



# Audit énergétique de la zone alimentée par le poste de transformation TA1 de la société SOMAÏR

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU MASTER EN INGENIERIE DE  
L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT  
**OPTION : MASTER SPECIALISE EN GENIE ENERGETIQUE ET  
ENERGIES RENOUVELABLES**

-----  
Présenté et soutenu publiquement le 06 Novembre 2017 par

**ISSAKA NOMAO Hadiza**

Travaux dirigés par :

**Pr. Yézouma COULIBALY**

Enseignant-Chercheur (Fondation 2IE)

**Mr. ATTO Issa**

Contre maître section Electricité BT (SOMAÏR)

Jury d'évaluation du stage :

Président : **Pr. Yézouma COULIBALY**

Membres et correcteurs : **Mr. Francis SEMPORE**

**Dr. Moussa SORO**

Promotion [2016/2017]

## DEDICACES

Je dédie le présent mémoire à :

- ✿ Mes parents pour l'aide et le soutien inconditionnel qu'ils m'ont apporté.
  
- ✿ Mes frères et sœurs pour leurs encouragements et leurs dévouements.
  
- ✿ Tous ceux qui m'ont apporté leur soutien.

## REMERCIEMENTS

Mes sincères remerciements vont à **Monsieur ATTO Issa** et au **Professeur Yézouma COULIBALY**, mes directeurs de mémoire qui ont assuré l'encadrement du travail.

Mes reconnaissances vont à **Monsieur Francis SEMPORE** pour son soutien et ses conseils.

Mes remerciements à **M. Rabé Djigo** le chef de Division Utilités Industrielles pour son aide et son soutien.

Je remercie **M. Alhassane Alachen** et **M. Ibrahim Yahaya Abdou** pour les aides et les soutiens qu'ils m'ont apportés durant toute la période de mon stage.

Mes remerciements vont à **M. Souley Mahaman Abdoul Kadri**, **M. Ousseini Sidi** et **M. Diori Illiassou** et à tous les autres membres de leurs équipes.

Je témoigne ma gratitude à l'ensemble du personnel de la **SOMAIR** et du **2iE** par l'aide de qui je suis arrivée au terme de ma formation

## RESUME

La consommation énergétique de la SOMAIR a connu un véritable accroissement pendant les trois dernières années. Cette augmentation est due à une faible efficacité énergétique de ses installations. La présente étude a permis de réaliser l'audit des systèmes alimentés par le transformateur TA1 de la société.

L'audit a porté sur les équipements tels que les climatiseurs et l'éclairage ainsi que sur l'enveloppe des locaux.

Ainsi les mesures d'économie proposées pour le système de climatisation ont permis une économie de **21 %** sur la consommation actuelle. La rénovation du système d'éclairage qui consiste au remplacement des lampes existantes par des lampes à technologie LED a permis une économie de l'ordre de 34 425 kWh. Enfin une étude a porté sur l'impact de l'isolation thermique des parois. Les résultats obtenus sont les suivants :

	Climatisation	Enveloppe des locaux	Eclairage
Economie d'énergie (kWh)	130 437	35 217	34 425
Gain financier (F CFA)	10 860 885	3 697 785	3 614 625
Coût d'investissement (F CFA)	37 795 241,2	47 798 357,6	20 781 219,46
Temps de retour sur investissement (ans)	3,62	12,92	6,16

En somme, les mesures proposées permettent d'économiser 27 ;73% de la consommation actuelle des trois systèmes.

Une bonne mise en œuvre des mesures proposées et un suivi de la consommation permettront à la société d'améliorer son efficacité énergétique.

## MOTS CLES

- ❖ Audit énergétique
- ❖ Efficacité énergétique
- ❖ Isolation thermique
- ❖ Technologie LED

## ABSTRACT

The energy consumption of SOMAIR has been a real increase during the last three years. This increase is due to the low energy efficiency of its facilities. This study enabled the audit of systems powered by the company's TA1 transformer. The audit covered equipment such as air conditioners and lighting as well as the building envelope.

Thus the saving measures proposed for the air conditioning system allowed a saving of 21% on the current consumption. The renovation of the lighting system, which consists of replacing existing lamps with LED technology lamps, has resulted in savings of around 34425 kWh. Finally, a study focused on the impact of the thermal insulation of the walls. The results obtained are as follows:

	Air Conditioning	Room Envelope	Lighting
Energy saving (kWh)	130 437	35 217	34 425
Financial gain (F CFA)	10 860 885	3 697 785	3 614 625
Investment cost (F CFA)	37 795 241.2	47 798 357.6	20 781 219.46
Return on investment (years)	3.62	12.92	6.16

In sum, the proposed measures save 27.73% of the current consumption of the three systems. Good implementation of the proposed measures and a monitoring of consumption will enable the company to improve its energy efficiency.

## KEYWORDS

- ❖ Energy audit
- ❖ Energy Efficiency
- ❖ Thermal insulation
- ❖ LED technology

## LISTE DES SIGLES ET ABBREVIATIONS

<b>2iE</b>	Institut Internationale d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
<b>SOMAÏR</b>	Société des Mines de l'Air
<b>ZI</b>	Zone Industrielle
<b>ZU</b>	Zone Urbaine
<b>PID</b>	Plan Iso et Dessin
<b>SMI</b>	Système de Management Intégré
<b>HSE</b>	Hygiène Sécurité Environnement
<b>BT</b>	Basse tension
<b>HT</b>	Haute tension
<b>COP</b>	Coefficient de Performance
<b>kVA</b>	Kilo Volt Ampère
<b>kW</b>	Kilo Watt

## Table des matières

DEDICACES .....	ii
REMERCIEMENTS .....	iii
RESUME.....	iv
ABSTRACT .....	v
LISTE DES SIGLES ET ABBREVIATIONS .....	vi
LISTE DES FIGURES .....	ix
LISTE DES TABLEAUX.....	x
I. Introduction .....	1
II. Description de l'existant.....	2
II.1. L'entreprise.....	2
II.2. Présentation de la structure d'accueil (Voir organigramme Annexe2) .....	5
II.3. L'aire de l'audit .....	7
II.4. Matériels .....	7
II.5. Contraintes de l'étude .....	10
III. Méthode de l'audit énergétique.....	11
IV. Diagnostics préliminaires et choix des appareils concernés par l'audit approfondi ....	14
IV.1. Evaluations de la consommation énergétique.....	14
IV.2. Consommation énergétique en kWh au niveau du transformateur TA1.....	15
IV.3. Constats et plans d'actions immédiats .....	19
IV.4. Choix des appareils concernés par l'audit approfondi.....	19
V. Audit sur les appareils choisis .....	20
V.1. Audit du système de climatisation.....	20
V.2. L'enveloppe des bâtiments .....	24
V.3. Audit sur le système d'éclairage.....	33
V.4. Evaluation financière.....	39
VI. Conclusion et recommandations .....	43

VII. Bibliographie.....	44
VIII. ANNEXES .....	45



## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte de la Situation Géographique de la SOMAIR.....	2
Figure 2: Profil de la consommation électrique de la société .....	14
Figure 3: Profil de la consommation du gasoil de la société.....	15
Figure 4 : Profil de consommation énergétique des équipements alimentés par le transformateur TA1 .....	16
Figure 5 : Répartition de la consommation énergétique par poste .....	18
Figure 6 : Schéma illustratif du fonctionnement d'un climatiseur.....	20
Figure 7 : Répartition des déperditions dans un local non isolé [5].....	24
Figure 8: Plan du bureau .....	25
Figure 9 : Critères de confort visuel [3] .....	35
Figure 10 : Niveau d'éclairage moyen en fonction de services [2] .....	35

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques des climatiseurs existants .....	7
Tableau 2 : Caractéristiques des systèmes de bureautique existants.....	8
Tableau 3 : Les machines électriques existantes .....	9
Tableau 4 : Caractéristiques des Lampes et luminaires existants .....	9
Tableau 5 : Consommation énergétique des équipements alimentés par le transformateur ...	14
Tableau 6 : Consommation énergétique des équipements alimentés par le transformateur ...	15
Tableau 7 : Consommation énergétique des différents systèmes.....	17
Tableau 8: Anomalies et plans d'actions .....	19
Tableau 9 : Détermination du coefficient de performance des climatiseurs .....	21
Tableau 10: Coefficient de performance des climatiseurs[2].....	22
Tableau 11 : Bilan thermique du local .....	27
Tableau 12 : Comparaison des différents types d'isolation des bâtiments[1].....	28
Tableau 13 : Les différents types d'isolants existants [5] .....	29
Tableau 14 : Caractéristiques de la laine de chanvre [4].....	30
Tableau 15 : Bilan thermique après isolation du local .....	31

## I. Introduction

Face à une croissance du prix et de la demande d'énergie à laquelle s'ajoute la raréfaction des énergies fossiles, l'optimisation de l'énergie s'avère nécessaire dans le domaine tertiaire et industriel. Aussi, les enjeux actuels de réduction de l'empreinte environnementale des activités humaines ont placé l'efficacité au cœur de plusieurs études scientifiques.

Dans cette optique, la SOMAIR a mis en place une politique de performance énergétique qui consiste à inspecter et auditer les différents pôles de gaspillage d'énergie sur toute la zone de production. Pour y arriver, un audit secteur par secteur sera réalisé afin d'identifier les possibilités de rationaliser l'utilisation de l'énergie. L'étude portera sur l'audit énergétique de la zone alimentée par le poste de transformation « TA1 ».

L'audit doit permettre à partir des analyses des données disponibles sur le site de dresser une première évaluation des gisements d'économies d'énergie envisageables. Il est question ensuite de proposer des mesures d'amélioration en tenant compte du confort en milieu de travail.

Après la présentation de l'entreprise et la méthodologie de l'audit, une analyse des données collectées sera effectuée afin de ressortir les potentiels d'économie d'énergie. Il est question ensuite de chiffrer les économies réalisables et d'établir enfin le calcul financier.

## II. Description de l'existant

### II.1. L'ENTREPRISE

#### Situation géographique

La Société de Mine de l'Air (SOMAÏR) dont le siège social est à Niamey la capitale du Niger est située au nord du pays à environ 250 Km de la région d'Agadez. Ses activités industrielles s'étendent sur une superficie de plusieurs hectares au nord-ouest de la ville d'Arlit.



Figure 1 : Carte de la Situation Géographique de la SOMAÏR

#### Historique

**1er Février 1968** : Création de la SOMAÏR ;

**1968** : Amodiation du périmètre Arlette à SOMAÏR;

**1971** : Production du premier lot d'Uranate de soude ;

**1972** : Démarrage première phase de la LIXI ;

**1986** : Sous amodiation du périmètre de Tassa N'Taghalgué ;

**1994** : Prolongation de convention de longue durée jusqu'au 31 décembre 2003 ;

**1995** : Amodiation (transfert du droit d'exploitation) par COGEMA (devenu AREVA) à SOMAÏR du patrimoine minier de la Société Minière de Tassa N'Taghalgué (SMTT) ;

**1999** : Engagement dans la mise en place d'un système de Management Environnemental ;

**2001** : Signature de la convention minière pour 2004 à 2013 ;

**2002** : Obtention de la certification AFAQ ISO 14001 (version 1996, gestion durable et protection de l'environnement) ;

**2005** : Obtention de la certification ISO 14001 (version 2004) ;

- 2005** : Démarrage du projet de traitement de minerai par lixiviation en tas (projet LIXI)
- 2006** : Obtention de la conformité de l'étude d'impact environnemental Artois et Tabellé ;
- 2006-2008** : 26 mois consécutifs d'activité sans accident de travail avec arrêt ;
- 2009** : Redémarrage des installations de lixiviation en tas (investissement de 70 M€) pour traiter les minerais à faible teneur (moins de 1 kg d'uranium par tonne de roche) ;
- 2009** : Obtention de la certification OHSAS 18001 de la SOMAÏR ;
- 2010** : Objectif de production de 2620 tonnes ;
- 2 Juin 2012** : Enfûtage du 3000 ème lot de YELLOW CAKE ;
- 2012** : Année de production maximale de 3064 tonnes d'uranium ;
- 2014** : 12 mois consécutifs d'activité sans accident de travail avec arrêt.

### **Les Actionnaires de la SOMAÏR**

La SOMAÏR est une société anonyme de droit nigérien au capital de **4.348.885.000** FCFA dont le siège et la direction générale se trouvent à Niamey. Elle exploite des gisements à ciel ouvert dans le Sahara à Arlit. Son objet principal est l'extraction de l'uranium. Les principaux actionnaires sont :

- ❖ AREVA (Avant COGEMA : Compagnie Générale des Matières nucléaire) : 63,4%.
- ❖ La SOPAMINE : Société des Patrimoines Miniers du Niger (Avant ONAREM : Office National des Ressources Minières du Niger) : 36,6%.

L'effectif total de la SOMAÏR est de 1200 collaborateurs à 99 % composé de nigériens. La sous-traitance de la SOMAÏR est composée de 37 entreprises locales.

### **L'exploitation**

L'extraction du minerai se fait dans des mines de profondeur variant de 40 à 80m. Après exploitation des gisements ARLETTE, ARIEGE, TAZA, TAKRIZA et TAMOU, la SOMAIR exploite actuellement le gisement de TAZA Nord, ARTOIS et TAMGAK. L'exploitation comprend une phase de découverte réalisée par l'abattage des morts terrains et la phase de tranche minière au cours de laquelle se fait l'exploitation du minerai.

### **Le Traitement de minerai**

Le traitement comprend :

- **Une phase de préparation mécanique (concassage et broyage) :**

**Le concassage** : L'opération se fait dans un concasseur giratoire qui réduit les blocs de minerai à une taille comprise entre 0 et 300 mm. Le minerai concassé est ensuite entreposé sur une dalle bétonnée dans laquelle sont aménagées deux rangées de douze alvéoles

chacune. Le minerai est extrais de ces alvéoles au cours du mouvement de translation d'un extracteur à socs. Le minerai ainsi extrait est transporté par deux convoyeurs en série qui alimentent une trémie tampon.

**Le broyage :** Cette chaine a pour but de transformer le minerai venant de la trémie tampon (100 tonnes) d'une granulométrie de 300 mm à environ 600 microns. Pour cela, deux broyeurs sont utilisés dont un semi autogène et le deuxième à boulets. Le minerai concassé n'étant pas sec (environ 6% d'humidité), l'opération de broyage se fait simultanément avec une opération de séchage. Le débit sortie broyage étant supérieur à celui d'attaque, l'excédent du produit est stocké dans une deuxième trémie tampon d'une capacité de 300 tonnes.

- **Une phase d'attaque d'acide :**

Ce secteur a pour but la mise en solution de l'uranium contenu dans le minerai provenant du broyage. Ce minerai reçoit (dans un tube appelé imprégnateur) des pulvérisations séparées d'acide sulfurique concentré, un mélange d'acide nitrique et de nitrate et d'un appoint d'eau industrielle. Le minerai attaqué est mis en pulpe pour faciliter la récupération de sulfate d'uranyle par une option de floculation.

- **Une phase de séparation solide-liquide sur le filtre à bande :**

La pulpe est déversée sur trois filtres. La filtration est assurée par des pompes à vide qui aspirent à travers la partie inférieure du brin porteur de toile le jus uranifère. L'opération de filtration comporte une phase d'essorage pulpe, une phase de lavage gâteau et enfin une phase d'essorage gâteau.

- **Une phase d'extraction par solvants et de précipitation de l'uranate de soude :**

L'extraction par solvants se fait à contre-courant avec le jus filtré. Une précipitation est effectuée pour purifier l'uranium provenant des solvants. Cette étape consiste à :

- ✓ Précipiter l'uranium pour le concentrer à environ 69% ;
- ✓ Le laver pour éliminer le Molybdène contenu dans le jus d'imprégnation ;
- ✓ L'hydrolyse à un pH de 3,00 pour libérer le zirconium contenu dans le précipité.

- **Une phase de production d'acide sulfurique :**

La SOMAÏR produit l'acide sulfurique nécessaire au traitement à partir du soufre importé qui subit une fusion, une combustion, une conversion dans la caisse à catalyse et enfin une

absorption pour la production du H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

## II.2. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL (VOIR ORGANIGRAMME ANNEXE2)

Le Département Projets et Travaux Industriels a pour mission principale d'apporter aux entités opérationnelles, le support nécessaire et adapté en vue de l'atteinte de leurs objectifs (sécurité - qualité – coût – délais).

La mission s'articule autour de :

- Pilotage de la mise en œuvre des projets d'amélioration et de modification,
- Gestion de l'évolution des documents et standards techniques du site,
- Mener les activités de maintenance mécanique et de chaudronnerie,
- Production et distribution des utilités (eau potable, eau industrielle, électricité, air comprimé, mélange huile usée/gasoil),
- Entretien (mécanique et électrique) des installations de production et de distribution,
- Réparation et d'entretien des équipements électroniques.

La structure est subdivisée en divisions suivantes :

❖ **Division Projet Industriels (DPI) :** Elle a pour mission de

- Piloter la mise en œuvre des projets d'amélioration et de modification des installations existantes ainsi que des projets de construction d'éventuelles installations nouvelles (études et réalisation en interne ou sous-traitée)
- Présenter les propositions de révision des standards techniques
- Assurer la tenue à jour et de la mise à disposition des documents techniques du site : Plans, PID, Isos, notes de calcul
- Veiller au respect de la méthodologie de gestion d'un projet de la phase APS à la phase réception par le client (incluant le pré-commissioning et les levées de réserves)
- Veiller au respect des coûts, des délais et de l'atteinte des fonctions attendues dans le respect des standards sécurités, techniques et qualités de la société et des réglementations applicables.

❖ **Division Utilités Industrielles(DUI) :** Elle assure les activités de production/distribution d'utilités (Electricité, eau potable et industrielle, air comprimé, gasoil, huiles usées) et de maintenance des installations ZI (hors usine).

La division est composée des sections suivantes :

- Section production et distribution qui est chargée de la production et de la distribution de l'énergie (électricité, air comprimé), de l'eau (potable et industrielle) et huiles usées traitées.
- Section Mécanique centrale qui se charge de l'entretien des équipements (groupes diesel et leurs annexes) de la centrale électrique.
- Section Electromécanique et Froid ZI : Elle assure en zone industrielle l'entretien des moteurs électriques, des équipements de froid, des postes à souder (partie électrique), des pompes immergées et des outils à main à base de moteurs universels.
- Section Electricité BT ZI : Elle est en charge de l'entretien des équipements et appareillages électriques en ZI (hors usine) et Carrière.
- Section Electronique / Radiométrie : Elle est en charge du dépannage, de l'entretien et le suivi de tout appareil électronique, Elle est également en charge de la téléphonie et assure l'interface avec les opérateurs téléphoniques pour la gestion de la flotte. Elle assure pour la Mine l'entretien du portique minéral.

#### ❖ **Division Travaux industriels (DTI)**

La division Travaux Industriels (DTI) est en charge des activités d'entretien et de reconditionnement des sous-ensembles mécaniques d'usine, de la carrière et installations de la zone urbaine. La division DTI regroupe les sections suivantes :

- Section Chaudronnerie Générale qui s'occupe de tous les travaux de soudures et réparations sur les installations annexes. Elle assure également l'entretien et la réparation des réseaux eaux en ZI et ZU, Elle peut être sollicitée en cas de besoin pour participer aux travaux d'arrêts programmés à l'atelier Contact, à l'usine et à la Lixi.
- Section Bureau d'Etudes et Méthode pour la réalisation des études pour tous projets et modifications, l'établissement de planning des études et de leurs avancements, la gestion des documents techniques du site (plans, schémas, note de calculs, standards techniques), la gestion des masters PID de l'usine, le suivi des équipements électriques et électroniques en ZI. Au niveau de la carrière et ZU elle s'occupe de la préparation de travaux programmés, planification (entretien préventif) des installations annexes en ZI et ZU, le suivi de la disponibilité des pièces de rechange nécessaires à l'entretien des équipements par une planification pertinente des commandes en rapport avec le service chargé des approvisionnements, la planification et le suivi de mise en



conformité de toutes les installations électriques de la ZI, carrière et ZU suivant les recommandations APAVE, la tenue à jour des schémas électriques, dossiers des équipements électriques, plans de récolement de tout le site, documentations technique, l'analyse et le suivi des coûts des projets et activités de support (artisanats, autres), la gestion de l'évolution des standards techniques du site.

- Coordonnateur HSE qui se charge des activités relatives au SMI dans le DPTI ainsi que les actions de qualité, de progrès et d'amélioration.

### II.3. L'AIRE DE L'AUDIT

La zone à auditer est celle alimentée par le transformateur TA1 qui a une puissance de 500 kVA. Elle comporte deux secteurs constitués comme suit :

- Secteur 1 (Atelier en U) : il est composé de l'atelier entretien usine, de l'atelier machine-outil, la mécanique générale, de l'électromécanique, de l'atelier électricité et des vestiaires ;
- Secteur 2 : il comporte le laboratoire, le service du personnel, l'ancienne direction, la géologie et l'instrumentation.

### II.4. MATERIELS

La visite sur le site a permis de dresser la liste des équipements et systèmes consommateurs d'énergie sur la zone d'étude. Les systèmes rencontrés sont essentiellement l'éclairage, la climatisation, la bureautique et les machines électriques.

#### ❖ Système de climatisation

Tableau 1 : Caractéristiques des climatiseurs existants

Type de machine	Marque	Type de réfrigérant	Puissance Frigorifique (W)	Puissance électrique (W)	Quantité
Système Split	Airwell	R 410A	3 500	1 150	33
	Airwell		5 300	1 670	4
	Airwell		6 250	2 168	3
	Westpoint		3 500	1 500	41
	Westpoint		5 300	2 500	9
	Westpoint		6 250	3 000	2
Climatiseurs fenêtre	Airwell	R 22	3 200	1 300	2

❖ **Bureautique**

Tableau 2 : Caractéristiques des systèmes de bureautique existants

Model	Nombre	Puissance unitaire (W)	Puissance totale (W)
<b>Ordinateur</b>			
HP LE 1706w	2	250	500
HP LE 1908w	22	250	5500
HP LE 2008w	18	277	4986
HP LE 2207h	8	305	2440
Lenovo 22"	16	305	4880
Lenovo 24"	8	305	2440
<b>Total</b>			20 746
<b>Imprimante</b>			
HP Laser Jet P3015	7	780	5460
HP Laser Jet 600M602	5	820	4100
HP Laser Jet 4515n	1	910	910
HP Laser Jet 3005n	7	600	4200
HP Laser Jet 4250n	2	680	1360
HP Laser Jet 4700n	1	567	567
HP laser Jet 2420n	1	625	625
HP Color laser Jet CM 540MFP	2	440	880
HP Office Jet Pro 8500A	3	40	120
HP Office Jet Pro X476 dwMFP	5	100	500
hp photosmart 5522	1	15	15
<b>Total</b>			18 737
<b>Scanner</b>			
HP Scann Jet N6350	3	60	180
HP Scann Jet 5590P	5	36	180
<b>Total</b>			360
<b>Photocopieuse</b>			
Sharp AR-M236	1	1200	1 200

### ❖ Machines électriques

Tableau 3 : Les machines électriques existantes

Type de machines	Quantité	Puissance (kW)
<b>Perceuse</b>	6	2,8
<b>Tronçonneuse</b>	1	
<b>Meuleuse</b>	8	0,73
<b>Coupe-joint</b>	1	
<b>Tour à bobiner</b>	1	0,75
<b>Four à bobinage</b>	1	1,85
<b>Potence</b>	3	2
<b>Fraiseuse</b>	3	9
<b>Enfûteuse</b>	2	1
<b>Tour sculpt fort</b>	1	22
<b>Tour</b>	2	3
<b>Tour Jupiter</b>	1	18
<b>Ventilateurs</b>	3	0,18
<b>Pont roulant</b>	3	
<b>Scie mécanique</b>	1	3
<b>Presse hydraulique</b>	1	4,04
<b>Chauffe eau</b>	2	3
<b>Extracteurs</b>	5	0,18

### ❖ Système d'éclairage

Tableau 4 : Caractéristiques des Lampes et luminaires existants

Culot du luminaire	Type de lampe	Type de ballast	Puissance nominale (W)	Flux (lm)	Durée de vie (heures)	Quantité
<b>T8/ 1,20</b>	Fluorescente	électromagnétique	36	3 350	1 000	568
<b>T8/0,6</b>	Fluorescente	électromagnétique	18	1 350	1 000	12
<b>Projecteur</b>	Halogène	-	1000	14 000		3
<b>E 27</b>	Incandescente	-	40	3 500	1 000	21
<b>E 40</b>	Incandescente	-	250	14 000		5

## II.5. CONTRAINTES DE L'ETUDE

- L'accès à certaines informations est difficile. Il s'agit ici des plans architecturaux des bâtiments et des factures électriques qui sont inaccessibles pour des raisons de sécurité ;
- Le manque de certains appareils tels que le luxmètre, l'analyseur de puissance, le thermomètre constitue l'une des principales faiblesses de l'étude.
- L'âge de plusieurs machines fait que certaines caractéristiques manquent ainsi que leurs fiches techniques.

### III. Méthode de l'audit énergétique

L'audit énergétique consiste à diagnostiquer la consommation d'énergie au sein de l'entreprise afin d'évaluer la performance énergétique, d'analyser les anomalies et de proposer des actions d'amélioration. Pour cela les phases du processus d'audit peuvent être résumées en trois grandes parties qui sont la phase de visite préliminaire sur le site, la phase d'audit préliminaire et la phase d'audit approfondi.

#### ❖ Visite préliminaire sur le site

La première visite permettra d'effectuer une inspection visuelle du site afin de juger de l'opportunité d'un audit. A cette étape, une première idée est faite sur les équipements et matériels existants ainsi que les opérations effectuées sur les lieux.

#### ❖ Audit préliminaire

Après la visite du site, la présente étape consiste à collecter les données afin de réaliser les calculs suivants :

- Evaluation des données sur les consommations énergétiques de la société ;
- Répartition de la consommation d'énergie par postes : A partir des données collectées, une estimation théorique de la consommation ainsi que du temps de fonctionnement des équipements est faite pour déterminer les postes énergivores.
- Analyse des insuffisances et anomalies sur les installations ;
- Proposition des plans d'action immédiats ;
- Choix des équipements et matériels qui feront l'objet de l'audit approfondi.

#### ❖ Audit approfondi

Cette phase concerne les équipements et systèmes choisis pour une étude plus poussée sur l'optimisation de leur fonctionnement. La méthodologie appliquée à chaque système est la suivante :

- **Description du système**

Il est question de donner les détails sur le système. Les tableaux en annexe 3, 4 et 5 donnent les caractéristiques des différents systèmes.

- **Détermination des consommations actuelles**

Le calcul de la consommation énergétique due au système se fera suivant la formule suivante :

$$E = \sum (P_i \times t_i)$$

Avec

$E_1$  : Consommation actuelle en kWh

$P_i$  : Puissance des climatiseurs

$t_i$  : Temps de fonctionnement

Le calcul du temps de fonctionnement tient compte du niveau de sollicitation et du coefficient de simultanéité des équipements. Il est obtenu à travers la formule suivante :

$$t_i = (52 \times n_j \times n_h) \times C_s \times K_s$$

Avec :

$n_j$  : Nombre de jours de fonctionnement de l'équipement par semaine ;

$n_h$  : Nombre d'heures de fonctionnement de l'équipement par jour ;

$C_s$  : Niveau de sollicitation de l'équipement ;

$K_s$  : Coefficient de simultanéité.

### Diagnostic

Dans cette partie, des calculs sont effectués pour déterminer la performance des systèmes.

Il s'agit de déterminer pour les systèmes de climatisation le coefficient de performance des machines, l'efficacité des lampes pour le système d'éclairage.

Pour l'enveloppe des locaux, le diagnostic consiste à effectuer le bilan thermique d'un bureau et d'étendre le calcul sur les autres bâtiments. La méthode utilisée est la méthode détaillée (Voir Annexe 8) qui prend compte du mois le plus chaud, de l'heure où l'ensoleillement est maximal et de la localisation du local.

- **Mesures d'optimisation**

Il est question ici de proposer les mesures d'optimisation à mettre en œuvres pour améliorer le fonctionnement des systèmes.

- **Calcul de la consommation après optimisation**

Après les mesures d'optimisation, la consommation énergétique due au système de climatisation est obtenue suivant la formule :

$$E' = \sum(P_i' \times t_i')$$

Avec

$E'$  : Consommation après optimisation en kWh

$P_i'$  : Puissance des machines après optimisation

$t_i'$  : Temps de fonctionnement des machines après optimisation

- **Calcul des économies réalisées**

Le gain en énergie s'obtient en faisant la différence entre la consommation avant

l'optimisation et la consommation après optimisation d'où la formule suivante :

$$\Delta E = E - E'$$

Avec

$\Delta E$  : Énergie économisée

E : Consommation avant optimisation

E' : Consommation après optimisation

- **Evaluation financière**

Après avoir calculé la consommation énergétique actuelle et la consommation énergétique après les mesures d'optimisation, on passe aux calculs des économies réalisables. Ses économies doivent enfin être chiffrées sous forme financière à travers les calculs suivants :

- Gain financier sur la consommation réduite donné par la formule suivante :

$$Gf = \text{Prix du kWh} \times \Delta E$$

- Investissement pour la rénovation (Devis estimatif) ;
- Coût de fonctionnement du système rénové ;
- Coût de la maintenance ;
- Temps de retour sur investissement calculé suivant la formule :

$$\text{Temps de retour} = \frac{\text{Coût d'investissement} + \text{Coût maintenance}}{\text{Economie annuelle}}$$

## IV. Diagnostics préliminaires et choix des appareils concernés par l’audit approfondi

### IV.1. EVALUATIONS DE LA CONSOMMATION ENERGETIQUE

Le tableau suivant nous donne les relevés sur l’énergie produite et celle consommée sur trois ans.

Tableau 5 : Consommation énergétique des équipements alimentés par le transformateur TA1

Mois	Fourniture SONICHAR en kWh			Production Centrale en kWh			Consommation gasoil en litre		
	2014	2015	2016	2014	2015	2016	2014	2015	2016
Janvier	1 311 312	1 773 657	1 941 494	547 100	105 200	1 004 000	142 000	21 000	265 000
Février	3 756 627	2 828 256	4 089 177	201 200	1 186 600	23 500	68 000	319 000	6 000
Mars	4 849 916	4 039 554	4 330 783	18 900	65 000	47 000	6 000	28 000	9 000
Avril	5 931 613	5 178 578	4 011 963	93 500	29 000	45 000	29 653	6 000	14 000
Mai	5 504 411	5 343 839	4 470 398	200 200	474 300	1 161 300	52 000	131 000	330 000
Juin	6 866 381	6 422 549	4 932 268	112 500	1 065 400	2 497 600	33 000	262 000	692 000
Juillet	4 335 726	4 062 995	3 770 514	681 600	832 200	1 133 000	201 000	274 000	347 000
Août	5 071 770	5 170 645	4 011 677	286 400	60 500	2 164 400	85 000	23 000	606 000
Septembre	5 479 791	5 096 920	4 999 542	53 600	552 300	1 452 600	17 000	148 000	399 856
Octobre	4 748 818	4 980 577	4 160 097	263 500	910 700	1 502 900	71 000	262 200	418 000
Novembre	4 041 502	4 302 832	4 055 354	565 500	880 200	1 002 400	163 000	227 900	252 000
Décembre	2 662 102	3 314 826	4 232 413	937 500	1 951 300	1 167 900	255 000	553 000	324 000
<b>TOTAL</b>	<b>54 559 969</b>	<b>52 515 228</b>	<b>49 005 680</b>	<b>3 961 500</b>	<b>8 112 700</b>	<b>13 201 600</b>	<b>1 122 653</b>	<b>2 255 756</b>	<b>3 662 856</b>

### Profil de la consommation électrique

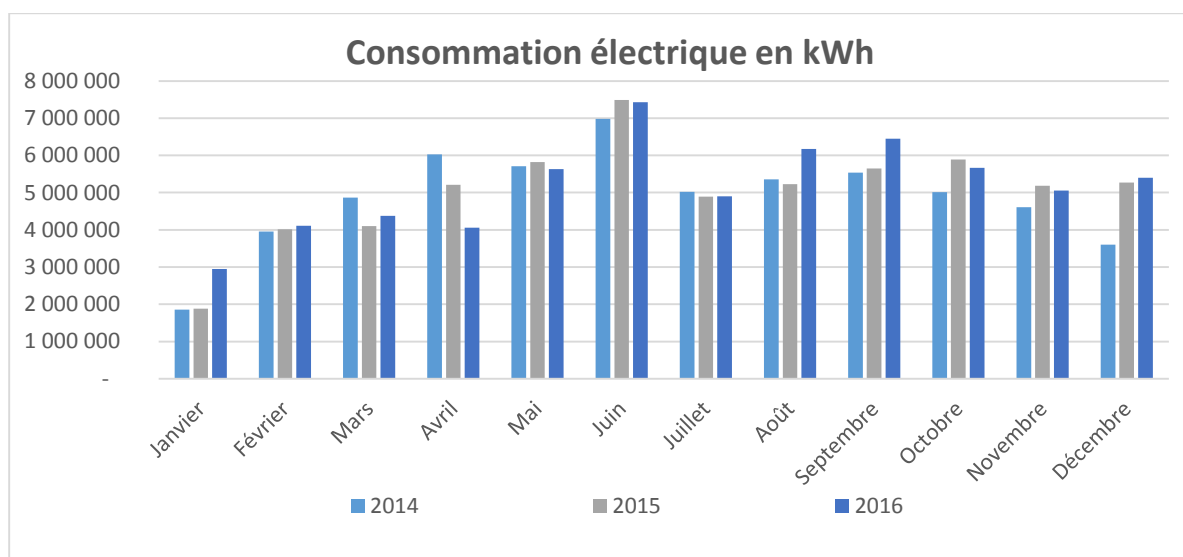


Figure 2: Profil de la consommation électrique de la société



### Profil de la consommation du gasoil

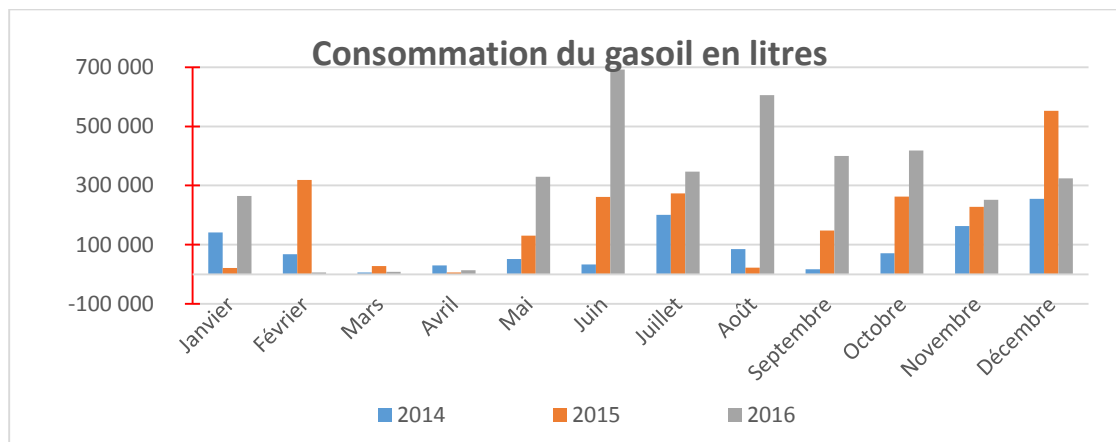


Figure 3: Profil de la consommation du gasoil de la société

#### Analyse :

La consommation électrique annuelle augmente considérablement de 2014 à 2016. Le mois de plus forte consommation est celui de Juin. Aussi les faibles productions sont enregistrées pendant le mois de Janvier qui correspond à la période froide de l'année. Concernant la consommation du gasoil, celle-ci a triplé de 2014 à 2016.

## IV.2. CONSOMMATION ENERGETIQUE EN KWH AU NIVEAU DU TRANSFORMATEUR TA1

Tableau 6 : Consommation énergétique des équipements alimentés par le transformateur TA1

	2014	2015	2016
<b>Janvier</b>	34 065	29 228	27 428
<b>Février</b>	44 775	46 478	36 143
<b>Mars</b>	52 920	48 225	48 188
<b>Avril</b>	76 133	58 260	73 208
<b>Mai</b>	86 730	79 185	85 005
<b>Juin</b>	<b>118 680</b>	<b>104 963</b>	<b>95 933</b>
<b>Juillet</b>	76 223	63 338	59 063
<b>Août</b>	85 200	75 728	74 970
<b>Septembre</b>	89 918	76 013	71 738
<b>Octobre</b>	74 775	75 540	72 698
<b>Novembre</b>	64 943	52 433	54 593
<b>Décembre</b>	49 020	40 635	51 690
<b>TOTAL (kWh)</b>	<b>853 382</b>	<b>750 026</b>	<b>750 657</b>

### Profil de consommation énergétique de la zone d'étude

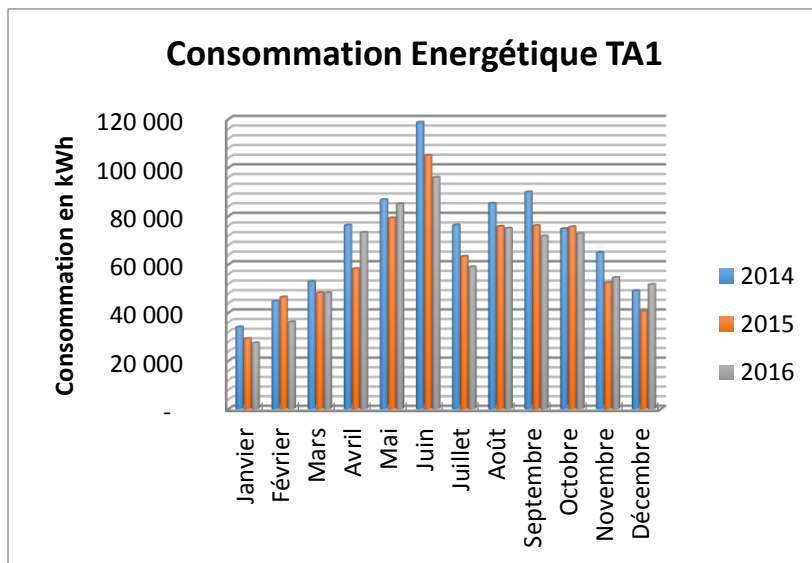


Figure 4 : Profil de consommation énergétique des équipements alimentés par le transformateur TA1

#### Analyses :

On constate que la consommation totale est maximale en 2014. Ceci est dû au fait que certains bâtiments alimentés par le transformateur ont été supprimés en fin 2014. On remarque par ailleurs des faibles consommations durant le mois de janvier et des consommations trois fois plus grande durant le mois de Juin qui correspond aussi au mois où la température moyenne est maximale. Cette consommation est due à une forte demande des systèmes de climatisation utilisés en période de chaleur.

## Calcul de la consommation énergétique par postes

Pour ces calculs, la puissance et le temps de fonctionnement des équipements ont été estimé théoriquement.

Tableau 7 : Consommation énergétique des différents systèmes

	Puissance totale (kW)	Temps de fonctionnement (heure/an)	Consommation totale (kWh)
<b>Climatisation</b>			
Bureau sans équipements électroniques	96,996	1960	190 112,16
Bureau avec équipements électroniques	46,738	8736	408 303,168
<b>Total climatisation</b>			<b>598 415,328</b>
<b>Equipements bureautique</b>			
Imprimante	18,737	735	13 771,7
Scanner	0,36	245	88,2
Ordinateur	20,746	1960	40 662,16
Photocopieur	1,2	980	1 176
<b>Total bureautique</b>			<b>55 698,055</b>
<b>Eclairage</b>			
Eclairage intérieur	24,112	1960	47 259,52
Eclairage extérieur	6,39	4015	25 655,85
<b>Total éclairage</b>			<b>72915,37</b>
Machines électriques	131,72	1225	161 357

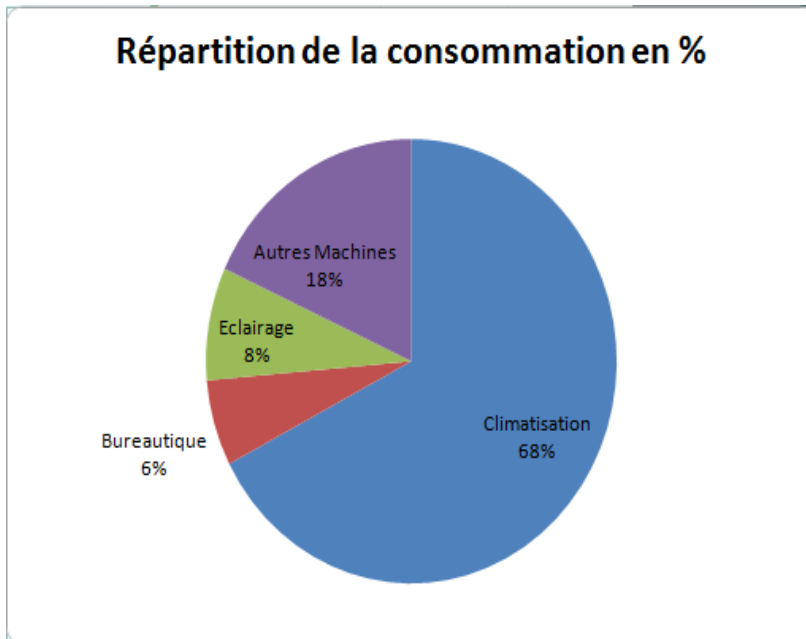
**Répartition de la consommation énergétique en %**

Figure 5 : Répartition de la consommation énergétique par poste

**Remarques :** Le système de climatisation est le plus grand poste de consommation d'énergie car il représente à lui seul 68% de la consommation totale. Le poste qui suit est celui des machines électriques. Ces dernières ont de grandes puissances mais la faible consommation pourrait être due à leur faible temps de fonctionnement au cours de l'année.

### IV.3. CONSTATS ET PLANS D' ACTIONS IMMEDIATS

Tableau 8: Anomalies et plans d'actions

<b>Systèmes/ Equipements</b>	<b>Constats</b>	<b>Plans d'actions immédiats</b>
<b>Système d'éclairage</b>	Certains luminaires ne sont plus fonctionnels et entraîne une insuffisance d'éclairage	Remplacement des luminaires
	Les lampes restent allumées même en présence de la lumière naturelle	Sensibiliser les utilisateurs à éteindre les lampes lorsque la lumière naturelle est satisfaisante
<b>Système de climatisation</b>	Trop de renouvellement d'air dans certains locaux	Installer des retours (rappels) de portes
	Les climatiseurs allumés même quand le bureau n'est pas occupé	Installation des prises programmables
	Un surdimensionnement de la climatisation dans certains locaux	Revoir le dimensionnement des climatiseurs
	Certaines marques de climatiseurs sont énergivores	En cas de renouvellement de ces climatiseurs, il faudrait commander d'autres plus économiques (moins énergivores)
	La majorité des bâtiments n'ont pas d'isolation thermique	Prévoir l'isolation thermique dans les nouveaux bâtiments
<b>Système de bureautique</b>	La plupart des machines sont en mode veille en dehors des heures de service.	Sensibiliser les utilisateurs à arrêter les machines à la descente. Ceci permettra de réduire la consommation des bureautiques
<b>Machines électriques</b>	Plus de la moitié des machines sont vieilles et les moteurs ont dû être rebobinés ou remplacés	Limiter le nombre de rebobinage car à chaque rebobinage le moteur perd en rendement.
	Les chauffe eaux sont fonctionnels même dans les périodes de haute température	Arrêter les chauffe eau en dehors des saisons froides

### IV.4. CHOIX DES APPAREILS CONCERNES PAR L'AUDIT APPROFONDI

A la lumière des recensements et des analyses, il ressort que les équipements de bureautiques ne consomment pas trop et ont une bonne efficacité. Concernant les machines électriques, l'absence de plusieurs informations sur leurs caractéristiques constitue une contrainte pour leur audit approfondi. De ce fait l'audit approfondi sera axé sur le système de climatisation et celui d'éclairage. Une étude de l'impact de l'isolation thermique des locaux sera faite pour améliorer l'efficacité de l'enveloppe.

## V. Audit sur les appareils choisis

### V.1. AUDIT DU SYSTEME DE CLIMATISATION

#### Généralités

Le climatiseur de local est prévu pour extraire la chaleur des locaux et la rejeter à l'extérieur.

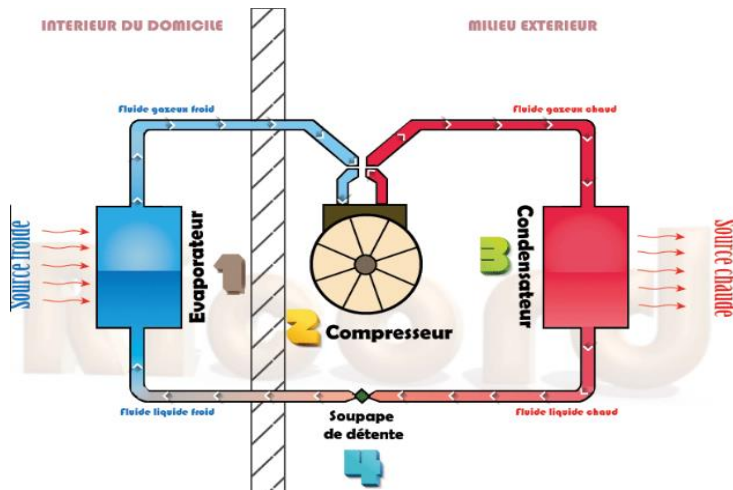


Figure 6 : Schéma illustratif du fonctionnement d'un climatiseur

Le fonctionnement d'un climatiseur est basé sur le changement de phase d'un fluide frigorigène :

- Dans l'évaporateur, le fluide capte la chaleur dans l'air du local et s'évapore ;
- Dans le condenseur, le fluide redevient liquide car il est refroidi par l'air extérieur.

#### Calcul de la consommation annuelle actuelle

##### **Estimation du temps de fonctionnement des machines**

- **Cas des locaux sans machines électroniques**

Dans ces locaux le temps de fonctionnement est de 5 jours par semaine à raison de 8 h/jour.

Notons par ailleurs que le niveau de sollicitation de la climatisation varie au cours de l'année en fonction de trois périodes. Ce sont :

Période	Niveau de sollicitation (%)
Période Froide	10
Période intermédiaire	97,5
Période chaude	100

L'estimation du nombre de jours fériés par année est de 15 jours. Avec un niveau de sollicitation moyen de 69 % et un coefficient de simultanéité de 0,9 le nombre d'heures de

fonctionnement par an de la climatisation s'élève à :

$$T_f = ((52 * 5 * 8) - (15 * 8)) * 0,69 * 0,9 = 1\ 059 \text{ heures}$$

$$T_f = 1\ 059 \text{ heures}$$

- **Cas des locaux ayant des machines électriques**

Dans ces locaux la variation du niveau de sollicitation est le suivant :

Période	Niveau de sollicitation (%)
Période Froide	80
Période intermédiaire	100
Période chaude	100

Ceci représente une moyenne de 94 % par an et nous estimons un coefficient de simultanéité égale à 1.

$$T_f = (52 * 7 * 24) * 0,94 * 1 = 8\ 212 \text{ heures}$$

$$T_f = 8\ 212 \text{ heures}$$

Le tableau en Annexe 9 donne les détails de calcul sur tous les locaux.

La consommation totale annuelle due au système de climatisation est :

$$E = 498\ 182 \text{ kWh}$$

### Diagnostic

Le coefficient de performance des machines frigorifiques est défini par la formule suivante :

$$COP = \frac{\text{Puissance Frigorifique}}{\text{Puissance électrique}}$$

Tableau 9 : Détermination du coefficient de performance des climatiseurs

Type de machine	Marque	Puissance Frigorifique (W)	Puissance électrique (W)	COP
Système Split	Airwell	3 500	1 150	3,04
	Airwell	5 300	1 670	3,17
	Airwell	6 250	2 168	2,88
	Westpoint	3 500	1 500	2,33
	Westpoint	5 300	2 500	2,12
	Westpoint	6 250	3 000	2,08
Climatiseur fenêtre	Airwell	3 200	1 300	2,46

Le tableau ci-dessous nous donne le COP minimum recommandé par le standard ARI pour les différents types de climatiseurs :

Tableau 10: Coefficient de performance des climatiseurs[2]

Type de climatiseur	COP minimum recommandé (kWr/kWe)
Climatiseurs de fenêtre	2,8
Systèmes de Split :	
• Jusqu'à 4 kWr	2,8
• Supérieur à 4 kWr	3,0

### Analyses

- Les climatiseurs de type fenêtre ont un COP=2,46 un peu inférieur à 2,8 ;
- Les split de marque Westpoint ont un COP inférieur à 2,8 d'où la nécessité à ce niveau aussi de remplacer les climatiseurs ;
- Par contre les split de marque Airwell présentent des meilleurs COP.

### Mesures d'optimisation

- Il ressort que les split de type Airwell ont une consommation électrique inférieure à celle des split Westpoint pour une même puissance frigorifique et ont un meilleur coefficient de performance. La mesure à appliquer est de remplacer les split Westpoint et Windows par ceux de type split Airwell.
- Pour maintenir le temps de fonctionnement des climatiseurs à 8h par jour, il est prévu pour cela la mise en place d'horloges programmables. Ceci permettra le fonctionnement automatique des machines et celles-ci pourraient être arrêtées même en cas d'oubli de l'utilisateur.
- Assurer la maintenance des climatiseurs : Le secteur de la climatisation mentionne généralement que le manque d'entretien d'une petite installation de climatisation peut entraîner une surconsommation d'énergie de 25 à 30 % par rapport à une installation correctement entretenue. L'entretien des équipements du système de climatisation permet donc d'éviter une surconsommation d'énergie, mais il constitue également un élément clé pour atteindre les objectifs suivants :



- ❖ Assurer le bon fonctionnement des équipements et, par conséquent, diminuer la fréquence des pannes du système de climatisation
- ❖ Garantir la qualité du climat intérieur et le confort des personnes ;
- ❖ Allonger la « durée de vie » des équipements et limiter le budget alloué aux réparations et au remplacement des équipements défectueux.

### **Calcul de la consommation annuelle après optimisation**

Le calcul détaillé de la consommation est donné en Annexe 10. La consommation annuelle due au système de climatisation est de :

$$E'_1 = 394\,745 \text{ kWh}$$

### **Economie d'énergie réalisable**

$$\Delta E_1 = 498\,182 - 394\,745 = 103\,437 \text{ kWh}$$

$\Delta E_1 = 103\,437 \text{ kWh}$  Soit une économie de **21%** sur la consommation actuelle.

## V.2. L'ENVELOPPE DES BATIMENTS

### Généralités

L'enveloppe des bâtiments permet de créer un microclimat intérieur afin d'assurer le confort et la sécurité des occupants. Dans les locaux climatisés, l'enveloppe doit permettre une bonne isolation thermique afin de minimiser les apports de chaleur externe et ainsi réduire la consommation d'énergie. La figure ci-dessous donne des estimations sur les déperditions au niveau des différentes parois d'un local non isolé :

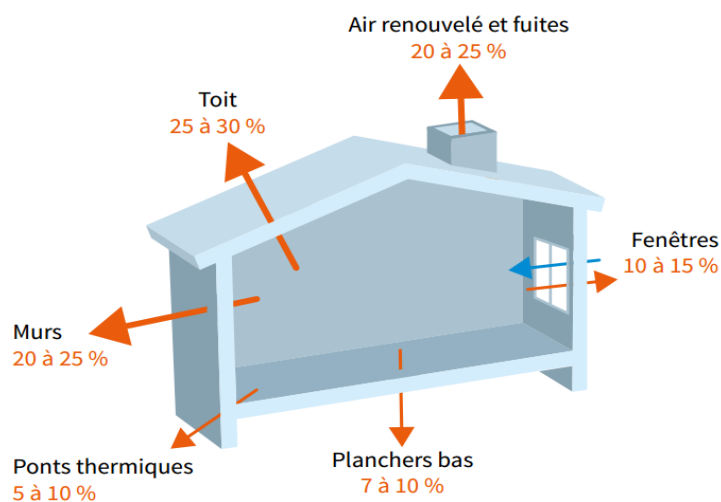


Figure 7 : Répartition des déperditions dans un local non isolé [5]

Dans la présente étude, nous sommes confrontés à des bâtiments sans isolation thermique et dans un climat tropical désertique. Par manque de plan et d'information sur les bâtiments, l'étude sera restreinte à un bureau et une estimation sur l'ensemble des autres bureaux sera faite.

## Etude technico-économique de l'isolation thermique : Cas du bureau 2 de la section électromécanique

### Plan du bureau

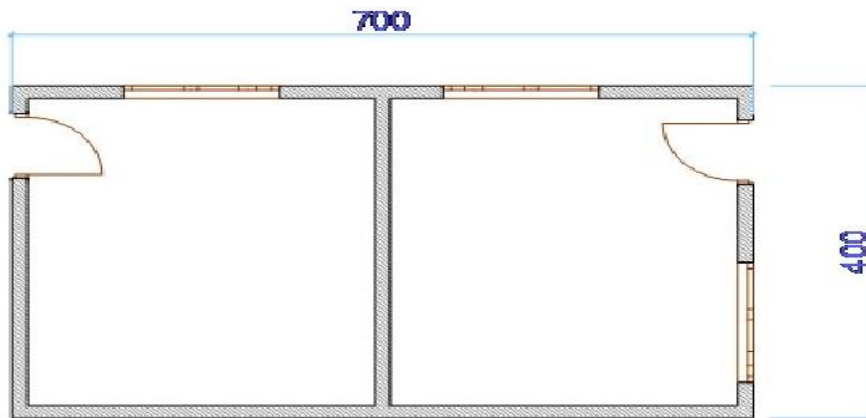


Figure 8: Plan du bureau

### Bilan thermique avant isolation

- **Base de données climatiques**

D'après les données du logiciel Retscreen, le mois de base le plus chaud est celui de Juin dans la localité. La paroi de notre local la plus exposée au soleil est la paroi Ouest.

	Température sèche (°C)	Humidité relative (%)	Humidité absolue (g/ kgas)
Extérieur	40,4	22	10,35
Intérieur	25	50	9.88

- **Caractéristiques du local et hypothèses de calcul**

- ❖ Les murs extérieurs sont en brique rouge creuse avec une épaisseur de 15 cm et de conductivité thermique 0,4 W/m.K. Ils sont recouverts d'enduit mortier de conductivité thermique 1,15 W/m.K et d'épaisseur 3 cm de chaque côté.

Les coefficients de convection utilisés pour les murs extérieurs sont respectivement à l'intérieur et à l'extérieur  $H_i=9 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$  et  $H_e=16,7 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$  (cf. Annexe 7). Les murs sont tous de couleur claire.

- ❖ Les murs intérieurs sont en brique creuse de 10 cm d'épaisseur avec enduit mortier extérieur et intérieur de 3 cm chacun.

Les coefficients de convection utilisés pour les murs intérieurs sont respectivement à l'intérieur et à l'extérieur  $H_i=9 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$  et  $H_e=9 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$  (cf. Annexe 7).

Pour le calcul des apports solaires, les murs sont de maçonnerie claire donc le

coefficient d'absorption serait pris égale à 0,6. Le facteur d'inertie des murs est  $F=0,9$  car les structures sont considérées moyennes.

- ❖ Les vitres sont de type vitrage simple avec menuiserie métallique de dimensions  $1m \times 1,5m$  et de 0,4 cm d'épaisseur. Le coefficient d'échange global est de  $5,8 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ .

Les vitres étant de teinte sombre, le facteur solaire est de 0,5. Le coefficient de correction  $F=1$  dû à l'absence des rideaux.

- ❖ La porte est en bois de dimensions  $0,8m \times 2,10m$  et d'épaisseur 3,2 cm. Le coefficient de convection est de  $3,36 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ . (cf Annexe 6)
- ❖ Le plafond est en béton coulé de 20 cm d'épaisseur de couleur intérieure blanche. Le coefficient global d'échange est de  $1.14 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ;
- ❖ Le plancher est en béton de sable recouvert par des carreaux ;
- ❖ Le débit d'air neuf à introduire est de  $18 \text{ m}^3/\text{h}/\text{personne}$  ;
- ❖ Le bureau est permanemment occupé par une seule personne ;
- ❖ L'appareil électrique existant est l'ordinateur de bureau de puissance 160 W ;
- ❖ L'éclairage est assuré par des lampes de type tube fluorescent de  $2 \times 36 \text{ W}$ .

- **Feuille de calcul**

Tableau 11 : Bilan thermique du local

Données	Longueur	Largeur	hauteur	Te	Ti	
	4 m	3,5 m	3 m	40,4 °C	25 °C	
	Hre	Hri		Heure	Mois	
	22%	50%		13 h	Juin	
Conduction	Murs	surface en m <sup>2</sup>	H	$\Delta T$	Gains	
	S (ou SO)	8,82	1,67	15,4	227,07	
	O (ou NO)	10,5	1,67	15,4	270,33	
	N (ou NE)	12	1,91	0	-	
	E (ou SE)	9	1,67	15,4	231,71	
	Plafond	14	1,14	15,4	245,78	
	Plancher	14	0	0	-	
	<b>Total des gains par conduction par les murs</b>					<b>974,89</b>
	Vitrages	surface en m <sup>2</sup>	H	$\Delta T$	Gains	
	S (ou SO)	1,5	5,8	15,4	133,98	
	O (ou NO)	0	0	0	-	
	N (ou NE)	0	0	0	-	
	E (ou SE)	1,5	5,8	15,4	133,98	
	<b>Total des gains de conduction par les fenêtres</b>					<b>267,96</b>
	Porte	1,68	3,36	15,4	<b>86,93</b>	
	Apports Solaires	Murs+portes closes	surface en m <sup>2</sup>	H	$\Delta T$ fictif	Gains
		S (ou SO)	0	0	0	-
O (ou NO)		10,5	1,67	19,548	343,14	
N (ou NE)		0		0	-	
E (ou SE)		0		0	-	
Toit		0		0	-	
<b>Total des apports solaires par les murs</b>					<b>343,14</b>	
Vitrages		surface en m <sup>2</sup>	g*F	G (Wm <sup>2</sup> )	Gains	
S (ou SO)		0	0	0	-	
O (ou NO)				0	-	
N (ou NE)		0	0	0	-	
E (ou SE)			0	-		
<b>Total des apports solaires par les fenêtres</b>					<b>-</b>	
<b>Apports internes sensibles et latents</b>						
Apports sensibles	Nature	quantité	facteurs	$\Delta T$	Gains	
	Occupants	1	62,64	1	62,64	
	Eclairage	2	45	1	90,00	
	divers Appareils	1	160	1	160,00	
	Renouvellement	18	0,34	14	84,99	
	<b>Total des gains sensibles internes</b>					<b>397,63</b>
Apports Latents	Nature	quantité	facteurs	$\Delta x$	Gains	
	Occupants	1	68,44	1	68,44	
	divers Appareils	0	0	0	-	
	Renouvellement	18	0,8236	0,47	6,97	
	<b>Total des gains latents</b>					<b>75,41</b>
<b>TOTAL DES GAINS DU LOCAL (W)</b>					<b>2 127,98</b>	

## Isolation des bâtiments

L'isolation thermique d'un bâtiment est le poste d'amélioration énergétique à traiter en priorité. Elle permet de réduire massivement les besoins, et donc les consommations, pour un coût raisonnable. [1]

### ❖ Choix du type d'isolation

Il existe trois types d'isolation des parois qui sont l'isolation par l'intérieur, l'isolation par l'extérieur et l'isolation répartie. Le tableau suivant nous donne les avantages et inconvénients de chaque type d'isolation :

Tableau 12 : Comparaison des différents types d'isolation des bâtiments [1]

Type d'isolation	Matériaux	Avantages	Inconvénients
<b>Isolation par l'intérieur</b>	- fibre minérale - fibre organique - polystyrène	coût réduit	Surcoût en rénovation (découpe, déplacement des radiateurs...) Réduit l'espace intérieur Prive de l'inertie thermique de la paroi Favorise les ponts thermiques et les points de condensation
<b>Isolation par l'extérieur</b>	- fibre minérale - fibre organique - polystyrène	Mise en œuvre rapide Permet de bénéficier de l'inertie thermique des parois Elimine les ponts thermiques	Coût élevé (dû entre autre à l'échafaudage) Manque de formation des professionnels, notamment pour les isolants organiques
<b>Isolation répartie</b>	- briques monomur - béton cellulaire - béton de pierre ponce	Evite l'ajout d'un isolant pour les éléments les plus épais Bonne inertie thermique Elimine les ponts thermiques	Coût élevé Manque de formation des professionnels Uniquement en neuf ou extension de surface

De cette comparaison, l'analyse pour les bâtiments existants montre que l'isolation par l'extérieur est la plus appropriée. Aussi les déperditions les plus importantes sont constatées au niveau du toit et des murs. L'isolation concernera ces deux parties du local.

### ❖ Choix du type d'isolant

Un bon isolant procure au bâtiment la performance thermique recherchée sans perdre ses qualités techniques dans le temps. Le tableau suivant nous donne les différents types d'isolant existants :

Tableau 13 : Les différents types d'isolants existants [5]

PRODUITS D'ISOLATION	CONDITIONNEMENT	USAGES LES PLUS FRÉQUENTS
<b>ISOLATION RÉPARTIE (PLUTÔT UTILISÉE EN NEUF)</b>		
Béton cellulaire	Blocs à coller, panneaux	Murs porteurs Planchers (sur vide sanitaire, intermédiaire, combles habitables)
Monomur de briques en terre cuite	Briques à maçonner ou à joints minces	Murs porteurs
<b>ISOLATION INTÉRIEURE OU EXTÉRIEURE</b>		
<b>ISOLANTS ISSUS DE L'INDUSTRIE PÉTROCHIMIQUE</b>		
Polystyrène expansé (PSE)	Panneaux	Planchers (terre-pleins, dallages, chapes flottantes) Murs (complexes de doublage, isolation par l'extérieur, bardage) Combles habitables (panneaux de toiture) et toitures-terrasses
	Entrevous	Planchers à entrevous et poutrelles béton ou treillis
Polystyrène extrudé (XPS)	Panneaux	Planchers et sols (terre-pleins), murs Combles habitables (panneaux de toiture, sarking) et toitures-terrasses
Polyuréthane (PUR)	Panneaux Projections	Toitures, toitures-terrasses, doublage des murs, planchers et sols Sous chapes, murs
<b>FIBRES ET ISOLANTS MINÉRAUX</b>		
Laines minérales, laine de roche et laine de verre	Rouleaux et panneaux Projections	Toitures, toitures-terrasses, combles perdus ou aménagés, cloisons, contre-cloisons, complexes de doublage et bardages Panneaux-sandwiches, planchers et dalles flottantes
Perlite expansée	Panneaux	Toitures-terrasses, murs
Verre cellulaire	Panneaux, blocs	Toitures-terrasses, murs
<b>ISOLANTS BIOSOURCÉS OU RECYCLÉS</b>		
Laine et fibre de bois	Panneaux	Planchers, combles, toitures, murs
Chanvre	Vrac, rouleaux, panneaux	Murs, toitures, sols
Béton de chanvre	Coulé sur chantier	Murs non porteurs (ossature bois)
Ouate de cellulose	Vrac, panneaux	Combles, planchers, toitures, murs
Laine de mouton	Rouleaux, vrac	Combles, toitures, planchers, murs et cloisons
Plumes de canard	Rouleaux	Entre éléments d'ossature horizontaux ou inclinés
	Panneaux	Entre éléments d'ossature verticaux
Liège expansé	Panneaux	Murs, combles, toitures, cloisons, planchers
Fibres de textile recyclé	Rouleaux, panneaux	Murs, combles, toitures, cloisons, planchers

Le choix est axé sur la laine chanvre qui fait partie des isolants bio-sources et dont les caractéristiques sont les suivantes :

Tableau 14 : Caractéristiques de la laine de chanvre [4]

	Laine de chanvre
Origine	Végétale
Utilisation	Plancher, toiture, mur
Avantages	Imputrescible (ne pourrit pas et donc excellente durabilité), antifongique (résistance naturelle aux champignons), antibactérien, et répulsif aux rongeurs et autres insectes nuisibles, absence de nocivité chimique dans le temps. Sa culture se pratique sans pesticide, herbicide ni engrais chimique (plante écologique).
Conditionnement	Rouleaux, Panneaux, Vrac
Prix du matériau	10-15 €/m <sup>2</sup>
Conductivité thermique	0,039-0,045 W/m.K
Renouvelable	Oui

### Bilan thermique après isolation

Le changement concerne les apports à travers les parois extérieures et la toiture.

Détermination du coefficient global d'échange des parois

- **Murs**

MURS EXTERIEURS		
He (W/m <sup>2</sup> . °C)	16,7	
Hi (W/m <sup>2</sup> . °C)	9	
<b>Composition</b>	Epaisseur (m)	Conductivité (W/m.K)
Brique creuse	0.1	0.4
Laine de Chanvre	0.23	0.039
enduits mortier	0.06	1.15

$$H = \frac{1}{\frac{1}{H_e} + \frac{1}{H_i} + \sum \frac{e_i}{\lambda_i}}$$

$$H = \frac{1}{\frac{1}{16,7} + \frac{1}{9} + \frac{0,1}{0,4} + \frac{0,23}{0,039} + \frac{0,06}{1,15}} = 0,157 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

- **Toiture**

$$H = \frac{1}{\frac{1}{1,14} + \frac{0,23}{0,039}} = 0,147 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$



## Feuille de calcul

Tableau 15 : Bilan thermique après isolation du local

<b>Données</b>	Longueur	Largeur	Hauteur	Te	Ti	
	4 m	3,5 m	3 m	40,4 °C	25 °C	
	Hre	Hri		heure	Mois	
	22%	50%		15 h	Juin	
<b>Conduction</b>	<b>Murs</b>	<b>surface. en m<sup>2</sup></b>	<b>H</b>	<b>ΔT</b>	<b>Gains</b>	
	S (ou SO)	8.82	0.15	15.4	20.91	
	O (ou NO)	10.5	0.15	15.4	24.89	
	N (ou NE)	12	0.16	0	-	
	E (ou SE)	9	0.15	15.4	21.34	
	<b>Plafond</b>	14	0,147	15.4	31,69	
	<b>Plancher</b>	14	0	0	-	
	<b>Total des gains par conduction par les murs</b>					<b>98,84</b>
	<b>Vitrages</b>	<b>surf. en m<sup>2</sup></b>	<b>H</b>	<b>ΔT</b>	<b>Gains</b>	
	S (ou SO)	1.5	5.8	15.4	133.98	
	O (ou NO)	0	0	0	-	
	N (ou NE)	0	0	0	-	
	E (ou SE)	1.5	5.8	15.4	133.98	
	<b>Total des gains de conduction par les fenêtres</b>					<b>267.96</b>
<b>Porte</b>	1.68	3.36	15.4	<b>86.93</b>		
<b>Apports Solaires</b>	<b>Murs+portes closes</b>	<b>surf en m<sup>2</sup></b>	<b>H</b>	<b>ΔT fictif</b>	<b>Gains</b>	
	S (ou SO)	0	2	18.81	-	
	O (ou NO)	10.5	0.15	19.548	31.60	
	N (ou NE)	0	2	9.315	-	
	E (ou SE)				-	
	toit			0	-	
	<b>Total des apports solaires par les murs</b>					<b>31.60</b>
	<b>vitrages</b>	<b>Surface</b>	<b>g*F</b>	<b>G (Wm<sup>2</sup>)</b>	<b>Gains</b>	
	S (ou SO)	0	0	0	-	
	O (ou NO)				-	
	N (ou NE)	0	0	0	-	
	E (ou SE)				-	
	<b>Total des apports solaires par les fenêtres</b>					<b>-</b>
	<b>Apports internes sensibles et latents</b>					
<b>Apports sensibles</b>	<b>Nature</b>	<b>Quantité</b>	<b>Facteurs</b>	<b>ΔT</b>	<b>Gains</b>	
	occupants	1	62.64	1	62.64	
	Eclairage	2	45	1	90.00	
	divers Appareils	1	160	1	160.00	
	Renouvellement	18	0.33727	14	84.99	
	<b>Total des gains sensibles internes</b>					<b>397.63</b>
<b>Apports Latents</b>	<b>Nature</b>	<b>Quantité</b>	<b>Facteurs</b>	<b>Δx</b>	<b>Gains</b>	
	Occupants	1	68.44	1	68.44	
	divers Appareils	0	0	0	-	
	Renouvellement	18	0.82573	0.47	6.99	
	<b>Total des gains latents</b>					<b>75.43</b>
<b>TOTAL DES GAINS DU LOCAL (W)</b>					<b>958,38</b>	

### **Conclusion partielle**

La quantité de chaleur à évacuer avant la mise en place des isolants est de 2 128 W et celle après l'isolation est de 958,38 W. L'isolation a permis de réduire de 1 169,62 W la quantité de chaleur à évacuer pour un bureau dont la surface isolée est de 42,32 m<sup>2</sup>.

Le gain spécifique est de 28 W/m<sup>2</sup>.

### **Simulation sur tous les autres bâtiments**

Pour les autres locaux, du calcul des surfaces extérieures des autres locaux à isoler (cf. Annexe 14) une déduction de 10% sur la surface totale est faite pour tenir compte des portes et vitrage. La surface à isoler nette est de **3 563 m<sup>2</sup>**.

Le gain en quantité de chaleur à évacuer après isolation de tous les locaux est estimé à :

$$G = 3\,563 * 28 = 99\,764\, W$$

En supposant que ce gain représente la puissance frigorifique d'une machine de climatisation dont le COP=3, la puissance électrique correspondante est de 33 255 W.

Pour un temps de fonctionnement moyen de 1059 heures par an, la consommation annuelle s'élève à **35 217 kWh**.

### V.3. AUDIT SUR LE SYSTEME D'ECLAIRAGE

#### Notions de base sur l'éclairage

Un certain nombre de termes, propres à l'éclairage, sont utilisés dans ce chapitre. Les détails se trouvent en Annexe 11.

#### Calcul de la consommation actuelle

##### Estimation du temps de fonctionnement du système d'éclairage

Type de local	Nombre d'heures par jour	Nombre de jours par semaines	Nombre de jours fériés par an	Niveau de sollicitation	Coefficient de simultanéité	Temps de fonctionnement total
Bureau	8	5	15	0,9	1	1764
Atelier	8	5	15	0,5	1	882
Toilettes	4	5	15	0,8	1	784
Magasin	2	5	15	0,6	1	267
Vestiaire	18	7	0	1	1	6 552
Extérieur	12	7	0	1	1	4 368
Salles laboratoire	8	7	0	1	0,85	2 475
Salle électrique	1	1	15	0,5	1	18
Salle autocom	1	1	15	0,8	1	30
Bureau et salle posté	24	7	0	0,80	1	6 989
Salle répartiteur	1	5	15	0,9	1	221
Cantine	3	6	15	1	1	891

## **Calcul de la consommation énergétique du système d'éclairage**

Le tableau de calcul de la consommation est donné en Annexe 12. La valeur totale de l'énergie consommée est de :

$$E_2 = 66\,154\text{ kWh}$$

### **Confort visuel**

Le niveau de visibilité et de confort requis dans un grand nombre de lieux de travail dépend du type et de la durée de l'activité. Un niveau d'éclairement minimum est nécessaire pour voir correctement et sans fatigue les objets et, ainsi, effectuer correctement et parfois en toute sécurité la tâche prévue. Le confort visuel tient compte des critères suivants :

- **Eclairage suffisant**

Un niveau d'éclairement est nécessaire pour une bonne vision. Les niveaux d'éclairement à garantir dans les locaux sont recommandés par des normes en fonction des tâches à effectuer. On peut mesurer directement le niveau d'éclairement à l'aide d'un luxmètre.

- **Eclairage uniforme**

Un éclairage uniforme permet de garantir le niveau d'éclairement suffisant sur toute la surface du local.

- **Absence de réflexions**

Les reflets de lumière sur les surfaces brillantes créent une situation gênante lorsque la luminance est grande.

- **Absence d'éblouissement**

- **Absence d'ombre**

La présence d'ombres risque de masquer certaines zones de travail et de diminuer ainsi le niveau d'éclairement.

- **Rendu des couleurs suffisant**

Il prend compte de l'indice de rendu des couleurs et de la température de couleur des lampes. L'indice de rendu des couleurs que doivent avoir les lampes en fonction des types de local et des tâches est fixé par la norme EN 12464-1.

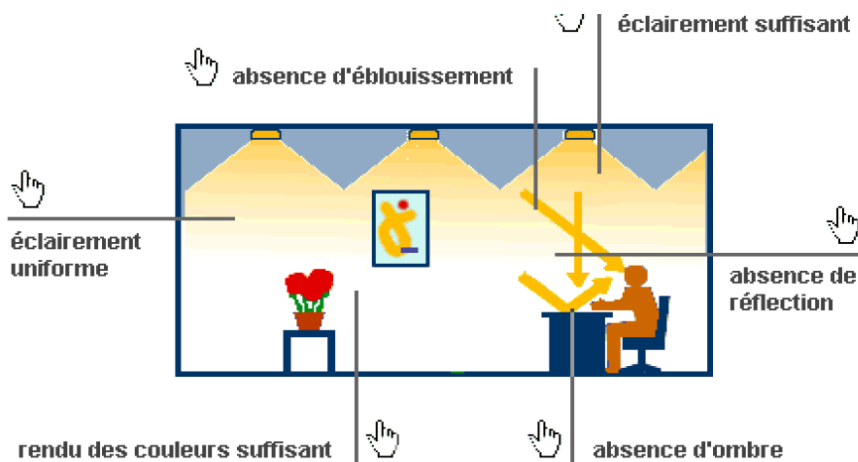


Figure 9 : Critères de confort visuel [3]

### Eclairage recommandé

Un niveau d'éclairage est recommandé en fonction des tâches effectuées dans les locaux.

Bureaux et locaux administratifs	lux	Locaux techniques	lux
Bureau de travaux généraux	500	Salle de contrôle	300
Dactylographie	500	Salle des machines	100
Salle d'informatique	500	Salle de garde	300
Salle de dessin (tables)	750 - 1000	Réserves, entrepôts	100 - 300
<b>Etablissements d'enseignement</b>		<b>Hôpitaux</b>	
Salle de classe	300	Salle d'urgence	1 000
Tableau	500	Chambre de malade	50 - 300
Amphithéâtre	300	Salle d'attente	150
Laboratoire	500	Circulations	150
Salle de dessin d'art	500	Services généraux	300 - 750
Bibliothèque, salle de lecture	500	Laboratoire	300
<b>Magasins</b>		<b>Habitations</b>	
Boutique	300	Activité de lecture, travail d'écolier	300
Libre service, grande surface	500	Couture	500 - 750
Salon de coiffure	750	Chambre (éclairage localisé)	200
Circulations (galeries marchandes)	150	Préparation culinaire	300
Commerces spécialisés	300 - 750	Bricolage (suivant activité)	300
<b>Circulations</b>		<b>Espaces extérieurs</b>	
Couloir, escalier	100 - 300	Entrée, cour, allée	30
Ascenseur	200	Voie de circulation couverte	50
Locaux non occupés	20 - 50	Dock et quai	75
<b>Aéroports, gares, postes</b>		<b>Lieux de culte</b>	
Salle des pas perdus	150	Nef	100
Guichet	500	Choeur	150
<b>Banques</b>		<b>Salles de sport, gymnases</b>	
Hall public	300	Salle d'entraînement	300
Guichet	500	Salle de compétition	500 - 1000
<b>Hôtels</b>		<b>Salles de spectacle</b>	
Réception, hall	300	Foyer	150
Salle à manger	200	Amphithéâtre	100
Cuisine	300	Salle de cinéma	50
Chambre (éclairage localisé)	200	Salle des fêtes	300
Salle de bains	150		
<b>Expositions, musées</b>			
Salle d'exposition publique	500		

Tableau 3.4 Niveau d'éclairage moyen en service

Figure 10 : Niveau d'éclairage moyen en fonction de services [2]

### **Efficacité des lampes**

La détermination de l'efficacité lumineuse est donnée par la formule suivante :

$$e = \frac{\text{Flux lumineux (lm)}}{\text{Puissance électrique (W)}}$$

Les lampes actuelles ont une efficacité lumineuse comprise entre 14 lm/W et 93 lm/W.

Le fonctionnement des lampes fluorescentes nécessite l'utilisation de ballasts et de starters.

Les lampes recensées sont équipées de ballasts électromagnétiques.

- **Couleur des parois**

Au cours des visites, on constate que tous les locaux sont peints en vert claire. A ce niveau une mesure d'optimisation n'est pas nécessaire.

- **Mode de gestion de l'éclairage**

D'après les relevés, l'éclairage extérieur est commandé par des interrupteurs crépusculaires.

Pour l'éclairage intérieur, la commande est faite par des interrupteurs divers tels que les boutons poussoirs, les interrupteurs va et vient et les simples interrupteurs.

### **Mesures d'optimisation**

- **Optimisation du confort**

Il s'agit ici d'agir sur le nombre et l'emplacement des luminaires pour assurer un éclairage uniforme et suffisant dans les locaux.

- **Optimisation du système d'éclairage**

- ✓ **Choix des types de lampes**

Les lampes recommandées sont des lampes économiques ayant une grande efficacité lumineuse, une durée de vie supérieure aux lampes actuelles et équipées de ballasts électroniques. Les lampes choisies ont les caractéristiques suivantes :

Tableau 14 : Caractéristiques des lampes LED de rénovation

Système avant optimisation				Système après optimisation			
Type de lampes	Puissance unitaire (W)	Flux (lm)	Durée de vie (h)	Type de lampes	Puissance unitaire (W)	Flux (lm)	Durée de vie (h)
Fluorescente	18	1 350	1 000	Fluorescente LED	10	1 250	50 000
Fluorescente	36	3 350	1 000	Fluorescente LED	26	3 700	50 000
Fluo compacte E 27	40	2 400		LED E 27	20	2 452	15 000
E 40	250	3 500	1 000	Projecteur LED	150	15 000	50 000
Projecteur	1 000	14 000		Projecteur LED	150	15 000	50 000

### **Avantage des lampes LED**

Le principal avantage est l'économie d'énergie de plus de 50%. Il convient de noter que l'utilisation d'un tube classique, en dehors de sa propre consommation, nécessite l'utilisation d'une résistance qui varie entre 3 et 8 watts par tube (Suivant la qualité de la résistance). Autre avantage c'est les économies de l'entretien (remplacement des amorces, des résistances et des tubes ...). Les tubes LED n'ont pas besoin de ballast ni d'amorce. Un tube conventionnel a une durée de vie approximative de 10.000 heures par rapport à la durée de vie estimée du tube LED de 50.000. [6]

#### **✓ Optimisation de mode de gestion**

A ce niveau, la mesure à prendre serait de mettre des détecteurs de présence dans tous les couloirs et les toilettes. On estime ainsi la réduction du temps de fonctionnement dans ces zones de 40 %.

#### **✓ Maintenance du système d'éclairage**

L'objectif de la maintenance est de restituer à l'installation tout ou partie de son efficacité initiale. Le programme de maintenance peut être de trois types :

##### **\* La maintenance préventive :**

- Procédure : remplacement en une seule fois de toutes les lampes à intervalle de temps régulier.
- Avantage : maintenance aisée.
- Inconvénient : le système comportera obligatoirement un certain nombre de lampes hors service.

##### **\* La maintenance curative :**

- Procédure : remplacement des lampes hors services au coup par coup.
- Avantage : le système ne comporte pas de lampes hors service.

- Inconvénient : l'installation tend à maintenir un flux en général moyen ce qui conduit à un surdimensionnement important et le service de maintenance technique doit être prêt à intervenir n'importe quand.

✱ **La maintenance mixte :**

- Procédure : combinaison des deux programmes précédents.
- Avantage : le système ne comporte pas de lampes hors service et maintient un éclairage en service relativement bon (surdimensionnement faible).
- Inconvénient : le service de maintenance technique doit être prêt à intervenir n'importe quand.

À noter que la planification de la maintenance ne se limite pas au choix du type de programme. Chaque programme est en effet caractérisé par plusieurs paramètres (sorte de lampe, intervalle de temps entre deux relamping, ...). Et il est nécessaire de réaliser plusieurs études pour déterminer quelles seront les valeurs optimales de chacun de ces paramètres.

### **Calcul de la consommation après optimisation**

Le tableau de calcul de la consommation est donné en Annexe 13. La valeur totale de l'énergie consommée après rénovation est de :

$$E'_2 = 31\,729 \text{ kWh}$$

### **Calcul des économies d'énergie réalisables**

Les économies réalisées après application des mesures d'amélioration sont :

$$\Delta E_2 = 66\,154 - 31\,729 = 34\,425 \text{ kWh}$$

$$\Delta E_2 = 34\,425 \text{ kWh}$$



## V.4. EVALUATION FINANCIERE

### V.4.1. Mesures à faible coût d'investissement

#### **Au niveau de la climatisation**

- Sensibiliser les occupants à fermer les ouvertures des locaux climatisés ;
- Sensibiliser les occupants à éteindre les climatiseurs avant de quitter les bureaux ;
- Etablir un programme de maintenance des climatiseurs ;

#### **Au niveau de l'éclairage**

- Eteindre les lampes des ateliers pendant la journée car ces derniers bénéficient de l'éclairage naturelle ;
- Sensibiliser les occupants à éteindre les lampes en quittant les bureaux ;

#### **Au niveau des autres équipements**

- Couper l'alimentation des chauffes eau pendant la saison chaude ;
- Sensibiliser les utilisateurs à arrêter tous les équipements de bureautique au lieu de les laisser en veille ;

Il faut aussi accompagner les sensibilisations par des affiches en guise de rappel.

### V.4.2. Mesures avec investissement

Pour tous les calculs, le prix du kWh est estimé à 105 F CFA. Le coût du transport est estimé à 3% du prix d'achat des matériels.

#### **Au niveau de la climatisation**

Les mesures proposées sont le remplacement des climatiseurs par ceux de type Split Airwell et la mise en place d'horloges programmables.

#### **Gain Financier**

L'énergie économisée est de 103 437 kWh. Le gain est de :

$$G = 103\,437 * 105 = 10\,860\,885 \text{ FCFA/ an}$$

**Coût d'investissement pour la rénovation**

N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire €	Prix Total (F CFA)
1	Split Airwell 12000	U	38	700	17 449 600
2	Split Airwell 18000	U	10	950	6 232 000
s3	Split Airwell 24000	U	7	1150	5 280 800
4	Horloges Programmables	U	10	100,99	662 494,40
5	Coût montage split	U	55	100	3 608 000
6	Coût démontage split	U	55	100	3 608 000
7	Coût montage horloge	U	10	10	65 600
8	Transport				888 746,8
<b>TOTAL (F CFA)</b>					<b>37 795 241,2</b>

**Coût de fonctionnement du système rénové**

L'énergie consommée est de 394 745 kWh. Le coût de fonctionnement du système d'éclairage s'élève à **41 448 225 F CFA** par an.

**Coût de maintenance**

La maintenance englobe le changement des luminaires défectueux, le nettoyage des luminaires.

Le coût de la maintenance est estimé à 15 000 FCFA par climatiseur et par an. Le nombre total des climatiseurs est de 100. Le coût total de la maintenance s'élève à **1 500 000 F CFA** par an.

**Détermination du temps de retour sur investissement**

$$\text{Temps de retour} = \frac{\text{Coût d'investissement} + \text{Coût maintenance}}{\text{Economie annuelle}}$$

$$\text{Temps de retour} = \frac{37\,795\,241,2 + 1\,500\,000}{10\,860\,885} = 3,62 \text{ ans}$$

**Temps de retour = 3,62 ans**

**Au niveau de l'enveloppe des bâtiments**

On propose l'isolation thermique des parois extérieures des locaux.

**Gain Financier en économie d'énergie**

L'énergie économisée est de 35 217 kWh. Le gain est de :

$$G = 35\,217 * 105 = 3\,697\,785 \text{ FCFA/ an}$$

**Coût d'investissement pour la rénovation**

N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire €	Prix Total (F CFA)
1	Laine de chanvre	m <sup>2</sup>	3563	15	35 059 920
2	Installation	m <sup>2</sup>	3563	5	11 686 640
3	Transport	U			1 051 797,6
<b>TOTAL (F CFA)</b>					<b>47 798 357,6</b>

**Détermination du temps de retour sur investissement**

$$\text{Temps de retour} = \frac{\text{Coût d'investissement}}{\text{Economie annuelle}}$$

$$\text{Temps de retour} = \frac{47\,798\,357,6}{3\,697\,785} = 12,92 \text{ ans}$$

**Temps de retour = 12,92 ans**

**Au niveau de l'éclairage**

On propose de remplacer toutes les lampes par des LED et d'installer des détecteurs de présence dans les couloirs et les toilettes.

**Gain Financier**

Le gain en économie réalisé en estimant le coût du kWh de 105 F CFA est de :

$$G = 34\,425 * 105 = 3\,614\,625 \text{ FCFA/ an}$$

**Coût d'investissement pour la rénovation**

N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix Total (€)	Prix en (F CFA)
1	Osram Ledvance Floodlight Led 150 W	U	8	7,83	41 091,84
2	Osram E 27 20W/825	U	36	19,82	468 069,12
3	Sylvania/ 600 mm-1250 lm/ 10 W	U	12	25,93	204 120,96
4	Philips Mas Led tube 26W	U	543	32,84	11 697 870,72
5	Détecteur de mouvement	U	15	13,7	134 808
6	Coût de démontage	U	599	10	3 929 440
7	Coût installation	U	599	10	3 929 440
8	Transport				376 378,82
<b>TOTAL (F CFA)</b>					<b>20 781 219,46</b>

**Coût de fonctionnement**

L'énergie consommée est de 31 729 kWh. Sachant que le prix du kWh vaut 105 F CFA, le coût de fonctionnement du système d'éclairage s'élève à **3 331 545 F CFA** par an.

**Coût de maintenance**

La maintenance englobe le changement des luminaires défectueux, le nettoyage des luminaires. Le coût de la maintenance par luminaire est estimé à 5 000 F CFA. Le nombre de luminaires total est de 300.

Le coût de la maintenance totale est de 1 500 000 F CFA par an.

**Détermination du temps de retour sur investissement**

$$\text{Temps de retour} = \frac{\text{Coût d'investissement} + \text{Coût de maintenance}}{\text{Economie annuelle}}$$

$$\text{Temps de retour} = \frac{20\,781\,219,46 + 1\,500\,000}{3\,614\,625} = 6,16 \text{ ans}$$

**Temps de retour = 6,16 ans**

## VI. Conclusion et recommandations

Vu les résultats auxquels nous sommes parvenus, on note que les installations de la société nécessitent des mesures d'efficacité énergétique. Les points de réflexion sur l'efficacité énergétique sont nombreux en industrie mais ceux qui sont retenus pour cette étude sont les systèmes de climatisation, l'enveloppe des bâtiments et les systèmes d'éclairage.

Le gain en énergie suite aux mesures d'économie proposées est de **103 437 kWh** en climatisation, de **35 217 kWh** en isolation thermique et de **34 425 kWh** en éclairage. Le temps de retour sur investissement est respectivement de **3,62 ans** en climatisation, **12,92 ans** en isolation thermique et **6,16 ans** en éclairage. Ce qui nous donne au totale un gain de **173 079 kWh** soit un gain financier de **18 173 295 F CFA** par an.

En plus des économies d'énergies réalisables au niveau de cette zone, une étude peut être faite sur les consommations d'énergie des autres parties et des utilités de la société aussi bien au niveau de la production qu'au niveau de la distribution.

Aussi il serait plus économique de substituer ou d'associer la production électrique avec les énergies renouvelables tel que le solaire. Vu la localisation du site, l'irradiation solaire est favorable à l'utilisation de cette source d'énergie et ceci permettra une grande économie d'énergie et même la réduction d'émissions des gaz à effet de serre.

Notons par ailleurs que quelles que soient les mesures prises, il faut intégrer un programme de suivi, de maintenance, d'entretien et d'amélioration pour garantir leur efficacité et leur durabilité.

Nous proposons aussi de sensibiliser le personnel au concept d'économie d'énergie.

## VII. Bibliographie

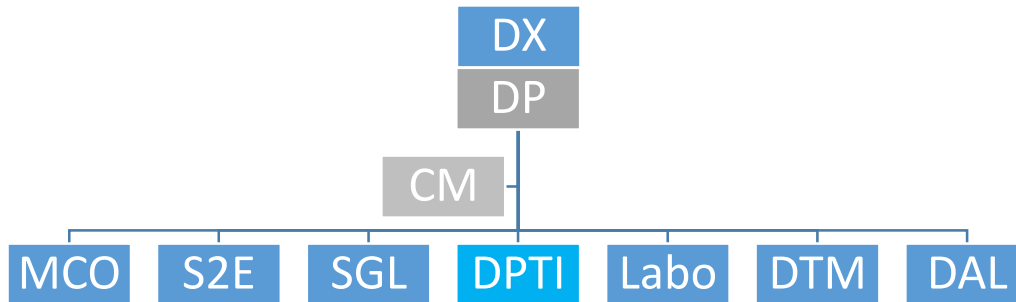
- [1] Cahier de recommandations environnementales n°1. « Comment optimiser les performances énergétiques de votre bâtiment ».
- [2] Yézouma COULIBALY et al. « EFFICACITE ENERGETIQUE DE LE CLIMATISATION EN REGION TROPICALE ». Tome 1 et Tome 2.

### Sites Internet

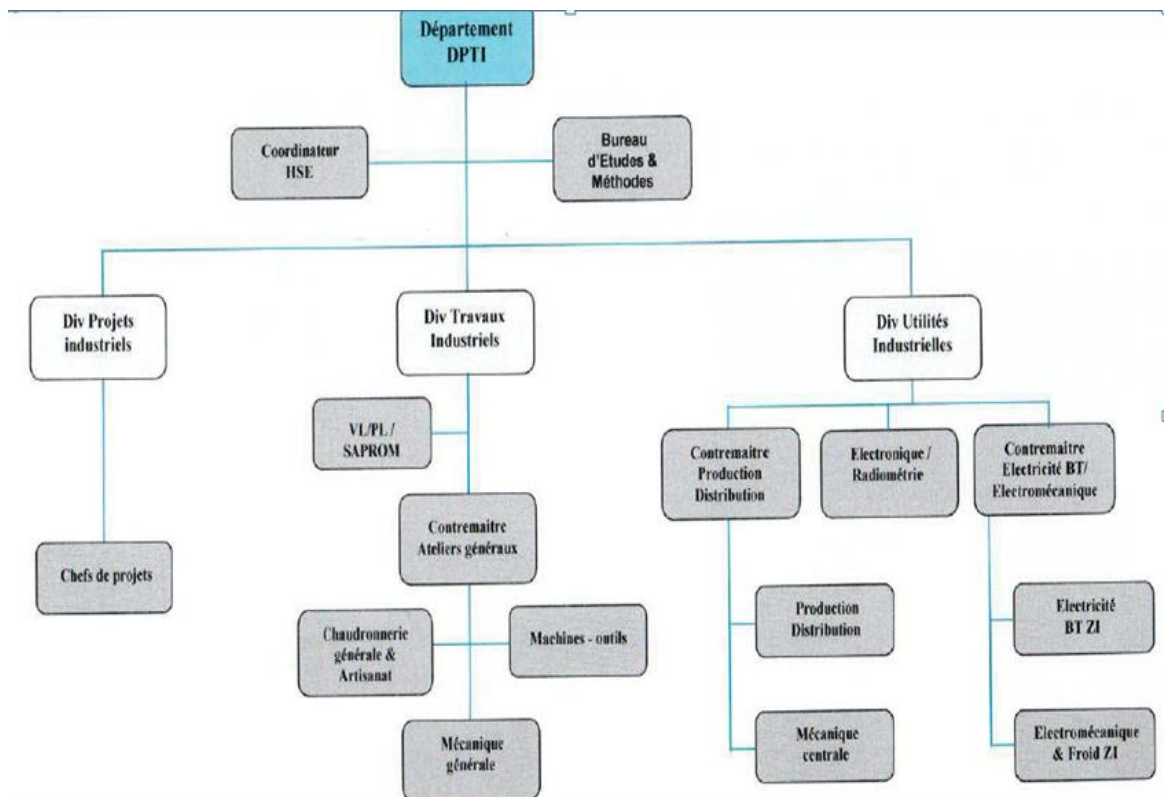
- [3] Efficacité énergétique. [En ligne]. Consulté le 04 /05/2017. < URL : <http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=11455>>
- [4] Tableau comparatif des isolants. [En ligne]. Consulté le 21 /07/2017. < URL : <http://socialcompare.com/fr/comparison/tableau-comparatif-pour-l-isolation-thermique-d-un-logement-ou-sa-renovation> >
- [5] Isoler sa maison. [En ligne]. Consulté le 17 /06/2017. < URL : <http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/guide-pratique-isoler-sa-maison> >
- [6] Tubes led. [En ligne]. Consulté le 24/10/2017. < URL: <http://www.ledkia.com/fr/content/41-changer-un-tube-fluorescent-par-un-tube-led> >

## VIII. ANNEXES

Annexe 1 : Organigramme de la SOMAIR



Annexe 2 : Organigramme fonctionnel de du département DPTI



## Annexe 3 : Relevés des caractéristiques des systèmes de climatisation

Service	Local	Type de machine frigorifique	Marque	Puissance frigorifique (btu/h)	Nombre	Type de fluide	Puissance électrique (W)
Secteur 1 (Atelier en U)							
Maintenance Usine	Bureau chef électricien	Split	Airwell	12 000	1	R 410A	1 150
	Bureau attente	Split	Airwell	12 000	1	R 410A	1 150
	Bureau AMT électricien	Split	Airwell	12 000	1	R 410A	1 150
	Bureau contre-maître élec	Split	Airwell	12 000	1	R 410A	1 150
	Bureau mécanicien	Split	Airwell	12 000	1	R 410A	1 150
	Bureau AMT mécanicien	Split	Airwell	12 000	1	R 410A	1 150
				18 000	1	R 410A	1 670
	Bureau chef mécanicien	Split	Airwell	12 000	1	R 410A	1 150
	Bureau contre-maître méca	Split	Airwell	12 000	1	R 410A	1 150
Magasin 1	Window	Airwell	12 000	2	R 22	2 500	
Machines Outils	Bureau	Split	Westpoint	12 000	1	R 410A	1 500
	Magasin (pièces)	Split	Westpoint	18 000	1	R 410A	2 500
	Vestiaire	Split	Westpoint	12 000	1	R 410A	1 500
Mécanique Générale	Bureau 1	Split	Airwell	12 000	1	R 410A	1 150
	Bureau 2	Split	Airwell	12 000	1	R 410A	1 150
Electromécanique	Bureau 1	Split	Airwell	12 000	1	R 410A	1 150
	Bureau 2	Split	Airwell	12 000	1	R 410A	1 150
Electricité	Bureau Chef section elec	Split	Airwell	12 000	1	R 410A	1 150
	Bureau atelier section elec	Split	Airwell	24 000	1	R 410A	3 000
	Bureau qualicien	Split	Airwell	12 000	1	R 410A	1 150
	Bureau contre maitre elc BT	Split	Westpoint	24 000	1	R 410A	3 000
	Bureau contre maitre elc HT	Split	Westpoint	12 000	1	R 410A	1 500
	Bureau chef section elc HT	Split	Airwell	18 000	1	R 410A	1 670
	Bureau contre maitre electro	Split	Airwell	12 000	1	R 410A	1 150
Secteur 2							



Service du personnel	Bureau chef administratif	Split	Westpoint	12 000	1	R 410A	1 500
	Bureau stagiaire comptable	Split	Westpoint	12 000	1	R 410A	1 500
	Bureau Abdalah	Split	Westpoint	12 000	1	R 410A	1 500
	Bureau paye	Split	Westpoint	12 000	1	R 410A	1 500
	Bureau cellule paye	Split	Westpoint	12 000	2	R 410A	1 500
	Bureau acheteur	Split	Westpoint	12 000	1	R 410A	1 500
	Bureau CMDP/ SGL	Split	Airwell	12 000	1	R 410A	1 150
	Bureau comptable	Split	Westpoint	12 000	1	R 410A	1 500
	Guichet	Split	Westpoint	12 000	1	R 410A	1 500
	Salle onduleurs	Split	Airwell	24 000	1	R 410A	2 168
Ancienne direction	Sécrétariat DPTI	Split	Airwell	12 000	1	R 410A	1 150
	Salle archives	Split	Westpoint	12 000	1	R 410A	1 500
	Bureau contre maître DPI	Split	Airwell	24 000	1	R 410A	2 168
	Bureau superviseur projet	Split	Westpoint	18 000	2	R 410A	2 500
	Biographe SGL	Split	Westpoint	12 000	1	R 410A	1 500
	Bureau chef service	Split	Airwell	18 000	1	R 410A	1 670
	Bureau chef division laboratoire	Split	Westpoint	12 000	1	R 410A	1 500
Géologie	Bureau chef section	Split	Westpoint	12 000	1	R 410A	1 500
	Hall	Split	Westpoint	12 000	4	R 410A	1 500
	Chef département MCO	Split	Westpoint	12 000	1	R 410A	1 500
	Chef division DIPM	Split	Westpoint	12 000	1	R 410A	1 500
	Bureau Ing-planificateur	Split	Westpoint	12 000	1	R 410A	1 500
	Bureau Ing-Etude et optimisation	Split	Westpoint	12 000	1	R 410A	1 500
	Division etude et programme	Split	Westpoint	12 000	1	R 410A	1 500
	Bureau agent paye 1	Split	Westpoint	12 000	1	R 410A	1 500

	Bureau agent paye 2	Split	Westpoint	12 000	1	R 410A	1 500
	Bureau géologue	Split	Westpoint	12 000	1	R 410A	1 500
	Bureau chef section hydrogéologie	Split	Westpoint	12 000	1	R 410A	1 500
	Bureau prospecteur	Split	Westpoint	12 000	1	R 410A	1 500
	Bureau Ing-géologue	Split	Westpoint	12 000	1	R 410A	1 500
Instrumentation	Bureau T et A	Split	Airwell	18 000	1	R 410A	1 670
	Bureau électronique	Split	Airwell	12 000	1	R 410A	1 150
	Bureau SMU-DPTI	Split	Airwell	18 000	1	R 410A	1 670
	Atelier mécanographie	Split	Airwell	12 000	2	R 410A	1 150
	Salle autocom	Split	Airwell	12 000	2	R 410A	1 150
	Atelier électronique	Split	Airwell	12 000	2	R 410A	1 150
	Atelier Instrumentation	Split	Airwell	12 000	4	R 410A	1 150
	Bureau acheteur	Split	Airwell	12 000	1	R 410A	1 150
	Bureau division Production	Split	Airwell	12 000	1	R 410A	1 150
	Bureau Chargé de mission	Split	Westpoint	12 000	1	R 410A	1 500
Laboratoire	Bureau AMT	Split	Westpoint	12 000	1	R 410A	1 500
	Salle ABSORTION ATOMIQUE	Split	Westpoint	18 000	1	R 410A	2 500
	Salle ANALYSE URANATE	Split	Westpoint	18 000	1	R 410A	2 500
	Salle ANALYSE MINERAL	Split	Airwell	12 000	1	R 410A	1 150
		Split	Westpoint	12 000	1	R 410A	1 500
	Grande salle ANALYSE URANATE	Split	Westpoint	24 000	1	R 410A	3 000
		Split	Westpoint	18 000	1	R 410A	2 500
	Salle ANALYSE URANATE	Split	Westpoint	18 000	1	R 410A	2 500
	Salle ANALYSE EAU	Split	Airwell	12 000	1	R 410A	1 150
	Salle ELECTRIQUE	Split	Westpoint	12 000	1	R 410A	1 500
Salle à manger	Split	Westpoint	12 000	1	R 410A	1 500	
Salle THOMMERET	Split	Westpoint	12 000	1	R 410A	1 500	

	Bureau ADJOINT CHEF LABORATOIRE	Split	Westpoint	12 000	1	R 410A	1 500
	Magasin	Split	Westpoint	12 000	1	R 410A	1 500
	Salle des eaux	Split	Westpoint	12 000	1	R 410A	1 500
		Split	Westpoint	18 000	1	R 410A	2 500
	Salle essai TD	Split	Westpoint	18 000	1	R 410A	2 500
		Split	Westpoint	12 000	2	R 410A	1 500

Annexe 4 : Relevés sur les caractéristiques des machines électriques

Secteur 1 (Atelier en U)							
Service	Type de machine	Marque du moteur	Références	Puissance Utile (kW)	Vitesse de rotation (tr/mn)	Tension (V)	Intensité du courant en ligne (A)
Maintenance Usine	Perçuse		YD112M-614	2,2/2,8		400	5,79 / 6,74
	Tronçonneuse						
	Meuleuse 1			0,45	2850 upm/tpm	400	
	Meuleuse 2						
	Pont roulant						
	Coupe_joint						
	Extracteurs	Mez					400 / 230
Machines-Outils	Perçuse radiale	Unelec		3.7	1440 tpm	380 / 220	1,5 / 8,5
		Leroy Sommer	LS 69L2	0,18	925	220 / 380	1,55 / 0,9
		Unelec		1.5	1420 tpm		
		Wauquer	LC 211	0,15	2850/3400	380	3,6
	Fraiseuse Vernier	Patay Lyon	LS160M	5/9,2	714 / 1415	380	18,7
		SE11-USOCOME	R77 DRE90M4	1,1	1420/319	380-420	2,55
						660-725	1,48
	Perçuse syderic	Frame		1,5	1430/1720	230/400	5,8/7,9
		Frame		1,6	1430/1720	230/401	5,8/7,10
	Enfuteuse	Leroy Sommer	LST9669	0,06	1500	220/380	
		Leroy Sommer	V63L2	0,75	2800	220/380	3,42/1,97
	Scie mécanique	CAMAK	AGM 100L 4b	3	1410	220/380	11,8/ 6,8
	Meuleuse			0.47	3000	220/380	2.2/1.3
	Tour Scult fort	JIAXING	Y200L2	22	980	400	41.6
		ABB	M2QA905 6A	0.75	920rpm	400	2.1
		CALIAN	YDJ90L-4	1.5	1400	400	3.5
	Tour Meuser	BAOKNECEHT	ND314	3	1400	220/380	6.8/1.2
	Tour Crouzet	CEM	3757446	1.5	1360	380	3.8
	Petite Enfuteuse	Motor		0.37	2800 rpm	400	1.2
Meuleuse 2	Silex	55F952		2850			
Ventilateurs	Almo	MMP 63 G4	0.18	1390	230	1.49	

	Pont roulant							
	Fraiseuse Gambai			0.184	1500			
				1.104	1500			
				9.2	1500			
				0.0736	2800			
	Fraiseuse UWF			7.5	1500			
				0.09	1500			
				0.09	1500			
	Tour Jupiter			16.192	1500			
				0.184	3000			
				1.104	3000			
<b>Mécanique Générale</b>	Perçuse Syderic	Moteur ULVAC	YD100L2	2.2/2.8	950/1450	380	5.79/6.73	
		COOLAWI		0.12	2800	380	0.31	
		Shangaï	YJ-180	0.18	1410	380	2.1	
	Meuleuse 1	MAPE				220/380		
	Meuleuse 2	PROMAC		0.45	2850 rpm/tpm	230		
	Presse Hydraulique	Unelec	FA 1325W4	4.048	1445	380	12.4	
<b>Electromécanique</b>	Tour à bobiner	Diel		0.75	952/442			
	Four bobinage	CEM	HEU100 LR4	1.85	1420	220/380	8.1/4.67	
	Pont roulant							
	Potence Verlinde 2000 kg	ISO GROUP	VL102004B 1	1.75/0.43			400	
			MF026MK 200			2855		1.2
		SEW-USOCOME	SA671TR3 7	0.25		1300	220/380	1.27/0.73
<b>Electricité</b>	Perçuse Syderic	Moteur ULVAC	YD100L2	2.2/2.8	950/1450	380	5.79/6.73	
		COOLAWI		0.12	2800	380	0.31	
		Shangaï	YJ-180	0.18	1410	380	2.1	
	Meuleuse			0.9	2950	230		
<b>Vestiaire</b>	Chauffe eau			3		220/380		
	Extracteur			0.18	1390	220	1.4	
<b>Instrumentation</b>	Meuleuse	Peugot	TB20030XP	0.73	3000	220/380	3/1.8	
	Perçuse	Promac	214A	0.55	1420	400	1.8	

## Annexe 5 : Données relevées sur le système d'éclairage

Service	Local	Type de lampe	Nombre	Puissance unitaire (W)	Puissance totale (W)	Flux lumineux (lm)
<b>ENTRETIEN USINE</b>	Bureau chef électricien	Fluorescente	4	36	144	3 350
	Bureau attente	Fluorescente	6	36	216	3 350
	Bureau AMT électricien	Fluorescente	4	36	144	3 350
	Bureau contre-maître	Fluorescente	4	36	144	3 350
	Bureau mécanicien	Fluorescente	2	36	72	3 350
	Bureau AMT mécanicien	Fluorescente	4	36	144	3 350
	Bureau chef mécanicien	Fluorescente	4	36	144	3 350
	Bureau contre-maître méc	Fluorescente	4	36	144	3 350
	Magasin 1	Fluorescente	6	36	216	3 350
	Magasin 2	Fluorescente	2	36	72	3 350
	Toilettes 1	Fluorescente	2	36	72	3 350
	Toilettes 2	Fluorescente	2	36	72	3 350
	Atelier	Fluorescente	54	36	1 944	3 350
	Couloir	Fluorescente	4	36	144	3 350
<b>Machines Outils</b>	Bureau	Fluorescente	4	36	144	3 350
	Magasin (pièces)	Fluorescente	6	36	216	3 350
	Vestiaire	Fluorescente	2	36	72	3 350
	Salle à manger	Fluorescente	2	36	72	3 350
	Toilettes	Fluorescente	2	36	72	3 350
	Atelier	Fluorescente	30	36	1 080	3 350
<b>Mécanique Générale</b>	Bureau 1	Fluorescente	2	36	72	3 350
	Bureau 2	Fluorescente	2	36	72	3 350
	Magasin 1	Fluorescente	4	36	144	3 350
	Magasin 2	Fluorescente	4	36	144	3 350
	Atelier	Fluorescente	16	36	576	3 350
<b>Electromécanique</b>	Bureau 1	Fluorescente	2	36	72	3 350
	Bureau 2	Fluorescente	2	36	72	3 350
	Magasin	Fluorescente	2	36	72	3 350
	Atelier	Fluorescente	36	36	1 296	3 350
<b>ELECTRICITE</b>	Bureau Chef section elec	Fluorescente	2	36	72	3 350

	Bureau atelier section elec	Fluorescente	4	36	144	3 350
	Bureau qualitecien	Fluorescente	2	36	72	3 350
	Bureau contre maitre elc BT	Fluorescente	6	36	216	3 350
	Bureau contre maitre elc HT	Fluorescente	2	36	72	3 350
	Bureau chef section elc HT	Fluorescente	4	36	144	3 350
	Bureau contre maitre electro	Fluorescente	2	36	72	3 350
	Magasin rdc	Fluorescente	2	36	72	3 350
	Magasin étage	Fluorescente	4	36	144	3 350
	Toilettes	Fluorescente	1	18	18	1 350
	Hall 1	Fluorescente	9	36	324	3 350
	Hall 2	Fluorescente	10	36	360	3 350
<b>Vestiaire</b>	Douche	Fluorescente	13	36	468	3 350
	Sanitaire	Fluorescente	3	36	108	3 350
<b>Extérieur</b>	Hublots	Hublots	5		-	
	Fluocompactes	Fluocompactes	1		-	
	Projecteurs	Projecteurs	2		-	
<b>Ancienne Direction</b>	Bureau de CMDP	Fluorescente	2	36	72	3 350
	Douche	Fluorescente	2	18	36	1 350
	Couloir douche	Fluorescente	2	18	36	1 350
	BUREAU DPTI	Fluorescente	2	36	72	3 350
	Bureau secrétaire DPTI	Fluorescente	2	36	72	3 350
	Couloir bureau chef	Fluorescente	1	18	18	1 350
	Bureau chef DTI	Fluorescente	4	36	144	3 350
	Bureau superviseur DTI	Fluorescente	3	36	108	3 350
	Bureau chef de division DTI	Fluorescente	4	36	144	3 350
	Magasin DTI	Fluorescente	1	36	36	3 350
	Salle archives	Fluorescente	4	36	144	3 350
	Exterieur	Fluorescente	10	36	360	3 350
Hublot		3	40	120	520	
<b>Service du personnel</b>	BUREAU RH	Fluorescente	2	36	72	3 350
	ARCHIVE TRANSPORT OE	Fluorescente	1	36	36	3 350

	COULOIR	Fluorescente	4	36	144	3 350
	COMPTABLE	Fluorescente	2	36	72	3 350
	CHEF PAIE ADMNSTRATI ON	Fluorescente	2	36	72	3 350
	ADJOINT PAIE ADMNSTRAN T	Fluorescente	4	36	144	3 350
	PAIE OE	Fluorescente	2	36	72	3 350
	FACTURATIO N	Fluorescente	2	36	72	3 350
	CAISSE	Fluorescente	2	36	72	3 350
	KANTINE	Fluorescente	16	36	576	3 350
	SALLE ANNEXE KANTINE	Fluorescente	2	36	72	3 350
	GESTIONNAIR E DES IMMO	Fluorescente	4	36	144	3 350
	DOUCHE1	Fluorescente	1	18	18	1 350
	DOUCHE2	Fluorescente	2	36	72	3 350
		Hublot	1	40	40	520
	EXTERIEUR	Fluorescente	4	36	144	3 350
		Hublot	3	40	120	520
<b>Géologie</b>	chef de division etude et programme	Fluorescente	2	36	72	3 350
	douche1	Hublot	1	40	40	520
		Fluorescente	1	18	18	1 350
	bureau d'etude MCO	Fluorescente	18	36	648	3 350
	bureau DUPN	Fluorescente	2	36	72	3 350
	bureau DUPN planification	Fluorescente	2	36	72	3 350
	bureau planification 2	Fluorescente	2	36	72	3 350
	chef de departement	Fluorescente	4	36	144	3 350
	douche2	Fluorescente	1	18	18	1 350
	couloir	Fluorescente	2	36	72	3 350
	prospecteur géologie	Fluorescente	4	36	144	3 350
	ingénieur de developpeme	Fluorescente	4	36	144	3 350
	chef service	Fluorescente	4	36	144	3 350
	extérieur	Fluorescente	10	36	360	3 350



<b>Electronique- Instrumentation</b>	ATELIER ELECTRONIQUE	Fluorescente	12	36	432	3 350
	grand atelier+ couloire	Fluorescente	16	36	576	3 350
	atelier mecanographie	Fluorescente	6	36	216	3 350
	douche	Fluorescente	2	36	72	3 350
		Fluorescente	3	18	54	1 350
	bureau chef de division DUI	Fluorescente	4	36	144	3 350
	salle autocom	Hublot	4	40	160	520
	bureau amt electronique	Fluorescente	6	36	216	3 350
	bureau contrôle regulation	Fluorescente	4	36	144	3 350
	bureau chef section imform	Fluorescente	4	36	144	3 350
	chef atelier	Fluorescente	4	36	144	3 350
	local réseau telephone	Fluorescente	2	36	72	3 350
	extérieur	Fluorescente	6	36	216	3 350
		Hublot	7	40	280	520
<b>Laboratoire</b>	salle électrique	Fluorescente	2	36	72	3 350
	couloir	Fluorescente	8	36	288	3 350
	salle de posté	Fluorescente	13	36	468	3 350
	bureau chefs d'equipes	Fluorescente	4	36	144	3 350
	salle d'analyse d'eau	Fluorescente	12	36	432	3 350
	ancienne salle d'eau	Fluorescente	4	36	144	3 350
	salle d'eau déminéralisée	Fluorescente	2	36	72	3 350
	salle d'attaque	Fluorescente	2	36	72	3 350
	salle à manger	Fluorescente	2	36	72	3 350
	douche	Fluorescente	1	36	36	3 350
		Hublot	2	40	80	520
	salle analyse uranate	Fluorescente	6	36	216	3 350
	salle analyse minerais	Fluorescente	4	36	144	3 350
	Ancienne salle THOMERET	Fluorescente	2	36	72	3 350
	salle absorption atomique	Fluorescente	2	36	72	3 350

	magasin tampon	Fluorescente	6	36	216	3 350
	bureau chef laboratoire	Fluorescente	6	36	216	3 350
	bureau adjoint chef laboratoire	Fluorescente	4	36	144	3 350
	exterieur laboratoire	Fluorescente	6	36	216	3 350

*Annexe 6 : Caractéristiques des matériaux [2]*

Matériaux	Conductivités thermiques [W/m.k]	Masses volumiques [kg/m <sup>3</sup> ]	Chaleur massique [kJ/kg.k]
Cendre sèche	0,29	900	0,75
Charbon de bois	0,041 - 0,065	185 - 215	
Coton	0,06	80	1,42
Cuir	0,174	1000	
Ecorce d'arbre	0,066	342	
Laine de bois (panneau)	0,09	400	
Laine de mouton	0,038 - 0,049	135 - 136	1,26
Laine de roche	0,052 - 0,074	120 - 220	0,8 - 0,84
Paille comprimée	0,12	140	
Papier	0,14		
Plume	0,037	80	
Roseau	0,05	75	
Sciure de bois	0,06 - 0,07	213	2,51
Soie naturelle	0,052	100	
Amiante de ciment	0,4	1800	0,96
Béton de pouzzolane naturel	0,25 - 0,6	1200 - 1700	
Géobéton	0,7 - 0,8	1800 - 2310	
Béton armé	1,5 - 2,04	2300 - 2400	1,09
Bitume	0,16	2050	
Contre plaqué	0,14	600	2,72
Enduit à la chaux ou au plâtre lissé	0,87	1600	0,94
Enduit au ciment	0,87	2200	1,05
Copeaux de bois	0,081	140	2,51
Béton	0,9 - 1,7	2200 - 2400	0,850 - 0,950
Pierre calcaire	1,05 - 2,2	1650 - 2580	0,920
Terre cuite	1,15	1800 - 2000	0,900
Mur brique pleine	0,85	1850	
Mur brique creuse	0,4	1200	0,880
Parpaing plein	1,1	2100	
Parpaing creux	0,67	1250	0,880
Enduit mortier	1,15	1800 - 2100	0,880
Enduit plâtre	0,45	1450	0,880
Bois naturel	0,12 - 0,044	300 - 750	0,900
Polystyrène expansé	0,036 - 0,044	9 - 35	1,200 - 1,880
Laine de verre	0,04	100 - 300	1,210
Carrelage	1,15	1800	0,700
Gravillons	1,5	1200	0,980
Pierre lourde	3,5	2800	0,920
Feuille de bitume	0,23	1000	0,800
Terre pressée	1,15	1800	0,900
Tôle	70	7800	0,800

*Annexe 7 : Coefficient de convection des parois [2]*

	Parois en contact avec l'extérieur			Parois en contact avec un autre local, un comble ou un vide sanitaire			Parois vitrées
	murs	plafonds	planchers	murs	plafonds	planchers	
he	16,7	20	20	9	20	5,9	16,7
hi	9	11.1	5,9	9	20	5,9	9

*Annexe 8 : Méthode détaillée de calcul des charges thermiques d'un local [2]*

Les charges externes sont les apports de chaleur par transmission à travers les parois extérieures (murs, toit, plafond et plancher) et les vitrages, les apports de chaleur par rayonnement solaire à travers les parois opaques (murs et toitures), les apports de chaleur par rayonnement solaire sur les vitrages, et enfin les apports de chaleur par renouvellement d'air et infiltration.

❖ **Apport de chaleur par transmission à travers les parois extérieures et les vitrages :**

	Formules	Composantes
<b>Apports de chaleur (W)</b>	$Q_{str} = K \times S \times \Delta T$	<p><b>S</b> : Surface de la paroi ou du vitrage en m<sup>2</sup></p> <p><b>ΔT</b> : Différence de température entre les deux faces de la paroi ou du vitrage en °C</p> <p>ΔT =Text-Tint pour les murs extérieurs</p> <p>ΔT=Text-Tint-3 pour les cloisons avec un local non climatisé</p> <p><b>K</b> : coefficient d'échange global de la paroi ou du vitrage en W/m<sup>2</sup>.°C</p>
<b>Coefficient d'échange global (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>	$K = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \sum \frac{e_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_i}}$	<p>h<sub>e</sub> : Coefficient global de convection extérieur en W/m<sup>2</sup>.°C</p> <p>h<sub>i</sub> : Coefficient global de convection intérieur en W/m<sup>2</sup>.°C</p> <p>λ<sub>i</sub> : Conductivité thermique du matériau W/m.°C</p> <p>e<sub>i</sub> : Epaisseur du matériau considéré en m</p>

❖ **Apport de chaleur par rayonnement solaire à travers les parois**

	Formules	Composantes
<p><b>Apports de chaleur (W)</b></p>	$Q_{sm} = K \times S \times \Delta T_f$	<p>S : Surface de la paroi en m<sup>2</sup></p> <p>K: coefficient d'échange global de la paroi ou du vitrage en W/m<sup>2</sup>°C</p> <p>ΔT<sub>f</sub>: Ecart de température fictif dû à l'ensoleillement en °C</p>
<p><b>Ecart de température fictif (°C)</b></p>	$\Delta T_f = \frac{a \times G}{h_e} \times F$	<p>a : coefficient d'absorption</p> <p>G : Rayonnement global en W/m<sup>2</sup></p> <p>F : Facteur d'inertie du mur</p> <p>h<sub>e</sub> : coefficient de convection extérieur en W/m<sup>2</sup>.°C</p>

❖ **Apport de chaleur par rayonnement solaire à travers les vitrages**

	Formules	Composantes
<p><b>Apports de chaleur (W)</b></p>	$Q_{sv} = g \times F \times S \times G$	<p>S : Surface de la vitre (m<sup>2</sup>)</p> <p>G : Rayonnement global W/m<sup>2</sup></p> <p>F : Facteur correctif dû à la présence des rideaux</p> <p>g : Facteur solaire de la vitre</p>

❖ **Apport de chaleur par infiltration et par renouvellement d'air**

	Formules	Composantes
<p><b>Apports de chaleur sensibles (W)</b></p>	$Q_s = 0,33 \times q_v \times \Delta T$	<p>q<sub>v</sub>: Débit d'air extérieur de renouvellement ou d'infiltration en m<sup>3</sup>/h</p> <p>ΔT: Différence de température entre l'air extérieur et l'air du local en °C</p>
<p><b>Apports de chaleurs latentes (W)</b></p>	$Q_l = 0,84 \times q_v \times \Delta x$	<p>Δx : Différence d'humidité absolue entre l'air extérieur et l'air du local en g/kg<sub>as</sub></p>

- **Calcul des charges internes**
- ❖ **Apport de chaleur par les occupants**

	<b>Formules</b>	<b>Composantes</b>
<b>Apports de chaleur sensibles (W)</b>	$Q_{soc} = n \times C_{soc}$	n : nombre d'occupants par local C <sub>soc</sub> : chaleur sensible des occupants en W
<b>Apports de chaleurs latentes (W)</b>	$Q_{Loc} = n \times C_{Loc}$	C <sub>Loc</sub> : chaleur latente des occupants en W

## Annexe 9 : Calcul de la consommation énergétique des climatiseurs avant l'optimisation

Service	Local	Puissance Totale (W)	Temps de fonctionnement (Heures/an)	Consommation annuelle (kWh)
<b>Secteur 1 (Atelier en U)</b>				
<b>Maintenance Usine</b>	Bureau chef électricien	1150	8212	9443.8
	Bureau attente	1150	1059	1217.85
	Bureau AMT électricien	1150	1059	1217.85
	Bureau contremaître élec	1150	1059	1217.85
	Bureau mécanicien	1150	1059	1217.85
	Bureau AMT mécanicien	1150	1059	1217.85
		1670	1059	1768.53
	Bureau chef mécanicien	1150	1059	1217.85
	Bureau contremaître méca	1150	1059	1217.85
Magasin 1	2600	1059	2753.4	
<b>Machines Outils</b>	Bureau	1500	1059	1588.5
	Magasin (pièces)	2500	1059	2647.5
	Vestiaire	1500	1059	1588.5
<b>Mécanique Générale</b>	Bureau 1	1150	1059	1217.85
	Bureau 2	1150	1059	1217.85
<b>Electromécanique</b>	Bureau 1	1150	1059	1217.85
	Bureau 2	1150	1059	1217.85
<b>Electricité</b>	Bureau Chef section elec	1150	1059	1217.85
	Bureau atelier section elec	1150	1059	1217.85
	Bureau qualiticien	1150	1059	1217.85
	Bureau contre maitre elc BT	3000	8212	24636
	Bureau contre maitre elc HT	1500	1059	1588.5
	Bureau chef section elc HT	1670	8212	13714.04
	Bureau contre maitre electro	1150	1059	1217.85
<b>Secteur 2</b>				0
<b>Service du personnel</b>	Bureau chef administratif	1500	1059	1588.5
	Bureau stagiaire comptable	1500	1059	1588.5
	Bureau AB	1500	1059	1588.5
	Bureau paye	1500	1059	1588.5
	Bureau cellule paye	3000	1059	3177
	Bureau acheteur	1500	1059	1588.5
	Bureau CMDP/ SGL	1150	1059	1217.85

	Bureau comptable	1500	1059	1588.5
	Guichet	1500	1059	1588.5
	Salle onduleurs	2168	8212	17803.616
	Salle informatique	4000	8212	32848
	Salle serveur	4500	8212	36954
<b>Ancienne direction</b>	Secrétariat DPTI	1150	1059	1217.85
	Salle archives	1500	1059	1588.5
	Bureau contre maître DPI	2168	1059	2295.912
	Bureau superviseur projet	5000	1059	5295
	Biographe SGL	1500	1059	1588.5
	Bureau chef service	1670	1059	1768.53
	Bureau chef division laboratoire	1500	1059	1588.5
	Bureau DIPM	1500	8212	12318
<b>Géologie</b>	Bureau chef section	1500	1059	1588.5
	Hall	6000	1059	6354
	Chef département MCO	1500	1059	1588.5
	Chef division DIPM	1500	1059	1588.5
	Bureau ING-planificateur	1500	1059	1588.5
	Bureau ING-Etude et optimisation	1500	1059	1588.5
	Division étude et programme	1500	1059	1588.5
	Bureau agent paye 1	1500	1059	1588.5
	Bureau agent paye 2	1500	1059	1588.5
	Bureau géologue	1500	1059	1588.5
	Bureau chef section hydrogéologie	1500	1059	1588.5
	Bureau prospecteur	1500	1059	1588.5
	Bureau ING-géologue	1500	1059	1588.5
<b>Instrumentation</b>	Bureau T et A	1670	1059	1768.53
	Bureau électronique	1150	8212	9443.8
	Bureau SMU-DPTI	1670	1059	1768.53
	Atelier mécanographie	2300	1059	2435.7
	Salle autocom	2300	8212	18887.6
	Atelier électronique	2300	1059	2435.7
	Atelier Instrumentation	4600	1059	4871.4
	Bureau acheteur	1150	1059	1217.85
	Bureau division Production	1150	1059	1217.85
	Bureau Chargé de mission	1500	1059	1588.5
<b>Laboratoire</b>	Bureau AMT	1500	1059	1588.5
	Salle ABSORTION ATOMIQUE	2500	8212	20530
	Salle ANALYSE URANATE	2500	8212	20530

Salle ANALYSE MINERAI	1150	8212	9443.8
	1500	8212	12318
Grande salle ANALYSE URANATE	3000	8212	24636
	2500	8212	20530
Salle ANALYSE URANATE	2500	8212	20530
Salle ANALYSE EAU	1150	8212	9443.8
Salle ELECTRIQUE	1500	8212	12318
Salle à manger	1500	1059	1588.5
Salle THOMMERET	1500	8212	12318
Bureau ADJOINT CHEF LABORATOIRE	1500	1059	1588.5
Magasin	1500	1059	1588.5
Salle des eaux	1500	1059	1588.5
	2500	1059	2647.5
Salle essai TD	2500	8212	20530
	3000	8212	24636
<b>TOTAL</b>			<b>498 182</b>



## Annexe 10 : Calcul de la consommation des systèmes de climatisation après optimisation

Service	Local	Puissance Totale (W)	Temps de fonctionnement (Heures/an)	Consommation annuelle (kWh)
<b>Secteur 1 (Atelier en U)</b>				
<b>Maintenance Usine</b>	Bureau chef électricien	1150	8212	9 444
	Bureau attente	1150	1059	1 218
	Bureau AMT électricien	1150	1059	1 218
	Bureau contremaître élec	1150	1059	1 218
	Bureau mécanicien	1150	1059	1 218
	Bureau AMT mécanicien	1150	1059	1 218
		1670	1059	1 769
	Bureau chef mécanicien	1150	1059	1 218
	Bureau contremaître méca	1150	1059	1 218
	Magasin 1	2300	1059	2 436
<b>Machines Outils</b>	Bureau	1150	1059	1 218
	Magasin (pièces)	1670	1059	1 769
	Vestiaire	1150	1059	1 218
<b>Mécanique Générale</b>	Bureau 1	1150	1059	1 218
	Bureau 2	1150	1059	1 218
<b>Electromécanique</b>	Bureau 1	1150	1059	1 218
	Bureau 2	1150	1059	1 218
<b>Electricité</b>	Bureau Chef section elec	1150	1059	1 218
	Bureau atelier section elec	1150	1059	1 218
	Bureau qualiticien	1150	1059	1 218
	Bureau contre maitre elc BT	2168	8212	17 804
	Bureau contre maitre elc HT	1150	1059	1 218
	Bureau chef section elc HT	1670	8212	13 714
	Bureau contre maitre electro	1150	1059	1 218
<b>Secteur 2</b>				0
<b>Service du personnel</b>	Bureau chef administratif	1150	1059	1 218
	Bureau stagiaire comptable	1150	1059	1 218
	Bureau AB	1150	1059	1 218

	Bureau paye	1150	1059	1 218
	Bureau cellule paye	2168	1059	2 296
	Bureau acheteur	1150	1059	1 218
	Bureau CMDP/ SGL	1150	1059	1 218
	Bureau comptable	1150	1059	1 218
	Guichet	1150	1059	1 218
	Salle onduleurs	2168	8212	17 804
	Salle informatique	2820	8212	23 158
	Salle serveur	3318	8212	27 247
<b>Ancienne direction</b>	Secrétariat DPTI	1150	1059	1 218
	Salle archives	1150	1059	1 218
	Bureau contre maître DPI	2168	1059	2 296
	Bureau superviseur projet	3340	1059	3 537
	Biographe SGL	1150	1059	1 218
	Bureau chef service	1670	1059	1 769
	Bureau chef division laboratoire	1150	1059	1 218
	Bureau DIPM	1150	8212	9 444
<b>Géologie</b>	Bureau chef section	1150	1059	1 218
	Hall	4336	1059	4 592
	Chef département MCO	1150	1059	1 218
	Chef division DIPM	1150	1059	1 218
	Bureau ING-planificateur	1150	1059	1 218
	Bureau ING-Etude et optimisation	1150	1059	1 218
	Division étude et programme	1150	1059	1 218
	Bureau agent paye 1	1150	1059	1 218
	Bureau agent paye 2	1150	1059	1 218
	Bureau géologue	1150	1059	1 218
	Bureau chef section hydrogéologie	1150	1059	1 218
	Bureau prospecteur	1150	1059	1 218
	Bureau ING-géologue	1150	1059	1 218
	<b>Instrumentation</b>	Bureau T et A	1670	1059

	Bureau électronique	1150	8212	9 444
	Bureau SMU-DPTI	1670	1059	1 769
	Atelier mécanographie	2300	1059	2 436
	Salle autocom	2300	8212	18 888
	Atelier électronique	2300	1059	2 436
	Atelier Instrumentation	4600	1059	4 871
	Bureau acheteur	1150	1059	1 218
	Bureau division Production	1150	1059	1 218
	Bureau Chargé de mission	1150	1059	1 218
<b>Laboratoire</b>	Bureau AMT	1150	1059	1 218
	Salle ABSORTION ATOMIQUE	1670	8212	13 714
	Salle ANALYSE URANATE	1670	8212	13 714
	Salle ANALYSE MINERAI	1150	8212	9 444
		1150	8212	9 444
	Grande salle ANALYSE URANATE	2168	8212	17 804
		1670	8212	13 714
	Salle ANALYSE URANATE	1670	8212	13 714
	Salle ANALYSE EAU	1150	8212	9 444
	Salle ELECTRIQUE	1150	8212	9 444
	Salle à manger	1150	1059	1 218
	Salle THOMMERET	1150	8212	9 444
	Bureau ADJOINT CHEF LABORATOIRE	1150	1059	1 218
	Magasin	1150	1059	1 218
	Salle des eaux	1150	1059	1 218
		1670	1059	1 769
	Salle essai TD	1670	8212	13 714
2168		8212	17 804	
<b>TOTAL</b>				<b>394 745</b>

## Annexe 11 : Quelques notions de bases sur l'éclairage

- **Le flux lumineux**

Le flux lumineux est la quantité de lumière visible émise par une lampe. Il est exprimé en lumen (lm).

- **Durée de vie d'une lampe**

C'est le temps pendant lequel une lampe (ou un lot de lampes) a fonctionné avant d'être hors d'usage ou considérée comme telle selon des critères spécifiés. La durée de vie d'une lampe s'exprime en heures. Elle est déclarée par le fabricant.

- **Eclairement**

C'est clairement produit sur une surface dont l'aire est 1 mètre carré par un flux lumineux de 1 lumen, uniformément réparti sur cette surface. Il est exprimé en lux et est mesuré à l'aide d'un luxmètre.

- **Efficacité lumineuse de la lampe**

L'efficacité lumineuse indique le rendement avec lequel la puissance électrique absorbée est convertie en lumière. La valeur maximale théorique en cas de conversion totale de l'énergie en lumière visible est de 683 lumen/Watt. Les valeurs atteintes dans la réalité sont toutefois très inférieures et se situent entre 10 lm/W et 150 lm/W. Donc, plus le ratio lumen/watt est grand plus la lampe est efficace.

- **L'indice de rendu des couleurs**

L'indice de rendu des couleurs (IRC ou Ra) est la capacité d'une lampe à restituer correctement les contrastes (parois du local, objets, personnes, affiche) et les couleurs présentes dans l'environnement. L'IRC est compris entre 0 et 100, 100 étant l'IRC de la lumière naturelle qui restitue toutes les nuances de couleur et 0 étant l'absence de couleur reconnaissable. L'éclairage artificiel altère toujours la perception des couleurs, le but est de choisir des lampes qui limitent ce phénomène.

- IRC <25 (Ra <25) = mauvais

- IRC >65 (Ra >65) = bon

- IRC >90 (Ra >90) = élevé

- **La Température de Couleur**

La température de couleur caractérise le ton (chaud ou froid) de la lumière. Si celle-ci est

faible (2000-3000K), on a des éclairages aux tons chauds, c.à.d. jaunâtres. Si la température de couleur est élevée (4000-5000K), on a des éclairages aux tons froids, bleutés. La température de couleur n'influence pas la qualité de l'éclairage (en termes de lumen et d'IRC) mais la perception de l'œil humain est différente. La couleur apparente de la source a des effets psychologiques agréables ou désagréables mais n'influence nullement les performances visuelles.

• **Divers types de lampes**

	Incandescence	Halogène	TL (T8 et T5)	Fluocompacte	Iodures métalliques	Sodium haute pression	LED
							
Efficacité lumineuse [Lm/W] (sans ballast)	3 à 19	12 à 28	83 à 104 (T5) 66 à 100 (T8)	50 à 87,5	60 à 108	68 à 150	15 à 130
Puissance [W]	7 à 300	5 à 2000	14 à 80	5 à 55	70 à 2000	50 à 1000	
IRC	100	100	50 à 85	>80	65 à 92	20 à 25	80 à 90
Température de couleur [K]	2700 (2600 à 3000)	3000 (2800 à 4700)	2700 à 6500	2700 à 6500	3000 à 5600	2000 à 2200	3200 à 10000
Durée de vie [heures]	1000	2000	14000 18000 si ballast électronique	8000 à 16000	4000 à 20000	10000 à 24000	50000 à 100000
Mise en régime	0 sec	0 sec	0 sec mais 1 à 5 minutes avant 80% du flux	0 sec mais 1 à 5 minutes avant 80% du flux	3 à 5 min	4 à 6 min	0 sec
Réamorçage après...	0 sec	0 sec	0 sec	0 sec	15 à 20 min	30 sec à 4 min	0 sec
Dimmage possible	oui	oui	oui si ballast électronique	oui si ballast électronique	oui	oui	oui
Type d'application	Domestique	Domestique, commerces et tertiaire	Commerces, bureaux, industrie, salles de sport,...	Domestique, commerces et tertiaire	Industriel, tertiaire et sportif	Industriel et extérieur (routes)	Ambiance et signalisation

## Annexe 12 : Calcul de la consommation énergétique du système d'éclairage avant optimisation

Service	Types de Locaux	Type de lampes	Puissance unitaire (W)	Puissance avec ballast (W)	Nombre de lampes	Puissance totale (W)	Temps de fonctionnement annuel	Consommation annuelle (kWh/jour)
<b>Secteur 1 (Atelier en U)</b>								
<b>Entretien Usine</b>	Bureaux	Fluorescente 1,20 m	36	45	32	1 440	1764	2 540
	Atelier		36	45	54	2 430	882	2 143
	Magasins		36	45	8	360	267	96
	Toilettes		36	45	4	180	784	141
<b>Machines-Outils</b>	Bureaux	Fluorescente 1,20 m	36	45	4	180	1764	318
	Magasin		36	45	6	270	267	72
	Vestiaire		36	45	4	180	1764	318
	Toilettes		36	45	2	90	784	71
	Atelier		36	45	30	1 350	882	1 191
<b>Mécanique Générale</b>	Bureaux	Fluorescente 1,20 m	36	45	4	180	1764	318
	Magasins		36	45	8	360	267	96
	Atelier		36	45	10	450	882	397
<b>Electromécanique</b>	Bureaux	Fluorescente 1,20 m	36	45	4	180	1764	318
	Magasin		36	45	2	90	267	24
	Atelier		36	45	36	1 620	882	1 429
<b>Electricité</b>	Bureaux	Fluorescente 1,20 m	36	45	22	990	1764	1 746
	Magasins		36	45	6	270	267	72
	Salle à manger		36	45	2	90	1794	161
	Toilettes	Fluorescente 0,60 m	18	28	1	28	784	22
	Atelier	Fluorescente 1,20 m	36	45	19	855	882	754
<b>Vestiaire S2E</b>	Sanitaire+douche	Fluorescente 1,20 m	36	45	16	720	784	564
	<b>Extérieur</b>	Halogène	1 000		2	2 000	4368	8 736
		Incandescente	1 000		1	1 000	4368	4 368
		Incandescente	250		5	1 250	4368	5 460
<b>Secteur 2</b>						0	0	
<b>Ancienne direction</b>	Bureaux	Fluorescente 1,20 m	36	45	21	945	1764	1 667
	Couloirs	Fluorescente 0,6 m	18	28	3	84	4368	367
	Toilette	Fluorescente 0,6 m	18	28	2	56	784	44
	Magasin	Fluorescente 1,20 m	36	45	1	45	267	12

	Extérieur	Fluorescence 1,20 m	36	45	10	450	4368	1 966
		Incandescence	40		3	120	4368	524
<b>Service du personnel</b>	Bureaux	Fluorescence 1,20 m	36	45	21	945	1764	1 667
	Couloir	Fluorescence 1,20 m	36	45	4	180	4368	786
	Toilette	Fluorescence 0,6 m	18	28	1	28	784	22
		Fluorescence 1,20 m	36	28	2	56	784	44
		Incandescence	40		1	40	784	31
	Cantine	Fluorescence 1,20 m	36	45	18	810	891	722
	Extérieur	Fluorescence 1,20 m	36	45	4	180	4368	786
		Incandescence	40		3	120	4368	524
<b>Géologie</b>	Bureaux	Fluorescence 1,20 m	36	45	42	1 890	1764	3 334
	Couloir	Fluorescence 1,20 m	36	45	2	90	4368	393
	Toilettes	Incandescence	40		1	40	784	31
		Fluorescence 0,60 m	18	28	2	56	784	44
	Extérieur	Fluorescence 1,20 m	36	45	10	450	4368	1 966
<b>Instrumentation</b>	Bureaux	Fluorescence 1,20 m	36	45	22	990	1768	1 750
	Atelier + couloir	Fluorescence 1,20 m	36	45	16	720	1768	1 273
	Atelier électronique	Fluorescence 1,20 m	36	45	12	540	1768	955
	Atelier mécanographie	Fluorescence 1,20 m	36	45	6	270	1768	477
	Salle autocom	Incandescence	40		4	160	30	5
	Salle répartiteur	Fluorescence 1,20 m	36	45	2	90	221	20
	Toilettes	Fluorescence 1,20 m	36	45	2	90	784	71
		Fluorescence 1,20 m	18	28	3	84	784	66
	Extérieur	Fluorescence 1,20 m	36	45	6	270	4368	1 179
		Incandescence	40		7	280	4368	1 223
<b>Laboratoire</b>	Bureaux	Fluorescence 1,20 m	36	45	10	450	1764	794

Bureau+ salle posté	Fluorescente 1,20 m	36	45	17	765	6989	5 347
Salles traitements et analyse	Fluorescente 1,20 m	36	45	34	1530	2475	3 787
Magasin	Fluorescente 1,20 m	36	45	6	270	267	72
Couloir	Fluorescente 1,20 m	36	45	8	360	4368	1 572
Toilettes	Fluorescente 1,20 m	36	45	1	45	784	35
	Incandescente	40		2	80	784	63
Salle électrique	Fluorescente 1,20 m	36	45	2	90	18	2
Extérieur	Fluorescente 1,20 m	36	45	6	270	4368	1 179
<b>TOTAL</b>					<b>30 502</b>		<b>66 154</b>



## Annexe 13 : Calcul de la consommation énergétique après rénovation du système d'éclairage

Service	Types de Locaux	Type de lampes	Puissance unitaire (W)	Nombre de lampes	Puissance totale (W)	Temps de fonctionnement annuel	Consommation annuelle (kWh/jour)
<b>Secteur 1 (Atelier en U)</b>							
<b>Entretien Usine</b>	Bureaux	Fluorescente LED	26	32	832	1764	1 468
	Atelier	1,20 m	26	54	1404	882	1 238
	Magasins		26	8	208	267	56
	Toilettes		26	4	104	784	82
<b>Machines-Outils</b>	Bureaux	Fluorescente LED	26	4	104	1764	183
	Magasin	1,20 m	26	6	156	267	42
	Vestiaire		26	4	104	1764	183
	Toilettes		26	2	52	784	41
	Atelier		26	30	780	882	688
<b>Mécanique Générale</b>	Bureaux	Fluorescente LED	26	4	104	1764	183
	Magasins	1,20 m	26	8	208	267	56
	Atelier		26	10	260	882	229
<b>Electromécanique</b>	Bureaux	Fluorescente LED	26	4	104	1764	183
	Magasin	1,20 m	26	2	52	267	14
	Atelier		26	36	936	882	826
<b>Electricité</b>	Bureaux	Fluorescente LED	26	22	572	1764	1 009
	Magasins	1,20 m	26	6	156	267	42
	Salle à manger		26	2	52	1794	93
	Toilettes	Fluorescente LED 0,60 m	10	1	10	784	8
	Atelier	Fluorescente LED 1,20 m	26	19	494	882	436
<b>Vestiaire S2E</b>	Sanitaire+ douche	Fluorescente 1,20 m	26	16	416	784	326
	<b>Extérieur</b>	Projecteur led	150	2	300	4368	1 310
			150	1	150	4368	655

			150	5	750	4368	3 276
<b>Secteur 2</b>							
<b>Ancienne direction</b>	Bureaux	Fluorescente LED 1,20 m	26	21	546	1764	963
	Couloirs	Fluorescente LED 0,6 m	10	3	30	4368	131
	Toilette	Fluorescente LED 0,6 m	10	2	20	784	16
	Magasin	Fluorescente LED 1,20 m	26	1	26	267	7
	Extérieur	Fluorescente LED 1,20 m	26	10	260	4368	1 136
		Incandescente	20	3	60	4368	262
<b>Service du personnel</b>	Bureaux	Fluorescente LED 1,20 m	26	21	546	1764	963
	Couloir	Fluorescente LED 1,20 m	26	4	104	4368	454
	Toilette	Fluorescente LED 0,6 m	10	1	10	784	8
		Fluorescente LED 1,20 m	26	2	52	784	41
		Incandescente	20	1	20	784	16
	Cantine	Fluorescente LED 1,20 m	26	18	468	891	417
	Extérieur	Fluorescente LED 1,20 m	26	4	104	4368	454

		Incandescente	20	3	60	4368	262
<b>Géologie</b>	Bureaux	Fluorescente LED 1,20 m	26	42	1092	1764	1 926
	Couloir	Fluorescente 1,20 m	26	2	52	4368	227
	Toilettes	Incandescente	20	1	20	784	16
		Fluorescente LED 0,6 m	10	2	20	784	16
	Extérieur	Fluorescente LED 1,20 m	26	10	260	4368	1 136
<b>Instrumentation</b>	Bureaux	Fluorescente LED 1,20 m	26	22	572	1768	1 011
	Atelier + couloir	Fluorescente LED 1,20 m	26	16	416	1768	735
	Atelier électronique	Fluorescente LED 1,20 m	26	12	312	1768	552
	Atelier mécanographie	Fluorescente LED 1,20 m	26	6	156	1768	276
	Salle autocom	Incandescente	20	4	80	30	2
	Salle répartiteur	Fluorescente LED 1,20 m	26	2	52	221	11
	Toilettes	Fluorescente LED 1,20 m	26	2	52	784	41
		Fluorescente LED 0,6 m	10	3	30	784	24

	Extérieur	Fluorescente LED 1,20 m	26	6	156	4368	681
		Incandescente	20	7	140	4368	612
<b>Laboratoire</b>	Bureaux	Fluorescente LED 1,20 m	26	10	260	1764	459
	Bureau+ salle posté	Fluorescente LED 1,20 m	20	17	340	6989	2 376
	Salles traitements et analyse	Fluorescente LED 1,20 m	26	34	884	2475	2 188
	Magasin	Fluorescente LED 1,20 m	26	6	156	267	42
	Couloir	Fluorescente LED 1,20 m	26	8	208	4368	909
	Toilettes	Fluorescente LED 1,20 m	26	1	26	784	20
		Incandescente	20	2	40	784	31
	Salle électrique	Fluorescente LED 1,20 m	26	2	52	18	1
	Extérieur	Fluorescente LED 1,20 m	26	6	156	4368	681
<b>TOTAL</b>							<b>31 729</b>

Annexe 14 : Détermination, de la surface à isoler totale des locaux

Local	Longueur (m)	Largeur (m)	Hauteur (m)	Surface à isolée (m <sup>2</sup> )
Bureau chef électricien	5	2,5	3	35
Bureau attente	10	3,5	3	95
Bureau AMT électricien	5	3,5	3	58
Bureau contre-maître élec	4	3,5	3	24,5
Bureau mécanicien	5	3	3	63
Bureau AMT mécanicien	7	4	3	94
Bureau chef mécanicien	5	3	3	54
Bureau contre-maître méca	5	3	3	54
Magasin 1	15	3	3	153
Bureau	5	3,5	3	58
Magasin (pièces)	10	3,5	3	105,5
Vestiaire	5	3,5	3	58
Bureau 1	5,5	3	3	58,5
Bureau 2	5,5	3	3	58,5
Bureau 1	3	3	3	36
Bureau 2	4	3,5	3	48,5
Bureau Chef section elec	5	2,5	3	57,5
Bureau atelier section elec	5	5	3	70
Bureau qualiticien	4	4	3	40
Bureau contre maitre elc BT	5,5	4	3	67
Bureau contre maitre elc HT	4	4	3	40
Bureau chef section elc HT	5	4	3	74
Bureau contre maitre electro	4	4	3	52
Bureau chef administratif	3,86	4	2,78	48,4
Bureau stagiaire comptable	3,58	3,36	2,78	31,3
Bureau AB	3,57	3,36	2,78	21,9
Bureau paye	3,57	3,5	2,75	22,3
Bureau cellule paye	5,14	3,53	2,77	27,9
Bureau acheteur	3,58	3,51	2,81	32,5
Bureau comptable	3,6	3,56	2,78	32,7
Guichet	3,58	3,51	2,68	31,6
Salle informatique	7,4	7,03	2,77	92
Salle serveur	3,56	3,37	2,72	21,7
Secrétariat DPTI	5	4,14	2,72	45,6
Salle archives	3,78	3,6	2,77	24,1
Bureau contre maître DPI	5,36	3,6	2,75	43,9
Bureau superviseur projet	7,42	5,09	2,68	71,3

<b>Bureau chef service</b>	5,37	3,56	2,8	69,1
<b>Bureau DIPM</b>	4,14	3,57	2,78	57,6
<b>Bureau chef section</b>	4,83	3,57	2,76	63,6
<b>Hall</b>	7,41	6,56	2,87	128,8
<b>Chef département MCO</b>	5,02	3,57	2,75	65,2
<b>Chef division DIPM</b>	3,55	3,36	2,8	50,6
<b>Bureau ING-planificateur</b>	3,57	3,35	2,74	49,9
<b>Bureau ING-Etude et optimisation</b>	3,9	3,56	2,8	55,7
<b>Division étude et programme</b>	3,55	3,36	2,8	50,6
<b>Bureau agent paye 1</b>	3,84	3,55	2,8	55
<b>Bureau prospecteur</b>	4,6	3,37	2,74	59,2
<b>Bureau ING-géologue</b>	3,87	3,47	2,72	53,4
<b>Bureau T et A</b>	5	3,84	2,72	56,8
<b>Bureau électronique</b>	4	3,9	2,72	47,7
<b>Bureau SMU-DPTI</b>	7	3,8	2,72	66,3
<b>Atelier mécanographie</b>	5,42	3,83	2,74	56,6
<b>Salle autocom</b>	3,85	2,53	2,7	33,8
<b>Atelier électronique</b>	8,08	4,71	2,74	86
<b>Atelier Instrumentation</b>	11,31	10	2,74	198,9
<b>Bureau division Production</b>	5	3,75	2,75	32,5
<b>Bureau AMT</b>	4,38	3,28	2,75	35,4
<b>Salle ABSORTION ATOMIQUE</b>	4,32	3,2	2,75	37,6
<b>Salle ANALYSE URANATE</b>	11,25	3,83	2,75	105
<b>Salle ANALYSE MINERAI</b>	2,4	1,4	2,14	13,6
<b>Grande salle ANALYSE URANATE</b>	11,25	3,83	2,75	105
<b>Salle ANALYSE EAU</b>	8,5	3,8	2,75	66,1
<b>Salle ELECTRIQUE</b>	2,4	1,4	2,14	6,4
<b>Salle à manger</b>	4,34	2,96	2,75	29,1
<b>Salle THOMMERET</b>	4,34	2,4	2,75	34,3
<b>Bureau ADJOINT CHEF LABORATOIRE</b>	3,83	3,63	2,75	34,4
<b>Magasin</b>	3,85	3,9	2,75	46,9
<b>Salle des eaux</b>	3,84	1,75	2,8	28,2
<b>Salle essai TD</b>	3,84	2,57	2,8	31,4
<b>TOTAL (m<sup>2</sup>)</b>				3911,9

