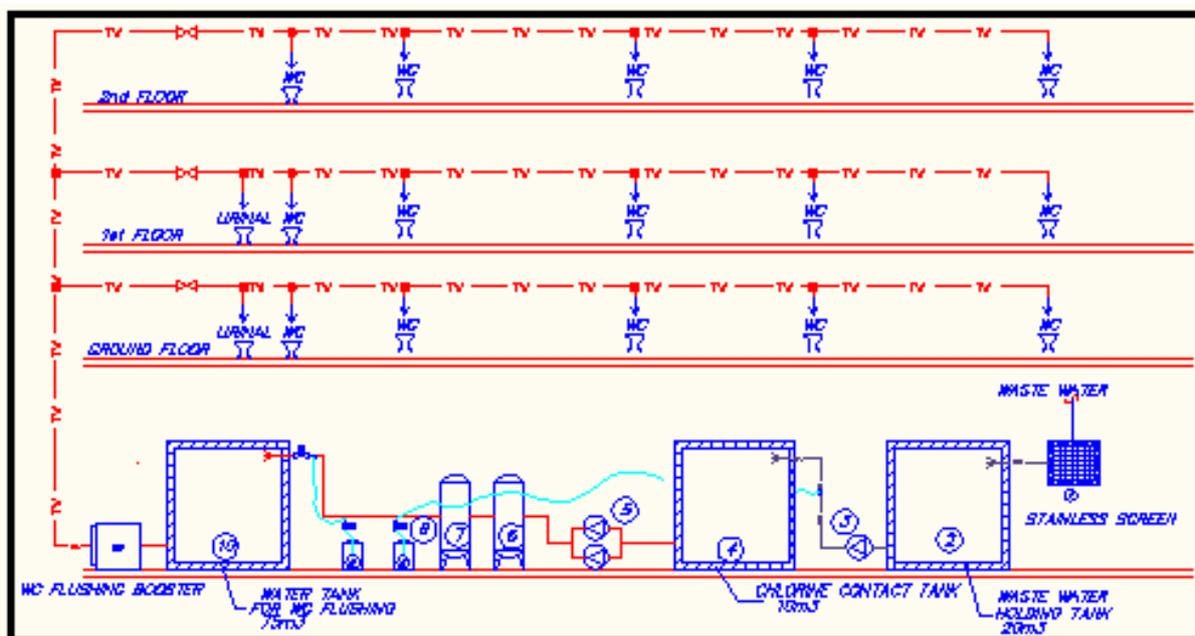


Figure V-12: Diagramme de l'alimentation des WC par l'eau traitée

Comme nous le voyons dans la Figure V-12, l'eau résultante de la séquence de traitement sera utilisée pour alimenter les réservoirs des toilettes (WC flush tanks), une procédure d'épargne et une mesure de "multi-utilisation" de l'eau, en profitant de cette eau le maximum possible pour réduire le plus possible la demande d'eau du côté de la municipalité.

V.12. NOUVELLE TECHNOLOGIE POUR ECONOMISER DE L'EAU

Pour les WC

Notre projet étant institutionnel, le nombre de toilettes (WC) est important. Par suite l'adoption de techniques adéquates tel que le "Water saving WC Flushing System" aboutirait à une réduction d'utilisation de l'eau.

Voici une nouvelle technique "Skate Air" munie de 3 modes de fonctionnement:

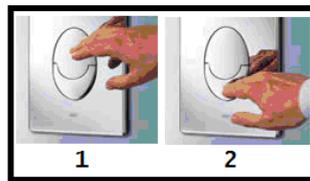


Figure V-13: *Illustration de la technologie du flushing*

1. Si nous pressons le grand bouton uniquement = nous vidons le volume entier du bassin
2. Si nous pressons le petit bouton = nous vidons le volume réduit du bassin
3. Si nous pressons le petit bouton juste après avoir pressé le grand = nous interrompons la vidange rétroactivement.

Pour les douches:

Une nouvelle innovation, un arrosoir de douche ayant plusieurs modes de fonctionnement: variant entre une douche complète et une douche partielle. D'où la possibilité de réduire la consommation d'eau utilisée durant les bains des étudiants pouvant atteindre un taux de 50%.

V.13. TAUX DE REDUCTION DE CONSOMMATION ET ECONOMIE EN EAU

DAILY CONSUMPTION REPARTITION
40%WC
25%SHOWERS
5%SINK
15% LAVATORY
15% GENERAL BUILDING CLEANING

Tableau V-15: Répartition des unités de plomberie dans la constitution des vestibules de l'école

 SERVICES DESIGN TECHNOLOGY Lebanon - sarl MEP & Sustainability Consultants	
PROJECT: AL BUTEEN SCHOOL	
PERCENTAGE OF WATER SAVING CALCULATION	
ESTIMATED DOMESTIC DAILY CONSUMPTION(m3)	78
VOLUME OF SAVED WATER IN WC FLUSHING DUE TO THE WASTE WATER TREATMENT (40% OF THE DAILY CONSUMPTION) (m3/DAY)	31
VOLUME OF SAVED WATER BY USING WATER SAVING FIXTURES IN FLUSHING &SHOWERS HEAD (30% OF 30%) (m3/DAY)	7
TOTAL VOLUME OF SAVED WATER (m3/DAY)	38
 PERCENTAGE OF SAVING(%)	49
RUNNING COST SAVING BASED ON 3FILS/GALLON IN AED PER DAY	302
RUNNING COST SAVING BASED ON 3FILS/GALLON IN AED PER YEAR	110359

Tableau V-16: Pourcentage d'épargne en eau

Si nous additionnons le volume d'eau épargné suite au traitement de l'eau usée et celui épargné en conséquence de l'utilisation d'équipements à consommation d'eau réduite pour les douches et les toilettes (WC) le Tableau V-16 montre un taux de réduction totale de 50% de la consommation en eau.

Ce taux de réduction va entraîner une chaîne de "réduction", ainsi :

- Dans une ville comme Abou-Dhabi, les ressources d'eau ne sont pas trop abondantes. La demande quotidienne a chuté de moitié donc la facture quotidienne concernant l'eau est divisée par deux et si nous calculons l'économie réalisée en terme de coûts durant toute une année nous obtiendrons une somme d'argent considérable épargnée
- La diminution de la demande en eau du côté de la municipalité, qui à son tour consomme de l'énergie électrique pour forer, filtrer ou dessaler l'eau afin qu'elle soit prête à être transférée aux clients. Une baisse de la demande implique une baisse de l'offre, et ainsi une baisse du travail des fournisseurs de puissance électrique consommée donc une réduction de l'émission des gaz à effet de serre.

Notons qu'une charge additionnelle à supporter lors de l'installation provient du prix des équipements de traitement des eaux usées plus ou moins coûteux. Le revers de la médaille est qu'on parvient à réduire notre consommation pour atteindre un niveau satisfaisant tous nos besoins sans gaspiller l'eau, surtout que ces coûts seront compensés durant quelques années. En effet, l'eau étant une ressource précieuse spécialement dans les pays des Emirats Arabes Unis, l'application du développement durable et la contribution à la préservation de cette eau pour les générations futures est une impérative.

VI. CHAPITRE 6: **EAU CHAUDE SANITAIRE**

VI.1. INTRODUCTION

L'énergie thermique solaire résulte de l'utilisation des capteurs qui transforment l'énergie du rayonnement solaire en chaleur véhiculée par l'eau. Ce principe utilisé pour fournir l'eau chaude sanitaire permet de produire le deux tiers de la demande domestique. Le troisième tiers est assuré à travers l'électricité (pour les jours sans soleil).

Ainsi les capteurs solaires permettent d'utiliser facilement l'énergie renouvelable vue la mise en œuvre facile. Concernant les coûts d'exploitation ils sont plus élevés qu'une installation classique mais comme c'est plus facile de stockée de l'eau chaude que de stocker de l'électricité cette technique est bien recommandée.

VI.2. ESTIMATION DU BESOIN EN EAU CHAUDE

Pour déterminer le volume d'eau chaude exigé dans notre école, nous devons connaître en premier lieu le nombre des éléments du système de plomberie nécessitant une alimentation d'eau chaude.

Le Tableau VI-1 suivant figure la constitution de notre installation.

<u>WATER SUPPLY FIXTURES TYPES</u>				
<u>GROUND FLOOR</u>	<u>NO of WC</u>	<u>NO of LAV</u>	<u>NO of SH</u>	<u>NO of UR</u>
<u>FIRST FLOOR</u>	41	30	27	18
<u>SECOND FLOOR</u>	34	26	7	10
<u>TOTAL</u>	103	76	41	38

Tableau VI-1: *Composition de notre système de plomberie*

Avec :

WC : Water Closet

LAV : Lavatory

UR : Urinal

SH : Shower

Les douches et les lavabos sont les seuls à exiger de l'eau chaude. Cependant, comme nous sommes dans une école, l'alimentation en eau chaude des lavabos n'est pas une impérative, surtout que nous concevons un système à consommation minimale d'énergie. Les lavabos seront donc uniquement alimentés par de l'eau froide.

En se référant à la table 10 selon ASHRAE HVAC Applications Tableau VI-2 et en se basant sur le nombre total de douches, étant donné au dessus 41 unités l'estimation pourra être réalisée.

Service Water Heating								49.19
Table 10 Hot Water Demand per Fixture for Various Types of Buildings (Litres of water per hour per fixture, calculated at a final temperature of 60°C)								
	Apartment House	Club	Gymnasium	Hospital	Hotel	Office Building	Private Residence	School
1. Basin, private lavatory	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6
2. Basin, public lavatory	15	23	30	23	30	23	—	57
3. Bath tub ^c	76	76	114	76	76	—	76	—
4. Dishwasher ^a	57	190-570	—	190-570	190-760	—	57	76-380
5. Foot basin	11	11	46	11	11	—	11	11
6. Kitchen sink	38	76	—	76	114	76	38	76
7. Laundry, stationary tub	76	106	—	106	106	—	76	—
8. Pantry sink	19	38	—	38	38	38	19	38
9. Shower	114	568	850	284	284	114	114	850
10. Service sink	76	76	—	76	114	76	57	76
11. Hydrotherapeutic shower				1520				
12. Hubbard bath				2270				
13. Leg bath				380				
14. Arm bath				130				
15. Sitz bath				114				
16. Continuous-flow bath				625				
17. Circular wash sink				76	76	76		114
18. Semicircular wash sink				38	38	38		57
19. DEMAND FACTOR	0.30	0.30	0.40	0.25	0.25	0.30	0.30	0.40
20. STORAGE CAPACITY FACTOR ^b	1.25	0.90	1.00	0.60	0.80	2.00	0.70	1.00

Tableau VI-2 : Indices d'estimation d'eau chaude selon le type d'immeuble

➤ **Phases d'estimation :**

1. La demande maximale possible : c'est le produit du nombre d'unités appartenant à un même type par la demande en eau chaude donné en L/h selon, le type de l'immeuble d'une part et le type de l'équipement d'autre part donc : $41 \times 850 \text{ L/h} = 34850 \text{ L/h}$
2. La demande maximale probable : c'est le produit de la demande maximale possible par un facteur de sécurité nommé de demande (demand factor dans le tableau ci dessus) déterminé selon le type de l'immeuble, donc $34850 \times 0.4 = 13940 \text{ L/h}$
3. La capacité de chauffage : le résultat de la division de la demande probable (storage factor dans le tableau ci dessus) par 3600 secondes, donc $13940/3600 = 3.87 \text{ L/s}$

4. La capacité de stockage :le produit de la capacité de chauffage par un nouveau facteur de sécurité nommé de stockage déterminé selon le type de l'immeuble, donc $3.87\text{L/s} \times 1 = 3.87\text{L/s}$

Si nous désirons stocker l'eau pendant 1.5 heures la capacité de stockage devra être $1.5 \times 60 \times 60$ donc à peu près $3.87 \times 1.5 \times 3600 = 20000$ litres.

VI.3. PANNEAUX SOLAIRES

➤ Mode de fonctionnement:

Les capteurs solaires thermiques fonctionnent grâce à un effet de serre. Il s'agit en effet de petites serres qui piègent le rayonnement solaire puis cèdent leur chaleur à un radiateur extra-plat, de couleur noire ; il y aura par suite échauffement de l'eau véhiculée puis stockage de cette eau dans des cuves en attendant sa consommation.

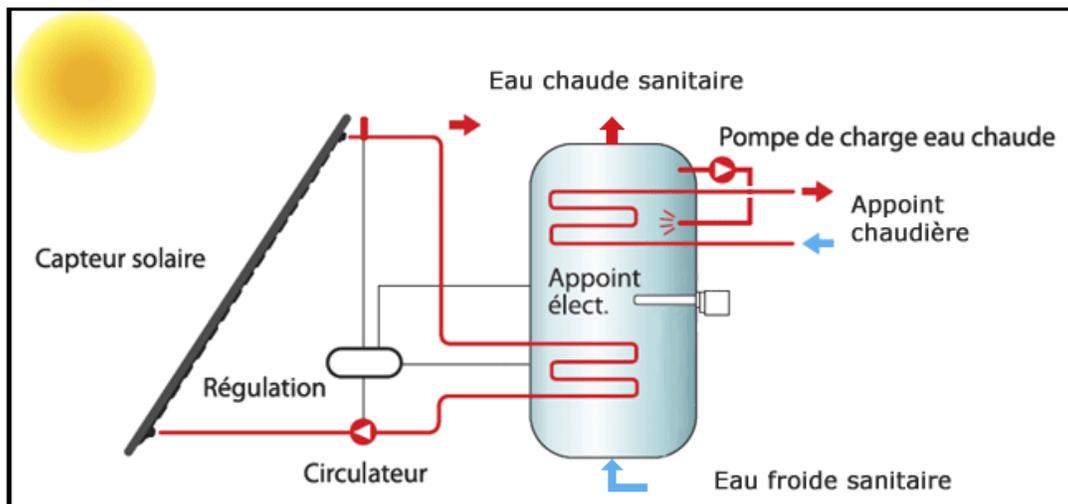


Figure VI-1 : *Fonctionnement d'un capteur solaire*

Sous des conditions favorables, les capteurs transforment 70% de la puissance captée car cette conversion se fait instantanément. Ainsi, sa puissance maximale vaut celle des radiations solaires frappant la terre. Pour un panneau solaire fixe orienté au Sud et incliné d'environ 45° , sur les territoires des pays tempérés (latitudes voisines de 45°), le rendement de positionnement est voisin de 60% selon le site "www.zenit.fr".

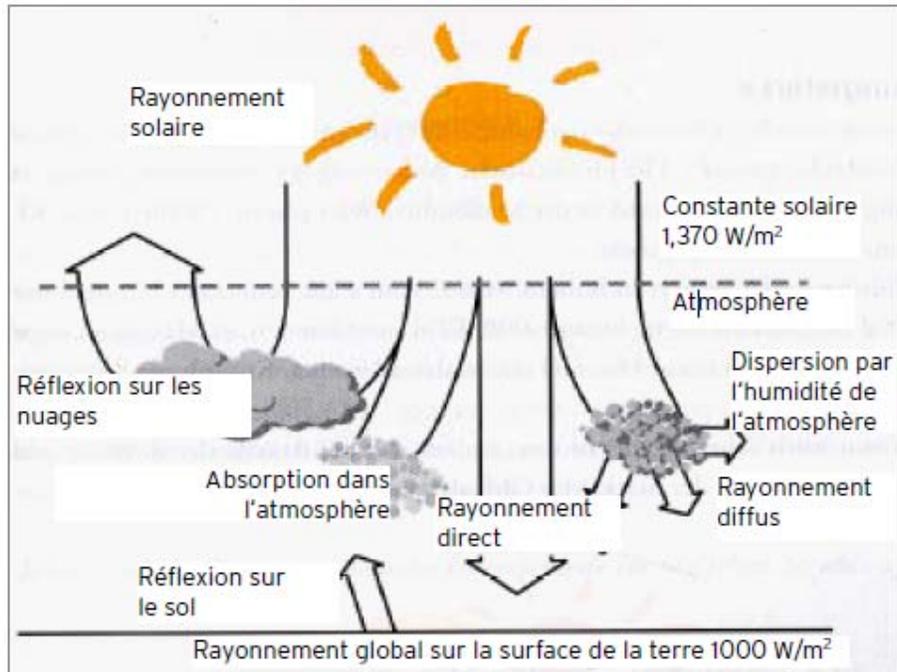


Figure VI-2 : Rayonnement solaire sur Terre

La puissance maximale des rayons solaires est estimée $1,000 \text{ W} / \text{m}^2$ dans n'importe quel point de la terre (Figure VI-2) selon le site "www.sonnenkraft.fr". Conformément à ces données, la puissance maximale d'un panneau solaire vaut $0.6 \text{ kW}/\text{m}^2$.

En fait les rendements des panneaux solaires varient selon de nombreux facteurs, mais en mettant tous les atouts de notre côté, nous verrons à quel point les panneaux solaires peuvent être rentables.

➤ Facteurs affectant le rendement

- ❖ **L'angle d'incidence**, c'est l'angle formé par les rayons du Soleil et le plan du panneau.

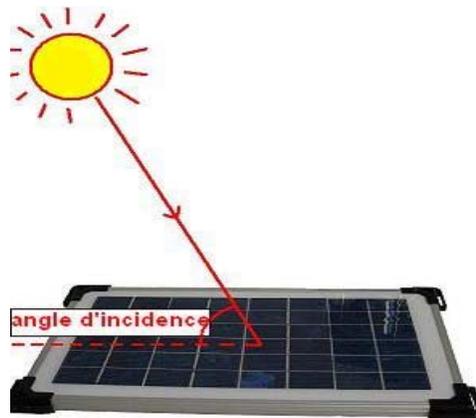


Figure VI-3 : Angle d'incidence d'un capteur solaire

L'angle d'incidence joue un rôle majeur pour les rendements du panneau. Il est défini selon l'équation suivante : $R = \sin \beta \times 100$, avec R le rendement en % et β l'angle d'incidence en °. Ainsi, comme on pouvait s'en douter, le rendement est maximal lorsque les rayons arrivent perpendiculairement au panneau : $R = \sin 90^\circ \times 100 = 100\%$

❖ Influence de l'orientation

Le Soleil se lève à l'Est et se couche à l'Ouest. Et Abou Dhabi se situe dans l'hémisphère Nord Est à une latitude de 24.4° environ, le Soleil au zénith est donc vers le Sud-ouest. Globalement, les rayons du Soleil viennent donc plus du Sud que des autres directions; d'autant plus qu'à midi, lorsque le Soleil est au zénith et donc plein Sud Ouest, le rayonnement est le plus intense. La meilleure orientation pour un panneau solaire est donc vers le Sud Ouest.

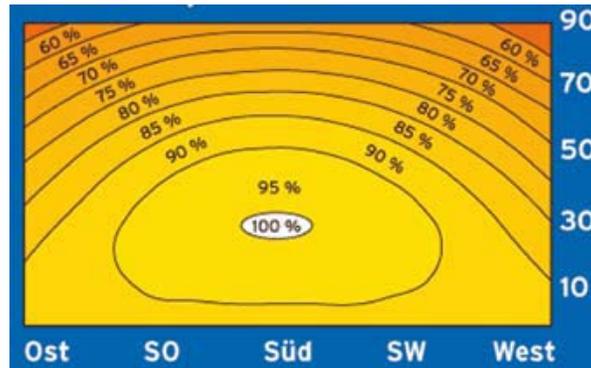


Figure VI-4: Facteur d'influence: orientation

❖ Influence de l'angle d'inclinaison

L'angle d'inclinaison est l'angle formé par le plan du sol et le plan du panneau.



Figure VI-5 : Angle d'inclinaison d'un capteur solaire

Abu Dhabi se trouve à une latitude 24.4° Nord-est, ainsi, l'angle d'inclinaison idéal est 25° Sud Ouest, le panneau se retrouvant donc perpendiculaire aux rayons du Soleil. Cependant, selon les saisons, l'inclinaison de la Terre varie. Pour garder une production d'énergie du panneau la plus régulière possible tout au long de l'année, on va garder l'angle de 25° Sud-ouest.

VI.4. MODE D'INSTALLATION :

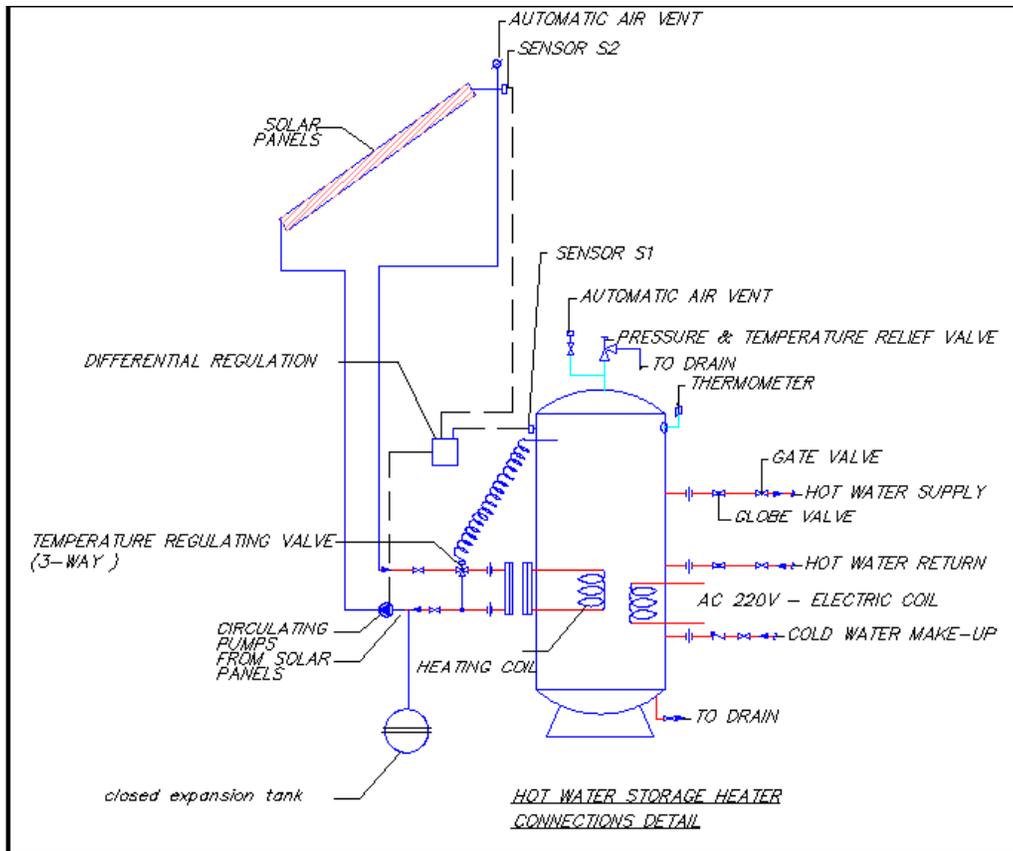


Figure VI-6: Diagramme d'intégration des panneaux solaires dans le chauffage de l'eau sanitaire

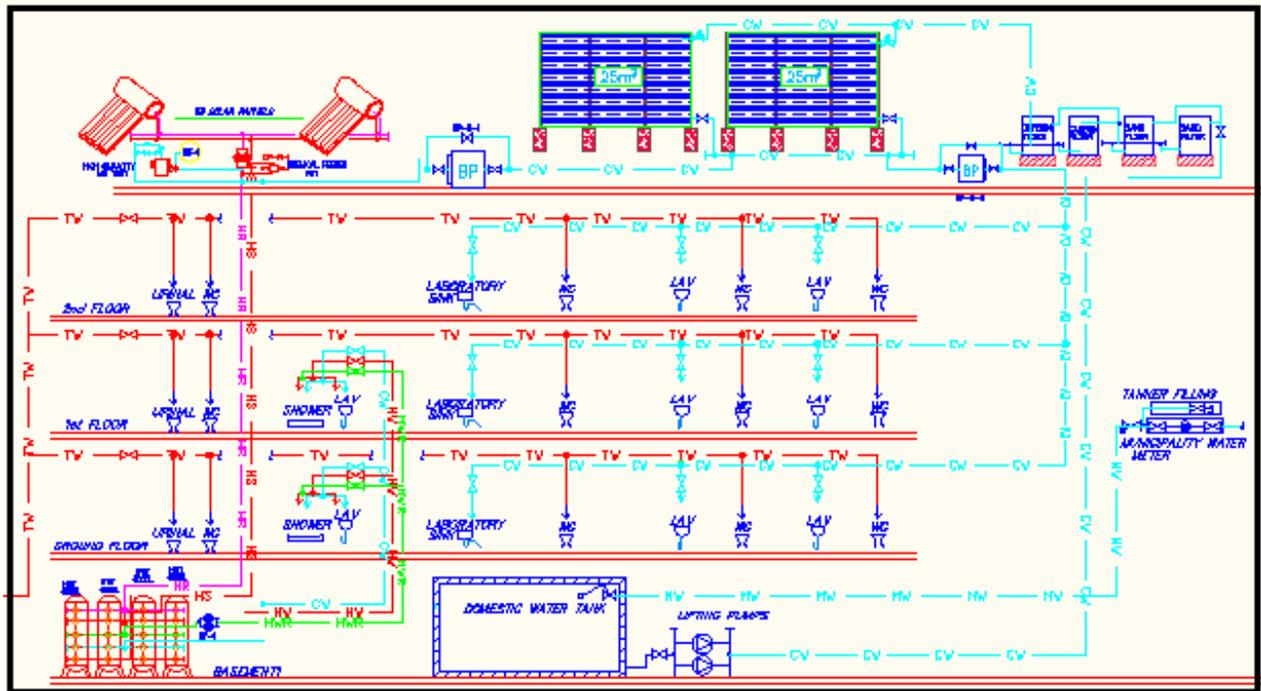


Figure VI-7: Diagramme de distribution d'eau froide et chaude en présence des panneaux solaires

Le rendement d'un capteur est défini par le rapport entre la puissance calorifique utile et l'énergie solaire rayonnée. Les paramètres qui influent sur le rendement du capteur sont le type et la qualité de la surface de l'absorbeur, la géométrie, la capacité de transmission calorifique du matériau de l'absorbeur, la transparence de la couverture ainsi que des pertes de chaleur du capteur sous forme de convection, conduction et rayonnement.

Le rendement du capteur n'est certes pas une valeur stable pour un type précis de capteur mais elle dépend bien des conditions d'utilisation rencontrées, de la température à l'intérieur du capteur et de l'air ambiant ainsi que de l'importance du rayonnement global

Un chauffe-eau solaire ne peut pas fournir de l'eau chaude tous les jours. Si l'ensoleillement est insuffisant ou si les besoins sont supérieurs aux prévisions ;

Il faut utiliser une autre source d'énergie comme appoint de chauffage.

Cependant :

- La priorité doit être donnée à l'énergie solaire toujours,
- Le fonctionnement du chauffage d'appoint ne doit pas réduire le rendement du chauffe-eau solaire,
- Le ballon de stockage aura besoin d'une isolation thermique poussée afin de conserver l'énergie solaire au mieux et réduire le recours au chauffage d'appoint,

- Un voyant doit montrer que le chauffe-eau solaire marche correctement; sinon, l'eau chaude pourrait être fournie exclusivement par l'appoint sans que l'utilisateur se rende compte.

VI.4. DIMENSIONNEMENT DES CAPTEURS SOLAIRES

L'abaque de dimensionnement peut être utilisé afin d'estimer rapidement et de façon fiable la surface de capteurs. Les résultats de l'abaque servent uniquement à une estimation de la taille de l'installation. Ainsi en se référant au Tableau VI-3, la demande journalière est estimée de $4 \times 5000 = 20\ 000$ Litres. D'après l'abaque de la Figure VI-8 la surface des panneaux solaires pour notre école est de $40 \times 4 = 160$ m².

Consommation standard	Besoins en eau chaude par jour et personne à une température de 60 °C
exigences moyennes	8-12 l

Tableau VI-3 : *Besoin d'eau chaude par élève*

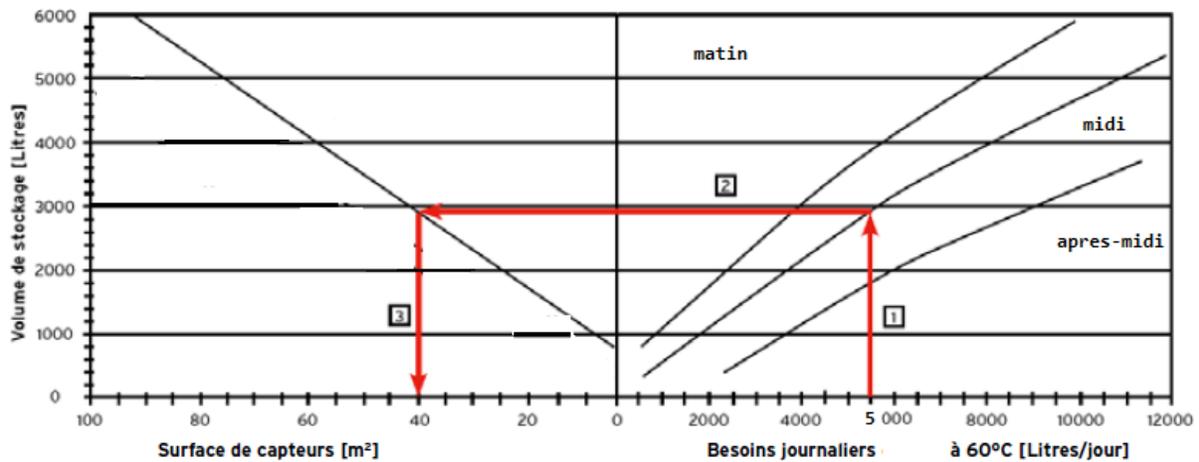


Figure VI-8: *Abaque fournissant la surface des capteurs*

VI.5. REDUCTION DE CONSOMMATION SUITE A L'INTEGRATION DES PANNEAUX SOLAIRES:

Une simulation des données de l'école, à l'aide d'un logiciel de RETSCREEN permet d'obtenir le tableau suivant, qui montre que l'installation du solaire comme déjà indiquée dans les paragraphes précédents permet d'assurer 92.4 MWh annuellement.

Site Conditions		Estimate
Project name		Al Bateen School
Project location		Abu Dhabi, UAE
Nearest location for weather data		Riyadh
Annual solar radiation (tilted surface)	MWh/m ²	1.99
Annual average temperature	°C	25.7
Annual average wind speed	m/s	0.5
Desired load temperature	°C	60
Hot water use	L/d	20,000
Number of months analysed	month	12.00
Energy demand for months analysed	MWh	292.38
System Characteristics		Estimate
Application type		Service hot water (with storage)
Base Case Water Heating System		
Heating fuel type	-	Diesel (#2 oil) - L
Water heating system seasonal efficiency	%	70%
Solar Collector		
Collector type	-	Glazed
Solar water heating collector manufacturer		ABC S.A.
Solar water heating collector model		model XYZ
Gross area of one collector	m ²	4.00
Aperture area of one collector	m ²	4.00
Fr (tau alpha) coefficient	-	0.85
Fr UL coefficient	(W/m ²)°C	11.58
Temperature coefficient for Fr UL	(W/(m ² °C) ²)	0.00
Suggested number of collectors		40
Number of collectors		40
Total gross collector area	m ²	160.0
Storage		
Ratio of storage capacity to coll. area	L/m ²	45.9
Storage capacity	L	7,344
Balance of System		
Heat exchanger/antifreeze protection	yes/no	No
Suggested pipe diameter	mm	N/A
Pipe diameter	mm	38
Pumping power per collector area	W/m ²	0
Piping and solar tank losses	%	1%
Losses due to snow and/or dirt	%	3%
Horz. dist. from mech. room to collector	m	5
# of floors from mech. room to collector	-	2
Annual Energy Production (12.00 months analysed)		Estimate
SWH system capacity	kW _{th}	112
	MW _{th}	0.112
Pumping energy (electricity)	MWh	0.00
Specific yield	kWh/m ²	577
System efficiency	%	29%
Solar fraction	%	32%
Renewable energy delivered	MWh	92.40

Tableau VI-4: MWh produit de l'installation des panneaux solaires

Et notre système d'eau chaude consomme 292.36 MWh par an, comme l'indique le tableau VI-5. Donc le système solaire permet de réduire la consommation électrique à $292.36 - 92.4 = 200$ MWh donc une réduction de 92.36 MWh

Water Heating Load Calculation		Estimate
Application type	-	Service hot water
System configuration	-	With storage
Building or load type	-	School w/ showers
Number of units	Student	1384
Rate of occupancy	%	100%
Estimated hot water use (at ~60 °C)	L/d	9,275
Hot water use	L/d	20,000
Desired water temperature	°C	60
Days per week system is used	d	7
Cold water temperature	-	Auto
Minimum	°C	21.6
Maximum	°C	29.0
Months SWH system in use	month	12.00
Energy demand for months analysed	MWh	292.36
	GJ	1,052.49

Tableau VI-5: Demande en MWh de l'installation traditionnelle

VI.5. DUREE DE REMBOURSEMENT ‘PAY BACK PERIOD’

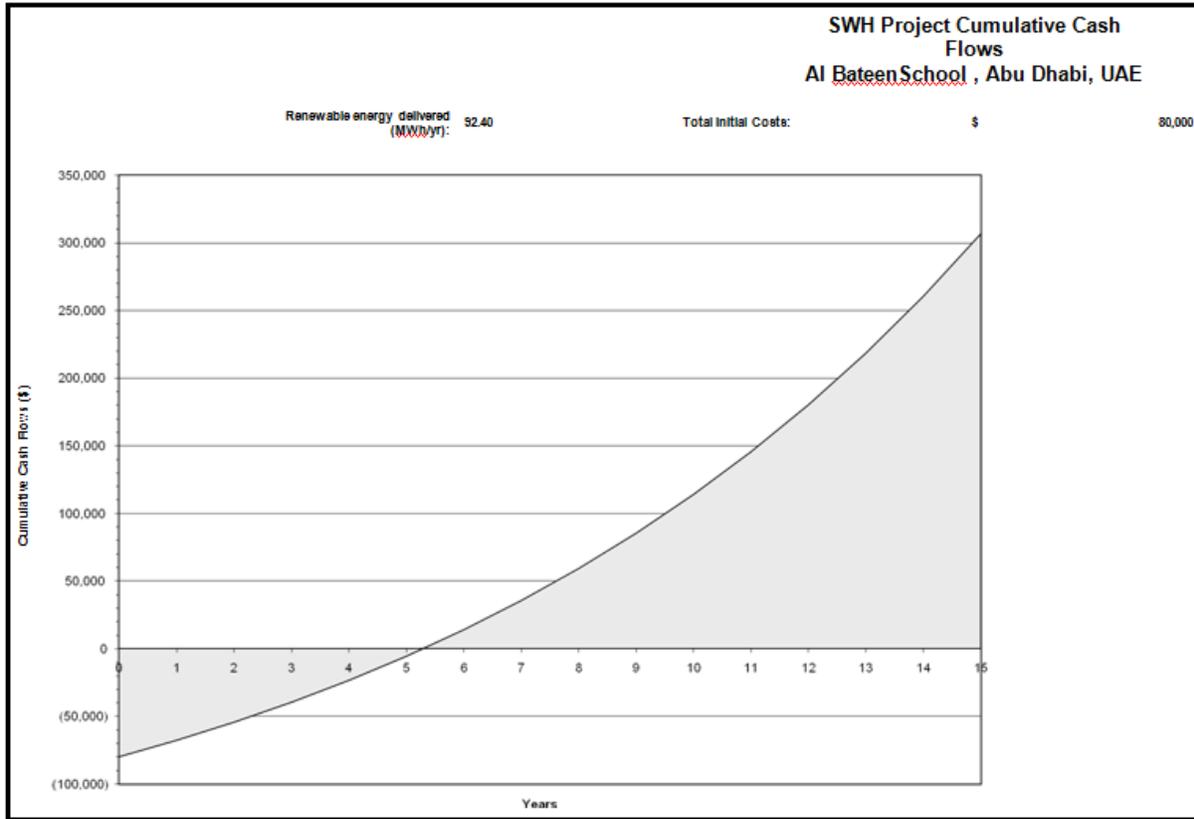


Tableau VI-6: Sélection et ‘pay back period’ développé de l’installation solaire

La sélection de notre installation selon le même logiciel RETSCREEN prévoit une période de remboursement de 5 ans et demi pour le prix actuel du kWh à Abou Dhabi et pour une installation solaire coutant 80 000\$. Par suite, si le kWh coutera plus cher dans quelques années, cette période sera réduite. Notons aussi que la sélection de l’installation pourra être faite selon un degré de spécification plus bas et là aussi la période de remboursement sera donc réduite.

VI.6. REDUCTION DU TAUX DE CO2 EMIS

Equipement	Combustible	Rendement	Energie primaire (kWh)	Emission CO ₂ unitaire (kgCO ₂ /kWh)	Emission CO ₂ (kgCO ₂)
Chaudière	Gasoil	60%	1.670	0.306	0.510
Chaudière	Gasoil	75%	1.330	0.306	0.408
Boiler	Electricité	80%	1.250	0.456	0.570
Boiler	Electricité	95%	1.050	0.456	0.480

Tableau VI-7 : Taux d'émission de CO₂ pour un kWh thermique

- 1 kWh thermique produit par une chaudière à mazout émet 410 à 510 g de CO₂ (moyenne : 460)
- 1 kWh thermique produit par une chaudière électrique émet 480 à 570 g de CO₂ (moyenne : 525)

En d'autres termes, chaque kWh de chaleur produite par notre chauffe-eau solaire permet d'éviter entre 410 et 570 g de CO₂ selon le type d'énergie épargnée et le rendement de conversion de l'appoint. Par suite avec une épargne de 92.36 MWh (Tableau VI-4), l'émission de CO₂ est réduite de $92.36 \times 1000 \times 460 = 41\,000$ Kg donc $41\,000 \times 1.5 = 62\,000$ kg par année scolaire (la durée d'usage du chauffe eau considérée une heure et demi par jour)

Bien que la durée de compensation n'est pas courte mais une telle économie en émission de CO₂ de 40 % influence fortement l'environnement. C'est la facture du développement durable. Autrement dit nous avons deux choix: le premier consiste à payer des investissements supplémentaires pour préserver l'environnement, donc allonger sa durée de vie en évitant et éloignant les dérèglements climatiques dus aux gaz à effet de serre provenant principalement de la combustion des fossiles donc indirectement de la consommation de l'énergie électrique. Le second choix est le recours à économiser au moment actuel, oubliant les conséquences futures certaines et inévitables si nous n'agissons pas. En d'autres termes, une condamnation des générations futures à vivre dans un monde plein de dangers climatiques (inondations, sécheresse...) sans être munis de quantité suffisante d'énergie pour une simple raison: le gaspillage effectué durant les années précédentes.

VII. CHAPITRE 7: **VENTILATION MECANIQUE FORCÉE**

VII.1. INTRODUCTION

Le progrès au niveau de l'isolation rend le bâtiment très dépendant de leur système de ventilation et l'étude des conditions permettant à l'environnement intérieur de rester parfaitement sain devient dès lors essentielle. La qualité des ambiances intérieures, dont l'air est un élément important, joue un rôle sur la productivité du travail. C'est donc aussi important de bien gérer le processus de ventilation. Le contrôle des flux d'air internes en vue d'accroître l'efficacité d'évacuation de l'air vicié et l'optimisation des systèmes de commande des équipements de ventilation en les pilotant à partir des capteurs analysant l'air deviennent des nécessités pour réduire le mieux les pertes thermiques.

VII.2. DESCRIPTION DU SYSTEME DE VENTILATION

Le système de ventilation que nous avons conçus pour notre école repose sur les bases indiquées ci-dessous :

- Les extracteurs présents sur le toit seront sélectionnés pour fonctionner à des vitesses variables afin d'assurer l'arrêt de ces derniers durant la nuit et la variation de leurs vitesses durant les heures de cours. Ces extracteurs doivent fonctionner à puissance maximale durant les récréations.
- Des détecteurs de CO seront utilisés dans la ventilation des parcs de stationnement situés au sous sol. L'extracteur du sous sol doit fonctionner lorsque la concentration de CO atteint un certain niveau.
- La machine responsable de la ventilation doit incorporer une roue assurant l'échange thermique à travers une installation double-flux pour récupérer 90% de la chaleur de sorte à profiter de la basse température de l'air extrait pour réaliser un pré-refroidissement de l'air nouveau emprunté de l'extérieur. Une telle mesure induit une chute significative de la capacité de refroidissement de cette dernière donc une réduction de l'énergie électrique.
- L'usage de détecteur de CO₂ pour contrôler le débit d'extraction et d'apport d'air d'une chambre suivant la densité d'occupation de cette dernière.

VII.3. DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME DE VENTILATION

Notre école est constituée de trois blocs: bloc A, bloc B et bloc C. Comme le système de ventilation englobe l'air extrait, l'air nouveau et le désenfumage et pour avoir des schémas clairs les diagrammes aussi seront divisés en trois parties selon les blocs. (Les références se trouvent dans l'annexe)

EXHAUST RATES		
APPLICATION	OUTDOOR AIR REQUIREMENTS EXHAUST RATE	
Public restrooms,	25 L/s/wc or /urinal	
Enclosed Parking Garage	7.5L/s/m ²	
Kitchens (cooking)	7.5L/s/m ²	
Food and Beverage Service		
APPLICATION	ESTIMATED OCCUPANCY PER 100m ²	OUTDOOR AIR REQUIREMENTS L/S/PERSON
Cafeteria, fast food	100	10

TABLE2: OUTDOOR AIR REQIURMENTS FOR VENTILATION_Stanard 62-2001 Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality		
INSTITUTIONAL FACILITIES		
APPLICATION	ESTIMATED OCCUPANCY PER 100m ²	OUTDOOR AIR REQUIREMENTS L/S/PERSON
Classroom	50	8
Laboratories	30	10
Training Shop	30	10
Music Room	50	8
Library	20	8
Lockers	-	2.5L/s/m ²
Corridors	-	0.5L/s/m ²
Auditorium	150	8
Smoking lounge	70	30

Tableau VII-1: Débit de ventilation recommandé

Comme l'indique le Tableau VII-1 l'air nouveau n'est jamais injecté dans les vestibules. Ces zones doivent être en dépression par rapport à leur entourage. A partir des vestibules une extraction adéquate est assurée de sorte à défendre le transfert des odeurs des toilettes vers les couloirs, les bureaux ou les classes. Le débit de l'extraction est donné par WC ou par urinoir. Cette pression négative créée au niveau des vestibules doit être compensée dans les couloirs de sorte à avoir l'entité totale de l'immeuble sous pression positive par rapport à l'extérieur pour empêcher les infiltrations qui contribuent à une augmentation de la capacité de refroidissement donc de puissance consommée. Une extraction de fumée est réalisée au niveau de chaque couloir de sorte à assurer un débit équivalent à 6 changements de volume du couloir par heure afin de protéger les résidents d'une asphyxie en cas d'incendie.

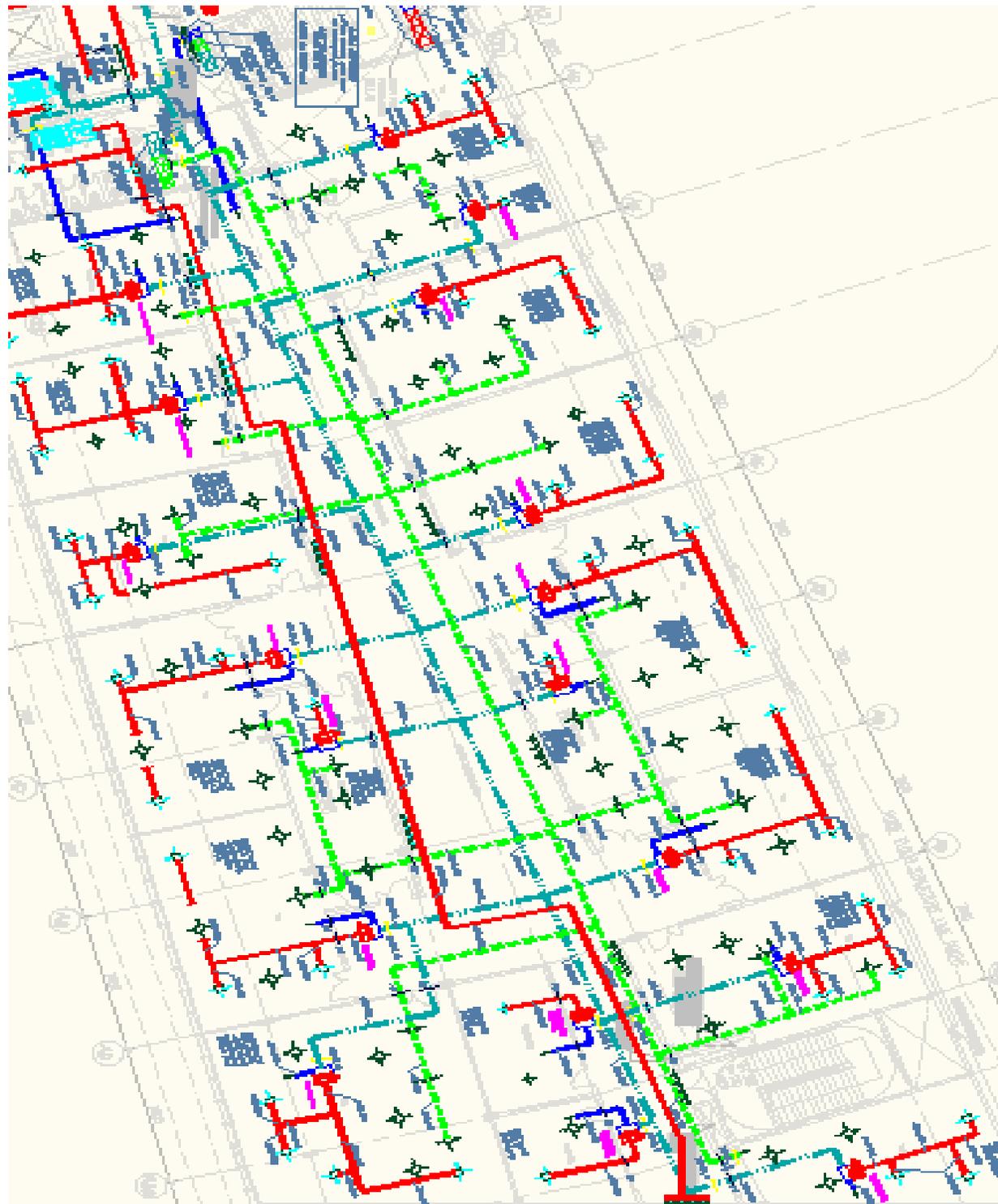


Figure VII-1: *Système de ventilation d'un bloc de l'école*

VII.4. INSTALLATION DU SYSTEME DE VENTILATION

La ventilation est désignée de sorte à assurer le niveau indiqué par le Tableau VII-2. Ce débit minimal est recommandé pour une qualité d'air acceptable. La ventilation diffère d'un espace à un autre. Notre conception s'appuiera sur ces débits pour l'air emprunté. Et afin d'éviter les infiltrations, nous maintiendrons une pression légèrement positive, ce qui veut dire qu'un débit 10% plus petit de celui indiqué par ASHRAE sera utilisé pour l'air extrait.

Pour assurer une ventilation adéquate sans gaspillage d'énergie, la ventilation de chaque chambre sera contrôlée par un détecteur de CO2 qui, selon le degré de concentration de ce dernier dans l'atmosphère de la chambre ordonne le débit d'extraction et d'apport d'air. Ainsi le détecteur localisé au plafond de la chambre commande les vannes motorisées, comme l'indique la Figure VII-2, contrôlant ainsi le taux d'aération et variant simultanément la vitesse de l'unité centrale de ventilation. Ce détecteur ordonne ainsi le travail utile nécessaire pour une ventilation adéquate en fonction du nombre d'occupants s'éloignant ainsi du gaspillage incontrôlé de l'électricité.

 <i>INSTITUTIONAL FACILITIES</i>		
<i>APPLICATION</i>	<i>FRESH AIR L/s per person</i>	<i>EXHAUST L/s per person</i>
<i>Classroom</i>	<i>8</i>	<i>7.2</i>
<i>Laboratories</i>	<i>10</i>	<i>9</i>
<i>Training Shop</i>	<i>10</i>	<i>9</i>
<i>Music Room</i>	<i>8</i>	<i>7.2</i>
<i>Library</i>	<i>8</i>	<i>7.2</i>
<i>Auditorium</i>	<i>8</i>	<i>7.2</i>
<i>Smoking lounge</i>	<i>30</i>	<i>27</i>

Tableau VII-2 : Débit de ventilation adopté dans l'école selon chaque espace

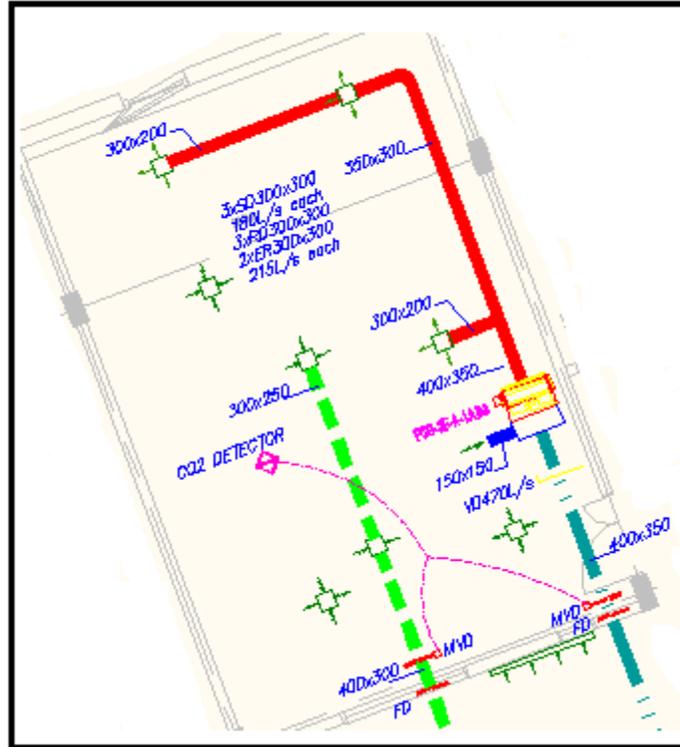


Figure VII-2 : *Installation d'une ventilation dans une chambre contrôlée par le détecteur*

VII.5. MISE EN OEUVRE DU SYSTEME DE VENTILATION

Chaque bloc sera muni d'une machine centrale de traitement d'air "AHU" qui assure la ventilation pour les trois étages. Un réseau de conduits circulera dans le plafond de chaque étage amenant tout l'air extrait vers la gaine, ensuite vers le haut jusqu'au toit pour atteindre la machine concernée. Un autre réseau amène l'air frais de la machine jusqu'à atteindre la dernière chambre de l'étage. La machine centrale de traitement d'air "AHU" sera équipée d'un moteur à vitesse variable pour pouvoir suivre le débit de ventilation recommandé à travers les détecteurs de CO₂ localisés dans chaque chambre. La Figure VII-2 est le modèle adopté dans toutes les chambres de l'école mais avec une différenciation dans le taux de ventilation selon l'utilisation de chaque espace conformément au Tableau VII-1 ayant comme référence ASHRAE. Le diagramme montrant la circulation de la ventilation dès le début vers la fin est figuré dans la Figure VII-3. Des diagrammes bien clairs se trouvent dans l'annexe du rapport. Ce schéma se répète dans chaque bloc mais le débit varie par suite la capacité de refroidissement de la machine varie donc sa consommation électrique change. La sélection de ces machines ainsi que leurs caractéristiques seront traitées ultérieurement.

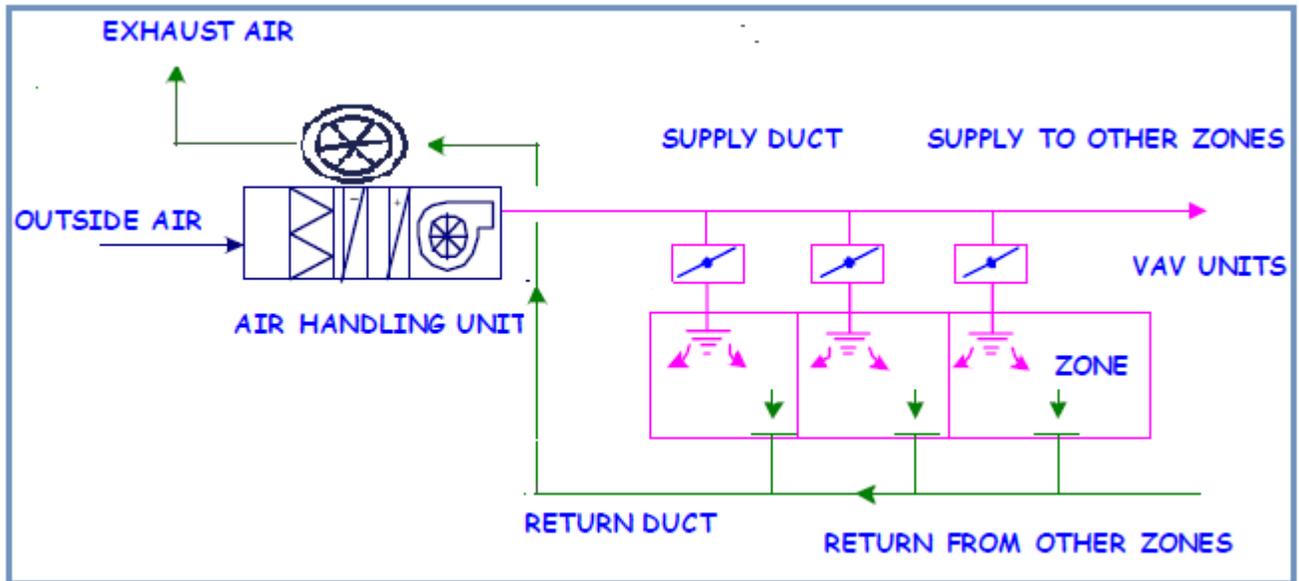


Figure VII-3: *Diagramme de la ventilation des pièces de chaque bloc*

En ce qui concerne les vestibules, l'air extrait sera guidé vers l'extérieur à travers un extracteur localisé au niveau du toit. Le débit de chaque registre localisé au dessus de la toilette "WC" a été mentionné dans le Tableau VII-1. La ventilation des vestibules est réalisée comme suit:

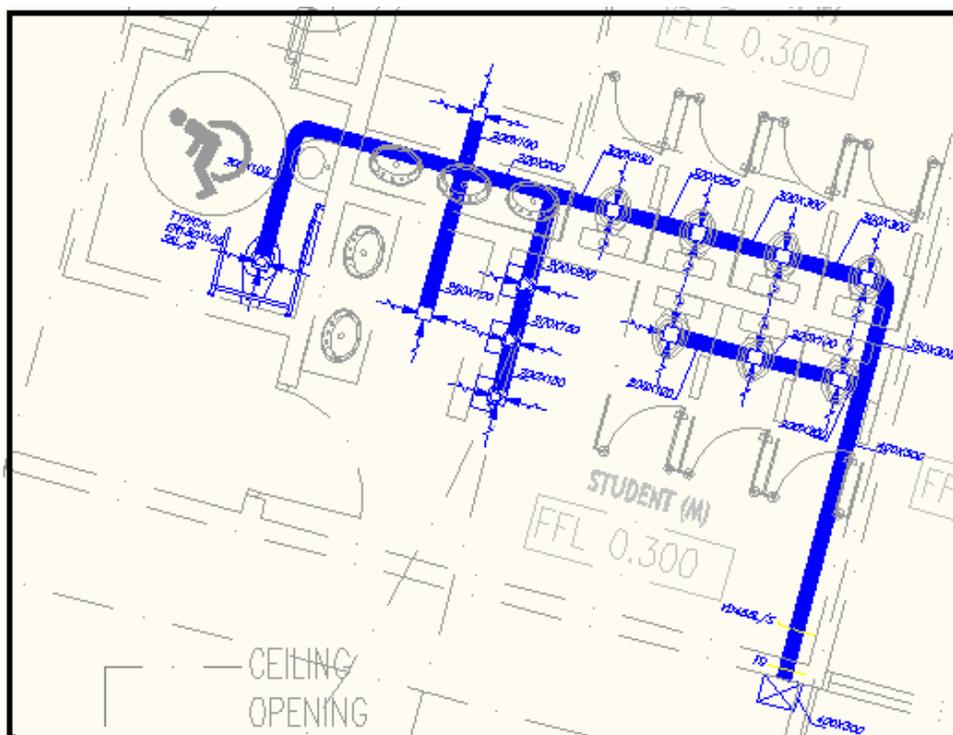


Figure VII-4: *Installation de la ventilation d'un vestibule*

VII.6. DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME DE VENTILATION

La ventilation comprend donc deux systèmes : le système d'apport d'air et le système d'extraction. Pour les différentes pièces du bâtiment, l'extraction est réalisée à travers les registres de la climatisation surtout que le retour de l'air conditionné n'est pas forcé par l'intermédiaire de conduit. En effet, des registres placés dans le faux plafond de chaque pièce ouvrent le passage à cet air pour qu'il atteigne la boîte de mixage de l'unité de refroidissement, comme l'illustre la figure VII-7.

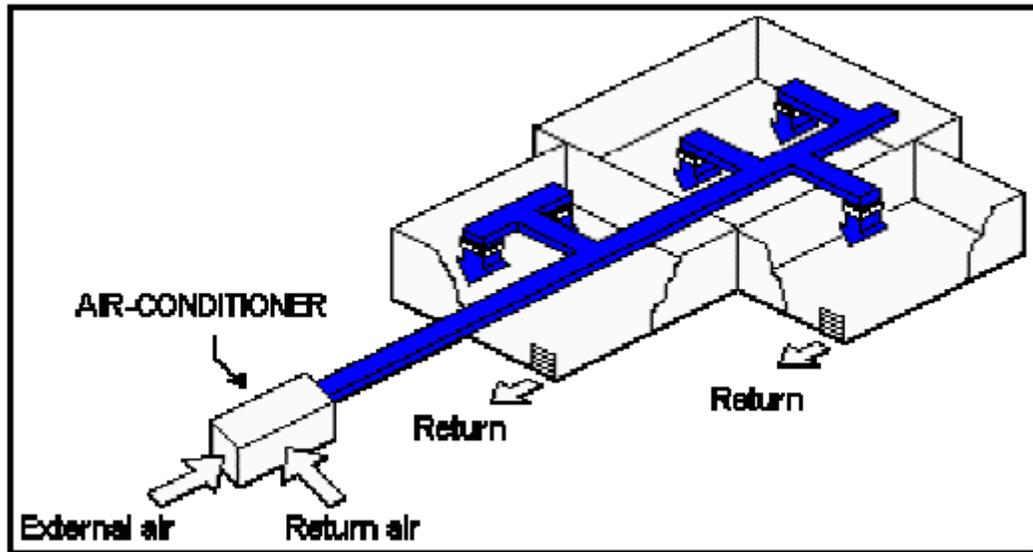


Figure VII-7 : *Diagramme de la ventilation adopté dans les pièces de l'école*

Cette procédure sera utilisée sans crainte de contamination ou d'infiltration vue la constitution des espaces formant chacun une entité isolée ayant un mécanisme de circulation d'air protégé. Cette mesure réduit la quantité des conduits utilisés dans l'installation et par suite les coûts d'installation d'un côté et minimise les frottements dans les conduits de l'autre côté abaissant la pression statique de l'extracteur principale induisant ainsi une chute de consommation électrique.

L'apport d'air sera assuré à l'aide des conduits provenant de la machine centrale de traitement jusqu'à la boîte de mixage de l'unité de climatisation, où un mélange de l'air nouveau emprunté avec celui retournant de la chambre aura lieu. Ce mélange "conditionné" sera diffusé à travers des registres situés dans le faux plafond pour atteindre l'environnement intérieur de la pièce, comme le montre la figure VII-8.

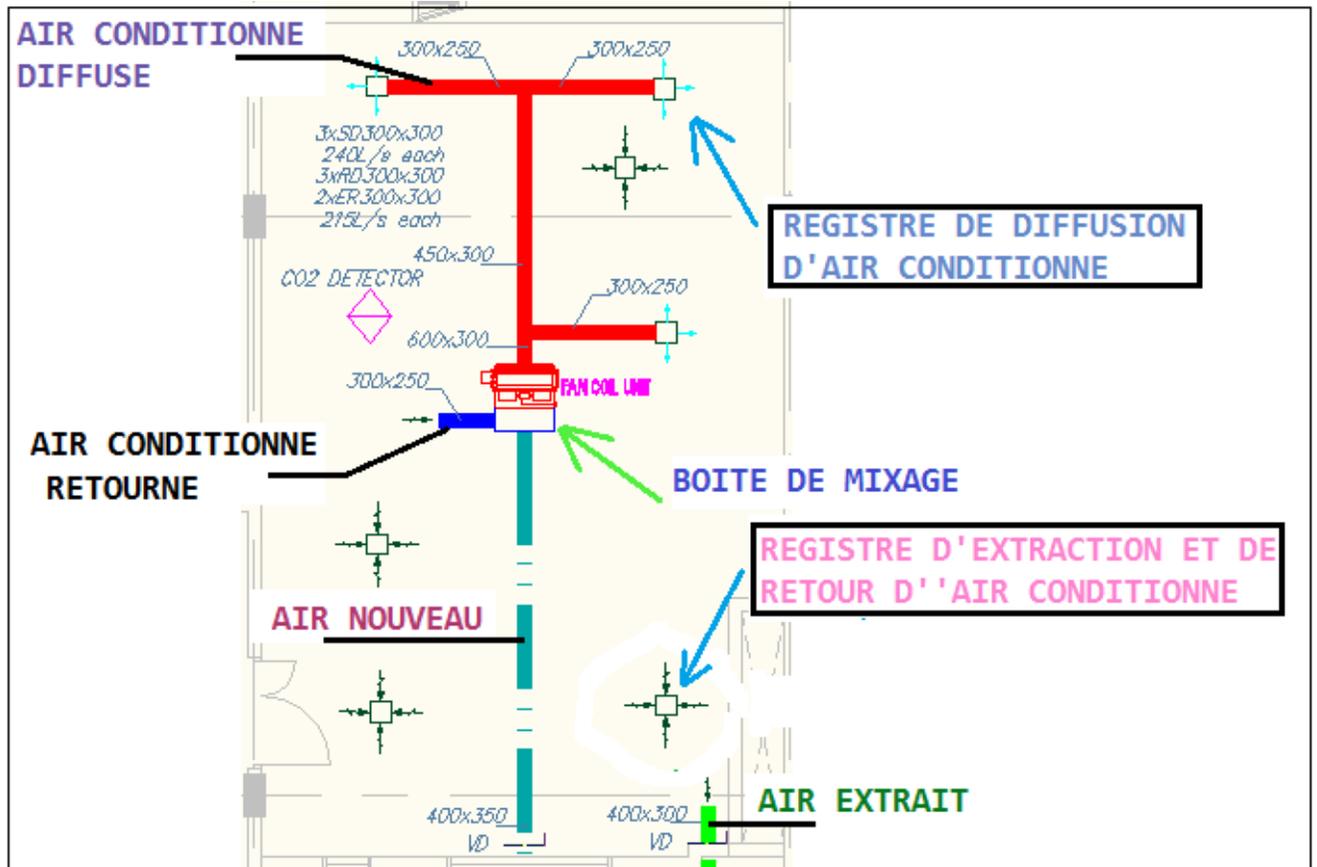


Figure VII-8 : *Diagramme de la ventilation détaillée d'une pièce de l'école*

Pour la ventilation des vestibules, et comme nous avons déjà mentionné le débit doit être 25L/s/WC ou par urinoir. Ce débit impose l'utilisation d'un registre carré de dimensions 150mm x 150 mm comme l'indique le Tableau VII-3.

A savoir qu'un L/s équivaut à 2.12 cfm (cubic feet per minute), donc $25\text{L/s} = 53\text{ cfm}$.

Ce même tableau sera utilisé pour la sélection des diffuseurs de climatisation d'une pièce. Le débit d'air, sa vitesse de circulation et le niveau sonore du bruit acceptable par les occupants de la pièce sont à la base du choix de ces registres.

Size (inches)	Area Factor Ak Neck Area (Sq. Ft.)	Neck Velocity FPM	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
		Velocity Pressure (in. w.g.)	0.003	0.006	0.010	0.016	0.023	0.031	0.040	0.051	0.063	0.076	0.091
6x6	Ak=0.093 0.250	CFM	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300
		Pt (in.w.g.)	0.014	0.032	0.056	0.087	0.127	0.171	0.220	0.281	0.348	0.420	0.500
		throw - ft.	7-10	8-11	9-12	10-14	10-15	11-16	11-17	12-18	13-19	13-20	14-21
		N.C.	< 15	< 15	< 15	17	23	28	32	35	38	41	43
9x9	Ak=0.199 0.562	CFM	110	170	225	280	335	395	450	505	560	620	675
		Pt (in.w.g.)	0.015	0.035	0.061	0.095	0.135	0.188	0.244	0.306	0.378	0.464	0.549
		throw - ft.	8-13	10-15	11-17	13-18	15-20	16-22	17-24	18-26	19-28	20-30	21-31
		N.C.	< 15	< 15	19	25	30	35	39	42	45	48	50
12x12	Ak=0.375 1.00	CFM	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
		Pt (in.w.g.)	0.016	0.038	0.065	0.102	0.145	0.200	0.260	0.330	0.407	0.495	0.590
		throw - ft.	9-16	11-17	13-20	16-23	19-27	21-31	23-34	25-37	27-39	28-41	29-43
		N.C.	< 15	< 15	22	28	33	36	40	43	46	48	50

Tableau VII-3: Dimensions des registres

Pour le dimensionnement des conduits, nous fixons la vitesse de l'air entre 1000 fpm (feet per minute) et 2000 fpm conformément à SMACNA. La vitesse de l'air au niveau des filtres et radiateur varie entre 1000 fpm et 3000 fpm (consigne des constructeurs) donc entre 5 et 10 m/s. Ainsi à l'aide d'un "ductulator" le débit et la vitesse de l'air nous donne plusieurs possibilités de dimensions. Ces conduits peuvent être rectangulaires ou circulaire. On choisit les dimensions qui conviennent notre faux plafond.

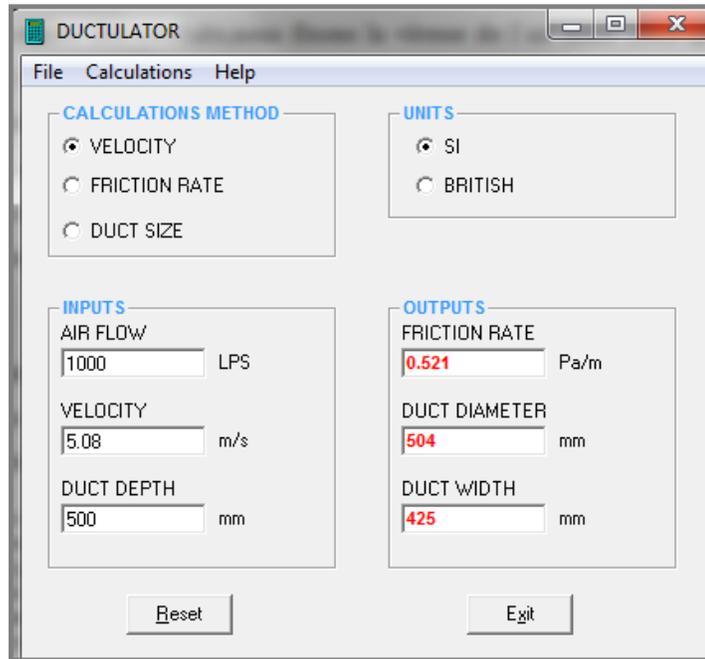


Figure VII-9: *Ductulator logiciel pour dimensionner les conduits de la ventilation et de climatisation*

L'augmentation de la vitesse implique une augmentation du frottement pour un même conduit. Mais il existe des cas, où la vitesse élevée est recommandée par exemple dans le dimensionnement des conduits des extracteurs des "kitchen hood" des cuisines pour éviter l'adhésion des graisses sur les parois des conduits, on réalise l'extraction à une grande vitesse.

Les figures suivantes illustrent les méthodes qui pourront être adoptées concernant les transitions, raccordement, déviation et division des conduits afin d'assurer la bonne circulation du flux.

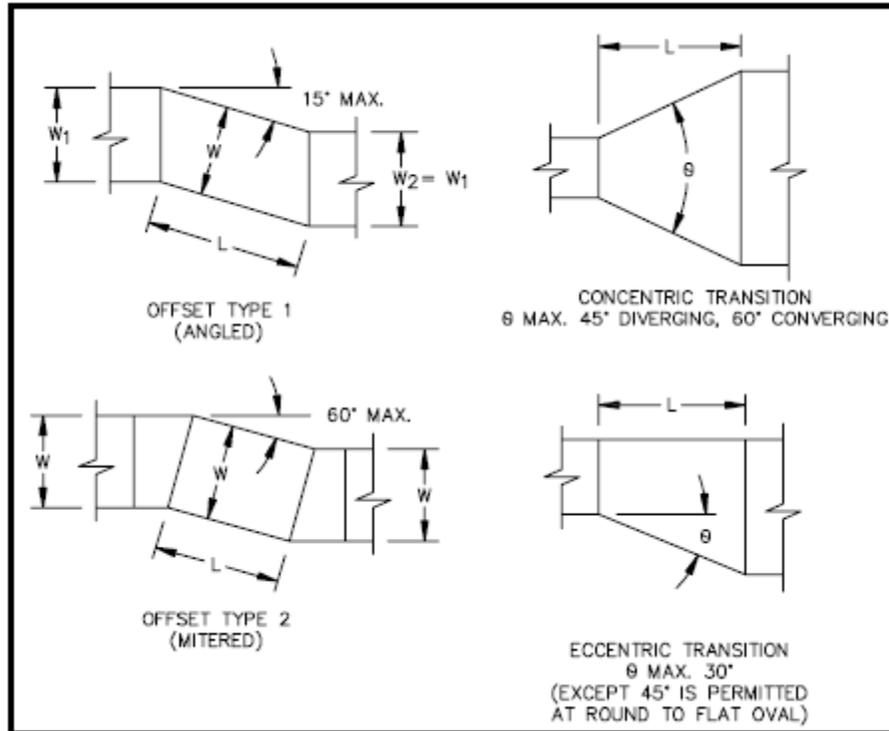


Figure VII-10 : *Méthodes de transition des conduits*

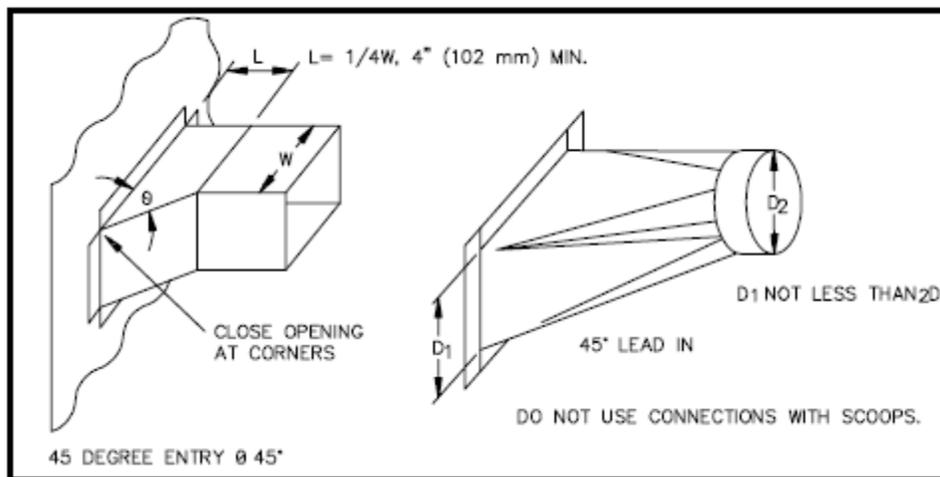


Figure VII-11 : *Méthodes de raccordement du conduit central aux branches*

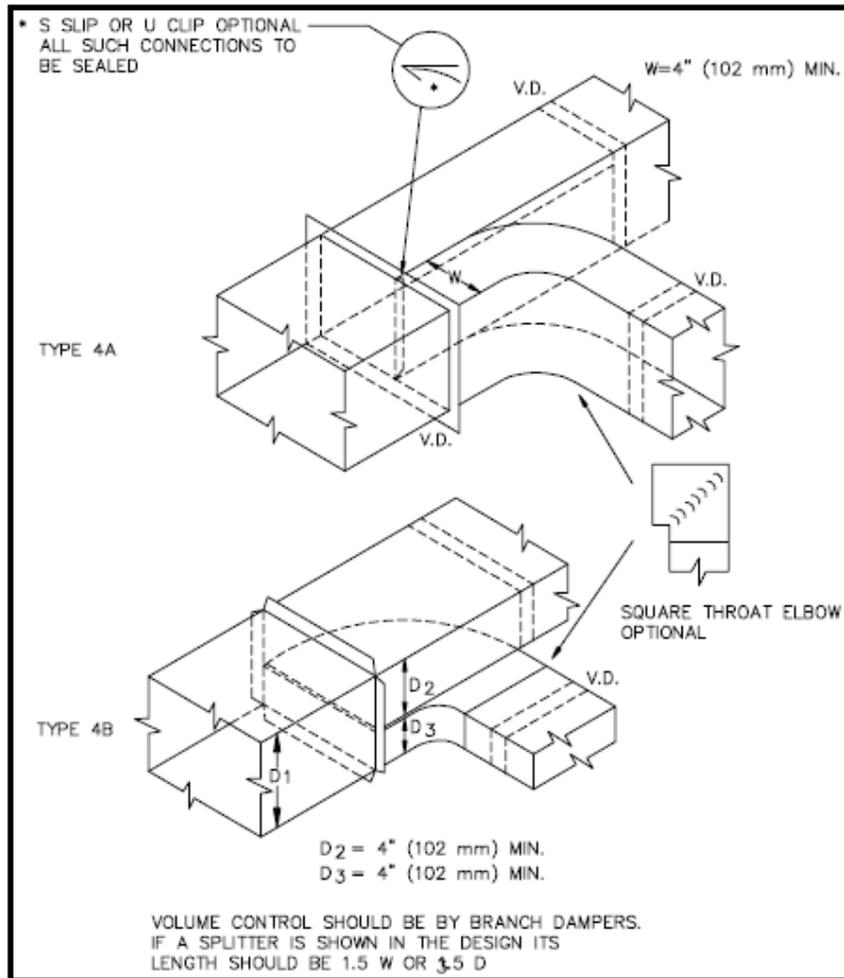


Figure VII-12 : Méthodes de division du conduit central en branches

Pour ne pas dépasser les limites du bruit acceptable, le dimensionnement des conduits se fait de sorte à ce que la longueur ne dépasse en aucun cas le quadruple de la largeur.

Target noise limits in spaces					
Area	Noise Rating		Area	Noise Rating	
	NR	dB(A)		NR	dB(A)
Reception	NR 40	45	Breakout areas	45	50
Open plan office	NR 40	45	Store/utility spaces	45	50
Enclosed office	NR 35	40	IT Data room	45	50
Conference / large meeting rooms	NR 30	35	Toilets	45	50
Classrooms	NR 35	40	Corridors	40	45

Tableau VII-4 : Limites acceptables du bruit

VII.7. CALCUL DE LA CAPACITE DE REFROIDISSEMENT DE LA MACHINE CENTRALE DE VENTILATION AHU

La ventilation, extraction et apport d'air sont assurés à l'aide d'une machine centrale de traitement d'air "AHU". La capacité de refroidissement de cette machine est influencée par la chaleur latente et la chaleur spécifique. La chaleur latente change l'état physique d'une matière. Par opposition à la chaleur sensible qui modifie la température d'une matière.

Calcul des charges sensibles et spécifiques d'une machine de traitement d'air

➤ Charges thermiques sensibles

Les charges thermiques sensibles se calculent de façon simple en appliquant la formule suivante :

$$Q_{A,S} = V \times 0,34 \times (T_e - T_i), \text{ en W}$$

V étant le débit volumique en m^3

0,34 est la capacité thermique volumique de l'air en $\text{Wh}/\text{m}^3 \cdot \text{K}$ donnée par le CSTB. En été, la valeur moyenne est plutôt $0,33 \text{ Wh}/\text{m}^3 \cdot \text{K}$.

➤ Charges thermiques latentes

$$Q_{A,L} = 0,827 \times V \times (r_{\text{airExt}} - r_{\text{airInt}}), \text{ en W}$$

r_{airExt} et r_{airInt} sont les humidités absolues de l'air extérieur et intérieur, en gramme d'eau par kg d'air sec ($\text{g}_{\text{eau}} / \text{Kg}_{\text{air_sec}}$) et 0,84 est le volume spécifique, en m^3/kg , pour un air à 20°C et une hygrométrie de 50% à une pression atmosphérique de 101325 Pa (pression atmosphérique en Pascal au niveau 0).

Conditions extérieures en ETE : DB = 46.0°C (114.8°F)

$$\text{WB} = 30^\circ \text{C} (84.0^\circ \text{F})$$

Conditions de l'air intérieur: DB = 25.0°C (77°F)

$$\text{WB} = 15^\circ \text{C} (59.0^\circ \text{F})$$

Avec un débit pour la machine du bloc A par exemple, de 13025L/s donc $3618 \text{ m}^3/\text{h}$ l'application des formules précédentes donnent le résultat suivant :

$$Q_{A,S} = 26.68 \text{ kW}$$

$$Q_{A,L} = 13.33 \text{ kW}$$

Donc Q total vaut $Q_{A,S} + Q_{A,L}$ 40 kW de réfrigération

De la même manière on calcul les capacités des deux autres machines et on trouve l'une 45 kW et l'autre 42 kW.

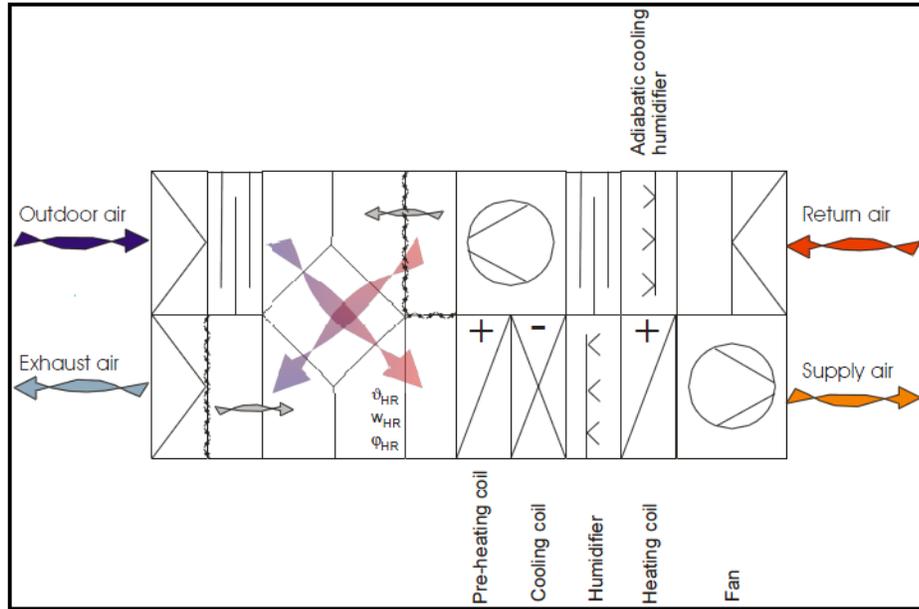


Figure VII-13: Illustration d'une machine centrale de traitement d'air

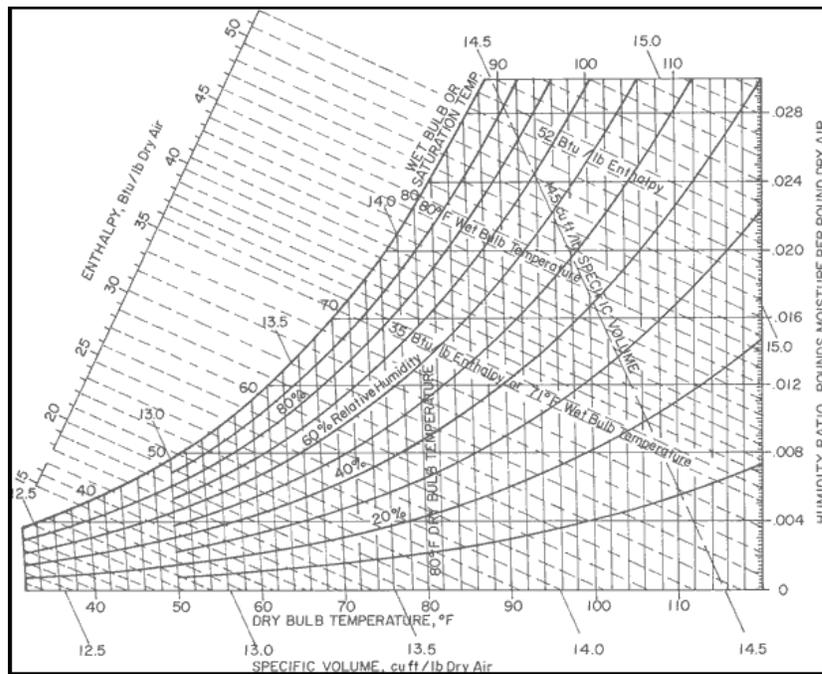


Figure VII-14 : Humidité contenue dans l'air selon sa température

VII.8. CONTROLE DU SYSTEME DE VENTILATION

➤ LE CONTROLE DE LA MACHINE CENTRALE 'AHU'

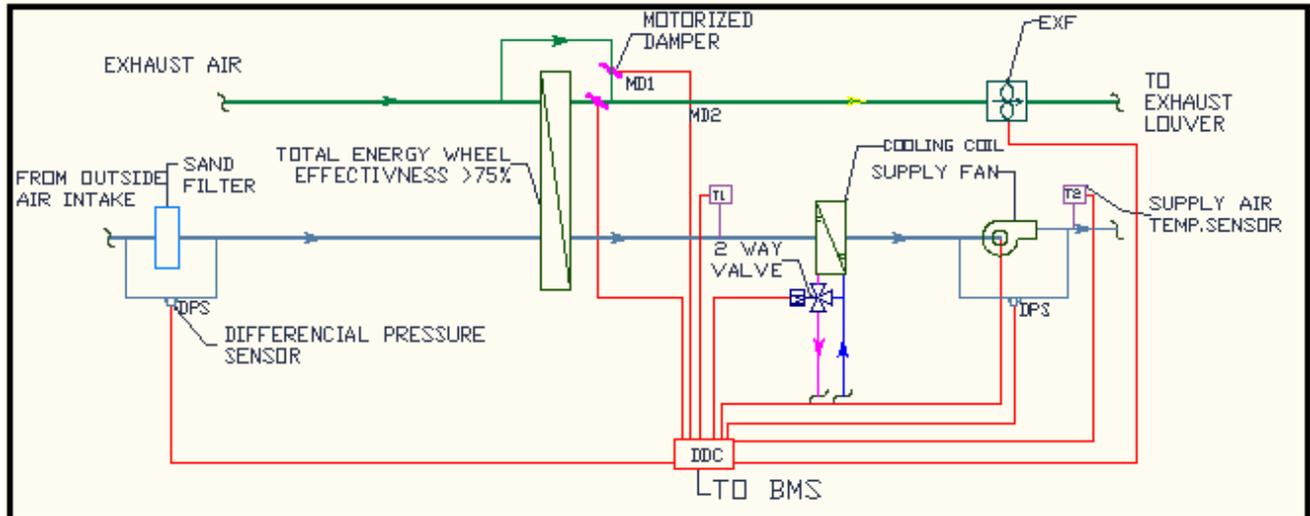


Figure VII-15: *Diagramme de contrôle de la machine principale*

Pour concevoir une ventilation mécanique forcée répondant au développement durable, le contrôle de la ventilation est une nécessité vue l'impact de la variation des vitesses sur la consommation électrique. (Les variateurs de vitesse et leurs impacts sur l'électricité ont été traités dans le chapitre 6 en détail). Le protocole adopté dans le contrôle de la machine centrale de traitement est donné comme suit :

- ❖ Chaque détecteur CO₂ est connecté au tableau BMS
- ❖ Le BMS reçoit les entrées des détecteurs et génère des sorties sous forme de commande
- ❖ Ces sorties sont les commandes contrôlant le fonctionnement des vannes modulées, du moteur de l'extracteur et celui du ventilateur. Chaque composant aura sa propre commande en corrélation avec ceux des autres.
- ❖ Le détecteur de température contrôle via le BMS la modulation de la vanne bidirectionnelle afin d'assurer l'apport de débit d'eau glacée convenable nécessaire au refroidissement du flux d'air circulant dans le conduit pour alimenter le bâtiment.

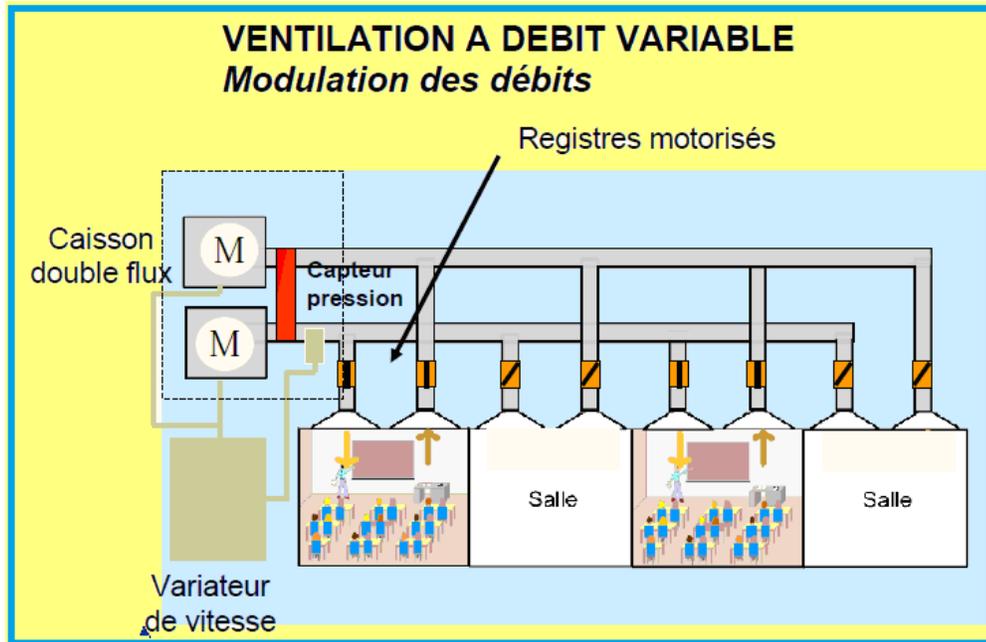


Figure VII-16 : Diagramme de ventilation contrôlée

➤ **LE CONTROLE DES VANNES DES CONDUITS**

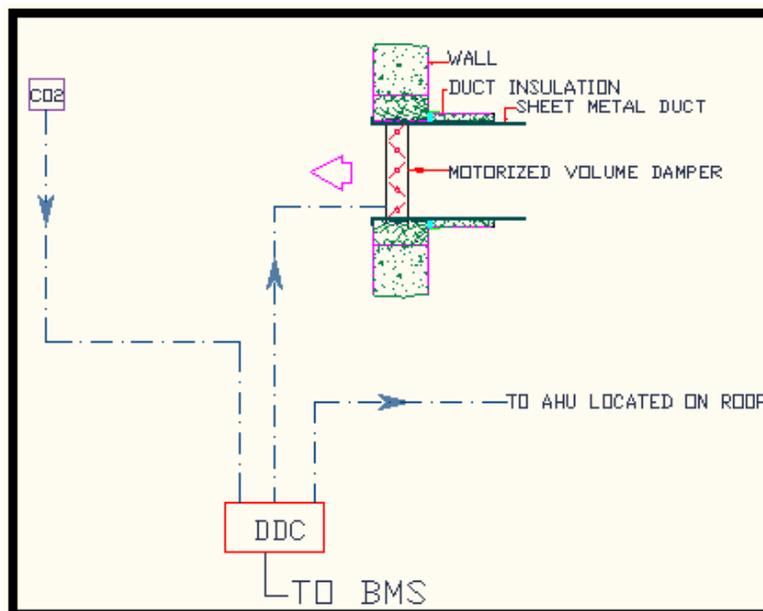
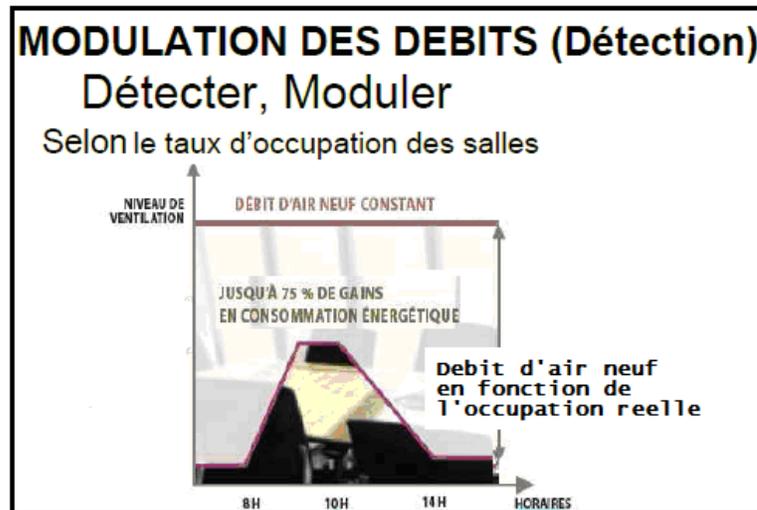


Figure VII-17: Diagramme de contrôle des vannes d'apport d'air

Le détecteur de CO₂ compare à tout instant la concentration du CO₂ dans l'atmosphère de la pièce. Lorsque cette concentration atteint le niveau prédéterminé, un signal est envoyé au tableau du BMS qui commande de sa part l'ouverture de la vanne capable d'assurer la ventilation utile pour préserver une haute qualité d'air. Les vannes d'extraction et de ventilation (d'apport d'air) sont commandées simultanément de sorte à maintenir l'équilibre indiqué précédemment.



➤ INFLUENCE DES DETECTEURS DE CO₂ SUR LA PUISSANCE

Prenons le cas du bloc B, premier étage; Il est constitué de plusieurs classes, d'une salle de séminaire, d'un laboratoire d'art et de plusieurs petites pièces pour les travaux de groupe.

Ces pièces ne peuvent pas être occupées en même temps que les classes, en fin de compte ce sont les élèves qui les utiliseront. Essayons de supposer que les classes sont pleines, donc la ventilation est en marche et que ces chambres sont vides donc niveau de CO₂ dans leur atmosphère ne nécessite pas de ventilation et d'extraction.

Une réduction totale de 30% de la performance des vannes, comme le montre Tableau VII-5, suite à un contrôle de détecteurs de CO₂, génère une chute de puissance électrique consommée. Sachant qu'une estimation générale de la puissance d'un ventilateur ou extracteur indique une puissance approximative de 0.15kW pour chaque 180 L/s. Sans contrôle la puissance consommée serait de 4.5 KW approximativement. Alors qu'avec contrôle, cette puissance devient 3.75 kW. Donc une chute de $4.5-3.75= 0.75$ kW. Un facteur de sécurité de 25 % a été pris en considération concernant les pièces autres que les classes dans l'exemple traité.

ESPACE	VENTILATION L/s	EXTRACTION L/s
Classroom	2215	1993.5
Laboratories	105	94.5
Training Room	105	94.5
Seminair Room	100	90
Small Group rooms	265	238.5
DEBIT TOTAL SANS CONTROLE	2790	2511
DEBIT TOTAL AVEC CONTROLE	2358.75	2122.875
TAUX DE REDUCTION DU DEBIT %	15.45698925	13.91129032

Tableau VII-5 : Performance d'un étage vis à vis le contrôle

Dans l'école, il y a 3 blocs constitués de trois étages. Donc une estimation générale permet de conclure que, si le contrôle de l'exemple précédent s'applique sur les 8 autres étages, la diminution de la puissance électrique quotidienne sera de l'ordre de 30 % approximativement, $0.75 \times 9 = 6.75$ kW

	Fioul Domestique	Charbon	Gaz Naturel
Emissions (kgCO ₂ /kWh)	0,271	0,343	0,206

Tableau VII-6 : Taux de CO₂ produit pour 1kWh généré

Pour une consommation finale de 1kWh, la consommation d'énergie primaire est de 2,58 kWh par suite 6.75 kWh impliquent 4.7 kg de CO₂ de moins par heure donc 29 kg par jour et 5220 kg par an.

➤ **LE CONTROLE DES EXTRACTEURS DES VESTIBULES**

- Durant les heures de cours: ces extracteurs travaillent à mi-charge, le débit de ces derniers est donc réduit de moitié.
- Durant les heures de repos, de récréation: ces extracteurs travaillent à puissance maximale.

- Hors de heures de travail: ces extracteurs sont éteints sauf si les détecteurs de mouvement installés dans les couloirs principaux envoient un signal au BMS indiquant la présence d'occupants: dans ce cas là ces extracteurs travaillent à mi charge (cas des lessons supplémentaires aux écoles)

Ainsi au lieu d'avoir une puissance maximale durant 9 heures par jour, une puissance maximale sera recommandée pour 3 heures au pire des cas.

<i>HORAIRE</i>	<i>Puissance</i>	<i>Duree (heure)</i>
<i>Heures de Cours</i>	0.5	6
<i>Heures de Repos</i>	1	3
<i>Puissance sans controle</i>	9	
<i>Puissance avec controle</i>	6	
<i>Taux de reduction%</i>	33	

Tableau VII-7: *Taux de puissance réduite par extracteur*

Une réduction de 33% pourra être assurée par un tel contrôle. Ceci sera appliqué sur les quatre extracteurs de vestibules. Le taux de réduction atteindra 54%, une valeur considérable.

NAME OF FAN	Power (KW)
EXF-R-TOI-A	1
EXF-R-TOI-B	2
EXF-R-TOI-C1	1
EXF-R-TOI-C2	2
Total Power	6
Reduced Power	3
Power Reduction Rate%	54

Tableau VII-8 : *Taux de puissance réduite pour l'extraction des vestibules*

3 kW par jour économisé impliquent 2 kg d'émission de CO₂ de moins par jour donc 380 kg.

➤ **LE CONTROLE DES EXTRACTEURS DE DESENFUMAGE**

❖ **Opération exceptionnelle: cas d'incendie**

Un débit de 6 changements de volume du couloir par heure est recommandé. En effet, la vanne de fumée motorisée s'ouvre en cas de détection d'incendie permettant le passage du débit nécessaire pour l'extraction de la fumée. Une fois ces calculs assurés on obtient les résultats suivants:

NAME OF FAN	Power (KW)	FLOW L/s
EXF-SMOKE-A	2	2200
EXF-SMOKE-B	2	2500
3 EXF-SMOKE-D	6	7500

Tableau VII-9 : Débit de l'extraction en cas d'incendie

La commande des extracteurs ci dessus à une puissance maximale, en cas de détection d'incendie dans un couloir est en corrélation avec la commande de la machine centrale d'apport d'air alimentant le même couloir. Cette commande ordonne l'arrêt de cette machine afin de réduire l'apport d'oxygène éléments favorisant la combustion.

❖ **Opération normale:**

La séquence d'opération pourra être comme suit:

- Heures de cours : la puissance de chaque extracteur est de 25 % de sa puissance nominale, donc un débit de 625 L/s assure une excellente ventilation des couloirs.
- Heures de Récréation : la puissance de chacun d'eux est de 50 % vu la densité d'occupation élevée durant ces périodes là au niveau des couloirs.

- Hors de l'horaire du travail, ces extracteurs doivent être éteints sauf si les détecteurs installés dans ces zones indiquent la présence d'occupation, la puissance devra être de 25 % (cas des cours supplémentaires)

<i>HORAIRE</i>	<i>Puissance/Pn</i>	<i>Debit L/s</i>
<i>Heures de Cours</i>	<i>0.25</i>	<i>625</i>
<i>Heures de Repos</i>	<i>0.5</i>	<i>1250</i>
<i>Puissance Nominale W</i>	<i>2500</i>	
<i>Puissance avec controle W</i>	<i>1875</i>	
<i>Taux de reduction%</i>	<i>25</i>	

Tableau VII-10 : Réduction de puissance électrique au niveau des extracteurs de désenfumage

Donc 0.625 kWh quotidiennement de moins de consommation électrique, $0.625 \times 2.58 = 1.6$ kW produit en moins donc $1.6 \times 0.271 = 0.43$ kg CO₂ de moins par jour et 78 kg par an

VII.9.EPARGNE EN ELECTRICITE CONSOMMEE GRACE AU CONTROLE

Les contrôles intégrés dans le système de ventilation de l'école sont dus aux détecteurs de CO₂ et à des programmes quotidiens commandant le fonctionnement des extracteurs des vestibules et des couloirs en fonction de l'heure donc de l'horaire quotidien (heure de cours ou de repos). Chaque type de contrôle induit une réduction de consommation électrique comme déjà indiqué dans le paragraphe VII-8. Un résumé de cette économie de puissance est figuré dans le Tableau VII-11 et permet de conclure qu'avec ces contrôles la quantité de CO₂ dégagée est réduite de 5678 kg.

A noter que ces émissions sont retrouvées en se référant aux Tableau VII-6 et en considérant que chaque kWh consommé est généré par 2.58 kWh produit (ce facteur est déjà précisé avant selon le type de génération de l'électricité)

<i>Taux de CO2 réduit grâce au contrôle</i>		
	<i>kg CO2/jour</i>	<i>kg CO2/an</i>
<i>Decteurs de CO2</i>	<i>29</i>	<i>5220</i>
<i>Programme journalier des extracteurs de</i>	<i>2</i>	<i>380</i>
<i>Programme journalier des extracteurs de</i>	<i>0.4</i>	<i>78</i>
<i>Total</i>	<i>31.4</i>	<i>5678</i>

Tableau VII-11: Economie totale d'émission de CO2 au niveau de tout le système de ventilation

VII.10. TRANSFERT ENERGETIQUE DU SYSTEME DE VENTILATION

➤ **Échangeur à roue**

La ventilation avec récupération est un système de renouvellement de l'air dans un bâtiment qui récupère les calories de l'air sortant pour réchauffer l'air entrant, tout en séparant les flux d'air. A la centrale de traitement d'air, à double flux, on associe un échangeur à roue afin de récupérer une partie des calories de l'air rejeté à l'extérieur.

Ce dispositif assure non seulement la récupération d'une chaleur qui, autrement, serait perdue, mais élève également le seuil de confort ambiant. L'air frais pénètre en effet dans les pièces à une température plus confortable que s'il était aspiré directement de l'extérieur.

Ainsi l'extraction mécanique est prévue «humide», tandis que l'amenée d'air frais, préalablement préchauffée par la récupération de chaleur sur l'air rejeté à l'extérieure, est pulsé «sec». En effet, l'air emprunté de l'extérieur contient une certaine humidité. Cet air est refroidit jusqu'au point de rosée, pour forcer l'humidité élevée à se condenser à l'intérieur de la machine. Mais cette procédure provoque une baisse remarquable de la température. La chaleur récupérée permettra l'échauffement de l'air tellement refroidi à la température convenable de confort humain. Ainsi l'apport de l'air est réalisé à température et humidité contrôlée pour assurer une ambiance intérieure saine et confortable.

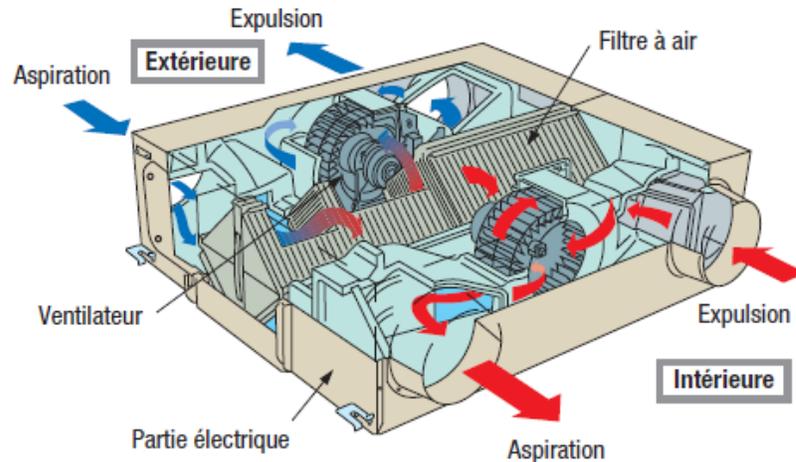


Figure VII-18: *Echangeur thermique de la ventilation*

VII.11. REDUCTION ENERGETIQUE DU SYSTEME DE VENTILATION A RECUPERATION

On considère que la récupération de l'énergie est de 60%, donc une chute totale de 40 % de la capacité de refroidissement du traitement d'air. Par suite la capacité de la machine de traitement d'air pour un bloc vaut $40 \times 0.4 = 16$ kW. Un TR vaut 3.52 kW de réfrigération ainsi la chute de 16 kW induit une chute de 4.5 TR. Et une estimation de consommation électrique pour chaque TR est de 1.35 kWh se traduit par une économie en consommation électrique de : $4.5 \times 1.35 \times 2.58$ kWh produit (2.58 facteur de conversion primaire finale) donc 16 kg de CO₂ de moins pendant une heure et 160 kg par jour et 28800 kg par an, pour chaque machine de traitement d'air.

Et nous avons trois machines très semblables de point de vue capacité, donc une estimation permet de trouver l'économie énergétique due à la récupération qui atteint les 85000 kg de CO₂ en moins annuellement.

VIII. CHAPITRE 8: **CLIMATISATION SOLAIRE**

VIII.1. INTRODUCTION

La consommation d'énergie due à la climatisation a augmenté dramatiquement. Cette énergie n'est pas consommée équitablement et c'est déjà connu que la combustion des fossiles, source principale de production de l'électricité est à la base de la formation des gaz à effets de serre principalement le CO₂.

Nous allons traiter dans ce chapitre les procédures d'utilisations des techniques économisantes énergétiquement.

VIII.2. DESCRIPTION D'UN SYSTEME DE CLIMATISATION

Au climat du pays et à l'exposition du bâtiment ainsi que l'architecture extérieure de ce dernier, en termes de murs isolées et vitrage, plusieurs facteurs internes influent sur la climatisation en tant que capacité de refroidissement. Les principaux facteurs sont :

- ❖ Taux d'occupation des locaux prédéfinis en fonction de leur usage
- ❖ Niveaux d'apports internes prédéfinis en fonction du niveau d'équipement
- ❖ Besoins d'air de ventilation et type de ventilation

Pour une climatisation répondante à un développement durable et émettant un minimum de GES donc à émissions réduites de CO₂, notre système appliqué dans l'école repose sur les bases suivantes :

- Apports internes modulés, concernant principalement l'éclairage et les puissances des équipements électriques, dû à un choix adéquat d'éclairage et une adoption d'appareillage ayant une haute performance et une basse consommation électrique
- Système de production d'eau glacée utilisant des capteurs solaires thermiques à eau avec un ballon de stockage et un appoint chaud

VIII.3. PARAMETRES A CONTRÔLER POUR UN CONFORT THERMIQUE

La température du corps humain étant d'environ 36,7°C donc généralement supérieure à la température ambiante, un équilibre doit être trouvé afin d'assurer le confort de l'individu.

L'homme possède des mécanismes de régulation qui adaptent ses pertes de chaleur aux conditions thermiques de l'ambiance. Le « confort thermique » dépend de l'équilibre existant entre ces grandeurs. L'individu se sent bien si les échanges de chaleur s'effectuent ni trop vite, ni trop lentement. Un très grand déséquilibre entre l'être humain et l'ambiance impliquera d'importants échanges thermiques sources d'inconfort, donc la sensation de confort ou d'inconfort, dépend de différents paramètres tels que:

1-Température de l'air ambiant (T_a) : Elle doit être homogène dans l'espace et dans le temps, c'est à dire dans la pièce mais aussi entre le jour et la nuit et entre l'été et l'hiver.

2-Humidité (HR) : Rapport exprimé en pourcentage entre la quantité d'eau contenue dans l'air à la température T_a et la quantité maximale d'eau pouvant être contenue dans l'air à cette même température.

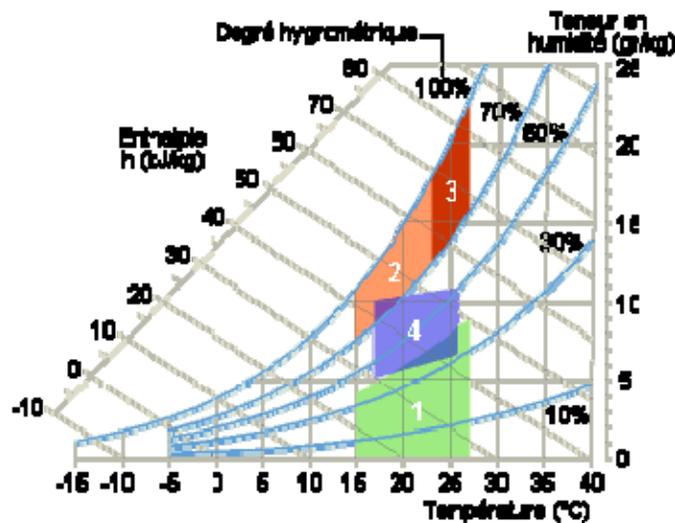


Figure VIII-1 : Zones de confort thermique

Zone 1 : à éviter vis-à-vis des problèmes de sécheresse.

Zone 2 et 3 : à éviter vis-à-vis des développements de bactéries et de microchampignons.

Zone 4 : Polygone de confort hygrothermique

VIII.4. LES APPORTS INTERNES

- Les occupants : la dissipation de chaleur du corps humain varie entre 60 W à 100 W par personne selon l'activité exercée
- L'éclairage : réduit jusqu'à 10 W/m²
- Les autres équipements électriques, machines diverses

Comme notre but est la réduction de la capacité de refroidissement donc en cas où la température extérieure est inférieure à celle de l'immeuble une ventilation nocturne peut être adoptée pour faire évacuer la chaleur emmagasinée durant la journée dans le bâtiment.

VIII.5. RENOUELAUBLE: LA CLIMATISATION SOLAIRE

Nous allons traiter la climatisation solaire nécessitant un apport calorifique à son fonctionnement et utilisant des capteurs solaires thermiques. Cette technique présente un intérêt environnemental important et dont le développement est le plus notable aujourd'hui.

Ce système utilise comme source principale l'énergie du soleil et produit, en fonction de la technologie utilisée de l'eau glacée ou directement de l'air conditionné.

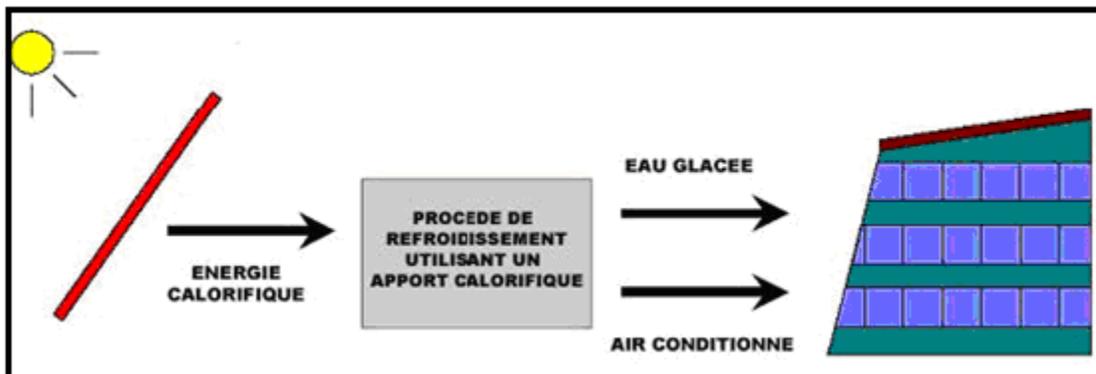


Figure VIII-2 : Schéma du processus d'apport calorifique

VIII.6. Groupes de base des systèmes de production frigorifique

➤ Principe

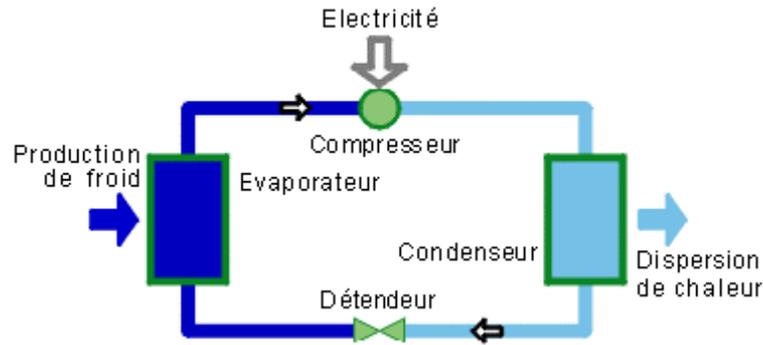


Figure VIII-3 : *Système frigorifique*

La machine frigorifique se compose au minimum des 4 éléments suivants :

Le détendeur l'évaporateur, le compresseur et le condenseur.

➤ Description du cycle

- ❖ Dans l'évaporateur le fluide frigorigène liquide entre en ébullition et s'évapore en absorbant la chaleur du fluide extérieur. Dans un deuxième temps, le gaz formé est encore légèrement réchauffé par le fluide extérieur, c'est ce qu'on appelle la phase de surchauffe (entre 7 et 1 de la figure VIII-4).
- ❖ Le compresseur va tout d'abord aspirer le gaz frigorigène à basse pression et à basse température (1). L'énergie mécanique apportée par le compresseur va permettre d'élever la pression et la température du gaz frigorigène. Une augmentation d'enthalpie en résultera.
- ❖ Le gaz chaud provenant du compresseur va céder sa chaleur au fluide extérieur.
- ❖ Les vapeurs de fluide frigorigène se refroidissent ("désurchauffe"), avant l'apparition de la première goutte de liquide (point 3). Puis la condensation s'effectue jusqu'à la disparition de la dernière bulle de vapeur (point 4). Le fluide liquide peut alors se refroidir de quelques degrés (sous-refroidissement) avant de quitter le condenseur.
- ❖ La différence de pression entre le condenseur et l'évaporateur nécessite d'insérer un dispositif "abaisseur de pression" dans le circuit. C'est le rôle du détendeur. Le fluide frigorigène se vaporise partiellement dans le détendeur pour abaisser sa température

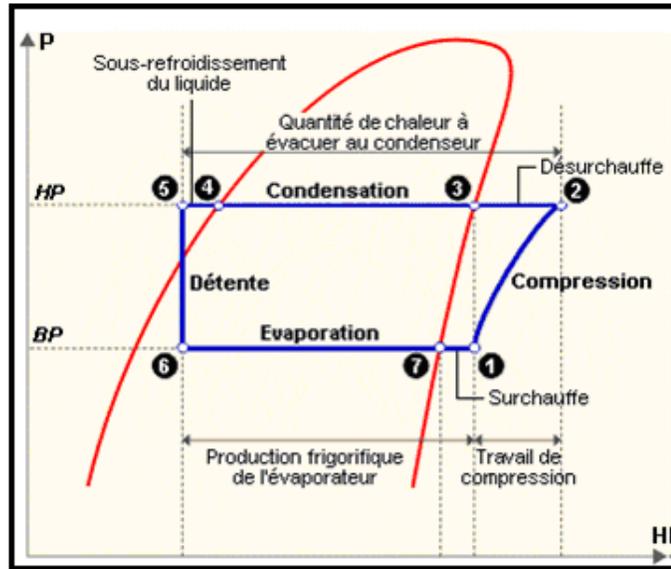


Figure VIII-4 : Le diagramme enthalpique permet de définir l'état en fonction de la pression, la température

VIII.7. GROUPES DE PRODUCTION FRIGORIFIQUES A SORPTION

Le principe consiste à pulvériser de l'eau en fines gouttelettes dans un récipient sous vide. Du fait de la basse pression, l'eau s'évapore. Pour cela elle a besoin d'une certaine quantité de chaleur qui est extraite de l'eau à rafraîchir, circulant dans un circuit à travers le récipient.

Mais ce système ne peut fonctionner très longtemps : rapidement, le récipient à basse pression (en fait « basse » par rapport à la pression du condenseur et en fonction du fluide utilisé) sera saturé de vapeur de fluide frigorigène, et le fluide frigorigène dispersé ne s'évaporerait plus. Il faut donc un moyen pour maintenir ou recréer le vide dans le récipient.

C'est là qu'intervient le sorbant. C'est soit un liquide, on parle alors d'absorbant, ou un solide poreux, on parle alors d'adsorbant. Il "boit" la vapeur d'eau contenue dans l'ambiance, et la retient. Au fur et à mesure qu'il ab/adsorbe de la vapeur, sa capacité d'ab/adsorption diminue jusqu'à être nulle, à saturation. Le sorbant est alors chauffé à une certaine température et "rend" la vapeur d'eau, c'est la désorption (réaction endothermique). Il récupère alors toutes ses propriétés d'ab/adsorption.

De ce principe de sorption découle 2 types de groupe de production de froid, en l'occurrence d'eau glacée :

- ❖ les groupes de production de froid à absorption
- ❖ les groupes de production de froid à adsorption

➤ **Groupes de production de froid à absorption:**

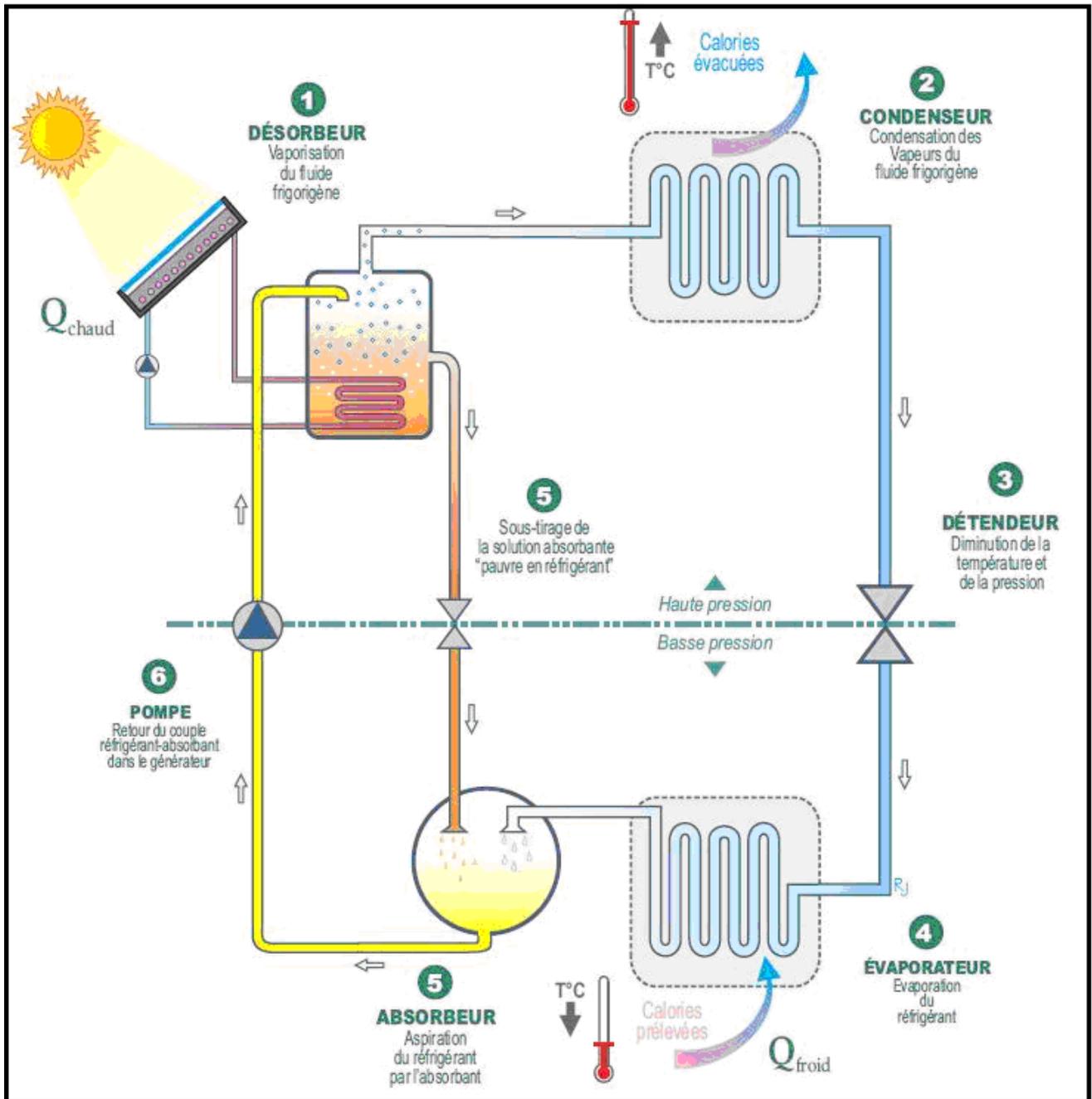


Figure VIII-5 : Schéma du groupe frigorifique à absorption

➤ Principe de fonctionnement

Le principe de base du fonctionnement d'une machine frigorifique à absorption reste le même que celui d'une machine à « compression mécanique »

La différence réside dans : le moyen de comprimer le fluide Thermochimique dans le cas d'une machine à absorption et dans l'énergie utilisée pour cette compression : Calorifique dans le cas de la machine à absorption.

Ainsi les capteurs solaires, généralement à tube sous vide, permettent de produire de l'eau à une température comprise entre 75°C et 95°C. Cette eau est injectée dans le générateur de la machine et permet au réfrigérant de se libérer sous forme de vapeur. Les niveaux de froid produit varient entre 7°C et 12°C.

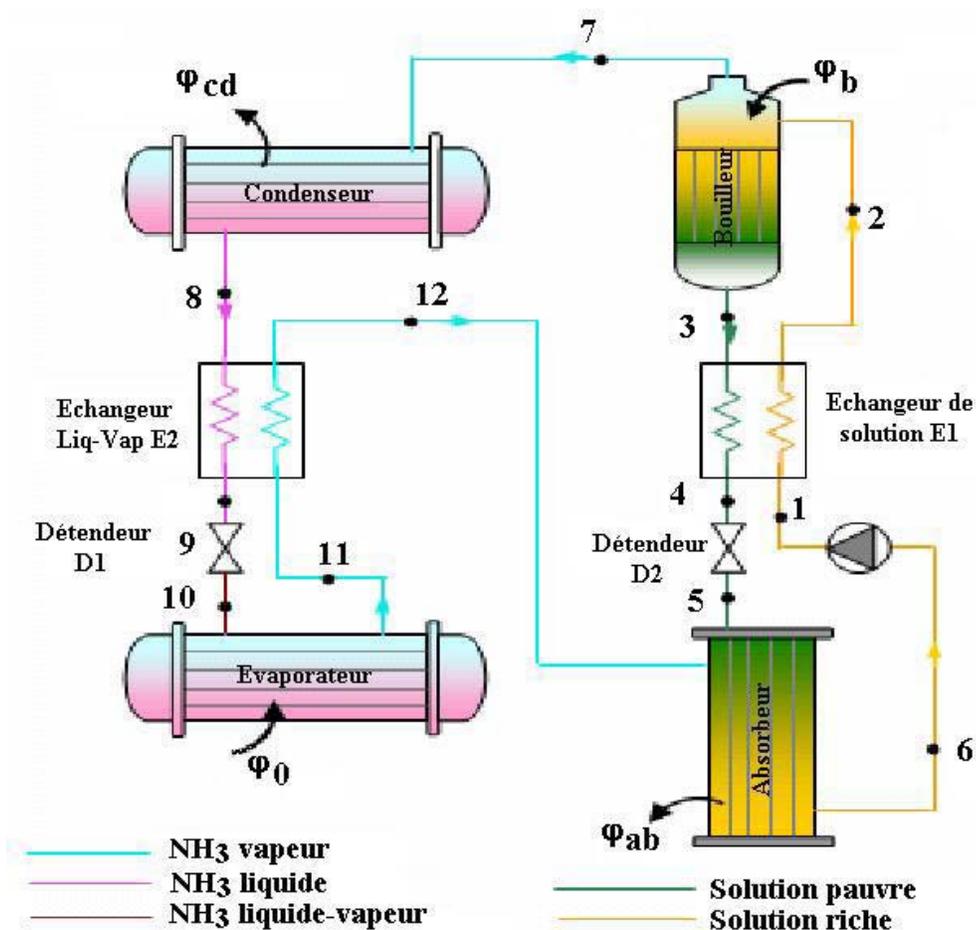


Figure VIII-6: Description schématique du cycle à absorption à simple étage

Les conditions de fonctionnement du système de climatisation à absorption à solution H₂O/LiBr sont :

- La température de vaporisation: -5 °C - +15 °C ;
- La température de l'agent de chauffage dans le bouilleur: 75° C - 130 °C;
- La température du fluide de refroidissement au condenseur et l'absorbeur: 20° C et 60 °C;
- La température de condensation: 25° C - 50 °C;
- La capacité frigorifique ϕ : à 50° C, 2000 kW

Ainsi la « production de froid » est basée sur l'évaporation du réfrigérant (l'eau) dans l'évaporateur à très basse pression. La vapeur d'eau est alors « aspirée » dans l'absorbeur, contribuant à la dilution de la solution H₂O/LiBr. L'efficacité du processus d'absorption nécessite un refroidissement de la solution. Cette dernière est pompée en continu dans le générateur où elle est chauffée (chaleur motrice). La vapeur d'eau ainsi générée est envoyée dans le condenseur, où elle se condense. L'eau liquide, après passage dans une vanne de détente, retourne ensuite à l'évaporateur.

➤ **COMPARAISON ENTRE MACHINES A ABSORPTION ET MACHINES A COMPRESSION**

Le COP_{froid} moyen est de l'ordre de 0,5 à 0,8 donc 0,5 à 0,8 kWh froid produit pour 1 kWh thermique consommé pour les machines à absorption.

En comparaison avec le système à compression, la machine à absorption a plus de chaleur à évacuer au niveau du condenseur. A niveau de production de froid égal, la machine à absorption a un besoin de refroidissement du condenseur 2 à 2,5 fois supérieur au besoin de refroidissement d'une machine à compression (rejet de chaleur de 2,5 kWh chaleur pour 1 kWh froid produit)

La figure ci-contre montre une comparaison entre cycle à compression et cycle à absorption simple effet. Le COP d'une machine à absorption est beaucoup plus faible, de l'ordre de 0,5 à 0,8.

Mais si on raisonne en énergie primaire (thermique) les COP des cycles à compression et des cycles à absorption sont alors comparables.

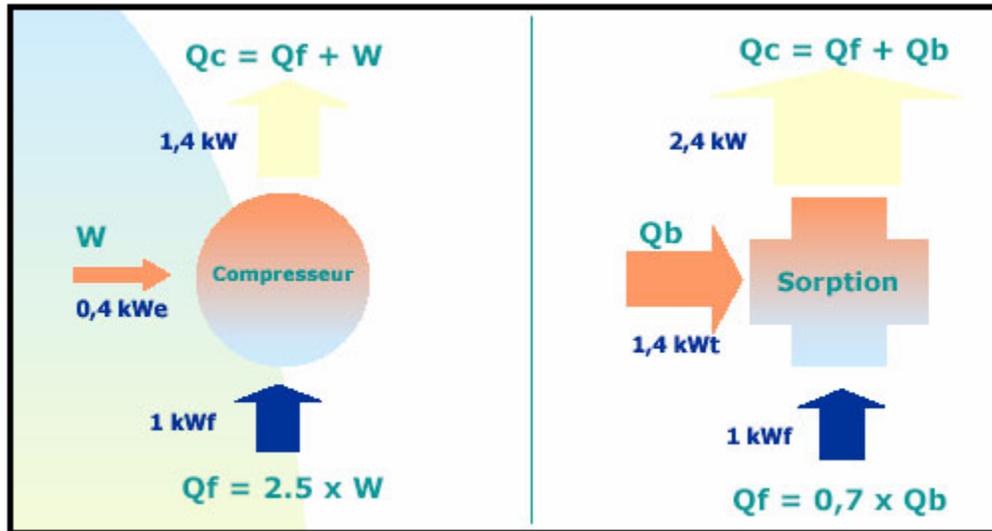


Figure VIII-7: COP des machines à absorption et à compression

➤ **Intérêt de l'utilisation d'une machine à sorption**

La valeur du COP froid d'une machine à absorption est inférieure à celui d'une machine à compression mécanique traditionnelle. Cependant, la valeur du COP froid est essentiellement fonction de l'énergie apportée au désorbeur, l'énergie nécessaire au fonctionnement des circulateurs étant très faible ($\approx 5\%$ de la puissance frigorifique du groupe) par rapport à $Q_{\text{désorbeur}}$. Ces valeurs de COP froid données ci-dessus sont à prendre entre guillemets car ils correspondent à des machines conventionnelles fonctionnant avec des énergies non renouvelables et non gratuites.

Une synthèse de la capacité de refroidissement de toutes les pièces de l'école permet de retrouver la capacité totale de la machine centrale de la production du froid. Cette valeur est de l'ordre de 1000TR

Ces 5 % d'épargne se traduisent par 50 TR en moins de la capacité de réfrigération totale estimée. Une estimation de consommation électrique pour chaque TR est de 1.35 kW. Donc cette chute se traduit par une économie électrique de $50 \times 1.35 \times 2.58 = 174.15$ kWh produit donc 50 kg de CO₂ de moins pendant une heure et 500 kg par jour et 90000 kg par an.

VIII.8. SYSTEME DE PRODUCTION D'EAU GLACEE UTILISANT DES CAPTEURS SOLAIRES

On retrouve dans cette configuration, un groupe de production d'eau glacée à sorption alimentant des sous systèmes de distribution d'eau et/ou une batterie froide de centrale de traitement d'air.

La déshumidification de l'air est réalisée dans la batterie froide de la machine en faisant diminuer sa température en dessous du point de rosée.

Dans les cas où un haut taux de déshumidification est désiré, l'air devra atteindre alors une température si basse, qu'une batterie chaude de réchauffage sera nécessaire d'où augmentation de la consommation énergétique. On peut cependant utiliser plusieurs sources d'énergie « perdues » pour alimenter cette batterie de réchauffage. On pense entre autre à l'eau chaude sortant du désorbeur (60 - 70°C) du groupe à sorption ou à l'eau de refroidissement de l'absorbeur et du condenseur par exemple. Cependant, il n'est pas certain que ces sources de chaleur puissent assurer la totalité du réchauffage de l'air. Dans ces installations on peut intégrer l'appoint chaud de 2 manières :

- ❖ Soit en alimentant le ballon de stockage en énergie calorifique
- ❖ Soit en alimentant directement le groupe frigorifique en énergie calorifique.

Dans le premier cas ; il n'y a qu'un raccordement entre les sources de chaleur et le générateur du groupe frigorifique alors que dans le second cas, les deux sources de chaleurs travaillent en parallèle.

Dans le premier cas les capteurs solaires préchauffent l'eau jusqu'à un niveau de température intermédiaire et l'appoint permet à cette température d'atteindre la valeur définie par la régulation.

Dans le second cas, le ballon de stockage d'eau chaude, ne stocke que l'énergie calorifique solaire qu'il fournit au générateur sans se préoccuper de savoir si elle est suffisante ou non.

Si ce n'est pas le cas, l'appoint qui est raccordé en aval du ballon de stockage fonctionne jusqu'à ce que la température voulue soit atteinte.

Le ballon de stockage chaud est de toute façon recommandé pour assurer ce pic de demande d'énergie calorifique.

VIII.9. CALCUL DE LA CAPACITE DE REFROIDISSEMENT

➤ BASES DE CONCEPTION

❖ Conditions Climatiques:

- Latitude: 24.4 degrés.
- Longitude: -54.7 degrés.

❖ Températures Extérieures

ETE : Température de l'air 46° C

Température de l'eau 30°C

HIVER : Température de l'air 21°C

Température de l'eau 17°C

❖ Températures intérieures et Humidité

	Temperature (Maximum) Degrees C	Temperature (Maximum) Degrees F	Relative Humidity (%)	Temperature (Minimum) Degrees C	Temperature (Minimum) Degrees F	Relative Humidity (%)	Noise Criteria dBA
Public Spaces & Corridors	23	74	50	21	70	30	35
Classroom	22	74	50	21	70	30	35
Office	22	74	50	21	70	30	35
Laboratory	22	74	50	21	70	30	35
Equipments Rooms & Storage	30	86	-	18.5	65	-	-
Control Room & IT Room	23	74	50	22	72	30	35

Tableau VIII-1 : *Tableau de températures internes recommandées*

❖ Densité d'occupation

A. Classe	50 personnes/100m ²	AHRAE Standards 62.1
B. Laboratoire	30 personnes/100m ²	AHRAE Standards 62.1
C. Bibliothèque	20 personnes/100m ²	AHRAE Standards 62.1
D. Auditorium	150 personnes/100m ²	AHRAE Standards 62.1

❖ Sources de chaleur

Spaces	Lighting Heat Gain	Equipment heat Gain
Classroom	12 W/m ²	5 w/m ²
Laboratory	12 W/m ²	10 w/m ²
Lobbies	10 w/m ²	-
Office	12 W/m ²	5 w/m ²

Tableau VIII-2 : *Tableau de sources de dissipation de chaleur*

❖ Ventilation

APPLICATION	FRESH AIR L/s per person	EXHAUST L/s per person
Classroom	8	7.2
Laboratories	10	9
Training Shop	10	9
Music Room	8	7.2
Library	8	7.2
Auditorium	8	7.2
Smoking lounge	30	27

Tableau VIII-3 : *Niveau de ventilation*

L'apport d'air se fait à partir d'unité centrale qui traite cet air et le refroidit. Une ventilation traitée réduit la capacité de refroidissement. Ci-dessous des exemples d'une classe à éclairage contrôlé, ventilation contrôlée et d'une autre classe sans contrôle d'éclairage et sans ventilation traitée l'apport d'air se fait directement de l'extérieur.

Le calcul des capacités de ces unités se fait à l'aide du programme HAP 4.2 de Carrier.

Air System Sizing Summary for FCU-1F-A-CLASS 01 sans R.E			
Project Name: AL BATEEN SCHOOL 1F		07/20/2010	
Prepared by: Rola Maatouk		04:31PM	
Air System Information			
Air System Name	FCU-1F-A-CLASS 01 sans R.E	Number of zones	1
Equipment Class	CW AHU	Floor Area	80.0 m ²
Air System Type	SZCAV	Location	Abu Dhabi, United Arab Emirates
Sizing Calculation Information			
Zone and Space Sizing Method:			
Zone L/s	Sum of space airflowrates	Calculation Months	Jan to Dec
Space L/s	Individual peak space loads	Sizing Data	Calculated
Central Cooling Coil Sizing Data			
Total coil load	8.6 kW	Load occurs at	Jun 1700
Sensible coil load	7.5 kW	OA DB / WB	44.2 / 29.7 °C
Coil L/s at Jun 1700	566 L/s	Entering DB / WB	23.2 / 16.5 °C
Max block L/s	566 L/s	Leaving DB / WB	12.2 / 11.6 °C
Sum of peak zone L/s	566 L/s	Coil ADP	11.0 °C
Sensible heat ratio	0.870	Bypass Factor	0.100
m ² /kW	9.3	Resulting RH	50 %
W/m ²	108.0	Design supply temp.	11.0 °C
Water flow @ 8.9 °K rise	0.23 L/s	Zone T-stat Check	1 of 1 OK
		Max zone temperature deviation	0.0 °K
Supply Fan Sizing Data			
Actual max L/s	566 L/s	Fan motor BHP	0.00 BHP
Standard L/s	564 L/s	Fan motor kW	0.00 kW
Actual max L/(s-m ²)	7.07 L/(s-m ²)	Fan static	0 Pa
Outdoor Ventilation Air Data			
Design airflow L/s	0 L/s	l/s/person	0.00 l/s/person
L/(s-m ²)	0.00 L/(s-m ²)		

Tableau VIII-4 : Bilan d'une unité interne de climatisation sans réduction d'éclairage

Dans le dimensionnement de cette unité l'éclairage n'a pas été réduit comme exige un bâtiment à émission réduits. Cette unité vaut 2.5 TR par suite 30 000 BTU.

Air System Sizing Summary for FCU-1F-A-CLASS 01 sans V.T

Project Name: AL BATEEN SCHOOL 1F
Prepared by: Rola Maatouk

07/20/2010
04:33PM

Air System Information

Air System Name FCU-1F-A-CLASS 01 sans V.T	Number of zones 1
Equipment Class CW AHU	Floor Area 80.0 m ²
Air System Type SZCAV	Location Abu Dhabi, United Arab Emirates

Sizing Calculation Information

Zone and Space Sizing Method:

Zone L/s Sum of space airflowrates	Calculation Months Jan to Dec
Space L/s Individual peak space loads	Sizing Data Calculated

Central Cooling Coil Sizing Data

Total coil load 19.8 kW	Load occurs at Jun 1500
Sensible coil load 11.2 kW	O.A. DB / WB 45.4 / 30.0 °C
Coil L/s at Jun 1500 404 L/s	Entering DB / WB 35.9 / 25.2 °C
Max block L/s 404 L/s	Leaving DB / WB 12.8 / 12.2 °C
Sum of peak zone L/s 404 L/s	Coil ADP 10.3 °C
Sensible heat ratio 0.565	Bypass Factor 0.100
m ² /kW 4.0	Resulting RH 53 %
W/m ² 248.1	Design supply temp. 11.0 °C
Water flow @ 8.9 °K rise 0.53 L/s	Zone T-stat Check 1 of 1 OK
	Max zone temperature deviation 0.0 °K

Supply Fan Sizing Data

Actual max L/s 404 L/s	Fan motor BHP 0.00 BHP
Standard L/s 402 L/s	Fan motor kW 0.00 kW
Actual max L/(s-m ²) 5.04 L/(s-m ²)	Fan static 0 Pa

Outdoor Ventilation Air Data

Design airflow L/s 230 L/s	l/s/person 7.93 l/s/person
L/(s-m ²) 2.88 L/(s-m ²)	

Tableau VIII-5 : Bilan d'une unité interne de climatisation sans Ventilation traitée

Dans le dimensionnement de cette unité la ventilation est apportée directement de l'extérieur. Cette unité vaut 5.5 TR donc 66 000 BTU.

Air System Sizing Summary for FCU-1F-A-CLASS 01 GREEN

Project Name: AL BATEEN SCHOOL 1F
Prepared by: Rola Maatouk

07/20/2010
04:29PM

Air System Information

Air System Name **FCU-1F-A-CLASS 01 GREEN**
Equipment Class **CW AHU**
Air System Type **SZCAV**

Number of zones **1**
Floor Area **80.0 m²**
Location **Abu Dhabi, United Arab Emirates**

Sizing Calculation Information

Zone and Space Sizing Method:

Zone L/s **Sum of space airflowrates**
Space L/s **Individual peak space loads**

Calculation Months **Jan to Dec**
Sizing Data **Calculated**

Central Cooling Coil Sizing Data

Total coil load **6.3 kW**
Sensible coil load **5.2 kW**
Coil L/s at May 1600 **404 L/s**
Max block L/s **404 L/s**
Sum of peak zone L/s **404 L/s**
Sensible heat ratio **0.822**
m²/kW **12.7**
W/m² **79.0**
Water flow @ 8.9 °K rise **0.17 L/s**

Load occurs at **May 1600**
OA DB / WB **43.4 / 28.8 °C**
Entering DB / WB **23.2 / 16.9 °C**
Leaving DB / WB **12.5 / 12.0 °C**
Coil ADP **11.3 °C**
Bypass Factor **0.100**
Resulting RH **53 %**
Design supply temp. **11.0 °C**
Zone T-stat Check **1 of 1 OK**
Max zone temperature deviation **0.0 °K**

Supply Fan Sizing Data

Actual max L/s **404 L/s**
Standard L/s **402 L/s**
Actual max L/(s-m²) **5.04 L/(s-m²)**

Fan motor BHP **0.00 BHP**
Fan motor kW **0.00 kW**
Fan static **0 Pa**

Outdoor Ventilation Air Data

Design airflow L/s **0 L/s**
L/(s-m²) **0.00 L/(s-m²)**

l/s/person **0.00 l/s/person**

Tableau VIII-6 : Bilan d'une unité interne de climatisation à éclairage réduit et ventilation traitée

Cette unité vaut 1.75TR donc 21 000 BTU.

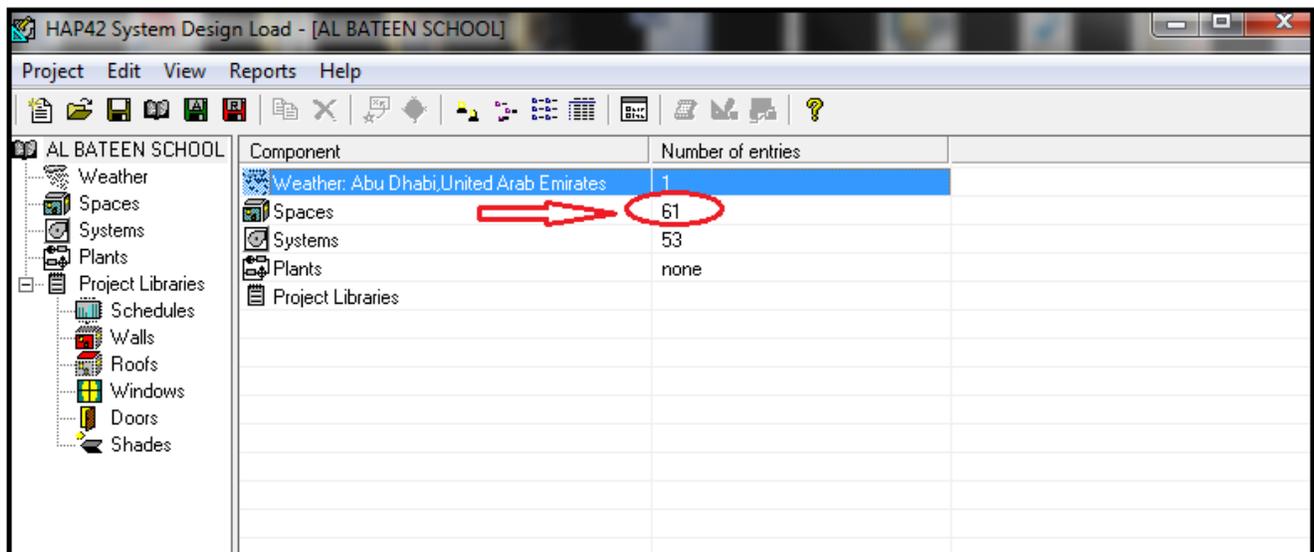
VIII.10. TAUX DE REDUCTION DE LA CAPACITE DE REFROIDISSEMENT

On pourra ainsi conclure qu'un éclairage contrôlé réduit 30% de la capacité de refroidissement.

Alors que une ventilation traitée, refroidit et contrôlée comme à indiquer le chapitre précédent permet une réduction de 70% de cette capacité.

Un pourcentage de réduction très élevé, donc l'adaptation d'une telle technique dans la conception de la climatisation est une impérative. Ainsi cette réduction va affecter énormément la consommation électrique. Et l'économie de l'électricité sera considérable.

Une estimation de consommation électrique pour chaque tonne de réfrigération TR est de 1.35kW. Donc la diminution de 3.75 TR par machine se traduit par une économie électrique de 13 kW produit donc 3.5 kg de CO2 de moins par machine. Notre système comprend une soixantaine de machines par suite 210 kg de CO2 en moins par heure donc 2100 kg par jour et 378000 kg de CO2 réduit annuellement.



The screenshot shows the HAP42 System Design Load software interface for the project 'AL BATEEN SCHOOL'. The main window displays a table with two columns: 'Component' and 'Number of entries'. The table lists the following components and their entry counts:

Component	Number of entries
Weather: Abu Dhabi, United Arab Emirates	1
Spaces	61
Systems	53
Plants	none
Project Libraries	

A red arrow points to the '61' value in the 'Spaces' row, and the '61' is circled in red. The left sidebar shows a tree view of the project components, including Weather, Spaces, Systems, Plants, Project Libraries, Schedules, Walls, Roofs, Windows, Doors, and Shades.

VIII.11. INSTALLATIONS DU SYSTEME DE CLIMATISATION:

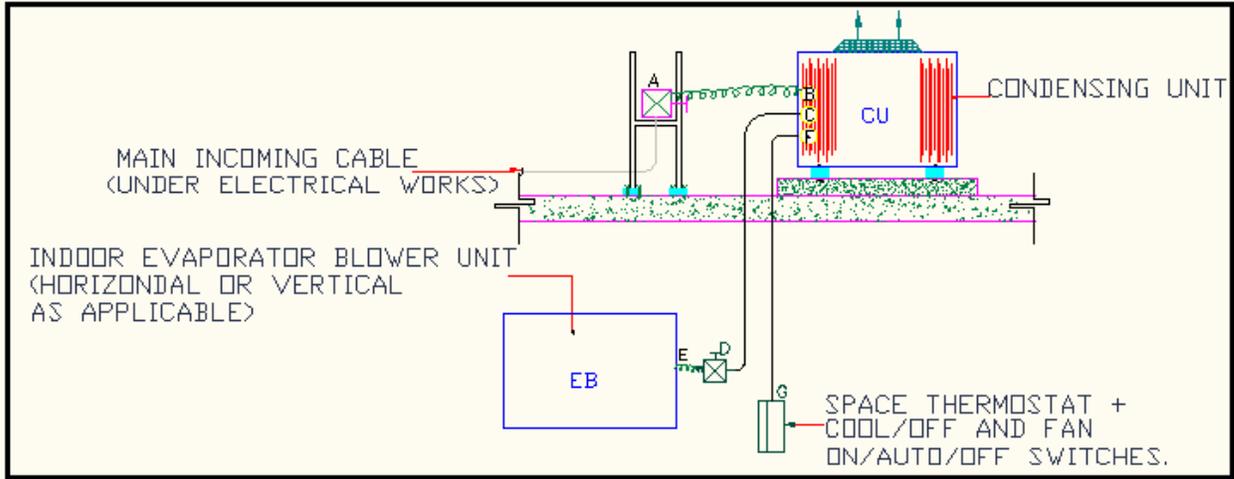


Figure VIII-8 : Installations d'un système complet de climatisation

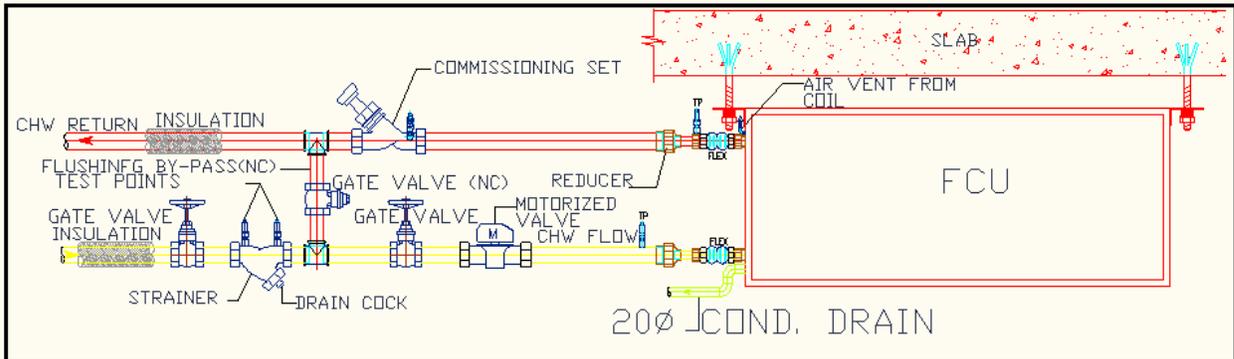


Figure VIII-9 : Connexion d'une unité interne de climatisation avec l'unité centrale extérieure

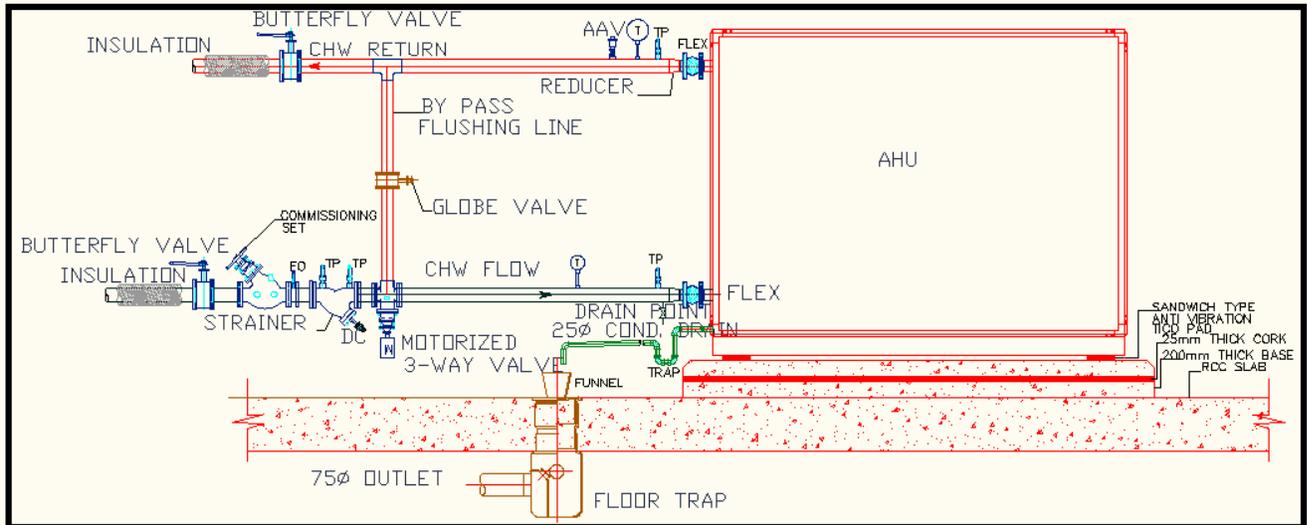


Figure VIII-10: Connexion l'unité centrale extérieure avec les unités intérieures

VIII.12. DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME DE CLIMATISATION

➤ Machines internes et externes

Les unités internes seront sélectionnées via HAP Hourly Analysis Program, un logiciel de Carrier, en introduisant les entrées convenables. La somme des capacités de refroidissement de toutes les unités internes constituent la capacité de l'unité centrale extérieure. L'unité centrale est connectée à ceux internes par des tuyaux qui assurent l'alimentation et le retour de l'eau glacée. La circulation de l'eau glacée dans les radiateurs permet de refroidir l'air suite à un transfert de chaleur. Cette procédure est mentionnée dans les paragraphes précédents.

L'unité interne assure la climatisation à l'aide des conduits dimensionnés conformément à SMACNA, dont les plus usuelles méthodes ont été mentionnées au chapitre de la ventilation.

Les unités internes sont caractérisées non seulement pas leurs débits et leurs capacités de refroidissement mais aussi par une caractéristique importante qui est la pression du pouvoir de soufflage nécessaire de la machine permettant à l'air conditionné de surmonter les frottements et les pertes et être diffusé à la vitesse recommandée de sorte à assurer une bonne circulation de flux.

➤ **Pression de distribution d'air dans un réseau**

Le ventilateur fournit la différence de la pression totale P_t existant entre ses ouïes (entrée et sortie de l'air)

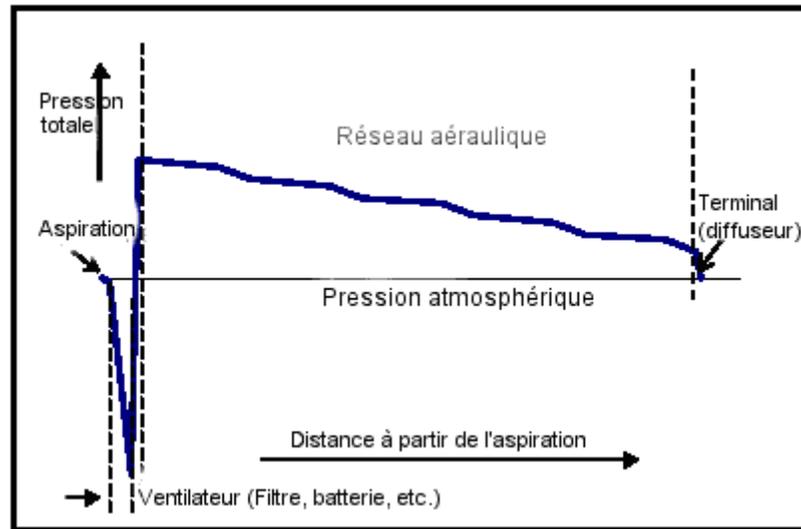


Figure VIII-11 : Graphe de la pression totale en tant que différence

La pression produite par un ventilateur est appelée la pression Totale P_t , elle est la somme des pressions distinctes : **statique** + **dynamique**.

$$\Delta p_{tot} = \Delta p_s + \Delta p_d$$

P_s = Pression statique ; Elle correspond aux frottements que l'air doit vaincre pour s'écouler dans le circuit.

P_d = Pression dynamique ; C'est la surpression nécessaire pour générer la vitesse de l'air dans le circuit.

A noter que $P_d = (\rho \cdot V^2)/2$ avec :

ρ = masse volumique en kg/m^3

V = vitesse de refoulement du ventilateur

➤ **Grilles et registres du réseau**

Les grilles ou les diffuseurs sont les accessoires de décharge de l'air conditionné. Un recours à des catalogues spécialisés nous donne les dimensions convenables pour un débit, un niveau de bruit et une vitesse de l'air donnés.

Le retour de l'air vers l'unité interne se fait à l'aide des accessoires identiques à ceux de l'alimentation parce qu'un même débit est mis en circulation. Le retour peut être pris à travers le faux plafond si aucun risque de contamination n'est présent. Pour assurer un équilibre de circulation d'air dans l'atmosphère d'une pièce la ventilation est conduite jusqu'à la boîte de mixage de l'unité interne où est aussi connecté le retour de l'air conditionné de sorte à bien équilibrer les températures ambiantes.

CONCLUSION

Voilà le bilan énergétique de notre école montrant que suite aux mesures traitées lors de la conception, on a pu arriver à une réduction d'émissions de CO2 touche **635 tonnes par an**. Une quantité considérable de réduction d'émissions de gaz à effet de serre donc une contribution importante au développement durable.

Comme nous l'avons remarqué tous les besoins ont été satisfaits adéquatement, une simple gestion a été suffisante pour cesser le gaspillage d'énergie et les émissions de CO2. Bien que les investissements primaire sont plus élevés que ceux des installations traditionnelles mais une préservation de l'équilibre de la biosphère afin de permettre au générations futures d'avoir le droit de vivre en évitant les causes d'un dérèglement climatiques sont notre responsabilité. Cette facture écologique plus ou moins coûteuse doit être payée ; une garantie minimale de la préservation de la vie sur terre pour les années et siècles prochains.

<i>MESURES</i>	<i>QUANTITE DE CO2 REDUITE kg/Annee</i>
<i>BON CHOIX DE LAMPES</i>	<i>13680</i>
<i>PANNEAUX SOLAIRES</i>	<i>62000</i>
<i>DETECTEURS DE CO2 EN CLASSES</i>	<i>5220</i>
<i>DETECTEURS DE PRESENCE DANS LES VESTIBULES</i>	<i>380</i>
<i>CONTROLE DES EXTRACTEURS DE DESENFUMAGE</i>	<i>78</i>
<i>VENTILATION AVEC RECUPERATION</i>	<i>85000</i>
<i>CONTROLE DE LA CLIMATISATION</i>	<i>378000</i>
<i>CLIMATISATION SOLAIRE</i>	<i>90000</i>
<i>TOTAL EN kg de CO2</i>	<i>634358</i>

Enfin, une école est une institution éducative, espérons qu'aussi cette école parviendra à étendre son éducation pour aussi englober le savoir vivre environnemental et appliquera les théories et les cours à la pratique en soulignant l'importance de la préservation de l'environnement qui, sans prise de mesures strictes atteindra sa fin dans quelques siècle et omettra toute sorte de vie sur terre.

LISTE DES FIGURES

Figure I-1 : Schéma d'un démarreur directement sur ligne	12
Figure I-2 : Schéma d'un démarrage étoile triangle	12
Figure I-3 : Schéma d'un autotransformateur	13
Figure I-4 : Courant de démarrage selon le type du démarreur.....	14
Figure I-5 : Schéma d'un banc de capacité SVC	14
Figure I-6 : Schéma d'un ASI.....	17
Figure II-1 : Uniformité verticale	22
Figure II-2 : Uniformité horizontale	22
Figure II-3 : Couleur de la lumière en fonction de sa température	22
Figure II-6 : Diagramme de l'alimentation du réseau d'éclairage	26
Figure II-7 : Emittance pour le choix 1	28
Figure II-8 : Emittance pour le choix 2.....	28
Figure II-9 : Disposition des luminaires selon Dialux dans une classe.....	29
Figure II-10: Emittance pour le choix 1	30
Figure II-11 : Emittance pour le choix 2	30
Figure II-12 : Disposition des luminaires selon Dialux dans un couloir.....	30
Figure II-13 : Eclairage d'un étage de l'école suivant les luminaires du paragraphe II-6.....	31
Figure II-14 : Installation de l'éclairage dans les classes	33
Figure II-15: Installation de l'éclairage dans les corridors	33
Figure III-1 : Diagramme des différentes puissances électriques	39
Figure III-2 : Diagramme schématique de l'installation électrique de notre école	41
Figure III-3 : Profil des courants des ASI, lampes fluo, Variateurs... ..	47
Figure III-4: Constitution d'un ATS : commutateur automatique de transfert.....	51
Figure III-5 : Division de l'éclairage du couloir en 2 circuits	52
Figure V-1 : Schéma d'un filtre multimédia	61
Figure V-2: Différentes connexions au niveau de la citerne principale.....	63
Figure V-3 : Pompe centrifuge	65
Figure V-4 : Pompe de circulation au niveau de la chauffe eau centrale	66
Figure V-5 : Eau chaude retournée par la pompe de circulation.....	67

Figure V-6: <i>Schéma d'un variateur de fréquence</i>	74
Figure V-7 : <i>Puissance, pression et débit d'une pompe</i>	76
Figure V-8: <i>Processus pour obtenir de l'eau potable</i>	79
Figure V-9: <i>Diagramme de la collection des eaux usées et du traitement</i>	80
Figure V-10 : <i>Légende du diagramme de la collection des eaux usées et du traitement</i>	80
Figure V-11: <i>Processus de traitement des eaux usées</i>	81
Figure V-12: <i>Diagramme de l'alimentation des WC par l'eau traitée</i>	82
Figure V-13: <i>Illustration de la technologie du flushing</i>	83
Figure VI-1 : <i>Fonctionnement d'un capteur solaire</i>	88
Figure VI-2 : <i>Rayonnement solaire sur Terre</i>	89
Figure VI-3 : <i>Angle d'incidence d'un capteur solaire</i>	89
Figure VI-4: <i>Facteur d'influence: orientation</i>	90
Figure VI-5 : <i>Angle d'inclinaison d'un capteur solaire</i>	90
Figure VI-6: <i>Diagramme d'intégration des panneaux solaires dans le chauffage de l'eau sanitaire</i>	91
Figure VI-7: <i>Diagramme de distribution d'eau froide et chaude en présence des panneaux solaires</i> .	92
Figure VI-8: <i>Abaque fournissant la surface des capteurs</i>	93
Figure VII-1: <i>Système de ventilation d'un bloc de l'école</i>	100
Figure VII-2 : <i>Installation d'une ventilation dans une chambre contrôlée par le détecteur</i>	- 102
Figure VII-3: <i>Diagramme de la ventilation des pièces de chaque bloc</i>	103
Figure VII-4: <i>Installation de la ventilation d'un vestibule</i>	103
Figure VII-5 : <i>Diagramme de la ventilation des vestibules de chaque bloc</i>	104
Figure VII-6: <i>Diagramme de la ventilation des trois blocs</i>	104
Figure VII-7 : <i>Diagramme de la ventilation adopté dans les pièces de l'école</i>	105
Figure VII-8 : <i>Diagramme de la ventilation détaillée d'une pièce de l'école</i>	106
Figure VII-9: <i>Ductulator logiciel pour dimensionner les conduits de la ventilation</i>	108
Figure VII-10 : <i>Méthodes de transition des conduits</i>	109
Figure VII-11 : <i>Méthodes de raccordement du conduit central aux branches</i>	109
Figure VII-12 : <i>Méthodes de division du conduit central en branches</i>	110
Figure VII-13: <i>Illustration d'une machine centrale de traitement d'air</i>	112

Figure VII-14 : <i>Humidité contenue dans l'air selon sa température</i>	112
Figure VII-15: <i>Diagramme de contrôle de la machine principale</i>	113
Figure VII-16 : <i>Diagramme de ventilation contrôlée</i>	114
Figure VII-17: <i>Diagramme de contrôle des vannes d'apport d'air</i>	114
Figure VII-19: <i>Echangeur thermique de la ventilation</i>	121
Figure VIII-1 : <i>Zones de confort thermique</i>	123
Figure VIII-2 : <i>Schéma du processus d'apport calorifique</i>	124
Figure VIII-3 : <i>Système frigorifique</i>	125
Figure VIII-4 : <i>Le diagramme enthalpique</i>	126
Figure VIII-5 : <i>Schéma du groupe frigorifique à absorption</i>	127
Figure VIII-6: <i>Description schématique du cycle à absorption à simple étage</i>	128
Figure VIII-7: <i>COP des machines à absorption et à compression</i>	130
Figure VIII-8 : <i>Installations d'un système complet de climatisation</i>	138
Figure VIII-9 : <i>Connexion d'une unité interne de climatisation avec l'unité centrale extérieure</i>	138
Figure VIII-10: <i>Connexion l'unité centrale extérieure avec les unités intérieures</i>	139
Figure VIII-11 : <i>Graphe de la pression totale en tant que différence</i>	140

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I-1 : <i>Alimentation électrique selon le type d'espace</i>	10
Tableau I-2 : <i>Tableau de BMS</i>	16
Tableau II-1 : <i>Eclairage selon ASHRAE GREEN</i>	19
Tableau II-2 : <i>Options de contrôle selon ASHRAE GREEN</i>	20
Tableau II-3 : <i>Densité d'éclairage</i>	24
Tableau II-4 : <i>Eclairage adopté dans chaque espace</i>	31
Tableau II-5 : <i>Potentiel de réchauffement planétaire pour chaque GES</i>	34
Tableau II-6 : <i>Taux de CO2 émis pour 1 kWh produit</i>	34
Tableau II-7 : <i>Epargne assuré selon les luminaires adoptés dans chaque espace</i>	35
Tableau II-8 : <i>Facteur de conversion d'énergie primaire, finale</i>	36
Tableau II-9 : <i>Epargne assuré selon le contrôle adopté dans chaque espace</i>	37
Tableau II-10 : <i>Epargne assuré selon le contrôle de présence pour un étage</i>	38
Tableau III-1 : <i>Répartition surfacique des étages de l'école</i>	43
Tableau III-2 : <i>Répartition de la puissance électrique selon les types d'exploitation</i>	43
Tableau III-3 : <i>Répartition de la puissance électrique installée dans l'école</i>	44
Tableau III-4 : <i>Facteurs de simultanéité pour les tableaux de distribution</i>	44
Tableau III-5 : <i>Répartition de la puissance électrique utilisée dans l'école</i>	45
Tableau III-6 : <i>Facteurs de compensation du réactif</i>	48
Tableau III-7 : <i>Taux de CO2 émis pour 1 kWh produit</i>	49
Tableau III-8 : <i>Facteur de conversion d'énergie primaire, finale</i>	50
Tableau III-9 : <i>Répartition de puissance de secours dans l'école</i>	53
Tableau III-10 : <i>Emission de CO2 vis à vis la combustion du fuel</i>	54
Tableau III-11 : <i>Sélection d'un générateur 250 KVA</i>	54
Tableau III-12 : <i>Sélection d'un générateur 500 KVA</i>	55
Tableau III-13 : <i>Prix des générateurs</i>	56

Tableau V-1: <i>Volume d'eau recommandé par étudiant</i>	61
Tableau V-2: <i>Réserve d'eau pour l'école (les trois blocs)</i>	62
Tableau V-3: <i>Equivalence des accessoires de plomberie en mètre linéaire, pertes de charge</i>	69
Tableau V-4: <i>Hauteur manométrique d'une pompe de circulation (circulating pump)</i>	70
Tableau V-5 : <i>Pression minimale acceptable</i>	71
Tableau V-6: <i>Tableau tuyaux de PPR figurant le diamètre en fonction du débit</i>	71
Tableau V-7: <i>Tableau de tuyaux galvanisés figurant le diamètre en fonction du débit</i>	72
Tableau V-8 : <i>Tableau de conversion de FU au gpm</i>	73
Tableau V-9: <i>Tableau de fonctionnement des pompes à eau</i>	75
Tableau V-10 : <i>Estimation de période de remboursement</i>	76
Tableau V-11 : <i>Taux de CO2 produit pour 1kWh généré</i>	77
Tableau V-12: <i>Estimation du volume d'eau de pluie</i>	78
Tableau V-13: <i>Estimation du volume d'eau usée</i>	81
Tableau V-14: <i>Débit d'eau usée selon le type d'immeuble</i>	82
Tableau V-15: <i>Répartition des unités de plomberie dans la constitution des vestibules de l'école</i>	84
Tableau V-16: <i>Pourcentage d'épargne en eau</i>	84
Tableau VI-1: <i>Composition de notre système de plomberie</i>	86
Tableau VI-2 : <i>Indices d'estimation d'eau chaude selon le type d'immeuble</i>	87
Tableau VI-3 : <i>Besoin d'eau chaude par élève</i>	93
Tableau VI-4: <i>MWh produit de l'installation des panneaux solaires</i>	94
Tableau VI-5: <i>Demande en MWh de l'installation traditionnelle</i>	95
Tableau VI-6: <i>Sélection et 'pay back period' développé de l'installation solaire</i>	96
Tableau VI-7 : <i>Taux d'émission de CO2 pour un kWh thermique</i>	97
Tableau VII-1: <i>Débit de ventilation recommandé</i>	99
Tableau VII-2 : <i>Débit de ventilation adopté dans l'école selon chaque espace</i>	101
Tableau VII-3: <i>Dimensions des registres</i>	107
Tableau VII-4 : <i>Limites acceptables du bruit</i>	110
Tableau VII-5 : <i>Performance d'un étage vis à vis le contrôle</i>	116

Tableau VII-6 : <i>Taux de CO2 produit pour 1kWh généré</i>	116
Tableau VII-7: <i>Taux de puissance réduite par extracteur</i>	117
Tableau VII-8 : <i>Taux de puissance réduite pour l'extraction des vestibules</i>	117
Tableau VII-9 : <i>Débit de l'extraction en cas d'incendie</i>	118
Tableau VII-10 : <i>Réduction de puissance électrique au niveau des extracteurs de désenfumage</i>	119
Tableau VII-11: <i>Economie totale d'émission de CO2 au niveau de tout le système de ventilation</i> ...	120
Tableau VIII-1 : <i>Tableau de températures internes recommandées</i>	132
Tableau VIII-2 : <i>Tableau de sources de dissipation de chaleur</i>	133
Tableau VIII-3 : <i>Niveau de ventilation</i>	133
Tableau VIII-4 : <i>Bilan d'une unité interne de climatisation sans réduction d'éclairage</i>	134
Tableau VIII-5 : <i>Bilan d'une unité interne de climatisation sans Ventilation traitée</i>	135
Tableau VIII-6 : <i>Bilan d'une unité interne de climatisation à éclairage réduit et ventilation traitée</i>	136

BIBLIOGRAPHIE

1. ASHRAEGreenGuide_12_23_03_forBookstore
2. ASPE- American Society of plumbing Engineers
3. National Standard Plumbing Code 2006
4. CIBSE Chartered Institution of Building Services Engineers
5. 2007 ASHRAE Handbook
6. 2008 ASHRAE Handbook
7. Schneider Electric - Electrical installation guide 2007
8. Les Rapports du Senat- Energies renouvelables et développement local
9. Les rapports du senat-Les performances énergétiques des batiments
10. Les rapports du senat-Les apports de la science et de la technologie au développement durable
11. www.Europump.com
12. www.CAT-ElectricPower.com
13. www..ademe.fr
14. www.philips.com
15. www.geo.ucl.ac.be
16. www.ibgebim.be/soussites/energieplus/fr/
17. <http://web.univpau.fr/>
18. www.energymanagertraining.com
19. www.keralaenergy.org
20. www.thermexcel.com/
21. www.salmson.comwww.grundfos-pump.com
22. www.retscreen.net/
23. <http://energie.wallonie.be>

24. http://www.climatechangesask.ca/html/learn_more/Emissions/Warming_potential/
25. http://www.aprovecho.org/web-content/publications/assets/Global_warming_full_9-6-07.pdf
26. <http://www.pca.state.mn.us/index.php/topics/climate-change/regulatory-initiatives-programs-and-policies/high-global-warming-potential-gases.html?menuid=&missing=0&redirect=1>
27. http://wapedia.mobi/fr/Facteur_de_puissance
28. http://physique-eea.ujf-grenoble.fr/intra/Formations/M2/EEATS/CSEE/PGEL53A2/Guide_conception_reseaux/13_Methodologie_et_exemples/Conce13a.PDF
29. <http://ohm-sweet-ohm.pagesperso-orange.fr/Pdf/Cddistribution%20BT8.pdf>
30. http://fabrice.sincere.pagesperso-orange.fr/cm_electrotechnique/puissance_deformante/Puissance%20deformante.pdf
31. <http://www.cre.u-bordeaux.fr/download/electrotechnique.pdf>
32. <http://ethesis.inp-toulouse.fr/archive/00000523/01/giauque1.pdf>
33. <http://www.regionpaca.fr/uploads/media/MDE32.PDF>
34. http://intram.cluny.ensam.fr/sites/EEA/module3/Fiche_VEVpompe_EDF.pdf
35. http://www.sonnenkraft.fr/extranet/generalmanuals/Documents/PlanerHB_SKF_20090923.pdf
36. <http://www.zenit.fr>
37. http://codev.pays-des-paillons.fr/fichiers/CSTB_rafraichissement_principe.pdf

RESUMÉ

L'objectif principale dans la conception électromécanique de l'école secondaire al Bateen située à Abou Dhabi est l'introduction des techniques intelligentes aux installations traditionnelles de sorte à pouvoir en même temps assurer les besoins des résidents en mettant toujours devant nos yeux l'importance de la protection de l'environnement.

Ainsi les émissions des GES, donc GWP étaient le critère de mesure continu et respecté le plus possible pour aboutir enfin de compte à la réalisation d'une école typique de point de vue dégagement réduit de gaz nocifs participant à un dérèglement climatique et à une augmentation de la pollution atmosphérique provoquant un effet de serre.

Le contrôle et la gestion des équipements consommateurs de l'électricité donc de l'énergie fossile a été la base de notre conception, surtout que, les catastrophes climatiques due à l'effet de serre ne sont plus négligeables.

L'école al Bateen devrait être un exemplaire pour tous les bâtiments de la région vue l'efficacité des installations électromécaniques à émissions modulées.

Mots-Clé : réduction des émissions de CO₂, GWP, contrôle de la consommation électrique, détecteurs, BMS, équipements à fréquence et vitesse variable.

RESUME

The principal objective in the electromechanical conception of Al Bateen Secondary School (located in Abu Dhabi) is to introduce new technologies in order to reduce the GWP and satisfy all the residents' needs at the same time, bearing in mind the importance of the preservation of the environment. The control and the management of the electrical equipments and all the building systems, that is to say the Global Warming Potential, have been the basis of our conception as the climatic catastrophes due to the greenhouse effect are no longer negligible.

Al Bateen School should be an exemplary, a typical building in the region with respect to the effectiveness of the electromechanical installations with modulated CO₂ emissions.

Key-Words: reduction of CO₂ emissions, GWP, management of electrical consumption, detectors, BMS, equipments with variable frequency drive.

A. ANNEXE

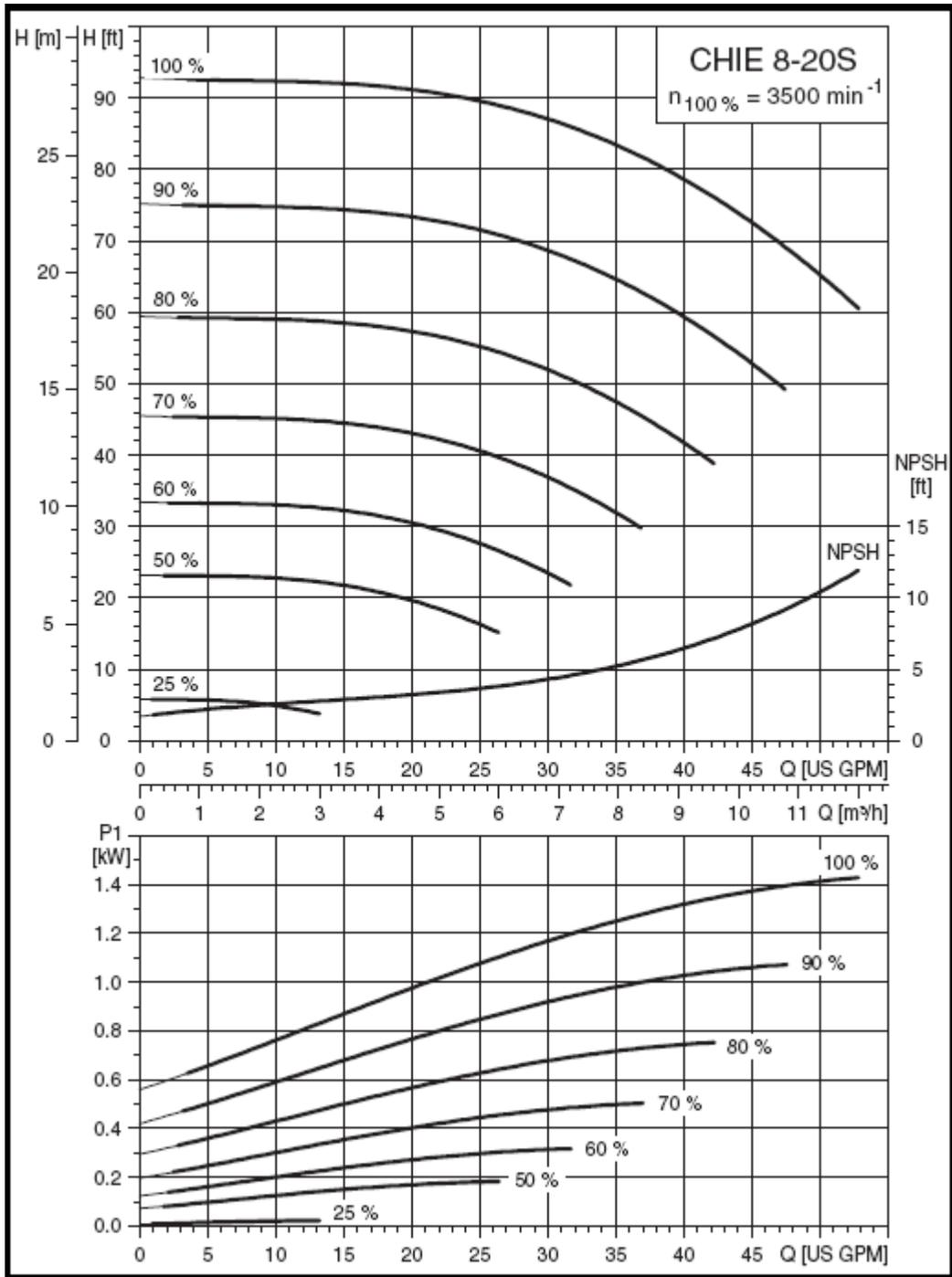


Figure A-1: Performance des pompes centrifuges

COLUMN NO.	1	2	3	4	5
UNIT NO.	P-B1-1	BP-R-1	BP-R-2	CP-1	CP-R-1
SYSTEM SERVED	DOMESTIC WATER	DOMESTIC WATER SHOWERS & LOCKERS	DOMESTIC WATER TOILETS	CIRCULATING PUMP FOR HOT WATER RETURN	CIRCULATING PUMP FOR HOT WATER RETURN
LOCATION	PUMP ROOM BASEMENT	ROOF	ROOF	1ST FLOOR	ROOF
SPECIFICATION TYPE	LIFTING PUMP VERTICAL MULTISTAGE	BOOSTER WITH VARIABLE SPEED DRIVE	BOOSTER WITH VARIABLE SPEED DRIVE	CIRCULATOR CENTRIFUGAL IN LINE	CIRCULATOR CENTRIFUGAL IN LINE
FLUID	WATER	WATER	WATER	WATER	WATER
TEMPERATURE (°C)	30	30	30	70	70
FLOW RATE (L/S)	7	3.5	6.2	0.3	7.2
TOTAL HEAD (m. of water) *	56 *	31 *	35 *	20 *	30 *
RPM	2800	2800	2800	2800	2800
BASE TYPE	CONCRETE BASE	CONCRETE BASE	CONCRETE BASE	CONCRETE BASE	CONCRETE BASE
APPROX. POWER (KW)	6 KW 3/415/50 HZ	1.75 KW 1/220/50 HZ	1.7 KW 1/220/50 HZ	0.5 KW 1/220/50 HZ	3.3 KW 1/220/50 HZ
QUANTITY	1 SET-2 PUMPS	1 SET-2 PUMPS	1 SET-3 PUMPS	1 SET-2 PUMPS	1 SET-2 PUMPS
REMARKS	2 PUMPS ALTERNATING ONE DUTY, ONE STANDBY,	1 PUMP DUTY ONE STANDBY AND 100 L PRESSURE VESSELS	2 PUMPS DUTY ONE STANDBY AND 100 L PRESSURE VESSELS	1 PUMPS DUTY ONE STANDBY AND 100 L PRESSURE VESSELS	1 PUMPS DUTY ONE STANDBY AND 100 L PRESSURE VESSELS

Figure A-2: Bilan des pompes d'eau

Photo-Preview(s):		
Offer:	<u>GF45 4KW pump high pressure pump Grundfos CRN4-220 6m³/h</u>	
Manufacturer:	Grundfos	
Type:	CRN4-220 6m ³ /h	
Offer type:	used machine offer	
Location:	Germany - Nordrhein-Westfalen	
Technical data:	<p>You are bidding on a used high-pressure pump of the Grundfos brand from an industry resolution. The pump comes from the dismantling of an industrial machine. Flow 6m / h, max head 40m, max pressure 21 bar see more mass and data, see the pictures. 49.00 EUR Shipping Nationwide to curb. Pleasure also to Pick Up. Location 45525 Hattingen. Truck is available for loading. Of course there are [...Technical data truncated]</p> <p>The data are mechanically translated in the english language. Translation errors are possible. No guarantee for printed data and pricing.</p>	
Add number:	A756290	
Price:	<p>€790 EUR plus VAT ≈ \$1026.05 USD (daily converted, real price in EUR) plus VAT (shipping costs on request)</p>	

Figure A-3: *Sélection de la pompe d'appel*

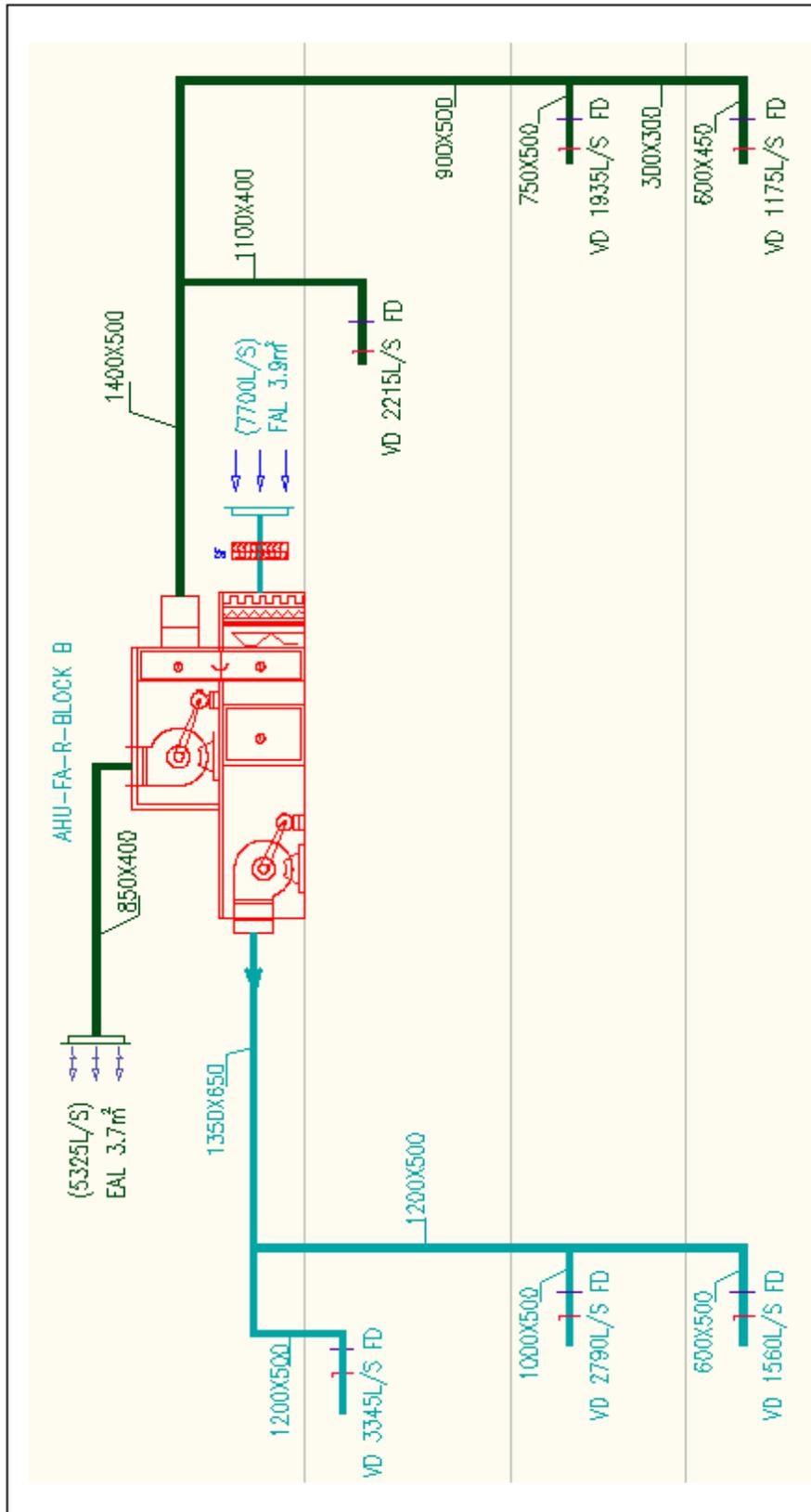


Figure A-4 : *Diagramme de ventilation centrale bloc B*

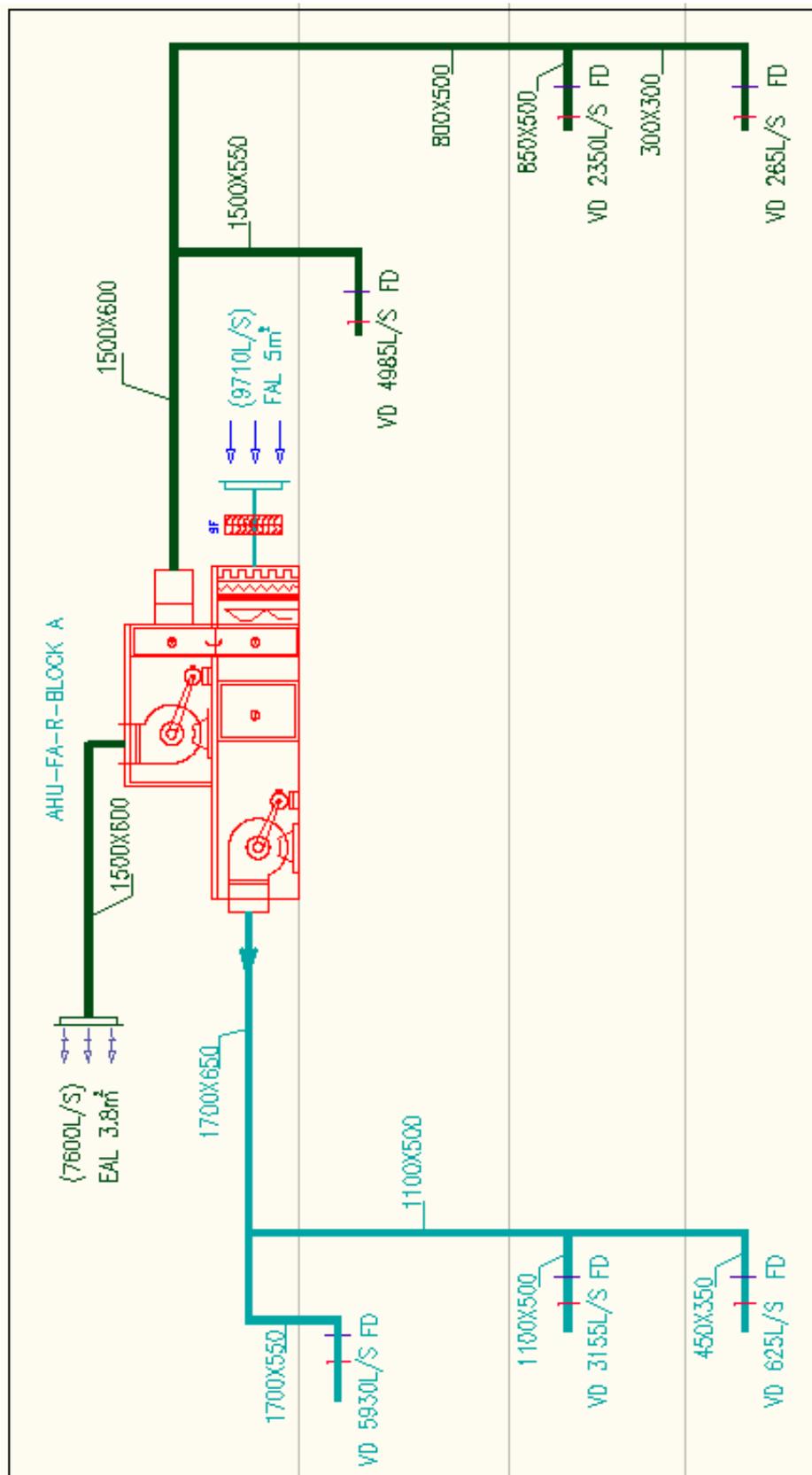
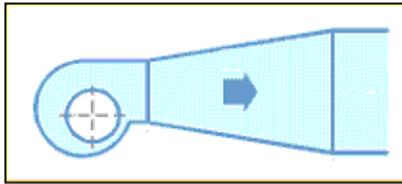


Figure A-5 : *Diagramme de ventilation centrale bloc A*

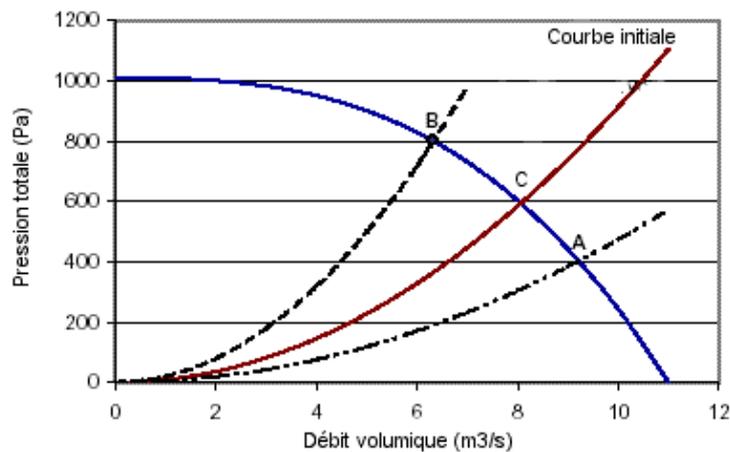
Un divergent placé à la sortie du ventilateur permettra de diminuer la vitesse d'air et donc en conséquence de transformer une partie de la pression dynamique en pression statique car seule la pression statique du ventilateur est intéressante.



L'angle du divergent devra être compris entre 7 et 15° et sa longueur devra être au moins égale à $1,5$ fois le diamètre de sortie du ventilateur

Point de fonctionnement

Si par exemple un filtre est encrassé, la perte de charge va croître dans le circuit aéraulique où dans le cas où la perte de charge du réseau aéraulique est sous évaluée, nous allons constater que le point de fonctionnement du ventilateur va passer du point C au point B. le débit d'air va par conséquent décroître.



Calcul des pertes de charge linéaires

Calcul des pertes de charge générales

Le calcul de la perte de charge linéaire, celle correspondant à l'écoulement général dans un conduit rectiligne, est donné par la formule générale suivante :

$$\Delta p = \frac{\lambda}{D} \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot L$$

- Δp = perte de charge linéaire en Pa
- λ = coefficient de perte de charge (nombre sans dimension)
- ρ = masse volumique de l'eau en kg/m³
- V = vitesse d'écoulement en m/s
- D = diamètre hydraulique du tube en m
- L = longueur du tube en m

On constate que les pertes de charge générales dépendent des éléments suivants :

- La perte de charge est logiquement directement proportionnelle à la longueur de la canalisation : elle augmente quand la longueur de canalisation augmente.
- Quand le diamètre diminue, la perte de charge augmente considérablement. Le liquide a plus de difficultés à s'écouler donc les frottements augmentent pour un débit identique.
- Plus le débit augmente (vitesse plus élevée), plus les forces de frottements augmentent pour un diamètre identique.