



HAL
open science

Étude et réalisation de la rénovation partielle d'une "zone propre" pour une usine de fabrication de dispositifs médicaux

Vahan Berberian

► **To cite this version:**

Vahan Berberian. Étude et réalisation de la rénovation partielle d'une "zone propre" pour une usine de fabrication de dispositifs médicaux. Thermique [physics.class-ph]. 2011. dumas-00692485

HAL Id: dumas-00692485

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00692485>

Submitted on 10 May 2012

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

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

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET METIERS

PARIS

M E M O I R E

Présenté en vue d'obtenir

le DIPLOME D'INGENIEUR CNAM

en

ENERGETIQUE

Spécialité Froid industriel et Climatisation

par

Vahan BERBERIAN

Etude et réalisation de la rénovation partielle d'une « zone propre »

pour une usine de fabrication de dispositifs médicaux

Soutenu le 9 juin 2011

JURY

PRESIDENT : Monsieur F. MEUNIER

MEMBRES : Monsieur S. BRESIN
Monsieur MARVILLET
Monsieur CLAUSSE
Madame MARDESSON

- Etude et réalisation de la rénovation partielle d'une "zone propre" pour une usine de fabrication de dispositifs médicaux

Mémoire d'ingénieur C.N.A.M., Paris 2010

Résumé:

Etude et réalisation de la rénovation partielle d'une "zone propre" pour une usine de fabrication de dispositifs médicaux.

Une entreprise de fabrication de dispositifs médicaux se doit, réglementairement, de disposer de "zones propres" afin d'éviter que ses produits soient à l'origine de la diffusion de polluants dans les établissements sensibles qui en sont destinataires comme les hôpitaux, les laboratoires, les centres de radiologies...

Pour mettre ses locaux de production de son usine en conformité avec les normes en vigueur et les recommandations de l'AFSSAPS, la société PRODIMED a souhaité procéder à la rénovation de ses installations; rénovation dont l'étude et la réalisation ont été confiées à l'entreprise CONDITIONAIR au sein de laquelle le présent travail a été effectué.

- ✓ La phase de diagnostic sur site a été entreprise pour identifier
- * les zones présentant des défauts de propreté
- * les matériels défectueux
- * les sources de pollution liées à la structure du bâtiment (Rez-de-chaussée et 1er étage)

Un bilan des besoins de rénovation a ainsi été dressé.

La conception générale du processus de rénovation a pu être élaborée et a conduit à envisager le remplacement d'organes défectueux ou déficients dans l'ensemble de l'installation.

- ✓ Des propositions de modifications ont été avancées en ce qui concerne
- * le traitement de l'air
- * la mise en place de nouveaux dispositifs de climatisation mieux appropriés
- * l'adaptation du réseau aéraulique au nouvel environnement
- * la modification de la suppression des "salles propres"
- ✓ Dans une troisième phase, on a évalué les caractéristiques (Températures, pressions, débits d'air....) à obtenir et maîtriser pour répondre aux exigences techniques des normes imposées.
- ✓ Une démarche technico-commerciale a été ensuite engagée pour évaluer les coûts et élaborer le devis qui a fait l'objet d'une négociation avec le maître d'ouvrage.
- ✓ Les travaux de rénovation ont été mis en chantier par le maître d'oeuvre et ont été conduits dans le cadre du présent projet avec la participation des sous-traitants.

La validation des transformations a été effectuée par un processus de :

- 1- qualification d'installation -2- qualification opérationnelle -3- qualification de performance
- ✓ Une étude a été menée parallèlement pour évaluer les économies d'énergie et l'impact environnemental suite aux rénovations entreprises.
- ✓ Enfin, la mise en service de l'installation rénovée s'est conclue avec la réception des travaux par le maître d'ouvrage

Mots clefs: Dispositifs médicaux, zones propres, normes, climatisation, filtration, Bilan énergétique, empoussièrement, réseau aéraulique, rénovation, qualification, économie d'énergie, impact environnemental

Abstract

Study and realization of the partial renovation of a « clean zone » for a factory producing medical devices.

Following the rules, a factory producing medical devices has to have « clean zones » to prevent its products from diffusing pollutants in sensitive settings like hospitals, laboratories, radiology centres...

To make its premises comply with the effective rules and with the recommendations of the AFSSAPS, the company PRODIMED wished to renovate its plants. The study and the realization of this renovation were entrusted to the company CONDITIONAIR, within which the present work has been carried out.

- ✓ On-site diagnoses were undertaken to identify
- * areas lacking cleanliness
- * faulty materials
- * sources of pollution linked to the building structure (ground floor and first floor)

Thus, the renovation needs were assessed.

The general conception of the renovation process could be worked out and lead to the plan to replace inadequate or defective systems in the entire plant.

- ✓ Modifications were suggested concerning
- * air treatment
- * the installation of new, more suitable air-conditioning systems
- * the adaptation of the air-treatment network to the new environment
- * the change of the excess pressure in the "clean rooms"
- ✓ In a third phase, the characteristics to be arrived at and to be maintained were evaluated. They concern temperature, pressure and air flows and need to meet the requirements of the imposed standards.
- ✓ A commercial and technical approach was then taken to evaluate the costs and to draw up an estimate that was the subject of a negotiation with the builder-owner.
- ✓ The renovation work was initiated by the construction supervisor and carried out along with the present project with the participation of the subcontractors.

The validation of the transformations was done by a process of:

-1- installation qualification -2- operational qualification -3- performance qualification

- ✓ At the same time, a study was conducted to evaluate the energy savings and the environmental impact following the renovations.
- ✓ Finally, the implementing of the renovated system ended with the final inspection of the works by the builder-owner.

Key words: Medical devices, clean zones, standards, air-conditioning, filtration, energy balance, dust, air-treatment network, renovation, qualification, energy saving, environmental impact

Je dédie ce mémoire

*A mes parents
qui m'ont prodigué, avec amour et patience ,
leur précieux réconfort dans le long périple
de mon cursus de formation*

*A tous mes proches
de mon cercle familial et amical,
pour leur soutien moral et leurs encouragements*

*A l'ensemble de mes professeurs
qui m'ont nourri de leurs savoirs et de leurs expériences*

*A mes doubles racines,
où j'ai puisé la culture
de l'effort dans la réalisation de mes objectifs
et de la persévérance face à l'adversité;
autant de ressources qui m'ont permis
de mener à son terme ce travail passionnant.*

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET METIERS

PARIS

M E M O I R E

Présenté en vue d'obtenir

le DIPLOME D'INGENIEUR CNAM

en

ENERGETIQUE

Spécialité Froid industriel et Climatisation

par

Vahan BERBERIAN

Etude et réalisation de la rénovation partielle d'une « zone propre »

pour une usine de fabrication de dispositifs médicaux

Les travaux relatifs au présent mémoire ont été effectués au sein de l'entreprise CONDITIONAIR sous la direction de M. Serge BRESIN, Président Directeur Général

Table des matières

Avant propos.....	11
Introduction.....	12
I. Définition de la problématique	15
1.1 L'entreprise mandataire :Prodimed.....	15
1.2 L'entreprise prestataire : Conditionair.....	16
1.3 Le champ des activités du projet.....	16
1.4 Etat des lieux.....	17
1.4.1 Le 1 ^{er} étage.....	17
1.4.2 Le rez-de-chaussée.....	18
1.4.3 Les dimensions des salles.....	19
1.4.4 Le type de diffusion d'air.....	20
1.5 Bilan des besoins de rénovation.....	21
1.6 Résultats visés	22
II. Rôle des différents intervenants.....	24
2.1 Côté client.....	25
2.2 Côté prestataire.....	26
III. Base de calcul des diverses caractéristiques thermique, aéraulique et thermodynamique commune aux deux phases de la rénovation.....	28
3.1 Détermination des débits d'air.....	28
3.1.1 Le taux de brassage relatif au débit soufflé de chaque salle propre.....	28
3.1.2 Le taux de renouvellement d'air relatif au débit d'air neuf introduit dans le système.....	29
3.2 Bilan thermique.....	33
3.2.1 Pour le rez-de-chaussée.....	34
3.2.2 Pour le 1 ^{er} étage.....	37
3.3 Le système de conditionnement de l'air en température.....	40

3.3.1	Dimensionnement des batteries froides.....	40
3.3.2	Dimensionnement des batteries chaudes.....	41
3.4	Dimensionnement du réseau aéraulique à modifier.....	41
3.4.1	Motif des modifications du réseau.....	41
3.4.2	Détermination des sections des gaines.....	41
3.4.3	Détermination des pertes de charges dans les divers tronçons des réseaux de soufflage et de reprise.....	43
3.4.4	Chaîne de filtration.....	50
IV.	Démarche technico-commerciale.....	53
4.1	Elaboration des coûts.....	53
4.1.1	Le matériel.....	53
4.1.2	Le personnel CONDITIONAIR.....	53
4.1.3	La sous-traitance.....	54
4.2	Négociation.....	54
V.	Rénovation de la zone propre du 1^{er} étage et du rez-de-chaussée....	56
5.1	Préparation de chantier.....	56
5.1.1	Récupération des différents documents existants (plans, documentations techniques.....)	56
5.1.2	Descriptif détaillé des modifications à apporter.....	56
5.1.2.1	Phase 1 : 1 ^{er} étage.....	57
5.1.2.2	Phase 2 : rez-de-chaussée.....	59
5.1.3	Elaboration des plans.....	60
5.1.4	Commandes.....	61
5.1.5	Liste des différents sous-traitants.....	61
5.1.6	Elaboration d'un planning.....	62
5.2	Déroulement du chantier.....	63
5.2.1	Les travaux préliminaires.....	63
5.2.1.1	Phase 1 : 1 ^{er} étage.....	63
5.2.1.2	Phase 2 : rez-de-chaussée.....	63
5.2.2	Dépose des éléments à supprimer.....	64
5.2.2.1	Phase 1 : 1 ^{er} étage.....	64
5.2.2.2	Phase 2 : rez-de-chaussée.....	65

5.2.3	Nettoyage du réseau aéraulique existant.....	65
5.2.4	Pose des différents éléments neufs.....	66
5.2.4.1	Phase 1 : 1 ^{er} étage.....	66
5.2.4.2	Phase 2 : rez-de-chaussée.....	67
5.2.5	Mise en service.....	68
5.2.5.1	Précautions préalables.....	68
5.2.5.2	Les opérations de mise en service.....	69
VI.	Validation des deux phases du projet, résultat obtenu.....	70
6.1	Qualification d'installation QI.....	70
6.2	Qualification opérationnelle QO.....	75
6.3	Qualification de performance QP.....	78
VII.	Les difficultés rencontrées.....	82
7.1	Retard de livraison de l'armoire de climatisation.....	82
7.2	Livraison incomplète.....	82
7.3	Taux de brassage insuffisant dans le SAS MP.....	82
VIII.	Economies d'énergie.....	83
8.1	Gain d'énergie en fonction du débit d'air (ventilateur).....	84
8.2	Gain d'énergie en fonction du point de consigne (compresseur)..	87
IX.	Impact environnemental.....	92
9.1	Le fluide frigorigène R407C et son impact environnemental.....	92
9.2	Les autres sources de pollution de l'environnement terrestre.....	92
9.3	Evaluation des équivalents d'émission de CO2 due à ces deux effets.....	92
	Conclusion.....	100
	Bibliographie.....	101

Table des illustrations

<i>Tableau 1 : surface et volume des salles du rez-de-chaussée.....</i>	19
<i>Tableau 2 : surface et volume des salles du 1^{er} étage.....</i>	19
<i>Tableau 3 : paramètres à adopter pour les salles propres du 1^{er} étage.....</i>	22
<i>Tableau 4 : paramètres à adopter pour les salles propres du rez-de-chaussée.....</i>	23
<i>Tableau 5 : récapitulatif des débits d'air de la zone propre du 1^{er} étage.....</i>	31
<i>Tableau 6 : récapitulatif des débits d'air de la zone propre du rez-de-chaussée.....</i>	32
<i>Tableau 7 : calcul des apports par les parois de la zone propre du rez-de-chaussée.....</i>	35
<i>Tableau 8 : calcul des apports par les parois de la zone propre du 1^{er} étage.....</i>	38
<i>Tableau 9 : diamètres standards des différentes gaines circulaires.....</i>	42
<i>Tableau 10 : perte de charge du réseau de soufflage de l'antenne 1.....</i>	45
<i>Tableau 11 : perte de charge du réseau de soufflage de l'antenne 2.....</i>	47
<i>Tableau 12 : perte de charge du réseau de soufflage de l'antenne 3.....</i>	49
<i>Tableau 13 : Rapport de qualification d'installation d'une rénovation partielle de la zone propre du 1^{er} étage.</i>	71, 72, 73
<i>Tableau 14 : Rapport de qualification d'installation d'une rénovation partielle de la zone propre du rez-de-chaussée.....</i>	74, 75
<i>Tableau 15 : Rapport de qualification opérationnelle d'une rénovation partielle de la zone propre du 1^{er} étage</i>	76
<i>Tableau 16 : Rapport de qualification opérationnelle d'une rénovation partielle de la zone propre du rez-de-chaussée.....</i>	77
<i>Tableau 17-a : Rapport de qualification de performance d'une rénovation partielle de la zone propre du 1^{er} étage.....</i>	79
<i>Tableau 17-b : Rapport de qualification de performance d'une rénovation partielle de la zone propre du 1^{er} étage.....</i>	80
<i>Tableau 17-c : Rapport de qualification de performance d'une rénovation partielle de la zone propre du 1^{er} étage.....</i>	80

<i>Tableau 18-a : Rapport de qualification de performance d'une rénovation partielle de la zone propre du rez-de-chaussée.....</i>	<i>81</i>
<i>Tableau 18-b : Rapport de qualification de performance d'une rénovation partielle de la zone propre du rez-de-chaussée.....</i>	<i>81</i>
<i>Tableau 18-c : Rapport de qualification de performance d'une rénovation partielle de la zone propre du rez-de-chaussée.....</i>	<i>81</i>
<i>Tableau n°19: Facteur d'émission A selon la source d'énergie.....</i>	<i>97</i>

<i>Figure n°1: Salle propre conventionnelle à flux turbulent.....</i>	<i>20</i>
<i>Figure n°2 : Organigramme de l'entreprise Mandataire et Prestataire.....</i>	<i>24</i>
<i>Figure n°3 : schéma de principe de diffusion de l'air.....</i>	<i>40</i>
<i>Figure 4 : Chaine de filtration.....</i>	<i>52</i>
<i>Figure n°5 : Puissance absorbée d'un ventilateur des armoires de climatisation du 1^{er} étage.....</i>	<i>85</i>
<i>Figure n°6 : Puissance absorbée d'un ventilateur d'une armoire de climatisation du rez-de-chaussée.....</i>	<i>86</i>
<i>Figure n°7: Schéma de principe d'un système thermodynamique.....</i>	<i>88</i>

Avant propos

Je tiens à exprimer ici ma grande reconnaissance à Monsieur Serge BRESIN, Directeur de la société CONDITIONAIR, qui m'a permis d'enrichir mon expérience ainsi que ma formation professionnelle dans le domaine du conditionnement d'air, et m'a accordé sa confiance en me donnant l'opportunité de réaliser le présent travail.

J'ai à cœur également de remercier Monsieur le Professeur Francis MEUNIER, titulaire de la Chaire de Physique du froid au CNAM Paris et Directeur de l'IFFI (Institut Français du Froid Industriel et du Conditionnement d'Air), pour m'avoir orienté dans mes démarches en ce qui concerne la réalisation de ce projet de thèse. Je veux associer à ma gratitude à son égard l'ensemble des enseignants du CNAM qui m'ont fait bénéficier de leur enseignement et m'ont permis d'acquérir les connaissances et les compétences professionnelles avec lesquelles il m'a été possible de progresser dans les qualifications d'ingénierie.

Enfin, je veux exprimer, tout particulièrement, mes plus chaleureux remerciements à l'ensemble du personnel de la société CONDITIONAIR, qui par sa collaboration amicale et son professionnalisme a contribué à la bonne réalisation de ce projet.

Introduction

Dans les installations industrielles, les laboratoires, les blocs opératoires, la notion de « propreté » obéit à des normes techniques, technologiques (et de confort) précises et rigoureuses. Des organismes officiels sont, à cet égard, chargés de contrôler la conformité de ces lieux à ces normes et, in fine, aux exigences des règles sanitaires et d'hygiène.

C'est ainsi que l'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Produits de Santé (AFSSAPS) veille à l'état des locaux en termes de propreté conformément à la réglementation en vigueur. Ses contrôles font l'objet de rapports stipulant les modifications qui s'imposent dans le cadre de la mise en conformité des installations examinées. Ce sont ses préconisations qui ont amené la Société PRODIMED*, à entreprendre la rénovation partielle des « salles propres » de son usine de production de dispositifs médicaux (DM)** destinés notamment aux établissements hospitaliers particulièrement préoccupés par les problèmes de pollution aéraulique. Rappelons, à cet égard, les graves conséquences dues aux infections nosocomiales liées aux installations défectueuses de climatisation et auxquelles ont été confrontées de multiples Hôpitaux français.

Le présent projet s'inscrit dans cette démarche. Il s'agit, en effet, de concevoir et de réaliser au sein de la société précitée les opérations nécessaires pour remédier à une insuffisance de « surpression ». La conception générale du processus de rénovation a été élaboré notamment par :

- le remplacement d'organes déficients ou défectueux.
- Le traitement de l'air
- La mise en place de nouveaux dispositifs de climatisation mieux appropriés
- La modification du réseau aéraulique
- La modification de la surpression dans les salles propres

* VOIR § 1.1

** Un dispositif médical est un instrument, appareil, équipement ou encore un logiciel destiné, par son fabricant à être utilisé chez l'homme à des fins, notamment de diagnostic, de prévention, de contrôle, de traitement, d'atténuation d'une maladie ou d'une blessure (Définition donné par l'AFSSAPS sur son site internet : afssaps.fr)

Ceci afin de **garantir la qualité des produits fabriqués et l'intégrité physique des personnes exposées à des contaminants potentiellement dangereux.**

Au terme de ces travaux, les locaux transformés et rééquipés devront répondre à la qualification de « salles propres » dans lesquelles la concentration particulaire est maîtrisée par des moyens de nature à minimiser la génération, l'introduction ou la rétention de particules nocives (ou véhiculant des matières nocives). A cet effet, des paramètres objectifs et mesurables seront placés sous contrôles permanents, tels la température, le taux d'humidité, la pression relative, le taux d'empoussièrement, de brassage...

Les conditions devront être en adéquation tout d'abord avec les Bonnes Pratiques de Fabrication, ensuite avec la norme NF EN ISO 14 644-1* (1999) relative à la « *classification de la propreté de l'air* » et la norme NF EN ISO 14644-4** (2001) correspondant à la « *construction, conception et mise en fonctionnement des salles propres* » qui donnent à l'air les caractéristiques requises pour l'attribution d'une qualification de « zone propre ».

Outre les aspects techniques, ce travail nécessite une évaluation des coûts et des conditions de réalisation en termes de délai de livraison et de bonne conduite des opérations. Tout cela met en jeu des connaissances et des savoir-faire en matière d'ingénierie et de pratiques commerciales.

Ce mémoire se propose dans ce contexte

- d'identifier les problèmes techniques à résoudre
- de déterminer les contraintes spécifiques du chantier et les solutions envisagées
- de détailler les diverses phases du projet de sa conception à sa réalisation
- de préciser le rôle et les compétences des divers intervenants du projet
- de mettre en évidence les progrès et les difficultés qui ont été totalement ou partiellement surmontées

* conférer annexe n° 1-a

** conférer annexe n° 1-b

- de souligner les performances obtenues et notamment les perspectives d'économie d'énergie
- d'évaluer l'impact environnemental dû aux matériels frigorifiques installés
- de conclure en ce qui concerne les acquis au plan personnel notamment en termes de compétences, d'expérience et de maîtrise d'œuvre.

I. Définition de la problématique

Le présent travail a fait l'objet d'une étroite collaboration entre les entreprises mandataire « PRODIMED » et prestataire « CONDITIONAIR ». Il a nécessité, en particulier, la mise en place d'une équipe logistique au sein de l'entreprise exécutante s'appuyant sur des compétences techniques dans les spécialités du traitement de l'air et de la climatisation.

1.1 L'entreprise mandataire : PRODIMED

La société Prodimed, Société par Action Simplifiée (SAS), a été créée en 1982 avec un capital social de 728.000 Euros et emploie aujourd'hui 133 personnes.

Cette entreprise, dont le siège social est implanté à Neuilly-en-Thelle (60530)*, est actuellement dirigée par M. Patrick CHOAY, président de la société, et Monsieur Philippe HEMERAY, directeur général.

Son objet social réside dans la « fabrication de matériel Médico-chirurgical et Dentaire »**. Pour ce faire, la société possède deux sites de production situés à Neuilly-en-Thelle (Oise) et au Plessis-Bouchard (Val d'Oise).

Il convient de souligner que l'opération de rénovation partielle d'une zone propre, objet du présent mémoire, a été réalisée sur le site de production de Plessis Bouchard.

Le site « PRODIMED » de Plessis-Bouchard est, plus particulièrement, « *spécialisé dans la conception, le développement, la fabrication, le conditionnement et la distribution de dispositifs médicaux à usage unique* »***.

* Adresse du siège social : Neuilly-en-Thelle (60530), 4 rue de l'Europe

** Libellé de l'objet social de la société PRODIMED tel qu'il en ressort de son immatriculation au Registre du Commerce et des sociétés (RCS).

*** Définition d'activité donnée par la société elle-même sur son site internet « Prodimed.com ».

Il produit donc du matériel médical destiné à un usage temporaire ou à court terme, tel que des cathéters ou diverses valves de drainages chirurgicaux.

1.2 L'entreprise prestataire : CONDITIONAIR

L'entreprise retenue pour réaliser les travaux est CONDITIONAIR. Cette société, est également une Société par Action Simplifiée (SAS). Elle a été créée en 1963. Elle est dirigée par Monsieur Serge BRESIN.

Cette société, dont l'implantation est située dans le X^{ème} arrondissement de Paris*, emploie douze personnes et réalise un chiffre d'affaire de deux millions d'euros.

Son champ d'activité est relativement vaste. Il s'exerce dans la climatisation de confort, le conditionnement d'air industriel, les salles propres, les flux laminaires, le séchage d'air comprimé et le séchage de surface.

L'entreprise Conditionair est membre du Gasel** et adhérente du Snefcca***

1.3 Le champ des activités du projet

Il s'agit donc ici de l'usine du Plessis Bouchard et plus précisément de son bâtiment principal comprenant un rez-de-chaussée et un 1^{er} étage. La zone propre du 1^{er} étage est dédiée à la production de cathéters et de drain thoracique tandis que celle du rez-de-chaussée est destinée à l'emballage des produits.

Les activités qui vont être présentées ci-après ont été réalisées en deux phases successives correspondant aux deux étages en question.

* Adresse de la société : 3 cité Paradis 75010 Paris

** Groupement d'installateurs spécialistes des domaines du Froid, Génie Thermique-Energie Renouvelable, Grande Cuisine, Boulangerie et Buanderie

*** Syndicat National des Entreprises du Froid, d'Equipements de Cuisine Professionnelles et du Conditionnement de L'Air

1.4 Etat des lieux nécessitant l'intervention de Conditionair

L'état des lieux consiste :

1. à prendre connaissance de la topographie des deux zones propres à rénover.
2. à identifier les défauts liés :
 - à la structure de l'enceinte
 - aux installations de traitement d'air

Pour chaque étage, les principaux paramètres à prendre en compte sont les dimensions de chaque espace (salle, couloir, SAS...), les caractéristiques de leur configuration (ouverture, orientation...), les éléments significatifs des types de diffusion d'air.

1.4.1 Le 1^{er} étage

La zone propre du 1^{er} étage est constituée de 15 salles et d'un couloir de circulation.

Au dessus des salles propres, un réseau de gaines de soufflage permet la distribution d'air dans chaque salle. Ce réseau est équipé de huit caissons de filtration munis de filtres absolus H13. Le réseau de reprise est positionné sous le couloir de circulation, au niveau du rez-de-chaussée, permettant d'assurer une reprise au sol avec 24 grilles. Des grilles de transfert sont positionnées sur les portes de chaque salle en partie basse. Elles permettent d'effectuer la redistribution de l'air jusqu'au couloir de circulation.

Le local technique est situé sur le même étage. Il est équipé de deux armoires de climatisation, d'un humidificateur (hors service), d'un réseau de gaine (soufflage, reprise, air neuf) connecté au réseau de gaine des salles propres.

En annexe n° 2-a un plan détaillé des installations existantes est donné avec les éléments précités.

1.4.2 Le rez-de-chaussée

La zone propre du rez-de-chaussée est composée de 5 salles. Toutes les salles nécessitent une rénovation. De même qu'au 1^{er} étage, elles sont reliées de manière à former un bloc distinct. Deux salles sont équipées de convoyeurs au nombre de deux dans la salle 9, et d'un seul dans la salle 10. Ces équipements feront l'objet d'une étude plus approfondie afin de déterminer et de maintenir une surpression adaptée.

Comme au 1^{er} étage, le réseau de gaine de soufflage est au-dessus des salles propres et est muni de trois caissons filtres avec des filtres d'efficacité H13. La reprise d'air, s'effectuant avec des grilles situées en partie basse, est assurée par des gaines de forme triangulaire situées dans l'angle de chaque salle nécessitant ce dispositif. Ces gaines sont réparties sur toute la hauteur de la salle. Elles sont raccordées au réseau de reprise, passant par-dessus les salles propres, qui s'achemine jusqu'au local technique. Les salles équipées d'un ou plusieurs convoyeurs n'ont pas de reprise d'air.

Le local technique est positionné sur le même niveau que les salles propres, au rez-de-chaussée. Le contenu est quasiment similaire au local technique du 1^{er} étage sauf qu'une seule armoire de climatisation assure la distribution de l'air. L'annexe 2-b nous donne un plan existant du rez-de-chaussée.

1.4.3 Dimensions des salles

Les dimensions de chaque salle sont énumérées dans les deux tableaux suivants :

Salle	Etage	Surface [m ²]	Volume [m ³]
SAS personnel	Rez-de-chaussée	24	60
Salle 9	Rez-de-chaussée	45,4	113,5
Salle 10	Rez-de-chaussée	24	60
SAS matière première	Rez-de-chaussée	16	40
Stock moule	Rez-de-chaussée	12,6	31,5
Total	Rez-de-chaussée	122	305

Tableau 1 : surface et volume des salles du rez-de-chaussée

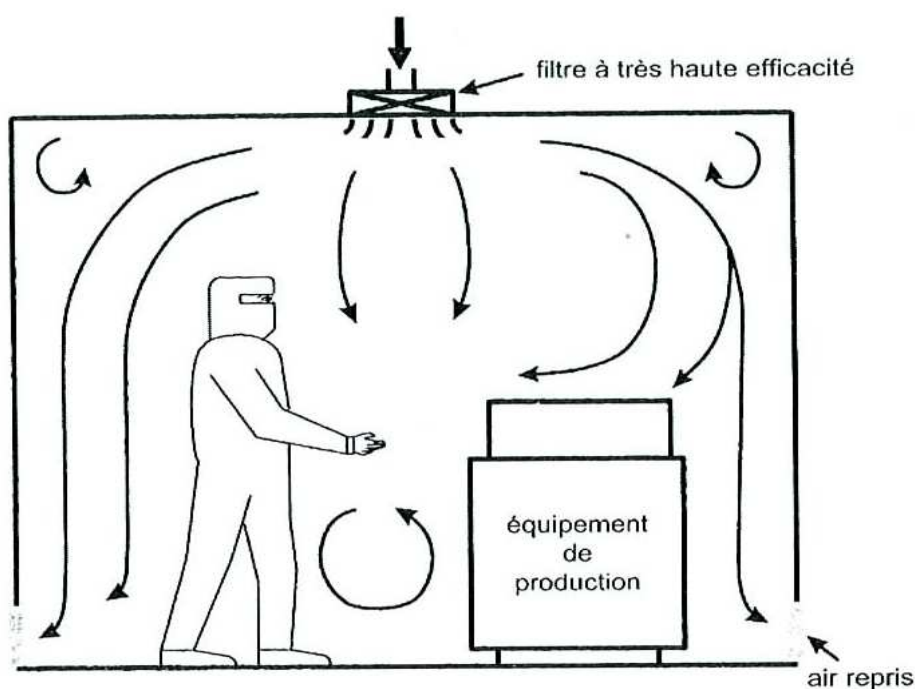
Salle	Etage	Surface [m ²]	Volume [m ³]
Grand SAS personnel	1 ^{er} étage	43,88	109,7
Petit SAS personnel	1 ^{er} étage	24,05	60,1
Stock ménage	1 ^{er} étage	11,09	29,75
SAS MP	1 ^{er} étage	7,78	19,45
Bureaux	1 ^{er} étage	7,96	19,9
Salle imtran	1 ^{er} étage	25,37	63,4
Stock tube	1 ^{er} étage	11,76	29,4
Stock blanc 1	1 ^{er} étage	57,04	142,6
Stock blanc 2	1 ^{er} étage	31,81	79,5
Salle 1	1 ^{er} étage	29,52	73,8
Salle 2	1 ^{er} étage	47,04	117,6
Salle 3	1 ^{er} étage	46,96	117,4
Salle 4	1 ^{er} étage	46,88	117,2
Salle 5	1 ^{er} étage	48	120
Salle 6	1 ^{er} étage	48	120
Couloir de circulation	1 ^{er} étage	29,35	73,4
Total	1 ^{er} étage	516,5	1293.2

Tableau 2 : surface et volume des salles du 1^{er} étage

1.4.4 Le type de diffusion d'air

Toutes les « salles propres » à rénover sont de type « conventionnel », c'est-à-dire à flux d'air non-unidirectionnel et caractérisées par un modèle de ventilation spécifique. Ces salles sont également appelées « à flux turbulent » où le brassage d'air est optimal du fait d'une diffusion en régime d'écoulement turbulent.

La diffusion d'air se fait au niveau du plafond et la reprise s'effectue en partie basse comme cela est représenté sur le schéma suivant :



*Figure n°1: Salle propre conventionnelle à flux turbulent**

Le débit et la qualité de l'air soufflé d'une part, et le bon mélange avec l'air ambiant d'autre part assurent la propreté particulière d'une salle à flux turbulent.

La classe d'empoussièrement (classe ISO)** à obtenir dépend notamment du type de diffusion d'air. Le flux turbulent permet d'obtenir au mieux une classe ISO 6 en activité mais le plus souvent une classe ISO 7. Les classes

* Schéma issu du livre « les salles propres » de W. Whyte, édité et traduit par S. BRESIN

** Conférer annexe n°1-a : norme ISO 14644-1 « classification de la propreté de l'air »

d'empoussièrement plus faibles peuvent être obtenues avec un autre type de diffusion : le flux unidirectionnel^{***}.

1.5 Bilan des besoins de rénovation

Les défaillances constatées sur l'ensemble des salles de la zone propre du 1^{er} étage et du rez-de-chaussée sont détaillées ci-dessous :

1. Problèmes relatifs à l'air :

- Surpression trop faible.

2. Problèmes relatifs à l'étanchéité

- Problèmes d'étanchéité des cloisons, des faux plafonds et des luminaires.
- Problèmes d'étanchéité au niveau de chaque porte (verrou, joint au niveau du cadre).

3. Autre problème : le sol du SAS MP* est détérioré

(*MP : matière première)

Le maître d'ouvrage a exprimé des besoins particuliers liés à des déficiences d'espace ou de matériel qui sont indiqués ci-dessous :

1. Pour le 1^{er} étage, il est nécessaire

- d'étendre la zone propre,
- de remplacer le faux plafond des deux SAS, petit et grand personnel,
- de poser trois climatiseurs pour la zone « emballage secondaire »,
- de créer un passe chariot,
- d'équiper chaque salle d'un manomètre.

2. Pour le rez-de-chaussée

- de séparer le SAS personnel en deux parties,

^{***} Flux unidirectionnel : caractérisé par un flux d'air traversant la salle propre de manière unidirectionnelle

- de créer un passe plat pour l'introduction de matières premières.
- d'équiper chaque salle d'un manomètre.

1.6 Résultats visés

Les résultats visés sont relatifs aux paramètres définis dans les Bonnes Pratiques de Fabrication à savoir la concentration particulaire, la pression relative, le taux de brassage, la température et l'humidité relative à obtenir. Les tableaux suivants regroupent l'ensemble de ces paramètres à adopter pour chaque salle propre :

Salle	Classe ISO	Pression relative [Pa]	Taux de brassage [Vol.h ⁻¹]	Température [°C]	Humidité relative [%]
Grand SAS personnel	ISO 8	15 ± 5	15 -0/+10	22 ± 2	≤ 55
Petit SAS personnel	ISO 8	15 ± 5	15 -0/+10	22 ± 2	≤ 55
Stock ménage	ISO 8	15 ± 5	15 -0/+10	22 ± 2	≤ 55
SAS MP	ISO 8	15 ± 5	15 -0/+10	22 ± 2	≤ 55
Bureaux	ISO 8	15 ± 5	15 -0/+10	22 ± 2	≤ 55
Salle imtran	ISO 8	15 ± 5	15 -0/+10	22 ± 2	≤ 55
Salle 7	ISO 8	15 ± 5	15 -0/+10	22 ± 2	≤ 55
Salle 1	ISO 8	30 ± 5	15 -0/+10	22 ± 2	≤ 55
Salle 2	ISO 8	30 ± 5	15 -0/+10	22 ± 2	≤ 55
Salle 3	ISO 8	30 ± 5	15 -0/+10	22 ± 2	≤ 55
Salle 4	ISO 8	30 ± 5	15 -0/+10	22 ± 2	≤ 55
Salle 5	ISO 8	30 ± 5	15 -0/+10	22 ± 2	≤ 55
Salle 6	ISO 8	30 ± 5	15 -0/+10	22 ± 2	≤ 55
Couloir de circulation	ISO 8	30 ± 5	15 -0/+10	22 ± 2	≤ 55
Stock tube	ISO 8	45 ± 5	15 -0/+10	22 ± 2	≤ 55
Stock blanc 1	ISO 8	45 ± 5	15 -0/+10	22 ± 2	≤ 55
Stock blanc 2	ISO 8	45 ± 5	15 -0/+10	22 ± 2	≤ 55

Tableau 3 : paramètres à adopter pour les salles propres du 1^{er} étage

Salle	Classe ISO	Pression relative [Pa]	Taux de brassage [Vol.h ⁻¹]	Température [°C]	Humidité relative [%]
SAS personnel	ISO 8	15 ± 5	15 -0/+10	22 ± 2	≤ 55
SAS matière première	ISO 8	30 ± 5	15 -0/+10	22 ± 2	≤ 55
Stock moule	ISO 8	30 ± 5	15 -0/+10	22 ± 2	≤ 55
Salle 9	ISO 8	30 ± 5	15 -0/+10 [®]	22 ± 2	≤ 55
Salle 10	ISO 8	30 ± 5	15 -0/+10 [®]	22 ± 2	≤ 55
Salle 12	ISO 8	30 ± 5	15 -0/+10	22 ± 2	≤ 55

Tableau 4 : paramètres à adopter pour les salles propres du rez-de-chaussée

[®] Valeurs nominales. En réalité pour tenir compte des fuites dues aux convoyeurs, un taux de brassage plus élevé a été adopté

II. Rôles des différents intervenants

Le projet a été structuré entre les deux entreprises impliquées dans la conduite des travaux selon une logique relationnelle s'appuyant aussi bien sur les aspects techniques que commerciales. L'organisation et les interventions humaines s'établissent parallèlement du côté client (PRODIMED) et coté prestataire (CONDITIONAIR). Les mécanismes relationnels sont schématisés dans l'organigramme ci-dessous :

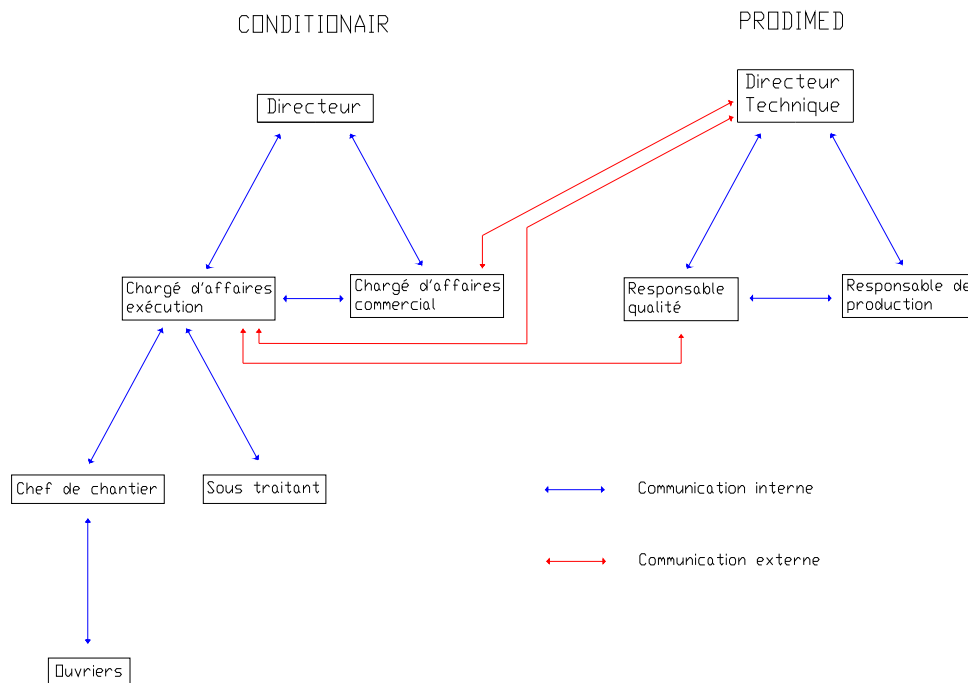


Figure n°2 : Organigramme de l'entreprise Mandataire et Prestataire

Remarque : le « chargé d'affaires exécution » de Conditionair est plus spécifiquement appelé « chargé d'affaires technique »

Les profils des principaux intervenants dans ce projet sont définis ci dessous :

2.1 Côté client

- ✓ Le Directeur technique de PRODIMED

Il est en réalité le maître d'ouvrage. Il a l'entière responsabilité de l'ensemble du projet au sein de son entreprise. C'est lui qui définit ses objectifs selon trois critères principaux : coûts, délais et performances. Lorsque les différents éléments sont déterminés, il fait appel à plusieurs prestataires de service afin d'effectuer son choix pour la réalisation des travaux. Dès que son choix est arrêté, il valide le projet et autorise son exécution.

Lorsque les travaux sont terminés, il procède à la réception des ouvrages. Si aucune réserve n'est déposée et la réception validée, le maître d'ouvrage prend possession de l'installation. Pour ce projet, un protocole de qualification*, à la charge de CONDITIONAIR, fera office de procès verbal de réception.

- ✓ Le Responsable qualité

Il garantit la qualité et la sécurité des produits commercialisés. Il oriente, à cet effet, les différentes activités de l'entreprise pour s'assurer de leur conformité à la réglementation et aux normes. Lors de la validation de la réception des ouvrages, il s'assure des bonnes conditions de fonctionnement de l'installation rénovée.

- ✓ Le Responsable de production

Il est chargé de la coordination de la production. Avec le directeur, il détermine les objectifs de la production en termes de coûts, de délais, de quantités. Il supervise l'ensemble des ateliers (préparation, approvisionnement, fabrication, conditionnement). Il est chargé d'améliorer la performance des processus de production. Il est amené à suivre les projets techniques entrepris.

* ¹ Conférer § VI Validation des deux phases du projet, résultat obtenu

2.2 Côté prestataire

✓ Le Directeur de CONDITIONAIR

Ayant la responsabilité de la bonne réalisation du projet, il vérifie et valide les différentes tâches tout au long de son déroulement. Il supervise le travail des chargés d'affaires (commercial et technique) et les oriente afin d'optimiser les performances et les rendements en anticipant d'éventuels dysfonctionnements.

✓ Le Chargé d'affaires commercial

Il est amené à effectuer les démarches commerciales. C'est lui qui effectue une pré-étude, rédige la proposition commerciale et gère le relationnel avec le maître d'ouvrage, depuis les négociations jusqu'à la signature du marché.

✓ Le Chef de chantier

Par ses compétences techniques, il est chargé de suivre les travaux sur site. Il gère les équipes réalisant ces travaux afin de respecter les objectifs techniques et de planning. Il est en lien direct et constant avec le chargé d'affaires technique.

✓ Le Chargé d'affaires technique

Il est chargé de diriger les opérations techniques et de réaliser la validation des différentes phases, depuis la conception du projet jusqu'à sa réception finale.

Il assure le relationnel entre les principaux intervenants du projet, c'est à dire le maître d'ouvrage, le chef de chantier, le chargé d'affaires commercial et le directeur de CONDITIONAIR.

Il est amené à s'occuper de l'achat du matériel faisant l'objet de la rénovation.

Il est donc amené à gérer en même temps les aspects techniques, financiers et les délais de livraison.

Il doit prendre en compte au niveau de CONDITIONAIR la gestion des risques de son personnel et procéder à toute démarche administrative lui permettant d'être en accord avec la réglementation (Plan Particulier de Sécurité et de Protection de la Santé, Permis feu...).

« Dans cette chaîne de responsabilité, mon implication personnelle s'inscrit dans cette dernière activité »

III. Base de calcul des diverses caractéristiques thermique, aéraulique et thermodynamique communes aux deux phases de la rénovation

Le présent chapitre a pour objet de développer les formules qui sont utilisées dans la détermination des paramètres intervenant dans les divers bilans (thermique, aéraulique...) et le dimensionnement des éléments à réaliser dans le cadre de la rénovation envisagée.

Ainsi, en ce qui concerne l'ensemble des calculs relatifs aux deux phases de rénovation, il convient, dans un premier temps, de déterminer les débits d'air dans les zones propres considérées.

3.1 Détermination des débits d'air

Afin d'assurer un empoussièremment acceptable au sens de la norme ISO 14644-1 dans les salles propres, il est nécessaire de calculer les débits d'air adéquates selon deux critères :

3.1.1 Le taux de brassage relatif au débit soufflé de chaque salle propre.

Plus le brassage d'air est important, plus les conditions d'utilisation sont optimisées (température, empoussièremment...).

La relation permettant de calculer le débit d'air soufflé pour chaque salle propre est la suivante :

$$\dot{v}_{\text{air soufflé}} = \Gamma_{\text{brassage}} \times V_{\text{salle}} \quad (1)$$

Avec $\dot{v}_{\text{air soufflé}}$: débit volumique d'air soufflé pour la salle propre considérée en [m³.h⁻¹]

Γ_{brassage} : taux de brassage en [Vol.h⁻¹]^{*}

V_{salle} : volume de la salle propre considérée en [m³]

* [Vol.h⁻¹] : représente le nombre de volume de salle par heure

Le débit d'air soufflé total est la résultante des débits d'air soufflé dans chaque salle propre :

$$\dot{v}_{air\ soufflé\ total} = \sum \dot{v}_{air\ soufflé} \quad (2)$$

Avec $\dot{v}_{air\ soufflé\ total}$: débit volumique d'air total du réseau aéraulique

$$\sum \dot{v}_{air\ soufflé}$$

: somme des débits volumiques d'air soufflé sur l'ensemble des salles

3.1.2 Le taux de renouvellement d'air, relatif au débit d'air neuf introduit dans le système.

Son calcul est important du fait qu'il conditionne les cascades de surpression. En effet, les salles propres du 1^{er} étage sont réparties en trois zones de surpression à respecter (45, 30 et 15 Pa). Le niveau de pression relative étant décroissant du local le plus propre vers le local le plus contaminé, le taux de renouvellement d'air suivra cet ordre décroissant proportionnellement au gradient envisagé.

Le taux de renouvellement d'air doit être convenablement adapté aux taux de surpression des trois zones compte tenu de leur degré d'étanchéité.

Remarque:

La détermination du débit d'air de surpression est généralement assurée par la prise en compte de l'apport d'air neuf extérieur. En cas de déficience, un ajustement est possible par un registre de reprise d'air du milieu local.

La relation permettant de calculer le débit d'air neuf est la suivante :

$$\dot{v}_{air\ neuf} = \Gamma_{renouvellement\ air} \times V_{salle} \quad (3)$$

Avec:

$\dot{v}_{air\ neuf}$: débit volumique d'air neuf pour la salle propre considérée [m³.h⁻¹]

$\Gamma_{renouvellement\ air}$: taux de renouvellement d'air [Vol.h⁻¹] (voir note page précédente)

V_{salle} : volume de la salle propre considérée [m³]

Une troisième caractéristique influence le débit d'air soufflé. C'est le débit de fuite dû aux portes ou aux ouvertures entre deux salles ou zones ayant une différence de pression relative. Ce débit de fuite dépend de la surface de fuite et de la perte de charge selon la relation :

$$v_{fuite} = A \times \alpha \times \sqrt{\Delta P} \quad (4) \quad *$$

Avec v_{fuite} : débit de fuite [$m^3.s^{-1}$]

A : surface de fuite [m^2]

α : coefficient de perte (0.85)

ΔP : écart de pression [Pa]

Des ouvertures sont placées entre la zone à 45 [Pa] et la zone de 30 [Pa]. Il s'agit en fait de grilles de transfert permettant la transmission d'air entre ces deux zones du fait de l'absence de grilles de reprise dans la zone à 45 [Pa]. Cette transmission d'air est à prendre en compte au niveau des débits d'air soufflé des salles de la zone à 30 [Pa]. Il est nécessaire d'utiliser la formule (4) pour calculer les débits d'air transmis. Les débits d'air transférés sont répertoriés ci-dessous :

Stock blanc 1 / salle 1 → 266 $m^3.h^{-1}$

Stock blanc 1 / salle 2 → 475 $m^3.h^{-1}$

Stock blanc 1 / salle 3 → 475 $m^3.h^{-1}$

Stock blanc 1 / salle 4 → 475 $m^3.h^{-1}$

Stock blanc 1 / salle 5 → 266 $m^3.h^{-1}$

Stock blanc 2 / salle 6 → 266 $m^3.h^{-1}$

Les résultats des calculs des débits d'air concernant la phase 1 et 2 sont présentés dans les tableaux suivants :

* Référence : « les salles propres », W. WHYTE, éditeur-traducteur S. BRESIN

Désignation local	Volume [m ³]	Taux de brassage [Vol/h]	Débit d'air soufflé [m ³ /h]	Surpression [Pa]	Taux de renouvellement d'air [Vol/h]	Débit de surpression [m ³ /h]	Débit de fuite [m ³ /h]	Débit d'air repris [m ³ /h]
Grand sas personnel	109,7	18	1974,6	15	1,5	164,5		1810,1
Petit sas personnel	60,125	18	1082,25	15	1,5	90,2		992
Stock ménage	29,75	18	535,5	15	1,5	44,6		490,9
Sas MP	19,45	18	350,1	15	1,5	29,2	320,9	
Bureaux	19,9	18	358,2	15	1,5	29,8		328,4
Salle Imtran	63,425	18	1141,65	15	1,5	95,1		1046,5
Salle 7	80,275	18	1444,95	15	1,5	120,4		1324,5
Total zone 15 Pa	382,625	18	6887,25	15	1,5	573,8	320,9	5992,4
Salle 1	73,8	24,6	1814,4	30	3	258,1		1556,3
Salle 2	117,6	23,9	2811,8	30	3	389,5		2422,3
Salle 3	117,4	23,9	2808,2	30	3	388,9		2419,3
Salle 4	117,2	23,9	2804,6	30	3	388,3		2416,3
Salle 5	120	22	2646	30	3	396,7		2249,3
Salle 6	120	22	2646	30	3	396,7		2249,3
Couloir de circulation	73,375	18		30	3			
Total zone 30 Pa	739,375	18	15531	30	3	2218,2		13312,8
Stock tubes	29,4	18	529,2	45	4,5	132,3	396,9	
Stock blanc 1	142,6	18,2	2598,7	45	4,5	641,7		
Stock blanc 2	79,525	18	1431,5	45	4,5	357,9	807,6	
Total zone 45 Pa	251,525	18	4559,4	45	4,5	1131,9	1204,5	
Total	1373,525		26977,7			3923,9	1525,4	19305,2

Tableau 5 : récapitulatif des débits d'air de la zone propre du 1^{er} étage

Désignation local	Volume [m ³]	Taux de brassage [Vol/h]	Débit d'air soufflé [m ³ /h]	Surpression [Pa]	Taux de renouvellement d'air [Vol/h]	Débit de surpression [m ³ /h]	Débit de fuite [m ³ /h]	Débit d'air repris [m ³ /h]
SAS personnel	28,5	18	513	15	1,5	42,75		470,25
Total zone 15 Pa	28,5	18	513	15	1,5	42,75		470,25
Salle 9	113,5	31,5	3575,25	30	3	377,5	3197,75	
Salle 10	60	30	1800	30	3	217	1583	
Salle 12	31,5	18	567	30	3	131,5		435,5
SAS matière première	40	18	720	30	3	157		563
Stock moule	31,5	18	567	30	3	131,5		435,5
Total zone 30 Pa	276,5	18	7229,25	30	3	1014,5		1434
Total	305		7742,25			1057,25	4780,75	1904,25

Tableau 6 : récapitulatif des débits d'air de la zone propre du rez-de-chaussée

Il apparaît ainsi que les débits d'air soufflé sont de 26977,7 [m³/h] pour le 1^{er} étage et de 7742,25 [m³/h] pour le rez-de-chaussée. Pour le 1^{er} étage, il faut déduire les débits transmis entre la zone à 45 [Pa] et la zone à 30 [Pa] s'élevant à 2223 [m³.h⁻¹] pour connaître le débit soufflé par les armoires de climatisation. Le débit d'air soufflé par les armoires de climatisation est donc de 24754,7 [m³.h⁻¹].

Remarque 1 : concernant le 1^{er} étage, les armoires disponibles chez le fournisseur correspondant à des débits de 12200 [m³/h], il a fallu se résoudre à diminuer les débits pour se caler sur ce type de matériel (les gammes supérieures engendrant des surcoûts prohibitifs).

Remarque 2 : dans le rez-de-chaussée, les ouvertures étant plus importantes (salle 9 et 10) dues aux convoyeurs, des précautions particulières ont été prises pour minimiser les débits de fuites déterminées à partir de la relation (4).

Remarque 3 : Les tableaux ci-dessus intègrent les salles 7 (au 1^{er} étage) et 12 (au rez-de-chaussée) qui ont été créées au cours du présent projet.

3.2 Bilan thermique

Le bilan thermique permet de déterminer la puissance frigorifique ainsi que la puissance calorifique à adopter. En effet, les armoires de climatisation fonctionnent en mode « froid » en période estivale et en mode « chaud » en hiver. Il convient donc d'effectuer un calcul avec des conditions de fonctionnement « été ». La démarche des conditions de fonctionnement « hiver » de l'installation sont expliquées dans le chapitre « 3.3.2 Dimensionnement des batteries chaudes ».

Les salles propres considérées au 1^{er} étage et au rez-de-chaussée se trouvent à l'intérieur de locaux situés dans le bâtiment principal de l'usine. Les conditions extérieures aux salles propres sont donc, en réalité, les conditions intérieures de la dite usine notamment en ce qui concerne les températures. Les apports dus à l'ensoleillement sont de ce fait négligés.

Les conditions de bases de calculs prises en compte pour la détermination des caractéristiques des organes à dimensionner sont établies en fonction des conditions climatiques été.

Ainsi, pour les températures on admettra les conditions moyennes suivantes aussi bien pour le Rez-de Chaussée que pour le 1er étage:

- ✓ Les conditions extérieures (c'est-à-dire les conditions du local)

$$T_{local\ été} = 27 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

- ✓ Les conditions intérieures été comme hiver sont maintenues à

$$T_{int} = 22 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Les écarts de température en été et en Hiver sont donc

$$\Delta T_{\text{été}} = 5 \text{ [K]}$$

En ce qui concerne les charges (en Watt [W]), elles sont d'origines diverses que l'on peut classer ainsi en deux catégories

- celles dues à l'environnement intérieur
- celles dues à l'environnement extérieur

3.2.1 Pour le Rez-de-Chaussée

a. Les charges dues à l'environnement intérieur telles que :

a.1 Les apports dus aux occupants

Pour une fréquentation moyenne estimée à 14 personnes

Elles sont estimées, d'après les références MEMOTECH*

- 88 [W] par personne en charge Sensible : soit une charge de **1232 W**
- 88 [W] par personne en charge Latente : soit une charge de **1232 W**

et un total d'apports dus aux occupants de: 2464 W

a.2 Les apports dus à l'éclairage sont de l'ordre de

15 [W] par mètre carré
La zone éclairée est de 122m²

Les apports dus à l'éclairage sont donc de: 1830W

a.3 Les apports dus aux processus industriels internes sont considérés d'environ

30 [W] par mètre carré

Soit une charge apportée par ces processus de: 3660W

La somme des valeurs obtenues dans (a-1); (a-2); (a-3); détermine l'apport global des charges dues à l'environnement intérieur Q_i

$Q_i = 7954W$

* Références « MEMOTECH Génie énergétique », 3^{ème} édition

b. Les charges dues à l'environnement extérieur:

Elles dépendent :

- ✓ d'une part des échanges au niveau des parois
 - * des parois vitrées Q_v
 - * des parois extérieures Q_p
- ✓ d'autre part de l'apport d'air neuf extérieur au local

b.1 Apports par les parois

- le vitrage Q_v
- les murs Q_m
- Le plancher Q_{pl}
- Le Plafond Q_{pf}

Détermination des surfaces d'échange thermique au niveau des parois				
Lieu	Surface vitrage S_v	Surface des murs S_m	Surface du plancher S_{pr}	Surface du Plafond S_{pf}
Sas Personnel	5,83	11,66	11,4	11,4
Salle 12	2,5	5	12,6	12,6
Sas mat. première	6,66	13,33	16	16
Salle 10	8,33	16,66	24	24
Stock moule	3,41	6,83	12,6	12,6
Salle 9	19,91	39,83	45,4	45,4
Total	46,64	93,31	122	122
Valeur des Coefficients d'échanges thermiques				
	K_v vitrage	K_m murs	K_{pr} Plancher	K_{pf} Plafond
Rez-de-chaussée	3	2	2	3
Bilan des apports par transmission surfacique				
	S. K	ΔT	Apport	
Surface d'échange				
Vitrage	140	5	700	
murs	187	5	935	
plancher	244	5	1220	
plafond	366	5	1830	
Total Apport par les parois Q_{paroi}			4685	

Tableau 7 : calcul des apports par les parois de la zone propre du rez-de-chaussée

Dans tous ces cas, les apports thermiques sont calculés à partir des relations génériques de type :

$$Q = K \times S \times \Delta T \quad (1)$$

où

K est le coefficient d'échange thermique parois-extérieur

S est la surface d'échange des parois

ΔT écart de température extérieur-intérieur

On établit le bilan des apports par les parois à partir des valeurs consignées dans le tableau précédent

Remarque 1: Les coefficients d'échange K sont ceux donnés en référence MEMOTECH*

En définitive les apports par les parois sont de: **4685 W**

b.2 Apport dû à la reprise d'air neuf extérieur

Les apports dus à l'air neuf sont obtenus à partir de la relation suivante :

$$Q_{an} = \dot{m}_{an} \times c \times \Delta T \quad (2)$$

Avec Q_{an} : apport dû à l'air neuf [W]

\dot{m}_{an} : débit d'air neuf ayant une valeur de 2 [kg.s⁻¹] (*)

c : capacité thermique massique de l'air ayant une valeur de 1000 [J.kg⁻¹.K⁻¹]

ΔT : écart de température entre l'air intérieur et l'air extérieur de 10 [K]

Le débit d'air neuf \dot{m}_{an} est une partie importante des apports. Il est égal à la somme des débits d'air de surpression et des débits de fuite de chaque salle dont les valeurs sont données dans le tableau 6 page 32.

Le débit volumique d'air neuf est donc de $1057 + 4780 = 5837$ [m³/h]. Le volume massique correspondant, en prenant pour la masse volumique de l'air $\rho = 1.2$ [kg/m³] est de 2 [kg/s].

La relation(2) donne $2 \times 1000 \times 10$ soit:

L'apport thermique dû à l'injection d'air neuf Q_{an} est de: **20000W**

En conséquence des apports dus à l'environnement extérieur s'élèvent à 4685+20000

$$Q_{ext} = 24685 W$$

* Référence « MEMOTECH Génie Energétique », 3^{ème} édition

Et par suite le bilan global des apports internes et externes $7954+24685= 32639 W$

Le bilan thermique du Rez-de-chaussée est donc de l'ordre de

$$Q_{\text{rez-de-chaussée}} = 33 \text{ [kW]}$$

3.2.2 Pour le 1er étage

a. Les charges dues à l'environnement intérieur telles que :

a.1 Les apports dus aux occupants

Pour une fréquentation moyenne estimée à 40 personnes

Elles sont estimées, d'après les références MEMOTECH*

- 88 [W] par personne en charge Sensible : soit une charge de 3520 W
- 88 [W] par personne en charge Latente : soit une charge de 3520 W

et un total d'apports dus aux occupants de: 7040 W

a.2 Les apports dus à l'éclairage sont de l'ordre de

15 [W] par mètre carré
La zone éclairée est de 550m²

Les apports dus à l'éclairage sont donc de: 8250W

a.3 Les apports dus aux machines électriques sont de 150W environ par machine

Elles sont au nombre de 6 soit au total 150x6 **900W**

Remarque: Au premier étage, du fait de l'absence de convoyeur les apports dus aux processus industriels internes sont nuls:

La somme des valeurs obtenues dans (a-1); (a-2); (a-3); détermine l'apport global des charges dues à l'environnement intérieur Q_i

$$Q_i = 16190W$$

* Référence « MEMOTECH Génie Energétique », 3^{ème} édition

b. Les charges dues à l'environnement extérieur:

b.1 Apports par les parois

En procédant de la même manière qu'au rez-de-chaussée, on établit le bilan des apports par les parois à partir des valeurs consignées dans le tableau ci-dessous :

Détermination des surfaces d'échange thermique au niveau des parois				
Lieu	Surface vitrage S_v	Surface des murs S_m	Surface du plancher S_{pr}	Surface du Plafond S_{pf}
Grand SAS Personnel	-	13	4.4	4.4
Petit SAS personnel	-	26.25	24	24
Stock Ménage	-	6.25	12	12
SAS Matière Première	-	-	7.8	7.8
Bureaux	-	-	8	8
Salle Intran	3.33	6.66	25.4	25.4
Salle 7	10.83	21.66	32.1	32.1
Salle 1	-	-	29.5	29.5
Salle 2	-	-	67	67
Salle 3	-	-	47	47
Salle 4	-	-	47	47
Salle 5	-	-	48	48
Salle 6	-	-	48	48
Stock tubes	-	15	11.8	11.8
Stock blanc 1	-	71.25	57	57
Stock blanc2	-	45	31.8	31.8
Couloir de circulation	-	-	29.35	29.35
Total	14.16	205.07	549.75	549.75
Valeur des Coefficients d'échanges thermiques				
	K_v vitrage	K_m murs	K_{pr} Plancher	K_{pf} Plafond
Rez-de-chaussée	3	2	2	3
Bilan des apports par transmission surfacique				
	S. K	ΔT	Apport	
Surface d'échange				
Vitrage	42.5	5	212.5	
murs	410	5	2050	
plancher	1100	5	5500	
plafond	1650	5	8250	
Total Apport par les parois Q_{paroi}			16012	

Tableau 8 : calcul des apports par les parois de la zone propre du 1^{er} étage

En définitive les apports par les parois sont de: **16012 W**

b.2 Apport dû à la reprise d'air neuf extérieur

Les apports dus à l'air neuf sont obtenus à partir de la relation suivante :

$$Q_{an} = \dot{m}_{an} \times c \times \Delta T \quad (2)$$

Avec Q_{an} : apport du à l'air neuf [W]

\dot{m}_{an} : débit d'air neuf ayant une valeur de 1.81 [kg.s⁻¹] (*)

c : capacité thermique massique de l'air ayant une valeur de 1000 [J.kg⁻¹.K⁻¹]

ΔT : écart de température entre l'air intérieur et l'air extérieur de 10 [K]

Comme au rez-de-chaussée, le débit d'air neuf \dot{m}_{an} est une partie importante des apports. Il est égal à la somme des débits d'air de surpression et des débits de fuite de chaque salle dont les valeurs sont données dans le tableau 5 de la page 31. Le débit volumique d'air neuf étant donc de 5450 [m³/h], le volume massique correspondant en prenant pour la masse volumique de l'air $\rho = 1.2$ [kg/m³] est de 1.81 [kg/s].

La relation(2) donne 2.543 x 1000 x 10 soit :

L'apport thermique dû à l'injection d'air neuf Q_{an} est de: **18100W**

En conséquence des apports dus à l'environnement extérieur s'élèvent à 16012+25430

$$Q_{ext} = 34112 [W]$$

Et en définitive l'apport global des apports thermiques au1er étage est de :

$$Q_i + Q_{ext} = 50302W$$

Le bilan thermique du premier étage est donc de l'ordre de :

$$Q_{1er\ étage} \approx 50 [kW]$$

3.3 Le système de conditionnement de l'air en température

Il se situe à deux niveaux:

- le refroidissement de l'air par une batterie froide à l'intérieur de l'armoire de climatisation
- le chauffage de l'air par une batterie chaude placée à l'entrée de la zone propre

L'intégration de ces organes permet de contrôler en permanence la température de l'air dans le réseau aéraulique qui est présenté très schématiquement ci dessous:

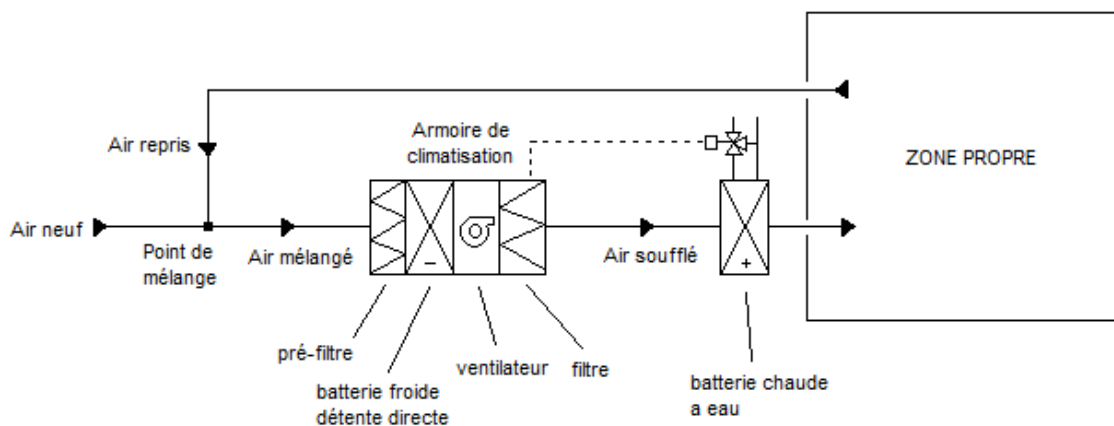


Figure n°3 : schéma de principe de diffusion de l'air

3.3.1 Dimensionnement des batteries froides

Les bilans thermiques du rez-de-chaussée et du 1^{er} étage ayant été évalués en terme d'apports leurs valeurs rappelées ci-dessous :

$$Q_{\text{rez-de-chaussée}} = 33 \text{ KW}$$

$$Q_{\text{1er étage}} = 50 \text{ KW}$$

sont transmises au fournisseur des armoires de climatisation. Il a estimé qu'en prenant une marge de confort et de sécurité, il était judicieux de les majorer et d'équiper

- le rez-de-chaussée avec **1 armoire d'une puissance frigorifique de 45W**
- le 1er étage avec **2 armoires d'une puissance frigorifique de 40W chacune soit 80KW au total**

Cette marge permet, en outre, de ne pas solliciter les moteurs à leur régime maximum mais de les utiliser avec un point de fonctionnement optimal.

3.3.2 Dimensionnement des batteries chaudes

Un calcul estimatif relatif aux déperditions thermiques en période hivernale a montré que les batteries chaudes en place ne nécessitaient pas de remplacement.

Toutefois, là encore, pour un fonctionnement optimal, il a été jugé prudent d'ajouter en plus de l'existant, une batterie chaude au rez-de-chaussée.

3.4 Dimensionnement du réseau aéraulique à modifier

3.4.1 Motif des modifications du réseau

Pour assurer un taux de brassage correct (de 18 [Vol.h⁻¹] généralement admis) répondant aux spécifications des « zones propres », il faut réaliser un réseau de distribution d'air adapté en termes de débit. Cela s'obtient :

- En dimensionnant convenablement les sections de gaines
- en dimensionnant les armoires de climatisation en fonction des pertes de charges de l'ensemble du réseau et notamment de ses portions les plus résistantes.

Par rapport au réseau existant, les débits d'air souhaités ont nécessité

- la modification des portions de gaines (piquages et antennes)
- le remplacement des Armoires

Les plans en annexe n°2-c et 2d identifient les lieux et les organes où les modifications doivent être apportées.

3.4.2 Détermination des sections de gaine

Il s'agit ici de calculer les différentes sections de gaines du réseau aéraulique à modifier. Celui-ci débute en local technique et se répand jusqu'au dessus des salles propres de chaque étage.

a. Concernant la partie « local technique », les pièces d'adaptation sont dimensionnées en fonction des côtes de soufflage et de reprise d'air des armoires de

climatisation et du réseau aéraulique existant. Ceux-ci sont principalement des gaines à section rectangulaire.

b. Pour la partie du réseau située au-dessus des salles propres, les modifications à apporter concernent principalement les gaines à section circulaire. Le dimensionnement de la surface de gaine dépend de deux paramètres : la vitesse d'air et le débit volumique d'air. Compte tenu de ces paramètres, en fonction du débit d'air et de l'implantation de la modification de gaine, les vitesses d'air de référence peuvent varier entre 3 et 5 [m/s].

$$S_{gaine} = \frac{\dot{m}_{air}}{v_{air}} \quad (1)$$

Avec S_{gaine} : section de la gaine [m²]

\dot{m}_{air} : débit volumique du fluide traversant la gaine [m³.s⁻¹]

v_{air} : vitesse d'air dans la gaine [m.s⁻¹]

Lorsque la surface de gaine est déterminée, le diamètre de gaine est ainsi obtenu :

$$D_{gaine} = 2 \sqrt{\frac{S_{gaine}}{\pi}} \quad (2)$$

Avec D_{gaine} : diamètre de la gaine [m]

Les diamètres standards disponibles sont donnés dans le tableau ci-dessous. A partir des diamètres obtenus par la relation (2) ci-dessus on sélectionne dans ce tableau la gaine standard dont le diamètre est le plus proche :

Ø en mm	Ø en mm	Ø en mm	Ø en mm	Ø en mm
60	125	250	500	1000
80	160	315	630	1200
100	200	400	800	

Tableau 9 : diamètres standards des différentes gaines circulaires

Des gaines de 200 [mm], 250 [mm], 315 [mm], 400 [mm], 500 [mm] ont ainsi été utilisées.

3.4.3 Détermination des pertes de charges dans les divers tronçons des réseaux de soufflage et de reprise

Pour la clarté de l'exposé on détaille dans ce paragraphe la détermination de ces pertes de charges dans le réseau du rez-de-chaussée qui est constitué plus simplement

- * d'une seule armoire
- * de seulement 3 antennes de soufflage
- * d'un tronçon de reprise

La démarche est sensiblement analogue dans le réseau du 1^{er} étage qui comporte, en revanche :

- * deux armoires
- * 11 antennes (après rénovation - 8 avant)
- * le réseau de reprise

La configuration détaillée de ces deux parties de l'installation est donnée en annexe n° 2-d

La méthode de travail pour la détermination de ces pertes de charges consiste

⇒ à décomposer l'installation en tronçons homogènes en distinguant les singularités:

-1- les gaines rectangulaires	g_r
-2- les gaines circulaires	g_c
-3- les dérivations et bifurcations	d et b
-4- les rétrécissements	®
-5- les coudes	©
-5- les batteries chaudes et caissons filtres	b_c et c_f
-6- les diffuseurs	d_r
-7- les grilles	g_l

⇒ à modéliser le circuit aéraulique considéré en identifiant les éléments ci-dessus

⇒ à calculer pour chaque tronçon,

- les pertes de charge linéaires $\Delta P_l = j \cdot L$
j étant la perte de charge unitaire en [Pa/m]
L longueur en [m]

- les pertes de charges singulières ΔP_s par la relation classique:
$$\Delta P_s = \zeta \frac{\rho v^2}{2}$$

ζ est le coefficient de perte de charge singulier

v vitesse de l'air en [m/s]
 ρ masse volumique de l'air

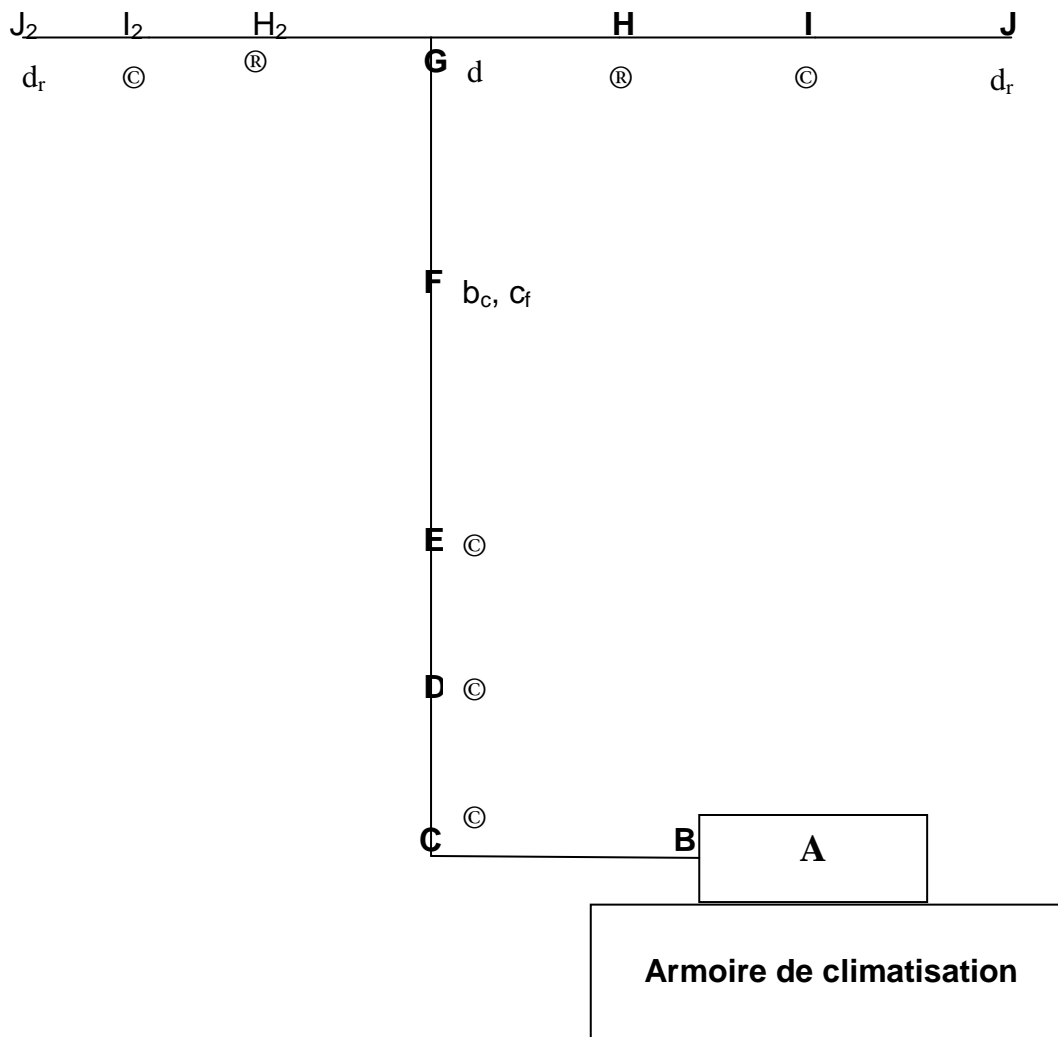
A partir des pertes de charges ainsi obtenues, on dispose de la pression qui devra être disponible à la sortie des armoires; ce qui permet de fixer les caractéristiques aérauliques qui sont communiquées au fournisseur avec une marge de performance

Exemple du calcul des pertes de charge pour le Rez-de-chaussée

a) Modélisation de l'antenne 1

A partir du plan du Rez-de-chaussée donné en annexe n°2-d, on établit le modèle en tronçon ci dessous:

Bifurcation, b	tronçon AB	+ gaine de 1560x765 mm
Coude, ©	tronçons BC; CD.DE	+ gaines de Ø 400mm
Batterie chaude, b _c	tronçon EF	+ gaines de Ø 400mm
Caisson filtre, c _f		
Dérivation, d	tronçon FG	+ gaines de Ø 400mm
Rétrécissement, ®	tronçon GH	+ gaine de Ø 400mm
Dérivation, d	tronçon HI	+ gaine de Ø 315mm
Diffuseur, d _r	tronçon IJ	+ gaine de Ø 315mm



PERTE DE CHARGE DU RESEAU SOUFLAGE (ANTENNE 1)												
Tonçon	Débit existant [m ³ /h]	Diamètre	Surface [m ²]	Vitesse v [m/s]	J [Pa/m]	L [m]	j x L [Pa]	singularité	ζ	$\zeta \frac{v^2}{\rho / 2}$	PdC totale	
A	7742		1,2	1,792	0	1,45	0	bifurc.	1,4	2,8091	2,809	
BC	1600	0,4	0,1256	3,539	0,4	2,5	1	coude	0,5	3,7564	4,756	
CD	1600	0,4	0,1256	3,539	0,4	2,5	1	coude	0,5	3,7564	4,756	
DE	1600	0,4	0,1256	3,539	0,4	3,5	1,4	coude	0,5	3,7564	5,156	
EF	1600	0,4	0,1256	3,539	0,4	2,5	1	batterie chaude		60	61	
FG	1600	0,4	0,1256	3,539	0,4	1	0,4	caisson filtre		115	115,4	
FG	1600	0,4	0,1256	3,539	0,4	1,4	0,56	dérivation	1,1	8,2642	8,824	
GH	800	0,4	0,1256	1,769	0	0,8	0	réduction	0,1	0,1878	0,188	
HI	800	0,315	0,0779	2,853	0,5	0,7	0,35	coude	0,5	2,4418	2,792	
IJ	800	0,315	0,0779	2,853	0,5	0,7	0,35	diffuseur		10	10,35	
TOTAL							6,06					216

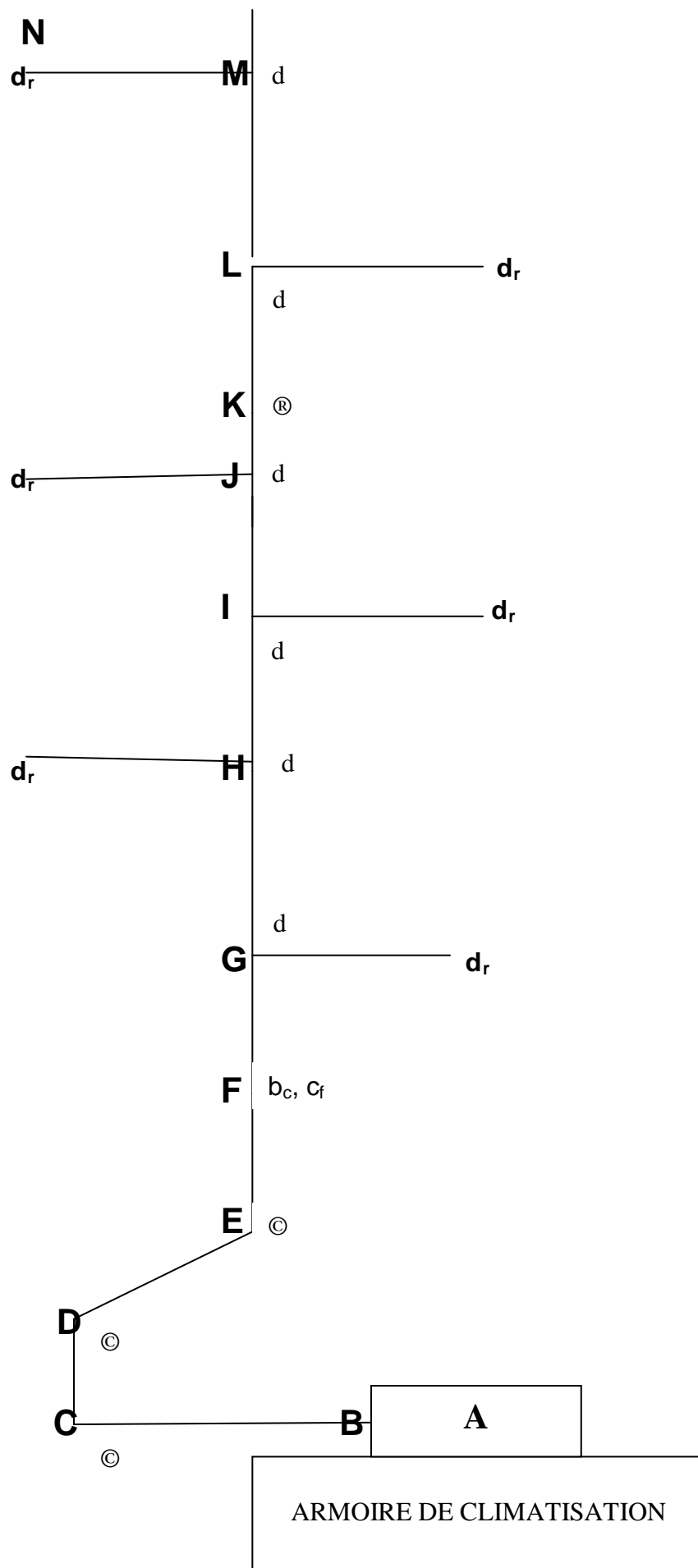
Tableau 10 : perte de charge du réseau de soufflage de l'antenne 1.

**Les pertes de charges sur l'ensemble de l'antenne 1 sont donc de
216Pa**

b) modélisation de l'antenne 2

Le plan détaillé donné en annexe n°2-d conduit à la modélisation ci-après avec l'existence sur ce circuit des singularités suivantes:

Bifurcation, b	tronçon AB	+ gaine de 1560x765 mm
Coude, ©	tronçons BC; CD.DE	+ gaines de Ø 500mm
Batterie chaude, b _c	tronçon EF	
Caisson filtre, c _f		
Dérivation, d	tronçon FG/ GH. HI. IJ	+ gaines de Ø 400mm
Rétrécissement, ®	tronçon JK	+ gaine de Ø 400mm
Dérivation, d	tronçon KL ; LM	+ gaine de Ø 250mm
Diffuseur, d _r	tronçon MN	+ gaine de Ø 200mm



PERTE DE CHARGE RESEAU SOUFFLAGE ANTENNE 2											
Tronçon	Débit existant [m ³ /h]	Diamètre	Surface [m ²]	Vitesse v [m/s]	j [Pa/m]	L [m]	j x L [Pa]	singularité	ζ	$\zeta v^2 / \rho / 2$	PdC totale
AB	7742		1,2	1,79213	0	1,45	0	bifurcation b	1,4	2,69785	2,6979
BC	2715	0,5	0,19625	3,84289	0,4	2	0,8	coude ©	0,5	4,43034	5,2303
CD	2715	0,5	0,19625	3,84289	0,4	2,75	1,1	coude ©	0,5	4,43034	5,5303
DE	2715	0,5	0,19625	3,84289	0,4	1,7	0,68	coude ©	0,5	4,43034	5,1103
EF	2715	0,5	0,19625	3,84289	0,4	1,9	0,76	batterie chaude bc		80	80,76
EF	2715		0,5	1,50833	0	0,7	0	caisson filtre bc		230	230
FG	2715	0,4	0,1256	6,00451	1,3	0,9	1,17	dérivation d	1,3	28,1222	29,292
GH	2315	0,4	0,1256	5,11987	0,8	0,4	0,32	dérivation d	1,1	17,3006	17,621
HI	1915	0,4	0,1256	4,23523	0,6	1,3	0,78	dérivation d	0,8	8,60983	9,3898
IJ	1515	0,4	0,1256	3,35058	0,35	0,4	0,14	dérivation d	0,5	3,36792	3,5079
JK	1115	0,4	0,1256	2,46594	0,2	1,35	0,27	réduction ®	0,1	0,36485	0,6349
KL	1115	0,25	0,04906	6,31281	2	1,35	2,7	dérivation d	2	47,8219	50,522
LM	530	0,25	0,04906	3,00071	0,5	3,4	1,7	dérivation d	0,5	2,70127	4,4013
M	530	0,2	0,0314	4,68861	1,3	1,5	1,95	diffuseur d _r		23	24,95
TOTAL							12,37			457,277	469,65

Tableau 11 : perte de charge du réseau de soufflage de l'antenne 2.

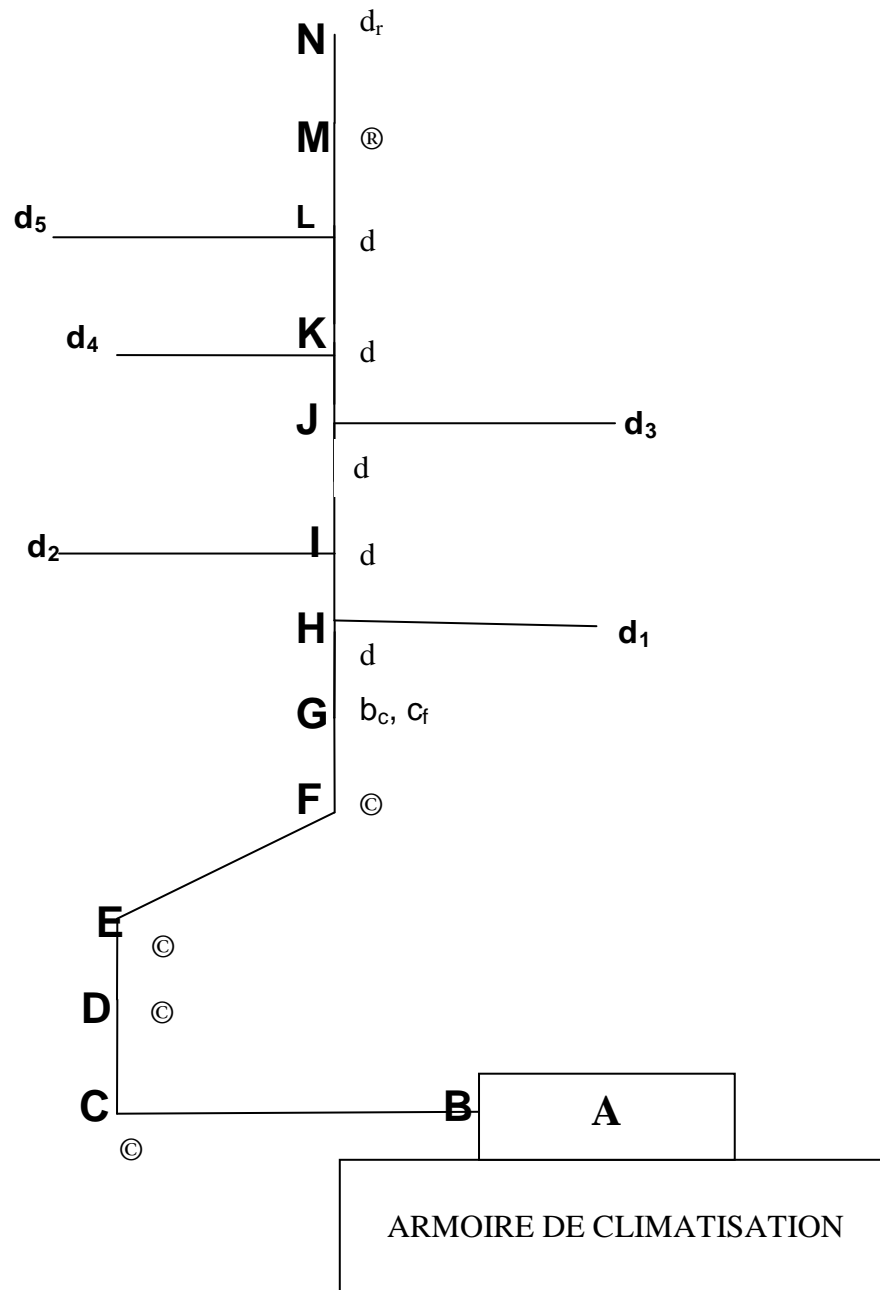
Les pertes de charges sur l'ensemble de l'antenne 2 sont donc de

470 Pa

c) Modélisation de l'antenne 3

A partir du plan détaillé donné en annexe n°2-d la modélisation se fait en l'ensemble du circuit selon une décomposition en tronçons comme indiqué ci-dessous : .

Bifurcation, b	tronçon AB	+ gaine de 1560x755mm
Coude, ©	tronçons BC;DE	+ gaines de Ø 500mm
Coude ©	tronçon EF	+ gaines de Ø 400mm
Rétrécissement, ®	tronçons CD; LM	+ gaine de Ø 400mm
Batterie chaude, b _c	tronçon FG	+ gaine de Ø 400 mm
Caisson filtre c _f		
Dérivation, d	tronçons GH;HI. IJ	+ gaines de Ø 400mm
Dérivation, d	tronçons JK; KL	+ gaines de Ø 400mm
Diffuseur, d _r	tronçon N	+ gaine de Ø 250mm



PERTES DE CHARGE RESEAU SOUFLAGE (ANTENNE 3)											
tronçon	Débit existant [m ³ /h]	Diamètre	Surface [m ²]	Vitesse v [m/s]	j [Pa/m]	L [m]	j x L [Pa]	singularité	ζ	$\zeta v^2 / 2$	PdC totale
AB	7742		1,2	1,7921	0	1,45	0	bifurcation	1,4	2,698	2,6979
BC	3135	0,5	0,19625	4,4374	0,47	4	1,88	coude	0,5	5,907	7,7871
CD	3135	0,5	0,19625	4,4374	0,47	5,5	2,585	réduction	0,1	1,181	3,7664
DE	3135	0,4	0,1256	6,9334	1,3	1	1,3	coude	0,5	14,42	15,722
EF	3135	0,4	0,1256	6,9334	1,3	2	2,6	coude	0,5	14,42	17,022
FG	3135	0,4	0,1256	6,9334	1,3	0,85	1,105	batterie chaude		106	107,11
FG	3135		0,5	1,7417	0	0,4	0	caisson filtre		260	260
GH	3135	0,4	0,1256	6,9334	1,3	0,5	0,65	dérivation	1,4	40,38	41,03
HI	2685	0,4	0,1256	5,9382	0,9	0,4	0,36	dérivation	1,1	23,27	23,633
IJ	2235	0,4	0,1256	4,9429	0,75	1,3	0,975	dérivation	0,7	10,26	11,237
JK	1795	0,4	0,1256	3,9698	0,5	0,5	0,25	dérivation	0,5	4,728	4,9779
KL	1345	0,4	0,1256	2,9746	0,3	2,15	0,645	bifurcation	1,4	7,433	8,0776
LM	750	0,4	0,1256	1,6587	0	0,5	0	réduction	0,1	0,165	0,1651
MN	750	0,2	0,0314	6,6348	2,7	0,55	1,485	diffuseur		50	51,485
TOTAL							13,835				554,7

Tableau 12 : perte de charge du réseau de soufflage de l'antenne 3.

Les pertes de charges sur l'ensemble de l'antenne 3 sont donc de

555 Pa

A cela, s'ajoute la perte de charge du réseau de reprise dont le calcul n'est pas détaillé mais similaire à celui des antennes de soufflage. La valeur de la perte de charge du réseau de reprise est de 92 [Pa].

Ce calcul de perte de charge permet de déterminer la pression disponible du ventilateur de l'armoire de climatisation. Cette pression disponible doit être au moins égale ou supérieure à cette perte de charge.

Dans notre cas, il convient de prendre en compte la perte de charge la plus défavorable. Celle-ci est représentée par la somme des pertes de charges entre l'antenne 3 et l'antenne de reprise :

$$555 + 92 = 647 \text{ [Pa]}$$

Il en résulte que la pression disponible du ventilateur de l'armoire de climatisation devra être égale ou supérieure à 647 [Pa].

Afin d'assurer une marge, il a été convenu avec notre fournisseur d'équiper l'armoire de climatisation d'un ventilateur ayant une pression disponible de 800 [Pa].

3.4.4 Chaîne de filtration

La filtration est un procédé mécanique, optique ou électrostatique permettant l'épuration de l'air neuf ou de l'air repris à l'intérieur des locaux.

Dans le cas présent, outre la protection des personnes et des machines, la filtration a pour but de protéger les processus de fabrication des "Dispositifs Médicaux" et de garantir ainsi la "propreté" des zones sensibles.

Cette notion de "propreté" est liée à la concentration particulier. Pour les présentes installations ce taux doit répondre à la norme ISO 14644-1 qui traduit le nombre et la dimension des particules en suspension dans l'air.

Pour sélectionner les filtres correspondant à ces caractéristiques d'empoussièrement, il faut ajuster leur efficacité à ces caractéristiques. Dans une

configuration ayant la complexité de la présente installation, une chaîne de filtration doit être élaborée en prenant en compte l'efficacité des différents éléments filtrants.

L'efficacité de filtrage est définie par le rapport:

$$E = (C_{\text{amont}} - C_{\text{aval}}) / C_{\text{amont}}$$

où C est la concentration particulaire.

Les filtres du commerce sont répertoriés en fonction de leur efficacité selon une classification normalisée EN779 ou EN1822 indiquant également la méthode de filtrage correspondant à l'un des trois modes suivants :

- * filtration gravimétrique
- * filtration opacimétrique
- * filtration absolue

* La filtration gravimétrique correspond aux classes de moyenne efficacité pour lesquelles une efficacité de 95% filtre les particules supérieures à 5µm. Ce filtrage se fait par une discrimination pondérales. **Classification G**

* La filtration opacimétrique est une méthode à haute efficacité de filtrage. En effet pour 95% d'efficacité le filtre piège les particules supérieures à 0,5 µm.

Classification F

* La filtration absolue permet d'obtenir une efficacité de 99,99% pour un filtrage des particules supérieures à 0,3 µm **Classification H**

Dans le cas de figure du présent projet, la chaîne de filtrage a été introduite en amont de la zone propre sur le réseau de soufflage en utilisant des filtres de classe

G4, H10 et H14

comme indiqué sur le schéma ci-après :

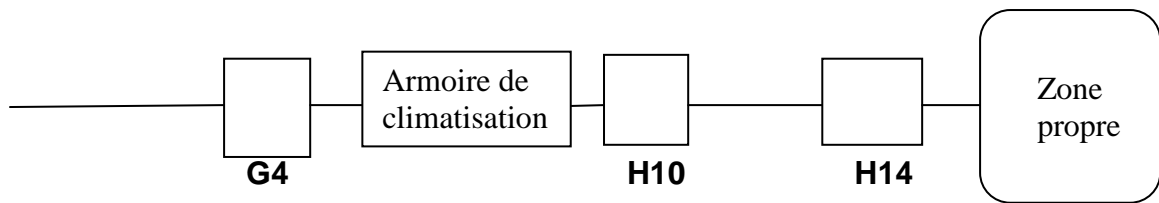


Figure 4 : Chaîne de filtration

Cette chaîne de filtrage assure, dans la "**zone propre**", un taux d'empoussièrément conforme à la norme ISO8.

Remarque:

Au 1er Etage, la présente rénovation a conduit au remplacement d'un caisson de filtre par des éléments de classe H14 et au rajout de 3 nouveaux caissons filtres, les 7 autres sont de classe H13 et préexistaient dans le circuit de soufflage.

Au Rez-de-chaussée, l'étage de filtration est constitué de 2 filtres gravimétriques G4 au niveau de l'aspiration en entrée d'Armoire.et 2 filtres absolus H10 en aval immédiat de la batterie froide.

Ces éléments neufs sont liés à l'Armoire. Les caissons de filtres situés sur chaque gaine de soufflage n'ont pas nécessité de remplacement.

IV. Démarche technico-commerciale

4.1 Elaboration des coûts

A partir de l'étude technique réalisée dans les chapitres précédents, et compte tenu des performances requises en termes de "propreté" de l'installation, il est possible, à présent d'examiner les aspects financiers du projet par une évaluation des coûts liés aux personnels et aux matériels.

Ce volet de la présente investigation s'inscrit dans une démarche technico-commerciale visant à l'élaboration d'une proposition commerciale dans laquelle sont mises en adéquation les contraintes imposées au plan technologique et leur incidence sur les différents postes du devis.

4.1.1 Le matériel

Il s'agit principalement des éléments suivants

- ✓ caissons filtres
- ✓ diffuseur, grille de soufflage et de reprise
- ✓ registre
- ✓ armoire de climatisation
- ✓ Les gaines circulaires et rectangulaires

Plusieurs fournisseurs ont été consultés afin de les mettre en concurrence et de bénéficier du meilleur rapport qualité/prix.

4.1.2 Le personnel CONDITIONNAIR

Le temps de dépose des matériels à remplacer et le temps de pose des matériels de remplacement ont été évalués et les coûts qui en découlent en termes de main-d'œuvre ont été déterminés.

S'ajoutent à cela les frais d'encadrement qui sont de deux types :

- ✓ Les frais d'études, comptabilisant le temps passé pour déterminer les calculs de dimensionnement.
- ✓ Les frais du personnel, prenant en compte le temps que devra passer le chargé d'affaires, le chef de chantier ainsi que tout le personnel de chantier impliqué pour l'ensemble du projet.

Enfin doivent être pris en compte, les divers frais de chantier, recouvrant les frais d'achats de petites fournitures, d'outillages, les frais d'encombrants à débarrasser

4.1.3 La sous-traitance

Une étude des diverses propositions des sous-traitants sollicités a permis d'évaluer les coûts à intégrer au devis en ce qui concerne les travaux suivants

- ✓ Extension de la zone propre
- ✓ Modification du réseau de gaine
- ✓ Nettoyage du réseau de gaine
- ✓ Création de « passe-plat »

L'ensemble de ces divers frais étant établi, la proposition commerciale est élaborée.

4.2 Négociation

Cette proposition est soumise au maître d'ouvrage qui compare et analyse l'ensemble des propositions qui lui ont été présentées par les différents prestataires mis en concurrence.

Au terme de cette étude, et au regard des critères définis, il se rapproche de l'entreprise qui lui semble la mieux appropriée pour réaliser le projet, en l'occurrence CONDITIONAIR.

Une rencontre est alors organisée entre le directeur de l'usine et le chargé d'affaires commercial de CONDITIONAIR. Lors de cette séance de travail, les négociations en termes de paiement, de délai d'exécution et de pénalités de retard sont évoqués :

- ✓ En particulier les modalités de paiement, la facture d'acompte à la commande, les factures de situation (en fonction de l'avancement du projet) et la facture finale sont déterminées.
- ✓ Le délai d'exécution des travaux est défini pour la première et la seconde phase. Dans le cas où les travaux ne sont pas exécutés dans les délais impartis, des pénalités de retard sont fixées.

Les deux parties étant en accord sur ces différentes modalités, la commande est passée par le maître d'ouvrage. Le terme « Bon pour accord » est spécifié sur cette commande paraphée par le mandataire.

V. Rénovation de la zone propre du 1^{er} étage et du rez-de-chaussée

5.1 Préparation de chantier

5.1.1 Récupération des différents documents existants (plans, documentations techniques...)

Une fois le marché validé, les documents existants de l'installation d'origine sont réunis et confiés au chargé d'affaires technique de CONDITIONAIR.

A savoir :

- ✓ Les plans des zones propres du 1^{er} étage et du RDC
- ✓ Les plans des locaux techniques du 1^{er} étage et du RDC
- ✓ La liste et la documentation technique des différents organes installés (registre, filtre absolu, diffuseur, grille de reprise...)

Remarque : Au rez-de-chaussée il a été nécessaire de procéder au relevé de cotes et de représenter l'implantation existante pour laquelle PRODIMED n'a pu fournir de plans.

5.1.2 Descriptif détaillé des modifications à apporter

A partir des besoins de rénovation identifiés dans le chapitre 1.5, les travaux à entreprendre sont détaillés ci-après selon les approches principales suivantes :

- Le démontage du matériel à remplacer
- La création des espaces nouveaux
- L'installation des éléments neufs avec les adaptations aux éléments existants.

5.1.2.1 Phase 1 : 1^{er} étage

- ✓ Les éléments à démonter et à évacuer sont décrits ci-dessous :
 - La dépose de 2 armoires de climatisation de marque « Airwell » situées dans le local technique du 1^{er} étage.
 - La dépose de 4 condenseurs à air de marque « Airwell » situés en toiture.
 - La dépose partielle du réseau aéraulique de soufflage au niveau des combles du 1^{er} étage.
 - La dépose d'un caisson filtre de marque « Interfiltre » au niveau des combles du 1^{er} étage.
 - La dépose du réseau aéraulique de soufflage et de reprise existant dans le local technique du 1^{er} étage.
 - La dépose d'un flux laminaire de la salle Imtram.
 - Le démontage de 6 portes dans la zone à 30 [Pa].
 - La dépose du faux plafond des deux SAS petit et grand personnel.

- ✓ En ce qui concerne la partie installation, les composants à mettre en place et les prestations à effectuer sont les suivants :
 - L'étanchéité des portes, cloisons et plafonds des salles propres du 1^{er} étage.
 - Le démontage et le remontage de la façade donnant sur l'extérieur du local technique du 1^{er} étage permettant de sortir et de rentrer le matériel.
 - La fourniture et la pose du réseau de gaine de soufflage et de reprise à modifier dans local technique du 1^{er} étage.
 - La fourniture et pose du réseau de gaine de soufflage à modifier au dessus des salles propres du 1^{er} étage.
 - La fourniture et pose du réseau de gaine de reprise à modifier au dessous des salles propres du 1^{er} étage.
 - La fourniture et la pose de quatre caissons filtres de marque « CAMFIL » munis de filtres absolus H14.

- La fourniture et la pose de deux armoires de climatisation de marque « CAPII » dans le local technique du 1^{er} étage.
- La fourniture et la pose de deux unités de condensation à air « HK Réfrigération » en toiture.
- Les liaisons frigorifiques et électriques entre les armoires de climatisation et les condenseurs à air.
- L'évacuation des condensats des armoires de climatisation.
- Le tirage au vide et le réglage de la charge en fluide frigorigène R407C.
- Le raccordement électrique d'une alimentation protégée mise à disposition au niveau des armoires.
- La mise en service des armoires de climatisation.

✓ Travaux supplémentaires

L'extension de la zone propre : création, par la sous-traitance, d'une salle propre, salle 7 de 27 [m²] à la demande de CONDITIONAIR

- Le remplacement des faux plafonds des deux SAS petit et grand personnel.
- La fourniture et la pose de trois climatiseurs réversibles assurant la climatisation de la zone « emballage secondaire » du 1^{er} étage
- La création d'un passe chariot par la sous-traitance à la demande de CONDITIONAIR
- Le revêtement de sol du SAS MP (sous-traité).
- La fourniture et la pose d'un tableau de pression comprenant :
 - 6 manomètres différentiels pour la zone « 15 » Pa.
 - 1 manomètre différentiel pour la zone « 30 » Pa.
 - 3 manomètres différentiels pour la zone « 45 » Pa.

5.1.2.1 Phase 2 : rez-de-chaussée

- ✓ Les éléments à démonter et à évacuer sont décrits ci dessous :
 - La dépose d'une armoire de climatisation de marque « Airwell » située dans le local technique du rez-de-chaussée.
 - La dépose de deux condenseurs à air de marque « Airwell » situés en toiture.
 - La dépose d'un ventilateur relais monté en gaine situé à côté du local technique.
 - La dépose partielle du réseau aéraulique de soufflage au-dessus des salles propres du rez-de-chaussée.
 - La dépose du réseau aéraulique de soufflage et de reprise existant dans le local technique du rez-de-chaussée.

- ✓ En ce qui concerne la partie installation, les composants à mettre en place et les prestations à effectuer sont les suivants :
 - L'étanchéité des portes, cloisons et plafonds des salles propres du rez-de-chaussée.
 - La fourniture et la pose du réseau de gaine de soufflage et de reprise à modifier dans le local technique du rez-de-chaussée.
 - La fourniture et pose du réseau de gaine de soufflage à modifier au dessus des salles propres du rez-de-chaussée.
 - La fourniture et pose d'une batterie d'eau chaude sur le réseau de gaine de soufflage.
 - La fourniture et la pose d'une armoire de climatisation de marque « CAPII » dans le local technique du rez-de-chaussée.
 - La fourniture et la pose d'une unité de condensation à air « HK Réfrigération » en toiture.
 - Les liaisons frigorifiques et électriques entre l'armoire de climatisation et le condenseur à air.
 - L'évacuation des condensats des armoires de climatisation.
 - Le tirage au vide et le réglage de la charge en fluide frigorigène R407C.

- Le raccordement électrique d'une alimentation protégée mise à disposition au niveau de l'armoire.
 - La mise en service.
- ✓ Travaux supplémentaires
- La séparation du SAS personnel en 2 parties : A la demande de CONDITIONAIR création de la salle 12 indépendante du SAS d'entrée et débouchant sur toutes les autres salles.
 - La création d'un passe-plat pour l'introduction de matières premières (identique à celui du 1er étage).
 - La fourniture et la pose d'un tableau de pression comprenant :
 - 1 manomètre différentiel pour la zone « 15 » Pa.
 - 5 manomètres différentiels pour la zone « 30 » Pa.

5.1.3 Elaboration des plans.

Elle a été effectuée à l'aide du logiciel AutoCad. Il s'agit là d'une tâche très importante à laquelle il faut consacrer beaucoup de temps.

En effet, les plans sont considérés comme un « **outil de communication** » entre les principaux intervenants du projet qui doivent donc en maîtriser la compréhension. De plus, les plans sont utilisés comme « **outil de repère** » en ce qui concerne l'avancement du projet. A cet effet, deux versions sont établies pour chaque phase du projet :

- ✓ L'une faisant apparaître l'installation « existante » en indiquant les morceaux du réseau à déposer.
- ✓ L'autre étant une version « projet » représentant le futur réseau modifié.

Afin de mieux comprendre le cheminement du réseau de gaine et de distinguer les zones de surpression, des schémas de principe ont été également élaborés.

Enfin, on a réalisé des plans en "vue de haut" et "vue en coupe".

Une fois les plans et les schémas de principe dessinés, ils sont tirés en plusieurs exemplaires et remis aux principales personnes concernées :

- ✓ Le maître d'ouvrage
- ✓ Le chef de chantier
- ✓ Le chargé d'affaires de l'entreprise sous-traitante effectuant les travaux de rénovation des gaines

5.1.4 Les Commandes

Des que la liste de tous les éléments à remplacer ou à rajouter est vérifiée et approuvée, l'étape suivante consiste à passer les diverses commandes. Elles sont gérées par le chargé d'affaires technique. C'est une tâche délicate notamment en termes de coûts et de délais. Une vérification est primordiale à ces deux niveaux. Une erreur peut engendrer des répercussions difficilement réparables. Un délai non pris en compte peut s'avérer responsable d'un retard dans le déroulement du chantier. A cet égard, il faut anticiper d'éventuels retards du fournisseur en passant les commandes très tôt au regard des délais envisagés.

La livraison s'effectue directement sur le chantier où un local est prévu pour stocker le matériel. Seules les armoires de climatisation sont livrées directement chez l'entreprise manutentionnaire exécutant le remplacement des anciennes armoires par les nouvelles.

5.1.5 Liste des différents sous-traitants

Le présent projet est amené à faire intervenir plusieurs « corps de métier ». Il a donc été fait appel aux diverses entreprises suivantes pour les travaux en supplément de ceux effectués directement par CONDITIONAIR :

- ✓ L'entreprise CAMBON, spécialisée dans la miroiterie.
- ✓ L'entreprise JOURNAUX, pour assurer la manutention.
- ✓ L'entreprise LCSA concernée par le montage de réseau de gaine.
- ✓ L'entreprise SMAC spécialisée dans le percement.
- ✓ L'entreprise Clim Air dont l'activité principale est le nettoyage de réseau de gaine.

- ✓ L'entreprise Canal Fluide est sollicitée pour les travaux de plomberie et de tuyauterie

5.1.6 Elaboration d'un planning

L'élaboration d'un planning permet de créer une cohérence d'avancement des travaux entre tous les intervenants. En effet, il convient de respecter un ordre chronologique afin d'optimiser le déroulement du chantier.

La période de fermeture de l'usine est de trois semaines. Les travaux de rénovation ainsi que la validation du projet doivent s'effectuer dans ce laps de temps. Il s'avère que certains travaux peuvent être exécutés avant la période de fermeture tout en ne gênant pas la production de l'usine. Après négociation, le maître d'ouvrage a accepté d'effectuer ces travaux prématurément afin d'anticiper un éventuel retard.

Le temps d'exécution de chaque intervenant est défini entre le chargé d'affaires technique menant le projet et le chargé d'affaires de chaque sous-traitant. Le chargé d'affaires technique ayant tous les éléments d'appréciation en sa possession, il est en mesure d'élaborer le planning*.

* Confer annexe n°4

5.2 Déroulement du chantier

5.2.1 Les travaux préliminaires

Les travaux pouvant être effectués préalablement à l'arrêt de production de l'usine impliquent les deux intervenants ci-dessous :

5.2.1.1 Phase 1 : 1^{er} étage

- ✓ Pour l'entreprise CONDITIONAIR :
 - Récupération du fluide frigorigène des armoires de climatisation existantes.
 - dépose des liaisons frigorifiques et électriques entre les armoires de climatisation et les condenseurs à air existants.
 - Préparation des nouvelles liaisons frigorifiques et électriques entre les futures armoires de climatisation et les nouveaux condenseurs à air.
 - Etanchéisation des parois des salles propres afin de minimiser au maximum les risques de fuite.

- ✓ Pour l'entreprise SMAC :
 - Fourniture et pose de quatre chevêtres réglables
 - Quatre percements « carottage au diamant » du plancher du 1^{er} étage (vers RdC) permettant le futur passage de gaine de reprise.

5.2.1.2 Phase 2 : rez-de-chaussée

- ✓ Pour l'entreprise CONDITIONAIR, ce sont les mêmes prestations que celles effectuées au 1^{er} étage.
- ✓ Pour l'entreprise Canal fluide, préparatifs d'alimentation en eau en vue de la pose de la batterie d'eau chaude :
 - Fourniture et pose de deux tuyauteries, diamètre ½.
 - Fourniture et pose de calorifuge.

- Fourniture et pose de deux vannes à boisseau sphérique ½.

5.2.2 Dépose des éléments à supprimer

Après les travaux préliminaires, l'étape suivante consiste à déposer tous les éléments à supprimer.

5.2.2.1 Phase 1 : 1^{er} étage

Quatre prestataires, travaillant en parallèle, sont impliqués dans ce travail :

- ✓ la société CONDITIONAIR: Ses prestations concernent :
 - La dépose des grilles de soufflage et de reprise à supprimer ou à remplacer.
 - La dépose du flux laminaire de la salle Imtran.
- ✓ L'entreprise LCSA réalise la dépose :
 - du réseau de gaine à supprimer et d'un caisson filtre situé au-dessus des salles propres du 1^{er} étage selon les plans.
 - du réseau de gaine à supprimer situé en local technique du 1^{er} étage selon les plans.
- ✓ L'entreprise CAMBON procède au démontage de la façade donnant sur l'extérieur du local technique du 1^{er} étage permettant à l'entreprise JOURNAUX de sortir et de rentrer le matériel.
- ✓ Les travaux effectués par l'entreprise JOURNAUX sont :
 - La dépose et l'évacuation des deux armoires de climatisation situées dans le local technique du 1^{er} étage.
 - La dépose et l'évacuation des quatre condenseurs à air situés en toiture.
 - L'évacuation des morceaux de gaine déposés par l'entreprise LCSA.

5.2.2.2 Phase 2 : rez-de-chaussée

Pour cet étage, trois prestataires travaillent de manière analogue

- ✓ La société CONDITIONAIR effectue la dépose d'un diffuseur dans le SAS personnel.
- ✓ L'entreprise LCSA réalise les mêmes prestations qu'au 1^{er} étage pour le rez-de-chaussée et procède à la dépose d'un ventilateur relais situé à côté du local technique.
- ✓ Les travaux effectués par l'entreprise JOURNAUX sont :
 - La dépose et l'évacuation d'une armoire de climatisation située dans le local technique du rez-de-chaussée.
 - La dépose et l'évacuation de deux condenseurs à air situés en toiture.
 - L'évacuation des morceaux de gaine déposés par l'entreprise LCSA.

5.2.3 Nettoyage du réseau aéraulique existant

Le nettoyage du réseau aéraulique s'avère une étape primordiale de la rénovation. Il minimise l'encrassement des filtres du réseau, ce qui engendre un meilleur contrôle d'empoussièrement dans les salles propres.

C'est l'entreprise CLIM AIR qui est chargé d'exécuter le nettoyage du réseau aéraulique maintenu. Le nettoyage s'effectue en parallèle aux travaux de dépose.

L'intégrité des réseaux aérauliques et de leurs composants doivent être respectée en permanence, c'est-à-dire sans création systématique de trappe d'accès, ni circulations d'engins divers ou passages de matériels. Toutes les gaines ou conduits sont nettoyés avec de l'air sous pression diffusé par une mini-buse fonctionnelle. Cette méthode assure le décollement et la mobilisation des différents agents polluants. Aucun produit de nettoyage n'est utilisé à l'intérieur des gaines ou conduites. Seuls, les diffuseurs, bouches et grilles sont nettoyés individuellement,

après dépose, à l'aide de produit de nettoyage et de désinfection. La batterie d'eau chaude existante est également nettoyée.

5.2.4 Pose des différents éléments neufs

Après le nettoyage du réseau aéraulique, la pose des différents composants et des machines peut être effectuée. Les sous-traitants concernés opèrent en concertation les uns en fonction des autres sous la coordination du chargé d'affaire technique de CONDITIONAIR

5.2.4.1 Phase 1: 1^{er} étage

- ✓ L'entreprise JOURNAUX réalise la pose des deux nouvelles armoires de climatisation et des deux condenseurs à air.
- ✓ L'entreprise Cambon procède au remontage de la façade extérieure.
- ✓ La société LCSA effectue la pose des différents composants suivants :
 - Quatre caissons de filtration situés au-dessus des salles propres
 - Le réseau de soufflage à mettre en place au-dessus des salles propres du 1^{er} étage.
 - Le réseau de reprise à rajouter au-dessous des salles propres du 1^{er} étage (réseau passant par le rez-de-chaussée).
 - Le réseau de gaines à mettre en place dans le local technique du 1^{er} étage (y compris le raccordement des gaines aux armoires de climatisation).
 - La pose de différents registres d'air circulaire :
 - 1 registre Ø160
 - 2 registres Ø315
 - 1 registre Ø400,
 - 2 registres Ø450
 - 1 registre Ø500.
 - La pose de différents registres d'air rectangulaires :
 - 2 registres 500 x 350
 - 1 registres 700 x 345

- 1 registre 900 x 900
- ✓ L'entreprise CONDITIONAIR effectue la pose des éléments suivants
 - 1 diffuseur Ø200 dans la salle IMTRAM
 - 1 grille de reprise 600 x 300 dans la salle IMTRAM
 - 1 grille de reprise 570 x 570 dans la salle 7
 - 1 grille de reprise 570 x 570 dans le GRAND SAS PERSONNEL
 - 1 grille de reprise 400 x 400 dans le PETIT SAS PERSONNEL
 - La fourniture et la pose de trois climatiseurs réversibles assurant la climatisation de la zone « emballage secondaire » du 1^{er} étage.
 - La fourniture et la pose d'un tableau de pression
- ✓ L'entreprise algema procède à la fabrication de la salle 7 ainsi qu'à la mise en place d'un passe-plat. De plus, elle réalise le revêtement du sol du SAS MP.

5.2.4.2 Phase 2 : rez-de-chaussée

- ✓ A la différence du premier étage, c'est l'entreprise AML qui réalise la pose de la nouvelle armoire de climatisation et du condenseur à air. Cette entreprise a été préférée à l'entreprise JOURNAUX, ayant effectué l'opération similaire au 1^{er} étage ; ceci du fait d'une meilleure proposition financière.
- ✓ C'est de nouveau la société LCSA qui réalise les travaux concernant les réseaux aérauliques. A ce niveau, elle effectue la pose des différents composants suivants :
 - Le réseau de soufflage à mettre en place au-dessus des salles propres et du local technique du rez-de-chaussée (y compris le raccordement des gaines aux armoires de climatisation).
 - La modification du réseau de reprise au niveau des salles propres et du local technique du rez-de-chaussée (y compris le raccordement des gaines aux armoires de climatisation).
 - La pose de différents registres d'air circulaires :

- 1 registre d'air Ø500
 - 2 registres d'air Ø400
 - 1 registre d'air Ø250
 - 1 registre d'air Ø200
- La pose d'une batterie a eau chaude sur une des antennes de soufflage.
- ✓ L'entreprise CONDITIONAIR effectue la pose d'une grille de reprise dans le SAS PERSONNEL.
 - ✓ L'entreprise algema procède à la séparation du SAS PERSONNEL en 2 parties permettant la fabrication de la salle 12 ainsi que la création d'un passe-plat pour l'introduction de matières premières.

5.2.5 Mise en service

5.2.5.1 Précautions préalables:

La mise en service nécessite un certain nombre de vérifications destinées à mettre les zones propres dans les conditions optimales de première utilisation en s'assurant du bon fonctionnement des divers organes intervenant dans les divers espaces et les circuits d'air.

Une "check list " a ainsi été élaborée à cet effet:

- 1- vérification de l'étanchéité dans les communications entre les salles
- 2- vérification du bon fonctionnement du ventilateur de soufflage pour contrôler l'apport d'air dans chaque salle
- 3- vérification des registres de soufflage et de reprise, pour éviter de se mettre en "défaut-alarme" circulation d'air
- 4- vérification du fonctionnement du circuit frigorifique
(Compresseur; Ventil-condenseur; Sécurités Haute et Basse pression)

5.2.5.2 Les opérations de mise en service

Le processus piloté manuellement est le suivant:

- ✓ ouverture des registres d'air
- ✓ mise en route des armoires de climatisation
- ✓ réglage des registres d'air au niveau du soufflage selon les débits d'air calculés
- ✓ réglage des registres de grilles de reprise afin d'assurer la surpression dans chaque salle

Remarque: l'ensemble des ces opérations nécessitent l'intervention de deux personnes pendant une à deux journées.

VI. Validation des deux phases du projet, résultat obtenu

Dans le cadre de la validation de ce projet, le protocole retenu est celui de la « qualification ». Il a pour but de définir la méthode employée, afin de garantir la conformité par rapport au dossier technique relatif

- d'une part aux plans, schémas de principe et documentation technique
- d'autre part, à la réglementation en vigueur, c'est-à-dire aux Normes NF EN ISO 14 644-1 et NF EN iso 14644-4.

Ce rapport de qualification est visé et approuvé par le maître d'ouvrage (Prodimed) et le prestataire réalisant les travaux (Conditionair).

6.1 Qualification d'installation, QI

L'objectif de cette opération de QI est de vérifier et documenter la présence physique et la conformité des différents matériels et organes (éléments) réellement installés par rapport aux matériels et organes prévus par la spécification de l'installation, les plans, le schéma de principe et la documentation technique.

En se basant sur les plans et le schéma de principe, les contrôles suivants sont effectués :

- ✓ Présence de l'élément sur l'installation.
- ✓ Position de l'élément sur l'installation comme prévu sur les plans
- ✓ Documentation technique correspondant à l'équipement.

Les tableaux suivants représentent respectivement les rapports de qualification d'installation du 1^{er} étage et du rez-de-chaussée :

1^{er} ETAGE

■ : conforme

■ : non conforme

DESIGNATION	QTE	PRESENCE	POSITION	DOC OU PLAN
ARMOIRE DE CLIMATISATION N°1				
Pré filtre G4	1	■	■	■
Filtre H10	1	■	■	
Circuit frigorifique	1	■	■	
Ventilateur	2	■	■	
Armoire électrique	1	■	■	
Régulation T, HR	1	■	■	
Régulation débit d'air	1	■	■	
Régulation frigorifique	1	■	■	
Sonde T, HR	1	■	■	
Registre d'isolement	2	■	■	
ARMOIRE DE CLIMATISATION N°2				
Pré filtre G4	1	■	■	■
Filtre H10	1	■	■	
Circuit frigorifique	1	■	■	
Ventilateur	2	■	■	
Armoire électrique	1	■	■	
Régulation T, HR	1	■	■	
Régulation débit d'air	1	■	■	
Régulation frigorifique	1	■	■	
Sonde T, HR	1	■	■	
Registre d'isolement	2	■	■	
CONDENSEUR A AIR N°1				
unité	1	■	■	■
CONDENSEUR A AIR N°2				
unité	1	■	■	■
LIAISON FRIGORIFIQUE ARMOIRE / CONDENSEUR N°1				
Tube frigorifique 1" 1/8	1	■	■	■
Tube frigorifique 7/8	1	■	■	

LIAISON FRIGORIFIQUE ARMOIRE / CONDENSEUR N°2				
Tube frigorifique 1" 1/8	1			
Tube frigorifique 7/8	1			
LIAISON ELECTRIQUE ARMOIRE / CONDENSEUR N°1				
Câble	1			
LIAISON ELECTRIQUE ARMOIRE / CONDENSEUR N°2				
Câble	1			
ALIMENTATION ELECTRIQUE ARMOIRE N°1				
Disjoncteur	1			
Câble d'alimentation	1			
ALIMENTATION ELECTRIQUE ARMOIRE N°2				
Disjoncteur	1			
Câble d'alimentation	1			
CONDENSAT ARMOIRE N°1				
Ecoulement PVC diam.32	1			
CONDENSAT ARMOIRE N°2				
Ecoulement PVC diam.32	1			
VANNE 3 VOIES REGULATION				
V3V MXG461.32-12	1			
TABLEAU DES PRESIONS				
Manomètre à colonne liquide inclinée MG 50	10			
GAINE DE REPRISE SALLE 7 ET SALLE IMTRAN				
Pré filtre G3	2			
Grille de reprise	2			
Registre diam. 450	1			
GAINE DE REPRISE PETIT ET GRAND SAS PERSONNEL				
Registre diam. 450	1			
Grille de reprise	2			
GAINE REPRISE ZONE 45 Pa ET 30 Pa				
Registre 900 x 900 LDT 100	1			
GAINE DE SOUFFLAGE BUREAU, SALLE 7 ET SALLE IMTRAN				
Diffuseur TCM	3			
Grille de transfert 300 x 200 TVC	1			
Registre diam. 400 SML	1			

























Registre diam. 315 SML	1			
Registre 700 x 350	1			
Caisson filtre FCBL-AKC-A 15/10	1			
Filtre H14 SOFILAIR GREEN	1			
GAINE DE SOUFLAGE PETIT ET GRAND SAS PERSONNEL				
Caisson filtre FCBL-AKC-A 20/10	1			
Registre diam. 315 SML	1			
Registre 700 x 350	1			
Filtre H14 SOFILAIR GREEN	1			
GAINE DE SOUFLAGE STOCK BLANC 1 ET 2, STOCK TUBES				
Caisson filtre	2			
Filtre H14 SOFILAIR GREEN	2			
Registre 500 x 350	2			

Tableau 13 : Rapport de qualification d'installation d'une rénovation partielle de la zone propre du 1^{er} étage.

REZ-DE -CHAUSSEE

■ : conforme

■ : non conforme

DESIGNATION	QTE	PRESENCE	POSITION	DOC OU PLAN
ARMOIRE DE CLIMATISATION				
Pré filtre G4	1	■	■	■
Filtre H10	1	■	■	
Circuit frigorifique	1	■	■	
Ventilateur	1	■	■	
Armoire électrique	1	■	■	
Régulation T, HR	1	■	■	
Régulation débit d'air	1	■	■	
Régulation frigorifique	1	■	■	
Sonde T, HR	1	■	■	
CONDENSEUR A AIR				
unité	1	■	■	■
LIAISON FRIGORIFIQUE ARMOIRE / CONDENSEUR N°1				
Tube frigorifique 1" 1/8	1	■	■	■
Tube frigorifique 3/4"	1	■	■	
LIAISON ELECTRIQUE ARMOIRE / CONDENSEUR				
Câble	1	■	■	■
ALIMENTATION ELECTRIQUE ARMOIRE				
Disjoncteur	1	■	■	■
Câble d'alimentation	1	■	■	
CONDENSAT ARMOIRE				
Ecoulement PVC diam.32	1	■	■	■
VANNES 2 VOIES REGULATION				
VVP47.10-1.6	2	■	■	■
VVP47.10-0.4	1	■	■	■
REPRISE D'AIR SAS PERSO, SAS MATIERE PREMIERE, SALLE 12 ET STOCK MOULE				
Grille de reprise	1	■	■	■
Registre diam. 500	1	■	■	
Registre diam. 200	1	■	■	

SOUFFLAGE D'AIR SALLE 9, SAS PERSO ET STOCK MOULE				
Registre 400 x 400	1	■	■	■
Registre 500 x 500	1	■	■	
Batterie chaude	1	■	■	
Caisson filtre	2	■	■	
Filtre absolu	3	■	■	
Registre diam. 200	6	■	■	
Diffuseur TCM	1	■	■	
SOUFFLAGE D'AIR SALLE 12, SAS MATIERE PREMIERE ET SALLE 10				
Registre 500 x 500	1	■	■	■
Caisson filtre	1	■	■	
Filtre absolu	2	■	■	
Registre diam. 200	5	■	■	
Registre diam. 250	1	■	■	
Diffuseur TCM	1	■	■	
AIR NEUF				
Registre 800 x 400	1	■	■	■

Tableau 14 : Rapport de qualification d'installation d'une rénovation partielle de la zone propre du rez-de-chaussée.

6.2 Qualification opérationnelle, QO

La qualification opérationnelle est réalisée après la mise en service et la QI.

L'unité est testée en régime de marche normale et l'on assure qu'elle fonctionne conformément à ses spécifications.

Les contrôles suivants sont effectués :

- ✓ Vérification du bon fonctionnement de chaque composant.
- ✓ Réactions aux défauts et alarmes dans le procédé.

Les résultats relatifs à la qualification opérationnelle sont répertoriés dans les tableaux ci-dessous :

1^{er} ETAGE


■ : conforme

■ : non conforme

DESIGNATION	QTE	FONCTIONNE	NE FONCTIONNE PAS
ARMOIRE DE CLIMATISATION N°1			
Ventilateur	2	■	<input type="checkbox"/>
Compresseur frigorifique	1	■	<input type="checkbox"/>
Régulation T, HR	1	■	<input type="checkbox"/>
Sondes T, HR	1	■	<input type="checkbox"/>
Régulation débit d'air	1	■	<input type="checkbox"/>
Registre d'isolement	2	■	<input type="checkbox"/>
Alimentation électrique	1	■	<input type="checkbox"/>
Défaut mineur	1	■	<input type="checkbox"/>
Défaut majeur	1	■	<input type="checkbox"/>
Sécurité BP	1	■	<input type="checkbox"/>
Sécurité HP	1	■	<input type="checkbox"/>
ARMOIRE DE CLIMATISATION N°2			
Ventilateur	2	■	<input type="checkbox"/>
Compresseur frigorifique	1	■	<input type="checkbox"/>
Régulation T, HR	1	■	<input type="checkbox"/>
Sondes T, HR	1	■	<input type="checkbox"/>
Régulation débit d'air	1	■	<input type="checkbox"/>
Registre d'isolement	2	■	<input type="checkbox"/>
Alimentation électrique	1	■	<input type="checkbox"/>
Défaut mineur	1	■	<input type="checkbox"/>
Défaut majeur	1	■	<input type="checkbox"/>
Sécurité BP	1	■	<input type="checkbox"/>
Sécurité HP	1	■	<input type="checkbox"/>
CONDENSEUR A AIR N°1			
Unité	1	■	<input type="checkbox"/>
CONDENSEUR A AIR N°2			
Unité	1	■	<input type="checkbox"/>
VANNE 3 VOIES REGULATION BATTERIE CHAUDE			
V3V MXG461.32-12	1	■	<input type="checkbox"/>

Tableau 15 : Rapport de qualification opérationnelle d'une rénovation partielle de la zone propre du 1^{er} étage.

REZ-DE-CHAUSSEE
 : conforme

 : non conforme
















DESIGNATION	QTE	FONCTIONNE	NE FONCTIONNE PAS
ARMOIRE DE CLIMATISATION N°1			
Ventilateur	1		<input type="checkbox"/>
Compresseur frigorifique	1		<input type="checkbox"/>
Régulation T, HR	1		<input type="checkbox"/>
Sondes T, HR	1		<input type="checkbox"/>
Régulation débit d'air	1		<input type="checkbox"/>
Registre d'isolement	2		<input type="checkbox"/>
Alimentation électrique	1		<input type="checkbox"/>
Défaut mineur	1		<input type="checkbox"/>
Défaut majeur	1		<input type="checkbox"/>
Sécurité BP	1		<input type="checkbox"/>
Sécurité HP	1		<input type="checkbox"/>
Ecoulement condensat	1		<input type="checkbox"/>
CONDENSEUR A AIR			
Unité	1		<input type="checkbox"/>
VANNES 3 VOIES REGULATION BATTERIES CHAUDES			
VVP47.10-1.6	2		<input type="checkbox"/>
VVP47.10-0.4	1		<input type="checkbox"/>

Tableau 16 : Rapport de qualification opérationnelle d'une rénovation partielle de la zone propre du rez-de-chaussée.

6.3 Qualification de performance, QP

La qualification de performance s'effectue une fois la qualification opérationnelle réalisée en disposant des conditions de fonctionnement de l'installation.

Le but de cette démarche est de vérifier la conformité des principaux paramètres de fonctionnement selon les résultats visés.

Les contrôles suivants seront effectués :

- ✓ Relevés de mesure : taux de brassage, surpression, température, humidité relative.
- ✓ Comptage particulaire.

Les différents paramètres correspondants aux relevés de mesure de la qualification de performance sont donnés dans les tableaux suivants :

1^{er} ETAGE

DESIGNATION	TEMPERATURE AMBIANTE [°C]		TAUX DE BRASSAGE [v/H]		SURPRESSION [Pa]	
	valeur théorique	valeur mesurée	visé	obtenu	valeur théorique	valeur mesurée
ZONE 15 Pa						
Grand SAS personnel	22 ± 2	20.7	15 -0/+10	19.2	15 ± 5	15
Petit SAS personnel	22 ± 2	20.3	15 -0/+10	17.1	15 ± 5	15
Stock ménage	22 ± 2	20.9	15 -0/+10	10	15 ± 5	15
SAS MP	22 ± 2	22	15 -0/+10	25.4	15 ± 5	15
Salle imtran	22 ± 2	21.2	15 -0/+10	15	15 ± 5	15
Salle 7	22 ± 2	21.1	15 -0/+10	19.4	15 ± 5	15
ZONE 30 Pa						
Salle 1	22 ± 2	21.8	15 -0/+10	18.3	30 ± 5	29
Salle 2	22 ± 2	21.5	15 -0/+10	20.6	30 ± 5	29
Salle 3	22 ± 2	21.4	15 -0/+10	19.7	30 ± 5	29
Salle 4	22 ± 2	21.4	15 -0/+10	19.6	30 ± 5	29
Salle 5	22 ± 2	21.3	15 -0/+10	16.1	30 ± 5	29
Salle 6	22 ± 2	21.2	15 -0/+10	15.2	30 ± 5	29
Couloir de circulation	22 ± 2	20.5	15 -0/+10	18.8 ^I	30 ± 5	29
ZONE 45 Pa						
Stock tubes	22 ± 2	23	15 -0/+10	19.2	45 ± 5	45
Stock blanc 1	22 ± 2	22.2	15 -0/+10	17.5	45 ± 5	47
Stock blanc 2	22 ± 2	21.8	15 -0/+10	23.5	45 ± 5	48

Tableau 17-a : Rapport de qualification de performance d'une rénovation partielle de la zone propre du 1^{er} étage.

^I Valeur calculée par rapport aux débits mesurés des salles 1 à 6 : Débit total (zone à 30Pa) fois volume du couloir sur le volume total de la zone à 30Pa (pourcentage)

DESIGNATION	HUMIDITE RELATIVE	
	Valeur théorique	Valeur mesurée
RESEAU DE REPRISE		
Sonde HR	< 55 %	20.2 %

Tableau 17-b : Rapport de qualification de performance d'une rénovation partielle de la zone propre du 1^{er} étage.

DESIGNATION	CLASSE ISO A RESPECTER	CLASSE ISO OBTENUE
ZONE 15 Pa		
Grand SAS personnel	ISO 8	ISO 7
Petit SAS personnel	ISO 8	ISO 7
Stock ménage	ISO 8	ISO 8
SAS MP	ISO 8	ISO 7
Salle imtran	ISO 8	ISO 7
Salle 7	ISO 8	ISO 7
ZONE 30 Pa		
Salle 1	ISO 8	ISO 7
Salle 2	ISO 8	ISO 7
Salle 3	ISO 8	ISO 8
Salle 4	ISO 8	ISO 7
Salle 5	ISO 8	ISO 7
Salle 6	ISO 8	ISO 7
Couloir de circulation	ISO 8	ISO 6
ZONE 45 Pa		
Stock tubes	ISO 8	ISO 8
Stock blanc 1	ISO 8	ISO 7
Stock blanc 2	ISO 8	ISO 8

Tableau 17-c : Rapport de qualification de performance d'une rénovation partielle de la zone propre du 1^{er} étage.

REZ DE CHAUSSEE

DESIGNATION	TEMPERATURE AMBIANTE [°C]		TAUX DE BRASSAGE		SURPRESSION [Pa]	
	valeur théorique	valeur mesurée	visé	obtenu	valeur théorique	valeur mesurée
ZONE 15 Pa						
SAS personnel	22 ± 2	22.7	15 -0/+10	19	15 ± 5	17
ZONE 30 Pa						
SAS Matière Première	22 ± 2	22.5	15 -0/+10	24	30 ± 5	26
Stock Moule	22 ± 2	22.6	15 -0/+10	16	30 ± 5	29
Salle 9	22 ± 2	22.9	30 ± 10	28	30 ± 5	30
Salle 10	22 ± 2	22.8	30 ± 10	28	30 ± 5	35
Salle 12	22 ± 2	22.8	15 -0/+10	12	30 ± 5	29

Tableau 18-a : Rapport de qualification de performance d'une rénovation partielle de la zone propre du rez-de-chaussée.

DESIGNATION	HUMIDITE RELATIVE	
	Valeur théorique	Valeur mesurée
RESEAU DE REPRISE		
Sonde HR	< 55 %	49 %

Tableau 18-b : Rapport de qualification de performance d'une rénovation partielle de la zone propre du rez-de-chaussée.

DESIGNATION	CLASSE ISO A RESPECTER	CLASSE ISO OBTENUE
ZONE 15 Pa		
SAS personnel	ISO 8	ISO 7
ZONE 30 Pa		
SAS Matière Première	ISO 8	ISO 7
Stock Moule	ISO 8	ISO 7
Salle 9	ISO 8	ISO 7
Salle 10	ISO 8	ISO 7
Salle 12	ISO 8	ISO 7

Tableau 18-c : Rapport de qualification de performance d'une rénovation partielle de la zone propre du rez-de-chaussée.

VII. Les difficultés rencontrées

7.1 Retard de livraison des armoires de climatisation

En premier lieu le projet a été confronté au retard dans la livraison des armoires de climatisation concernant la première phase. En effet, malgré une marge de temps de 15 jours, notre fournisseur n'a pas pu respecter les délais prédéfinis. Le remplacement des armoires de climatisation a donc dû être décalé d'une journée.

Cet effet s'est répercuté sur l'ensemble des prestations suivantes. Néanmoins, pour cette phase, les travaux ont pu s'effectuer dans les délais impartis du fait que les autres prestataires ont exécuté les travaux plus rapidement que prévu.

7.2 Livraison incomplète

Concernant la deuxième phase, il a été donc envisagé, avec le fournisseur d'armoire de climatisation, une marge de délais de livraison plus importante afin d'éviter une récurrence des difficultés précédentes.

Malgré cette précaution, le ventilateur de l'armoire de climatisation prévu pour le rez-de-chaussée était manquant lors de la livraison qui a pourtant bien eu lieu dans les délais prévus. Le ventilateur a été livré et monté par notre fournisseur une semaine plus tard. Ce désagrément n'a pas engendré de problème lors de la mise en service.

7.3 Taux de brassage insuffisant dans le SAS MP

Une seule réserve a été émise par le mandataire. Elle concerne le SAS MP où le taux de brassage était jugé insuffisant par rapport à la valeur préconisée qui, au demeurant avait été définie avec une marge de performance. Pour résoudre ce problème, il a été convenu de réduire les débits d'air de surpression des salles (tout en restant dans les limites acceptables du taux de brassage), connectées sur le même réseau de soufflage que le SAS MP ; ceci afin d'augmenter le débit de surpression du SAS MP correspondant au taux de brassage souhaité.

VIII. Economies d'énergies

Dans les activités industrielles modernes, les problèmes liés à l'environnement (développement durable, économie d'énergie, pollution, impact environnemental...) sont appréhendés avec de plus en plus d'exigence. C'est ainsi que lors du présent projet, il a été demandé de faire une étude d'économie d'énergie lorsque l'usine est en période de non production. Ce gain d'énergie peut être obtenu en agissant sur deux paramètres :

- ✓ d'une part en réduisant le débit d'air des armoires de climatisation
- ✓ d'autre part en faisant varier le point de consigne.

Ces deux actions cumulées entraînent une réduction des puissances absorbées du ventilateur et du compresseur (en mode froid^{*}) et par suite une réduction de la consommation d'énergie.

Pour cela, il convient d'établir deux régimes de fonctionnement. Un régime dit « nominal », relatif aux conditions normales de fonctionnement et un régime dit « économique » correspondant à des conditions de fonctionnement avantageuses tout en permettant d'assurer la cascade de surpression (sans respecter les pressions relatives) et la classe d'empoussièremment. Le gain d'énergie correspond à la différence de consommation entre ces deux régimes.

Les conditions réalisées dans ces deux cas sont :

- ✓ Régime nominal
100% du débit d'air
Point de consigne^{**} : 22°C
- ✓ Régime économique
85% du débit d'air nominal^{***}
Point de consigne : 25°C

* N'ayant pas les éléments de production d'eau chaude, l'étude d'économie d'énergie relative au point de consigne s'applique uniquement en mode froid.

** Le point de consigne est relatif à la température sollicitée en ambiance.

*** Pourcentage du débit d'air minimum donnée par notre fournisseur afin d'assurer l'évaporation du fluide frigorigène dans l'échangeur.

Ces conditions correspondent bien sûr à une première approximation du fait qu'une partie des éléments pris en compte repose sur les hypothèses de départ qui peuvent varier selon les paramètres atmosphériques et les aléas des conditions locales. Ainsi, pour chacun des régimes considérés, il est possible d'émettre des hypothèses différentes.

8.1 Gain d'énergie en fonction du débit d'air (Ventilateur)

Ce gain d'énergie est la différence entre la consommation des ventilateurs en régime nominal et économique sur un temps relatif à la période de non production que l'on détermine en prenant en compte

* l'arrêt dû aux congés annuels et les diverses interruptions (jour fériés)

* les heures "nocturnes" 18h- 7 [h] du matin

On estime à 4032 heures les durées de fonctionnement du ventilateur dans les périodes de non production au cours d'une année.

La relation permettant de déduire la consommation d'énergie annuelle en période de non production est la suivante :

$$C_{\text{ventilateur nominal}} = t \times P_{\text{absorbée}} \quad (1)$$

Avec $C_{\text{ventilateur nominal}}$: consommation d'un ventilateur [kWh]

t : temps de fonctionnement =4032 [h]

$P_{\text{absorbée}}$: puissance absorbée d'un ventilateur [kW]

Armoires de climatisation du 1^{er} étage :

Les armoires au 1^{er} étage sont au nombre de deux. Chaque armoire est munie de deux ventilateurs dont la puissance absorbée peut être lue à l'aide du graphique suivant élaboré à partir des indications fournies par le fournisseur des armoires CAPII :

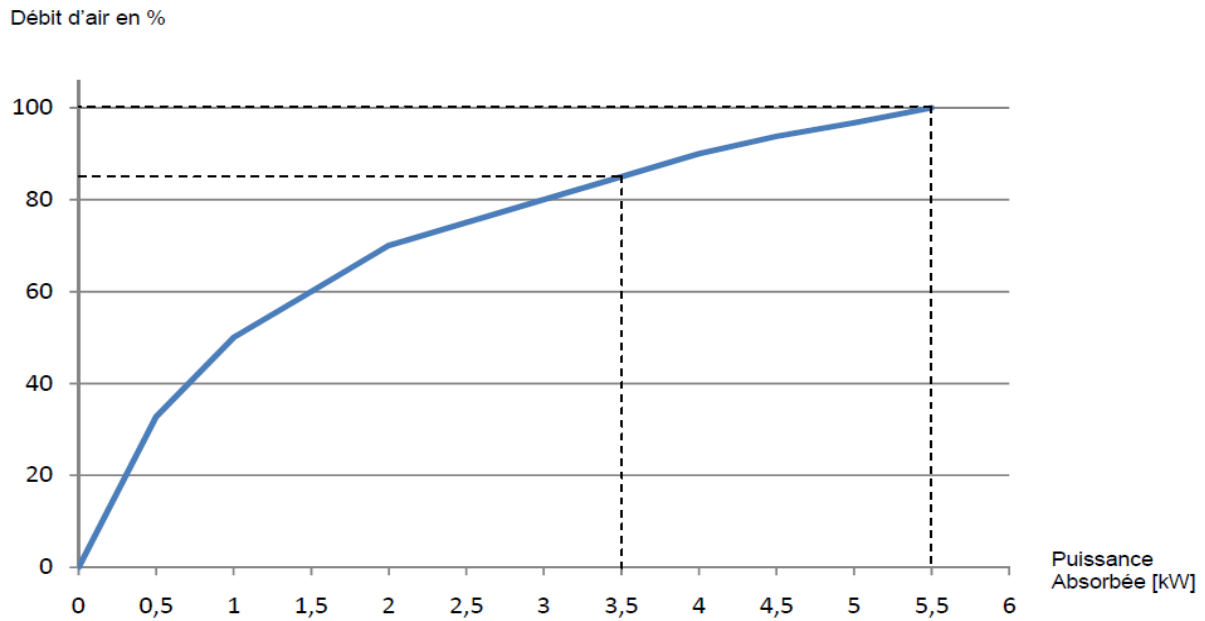


Figure n°5 : Puissance absorbée d'un ventilateur des armoires de climatisation du 1^{er} étage

On peut dès lors déterminer la puissance absorbée pour chacun des régimes :

- ✓ En régime nominal, 100% du débit d'air, la puissance absorbée est de 5.5 kW
- ✓ En régime économique, 85% du débit d'air nominal, la puissance absorbée est de 3.5 kW

A partir de la relation VIII-8.1-(1), nous pouvons déduire les consommations :

- ✓ En régime nominal, la consommation des 4 ventilateurs est de

$$4032 \times 5.5 \times 4 = 88704 \text{ [kWh]}$$
- ✓ En régime économique, la consommation des ventilateurs est de

$$4032 \times 3.5 \times 4 = 56448 \text{ [kWh]}$$

Soit un gain de consommation de 32256 [kWh] par année, ce qui représente

Une économie de 36% en terme de coût énergétique

Armoires de climatisation du rez-de-chaussée :

Une seule armoire est située au rez-de-chaussée. Elle est équipée d'un seul ventilateur. La puissance absorbée, en fonction du débit d'air, peut être déterminée à partir d'une courbe analogue à celle utilisée précédemment :

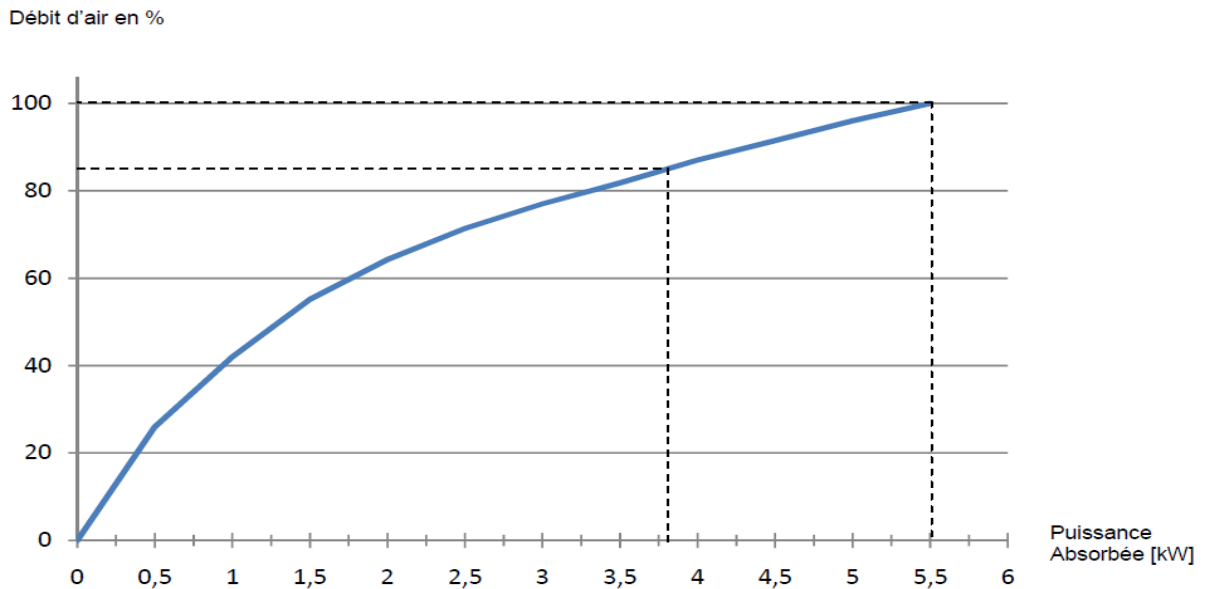


Figure n°6 : Puissance absorbée d'un ventilateur d'une armoire de climatisation du rez-de-chaussée

Pour chaque régime, la puissance absorbée est sensiblement identique à celle d'un ventilateur d'une armoire du 1^{er} étage :

- ✓ En régime nominal, 100% du débit d'air, la puissance absorbée est de 5.5 [kW]
- ✓ En régime économique, 85% du débit d'air nominal, la puissance absorbée est de 3.8 [kW]

La consommation pour chaque régime peut être déterminée en utilisant la relation VIII-8.1-(1) :

- ✓ En régime nominal, la consommation des ventilateurs est de $4032 \times 5.5 = 22176$ [kWh]
- ✓ En régime économique, la consommation des ventilateurs est de

$$4032 \times 3.8 = 15322 \text{ [kWh]}$$

Soit un gain de consommation de 6854 [kWh] par année.

Ce qui représente une économie de 31% en terme de coût énergétique

Au total, en additionnant les résultats du 1^{er} étage et du rez-de-chaussée, le gain de consommation en régime économique, due à la diminution du débit d'air, est de :

$$32256 + 6854 = 39110 \text{ [kWh]}$$

A rapporter au $88704 + 22176 = 110880$ [kWh] de consommation en régime nominal

Soit une économie globale d'énergie de 35%

8.2 Gain d'énergie en fonction du point de consigne (compresseur)

La différence entre la consommation des compresseurs en régime nominal et économique, sur un temps donné, définit le gain d'énergie en fonction du point de consigne. En effet, le fait de faire varier le point de consigne engendre un temps de fonctionnement du groupe frigorifique plus ou moins important. Cette étude concerne un fonctionnement des armoires de climatisation en « mode froid » qui correspond aux 6 mois des périodes chaudes de l'année soit environ 6 mois sur une année (du 1^{er} avril au 30 septembre) et en période de non production.

Pour simplifier ce calcul, nous supposons que les locaux ont une forte inertie permettant de maintenir une température du local fixe ($T_{\text{local}} = 27^{\circ}\text{C}$).

Afin de déterminer la consommation des compresseurs pour chaque régime, (nominal et économique) on calcule leurs temps de fonctionnement selon la démarche suivante.

:

- ✓ on définit le système thermodynamique considéré
- ✓ on applique le 1^{er} principe de la thermodynamique sur ce système
- ✓ on discrétise l'équation résultant de ce principe
- ✓ on calcule le temps de fonctionnement (en heure) des compresseurs par rapport à la durée totale correspondant à la période prise en compte.

a) Le système thermodynamique

C'est la portion de l'univers que l'on isole par la pensée du reste de l'univers que l'on appelle alors **milieu extérieur**.

Ici deux systèmes sont considérés.

✓ **L'un regroupe au 1er étage:**

la zone propre et le local technique abritant les deux armoires de climatisation comportant chacune un compresseur

✓ **l'autre, au rez-de-chaussée est constitué**

de la zone propre et du local technique équipé d'une armoire de climatisation avec un seul compresseur.

De tels systèmes sont dits **fermés** s'ils n'échangent avec le milieu extérieur que de l'énergie sous forme de chaleur ou du travail.

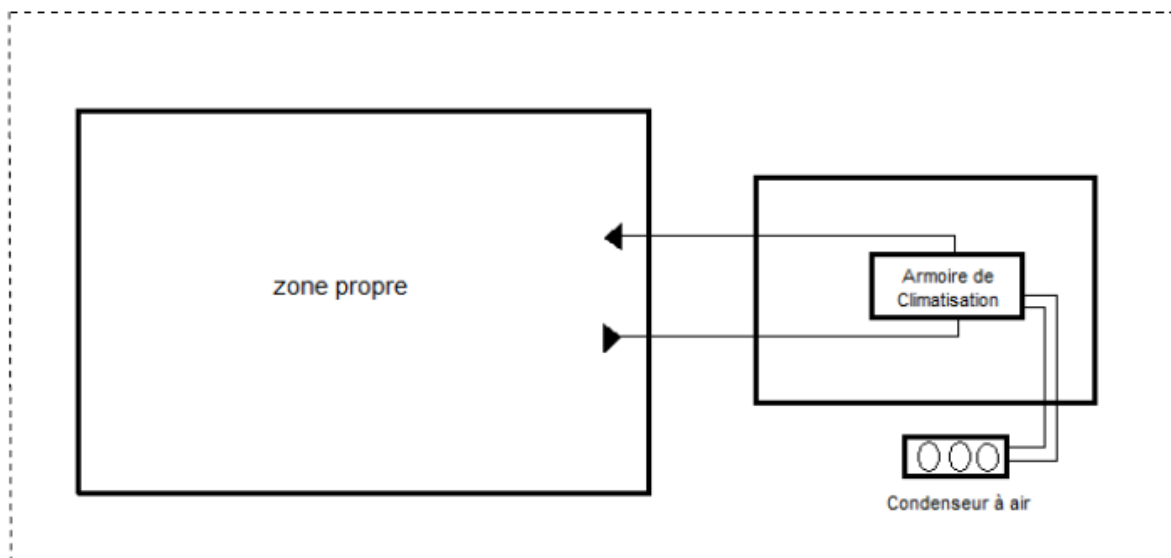


Figure n°7: Schéma de principe d'un système thermodynamique

b) Le premier principe de la thermodynamique:

Dans sa généralité ce principe stipule que la variation d'Energie d'un tel système s'exprime selon la relation:

$$\Delta E = \Delta U + \Delta E_c + \Delta E_p \quad (1)$$

Avec ΔE : variation de l'énergie du système

ΔU : variation de l'énergie interne du système

ΔE_c : variation de l'énergie cinétique

ΔE_p : variation de l'énergie potentielle

Pour un système au repos, comme c'est le cas dans les présentes installations, seule l'énergie interne varie et dans l'énergie interne du système considéré il ne reste que la variation de l'énergie calorifique ΔQ due à la chaleur mise en jeu par l'action du compresseur. Par suite le 1er principe de thermodynamique se réduit à :

$$\Delta E = \Delta Q \quad (2)$$

Si l'on considère, en première approximation, que le régime d'écoulement d'air est stationnaire et qu'il s'agit d'un gaz parfait on peut écrire l'équation générale régissant la variation de l'énergie du système sous la forme différentielle:

$$\frac{dE}{dt} = \sum \dot{Q} \quad (3)$$

En développant (3), nous avons :

$$\frac{Mc_{air}dT}{dt} = Q_{interieur} + Q_{exterieurs} - Q_o \quad (4)$$

$Q_{interieur}$: puissance calorifique à l'intérieur de la zone considérée internes [W]

$Q_{exterieurs}$: puissance correspondant aux apports extérieurs [W]

Q_o : puissance frigorifique installée [W]

*On considère une température initiale $T_0=22^\circ\text{C}$

*On calcule ensuite les températures toutes les 30 secondes à partir de la relation (4) discrétisée selon la représentation de récurrence suivante:

$$\frac{Mc_{air}(T_{int+1} - T_{int})}{\Delta t} = Q_{interieur} + Q_{exterieurs} - Q_o$$

qui permet, à partir de la valeur initiale de 22°C de déduire toutes les valeurs suivantes correspondant au pas de 30secondes.

$$T_{int+1} = [Q_{internes} + Q_{extérieurs} - Q_o] \times \frac{\Delta t}{M c_{air}} - T_{int} \quad (5)$$

- Avec T_{int} : température intérieure de la zone propre considérée à un instant t donné [°C]
 T_{int+1} : température intérieure de la zone propre considérée à l'instant $t + \Delta t$ [°C]
 $Q_{internes}$: puissance calorifique à l'intérieur de la zone considérée interne [W]
 $Q_{extérieurs}$: puissance correspondant aux apports extérieurs [W]
 Q_o : puissance frigorifique installée [W]
 Δt : pas de temps (30 secondes) entre les températures T_{int} et T_{int+1} [s]
 M : masse d'air dans la zone propre considérée [kg]
 c_{air} : capacité thermique massique de l'air dans la zone propre considérée [J.kg⁻¹.K⁻¹]

En régime nominal, les températures oscillent entre 22 et 24 [°C]. En régime économique, elles fluctuent entre 25 et 27 [°C]. Lorsque la température atteint le seuil bas, le groupe frigorifique s'arrête jusqu'à ce que la température atteigne le seuil haut puis redémarre de nouveau jusqu' à atteindre de nouveau le seuil bas et ainsi de suite.

Des lors, en programmant la relation (5) on détermine les temps de fonctionnement des compresseurs dans chacun des régimes.

L'annexe n° montre le détail de cette programmation qui donne, en définitive, les valeurs suivantes pour les temps de fonctionnement

- Au rez-de-chaussée:
 - en régime nominal : $t_f = 176$ [h]
 - en régime économique : $t_f = 0$ [h] (aucun seuil de déclenchement du compresseur n'ayant été atteint dans la gamme des températures 25°C-27°C).

- Au 1et étage
 - en régime nominal : $t_f = 397$ [h]
 - en régime économique : $t_f = 0$ [h] (aucun seuil de déclenchement du compresseur n'ayant été atteint dans la gamme des températures 25°C-27°C).

A partir de la relation (1) on en la consommation des compresseurs

- Au rez-de-chaussée:

- en régime nominal : $C_{\text{compresseur}} = 176 \times 12.5 = 2200$ [kWh]
- en régime économique : $C_{\text{compresseur}} = 0$ [kWh]
- Au 1er étage
 - en régime nominal : $C_{\text{compresseur}} = 397 \times 13.5 \times 2 = 10719$ [kWh]
 - en régime économique : $C_{\text{compresseur}} = 0$ [kWh]

En totalisant les consommations des ventilateurs et des compresseurs on obtient les consommations totales:

- Au rez-de-chaussée:
 - * en régime nominal $22176 + 2200 = 24376$ [kWh]
 - * en régime économique $15322 + 0 = 15322$ [kWh]
- Au 1er étage:
 - * en régime nominal: $88704 + 10719 = 99423$ kWh]
 - * en régime économique $56448 + 0 = 56448$ [kWh]

- ✓ Gain de consommation global au: rez-de-chaussée :

$$24376 - 15322 = 9054 \text{ [kWh]}$$

Soit un gain de 37% en régime économique

- ✓ Gain de consommation global au 1^{er} étage

$$99423 - 56448 = 42975 \text{ [kWh]}$$

soit un gain de 43% en régime économique

Soit un gain d'énergie total pour l'ensemble du bâtiment

$$42975 + 9054 = 52029 \text{ [kWh]}$$

Au final en régime économique on réalise une économie très significative de :

35% pour les ventilateurs

42 % pour les compresseurs

IX. Impact environnemental

Les études climatologiques ont mis en évidence les effets nocifs des émissions de gaz d'origine domestique ou industrielle sur l'environnement terrestre. Parmi les sources polluantes on cite les climatiseurs et centrales frigorifiques qui utilisent certains produits particulièrement agressifs appelé "frigorigènes". On connaît bien, à présent, les conséquences néfastes de ces réfrigérants, comme les CFC et HCFC, en ce qui concerne l'appauvrissement de la couche d'ozone et leur contribution à l'augmentation de l'effet de serre. Le législateur a, à cet égard, pris des mesures d'interdiction importantes pour réduire ces émissions.

Anticipant ces problèmes d'environnement, les fabricants de climatiseurs ont introduit de nouveaux frigorigènes non chlorés et sans action sur la couche d'ozone. Ainsi sur les modèles de climatiseurs les plus récents, on a vu l'émergence d'un fluide de substitution classifié sous la terminologie R407C qui remplace le R22 et qui est, en fait, celui utilisé dans les armoires installées lors de la présente rénovation.

9.1 Le fluide frigorigène R407C et son impact environnemental

Il ne s'agit pas d'un produit pur mais d'un mélange constitué par

- * 23% de R32 (difluorométhane CH_2F_2)
- * 25% de R125 (Pentafluoroéthane CF_3CHF_2)
- * 52% de R134a (tétrafluoroéthane HFC-134a)

La présence accidentelle de ce fluide dans l'atmosphère produit
des effets de serre DIRECTS

9.2 Les autres sources de pollution de l'environnement terrestre

Il s'agit principalement de la consommation énergétique, par les modes de production à fortes émissions de gaz carbonique CO_2 qui provoquent
des effets de serre INDIRECTS

9.3 Evaluation des équivalents d'émission de CO_2 due à ces deux effets

A) Les effets de serre directs

Leur contribution quantitative repose sur la méthode de référence connue sous la dénomination anglo-saxonne: " Total Equivalent Warning Impact : (TEWI)"

Il s'agit d'un indicateur permettant de mesurer l'impact des activités humaines (ici la climatisation) sur le réchauffement climatique dû globalement aux émissions directes et indirectes de CO₂

Ce réchauffement planétaire est évalué par **GWP** (Global Warning Potential défini, selon le règlement européen n° 842/2006), comme la capacité de réchauffement climatique d'un gaz à effet de serre fluoré (ici le R407C) par rapport à celui du dioxyde de carbone CO₂.

GWP₁₀₀ est calculé en fonction de la capacité de réchauffement sur 100 ans d'un kilogramme du R407C par rapport celui d'un kg de CO₂. L'annexe 1 du règlement précité indique les valeurs des **GWP₁₀₀** pour différents gaz dont ceux constituant le mélange R407C.

- R32	GWP₁₀₀= 550
- R125	GWP₁₀₀= 3400
-R134a	GWP₁₀₀= 1300

La contribution au **GWP₁₀₀ du R407C** de chacun de ces composants se fait en proportion de leur présence dans le mélange.

Par suite le **GWP₁₀₀ du R407C** s'obtient par :

$$\mathbf{GWP_{100} R407C} = (0.23 \times 550) + (0.25 \times 3400) + (0.52 \times 1300) = \mathbf{1653}$$

R32
R125
R134a

$$\mathbf{\underline{GWP_{100} R407C = 1653}}$$

Les effets de serre directs sont, en réalité, dus aux émissions de frigorigène

- 1- d'une part perdu par des fuites accidentelles tout au long de la vie
- 2- d'autre part par les pertes en fin de vie

Dans l'expression du TEWI ces effets directs sont ainsi représentés par

$$\underbrace{GWP_{100} * L * N}_{-1- fuites} + \underbrace{GWP_{100} * M * (1-r)}_{-2- fin de vie} \quad (TEWI)_{direct} \quad (1)$$

L est la quantité annuelle de fluide frigorigène perdue par fuites [Kg/an]

N est la durée de vie de l'installation [an] - on l'estime à 15 ans -

M est la quantité de frigorigène présent dans les armoires à leur installation [Kg]

Les trois armoires contiennent respectivement 45Kg , 48Kg, 28Kg

Soit une masse totale de

$$M= 121 \text{ Kg}$$

r est le taux de récupération de fluide frigorigène en fin de vie, globalement de l'ordre de 90% pour la présente installation donc:

$$r=0.9$$

On estime à 3% de la masse de frigorigène installé, les pertes annuelles par les fuites par suite $L=0.03*121$

$$L= 3.63 \text{ Kg/an}$$

La contribution des effets directs au $(TEWI)_{\text{direct}}$ global est alors obtenue par la relation (1) ci dessus :

$$\begin{aligned} & 1653 * 3.63 * 15 + 1653 * 121 * (1-0.9) \\ & 90006 \quad + \quad 20001 \\ \mathbf{(TEWI)_{\text{direct}} = 110007 \quad \text{équivalent CO}_2} \end{aligned}$$

B) Les effets de serre indirects

Leur contribution quantitative au TEWI est évaluée par le produit

$$(TEWI)_{\text{indirect}} = N * E * A \quad (2)$$

E est la consommation annuelle en énergie: [kWh/an]

A est le facteur d'émission en CO₂ due à la production d'énergie: [kgCO₂/kWh]

a) évaluation de la consommation annuelle d'énergie E

Cette consommation est due essentiellement

- aux ventilateurs
- aux compresseurs

Pour les compresseurs, Il faut distinguer 2 périodes:

*1- l'une « en production » où les apports thermiques sont maximales

*2- l'autre « hors production » où les apports thermiques sont diminués du fait de

l'absence

- *des personnes dans les salles propres*
- *d'éclairage*
- *d' autres usages quotidiens*

Par conséquent, la durée de fonctionnement des compresseurs n'est pas la même (cycles de marche/arrêt différents) selon l'une ou l'autre de ces périodes.

En revanche, les ventilateurs fonctionnent en continue tout au long de l'année

➤ **Evaluation de E_{rdc} pour l'armoire du RDC :**

Elle est munie

✓ ***d'un compresseur de 12.5 KW fonctionnant:***

*1- *"en production" : 305 h/an*

*2- *" hors production" : 176h/an*

✓ ***d'un ventilateur de 5.6 KW fonctionnant toute l'année soit 8760 h/an***

Consommation du compresseur :

*1- en période de production

$$12,5 \times 305 = \mathbf{3813} \text{ kWh/an}$$

*2- en période "hors production" :

$$12,5 \times 176 = \mathbf{2200} \text{ kWh /an}$$

Consommation compresseur totale :

$$3813 + 2200 = \mathbf{6013} \text{ kWh/an}$$

Consommation du ventilateur :

$$8760 \times 5,6 = \mathbf{49056} \text{ kWh/an}$$

Enfin la consommation totale du RDC est de

$$E_{rdc} = 6013 + 49056 = \mathbf{55069} \text{ kWh/an}$$

➤ Evaluation de E_{1er} pour les armoires du 1^{er} étage :

Ces 2 armoires de climatisation sont munies chacune **d'1 compresseur et de 2 ventilateurs.**

Soit au total:

- 2 compresseurs de 13.5 KW fonctionnant
 - *1- en période de production 274 h/an
 - *2- en période "hors production" 88 h/an
- 4 ventilateurs de 5.6KW fonctionnant toute l'année soit 8760h/an

➤ Consommation des compresseurs :

a. En période de production

$$274 \times 13,5 \times 2 = \mathbf{7398} \text{ [kWh/an]}$$

b. En période hors production

$$88 \times 13,5 \times 2 = \mathbf{2376} \text{ [kWh /an]}$$

Consommation totale des 2 compresseurs

$$2376 + 7398 = \mathbf{9774} \text{ [kWh]}$$

➤ Consommation des 4 ventilateurs :

$$8760 \times 5,6 \times 4 = \mathbf{196224} \text{ [kWh/an]}$$

la consommation globale E_{1er} étage est donc de

$$\mathbf{E_{1er} = 9774 + 196224 = 205998 \text{ [KWh/an]}}$$

➤ Consommation d'énergie Totale E_{tot} chaque année des 3 armoires de climatisation

$$\mathbf{E_{tot} = 55069 + 205998 = \underline{261067} \text{ [KWh/an]}}$$

b) Evaluation du facteur A d'émission de CO₂ due à la consommation d'énergie

Ce facteur A varie de manière importante selon le type de production de l'électricité comme le montre le tableau ci-dessous fourni, dans le cadre du bilan Carbone, par le guide des facteurs d'émission élaboré par l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) en collaboration avec le Mission Interministérielle de l'Effet de Serre et l'EDF

Filières	Facteur d'émission A (g équivalent CO ₂ /kWh)
Nucléaire	5
Charbon 600 MW - 250 MW	1001 - 1062
Fioul	988
Turbines à combustibles	912
Gaz (Haut fourneau)	1682
Hydraulique (stockage)	132
Hydraulique (Fil de l'eau)	5
Hydraulique (retenues)	5
Diesels	821
Eoliennes	3
Photovoltaïque	60 à 250

Tableau n°19: Facteur d'émission A selon la source d'énergie

En France , près de 80% de l'électricité provient du nucléaire. Il est donc difficile de fournir une estimation du Facteur d'émission A. Il est communément utilisé un ordre grandeur moyen obtenu en intégrant les filières les plus utilisées:

$$A = 0,09 \text{ [kg/kWh]}$$

Par suite, la relation (2) ci dessus donne la contribution des effets de serre indirects au TEWI :

$$(TEWI)_{\text{indirect}} = 15 * 261067 * 0.09 = 352440$$

$$(\text{TEWI})_{\text{indirect}} = 352440 \text{ Kg équivalent CO}_2$$

Le cumul des effets directs et indirects donne globalement:

$$\text{TEWI} = 110007 + 352440 = 462447 \text{ Kg équivalent CO}_2 \text{ sur 15 ans} \quad (3)$$

En définitive, la présente installation émet l'équivalent de $462447:15 = 30830$ Kg de CO_2

L'impact environnemental est donc de l'ordre 30 tonnes de CO_2 par an
--

Pour fixer les idées sur cet impact, on peut rapprocher cette valeur de celle que l'on obtient pour une pompe à chaleur de 9.9 [kW] fonctionnant 2000 heures/an .et contenant 2.5 [kg] de fluide frigorigène.

Son impact est de l'ordre de 3 tonnes d'équivalent CO_2 .

L'effet de nuisance de ces "Zones propres" correspond donc à celui d'une dizaine de telles pompes à chaleur.

Le prix de la "**propreté " à l'intérieur de ces salles propres** se paye donc par une production de "**saleté" à l'extérieur dans l'atmosphère**; Un coût qui vient fâcheusement grever le prix de la santé publique.

Ces conséquences inévitables et regrettables posent donc un problème économique-sanitaire que l'on doit résoudre en minimisant les effets qui en sont responsables. Les leviers sur lesquels on peut agir sont, à cet égard, peu nombreux et difficilement maîtrisables.

Les valeurs contribuant au TEWI dans la relation (3) montrent que dans la production des équivalents CO_2

- * 1- les effets directs dus au frigorigène pour 22%
- * 2- les effets indirects dus à la consommation d'énergie pour 78%.

* 1- En ce qui concerne les effets directs qui sont dus au fluide frigorigène et à l'étanchéité de l'installation, la réduction de leur impact négatif sur l'environnement dépend essentiellement de la qualité du matériel fourni par le fabricant. C'est la raison pour laquelle des normes leur sont imposées.

*2- Quant aux effets indirects dus à la consommation d'énergie, le Chapitre VIII consacré aux "économies d'énergie" a mis en évidence les gains qu'il est possible d'obtenir en utilisant un mode de fonctionnement économique

En tant que maître d'œuvre chargé de concevoir les présentes installations il a été nécessaire, ici, d'orienter le choix des matériels en établissant le meilleur compromis entre

* d'une part les performances souhaitées par le maître d'ouvrage et les contraintes relatives aux normes en vigueur

* et d'autre part le rapport qualité/ prix optimal qu'il était possible de proposer.

Conclusion

Au terme de ce travail qui nous a permis de mener à bien les rénovations des "zones propres " , dans le cadre de la mission qui nous a été confiée, il nous appartient de dresser un bilan des résultats obtenus et d'en tirer les enseignements

- d'une part en ce qui concerne les performances réalisées
- d'autre part au plan des améliorations que l'on peut encore envisager dans la perspective d'un développement des activités de l'entreprise concernée.

En premier lieu, la mise aux normes de l'installation a été effectuée en remédiant à ses défaillances aussi bien au niveau de la structure du bâtiment qui l'abrite que des équipements qui gèrent son fonctionnement. A cet égard, des progrès très importants ont été apportés au système de traitement de l'air, à la climatisation des locaux et aux conditions de confort et de sécurité des personnels.

Par ailleurs, notre intervention a permis d'introduire de nouvelles pratiques en ce qui concerne la prévention des risques de pollution et la maîtrise des paramètres conditionnant " l'état de propreté" requis dans la fabrication des dispositifs médicaux qui nécessite une extrême vigilance.

Enfin, en terme de prospective, l'usine dispose désormais d'une installation dimensionnée en vue de futures sollicitations plus importantes et de contraintes réglementaires plus exigeantes.

Il est à souligner également les bénéfices qui ont été obtenus dans une démarche de développement durable avec la prise en compte des économies d'énergie et la minimisation de l'impact environnemental.

En définitive nous avons grand plaisir à exprimer ici notre satisfaction personnelle en ce qui concerne la bonne conduite et la finalisation du présent projet, et pour l'expérience qu'il nous a été possible d'acquérir, à cette occasion, dans une spécialité dont nous mesurons mieux, à présent, les progrès qu'elle permet de réaliser plus généralement dans l'évolution de l'industrie moderne.

Bibliographie

W. WHYTE, les salles propres, 2^{ème} édition, éditeur-traducteur S. BRESIN.

J. BOUTELOUP, M. LE GUAY, J. LIGEN ; Climatisation conditionnement d'air, traitement de l'air. Les éditions parisiennes

F. MEUNIER. Thermodynamique de l'ingénieur. Edition Dunod 2004. ISBN 2 10 007154 8.

P. DAL ZOTTO, J-M. LARRE, A. MERLET, L. PICAU. Mémotech genie énergétique. 2000. ISBN : 2-7135-2479-2

Bonne Pratique de Fabrication et de production pharmaceutiques, 2^{ème} édition, octobre 1985

Conditionair : www.conditionair.fr

Prodimed : www.prodimed.com

Agence française de sécurité sanitaire des produits : www.afssapas.fr

Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie : www.ademe.fr