



**Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement**  
**International Institute for Water and Environmental Engineering**



SONICHAR- S.A

**DIMENSIONNEMENT DE SYSTEME DE  
CLIMATISATION DANS DEUX BATIMENTS DE LA  
CENTRALE SONICHAR.**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE  
MASTER SPECIALISE EN GENIE ENERGETIQUE ET  
ENERGIES RENOUVELABLES**

Présenté et soutenu publiquement le 13 décembre 2011

par

**MAY AYA Salaou**

**Travaux dirigés par : Pr COULIBALY Yézouma**

*Jury d'évaluation du stage :*

Président : Pr COULIBALY Yézouma

Membres et correcteurs : Dr SIDIBE Sayon  
M. HENRI Kottin

Promotion [2010/2011]

## **Citations**

It is never late to learn.

He who fails to plan, plans to fail.

## **Remerciements/Dédicaces**

Louange à Allah qui a permis la réalisation de ce travail.

Au terme de ce stage de fin de formation, nous tenons à adresser notre profonde gratitude à ceux qui de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Nos remerciements s'adressent particulièrement à:

Pr. Yézouma COULIBALY pour son encadrement et sa disponibilité;

Monsieur Issa MAHAMADOU, chef service maintenance à la centrale de SONICHAR pour ses suggestions et conseils;

Monsieur Chaïbou RABO préparateur électricien (SONICHAR) qui n'a hésité en aucun instant de partager avec nous les informations recherchées;

Monsieur Sidi OUSMANE, chef section SSG pour son entière disponibilité;

Messieurs Harouna NOMAO et Ekiya AMOUMANE, respectivement chef section exécution et chef section BDM pour leur contribution en matière d'informations.

Monsieur Aminami pour m'avoir hébergé à Tchirozérine.

J'adresse mes sincères remerciements à mes parents et mon épouse qui sont source de mes motivations et de mes espoirs.

Je ne saurai finir sans adresser ma forte reconnaissance aux camarades de promotion, avec qui nous avons passé des moments inoubliables, pour leur esprit de groupe, leur solidarité et leur amitié.

A tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, ont contribué à la réalisation de ce travail et dont les noms n'ont pas pu être cités ici, nous disons merci.

## Résumé

Le projet de fin de formation consiste à dimensionner le système de climatisation dans deux bâtiments de la société Nigérienne de Charbon (SONICHAR). Ceci revient à évaluer les puissances frigorifiques, les débits de soufflage et les dimensions des gaines. Nous avons ainsi été conduit à effectuer des visites de toutes les salles de ces bâtiments, mais aussi à effectuer des mesures des températures intérieures et de l'humidité. Durant nos visites nous avons également mesuré les dimensions des salles.

Ces mesures nous ont permis d'établir un bilan des puissances et par conséquent le choix d'un monobloc de 35,58kW pour le bâtiment « poste 20kV » ; 55,69kW pour chacun des bâtiments « électrique 1 » et « électrique 2 » ainsi que les modèles des gaines et des grilles de soufflage.

Nous sommes parvenu à coût global du projet de: six cent cinquante quatre millions cent trente trois milles sept cent quatre vingt six francs (654.133.786) FCFA pour une durée de vie des équipements estimée à vingt (20) ans. La consommation électrique représente plus de quatre vingt (80%) pour cent du coût global du projet.

L'étude d'impact environnemental fait ressortir émission de cinq cent trente virgule quatre vingt onze (530,91) keqCO<sub>2</sub>/jour.

### Mots clés:

- 1- Climatisation
- 2- Système monobloc
- 3- Gaine
- 4- Grille

## **Abstract**

The proposed end of the training is to size the air conditioning system in two buildings in the Niger Coal Company (SONICHAR). This amounts to evaluate the cooling capacities, flow rates and supply air duct dimensions. We have been led to visits all the rooms of these buildings, but also to take measurements of internal temperatures and humidity. During our visits we have also measured the dimensions of the rooms.

These measures have enabled us to establish a balance of powers and therefore the choice of a piece of 35.58 kilowatts for the building "poste 20kV"; 55.69 kilowatts for each of the buildings' "electrique 1" and "electrique 2" and models of the ducts and supply air grilles.

We achieved overall cost of six hundred fifty-four million one hundred thirty three thousand seven hundred and eighty six (654,133,786) CFA francs for a lifetime of equipment estimated at twenty (20) years. The power consumption is more than eighty (80%) percent of the overall project cost.

The environmental impact study highlights issue of five hundred thirty-point ninety-one (530.91) keq CO<sub>2</sub>/day

### **Keywords:**

- 1- Air conditioning
- 2- Monobloc system
- 3- Sheath
- 4- Grid

## **Liste des abréviations**

A: Ampère

ACI : Atelier central d'intervention

BDM: Bureau des méthodes

BT : Basse tension

CC: Courant continu

CT: Contrôle technique

Cm : centimètre

DEC: Division exploitation centrale

DEM: Division exploitation mine

EIER: Ecole inter-états d'ingénieurs d'équipement rural

GPP: Gestion prévisionnelle du personnel

h : heure

Icu : Pouvoir de coupure ultime

kA : kilo Ampère

kM: Kilo-mètre

kV: Kilo-volt

kW: Kilo-watt

m: Mètre

MNS: Modular new system

mW: Méga-watt

SONICHAR: Société Nigérienne de charbon

SSG: Section services généraux

STI: Section transport infrastructures

Ue : Tension d'emploi

V: volt

## Sommaire

Citations.....	ii
Remerciements/Dédicaces.....	iii
Résumé.....	iv
Abstract .....	v
Liste des abréviations .....	vi
Sommaire .....	1
Introduction.....	3
I GENERALITES .....	4
1.1 Contexte de l'étude .....	4
1.2 Présentation de la SONICHAR.....	4
1.2.1 Organisation administrative .....	4
1.2.2 Localisation.....	5
1.2.3 Principe de production d'énergie à partir du charbon.....	5
1.3 Définition.....	5
II OBJECTIFS ET HYPOTHESES .....	6
2.1 Objectifs.....	6
2.2 Hypothèses du travail.....	6
III MATERIELS ET METHODE .....	8
3.1 Matériels.....	8
3.2 Méthode.....	9
3.2.1 Planification du travail.....	9
3.2.2 Recherche documentaire .....	9
3.2.3 Collecte des données.....	9
3.3 Les bâtiments objet de l'étude.....	9
3.3.1 Le bâtiment poste 20 kV.....	9
3.3.2 Le bâtiment électrique .....	11
IV RESULTATS.....	12
4.1 Détermination des surfaces.....	12
4.2 Bilan des puissances .....	13
4.3 Climatisation par les monoblocs .....	15
4.4 Climatisation du bâtiment poste 20kV.....	16
4.5 Climatisation du bâtiment « électrique 1 ».....	20



4.6 Climatisation du bâtiment « électrique 2 ».....	23
V ANALYSE ECONOMIQUE.....	27
5.1 Calcul des coûts d'investissements .....	27
5.2 Impact environnemental.....	29
VI CONCLUSION ET PERSPECTIVES .....	30
VII BIBLIOGRAPHIE.....	31
VIII ANNEXES .....	32
ANNEXE 2: Plan des bâtiments.....	33
ANNEXE 3: feuille de calcul YORK.....	34
ANNEXE4 : Choix des vitesses de soufflage et de reprise .....	35
ANNEXE5 : Pertes de charge dans les gaines circulaires .....	36
ANNEXE 6 : Diamètres et sections équivalents des gaines rectangulaires .....	37

## Introduction

L'environnement revêt aujourd'hui un caractère important dans le devenir de l'homme. Aussi, pour son confort thermique, l'homme se doit de maîtriser l'ensemble des facteurs de l'environnement que sont :

- Les bruits émis ;
- La température et l'humidité ;
- La qualité de l'air ;
- L'ensoleillement ;
- Le vent ;
- Les précipitations etc..

L'environnement extérieur de part ses dimensions imposantes n'est pas maîtrisable par l'homme. L'environnement intérieur (construction) qui est isolé de l'environnement extérieur grâce aux parois de la construction qui le contient est maîtrisable en ce qui concerne ses caractéristiques que sont le microclimat dont les paramètres sont réduits à la température, à l'humidité de l'air, à la qualité et au mouvement de l'air. Par son ingéniosité, l'homme va mettre en œuvre les moyens propres à la maîtrise de cet environnement. Cette maîtrise de l'environnement intérieur est souvent rencontrée dans les centrales de production d'énergie électrique, car cette activité requiert une exigence en matière de la qualité du produit. Tenant compte de cet état de fait, le gouvernement nigérien, à la création de la SONICHAR, a fait appel à une société allemande (FLükt) pour l'étude et l'installation du système de ventilation et de climatisation. Mais au fil du temps et avec les modifications apportées aux équipements de la centrale, le système de climatisation n'arrive plus à garantir les conditions (notamment la température et l'humidité) fixées au départ. Ceci a pour conséquences, des pannes récurrentes sur les appareils de commande et de contrôle entraînant des perturbations sur le fonctionnement et la production de la centrale. Comment minimiser ces perturbations dues essentiellement aux mauvaises conditions environnementales des appareils de commande et de contrôle ? A travers cette étude dont, la réponse à cette question reste la principale préoccupation, nous comptons apporter notre contribution au bon fonctionnement de ces appareils et de la centrale en général.

## I GENERALITES

### 1.1 Contexte de l'étude

Depuis 2008 la société nigérienne de charbon (SONICHAR) s'est lancée dans un programme de renouvellement progressif de ses équipements. C'est dans cette optique qu'elle envisage de remplacer les systèmes de climatisation qui ne répondent plus aux conditions fixées à la création de la centrale. En effet, les températures actuelles des différentes salles alimentées par ces systèmes et concernées par notre étude varient entre 30 et 35°C, pour une température de consigne de 24°C.

### 1.2 Présentation de la SONICHAR

La société nigérienne du charbon d'Anou-Araren (SONICHAR) est créée en 1975 avec un capital de dix neuf milliards sept cent trente millions de francs CFA (19 730 000 000). Elle a pour mission principale la desserte en énergie électrique des sociétés minières d'Arlit.

#### 1.2.1 Organisation administrative

La SONICHAR, société anonyme d'économie mixte à caractère industriel et commercial, compte un effectif de 326 agents tout grade confondu. Elle est placée sous la tutelle du Ministère des Mines et de l'Energie, et administrée par un conseil d'Administration. Elle est dotée d'une Direction Générale qui s'appuie sur un secrétariat général, une direction des services techniques et une direction des exploitations. Cette dernière comprend une Division Exploitation minière (DEM) et une Division Exploitation Centrale (DEC).

✓ La division mine

La division exploitation minière a pour mission essentielle l'exploitation du charbon à partir d'une carrière située non loin de la centrale et l'alimentation de la centrale en combustible charbon. L'exploitation du charbon se fait à une profondeur d'environ 40 à 45m dans une carrière à ciel ouvert sur un permis de 2093,66 ha.

✓ Division exploitation centrale

La division exploitation centrale (DEC), comprend un service exploitation, un service maintenance et un secrétariat. Le service maintenance est composé de quatre sections : la section exécution, la section contrôle technique (CT), la section bureau des méthodes (BDM) et la section Atelier central d'intervention (ACI). La division exploitation centrale qui a la charge de toute la centrale (composée de deux tranches thermiques de 18,8 mW chacune), a pour mission la production de l'énergie électrique à partir du charbon. (L'organigramme administratif de la SONICHAR sera annexé à ce document.)

### **1.2.2 Localisation**

Le site de la SONICHAR est situé à environ 1000 km au nord de Niamey la capitale du Niger. Il est à environ 70 Km au nord-ouest d'Agadez, le chef lieu de la région.

Les coordonnées géographiques du site sont: Latitude 17°17' N; Longitude: 7°49' E.

### **1.2.3 Principe de production d'énergie à partir du charbon**

L'eau distillée produite par le distillateur, arrive dans les tubulures de la chaudière où elle est chauffée par convection grâce à la chaleur provenant de la combustion du charbon et de l'air dans l'enceinte de la chaudière. Cette eau se transforme en vapeur qui, portée à une pression de 62 bars et une température de 500°C, fait tourner la turbine qui entraîne l'alternateur pour produire de l'électricité.

## **1.3 Définition**

La climatisation est la création et le maintien d'un air ambiant dont la température, l'humidité et la pureté sont contraintes. Un système de climatisation est constitué d'un dispositif centralisé, qui produit une atmosphère contrôlée à tout moment, quelles que soient les conditions climatiques. Cependant, le terme climatisation est souvent appliqué improprement au refroidissement de l'air. Dans ce cas, les dispositifs de « climatisation » sont simplement des unités de réfrigération équipées d'un ventilateur, qui fournissent uniquement un débit d'air froid filtré. De même, le terme climatiseur désigne généralement des appareils autonomes de faible dimension et générant de l'air froid.

## II OBJECTIFS ET HYPOTHESES

### 2.1 Objectifs

L'objectif global est de contribuer à l'efficacité de la centrale en réduisant les pannes dues aux surchauffes des appareillages de contrôle et de commande. Par ailleurs l'objectif spécifique est défini comme suit:

- Déterminer les puissances frigorifiques et les coûts des systèmes de climatisation à placer dans les locaux suivants :
  - a) Bâtiment poste 20 kV
  - b) Bâtiment électrique constitué de 3 niveaux dont deux sont concernés par notre étude.

Il s'agit de :

Niveau 3,80m (1<sup>er</sup> étage)

Niveau 7,60m (2<sup>e</sup> étage)

### 2.2 Hypothèses du travail

Les hypothèses sont constituées autour des matériaux de constructions à partir desquels les bâtiments sont construits. Il s'agit des briques creuses de 10 cm d'épaisseur pour le premier bâtiment (bâtiment poste 20kV) et des briques creuses de 20 cm d'épaisseur pour le deuxième (bâtiment électrique). Conformément aux directives de la SONICHAR, nous avons considéré une température de consigne de 24°C et une humidité de 50% dans les salles concernées par cette étude. Les températures maximale et minimale sont respectivement 44°C et 24°C comme indiqué dans le tableau ci-après.

**Tableau 2.1:** Températures moyennes du mois d'avril sur 5 ans.  
(Source: Météo)

Température mini en °C (à 4h GMT)	Température maxi en °C (à 13h GMT)
26	41
27	42
26	43
27	43
27	43
28	44
28	44
24	43
26	44
27	42
29	43
29	42
29	42
31	43
30	42
29	42
30	42
28	41
27	41
26	42
26	42
27	43
25	40
27	39
28	43
29	42
29	39
25	40
24	41
27	43
28	43

### III MATERIELS ET METHODE

#### 3.1 Matériels

- Moyens humains : Pour la mise en œuvre de ce travail, nous avons bénéficié de la collaboration de l'ensemble des travailleurs de la SONICHAR et plus particulièrement des agents de la division exploitation centrale (DEC) qui ont été exemplaires dans la fourniture des données et l'encadrement.

- Supports et documents : il s'agit des schémas techniques, des plans et des guides de conduite et d'entretien.

Pour les mesures, nous avons utilisé les appareils suivants : un décamètre et un hygromètre avec thermomètre incorporé.

Nous avons aussi utilisé un appareil photo numérique.



**Photo 1** : décamètre



**Photo 2**: hygromètre

✓ Instruments de traitement des données

Le logiciel excel a été utilisé pour les différents calculs.

## **3.2 Méthode**

### **3.2.1 Planification du travail**

Le cheminement suivi pour aboutir aux résultats comporte les axes suivants :

- La recherche documentaire
- La collecte des données
- Le traitement et l'analyse des données
- Les mesures

### **3.2.2 Recherche documentaire**

Elle consiste en la consultation des ouvrages, des articles, des rapports qui traitent de la climatisation. Nos principales consultations étaient basées sur la documentation de la section exploitation et celle du BDM. Nos consultations se sont ensuite élargies aux sections SSG, STI, la topographie et la météo.

### **3.2.3 Collecte des données**

La collecte des données s'est articulée autour de trois axes principaux : l'inventaire des salles à climatiser, l'élaboration du plan et le suivi de certains facteurs environnementaux et notamment la température et l'humidité.

## **3.3 Les bâtiments objet de l'étude**

### **3.3.1 Le bâtiment poste 20 kV**

C'est un bâtiment, à façades principales orientées nord-sud, construit en matériau définitif avec des briques creuses de dix centimètres d'épaisseur munies d'un enduit intérieur. Le toit est en béton de vingt centimètres d'épaisseur avec une isolation d'étanchéité au dessus. Les portes sont toutes métalliques.

Ce bâtiment composé de cinq (5) salles abrite les cellules disjoncteurs; les châssis de relaying comportant tous les relais de commande et de protection du poste 20 kV, de la ligne 132 kV et du diesel; les tableaux MNS BT; les chargeurs batteries 20 kV et les tableaux diesel 125V CC.





**Photo 3:** Une vue du bâtiment « poste 20kV »



**Photo 4:** une vue d'une salle MNS



**Photo 5:** une vue d'une salle de relayage

### 3.3.2 Le bâtiment électrique

Ce bâtiment dont les façades principales sont orientées Est-Ouest, est constitué de trois parties dont deux font l'objet de notre étude: il s'agit de la partie située au niveau 3,8m sans plafond et une autre située au niveau 7,6m avec plafond. Les deux niveaux de ce bâtiment sont construits en matériau définitif avec des briques de vingt centimètres d'épaisseur et un toit en dalle de béton de vingt centimètre d'épaisseur également.

✓ Niveau 3,8m ou « bâtiment électrique 1 »

Il est composé de quatre (4) salles dont les salles de relayage, le local MNS et le local courant continu. Il contient également les tableaux MNS BT; les armoires de distribution d'éclairage extérieur et intérieur des tranches; les relais auxiliaires de commande et de protection 6,6 kV ; les onduleurs et leurs tableaux de distribution 125V CC reliés; le chargeur 48V; le coffret des résistances de démarrage du moteur, de ventilateur de réinjection des suies.

✓ Niveau 7,6m ou « bâtiment électrique 2 »

Ce niveau du bâtiment comprend quatre bureaux, la salle de commande, le local régulation, la cuisine et des petits magasins. A ce niveau sont installés les armoires de régulation; les relais des tableaux auxiliaires; les enregistreurs; la baie de surveillance de défaut d'isolement et le chargeur 24V pour turboalternateur.



**Photo 6** : Une vue du « bâtiment électrique »

## IV RESULTATS

### 4.1 Détermination des surfaces

Les surfaces des murs, cloisons et vitrages ont été calculées suivant la procédure qui nous a été enseignée en classe. Les plans des bâtiments avec les dimensions correspondantes seront annexés à la fin de ce document.

**Tableau 4.1:** évaluation des surfaces du bâtiment poste 20 kV

	Surfaces (m <sup>2</sup> )				
		Salle MNS	Salle de Relayage	Salle Batteries	Salle Diésel
Murs extérieurs	Est	0	0	14,85	24,75
	Ouest	23,79	14,21	0	0
	Nord	43,95	0	0	12,352
	Sud	0	24,11	12,032	0
Vitrages	Est	0	0	0	0
	Ouest	0,96	0,64	0	0
	Nord	1,92	0	0	0,32
	Sud	0	0,64	0,64	0
Cloisons		13,2	14,85	14,85	0
Toit		104,25	44,64	17,28	28,8
Plancher		104,25	44,64	17,28	28,8

**Tableau 4.2:** évaluation des surfaces du bâtiment électrique (niveau 3,8m)

	Surfaces (m <sup>2</sup> )				
		Salle MNS1	Salle R1	Salle MNS2	Salle R2
Murs extérieurs	Est	65,844	31,86	0	0
	Ouest	0	0	65,844	31,86
	Nord	0	0	32,568	0
	Sud	32,568	31,86	0	31,86
Vitrages	Est	0	0	0	0
	Ouest	0	0	0	0
	Nord	0	0	0	0
	Sud	0	0,	0	0
Cloisons		0	14,85	0	0
Toit		0	0	0	0
Plancher		167,4	81	167,4	81

**Tableau 4.3:** évaluation des surfaces du bâtiment électrique (niveau 7,6m)

		Surfaces (m <sup>2</sup> )					
		Salle de comm.	Bureaux	Magasins	Cuisine	Salle Régulat.	Couloir
Murs extérieurs	Est	0	0	8,46	0	37,506	29,61
	Ouest	0	0	8,46	0	37,506	29,61
	Nord	23,964	0		0	8,46	0
	Sud	0	0	38,07	12,69	0	0
Vitrages	Est	0	0	0	0	0	0
	Ouest	0	0	0	0	0	0
	Nord	18,9	0	0	0	0	0
	Sud	0	0	0	0	0	0
Cloisons		0	0	0	0	0	0
Plafond		148,96	135	40,5	13,5	93,1	54
Plancher		0	0	0	0	0	0

## 4.2 Bilan des puissances

**Tableau 4.4:** évaluation des puissances du bâtiment poste 20kV

	Apport par conduction (W)	Renouv. d'air (W)	Apports internes (W)	Total (W)
Salle MNS	4501,92	180	8180	12861,92
Salle relayage	2242,34	180	4288	6710,34
Salle batteries	1262,146	180	4288	5730,146
Salle diesel	1544,546	180	3168	4892,546
Puissance à installer (W)				30194,952

**Tableau 4.5:** évaluation des puissances du bâtiment électrique (niveau 3,8m)

	Apport par conduction (W)	Renouv. d'air (W)	Apports internes (W)	Total (W)
Salle MNS 1	2854,944	180	10208	13242,944
Salle de relay. 1	1574,64	180	10208	11962,64
Salle MNS 2	2854,944	180	10208	13242,944
Salle de relay. 2	1574,64	180	10208	11962,64
Puissance à installer (W)				50411,168

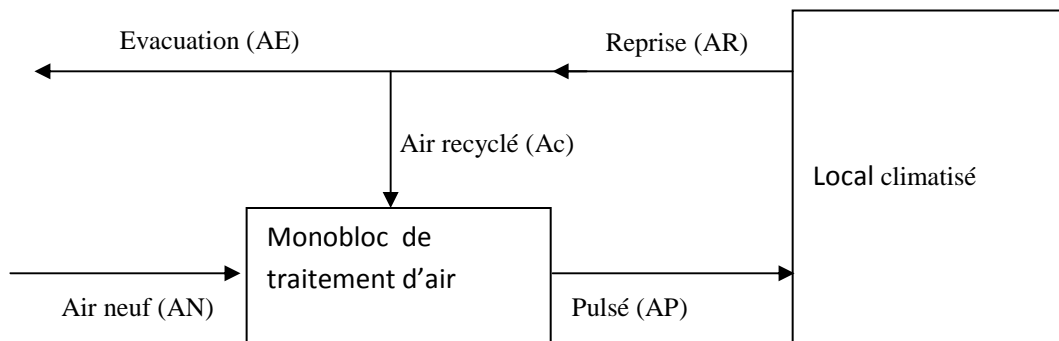
**Tableau 4.6:** évaluation des puissances du bâtiment électrique (niveau 7,6m)

	Apport par conduction (W)	Renouv. d'air (W)	Apports internes (W)	Total (W)
Salle de commande	7528,172	720	12032	20280
Salle régulation	3959,676	180	9248	13387,6
Couloir	2658	0	480	3138
Bureau1	810	90	304	2566
Bureau2	810	90	304	2566
Bureau3	810	90	304	2566
Bureau4	810	90	304	2566
Magasin1	810,45	0	160	970,45
Magasin2	615,87	0	160	775,87
Cuisine	615,87	0	160	775,87
Magasin3	810,45	0	160	970,45
Puissance à installer (W)				50562,24

### 4.3 Climatisation par les monoblocs

#### ➤ Principe de dimensionnement et note de calcul des débits

Les types de monobloc considérés sont des monoblocs de marque Daikin. Pour le dimensionnement, le catalogue général Daikin 2010 a permis le choix des monoblocs sur la base du bilan des puissances de climatisation calculés. La table7 du cours « production du froid » donne la vitesse de l'air de soufflage selon la destination du local. Le réseau de gaine a été déterminé à l'aide des abaques présentés en annexe 5 et 6.



**Figure 4.1:** Schéma de principe d'un monobloc

#### Note de calculs

$$\text{Débit de pulsé} : D_{AP} = \frac{Q}{\rho C \Delta T} ; \Delta T = T_{\text{consigne}} - T_{\text{soufflage}} ;$$

La température minimale de soufflage est fixée à 16 °C sauf dans le cas des locaux de plafond haut où elle peut être baissée jusqu'à 13°C. Aussi, la détermination du débit d'air de soufflage peut être fixée par le choix de l'unité extérieure selon la puissance de climatisation.

$$\text{Débit d'air repris} : D_{AR} = D_S$$

**Débit d'air neuf** :  $D_{AN} = n \cdot d_n$ ;  $d_n$  étant le débit d'air neuf par personne. Il dépend du type de local.

**Débit de reprise d'air** :  $D_{AR} = D_S - 0,15 \cdot D_{AN}$ ; Les  $0,15 \cdot D_{AN}$  est la part d'air créant la surpression du local.

$$\text{Débit d'air évacué} : D_E = 0,85 \cdot D_{AN}$$

$$\text{Débit d'air recyclé} : D_{AC} = D_{AR} - D_E$$

$$\text{Donnée de conversion de débit} : D \text{ (m}^3\text{/h)} = 3,6 \cdot D \text{ (L/s)}$$

#### ➤ Locaux climatisés par les monoblocs

Il est prévu trois monoblocs pour la climatisation des trois locaux. Le fonctionnement de chacun de ces trois locaux est globalement identique. Même période de demande de climatisation ou bloc communicant. Cet état des lieux offre de nombreux avantages pour l'utilisation de monobloc.

**Tableau 4.7** : choix des unités extérieures

Local	Puissance de climatisation théorique (W)	Monobloc	Puissance installée (W)	Ratio de climatisation (W/m <sup>2</sup> )
Bâtiment Poste 20 kV	30194,952	UATYQ350BY1	35580	167,51
Bâtiment électrique 1	50411,168	UATYQ550BY1	55690	162,71
Bâtiment électrique 2	50562,24	UATYQ550BY1	55690	162,60

**Tableau 4.8:** Caractéristiques des monoblocs choisis

Caractéristiques	Model	
	UATYQ350BY	UATYQ550BY
Puissance frigorifique (kW)	35,58	55,69
Puissance électrique (kW)	8,14	16,75
COP	3,21	3,47
Débit d'air (L/s)	2030	3160
Type de réfrigérant	R410a	

➤ **Conception et dimensionnement du réseau de gaine selon le monobloc**

Pour la conception du réseau, il est considéré les conditions suivantes

- **Choix du type de réseau de gaine** : Le réseau de diffusion d'air est fait de gaine rectangulaire en staff isolé. Il présente l'avantage d'être résistant, localement réalisable, fiable durant la durée de vie d'au moins du monobloc et n'a nullement besoins d'un soufflage de nettoyage.
- **Choix des vitesses** : Selon la table 7 du cours « production de froid » (annexe 4 de ce document) et en tenant compte de la destination du local nous choisissons les vitesses :

**Vitesse de soufflage : 6 m/s**

**Vitesse de la reprise : 4 m/s**

#### 4.4 Climatisation du bâtiment poste 20kV

✓ **Débit d'air à la bouche de soufflage**

La diffusion de l'air dans le local est assurée par 9 bouches de soufflage toutes identiques.

**Tableau4.9:** débits de soufflage

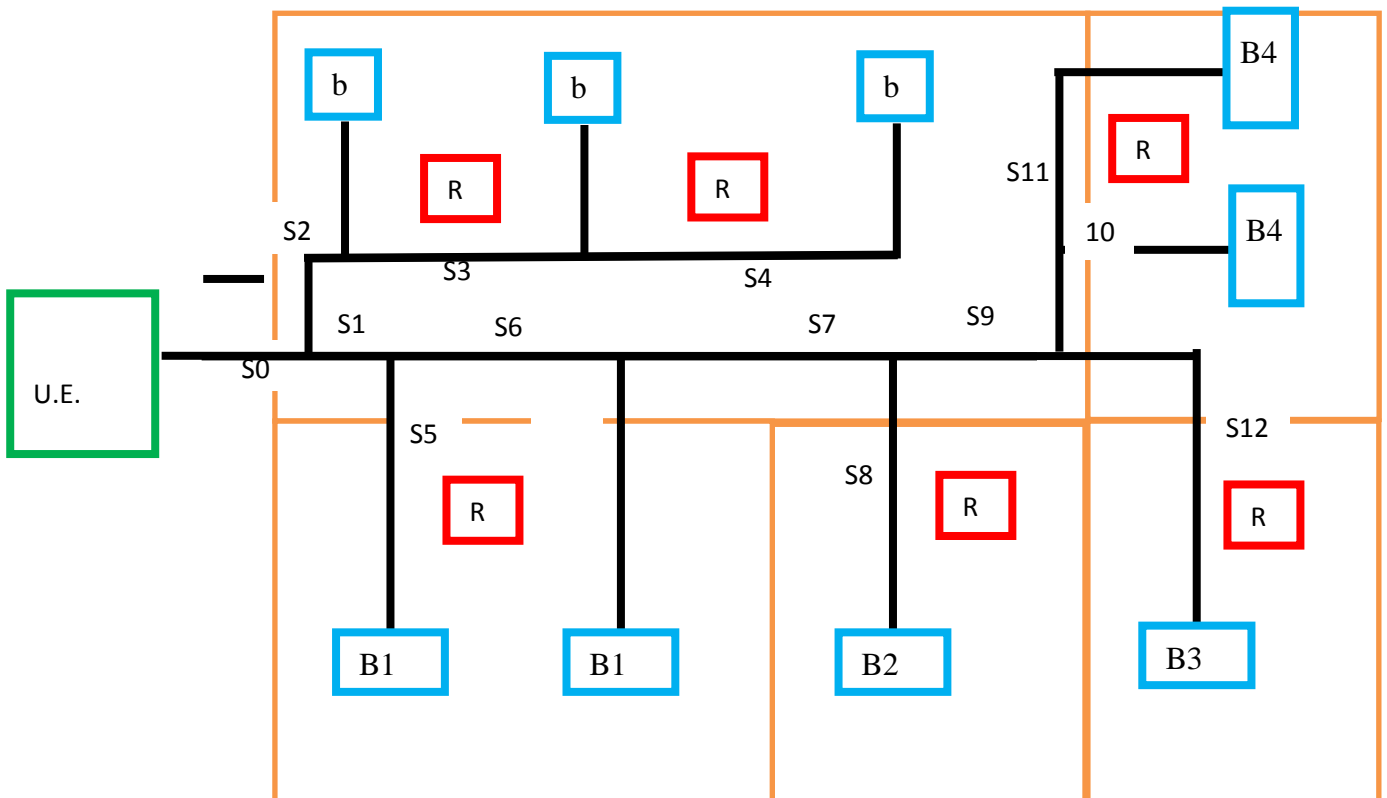
Type de débit	Air pulsé	Bouche de soufflage	Air neuf	Air repris	Bouche de reprise	Air rejeté	Air recyclé
Débit (m <sup>3</sup> /h )	7308		2500	6933	1020	2125	4808

✓ **Dimensionnement des conduits**

Sur la base de la vitesse choisie et du débit d'air de soufflage la perte de charge du réseau trouvée est de:

**Réseau de soufflage : 0,04 mm CE/m.**

**Réseau de reprise : 0,018mm CE/m.**



**Figure 4.2:** réseau de gaine bâtiment poste 20kV



Section	S	So	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	R
<b>Débit</b> (m3/h)	6933	7308	4218	3090	2060	1030	812	3406	2594	900	1698	1000	500	700	1020
Diamètre circulaire (cm)	75	75	52	47	42	32	29	34	44	30	37	32	25	28	37
<b>Longueur</b> (cm)	70	72	48	42	40	30	26	32	43	28	35	30	20	25	30
<b>Largeur</b> (cm)	70	70	48	42	40	30	26	32	43	28	35	30	20	25	30

**Tableau4.10:** Dimensions des sections rectangulaires


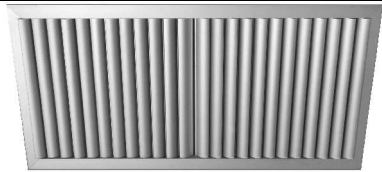
### ✓ Grilles d'échange

Les dimensions des grilles d'échange sont définies plus larges que les grilles de conduit données pour éviter les sifflements à la sortie de l'air. Le tableau ci-dessous donne les dimensions retenues.

**Tableau 4.11:** Dimensions des grilles d'échange

Bouche	Soufflage b	Soufflage B1	Soufflage B2	Soufflage B3	Soufflage B4	reprise		Air neuf	Air rejeté
Longueur (cm)	30	30	30	25	30	45	25	30	25
Largeur (cm)	30	30	30	25	30	45	25	30	25
Nombre	3	2	1	1	2	2	4	1	1

**Tableau 4.12:** Modèle et dimensions des grilles

Bouche	Model	Dimension (cm)	Image	Grille de fixation et autres	Nombre
Air neuf	DXT-A	30*30		Type CX	1
Air rejeté	DAT-A	20*20			1
soufflage	AMT-ACO	30*30		BOXSTAR/S/	7
		25*25			1
reprise	AXQ-S	22* 22			4
		45*45			2
Clapet de régulation	SKC-R/AM	25*25			1
		30*30			7

✓ **Alimentation électrique et commande du monobloc M1**

L'alimentation électrique se fait à partir du coffret du bâtiment situé dans la salle de relaying.

Puissance électrique du monobloc : **8,14 kW**

✓ **Protection**

Elle est assurée par un disjoncteur différentiel de départ dont les caractéristiques sont données ci-dessous.

- Disjoncteur tétra polaire du type C60A courbe C
- Calibre 25A
- Tension assignée d'emploi (Ue) : 400V à 50/60 V
- Pouvoir de coupure ultime (Icu) : 36 kA
- Vigi : 300 mA.

✓ **Choix du câble**

Le câble d'alimentation est un câble multipolaire double isolation (classe II) de type U1000R02V, âme en cuivre. Câble 5\*4 mm<sup>2</sup> de longueur 50 m.

✓ **Câble de commande**

C'est un câble de télécommunication ordinaire de longueur 20 m.

#### 4.5 Climatisation du bâtiment « électrique 1 »

✓ *Débit d'air à la bouche de soufflage*

La diffusion de l'air dans le local est assurée par 9 bouches de soufflage toutes identiques, la reprise 8.

Ainsi, les débits de soufflage sont :

**Tableau 4.13** Débits de soufflage

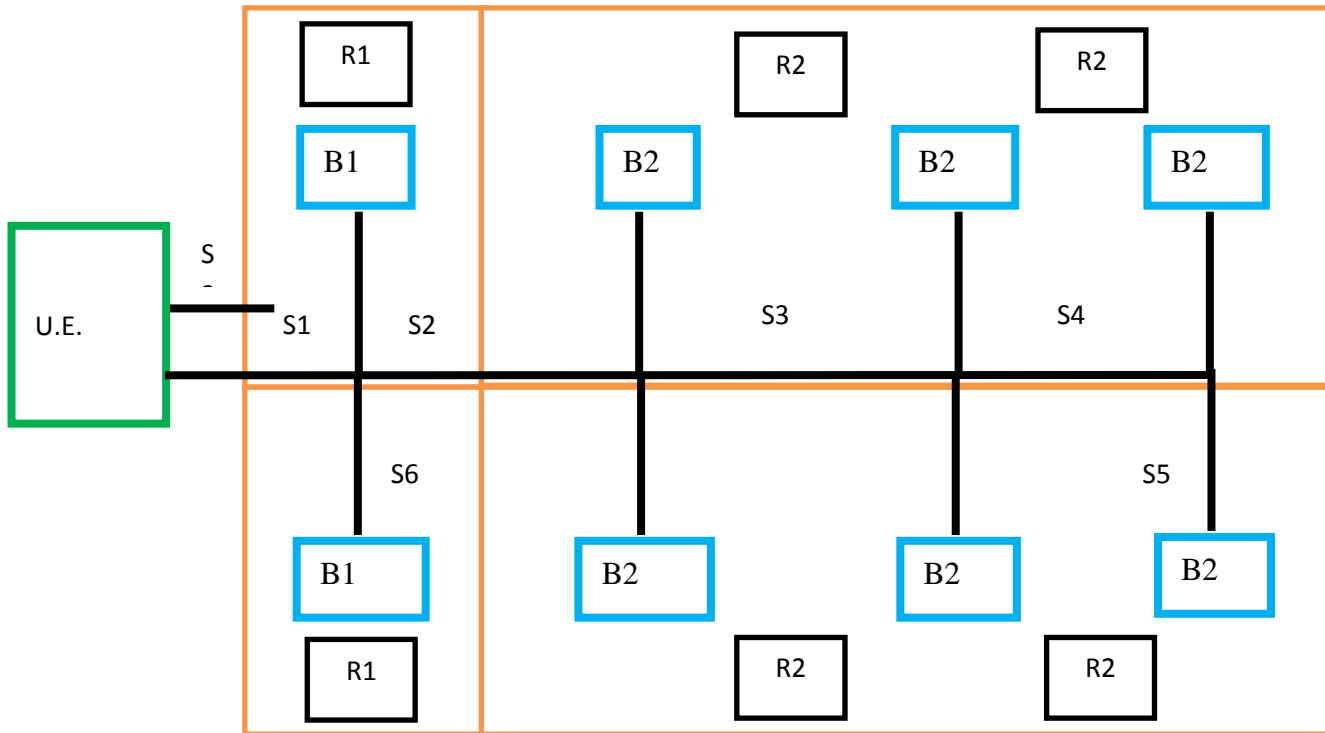
Type de débit	Air pulsé	Bouche de soufflage	Air neuf	Air repris	Bouche de reprise	Air rejeté	Air recyclé
Débit (m <sup>3</sup> /h)	11376		3047	10919		2592	8324

✓ *Dimensionnement des conduits*

Sur la base de la vitesse choisie et du débit d'air de soufflage la perte de charge du réseau trouvée est de:

**Réseau de soufflage : 0,04 mm CE/m.**

**Réseau de reprise : 0,018mm CE/m.**



**Figure 4.3:** Réseau de gaine bâtiment « électrique 1 » niveau 3,8 m »

**Tableau 4.14 :** Dimensions des gaines rectangulaires

Section	S	S1	S2	S3	S4	S5	S6	R1	R2
Débit (m <sup>3</sup> /h)	10920	11376	8532	5688	2844	1500	1350	1350	2050
Diamètre circulaire (cm)	100	86	78	67	52	42	37	42	57
Longueur (cm)	90	80	75	62	48	35	32	38	50
Largeur (cm)	90	78	75	62	48	35	32	38	50




#### ✓ Grilles d'échange

Les dimensions des grilles d'échange sont définies plus larges que celles des grilles de conduit données pour éviter les sifflements à la sortie de l'air. Le tableau ci-dessous donne les dimensions retenus.

**Tableau 4.15 : Grilles d'échange**

Bouche	Soufflage	Soufflage	reprise		Air neuf	Air rejeté
	B1	B2				
Longueur (cm)	35	35	45	50	55	45
Largeur (cm)	35	35	45	50	55	45
Nombre	2	6	2	4	1	1

**Tableau 4.16 : Modèle et dimensions des grilles**

Bouche	Model	Dimension (cm)	Image	Grille de fixation	Nombre
Air neuf Et Air rejeté	DXT-A	55*55		Type CM	1
		45*45			1
Soufflage	AXO-S	35*35		BOXSTAR/S/	8
Reprise	DMT-FY	45*45		CM	2
		50*50			4
Clapet de régulation	SKM-R/AM	35*35			8

✓ **Alimentation électrique et commande du monobloc M2**

L'alimentation électrique se fait à partir du coffret situé dans la salle MNS.

Puissance électrique du monobloc : **16,75 kW**

✓ **Protection :**

Elle est assurée par un disjoncteur différentiel de départ dont les caractéristiques sont données ci-dessous.

- Disjoncteur tétra polaire du type C60A courbe C
- Calibre 40A
- Tension assignée d'emploi ( $U_e$ ) : 400V à 50/60 V
- Pouvoir de coupure ultime ( $I_{cu}$ ) : 76 kA
- Vigi : 300 mA.

✓ **Choix du câble**

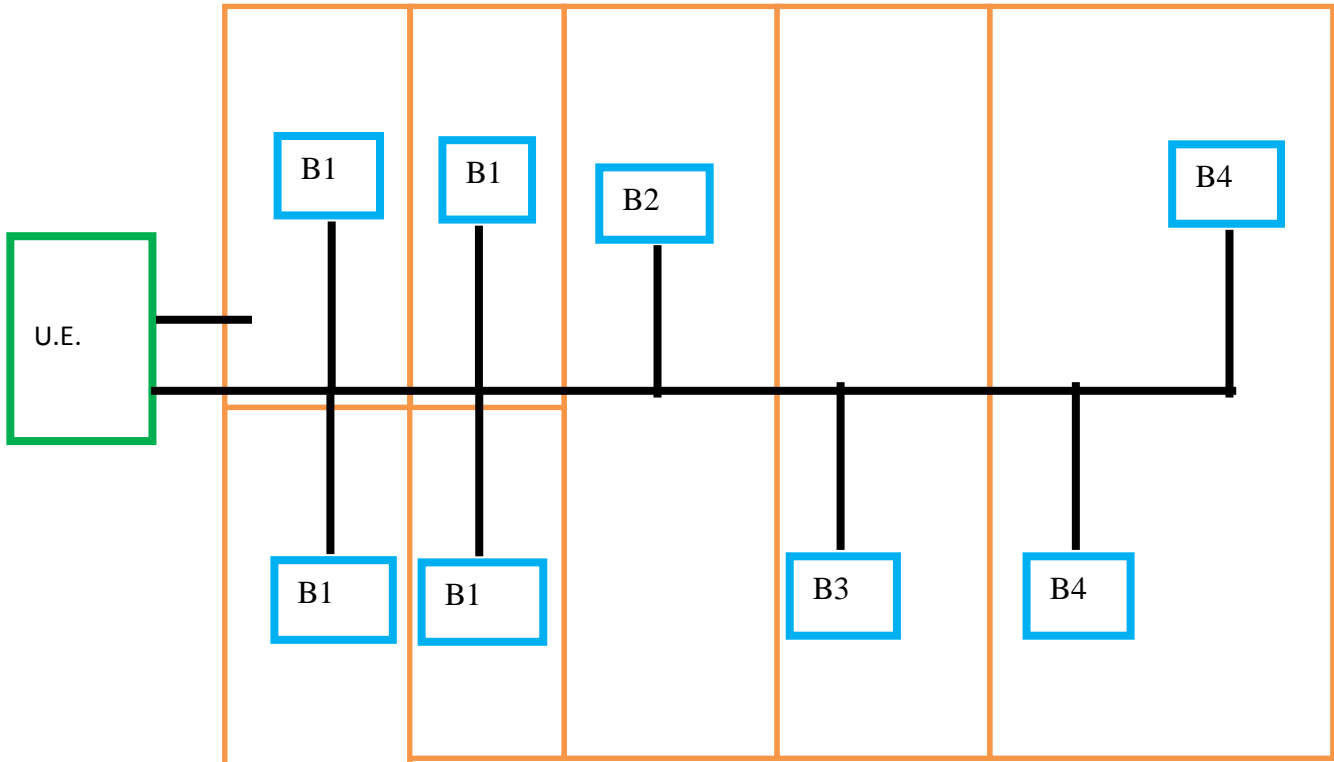
Le câbles d'alimentation est un câble multipolaire double isolation (classe II) de type U1000R02V, âme en cuivre, câble **5\*6 mm<sup>2</sup>** de longueur **50 m**.

✓ **Câble de commande**

C'est un câble de télécommunication ordinaire de longueur 20 m.

#### **4.6 Climatisation du bâtiment « électrique 2 »**

La climatisation de ce bâtiment ne prend pas en compte les magasins et la cuisine. Ne sont considérés que les locaux à usage bureautiques et les salles abritant les appareils de contrôle et de commande.



**Figure 4.4 :** Réseau de gaine bâtiment « électrique 2 » niveau 7,6 m »

**Tableau 4.17 :** Dimensions des gaines rectangulaires en staff isolé

Section	S	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	R1	R2	R3	R4
Débit (m <sup>3</sup> /h)	10920	11376	10135	620	8895	758	8136	3235	4900	2450	600	725	3100	2351
Diamètre circulaire (cm)	100	86	85	29	84	33	75	54	65	50	75	80	55	80
Longueur (cm)	90	80	80	28	80	28	65	50	60	45	70	78	50	45
Largeur (cm)	90	78	78	28	78	28	65	50	60	45	70	78	50	45

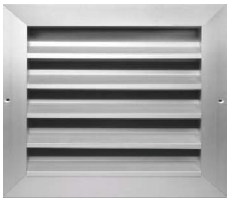


## Grilles d'échange

Les dimensions des grilles d'échange sont définies plus larges que celles des grilles de conduit données pour éviter les sifflements à la sortie de l'air. Le tableau ci-dessous donne les dimensions retenues.

**Tableau 4.18** : dimensions des grilles d'échange

Bouche	Soufflage B1, B3 et B4	Soufflage B2	Reprise R1, R2 et R4	Reprise R2	Air neuf	Air rejeté
Longueur (cm)	50	30	45	25	30	25
Largeur (cm)	50	30	45	25	30	25
Nombre	7	1	5	1	1	1

**Tableau 4.19** : Choix des grilles de soufflage

Bouche	Model	Dimension (cm)	Image	Grille de fixation	Nombre
Air neuf Et Air rejeté	DXT- A	55*55		Type CM	1
		45*45			1
Soufflage	AXO- S	35*35		BOXSTAR/S/	8
Reprise	DMT- FY	45*45		CM	2
		50*50			4
Clapet de régulation	SKM- R/AM	35*35			8

### ✓ Alimentation électrique et commande du monobloc M3

L'alimentation électrique se fait à partir du coffret situé dans le magasin1.



Puissance électrique du monobloc : **16,75 kW**

✓ **Protection :**

Elle est assurée par un disjoncteur différentiel de départ dont les caractéristiques sont données ci-dessous.

- Disjoncteur tétra polaire du type C60A courbe C
- Calibre 40A
- Tension assignée d'emploi (Ue) : 400V à 50/60 V
- Pouvoir de coupure ultime (Icu) : 76 kA
- Vigi : 300 mA.

✓ **Choix du câble**

Le câbles d'alimentation est un câble multipolaire double isolation (classe II) de type U1000R02V, âme en cuivre, câble **5\*6 mm<sup>2</sup>** de longueur **50 m**.

✓ **Câble de commande**

C'est un câble de télécommunication ordinaire de longueur 20 m.

## V ANALYSE ECONOMIQUE

### 5.1 Calcul des coûts d'investissements

Pour effectuer le calcul des coûts d'investissement, il a été considéré les coûts réels des équipements. La charge d'exploitation est composée des estimations, de la maintenance et des frais d'électricité tous supposés constants durant la durée de vie des équipements. Cette période est de 20 ans. Les coûts calculés sont actualisés à la date de l'investissement sur la base d'un taux d'actualisation de 10%. Le tableau ci-dessous donne les résultats obtenus.

- Les monoblocs et les grilles sont commandés de l'extérieur : De ce fait le prix est celui de l'usine multiplier par 1,6 pour tenir compte du transport, de l'assurant sur la transaction, la douane, le transit, etc..
- Le coût de l'étude est de 12% fois le prix des équipements,
- Le coût de la réalisation est de 24 % fois le prix des équipements,
- La TVA est de 19% fois le prix global des travaux,
- L'entretien est forfaitaire à 2000 franc par unité,
- Le coût du kWh est prix égal à 120 F CFA,
- Les équipements fonctionnent 24h/24h
- Les équipements fonctionnent à 75% de leur puissance nominale

**Tableau 5.1:** Coût d'investissement

<b>I/ INVESTISSEMENT</b>	
<b>Composants du système</b>	<b>Monobloc</b>
Unités extérieures	10 918 989
Unités intérieures	16823220
Conduits de fluide de climatisation	4087260
Protections, coffrets et tableau et câbles électriques	437500
Support de fixation	3000000
Câbles de communication	13000
<b>Investissement brut (HTVA)</b>	<b>35 279 969</b>
Etude	4 233 596
Réalisation	8 467 192
<b>Investissement net (HTVA)</b>	<b>47 980 757</b>
<b>TVA (19%)</b>	<b>9 116 343</b>
<b>Investissement net (TTC)</b>	<b>57 097 100</b>
<b>II/ ENTRETIEN ET MAINTENANCE</b>	
Coût de la maintenance	56000
Coût d'entretien (Forfait)	200000
<b>Coût global annuel</b>	<b>256 000</b>
<b>III/ FACTURE D'ELECTRICITE (A TITRE INDICATIF)</b>	
Coût du kWh électricité (FCFA)	120
Coût journalier de la facture (FCFA)	89942
Coût global annuel	<b>32 828 976</b>
<b>Coût global annuel de l'installation</b>	<b>90 182 076</b>

## 5.2 Impact environnemental

Le taux d'émission est pris égal à 0,85 kgCO<sub>2</sub>/kWh consommé

Le résultat du calcul est donné par le tableau ci-dessous

**Tableau 5.2:** Evaluation des émissions du CO<sub>2</sub>

	Puissance installée (kW)	Consommation journalière (kWh)	Taux de pollution	CO <sub>2</sub> émis keqCO <sub>2</sub> /Jour
Monobloc	41,64	624,6	0,85	530,91

## **VI CONCLUSION ET PERSPECTIVES**

Cette étude dont la question centrale est le redimensionnement de système de climatisation dans la centrale thermique de la société nigérienne de charbon d'Anou- Araren (SONICHAR), nous a permis d'appréhender de manière spécifique le problème de climatisation dans les deux bâtiments affectés à cette tâche. Plusieurs raisons concourent à la non satisfaction par les armoires des conditions requises dans les salles. Parmi ces raisons nous retiendrons :

- La poussière
- L'état de vétusté des armoires
- L'extension de certaines installations

Au vu du rythme de fonctionnement (24h/24h) des systèmes de climatisation dans la centrale, nous recommandons à la SONICHAR de procéder au remplacement des armoires actuelles par des unités autonomes de toiture ou monoblocs.

Cette étude loin d'être exhaustive peut s'étendre au-delà des deux bâtiments, mais à l'ensemble des bâtiments de la SONICHAR.

## VII BIBLIOGRAPHIE

### Ouvrages et articles

- Abid Mohamed Salah (Professeur): note de cour de transfert de chaleur, Ecole nationale d'ingénieurs de Sfax (Tunisie) 1992
- Alain Bouvenot (1981) Transferts de chaleur 18-32 et 48-61
- Bureau d'études - GIRUS Ingénierie (2007): Etude technico-économique de différents systèmes de production de froid
- CIAT catalogue (2007)
- Daikin catalogue 2010
- Francis SAMPORE: note de cours de production de froid MGE 2010/2011
- Francis SAMPORE: note de cours de technologie de climatisation EIER 2005
- Guide de conduite et d'entretien (Ventilation et climatisation) SONICHAR 1978
- M. Bally (1971) Chaleur, principes gaz et vapeurs 68-47
- P. Agati et N.Materra (1971) thermodynamique 218-221
- Yézouma Coulibaly (Professeur): Notes de cours économie d'énergie MGE/2010/2011
- Yézouma Coulibaly (Professeur): Notes de cours énergie et environnement, MGE/2010/2011
- Yézouma COULIBALY (Professeur): note de cour calcul des charges frigorifiques EIER 2002

### Sites internet

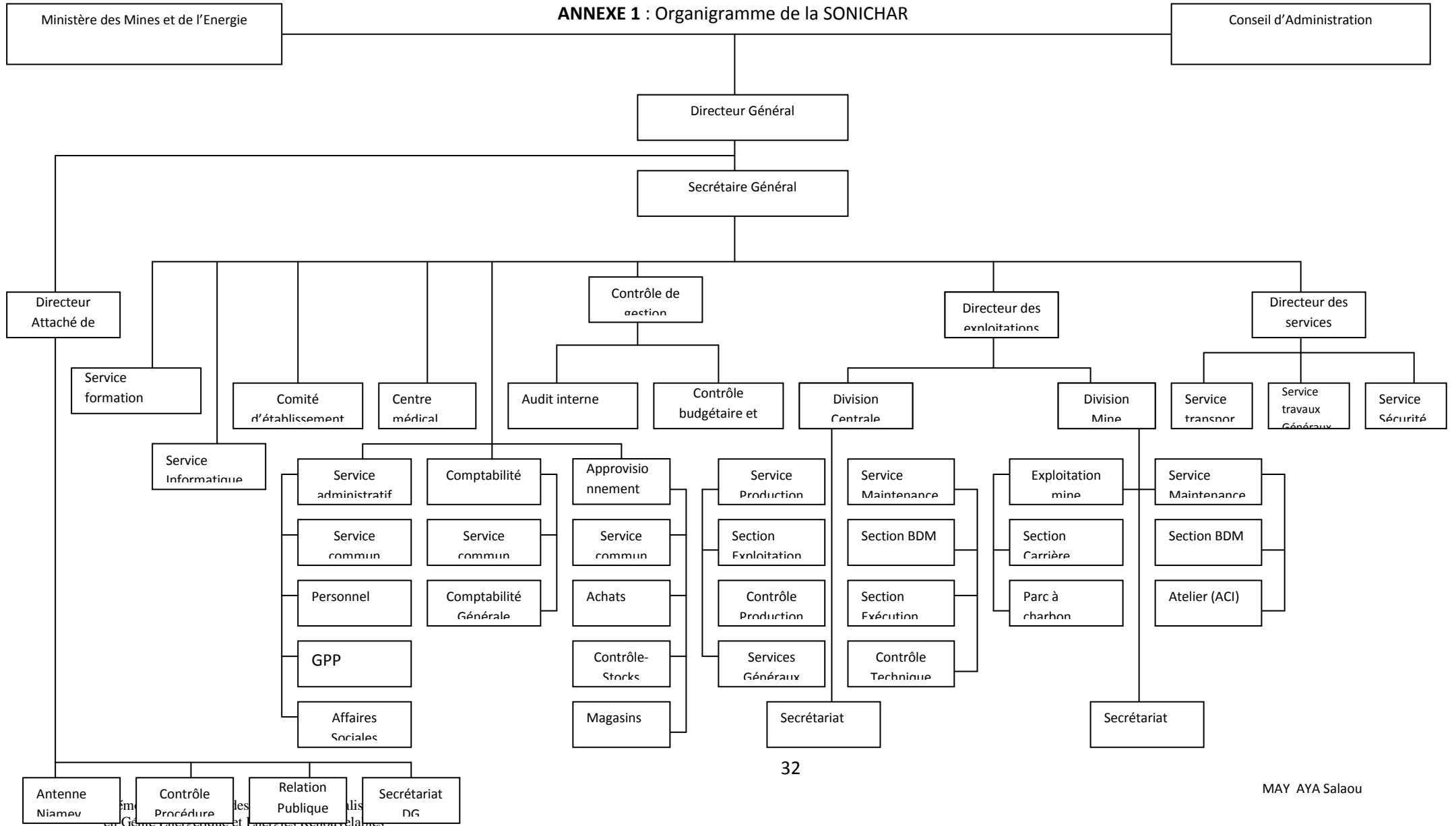
[www.climatisation-paris.com](http://www.climatisation-paris.com) consulté le 4/06/2011

[www.techniques-ingenieur.fr](http://www.techniques-ingenieur.fr) consulté le 18/06/2011

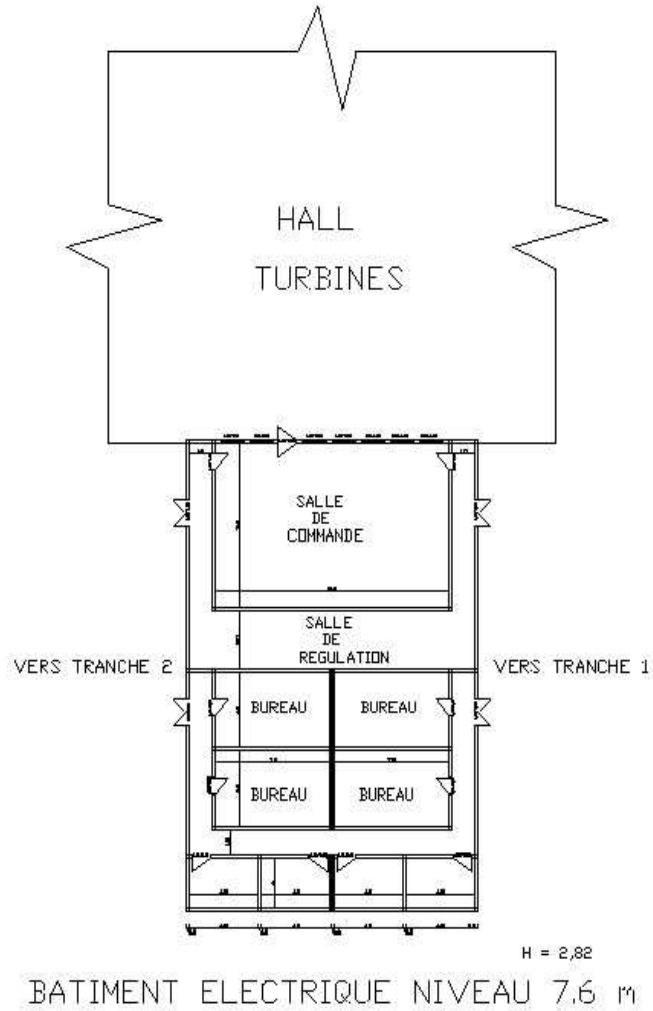
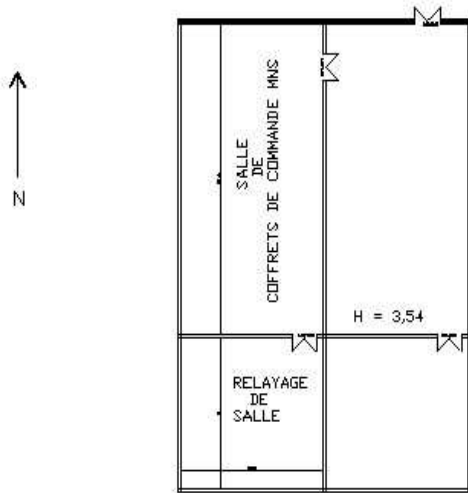
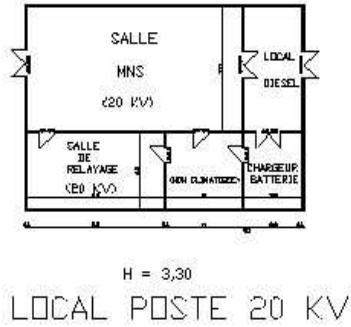
[www.emersonnetworkpower.com](http://www.emersonnetworkpower.com) consulté le 02/07/2011

## VIII ANNEXES

### ANNEXE 1 : Organigramme de la SONICHAR



## ANNEXE 2: Plan des bâtiments





### ANNEXE 3: feuille de calcul YORK

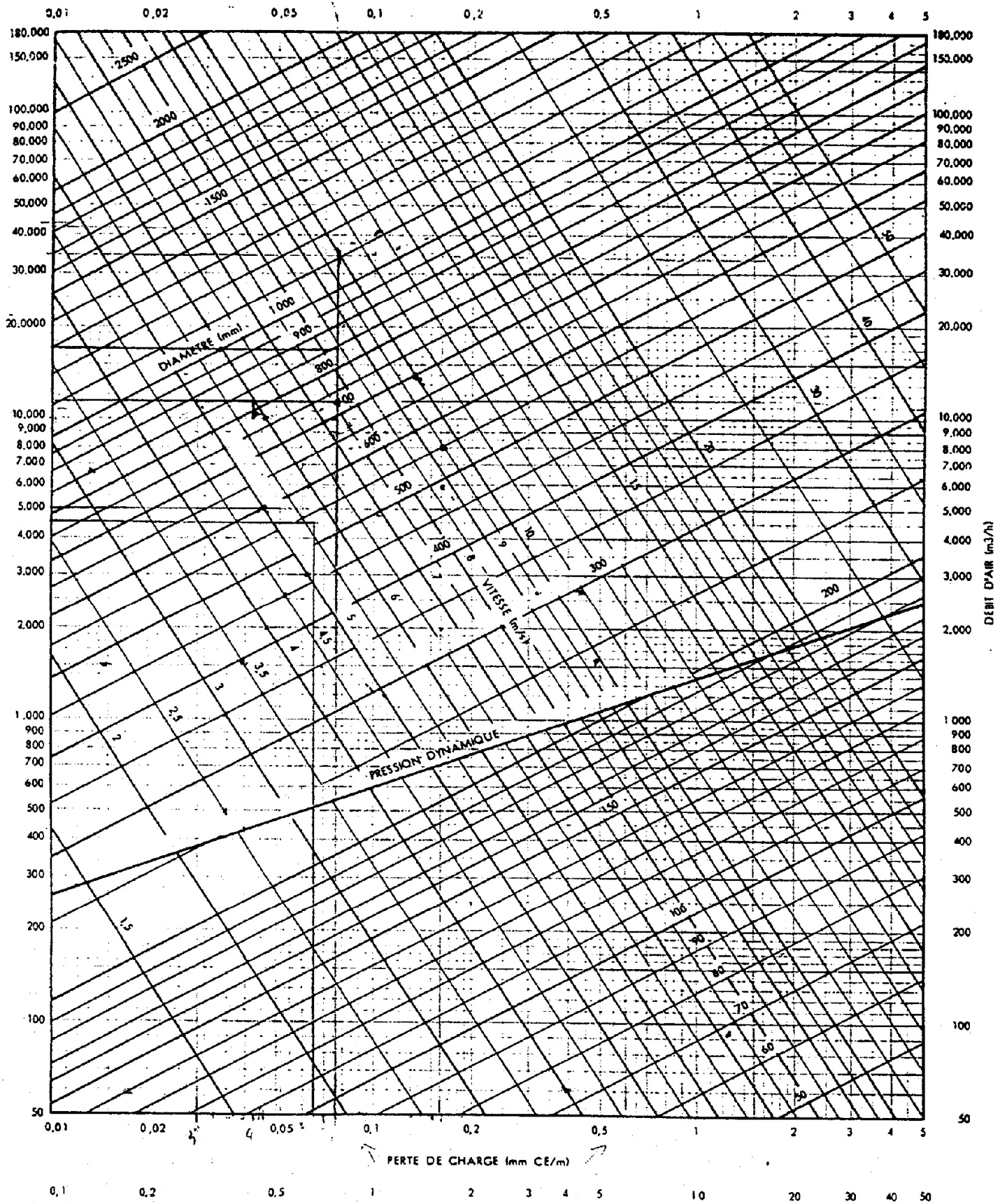
poste	charges thermiques	unités	Quantité	facteur	puissance
1	à l'ombre	m <sup>2</sup>		50	0
	vitrage ensoleillé sans stores	m <sup>2</sup>	0	180	0
	vitrage ensoleillé avec stores intérieurs	m <sup>2</sup>		135	0
	vitrage ensoleillé avec stores extérieurs	m <sup>2</sup>	0	90	0
2	murs extérieurs ensoleillés, isolés	m <sup>2</sup>		9	0
	murs extérieurs ensoleillés, non isolés	m <sup>2</sup>	75,012	23	1725,276
	murs extérieurs non ensoleillés, isolés	m <sup>2</sup>		7	0
	murs extérieurs non ensoleillés, non isolés	m <sup>2</sup>	0	12	0
3	cloisons	m <sup>2</sup>	0	10	0
4	plafond ou toit isolé	m <sup>2</sup>	0	5	0
	plafond ou toit non isolé	m <sup>2</sup>	0	12	0
	plafond ou toit sous toit isolé	m <sup>2</sup>		10	0
	plafond ou toit sous toit non isolé	m <sup>2</sup>	93,1	24	2234,4
5	plancher isolé	m <sup>2</sup>		7	0
	plancher non isolé	m <sup>2</sup>		10	0
6	renouvellement d'air	m <sup>3</sup> /h	40	4,5	180
7	occupants	nb	2	144	288
8	Appareils électriques éclairage	nb.Puiss	56	160	8960
<b>Puissance à installer</b>					<b>13387,676</b>

## ANNEXE4 : Choix des vitesses de soufflage et de reprise

TABLE 7 - VITESSES MAXIMALES RECOMMANDEES DANS LES RESEAUX BASSE PRESSION (m/s)

APPLICATION	FACTEUR LIMITATIF NIVEAU DE BRUIT GAINES PRINCIPALES	FACTEUR LIMITATIF - PERTE DE CHARGE			
		GAINES PRINCIPALES		DERIVATIONS	
		SOUFFLAGE	REPRISE	SOUFFLAGE	REPRISE
Pavillons	3,0	5,0	4,0	3,0	3,0
Appartements Chambre d'hôtel Chambre d'hôpital	5,0	7,5	6,5	6,0	5,0
Bureaux privés Bureaux de direction Bibliothèques	6,0	10,0	7,5	8,0	6,0
Théâtres Auditorium	4,0	6,5	5,5	5,0	4,0
Bureaux communs Restaurants Magasins de luxe Banques	7,5	10,0	7,5	8,0	6,0
Magasins courants Cafeterias	9,0	10,0	7,5	8,0	6,0
Industrie	12,5	15,0	9,0	11,0	7,5

## ANNEXE 5 : Pertes de charge dans les gaines circulaires



## ANNEXE 6 : Diamètres et sections équivalents des gaines rectangulaires

Dimensions dm	1,5		2,0		2,5		3,0		3,5		4,0		4,5		5,0		5,5	
	Diam. dm	Sect. dm <sup>2</sup>	Diam. dm	Sect. dm <sup>2</sup>	Diam. dm	Sect. dm <sup>2</sup>	Diam. dm	Sect. dm <sup>2</sup>	Diam. dm	Sect. dm <sup>2</sup>	Diam. dm	Sect. dm <sup>2</sup>	Diam. dm	Sect. dm <sup>2</sup>	Diam. dm	Sect. dm <sup>2</sup>	Diam. dm	Sect. dm <sup>2</sup>
2,5	2,10	3,46	2,44	4,67	2,73	5,86												
3,0	2,28	4,10	2,66	5,70	2,99	7,02	3,28	8,44										
3,5	2,45	4,71	2,86	6,44	3,22	8,15	3,54	9,84	3,82	11,5								
4,0	2,60	5,31	3,04	7,29	3,43	9,25	3,77	11,2	4,08	13,1	4,37	15,0						
4,5	2,74	5,89	3,21	8,11	3,63	10,3	3,99	12,5	4,33	14,7	4,63	16,9	4,91	19,0				
5,0	2,87	6,46	3,37	8,92	3,81	11,4	4,20	13,8	4,55	16,3	4,88	18,7	5,18	21,1	5,46	23,5		
5,5	2,99	7,01	3,51	9,70	3,97	12,4	4,39	15,1	4,76	17,8	5,17	20,5	5,43	23,1	5,73	25,8	6,01	28,4
6,0	3,10	7,55	3,65	10,5	4,13	13,4	4,57	16,4	4,96	19,3	5,33	22,3	5,66	25,2	5,98	28,1	6,28	30,9
6,5	3,21	8,27	3,78	11,2	4,28	14,4	4,74	17,6	5,15	20,8	5,53	24,0	5,88	27,2	6,22	30,4	6,53	33,5
7,0	3,31	8,60	3,90	11,9	4,43	15,4	4,90	18,9	5,33	22,3	5,73	25,7	6,10	29,2	6,44	32,6	6,77	36,0
7,5	3,40	9,11	4,02	12,7	4,56	16,4	5,05	20,1	5,50	23,8	5,91	27,4	6,30	31,2	6,66	34,8	7,00	38,5
8,0	3,50	9,61	4,13	13,4	4,69	17,3	5,20	21,2	5,66	25,2	6,10	29,1	6,49	33,1	6,86	37,0	7,21	40,9
8,5	3,59	10,1	4,24	14,1	4,82	18,2	5,34	22,4	5,82	26,6	6,26	30,8	6,67	35,0	7,06	39,2	7,43	43,4
9,0	3,67	10,6	4,34	14,8	4,94	19,2	5,48	23,6	5,96	28,0	6,43	32,4	6,85	36,9	7,25	41,3	7,63	45,7
9,5	3,75	11,1	4,44	15,5	5,05	20,1	5,60	24,7	6,11	29,4	6,58	34,1	7,02	38,8	7,44	43,5	7,83	48,1
10,0	3,83	11,6	4,54	16,2	5,17	21,0	5,73	25,8	6,25	30,7	6,74	35,7	7,19	40,6	7,61	45,6	8,02	50,5
10,5	3,91	12,0	4,63	16,8	5,27	21,9	5,86	27,0	6,39	32,1	6,89	37,2	7,35	42,4	7,78	47,6	8,20	52,8
11,0	3,98	12,5	4,72	17,5	5,38	22,7	5,97	28,0	6,52	33,4	7,03	38,8	7,50	44,2	7,95	49,7	8,38	55,1
11,5	4,06	12,9	4,81	18,2	5,48	23,6	6,09	29,1	6,65	34,7	7,17	40,4	7,65	45,9	8,11	51,7	8,55	57,4
12,0	4,13	13,4	4,90	18,8	5,58	24,4	6,20	30,2	6,77	36,0	7,30	41,9	7,80	47,8	8,27	53,7	8,71	59,7
12,5			4,98	19,5	5,68	25,3	6,31	31,3	6,89	37,3	7,43	43,4	7,94	50,7	8,42	55,7	8,87	61,8
13,0			5,06	20,1	5,77	26,1	6,41	32,3	7,01	38,6	7,56	44,9	8,08	51,3	8,57	57,7	9,04	64,1
13,5			5,14	20,7	5,86	27,0	6,52	33,4	7,12	39,9	7,69	46,4	8,22	53,0	8,72	59,7	9,19	66,3
14,0			5,21	21,4	5,95	27,8	6,62	34,4	7,24	41,1	7,81	47,9	8,35	54,7	8,86	61,6	9,34	68,5
14,5			5,28	22,0	6,04	28,6	6,72	35,4	7,34	42,4	7,93	49,4	8,48	56,4	9,00	63,6	9,50	70,9
15,0			5,36	22,6	6,12	29,4	6,81	36,4	7,45	43,6	8,04	50,8	8,60	58,1	9,13	65,5	9,63	72,9
16,0			5,50	23,8	6,28	31,0	7,00	38,4	7,65	46,0	8,27	53,7	8,84	61,4	9,40	69,3	9,91	77,1
17,0					6,44	32,6	7,17	40,4	7,85	48,4	8,48	56,5	9,09	64,7	9,64	73,0	10,2	81,3
18,0					6,59	34,2	7,34	42,4	8,04	50,8	8,69	59,4	9,36	68,0	9,88	76,7	10,4	85,0
19,0					6,74	35,7	7,51	44,3	8,22	53,1	8,89	62,1	9,49	71,3	10,1	80,3	10,7	89,6
20,0					6,88	37,2	7,67	46,2	8,40	55,4	9,08	64,8	9,73	74,3	10,3	83,9	10,9	93,5
21,0							7,82	48,1	8,57	57,7	9,27	67,5	9,93	77,4	10,5	87,5	11,1	97,6
22,0							7,97	49,8	8,73	59,9	9,45	70,1	10,1	80,5	10,7	91,0	11,3	101,5
23,0							8,12	51,7	8,90	62,1	9,62	72,7	10,3	83,5	10,9	94,4	11,6	105,4
24,0							8,26	53,6	9,05	64,4	9,79	75,4	10,5	86,5	11,1	97,9	11,8	109,3
25,0									9,20	66,5	9,96	77,9	10,7	89,5	11,3	101,2	12,0	113,1
26,0									9,35	68,7	10,1	80,5	10,8	92,5	11,5	104,6	12,2	116,9
27,0									9,50	70,8	10,3	83,0	11,0	95,4	11,7	108,0	12,4	120,6
28,0									9,64	72,9	10,4	85,5	11,2	98,3	11,9	111,2	12,6	124,4
29,0											10,6	88,0	11,3	101,1	12,0	114,5	12,8	128,0
30,0											10,7	90,4	11,5	104,0	12,2	117,7	12,9	131,4
31,0											10,8	92,8	11,6	106,8	12,4	121,0	13,1	135,3
32,0											11,0	95,2	11,8	109,5	12,5	124,1	13,3	139,0
33,0													11,9	112,3	12,7	127,3	13,4	142,4
34,0													12,1	115,1	12,9	130,6	13,6	146,0
35,0													12,2	117,8	13,0	133,5	13,8	149,5
36,0													12,4	120,5	13,2	136,6	13,9	153,0

\* Diamètre équivalent  $d_e$  calculé à partir de la relation  $d_e = 1,3 \frac{(a \cdot b)^{0,625}}{L^{0,25}}$