

TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES

Analyse de la performance énergétique d'un bâtiment de bureaux.

Comparaison de mesures de rénovation.

Julien RUSSIAUX

Travail de fin d'étude
réalisé en vue de l'obtention du grade
d'Ingénieur Civil des Constructions

Année académique 2009-2010

Travail réalisé sous la direction du
Dr. Ir. Philippe ANDRÉ

Président du jury:
Prof. Dr. Ir. Albert Bolle

Membres du jury:
Prof. Dr. Ir. Vincent Lemort
Ir. Stéphane Bertagnolio
Ir. Bertrand Fabry
Ir. Sigrid Reiter

Je tiens à remercier Monsieur Philippe André de m'avoir permis de réaliser mon travail de fin d'études sous sa tutelle.

Ensuite, je voudrais aussi dire merci à Bertrand Fabry et Stéphane Bertagnolio pour leur aide, leur disponibilité et leurs conseils avisés.

De plus, je remercie ma famille, ma copine et mes amis pour le soutien qu'ils m'ont apporté durant la réalisation de ce travail.

Enfin, je tiens à saluer mes camarades de classe et en particulier mes amis de l'option "Ingénierie du bâtiment" avec qui j'ai traversé cette dernière année et passé beaucoup de bons moments, aussi bien à l'université qu'en dehors.

RÉSUMÉ

Ce travail de fin d'étude consiste en un audit énergétique d'un bâtiment du secteur tertiaire.

Le bâtiment en question est le Centre Administratif du Service Public de Wallonie à Namur qui occupe environ 15000 m² et qui a été conçu pour accueillir un millier d'occupant.

Afin de réaliser cet audit, on utilise un logiciel d'audit énergétique appelé SimAudit. Celui-ci a été développé dans le cadre du projet européen HARMONAC afin de permettre la modélisation du comportement énergétique d'un bâtiment et de son installation HVAC.

Dans un premier temps, ce rapport contient une description du bâtiment ainsi que des équipements de climatisation qu'il contient.

Ensuite, une stratégie de modélisation est mise au point et adaptée au logiciel d'audit. Dans ce cadre, l'ensemble des calculs préliminaires nécessaires à la configuration de la simulation sont présentés et expliqués.

Enfin, une fois la calibration du modèle effectué, une série de possibilités d'économies d'énergie sont identifiée et simulées afin d'en voir l'impact sur la consommation énergétique du bâtiment.

ABSTRACT

This paper discusses an energy audit of a service sector building.

This building, located in Namur, has a floor area of 15000 m² and can accommodate up to one thousand people.

In order to perform this audit, a specific software named SimAudit is used, the development of which was undertaken during the European project HARMONAC to modelise the energetic behaviour of a building together with its HVAC facilities.

We will first describe the building and the air-conditioning systems.

Then, we will design a modeling strategy and adapt it to the audit software. In this frame, the preliminary calculations and assumptions needed for the model are formulated and explained.

Finally and once the model calibration is conducted, we will identify and simulate a few energy conservation opportunities.

TABLE DES MATIÈRES

1 Introduction.....	4
1.1 Objectif du travail	4
1.2 Harmonac	4
1.3 Audit énergétique.....	5
1.4 SimAudit	6
1.5 Travail précédemment effectué.....	7
2 Présentation du bâtiment audité	8
3 Description des installations de climatisation.....	12
3.1 Production et distribution de chaud	12
3.2 Production et distribution de froid.....	12
3.2.1 Description générale	12
3.2.2 Description détaillée du groupe de froid "Est"	14
3.2.3 Description détaillée du groupe de froid "Ouest"	14
3.3 Groupes de traitement d'air.....	14
3.3.1 Description générale	14
3.3.2 Description détaillée des groupes "Gs1" et "Gs2"	16
3.3.3 Description détaillée des groupes "Gn1" et "Gn2"	19
3.3.4 Description détaillée du groupe "Gn3"	21
4 Description du principe de modélisation	23
4.1 Découpage du module "G"	23
4.2 Extrapolation des résultats du bloc de référence à l'ensemble du module G	24
4.3 Extrapolation du module "G" à l'ensemble du bâtiment	26
5 Adaptation aux particularités du logiciel SimAudit	27
5.1 Sélection des zones	27
5.2 Modélisation des unités de traitement d'air.....	28
5.3 Prise en compte de la verrière	30
5.4 Lois de températures.....	31
5.4.1 Régulation des groupes de traitement d'air des bureaux.....	31
5.4.2 Régulation des groupes de traitement d'air de l'atrium	32
5.4.3 Régulation du groupe de chaud	33
5.4.4 Régulation du groupe de froid	34
5.5 Horaires	34
5.5.1 Occupation des locaux.....	34

5.5.2 Utilisation des appareils et de l'éclairage.....	36
5.5.3 Respect des consignes de température et d'humidité.....	36
6 Calculs préliminaires à la simulation	38
6.1 Calcul des coefficients de transmission des parois opaques.....	38
6.1.1 Dimensions et compositions des parois.....	38
6.1.2 Calcul des coefficients de transmission du Bureau 1	39
6.1.3 Calcul des coefficients de transmission du Couloir 2	39
6.1.4 Calcul des coefficients de transmission du Bureau 3	39
6.1.5 Calcul des coefficients de transmission du Bureau 4	40
6.1.6 Calcul des coefficients de transmission du Couloir 5	40
6.1.7 Calcul des coefficients de transmission du Bureau 6	40
6.1.8 Calcul des coefficients de transmission de l'Atrium.....	40
6.2 Propriétés des fenêtres	40
6.2.1 Zone 1	41
6.2.2 Zone 2	42
6.2.3 Zone 3	42
6.3 Types de parois.....	42
6.3.1 Zone 1	45
6.3.2 Zone 2	45
6.3.3 Zone 3	46
6.4 Propriétés des machines	47
6.4.1 Puissances spécifiques des ventilateurs (Specific Fan Power, SFP)	47
6.4.2 Coefficient d'efficacité frigorifique des machines de froid (Energy Efficiency Ratio, EER) ..	48
6.4.3 Rendement nominal du groupe de chaud.....	48
6.5 Evaluation des gains internes.....	49
6.5.1 Gains dus à l'occupation	49
6.5.2 Gains dus aux appareils électriques	49
6.5.3 Gains dus à l'éclairage.....	50
6.5.4 Gains dus aux processus.....	50
7 Exploitation des mesures	51
7.1 Consommation électrique	51
7.2 Consommation de gaz	53
8 Calibration	55
8.1 Calcul de l'erreur	55

8.1.1 MBE (Mean Bias Error)	56
8.1.2 RMSE (Root Mean Square Error)	56
8.1.3 CV(RMSE)	57
8.1.4 Critères à respecter	57
8.2 Réévaluation des coefficients d'extrapolation	57
8.3 Consommation de gaz	59
8.4 Consommation électrique	60
9 Mesures de rénovation	62
9.1 Evaluation du prix de l'énergie	63
9.1.1 Prix de l'électricité	63
9.1.2 Prix du gaz	64
9.2 Impact sur les émissions de CO ₂	64
9.2.1 Introduction et définitions	64
9.2.2 Gaz naturel	65
9.2.3 Electricité	65
9.3 Remplacement des chaudières actuelles par des chaudières à condensation	66
9.3.1 Impact sur la consommation de gaz	66
9.3.2 Impact sur la consommation électrique	67
9.3.3 Analyse	67
9.3.4 Bilan financier et écologique	68
9.4 Isolation des murs opaques	68
9.4.1 Impact sur la consommation de gaz	69
9.4.2 Impact sur la consommation électrique	69
9.4.3 Analyse	70
9.5 Remplacement des fenêtres	70
9.5.1 Impact sur la consommation de gaz	71
9.5.2 Impact sur la consommation électrique	72
9.5.3 Analyse	72
9.5.4 Bilan financier et écologique	72
9.6 Mise en place d'un dispositif d'extinction des appareils et de l'éclairage	72
9.6.1 Impact sur la consommation de gaz	73
9.6.2 Impact sur la consommation électrique	74
9.6.3 Analyse	75
9.6.4 Bilan financier et écologique	75

9.7 Réduction du taux d'infiltration d'air	75
9.7.1 Impact sur la consommation de gaz.....	76
9.7.2 Impact sur la consommation électrique.....	77
9.7.3 Analyse	77
9.7.4 Bilan financier et écologique	77
9.8 Utilisation de ventilateurs plus performants	78
9.8.1 Impact sur la consommation de gaz.....	78
9.8.2 Impact sur la consommation électrique.....	79
9.8.3 Analyse	80
9.8.4 Bilan financier et écologique	80
9.9 Remplacement des appareils de bureau.....	80
9.9.1 Impact sur la consommation de gaz.....	81
9.9.2 Impact sur la consommation électrique.....	82
9.9.3 Analyse	82
9.9.4 Bilan financier et écologique	83
9.10 Optimisation de l'éclairage.....	83
9.10.1 Impact sur la consommation de gaz.....	85
9.10.2 Impact sur la consommation électrique.....	85
9.10.3 Analyse	86
9.10.4 Bilan financier et écologique	86
9.11 Récapitulatif	87
10 Conclusion	88

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1-1: Fonctionnement de SimAudit lors de la calibration.....	6
Figure 2-1: Vue aérienne du CA-MET	8
Figure 2-3: Vue Générale du CA-MET.....	9
Figure 2-2: Schéma plan du CA-MET	8
Figure 2-4: Coupe Transversale du module "G"	10
Figure 2-5: Schéma Plan d'un module type.....	10
Figure 2-6: Protections solaires de la façade sud.....	11
Figure 3-1: Radiateur présent dans un bureau	12
Figure 3-2: Schéma des circuits des chillers	13
Figure 3-3: Schéma de distribution de l'eau glacée	13
Figure 3-4: Vue schématique des sous-stations.....	15
Figure 3-5: Gros-plan sur la sous-station alimentant les modules "G" et "H"	15
Figure 3-6: Boîte de ventilation vue d'un bureau.....	16
Figure 3-7: Languette de réglage d'une boîte de ventilation	17
Figure 3-8: Grille d'extraction dans le mur entre un bureau et le couloir	17
Figure 3-9: Schéma de principe des AHU's "Gs1" et "Gs2"	18
Figure 3-10: Schéma de principe des AHUs "Gn1" et "Gn2"	20
Figure 3-11: Schéma de principe de l'AHU "Gn3"	22
Figure 4-1: Découpage du module "G"	23
Figure 4-2: Bloc de référence	24
Figure 5-1: Division du bloc de référence en zones	27
Figure 5-2: Représentation schématique de la configuration des groupes de traitement d'air des modules "G" et "H".....	28
Figure 5-3: Représentation schématique de la modélisation des groupes de traitement d'air des modules "G" et "H"	29
Figure 5-4: Photo de la verrière de l'atrium (vue de l'intérieur)	30
Figure 5-5: Coupe transversale du sommet de l'atrium.....	30
Figure 5-6: Relation T° de pulsion - T° de reprise d'une AHU VAV	31
Figure 5-7: Relation T° de pulsion - T° extérieure d'une AHU VAV	32
Figure 5-8: Relation T° de Pulsion - T° extérieure d'une AHU CAV.....	33
Figure 5-9: Relation T° de départ de la chaudière - T° extérieure.....	34
Figure 6-1: Parois des zones (vue de profil)	43
Figure 6-2: parois des zones (vue en plan).....	44
Figure 6-3: parois de la zone 3	44
Figure 7-2: Répartition des consommations électriques relatives à la climatisation des modules "G" et "H"	53
Figure 7-3: Consommation de gaz relative à la climatisation des modules "G" et "H"	54
Figure 8-1: Impact des coefficients d'extrapolation sur la consommation simulée	58
Figure 8-2: Comparaison du modèle simulé avec les données mesurées (consommation de gaz).....	59
Figure 8-3: Comparaison du modèle simulé avec les données mesurées (consommation électrique)	60
Figure 9-1: Plages de variation de l'EER en fonction de la capacité frigorifique du chiller	63
Figure 9-2: Impact de la mise en place de chaudières à condensation sur la consommation de gaz ..	66

Figure 9-3: Impact de la mise en place de chaudières à condensation sur la consommation d'électricité.....	67
Figure 9-4: Impact de l'augmentation de l'isolation de la terrasse de l'atrium sur la consommation de gaz.....	69
Figure 9-5: Impact de l'augmentation de l'isolation de la terrasse de l'atrium sur la consommation d'électricité.....	69
Figure 9-6: Impact de la mise en place d'un double vitrage à haut rendement sur la consommation de gaz.....	71
Figure 9-7: Impact de la mise en place d'un double vitrage à haut rendement sur la consommation d'électricité.....	72
Figure 9-8: Impact d'une limitation du facteur d'utilisation minimum des appareils et de l'éclairage sur la consommation de gaz.....	73
Figure 9-9: Impact d'une limitation du facteur d'utilisation minimum des appareils et de l'éclairage sur la consommation d'électricité.....	74
Figure 9-10: Impact d'une diminution du taux d'infiltration d'air sur la consommation de gaz.....	76
Figure 9-11: Impact d'une diminution du taux d'infiltration d'air sur la consommation d'électricité..	77
Figure 9-12: Impact d'un remplacement des ventilateurs sur la consommation de gaz.....	78
Figure 9-13: Impact d'un remplacement des ventilateurs sur la consommation d'électricité	79
Figure 9-14: Impact d'un remplacement du matériel de bureau sur la consommation de gaz	81
Figure 9-15: Impact d'un remplacement du matériel de bureau sur la consommation électrique.....	82
Figure 9-16: Impact de l'utilisation d'un éclairage économique sur la consommation de gaz	85
Figure 9-17: Impact de l'utilisation d'un éclairage économique sur la consommation d'électricité	85

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 3-1: Caractéristiques principale du "RTAA 328"	14
Tableau 3-2: Caractéristiques principales du "RTAA 430"	14
Tableau 4-1: Matrice d'extrapolation définie dans le cadre d'une étude précédente (période estivale)	25
Tableau 4-2: Matrice d'extrapolation définie dans le cadre d'une étude précédente (période estivale)	25
Tableau 4-3: Répartition des surfaces de bureaux au sein du CA-MET	26
Tableau 5-1: Facteur d'occupation (jours ouvrables).....	35
Tableau 5-2: Facteur d'utilisation des appareils et de l'éclairage (jours ouvrables).....	36
Tableau 5-3: Coefficient d'application de la consigne.....	37
Tableau 6-1 : Coefficients de transmission du Bureau 1	39
Tableau 6-2: Coefficients de transmission du Couloir 2.....	39
Tableau 6-3: Coefficients de transmission du Bureau 3.....	39
Tableau 6-4: Coefficients de transmission du Bureau 4.....	40
Tableau 6-5: Coefficients de transmission du Couloir 5.....	40
Tableau 6-6: Coefficients de transmission du Bureau 6.....	40
Tableau 6-7: Coefficients de transmission de l'Atrium	40
Tableau 6-8: Calcul du coefficient de transmission de la fenêtre du Bureau 1	41
Tableau 6-9: Calcul du coefficient de transmission de la fenêtre du Bureau 3	42
Tableau 6-10: Calcul du coefficient de transmission de la fenêtre du Bureau 4	42
Tableau 6-11: Calcul du coefficient de transmission de la fenêtre du Bureau 6	42
Tableau 6-12: Calcul du coefficient de transmission de la fenêtre de l'Atrium	42
Tableau 6-13: Puissance du matériel présent dans un bureau type du bloc de référence	49
Tableau 6-14: Puissance de l'éclairage au sein du bloc de référence	50
Tableau 7-1: Répartition des surfaces de bureaux au sein du CA-MET	51
Tableau 7-2: Consommations électriques relatives à la climatisation des modules "G" et "H"	52
Tableau 8-1: Comparaison du modèle simulé avec les données mesurées (consommation de gaz)...	59
Tableau 8-2: Calcul de l'erreur sur la simulation de la consommation de gaz.....	60
Tableau 8-3: Comparaison du modèle simulé avec les données mesurées (consommation électrique)	61
Tableau 8-4: Calcul de l'erreur sur la simulation de la consommation d'électricité	61
Tableau 9-1: Evolution du prix de l'électricité (€/kWh) en Belgique (Profil DE)	63
Tableau 9-2: Evolution du prix du gaz (€/GJ) en Belgique (Tranche D3).....	64
Tableau 9-3: Evolution du prix du gaz (€/kWh) en Belgique (Tranche D3)	64
Tableau 9-4: Impact de la mise en place de chaudières à condensation sur la consommation de gaz	67
Tableau 9-5: Impositions relatives à l'arrêté du Gouvernement wallon relatif à l'octroi de subventions aux personnes de droit public et aux organismes non commerciaux pour la réalisation d'études et de travaux visant l'amélioration de la performance énergétique des bâtiments.....	68
Tableau 9-6: Caractéristiques principales du vitrage "Sprimoglass Optima"	70
Tableau 9-7: Impact de la mise en place d'un double vitrage à haut rendement sur la consommation de gaz.....	71
Tableau 9-8: Modification du facteur d'utilisation des appareils et de l'éclairage	73

Tableau 9-9: Impact d'une limitation du facteur d'utilisation minimum des appareils et de l'éclairage sur la consommation d'électricité	74
Tableau 9-10: Impact d'une diminution du taux d'infiltration d'air sur la consommation de gaz.....	76
Tableau 9-11: Impact d'un remplacement des ventilateurs sur la consommation de gaz	79
Tableau 9-12: Impact d'un remplacement des ventilateurs sur la consommation d'électricité	80
Tableau 9-13: Puissance nominale du matériel de bureau utilisé dans la simulation de base.....	80
Tableau 9-14: Puissances d'un matériel de bureau moins énergivore	81
Tableau 9-15: Impact d'un remplacement du matériel de bureau sur la consommation d'électricité	82
Tableau 9-16: Critères imposés par la norme NBN EN 12464-1 pour l'éclairage d'un espace de bureau	83
Tableau 9-17: Caractéristiques des tubes fluorescents	84
Tableau 9-18: Critères imposé par la norme NBN EN 12464-1 pour l'éclairage d'une zone de circulation.....	84
Tableau 9-19: Impact de l'utilisation d'un éclairage économique sur la consommation d'électricité .	86
Tableau 9-20: Comparaison des impacts des différentes mesures de rénovation	87

1 INTRODUCTION

1.1 OBJECTIF DU TRAVAIL

L'objectif de ce travail est d'approcher le comportement énergétique d'un bâtiment à l'aide du logiciel SimAudit et de réaliser l'audit de ce bâtiment avant de proposer des améliorations et d'en évaluer l'impact.

1.2 HARMONAC

HARMONAC¹ (**HARMON**inizing **Air** **C**onditioning **I**nspection and **A**udit **P**rocedures in the **T**ertiary **B**uilding **S**ector)

Le projet HARMONAC s'inscrit dans le cadre de la nouvelle directive européenne sur la performance énergétique des bâtiments (EPBD, Energy Performance of Buildings Directive).

Ce projet s'intéresse plus particulièrement à l'article 9 de la directive, qui oblige les états membres de l'UE à imposer une inspection des systèmes de conditionnement d'air utilisés dans les bâtiments du secteur tertiaire dont la puissance nominale de refroidissement dépasse 12kW.

Article 9: Inspection of air-conditioning systems

With regard to reducing energy consumption and limiting carbon dioxide emissions, Member States shall lay down the necessary measures to establish a regular inspection of air conditioning systems of an effective rated output of more than 12 kW.

This inspection shall include an assessment of the air-conditioning efficiency and the sizing compared to the cooling requirements of the building.

Cette nouvelle directive représente une charge importante pour les états membres, aussi bien en ressources qu'au niveau financier; ce qui pourrait engendrer une mauvaise application de celle-ci, si la relation entre les investissements et les avantages retirés n'était pas pleinement démontrée.

Le but principal du projet HARMONAC est donc de fournir une source d'information sur les économies d'énergie et d'émissions de carbone générées grâce à différents aspects du processus d'inspection des installations de conditionnement d'air. De plus, les résultats devront mettre en relation les économies potentielles avec leurs coûts et le temps nécessaire à leur mise en place.

La base de données établie dans le cadre de ce projet fournira des détails sur la performance énergétique de systèmes de conditionnement d'air installés à travers l'Europe. Pour ce faire, elle reprendra les résultats de quelques 600 inspections et 40 études de cas.

Ceci permettra de mettre en évidence les problèmes rencontrés le plus couramment ainsi que les opportunités d'économie d'énergie dégagées lors des inspections et des études de cas.

¹ Informations extraites sur le site web d'HARMONAC: <http://www.harmonac.info/index.php?id=284> et sur le site de l'ULg (Campus d'Arlon), Unité "Surveillance de l'environnement": http://www.dsge-arlon.ulg.ac.be/ulg_surveillance/index.php?option=com_content&task=view&id=48&Itemid=49

En outre, le projet fournira des conseils sur la fréquence d'inspection nécessaire pour atteindre différents niveaux d'économie, ce qui devrait permettre aux états membres de prendre des décisions éclairées quant à l'ampleur et l'impact probable des procédures d'inspection à mettre en œuvre dans leur pays.

L'Université de Liège travaille plus particulièrement (en collaboration avec d'autres universités européennes) à la mise en place de procédures d'inspection et d'audit efficaces.

1.3 AUDIT ÉNERGÉTIQUE²

Un audit énergétique sert essentiellement à identifier les principaux défauts énergétiques d'un bâtiment ainsi que les possibilités d'économies d'énergie (ECO, Energy Conservation Opportunities) les plus efficaces et les plus rentables. Celles-ci peuvent consister en une utilisation plus efficace des installations déjà existantes ou en un remplacement, complet ou partiel, de l'équipement en place.

En général, quatre étapes d'Audit sont distinguées (Adnot, 2007):

1. Le "benchmarking" qui aide à décider s'il est nécessaire de lancer une procédure d'audit complète. Il se base essentiellement sur les factures d'énergie et sur certains calculs de base.
2. Le "pré-audit" qui a pour but d'identifier les principaux défauts de l'installation HVAC et du bâtiment ainsi que des économies d'énergie (ECO's) possibles. Il comprend une inspection visuelle de l'équipement HVAC, une analyse des mesures effectuées et le détail des consommations d'énergie enregistrées.
De plus, un modèle de simulation du bâtiment et de l'installation HVAC peut être calibré grâce aux données disponibles (qui se limitent souvent aux factures de gaz et d'électricité mensuelles), de façon à devenir un modèle de référence. Grâce à ce modèle, l'auditeur peut identifier les principaux consommateurs d'énergie (l'éclairage, les appareils, les ventilateurs, les pompes, les machines de froid,...) et analyser la performance énergétique réelle de l'immeuble.
3. L' "audit détaillé" consiste en une évaluation précise des ECO's envisagées ainsi qu'en leur comparaison.
4. L' "audit d'investissement" comprend une étude économique et technique détaillée. Celle-ci a pour objectif d'établir les coûts des améliorations.

Ce travail de fin d'étude se limitera aux stades 2 et 3 de l'audit.

² Bertagnolio S., 2010. Harmonizing Air Conditioning inspection and audit procedures in the tertiary building sector (EIE-07-132), Workpackage No.:7, Improved Inspection and Audit Simulation Tools, Simulation Tools – Reference Book (Draft 3).

Bertagnolio S., Lebrun J., Hannay J., Aparecida Silva C., 2008. Simulation – Assisted audit of an air conditioned office building.

1.4 SIMAUDIT³

SimAudit est un outil de simulation qui est actuellement développé dans le cadre du projet HARMONAC.

Les consommations mensuelles sont la plupart du temps insuffisantes pour permettre une compréhension précise du comportement énergétique du bâtiment audité. En effet, si la facture de combustible (gaz, mazout,...) peut en général informer l'auditeur sur la production de chaud, la facture d'électricité, quant à elle, ne permet pas de distinguer la consommation due à la climatisation de l'air de celle due, par exemple, à l'éclairage ou aux appareils. Néanmoins, ces factures peuvent servir à ajuster les paramètres d'un modèle de simulation afin de les rendre le plus proche possible des paramètres réels du bâtiment et de l'installation HVAC.

C'est là que le logiciel SimAudit entre en jeu. En effet, celui-ci offre un large panel de paramètres caractérisant l'équipement HVAC et le bâtiment. Ainsi, il permet d'ajuster ces différents paramètres un à un afin de s'approcher au mieux des relevés de consommation réels. Cette étape est appelée la calibration. A la fin de la calibration, l'auditeur dispose d'un modèle représentant au mieux le comportement énergétique du bâtiment.

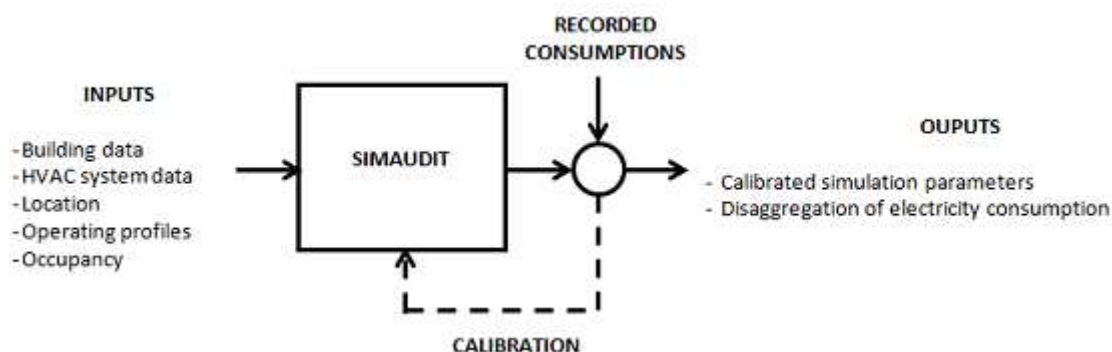


FIGURE 1-1: FONCTIONNEMENT DE SIMAUDIT LORS DE LA CALIBRATION⁴

De plus, SimAudit permet aussi, une fois la calibration effectuée, d'analyser au mieux le comportement et la consommation des différents éléments de l'installation HVAC et d'identifier une série de possibilités d'économies d'énergie qui pourront elles-mêmes être modélisées à l'aide du logiciel.

³ Bertagnolio S., 2010. Harmonizing Air Conditioning inspection and audit procedures in the tertiary building sector (EIE-07-132), Workpackage No.:7, Improved Inspection and Audit Simulation Tools, Simulation Tools – Reference Book (Draft 3).

⁴ Figure extraite de "Bertagnolio S., 2010. Harmonizing Air Conditioning inspection and audit procedures in the tertiary building sector (EIE-07-132), Workpackage No.:7, Improved Inspection and Audit Simulation Tools, Simulation Tools – Reference Book (Draft 3)".

1.5 TRAVAIL PRÉCÉDEMMENT EFFECTUÉ

Une série de travaux et de simulations portant sur le bâtiment étudié dans ce TFE ont déjà été réalisés dans le cadre du projet de recherche "AIE-ECBCS, Annexe 30". A différents moments du travail, les choix seront en partie guidés par ces travaux. En effet, afin de pouvoir se servir d'outils, comme les coefficients d'extrapolation par exemple, développés lors de ces recherches, il faudra disposer d'un modèle qui ressemble aux modèles des projets antérieurs, tout en ayant ses spécificités propres.

2 PRÉSENTATION DU BÂTIMENT AUDITÉ

Le bâtiment étudié est le Centre Administratif du Service Public de Wallonie, anciennement appelé le Centre Administratif du MET ou CA-MET. Ce bâtiment a été conçu de 1993 à 1995 et sa construction a débuté en 1997 pour finir en 1999. Il a été conçu afin d'accueillir un millier d'occupants et se situe derrière la gare de Namur, sur le Boulevard du Nord.



FIGURE 2-1: VUE AERIENNE DU CA-MET

Outre 2 modules particuliers ("A" et "M") abritant les chaudières et les machines de froid, le CA-MET est constitué de 11 modules (indiqués par les lettres de "B" à "L"), bâtis côte à côte. Le tout forme 2 ailes d'environ 300 mètres de long, orientées au Nord et au Sud, séparées par un atrium qui constitue une rue intérieure. L'ensemble du bâtiment occupe une surface d'environ 15000m².

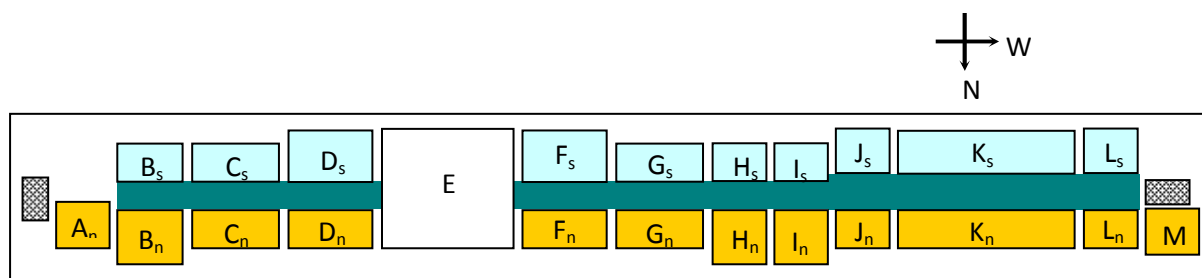


FIGURE 2-2: SCHEMA PLAN DU CA-MET ⁵

⁵ Figure extraite de "Cuevas C., 2002. Simplified Modeling of the CA-MET building".

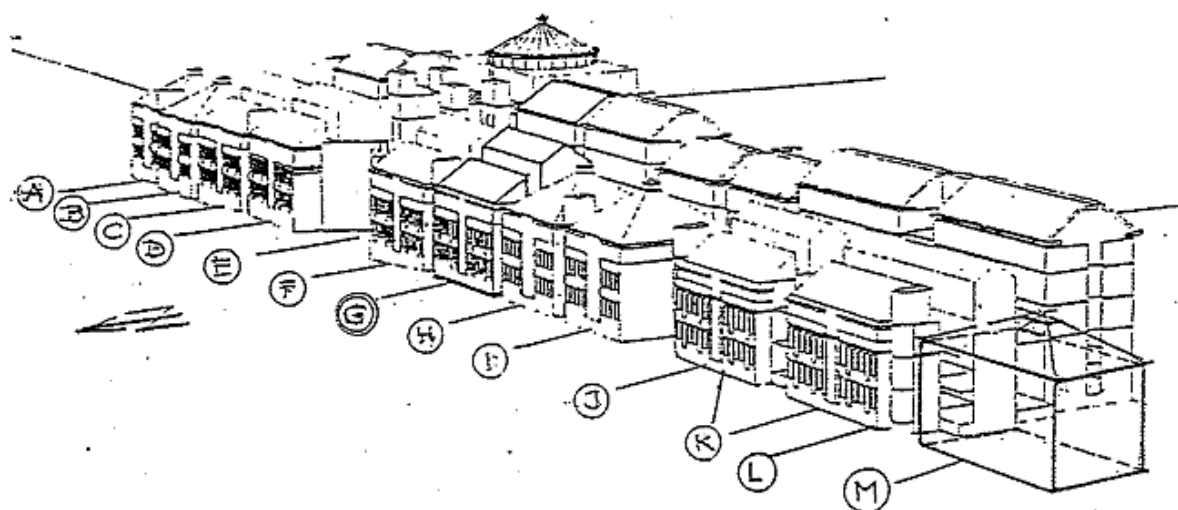


FIGURE 2-3: VUE GÉNÉRALE DU CA-MET⁶

A l'exception du module "E", qui constitue une zone d'accueil, la configuration des différents modules est semblable. L'aile Nord compte 3 niveaux hors sol, tandis que l'aile Sud en compte 5. La plupart de la surface utilisable est dédiée à des bureaux.

⁶ Figure extraite de "André P., Kummert M., 1995. International Energy Agency – Energy Conservation in Buildings and Community Systems. Annex 30 "Bringing Simulation to Application". Analysis of sensible heating and cooling demand of the QG-MET building. First approach of the HVAC and control systems simulation".

Dans le travail qui va suivre, on étudiera plus particulièrement le module "G".

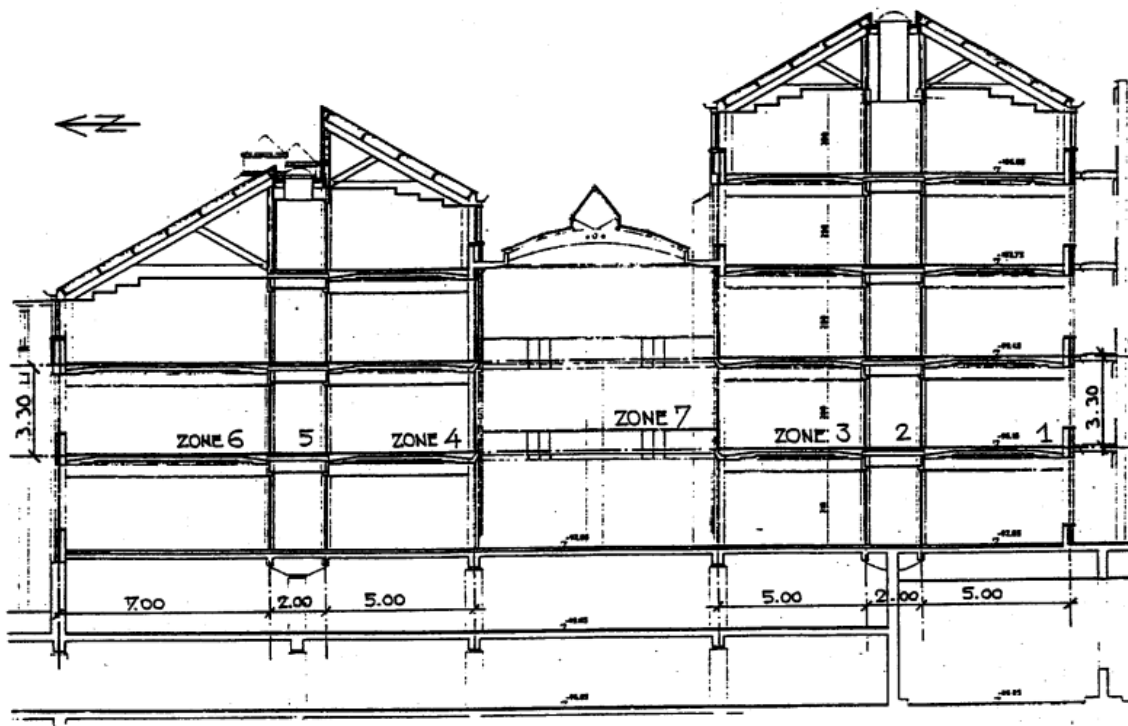


FIGURE 2-4: COUPE TRANSVERSALE DU MODULE "G"⁷

L'organisation au sein des différents modules est semblable. On constate que chaque module est séparé longitudinalement en cinq tranches, de compositions identiques, reprenant chacune 4 bureaux, 2 portions de couloir, et une portion d'atrium.

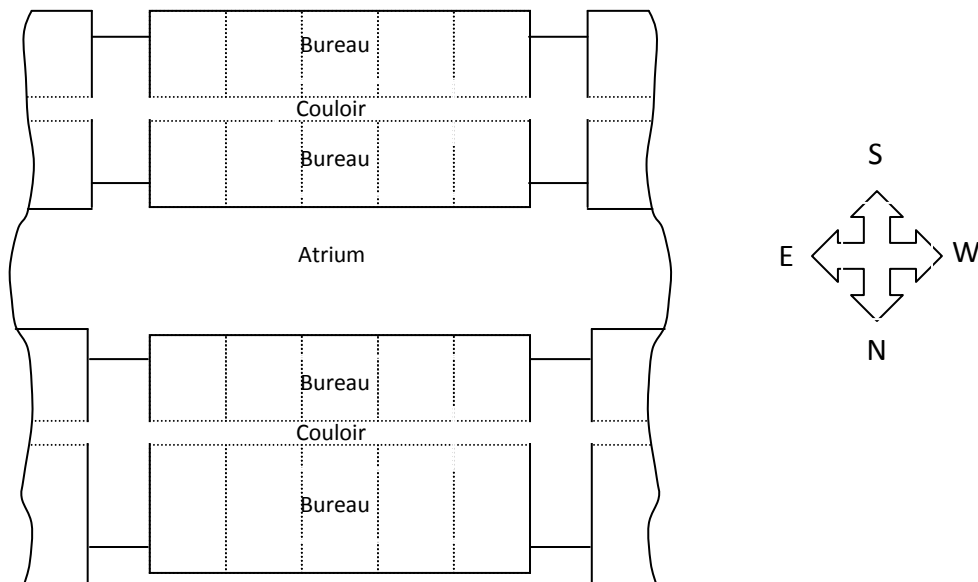


FIGURE 2-5: SCHEMA PLAN D'UN MODULE TYPE ⁸

⁷ Figure extraite de "André P., Lebrun J., Lacôte P., 2002. Gestion optimale de la climatisation d'un immeuble de bureaux. (Communication présentée à la journée d'étude "Réinventons l'énergie", visite du CA-MET, le 10 octobre 2002)".

Pour ce qui est des fenêtres, celles orientées au Sud, en triple vitrage, sont de taille réduite (3,78m²) à cause du bruit provenant des voies de chemin de fer et du rayonnement solaire, tandis que celles des façades orientées au Nord, en double vitrage, sont plus grandes (6,51m²) de façon à maximiser les gains solaires. De plus, des protections solaires ont été placées côté Sud de manière à atténuer encore l'impact solaire.

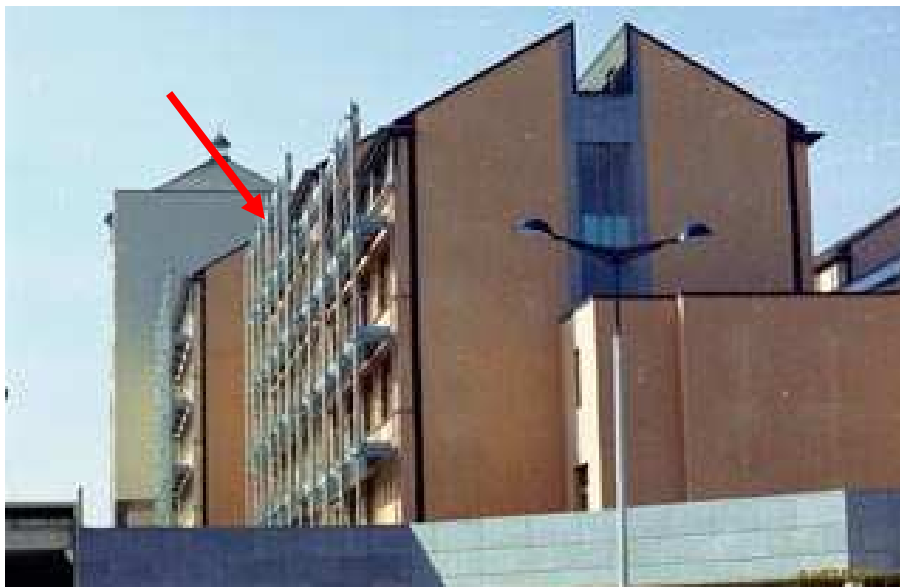


FIGURE 2-6: PROTECTIONS SOLAIRES DE LA FAÇADE SUD⁹

A l'interface entre chaque aile et l'atrium, les fenêtres installées sont en double vitrage. Ce qui est aussi le cas de la verrière couvrant l'atrium.

⁸ Figure extraite de "Cuevas C., 2002. Simplified Modeling of the CA-MET building".

⁹ Figure extraite de "André P., Rogiest-Lejeune C., 2006. Field benchmarking and Market development for Audit methods in Air Conditioning. EIE-AUDITAC – Belgian Case Study Nr1: An Office Building in Namur".

3 DESCRIPTION DES INSTALLATIONS DE CLIMATISATION

Maintenant que l'enveloppe du bâtiment qu'on désire auditer a été décrite, il convient de se pencher sur les installations de climatisation qui sont présentes à l'intérieur de celui-ci et qui permettent d'en contrôler la température et l'humidité, ainsi qu'à assurer un renouvellement d'air suffisant.

3.1 PRODUCTION ET DISTRIBUTION DE CHAUD

La production d'eau chaude est assurée par un groupe de chaud situé dans les sous-sols du bâtiment. Celui-ci se compose de 3 chaudières placées en parallèle qui agissent en cascade, c'est-à-dire que lorsque la demande de chaud excède la puissance de la première chaudière, la seconde se met en marche et ainsi de suite. Ces chaudières sont de marque "YGNIS" et de modèle "EMR 1000" (1998). Chacune a une puissance nominale de 1050kW, ce qui représente un total de 3150kW pour le groupe de chaud.

L'eau chaude ainsi produite sert à alimenter les batteries chaudes des unités de traitement d'air ainsi que les radiateurs qui assurent le chauffage des bureaux.



FIGURE 3-1: RADIATEUR PRESENT DANS UN BUREAU¹⁰

3.2 PRODUCTION ET DISTRIBUTION DE FROID

3.2.1 DESCRIPTION GÉNÉRALE

La production d'eau froide est assurée par 2 groupes de froid, situés aux extrémités Est et Ouest du bâtiment. Il s'agit respectivement de machines frigorifiques de modèles "RTAA 328" et "RTAA 430" de la marque "Trane". Ces groupes sont équipés de compresseurs à vis et de condenseurs à air. Chaque machine possède 2 circuits réfrigérants indépendants passant par le même évaporateur. Les puissances nominales de ces groupes sont de 956.5kW et 869.5kW.

¹⁰ Figure extraite de "Cuevas C., 2002. Simplified Modeling of the CA-MET building".

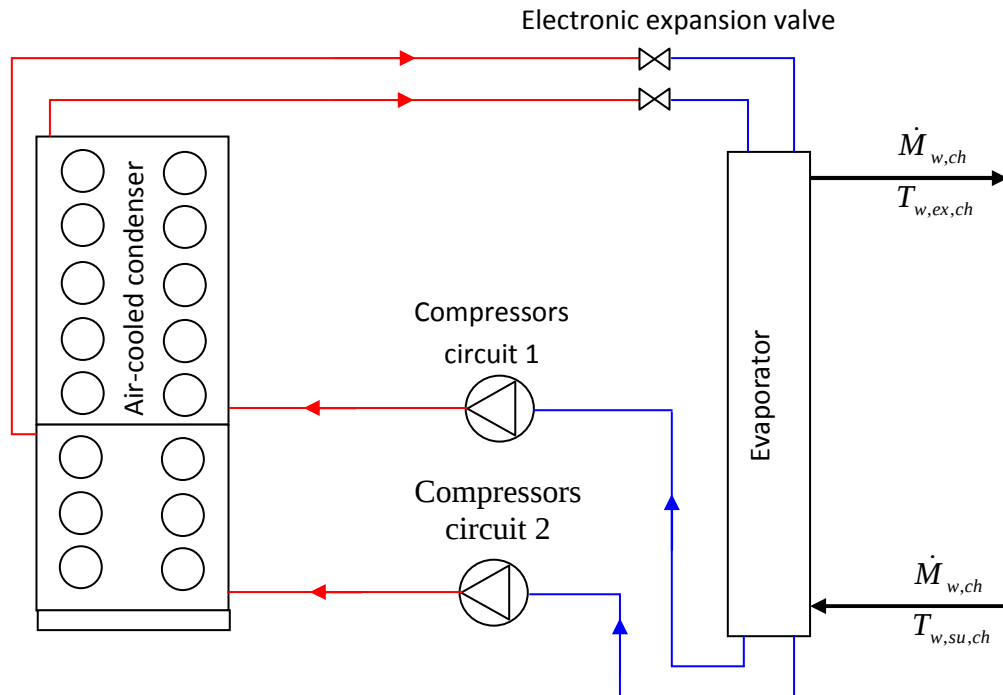


FIGURE 3-2: SCHÉMA DES CIRCUITS DES CHILLERS

L'eau froide ainsi produite sert à alimenter les batteries froides des unités de traitement d'air, comme illustré sur la figure suivante¹¹:

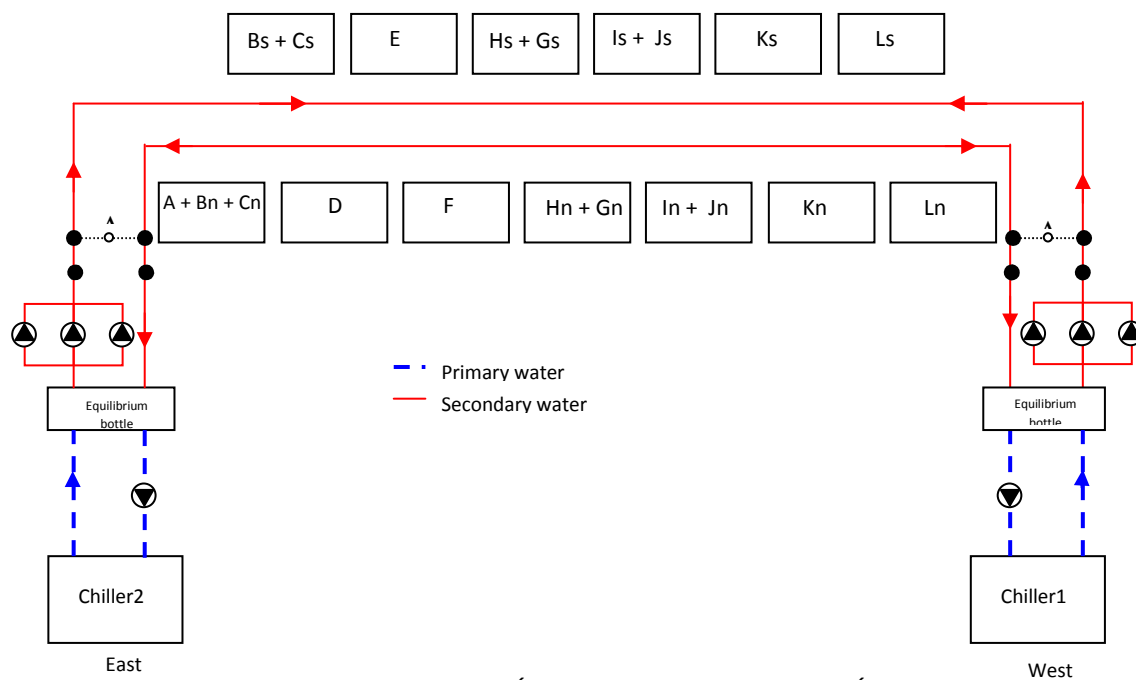


FIGURE 3-3: SCHÉMA DE DISTRIBUTION DE L'EAU GLACÉE

¹¹ Figure extraite de "André P., Rogiest-Lejeune C., 2006. Field benchmarking and Market development for Audit methods in Air Conditioning. EIE-AUDITAC – Belgian Case Study Nr1: An Office Building in Namur".

3.2.2 DESCRIPTION DÉTAILLÉE DU GROUPE DE FROID "EST"

Le groupe de froid situé à l'extrémité Est du bâtiment est un modèle "RTAA 328". Ces caractéristiques principales sont les suivantes:

Puissance frigorifique ¹²	(kW)	869,5
Puissance électrique absorbée totale	(kW)	273,5
Température d'entrée de l'eau	(°C)	11
Température de sortie de l'eau	(°C)	5,5
Débit	(l/s)	37,7
Fluide frigorigène	(/)	R22

TABLEAU 3-1: CARACTERISTIQUES PRINCIPALE DU "RTAA 328"

3.2.3 DESCRIPTION DÉTAILLÉE DU GROUPE DE FROID "OUEST"

Le groupe de froid situé à l'extrémité Ouest du bâtiment est un modèle "RTAA 430". Ces caractéristiques principales sont les suivantes:

Puissance frigorifique ¹³	(kW)	956,5
Puissance électrique absorbée totale	(kW)	304,2
Température d'entrée de l'eau	(°C)	11
Température de sortie de l'eau	(°C)	5,5
Débit	(l/s)	41,5
Fluide frigorigène	(/)	R22

TABLEAU 3-2: CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DU "RTAA 430"

3.3 GROUPES DE TRAITEMENT D'AIR

3.3.1 DESCRIPTION GÉNÉRALE

Les groupes de chaud et de froid décrits aux point 3.1 et 3.2 alimentent des sous-stations, comprenant des groupes de traitement d'air, réparties sur toute la longueur du bâtiment à intervalles réguliers. On peut considérer qu'il y a environ deux sous-stations par groupe de 2 modules.

¹² Dans les conditions: EVP 11/5,5°C, air = 30°C, facteur d'encastrement = 0,044 m²K/kW, R22

¹³ Dans les conditions: EVP 11/5,5°C, air = 30°C, facteur d'encastrement = 0,044 m²K/kW, R22

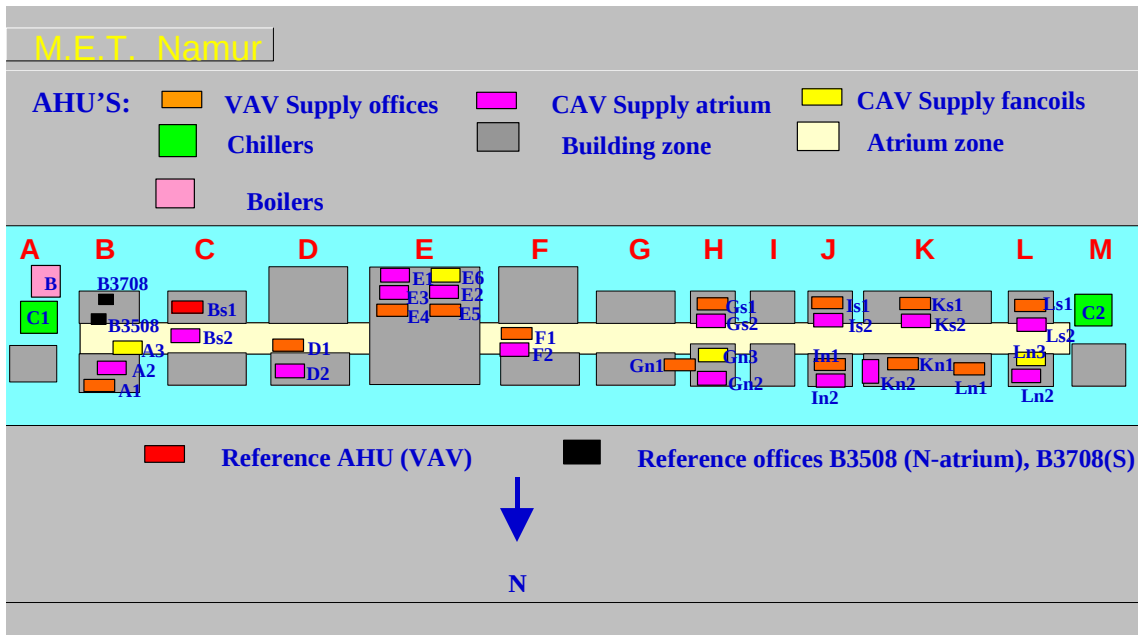


FIGURE 3-4: VUE SCHEMATIQUE DES SOUS-STATIONS¹⁴

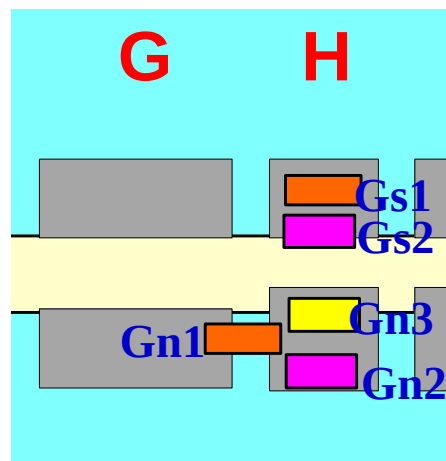


FIGURE 3-5: GROS-PLAN SUR LA SOUS-STATION ALIMENTANT LES MODULES "G" ET "H"

Les modules "G" et "H" sont desservis par deux sous-stations composées de 5 groupes: "Gs1" et "Gs2" pour la sous-station "Sud"; "Gn1", "Gn2" et "Gn3" pour la sous-station "Nord".

Ils ont les fonctions suivantes:

- "Gs1" alimente les bureaux de l'aile sud
- "Gs2" alimente l'atrium
- "Gn1" alimente les bureaux de l'aile nord
- "Gn2" alimente l'atrium
- "Gn3" alimente les salles de réunion

¹⁴ Figure extraite de "Cuevas C., Lacôte P., Lebrun J., 2002. Re-commissioning of an Air Handling Unit".

Ces groupes servent à assurer le renouvellement d'air dans les bureaux, l'atrium et les salles de réunion. De plus, les groupes "Gs1" et "Gn1" servent à rafraîchir l'air des bureaux en période chaude tandis que les groupes "Gs2" et "Gn2" servent à chauffer l'atrium. Le groupe "Gn3" sert également à assurer le chauffage des salles de réunion.

3.3.2 DESCRIPTION DÉTAILLÉE DES GROUPES "Gs1" ET "Gs2"

Le groupe "Gs1" est composé des éléments suivants:

- Un registre, assurant un débit d'air frais constant de 4300 m³/h
- Un filtre
- Une batterie chaude d'une puissance de 68 kW
- Une batterie froide d'une puissance de 120 kW
- Un humidificateur à pulvérisation d'eau froide, assurant une humidité relative de l'air de 60%
- Un ventilateur à débit variable (modulé en fréquence), assurant un débit d'air variant de 8600 à 18900 m³/h vers les bureaux de l'aile sud.

Comme expliqué plus haut, ce groupe sert à alimenter les bureaux de l'aile sud en air frais et à les refroidir en période estivale. Il y a, dans chaque bureau, une boîte de ventilation assurant un contrôle de la ventilation par l'occupant.



FIGURE 3-6: BOITE DE VENTILATION VUE D'UN BUREAU¹⁵

¹⁵ Figures extraites de "André P., Lebrun J., Adam C., Cuevas C., Fonseca N., Lacôte P., 2002. Etude de cas CA-MER, Poursuite et finalisation des travaux. Vérification des performances énergétiques d'un immeuble de bureaux: Le Centre administratif du MET".



FIGURE 3-7: LANGUETTE DE REGLAGE D'UNE BOITE DE VENTILATION

Le groupe "Gs2" est, quant à lui, composé des éléments suivants:

- Un registre
- Un filtre
- Une batterie chaude d'une puissance de 16kW
- Une batterie froide d'une puissance de 19kW
- Un ventilateur à débit constant, assurant un débit constant de 3400 m³/h vers l'atrium

Les groupes "Gs1" et "Gs2" sont de plus liés par un circuit de recirculation d'air, permettant de recirculer une partie de l'air extrait des bureaux directement dans ceux-ci au travers du groupe "Gs1" (voir Figure 3-9).

L'air n'étant pas récupéré par le groupe "Gs2" est extrait des bureaux, via les couloirs, vers les sanitaires où il est rejeté à l'extérieur.



FIGURE 3-8: GRILLE D'EXTRACTION DANS LE MUR ENTRE UN BUREAU ET LE COULOIR¹⁶

Dans le cas de l'atrium, ce sont des ventelles disposées aux extrémités Est et Ouest de celui-ci qui assurent l'équilibre aéraulique.

¹⁶ Figure extraite de "Cuevas C., 2002. Simplified Modeling of the CA-MET building".

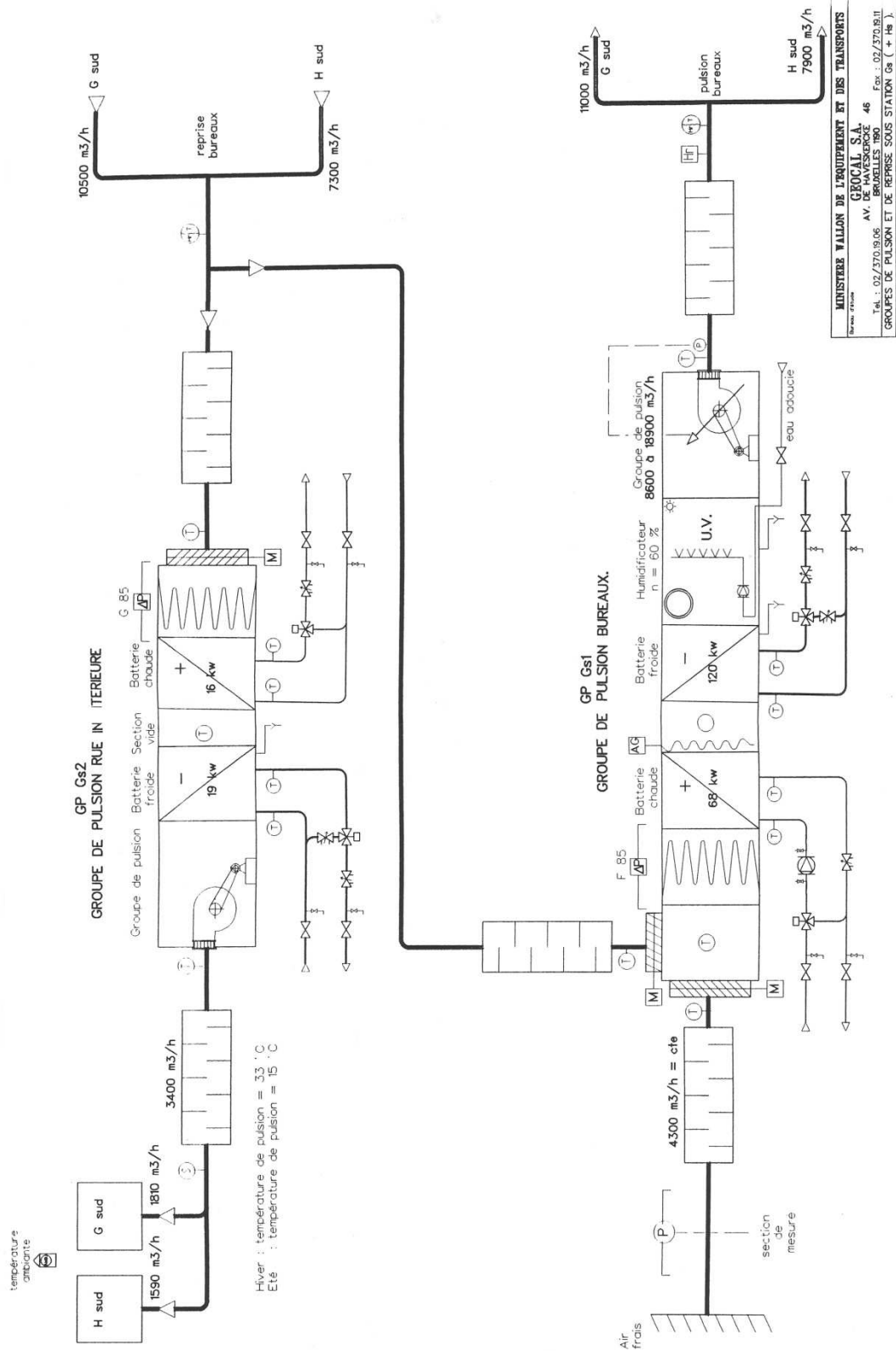


FIGURE 3-9: SCHEMA DE PRINCIPE DES AHU'S "GS1" ET "GS2"

3.3.3 DESCRIPTION DÉTAILLÉE DES GROUPES "GN1" ET "GN2"

Le groupe "Gn1" est composé des éléments suivants:

- Un registre, assurant un débit d'air frais constant de 3400 m³/h
- Un filtre
- Une batterie chaude d'une puissance de 54 kW
- Une batterie froide d'une puissance de 92 kW
- Un humidificateur à pulvérisation d'eau froide, assurant une humidité relative de l'air de 60%
- Un ventilateur à débit variable (modulé en fréquence), assurant un débit d'air variant de 6800 à 14500 m³/h vers les bureaux de l'aile nord.

Le groupe "Gn2" est composé des éléments suivants:

- Un registre
- Un filtre
- Une batterie chaude d'une puissance de 18kW
- Une batterie froide d'une puissance de 22kW
- Un ventilateur à débit constant, assurant un débit constant de 3800 m³/h vers l'atrium

De même que pour les groupes "Gs1" et "Gs2", les groupes "Gn1" et "Gn2" sont liés par un circuit de recirculation d'air, permettant de recirculer une partie de l'air extrait des bureaux directement dans ceux-ci au travers du groupe "Gn1". De nouveaux, des grilles d'extraction permettent d'évacuer une partie de l'air vers les sanitaires, via les couloirs.

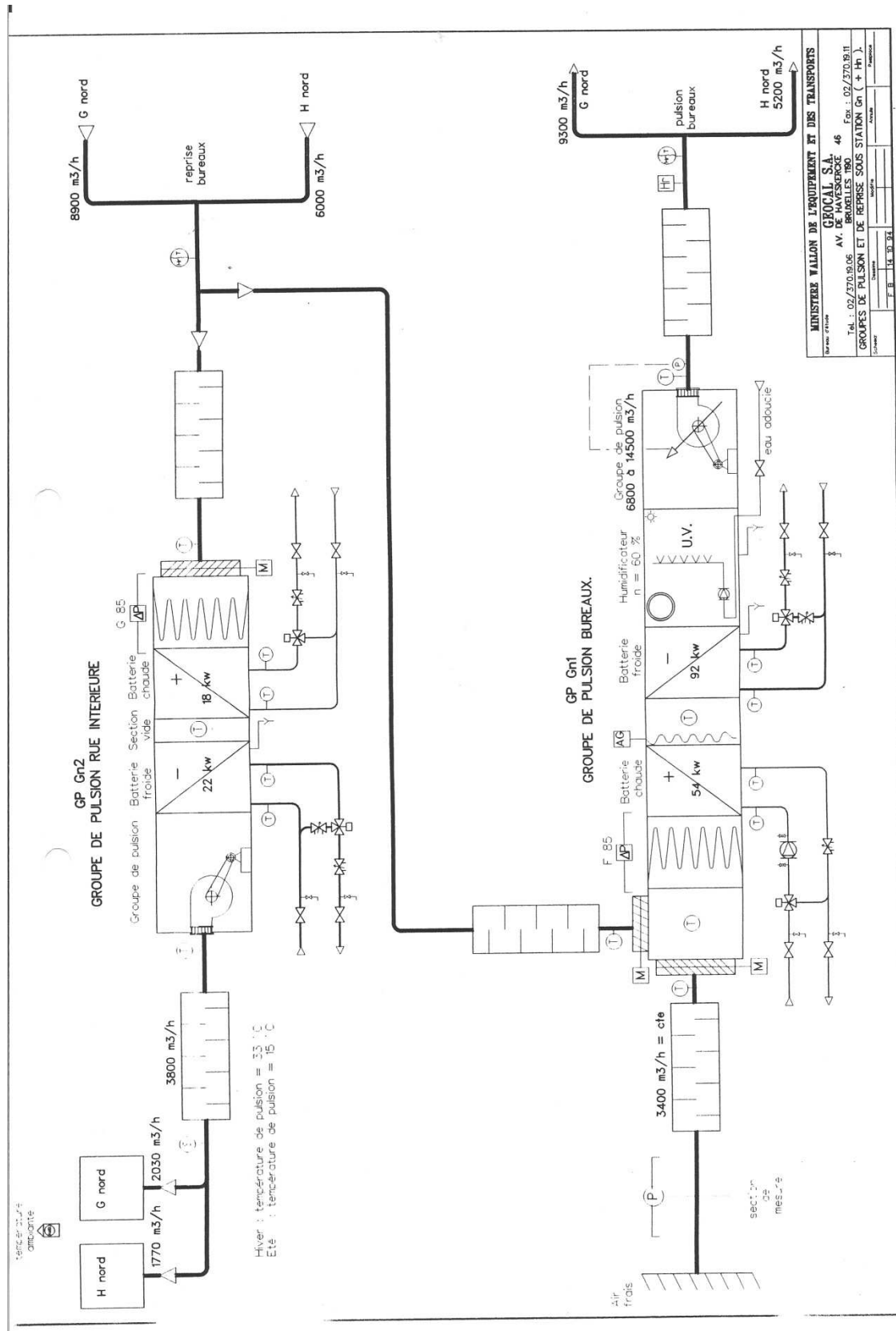


FIGURE 3-10: SCHEMA DE PRINCIPE DES AHUS "GN1" ET "GN2"

3.3.4 DESCRIPTION DÉTAILLÉE DU GROUPE "GN3"

Le groupe "Gn3" est composé des éléments suivants:

- Un registre
- Deux filtres
- Une batterie chaude d'une puissance de 17 kW
- Un ventilateur à débit constant, assurant un débit d'air 1600 m³/h vers les salles de réunion de l'aile nord.
- Un humidificateur à vapeur, assurant une évaporation de 8 kg/h

Comme expliqué plus haut, ce groupe sert à chauffer les salles de réunion situées à la jonction des modules "G" et "H" et à assurer un renouvellement d'air suffisant dans ces mêmes salles.

4 DESCRIPTION DU PRINCIPE DE MODÉLISATION

A présent que les caractéristiques du bâtiment et des équipements HVAC sont connues, la phase d'inspection est finie et on entame la phase de modélisation.

Pour se faire, il va falloir mettre au point une stratégie de modélisation:

Afin d'étudier le comportement énergétique du CA-MET dans sa totalité (11 modules) on va modéliser le comportement d'un des modules et extrapoler les résultats à l'ensemble du bâtiment.

Le module en question est, comme indiqué plus avant, le module "G".

4.1 DÉCOUPAGE DU MODULE "G"

Comme expliqué au point 0, la démarche suivie pour la "découpe" du bâtiment s'inspire de travaux précédemment effectués. Le module "G" a été découpé en 5 tranches verticales et 5 tranches horizontales (correspondant aux étages) comme représenté à la Figure 4-1. La partie du bâtiment modélisée est donnée par l'intersection du 1^{er} étage avec la 3^{ème} tranche verticale du module. Elle sera appelée "bloc de référence" dans la suite de ce travail.

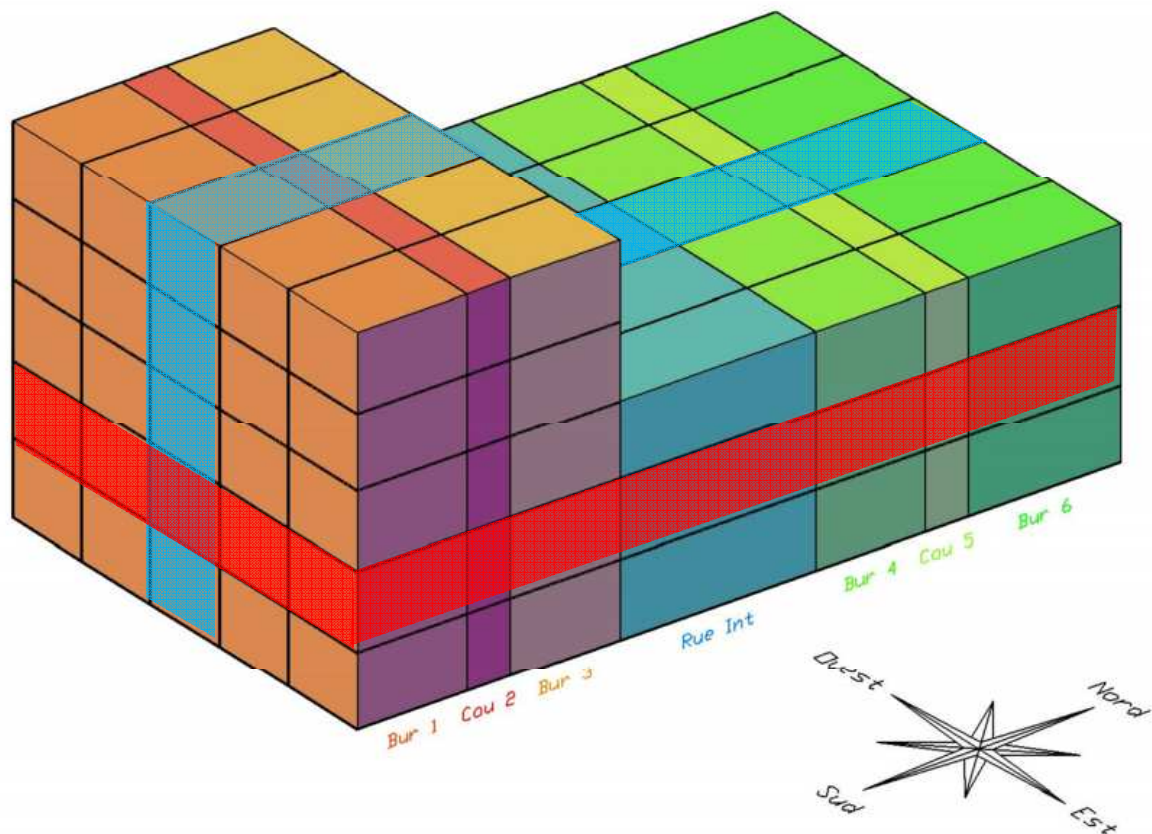


FIGURE 4-1: DECOUPAGE DU MODULE "G"

Le bloc de référence a donc la forme suivante:

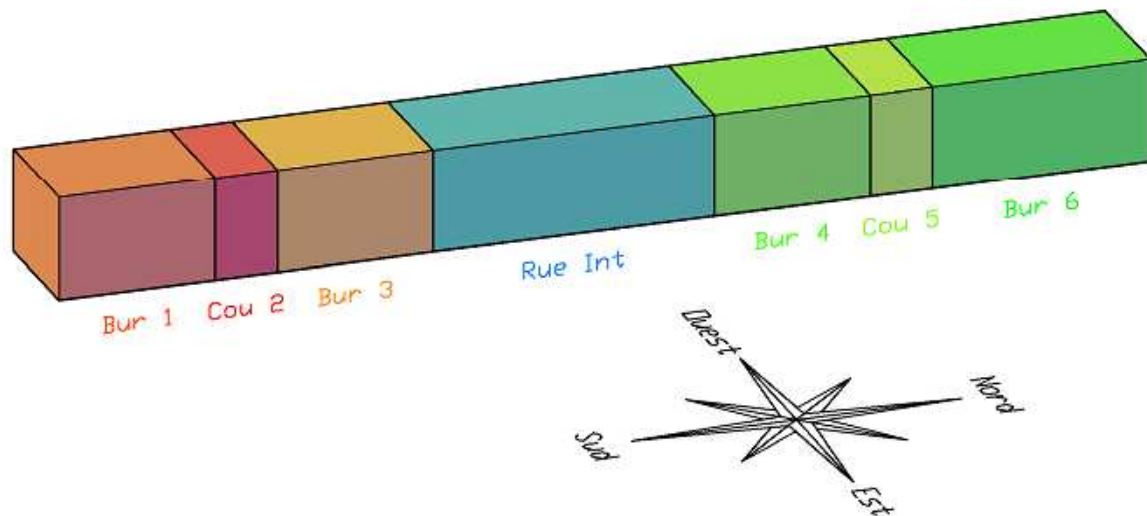


FIGURE 4-2: BLOC DE REFERENCE

Les différentes parties du bloc de référence sont, du sud au nord:

- "Bureau 1" ou "Bur 1"
- "Couloir 2" ou "Cou 2"
- "Bureau 3" ou "Bur 3"
- "Rue Intérieure" ou "Rue Int" ou "Atrium"
- "Bureau 4" ou "Bur 4"
- "Couloir 5" ou "Cou 5"
- "Bureau 6" ou "Bur 6"

4.2 EXTRAPOLATION DES RÉSULTATS DU BLOC DE RÉFÉRENCE À L'ENSEMBLE DU MODULE G

Une fois les résultats obtenus pour le bloc de référence, il faut les extrapoler afin d'obtenir des résultats globaux, d'abord pour le module "G" et ensuite pour la totalité du CA-MET.

Une étude a déjà été réalisée¹⁷ afin de déterminer les coefficients d'extrapolation adéquats.

¹⁷André P., 1994. Prolongement des AIE Annexe 17 et 21 – Convention 93/32734. 4ème rapport technique de la phase 3, 1ère partie: Analyse globale d'un "niveau" du bâtiment QG-MET.

En voici les résultats principaux:

En période hivernale, la matrice permettant d'extrapoler les résultats du bloc de référence à l'ensemble du module "G" est la suivante:

	Tranche 1	Tranche 2	Tranche 3	Tranche 4	Tranche 5	Total
Niveau 4	1,113	0,943	0,938	0,980	0,910	4,884
Niveau 3	0,967	0,819	0,815	0,851	0,791	4,243
Niveau 2	1,814	1,537	1,529	1,597	1,483	7,959
Niveau 1	1,186	1,005	1,000	1,045	0,970	5,206
Niveau 0	3,306	2,801	2,787	2,911	2,703	14,509
Total	8,386	7,105	7,069	7,384	6,857	<u>36,801</u>

TABLEAU 4-1: MATRICE D'EXTRAPOLATION DÉFINIE DANS LE CADRE D'UNE ÉTUDE PRÉCÉDENTE (PÉRIODE ESTIVALE)

Ainsi, les résultats obtenus pour le bloc de référence doivent être multipliés par 36,8 en période hivernale afin de correspondre au module "G".

En période estivale, la matrice d'extrapolation prend la forme suivante:

	Tranche 1	Tranche 2	Tranche 3	Tranche 4	Tranche 5	Total
Niveau 4	0,297	0,397	0,405	0,392	0,281	1,772
Niveau 3	0,746	0,997	1,016	0,984	0,705	4,448
Niveau 2	0,802	1,071	1,092	1,057	0,758	4,779
Niveau 1	0,735	0,981	1,000	0,968	0,694	4,378
Niveau 0	0,169	0,226	0,230	0,223	0,160	1,007
Total	2,749	3,672	3,742	3,623	2,597	<u>16,384</u>

TABLEAU 4-2: MATRICE D'EXTRAPOLATION DÉFINIE DANS LE CADRE D'UNE ÉTUDE PRÉCÉDENTE (PÉRIODE ESTIVALE)

On peut donc constater que les résultats concernant le bloc de référence doivent être multipliés par 16,38 en période estivale pour représenter le module "G".

4.3 EXTRAPOLATION DU MODULE "G" À L'ENSEMBLE DU BÂTIMENT

L'extrapolation des résultats du module "G" à l'ensemble du bâtiment se fera sur base du tableau suivant:

Module	Surface des bureaux
[-]	[m²]
A	630
B	1680
C	2100
D	2520
E	2100
F	2520
G	2100
H	1680
I	1680
J	2940
K	2940
L	1260
M	0

TABLEAU 4-3: RÉPARTITION DES SURFACES DE BUREAUX AU SEIN DU CA-MET

On multipliera les résultats obtenus pour le module "G" par le rapport obtenu en divisant la surface totale de bureaux du CA-MET par la surface de bureaux présente dans le module "G".

Cette extrapolation au prorata des surfaces de bureaux sous-estime sans doute un peu la consommation relative au module "E" qui est une zone d'accueil, mais se justifie par le fait que la majeure partie du CA-MET est occupée par des bureaux.

5 ADAPTATION AUX PARTICULARITÉS DU LOGICIEL SIMAUDIT

Une fois que la conduite générale à suivre pour effectuer la simulation a été établie, il faut se conformer à la manière dont le logiciel modélise le bâtiment.

5.1 SÉLECTION DES ZONES

Le logiciel SimAudit se base sur une approche multizone. Il faut donc définir un certain nombre de zones au sein du bloc de référence.

Le découpage en zones se fera en fonction du type d'unité de traitement d'air utilisé. En effet, les bureaux sont ventilés avec un débit d'air variable (variable air volume, VAV) tandis que l'atrium est ventilé avec un débit d'air constant (constant air volume, CAV). Les couloirs, quant à eux, sont ventilés grâce à l'air extrait des bureaux par les grilles d'aération.

Ainsi, le bloc de référence sera subdivisé en 3 zones:

- La zone 1:
 - Reprenant les bureaux 1 et 3, ainsi que le couloir 2
 - Alimentée en VAV par le groupe "Gs1"
 - Située au sud du module "G"
- La zone 2:
 - Reprenant les bureaux 4 et 6, ainsi que le couloir 5
 - Alimentée en VAV par le groupe "Gn1"
 - Située au nord du module "G"
- La zone 3:
 - Reprenant l'atrium
 - Alimentée en CAV par les groupes "Gs2" et "Gn2"
 - Située au centre du module "G"

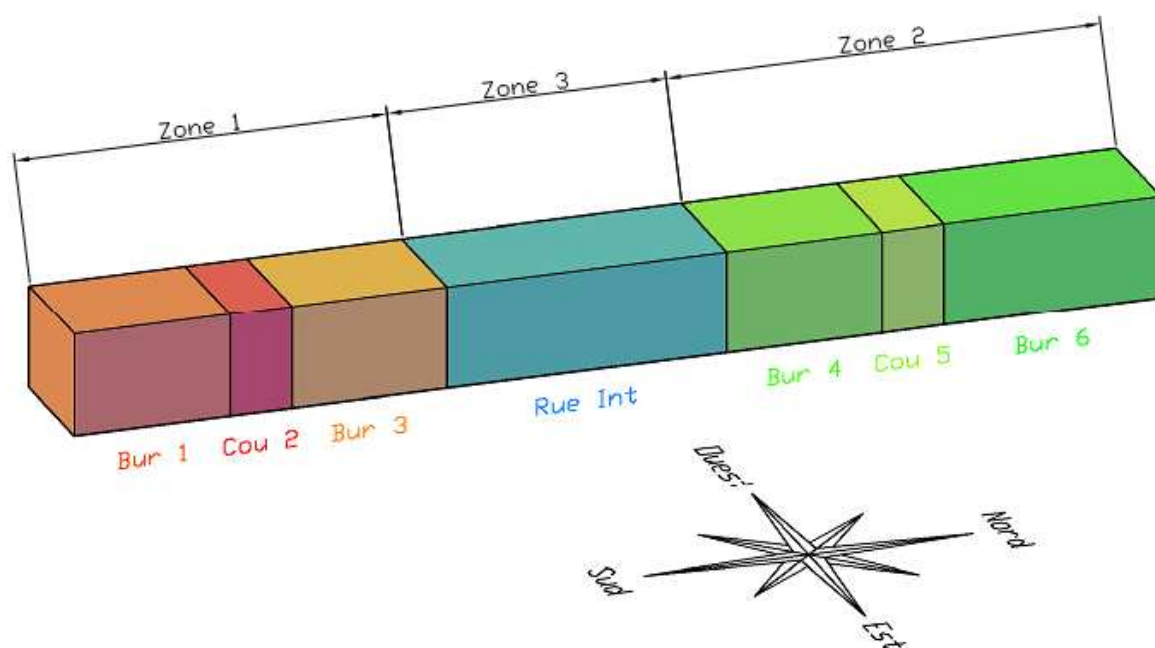


FIGURE 5-1: DIVISION DU BLOC DE REFERENCE EN ZONES

5.2 MODÉLISATION DES UNITÉS DE TRAITEMENT D'AIR

La description des unités de traitement d'air a déjà été faite au point 3.3.

Dans un premier temps, on ignorera le groupe "Gn3", sensé alimenter les salles de réunion. En effet, le bloc de référence ne comprend pas de salle de réunion. On pourra toujours l'ajouter plus tard si les résultats ne sont pas assez satisfaisants.

La configuration des unités de traitement d'air qui alimentent les modules "G" et "H" est représentée sur le schéma suivant:

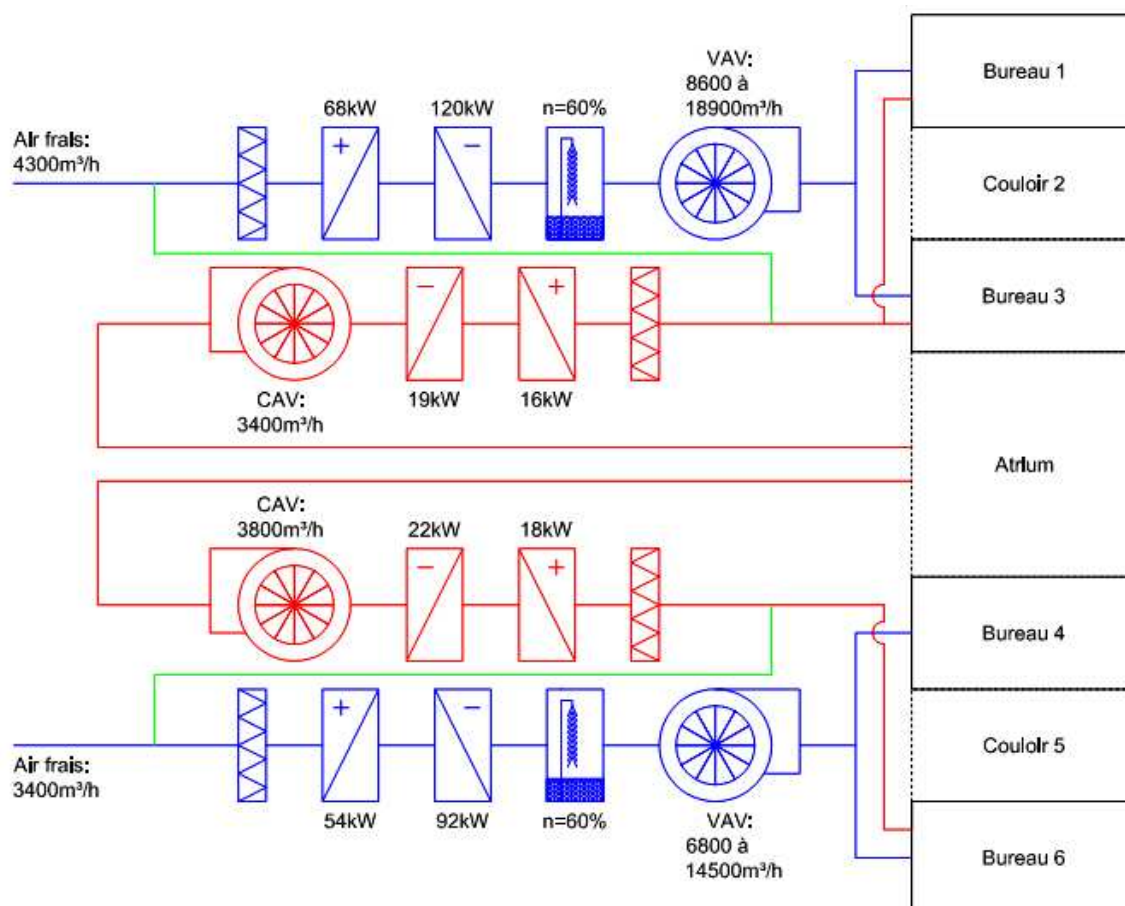


FIGURE 5-2: REPRESENTATION SCHEMATIQUE DE LA CONFIGURATION DES GROUPES DE TRAITEMENT D'AIR DES MODULES "G" ET "H"¹⁸

On y retrouve:

- Le groupe "Gs1" en bleu, en haut
- Le groupe "Gs2" en rouge, en haut
- Le groupe "Gn1" en bleu, en bas
- Le groupe "Gn2" en rouge, en bas
- Les conduites de recirculation en vert

¹⁸ Remarque: Les débits indiqués sur ce schéma correspondent aux débits alimentant la totalité des modules "G" et "H".

Cependant, SimAudit ne permet pas de modéliser le fait que 2 unités de traitement d'air distinctes alimentent une même zone, comme c'est le cas des unités "Gs2" et "Gn2". Ainsi, il faut regrouper ces 2 unités en une seule de façon à permettre leur modélisation.

La configuration devient donc la suivante:

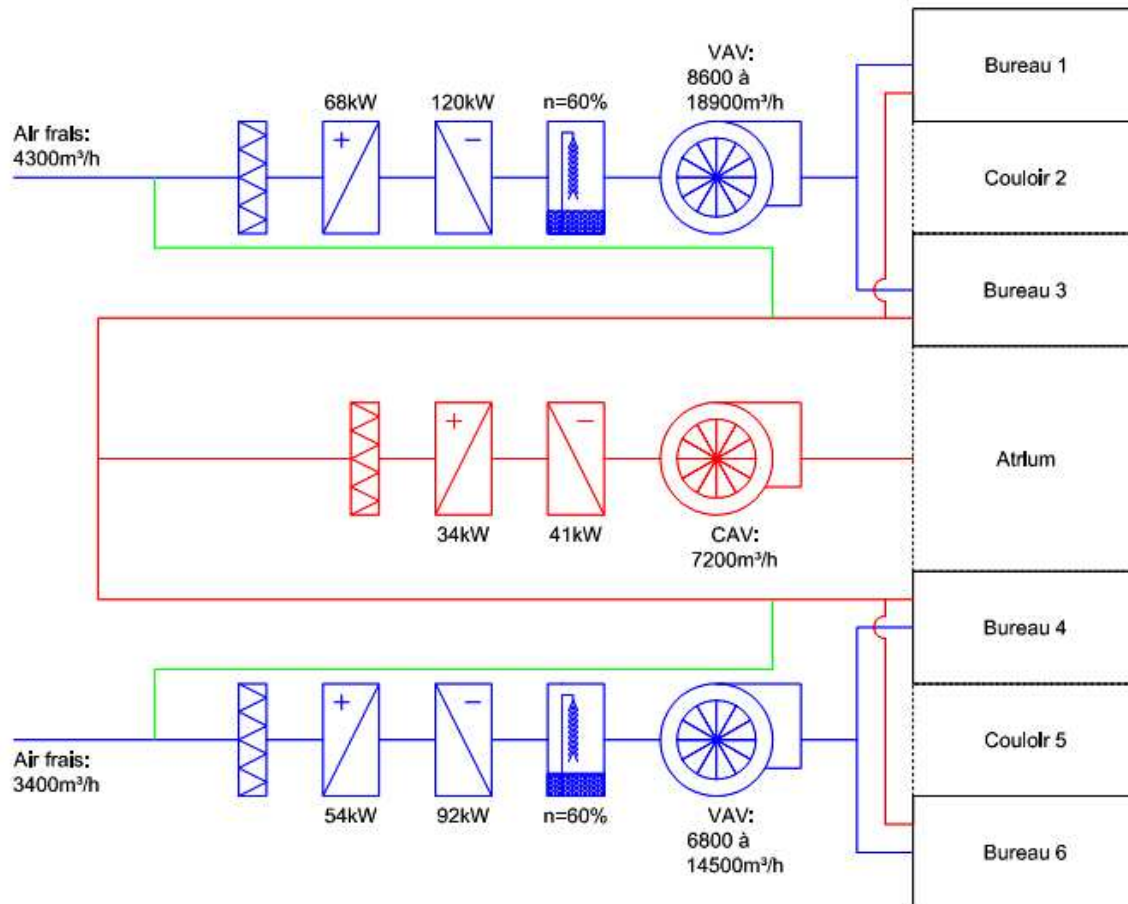


FIGURE 5-3: REPRESENTATION SCHEMATIQUE DE LA MODELISATION DES GROUPES DE TRAITEMENT D'AIR DES MODULES "G" ET "H"¹⁹

¹⁹ Remarque: Les débits indiqués sur ce schéma correspondent aux débits alimentant la totalité des modules "G" et "H".

5.3 PRISE EN COMPTE DE LA VERRIÈRE

Une verrière est présente au sommet de l'atrium. Elle doit être modélisée comme une fenêtre présente dans le toit.



FIGURE 5-4: PHOTO DE LA VERRIÈRE DE L'ATRIUM (VUE DE L'INTERIEUR)

Cependant, la verrière présente la forme suivante:

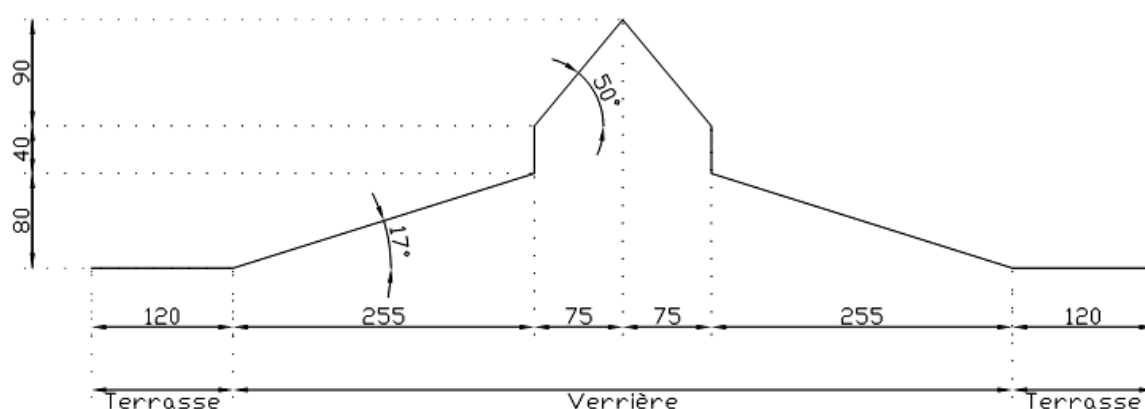


FIGURE 5-5: COUPE TRANSVERSALE DU SOMMET DE L'ATRIUM

Or, SimAudit ne permet pas de prendre en compte des surfaces obliques mais uniquement horizontales.

De ce fait, on effectuera une projection des différentes surfaces sur l'horizontale, ce qui correspond à une verrière de 27,72 m² (6,6 m de large sur 4,2 m courants) et à des terrasses de 10,08 m² (2 fois 1,2 m de large sur 4,2 m courants).

5.4 LOIS DE TEMPÉRATURES

La modélisation sous SimAudit nécessite d'encoder une loi de régulation en température pour chaque unité de traitement d'air, ainsi que pour les groupes de chaud et de froid.

Pour les unités de traitement d'air, les consignes de régulation ont été retrouvées directement dans la documentation²⁰, tandis que pour les groupes de chaud et de froid, un certain nombre d'hypothèses ont dû être formulées.

5.4.1 RÉGULATION DES GROUPES DE TRAITEMENT D'AIR DES BUREAUX

La température de pulsion du groupe est fonction de la température de reprise selon les lois suivantes :

- La température de pulsion est égale à 35°C si la température de reprise est égale à 20°C.
- La température de pulsion est égale à 18°C si la température de reprise est égale à 22°C.

Entre ces deux points de fonctionnement, on supposera une loi linéaire, comme illustré sur la Figure 5-6.

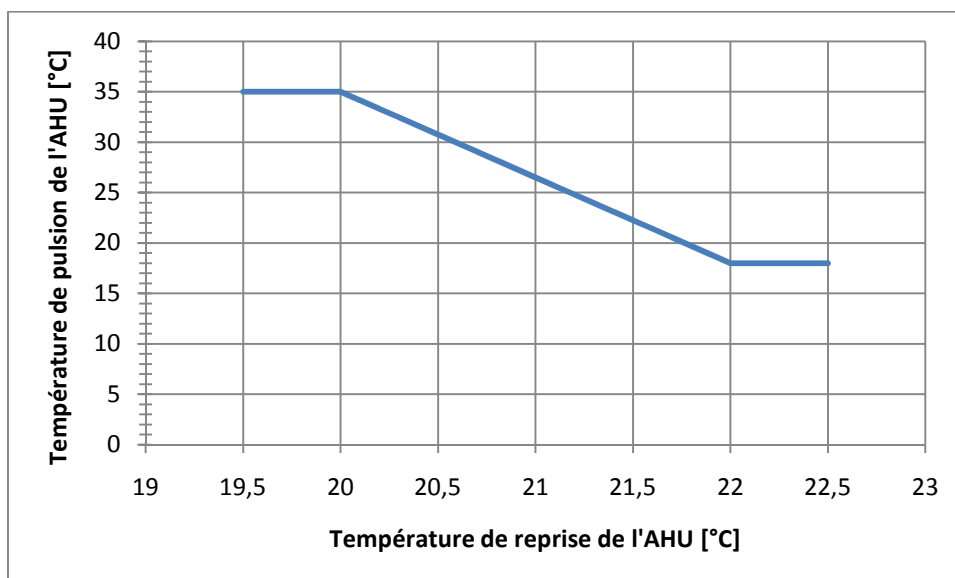


FIGURE 5-6: RELATION T° DE PULSION - T° DE REPRISE D'UNE AHU VAV

Néanmoins, SimAudit base la régulation de la température de pulsion des unités de traitement d'air en fonction de la température à l'extérieur du bâtiment. Il faut donc faire une hypothèse pour adapter la loi de température. Pour réaliser cette hypothèse, on s'est basé sur les éléments suivants :

- Dans la plupart des cas, le point de basculement de la loi de température, i.e. la température se trouvant au milieu de l'intervalle de variation de la température de pulsion, se trouve vers 15°C de température extérieure.
- La température à l'extérieur du bâtiment doit monter ou chuter de plus d'un degré pour entraîner une variation de température d'un degré à l'intérieur du bâtiment.

²⁰ MET Namur – Régulation HVAC Bloc A description des programmes CPU 03

On fait donc l'hypothèse que la plage de variation de la température de pulsion s'étend de 5°C au dessus et en-dessous du point de basculement, situé à 15°C. Ceci donne la loi de température figurant sur la Figure 5-7.

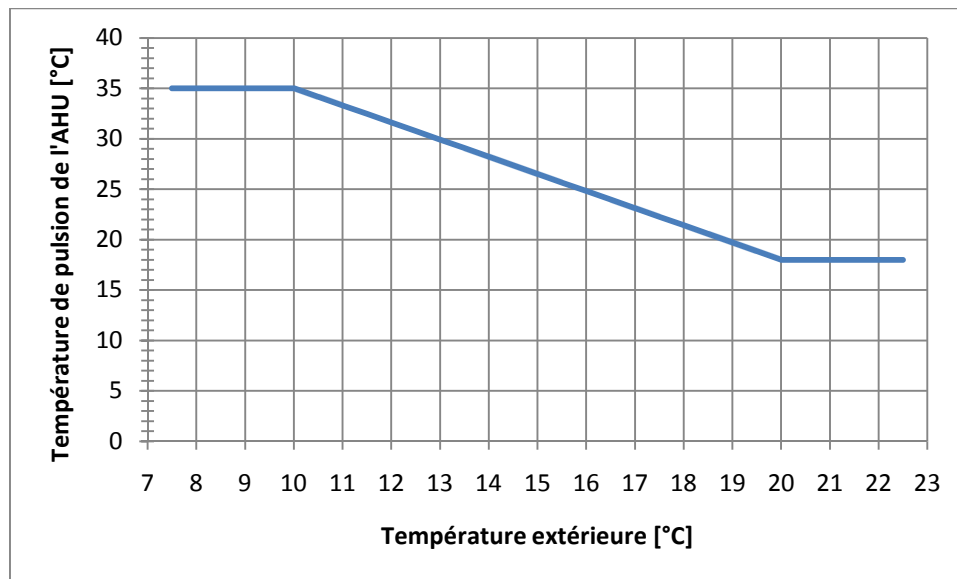


FIGURE 5-7: RELATION T° DE PULSION - T° EXTERIEURE D'UNE AHU VAV

5.4.2 RÉGULATION DES GROUPES DE TRAITEMENT D'AIR DE L'ATRIUM

La température de pulsion du groupe est fonction de la température extérieure selon les lois suivantes^{21 22} :

- La température de pulsion est égale à 33°C si la température de reprise est égale à -10°C.
- La température de pulsion est égale à 15°C si la température de reprise est égale à 30°C.

Entre ces deux points de fonctionnement, on supposera une loi linéaire, comme représenté sur la Figure 5-8.

²¹ André P., Lacôte P., 1999. Projet QG-MET/AIE Annexe 34 – Convention 98/45199. Bâtiment QG-MET à Namur. Synthèse des apports de la simulation à différents stades du cycle de vie du projet.

²² Le document "MET Namur – Régulation HVAC Bloc A description des programmes CPU 03" donne, quant à lui, les consignes de 33°C :-10°C et 18°C :20°C.

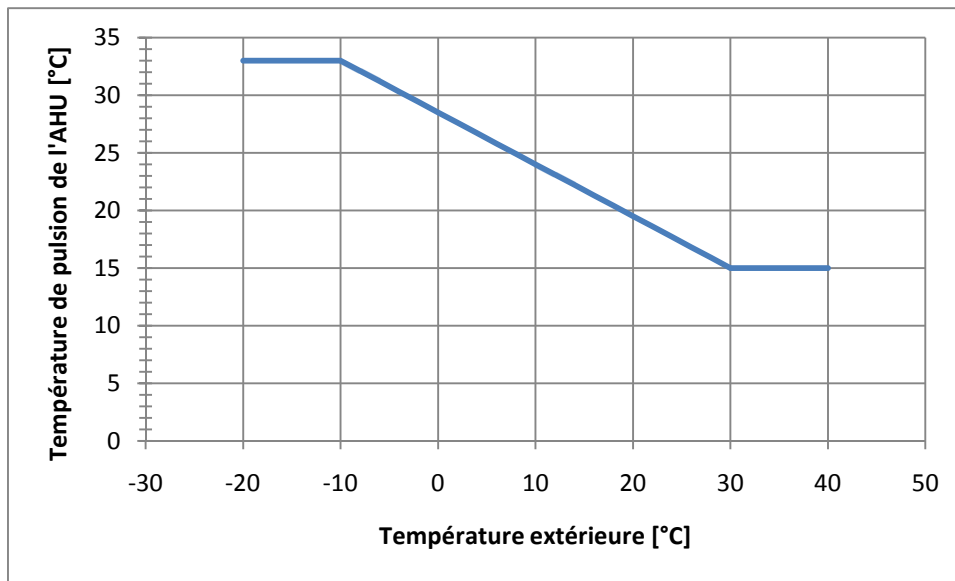


FIGURE 5-8: RELATION T° DE PULSION - T° EXTERIEURE D'UNE AHU CAV

5.4.3 RÉGULATION DU GROUPE DE CHAUD

On ne disposait pas directement des consignes de régulation des chaudières, mais uniquement des consignes de régulation du circuit de radiateurs. Sur base de celles-ci et de certaines hypothèses, on peut déduire une loi pour les chaudières.

La loi de régulation du circuit de radiateurs est la suivante :

- La température de départ est égale à 80°C si la température extérieure est de -10°C.
- La température de départ est égale à 20°C si la température extérieure est de 18°C.
- Le circuit est mis à l'arrêt dès que la température extérieure dépasse 20°C.

Sur base de cette loi, on peut faire les hypothèses suivantes :

- La température de départ maximale du circuit de radiateurs est égale à la température maximale à la sortie de la chaudière.
- La température minimale du circuit de radiateurs ne correspond pas à la température minimale à la sortie de la chaudière. En effet, cette température est obtenue au moyen d'une vanne 3 voies.

On se basera donc sur une température minimale "classique" de 60°C.

- La chaudière sera mise à l'arrêt, comme le circuit de radiateurs, dès que la température extérieure dépassera les 20°C.

Au final, on obtient la loi de température représentée à la Figure 5-9.

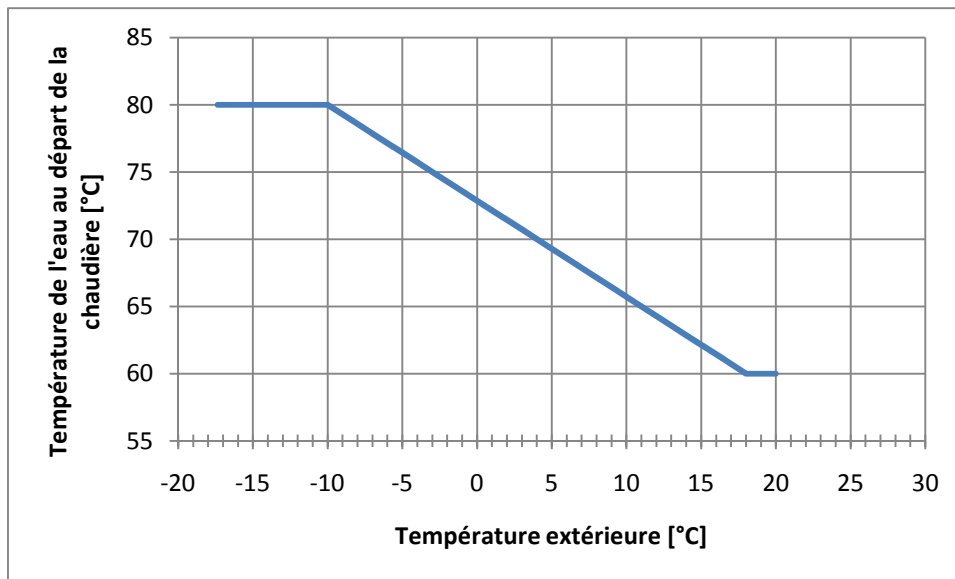


FIGURE 5-9: RELATION T° DE DEPART DE LA CHAUDIERE - T° EXTERIEURE

5.4.4 RÉGULATION DU GROUPE DE FROID

Aucune information concernant la régulation des machines de froid n'ont été trouvées. Dans ce sens, les hypothèses suivantes seront formulées:

- La température en sortie du chiller sera constamment égale à 5,5°C.
- Le chiller cessera de fonctionner dès que la température extérieure chutera en-dessous de 12°C.

5.5 HORAIRES

Le logiciel SimAudit utilise différents horaires de manière à prendre en compte l'évolution temporelle de différents gardeurs (nombre d'occupants, taux d'utilisation de l'éclairage,...) au cours du temps. La description de ces horaires est effectuée ci-après.

5.5.1 OCCUPATION DES LOCAUX

Chaque zone a un nombre théorique maximum d'occupants. Néanmoins, l'occupation évolue au fur et à mesure de la journée et est différente selon qu'il s'agisse d'un jour de semaine ou du week-end.

Pour modéliser cette variabilité de l'occupation, SimAudit fait appel à un facteur d'occupation qui vient pondérer l'occupation maximale de la zone et qui est variable au cours du temps.

Pour les jours ouvrables, le facteur d'occupation à la forme suivante:

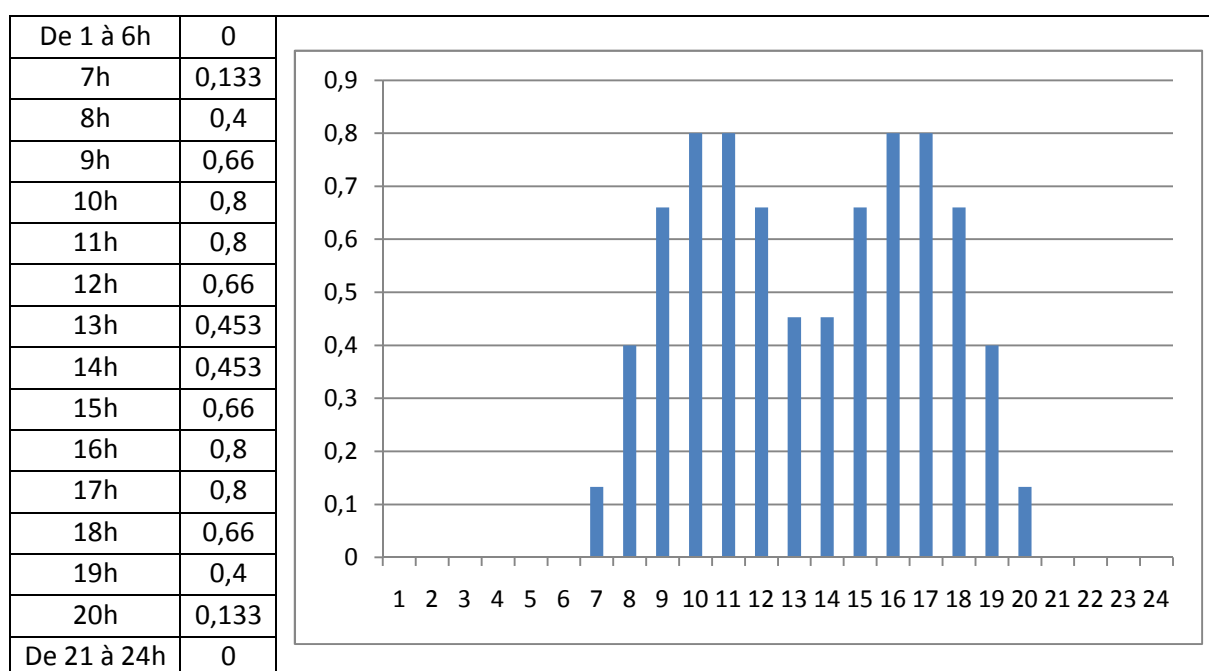


TABLEAU 5-1: FACTEUR D'OCCUPATION (JOURS OUVRABLES)

On considère donc que le bâtiment est occupé de 7 à 20 heures.

De plus, on fait l'hypothèse que tous les occupants du bâtiment arrivent pour 10 heures et que les premiers à partir le font à 17 heures. Cependant, le facteur d'occupation maximal est de 80%, afin de tenir compte des éventuels absents et des personnes en déplacement.

En outre, on observe aussi un creux dans l'occupation en milieu de journée qui est dû aux heures de table.

Pour le week-end, on considère que le bâtiment est inoccupé. De ce fait, le facteur d'occupation est mis à zéro pour tout le week-end.

5.5.2 UTILISATION DES APPAREILS ET DE L'ÉCLAIRAGE

En ce qui concerne les appareils et l'éclairage, la philosophie est la même que pour l'occupation. On définit un facteur d'utilisation qui pondérera l'utilisation maximale des appareils ou de l'éclairage au cours de la journée.

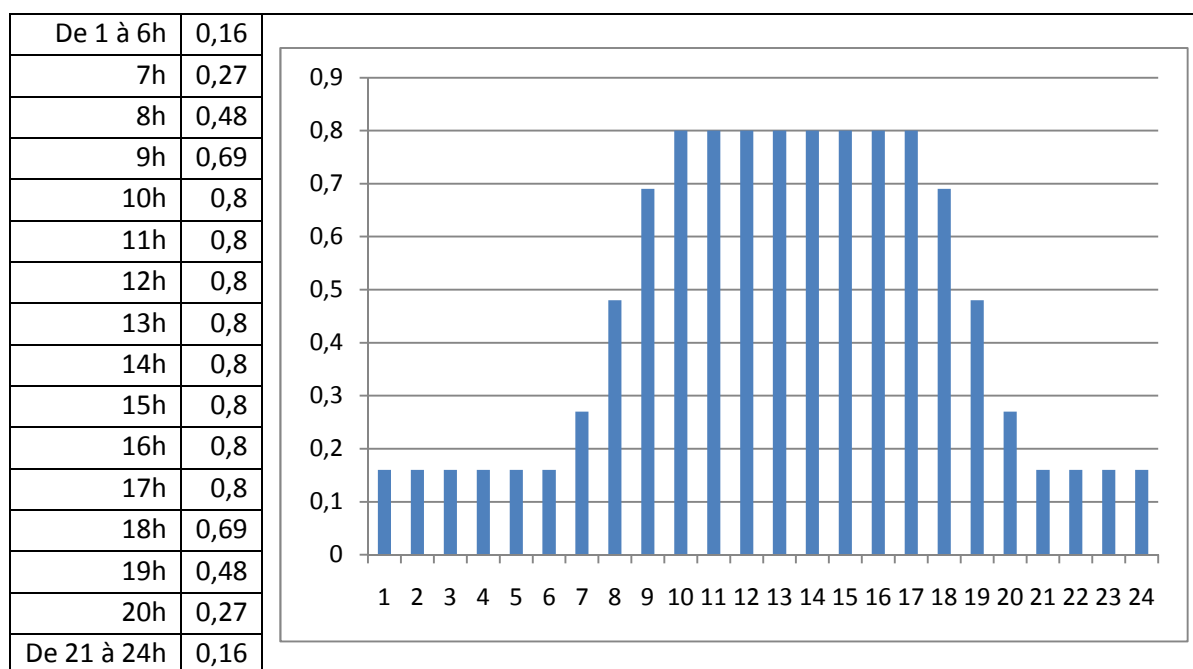


TABLEAU 5-2: FACTEUR D'UTILISATION DES APPAREILS ET DE L'ÉCLAIRAGE (JOURS OUVRABLES)

On considère qu'il y a toujours un minimum de 16% des appareils et de l'éclairage en activité, même en dehors des heures d'occupation du bâtiment. Ce faisant, on tient compte du comportement des occupants qui oublieraient d'éteindre leurs appareils ou l'éclairage en leur absence.

De manière assez logique, on fait l'hypothèse que le taux d'utilisation des appareils et de l'éclairage augmente en même temps que le taux d'occupation à partir de 10 heures et diminue de même manière à partir de 17 heures.

De plus, on suppose que les occupants ne prennent pas la peine d'éteindre leurs appareils ou l'éclairage durant leur temps de midi.

Pour ce qui est du week-end, on considère un facteur d'utilisation constant de 16%, comme pour la semaine en absence d'occupation.

5.5.3 RESPECT DES CONSIGNES DE TEMPÉRATURE ET D'HUMIDITÉ

La température et l'humidité au sein du bâtiment ne sont contrôlées que pendant une certaine période de la journée. En dehors de cette période, on les laisse varier librement (dans des bornes raisonnables).

Un horaire spécifique est défini dans SimAudit, de façon à indiquer les heures pendant lesquelles l'ambiance est contrôlée. L'horaire est à 1 quand l'ambiance est contrôlée et à 0 en autre temps.

En semaine, l'horaire de consigne est le suivant:

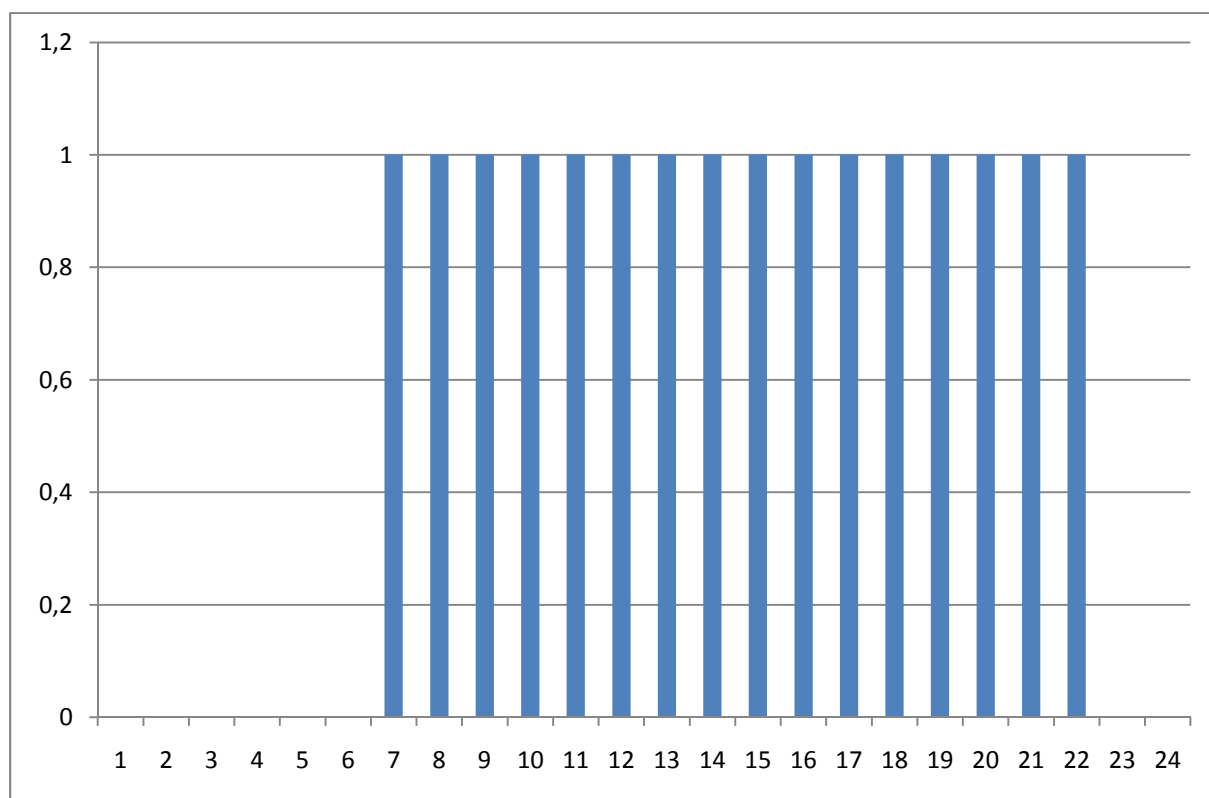


TABLEAU 5-3: COEFFICIENT D'APPLICATION DE LA CONSIGNE

L'ambiance est contrôlée entre 7 et 22 heures, tandis que de 23 à 6 heures elle varie librement ou presque.

Le week-end, l'horaire de consigne est constamment à 0 et ni la température, ni l'humidité ne sont contrôlées.

6 CALCULS PRÉLIMINAIRES À LA SIMULATION

Sim Audit demande d'encoder une série de données qui ne sont pas disponibles immédiatement dans la documentation, mais qui doivent être calculées sur base de celle-ci.

6.1 CALCUL DES COEFFICIENTS DE TRANSMISSION DES PAROIS OPAQUES

6.1.1 DIMENSIONS ET COMPOSITIONS DES PAROIS

Pour plus de clarté, les plans des parois des différentes parties du bloc de référence ont été retracés et sont visibles dans l'Annexe A.

Sur ces plans, des noms de code sont utilisés pour désigner les parties de parois de compositions différentes. Le détail de ces compositions se trouve dans l'Annexe B.

Les coefficients de transmission thermique de chaque type de paroi ont été calculés et sont repris ci-dessous:

Nom de la paroi	U (W/m ² K)
ALLEGE	0,4052
ALLRUE	0,3959
ATRIUM	1,8021
CLOISON	0,3457
ELBET	2,0351
EXTNORD	0,4653
EXTSUD	0,4312
PLACARD	0,7047
PLAFBUR	1,0735
PLAFCOU	1,8810
PLANBUR	1,0735
PLANCOU	1,8810
PORTE	1,7783
TERRASSE	0,5054

Se basant sur ces coefficients, on peut calculer un coefficient global caractérisant chaque mur en suivant la démarche suivante:

- Soit un mur composé de N types de parois différents.
- Soit $S_1, S_2, \dots, S_N$ les surfaces respectives de ces N types de parois
- Soit $U_1, U_2, \dots, U_N$ les coefficients de transmission relatifs à chaque type de parois

On peut obtenir le coefficient de transmission du mur de la manière suivante:

$$\begin{aligned}
 U_{mur} &= \frac{U_1 \cdot S_1 + U_2 \cdot S_2 + \dots + U_N \cdot S_N}{S_1 + S_2 + \dots + S_N} \\
 &= \frac{U_1 \cdot S_1 + U_2 \cdot S_2 + \dots + U_N \cdot S_N}{S_{mur}} \\
 &= \frac{1}{S_{mur}} \cdot \sum_{i=1}^N U_i \cdot S_i
 \end{aligned}$$

En appliquant cette démarche, on a pu calculer les coefficients de transmission des parois de chaque partie du bloc de référence.

6.1.2 CALCUL DES COEFFICIENTS DE TRANSMISSION DU BUREAU 1

Type paroi U Parois	ALLEGE 0,41	CLOISON 0,35	ELBET 2,04	EXTSUD 0,43	PLACARD 1,41	PLAFBUR 1,07	PLANBUR 1,07	PORTE 1,78	Aire totale cm²	Aire totale m²	U W/m²K
Nord	21600	165000 165000	33600	79200	80000	210000	210000	25000	138600	13,86	1,63
Sud									100800	10,08	0,43
Est									165000	16,5	0,35
Ouest									165000	16,5	0,35
Plafond									210000	21	1,07
Plancher							210000	210000	21	1,07	

TABLEAU 6-1 : COEFFICIENTS DE TRANSMISSION DU BUREAU 1

6.1.3 CALCUL DES COEFFICIENTS DE TRANSMISSION DU COULOIR 2

Type paroi U Parois	ELBET 2,04	PLACARD 1,41	PLAFCOU 1,88	PLANCOU 1,88	PORTE 1,78	Aire totale cm ²	Aire totale m ²	U W/m ² K
Nord	33600	80000	84000 84000		25000	138600	13,86	1,63
Sud	33600	80000			25000	138600	13,86	1,63
Plafond						84000	8,4	1,88
Plancher						84000	8,4	1,88

TABLEAU 6-2: COEFFICIENTS DE TRANSMISSION DU COULOIR 2

6.1.4 CALCUL DES COEFFICIENTS DE TRANSMISSION DU BUREAU 3

Type paroi U Parois	ALLRUE 0,40	ATRIUM 1,80	CLOISON 0,35	ELBET 2,04	PLACARD 1,41	PLAFBUR 1,07	PLANBUR 1,07	PORTE 1,78	Aire totale cm ²	Aire totale m ²	U W/m ² K
Nord	17600	48700	165000 165000	33600	80000	210000	210000	25000	66300	6,63	1,43
Sud									138600	13,86	1,63
Est									165000	16,5	0,35
Ouest									165000	16,5	0,35
Plafond									210000	21	1,07
Plancher									210000	21	1,07

TABLEAU 6-3: COEFFICIENTS DE TRANSMISSION DU BUREAU 3

6.1.5 CALCUL DES COEFFICIENTS DE TRANSMISSION DU BUREAU 4

Type paroi	ALLRUE	ATRIUM	CLOISON	ELBET	PLACARD	PLAFBUR	PLANBUR	PORTE	Aire totale cm ²	Aire totale m ²	U W/m ² K
U Parois	0,40	1,80	0,35	2,04	1,41	1,07	1,07	1,78			
Nord				33600	80000			25000	138600	13,86	1,63
Sud	17600	48700							66300	6,63	1,43
Est			165000						165000	16,5	0,35
Ouest			165000						165000	16,5	0,35
Plafond						210000			210000	21	1,07
Plancher							210000		210000	21	1,07

TABLEAU 6-4: COEFFICIENTS DE TRANSMISSION DU BUREAU 4

6.1.6 CALCUL DES COEFFICIENTS DE TRANSMISSION DU COULOIR 5

Type paroi	ELBET	PLACARD	PLAFCOU	PLANCOU	PORTE	Aire totale cm ²	Aire totale m ²	U W/m ² K
U Parois	2,04	1,41	1,88	1,88	1,78			
Nord	33600	80000			25000	138600	13,86	1,63
Sud	33600	80000			25000	138600	13,86	1,63
Plafond			84000			84000	8,4	1,88
Plancher			84000			84000	8,4	1,88

TABLEAU 6-5: COEFFICIENTS DE TRANSMISSION DU COULOIR 5

6.1.7 CALCUL DES COEFFICIENTS DE TRANSMISSION DU BUREAU 6

Type paroi	ALLEGE	CLOISON	ELBET	EXTNORD	PLACARD	PLAFBUR	PLANBUR	PORTE	Aire totale cm ²	Aire totale m ²	U W/m ² K
U Parois	0,41	0,35	2,04	0,43	1,41	1,07	1,07	1,78			
Nord	24800			48700					73500	7,35	0,42
Sud			33600		80000			25000	138600	13,86	1,63
Est		231000							231000	23,1	0,35
Ouest		231000							231000	23,1	0,35
Plafond						294000			294000	29,4	1,07
Plancher							294000		294000	29,4	1,07

TABLEAU 6-6: COEFFICIENTS DE TRANSMISSION DU BUREAU 6

6.1.8 CALCUL DES COEFFICIENTS DE TRANSMISSION DE L'ATRIUM

Type paroi	ALLRUE	ATRIUM	PLANBUR	TERRASSE	Aire totale cm ²	Aire totale m ²	U W/m ² K
U Parois	0,40	1,80	1,07	0,51			
Nord	52800	146100			198900	19,89	1,429
Sud	52800	146100			198900	19,89	1,429
Plafond				100800	100800	10,08	0,505
Plancher			378000		378000	37,8	1,073

TABLEAU 6-7: COEFFICIENTS DE TRANSMISSION DE L'ATRIUM

6.2 PROPRIÉTÉS DES FENÊTRES

Les fenêtres devront être traitées d'une manière différente selon qu'elles fassent partie d'un mur externe ou non. En effet, les fenêtres situées sur les parois externes vont jouer un rôle au niveau des gains solaires, tandis que les fenêtres des parois internes seront considérées comme des parois classiques.

Pour les fenêtres externes, il faut calculer les paramètres suivants:

- Le coefficient de transmission du châssis, U_{fr}
- Le coefficient de transmission du vitrage, U_{gl}
- Le coefficient de gain solaire, SHGC
- Le ratio fenêtre-châssis, FWR

U_{fr} et U_{gl} sont directement fournis dans la documentation, tandis que le SHGC doit être calculé à l'aide du logiciel Windows5²³. Quant au FWR, il se calcule simplement par:

$$FWR = \frac{\text{Aire du châssis}}{\text{Aire de la fenêtre}}$$

Pour les fenêtres internes, il faut calculer leur coefficient de transmission global et leur surface.

Normalement, le coefficient de transmission global d'une fenêtre doit être calculé suivant²⁴:

$$U_{wd} = \frac{U_{cg} \cdot A_{cg} + U_{eg} \cdot A_{eg} + U_{fr} \cdot A_{fr}}{A_{wd}}$$

Avec:

- U_{cg} , le coefficient de transmission au centre du vitrage et A_{cg} l'aire de celui-ci
- U_{eg} , le coefficient de transmission au bord du vitrage et A_{eg} l'aire de celui-ci
- U_{fr} , le coefficient de transmission du châssis et A_{fr} l'aire de celui-ci

Cependant, U_{eg} n'est pas fourni dans la documentation et on fera l'hypothèse simplificatrice suivante:

$$U_{cg} = U_{eg} = U_{gl}$$

$$A_{cg} + A_{eg} = A_{gl}$$

Ce qui donne:

$$U_{wd} = \frac{U_{gl} \cdot A_{gl} + U_f \cdot A_f}{A_{wd}}$$

En effectuant ces calculs pour chaque zone, on obtient les résultats présentés ci-dessous (le SHGC n'étant nécessaire que pour les murs extérieurs).

6.2.1 ZONE 1

Bureau 1 (mur sud - extérieur):

	Châssis	Vitrage	Fenêtre
Surface [m²]	0,76	3,02	3,78
U [W/m²K]	2,860	1,990	2,165
		FWR	0,20

TABLEAU 6-8: CALCUL DU COEFFICIENT DE TRANSMISSION DE LA FENÊTRE DU BUREAU 1

$$SHGC = 0,636$$

²³ WINDOW 5.2, logiciel gratuit téléchargeable à l'adresse suivante:

<http://windows.lbl.gov/software/window/window.html>

²⁴ ASHRAE handbook series, Chapter 15, Fenestration

Bureau 3 (mur nord - intérieur):

	Châssis	Vitrage	Fenêtre
Surface [m²]	1,45	5,78	7,23
U [W/m²K]	2,450	3,880	3,593
		FWR	0,20

TABLEAU 6-9: CALCUL DU COEFFICIENT DE TRANSMISSION DE LA FENÊTRE DU BUREAU 3

6.2.2 ZONE 2

Bureau 4 (mur sud - intérieur):

	Châssis	Vitrage	Fenêtre
Surface [m²]	1,45	5,78	7,23
U [W/m²K]	2,450	3,880	3,593
		FWR	0,20

TABLEAU 6-10: CALCUL DU COEFFICIENT DE TRANSMISSION DE LA FENÊTRE DU BUREAU 4

Bureau 6 (mur nord - extérieur):

	Châssis	Vitrage	Fenêtre
Surface [m²]	1,3	5,21	6,51
U [W/m²K]	2,860	2,810	2,820
		FWR	0,20

TABLEAU 6-11: CALCUL DU COEFFICIENT DE TRANSMISSION DE LA FENÊTRE DU BUREAU 6

$$SHGC = 0,721$$

6.2.3 ZONE 3

Atrium (verrière - extérieur) :

	Châssis	Vitrage	Fenêtre
Surface [m²]	5,544	22,176	27,72
U [W/m²K]	2,860	2,830	2,836
		FWR	0,20

TABLEAU 6-12: CALCUL DU COEFFICIENT DE TRANSMISSION DE LA FENÊTRE DE L'ATRIUM

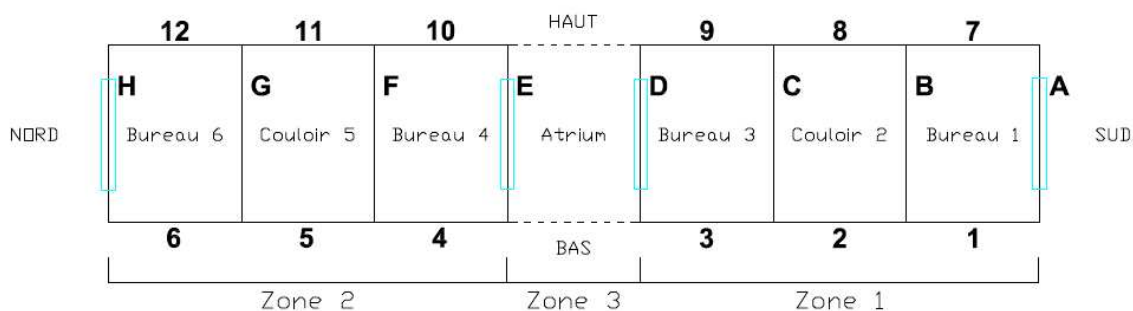
$$SHGC = 0,700$$

6.3 TYPES DE PAROIS

Dans SimAudit, il y a 6 types de parois différentes, à l'exception des fenêtres:

- Le type "mur externe" (opaque external wall)
- Le type "mur adjacent" (adjacent wall)
- Le type "sol" (floor)
- Le type "plafond" (ceiling)
- Le type "mur interne" (internal walls)
- Le type "toit" (roof)

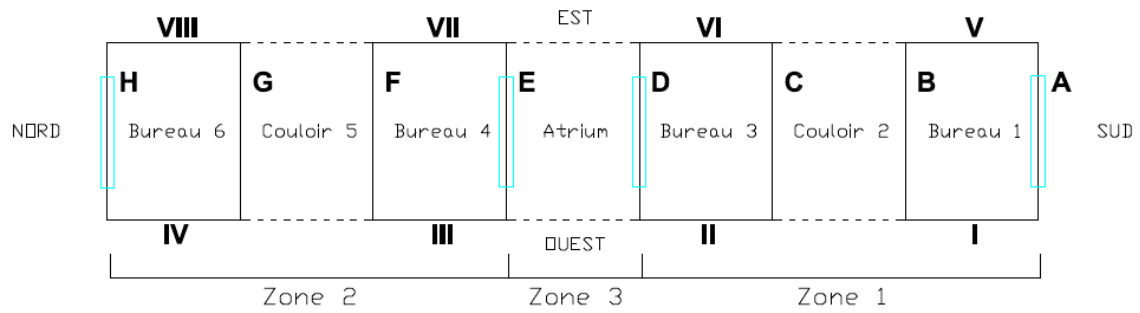
Afin de rendre la compréhension des calculs plus facile, les 3 figures suivantes reprennent de façon schématique le type, la surface, le coefficient de transmission et la position de chaque paroi (le calcul des coefficients de transmission globaux a été effectué de la façon décrite au point 6.1).



	Type de paroi	Surface (m²)	U (W/m²K)	Zone		Type de paroi	Surface (m²)	U (W/m²K)	Zone
1	Floor	21	1,073	1	A (fenêtre)	External	13,86	0,876	1
2	Floor	8,4	1,881	1	A (fenêtre)	External	10,08	0,426	1
3	Floor	21	1,073	1	B	Internal	13,86	1,629	1
4	Floor	21	1,073	2	C	Internal	13,86	1,629	1
5	Floor	8,4	1,881	2	D (fenêtre)	Adjacent	13,86	2,634	1 & 3
6	Floor	29,4	1,073	2	D (fenêtre)	Adjacent	6,63	1,429	1 & 3
7	Ceiling	21	1,073	1	E (fenêtre)	Adjacent	13,86	2,634	2 & 3
8	Ceiling	8,4	1,881	1	E (fenêtre)	Adjacent	6,63	1,429	2 & 3
9	Ceiling	21	1,073	1	F	Internal	13,86	1,629	2
10	Ceiling	21	1,073	2	G	Internal	13,86	1,629	2
11	Ceiling	8,4	1,881	2	H (fenêtre)	External	13,86	1,555	2
12	Ceiling	29,4	1,073	2	H (fenêtre)	External	7,35	0,422	2

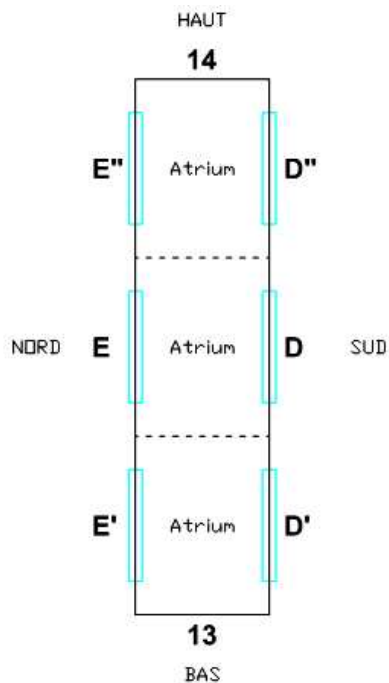
Remarque: La zone 3 s'étend sur 3 étages de haut

FIGURE 6-1: PAROIS DES ZONES (VUE DE PROFIL)



	Type de paroi	Surface (m²)	U (W/m²K)	Zone
I	Adjacent	16,5	0,346	1
II	Adjacent	16,5	0,346	1
III	Adjacent	16,5	0,346	2
IV	Adjacent	23,1	0,346	2
V	Adjacent	16,5	0,346	1
VI	Adjacent	16,5	0,346	1
VII	Adjacent	16,5	0,346	2
VIII	Adjacent	23,1	0,346	2
A (fenêtre)	External	13,86	0,876	1
A (fenêtre)	External	10,08	0,426	1
B	Internal	13,86	1,629	1
C	Internal	13,86	1,629	1
D (fenêtre)	Adjacent	13,86	2,634	1 & 3
D (fenêtre)	Adjacent	6,63	1,429	1 & 3
E (fenêtre)	Adjacent	13,86	2,634	2 & 3
E (fenêtre)	Adjacent	6,63	1,429	2 & 3
F	Internal	13,86	1,629	2
G	Internal	13,86	1,629	2
H (fenêtre)	External	13,86	1,555	2
H (fenêtre)	External	7,35	0,422	2

FIGURE 6-2: PAROIS DES ZONES (VUE EN PLAN)



	Type de paroi	Surface (m²)	U (W/m²K)	Zone
E (fenêtre)	Adjacent	13,86	2,634	2 & 3
E (fenêtre)	Adjacent	6,63	1,429	2 & 3
D' (fenêtre)	Adjacent	13,86	2,634	3
D' (fenêtre)	Adjacent	6,63	1,429	3
E' (fenêtre)	Adjacent	13,86	2,634	3
E' (fenêtre)	Adjacent	6,63	1,429	3
D'' (fenêtre)	Adjacent	13,86	2,634	3
D'' (fenêtre)	Adjacent	6,63	1,429	3
E'' (fenêtre)	Adjacent	13,86	2,634	3
E'' (fenêtre)	Adjacent	6,63	1,429	3
13	Floor	37,8	1,073	3
14	Roof	37,8	2,214	3
14 (fenêtre)	Roof	10,08	0,505	3

FIGURE 6-3: PAROIS DE LA ZONE 3

En se basant sur ces schémas, on peut calculer, pour chaque zone, la surface de chaque type de paroi et les coefficients de transmission des parois de types "externe" et "toit".

6.3.1 ZONE 1

Murs externes (opaque external walls):

$$A_{opw,1} = A_{A, fen\hat{e}tre} = 10,08m^2$$

$$U_{opw,1} = 0,426W/m^2K$$

Murs adjacents (adjacent walls):

$$\begin{aligned} A_{adj,1} &= A_I + A_{II} + A_V + A_{VI} + A_{D, fen\hat{e}tre} \\ &= 16,5 + 16,5 + 16,5 + 16,5 + 6,63 \\ &= 72,63m^2 \end{aligned}$$

Sols (floors):

$$\begin{aligned} A_{fl,1} &= A_1 + A_2 + A_3 \\ &= 21 + 8,4 + 21 \\ &= 50,4m^2 \end{aligned}$$

Plafonds (ceilings):

$$\begin{aligned} A_{cl,1} &= A_7 + A_8 + A_9 \\ &= 21 + 8,4 + 21 \\ &= 50,4m^2 \end{aligned}$$

Murs internes (internal walls):

$$\begin{aligned} A_{int,1} &= A_B + A_C \\ &= 13,86 + 13,86 \\ &= 27,72m^2 \end{aligned}$$

6.3.2 ZONE 2

Murs externes (opaque external walls):

$$A_{opw,2} = A_{H, sans fen\hat{e}tre} = 7,35m^2$$

$$U_{opw,2} = 0,422W/m^2K$$

Murs adjacents (adjacent walls) :

$$\begin{aligned} A_{adj,2} &= A_{III} + A_{IV} + A_{VII} + A_{VIII} + A_{E, fen\hat{e}tre} \\ &= 16,5 + 23,1 + 16,5 + 23,1 + 6,63 \\ &= 85,83m^2 \end{aligned}$$

Sols (floors):

$$\begin{aligned}A_{fl,2} &= A_4 + A_5 + A_6 \\&= 21 + 8,4 + 29,4 \\&= 58,8m^2\end{aligned}$$

Plafonds (ceilings):

$$\begin{aligned}A_{cl,2} &= A_7 + A_8 + A_9 \\&= 21 + 8,4 + 29,4 \\&= 58,8m^2\end{aligned}$$

Murs internes (internal walls):

$$\begin{aligned}A_{int,2} &= A_F + A_G \\&= 13,86 + 13,86 \\&= 27,72m^2\end{aligned}$$

6.3.3 ZONE 3

Murs adjacents (adjacent walls):

$$\begin{aligned}A_{adj,3} &= A_{E, fen\hat{e}tre} + A_{E', fen\hat{e}tre} + A_{E'', fen\hat{e}tre} + A_{D, fen\hat{e}tre} + A_{D', fen\hat{e}tre} + A_{D'', fen\hat{e}tre} \\&= 6,63 + 6,63 + 6,63 + 6,63 + 6,63 + 6,63 \\&= 39,78m^2\end{aligned}$$

Sols (floors):

$$\begin{aligned}A_{fl,3} &= A_{13} \\&= 37,8m^2\end{aligned}$$

Toit (Roof):

$$\begin{aligned}A_{rf,3} &= A_{14, fen\hat{e}tre} \\&= 10,08m^2\end{aligned}$$

$$U_{rf,3} = 0,505W/m^2K$$

6.4 PROPRIÉTÉS DES MACHINES

Le logiciel nécessite aussi l'encodage de propriété relatives aux machines qu'on peut soit trouver directement dans la documentation, soit calculer sur base de données présentes dans les fiches techniques des machines.

6.4.1 PUISSANCES SPÉCIFIQUES DES VENTILATEURS (SPECIFIC FAN POWER, SFP)

La puissance spécifique d'un ventilateur est définie comme suit²⁵:

$$SFP = \frac{P}{Q}$$

Avec:

- SFP, la puissance spécifique du ventilateur [$W/m^3 s^{-1}$]
- P, la puissance absorbée par le ventilateur [W]
- Q, le débit d'air traversant le ventilateur [m^3/s]

Sur base des données des fiches techniques, on va pouvoir calculer le SFP de chaque ventilateur.

Ventilateur du groupe "Gs1":

$$\left. \begin{array}{l} P = 11,18 kW \\ Q = 5,14 m^3/s \end{array} \right\} SFP = \frac{11180}{5,14} = 2175 W/m^3 s^{-1}$$

Ventilateur du groupe "Gn1":

$$\left. \begin{array}{l} P = 8,60 kW \\ Q = 3,47 m^3/s \end{array} \right\} SFP = \frac{8600}{3,47} = 2478 W/m^3 s^{-1}$$

Ventilateur du groupe "Gs2":

$$\left. \begin{array}{l} P = 1,97 kW \\ Q = 1,03 m^3/s \end{array} \right\} SFP = \frac{1970}{1,03} = 1913 W/m^3 s^{-1}$$

Ventilateur du groupe "Gn2":

$$\left. \begin{array}{l} P = 2,02 kW \\ Q = 1,08 m^3/s \end{array} \right\} SFP = \frac{2020}{1,08} = 1870 W/m^3 s^{-1}$$

Comme expliqué au point 3.2, les groupes "Gs2" et "Gn2" ont été fusionné en un seul. Il faut donc calculer un SFP pour ce nouveau groupe.

Ventilateur CAV:

$$\left. \begin{array}{l} P = 3,99 kW \\ Q = 2,11 m^3/s \end{array} \right\} SFP = \frac{3990}{2,11} = 1891 W/m^3 s^{-1}$$

²⁵ NBN EN 13779, 2007. Ventilation des bâtiments non résidentiels – Exigences de performances pour les systèmes de ventilation et de conditionnement d'air.

6.4.2 COEFFICIENT D'EFFICACITÉ FRIGORIFIQUE DES MACHINES DE FROID (ENERGY EFFICIENCY RATIO, EER)

Le coefficient d'efficacité frigorifique est défini comme suit:

$$EER = \frac{P_{fr}}{P_{abs}}$$

Avec:

- EER, le coefficient d'efficacité frigorifique [/]
- P_{fr} , la puissance frigorifique fournie par la machine de froid [kW]
- P_{abs} , la puissance totale absorbée par la machine de froid [kW]

Sur base des données fournies par les fiches techniques des 2 machines de froid, leur coefficient d'efficacité frigorifique va pouvoir être déterminé.

Machine de froid "Est" (modèle "RTA 328"):

$$\left. \begin{array}{l} P_{fr} = 869,5kW \\ P_{abs} = 273,5kW \end{array} \right\} EER = \frac{869,5}{273,5} = 3,179$$

Machine de froid "Ouest" (modèle "RTA 430"):

$$\left. \begin{array}{l} P_{fr} = 956,5kW \\ P_{abs} = 304,2kW \end{array} \right\} EER = \frac{956,5}{304,2} = 3,144$$

Néanmoins, SimAudit ne considère qu'un seul groupe de froid et donc un seul EER. Il va donc falloir fusionner les 2 groupes de froid en un seul et calculer un EER pour ce nouveau groupe.

Machine de froid "totale":

$$\left. \begin{array}{l} P_{fr} = 1826kW \\ P_{abs} = 577,7kW \end{array} \right\} EER = \frac{1826}{577,7} = 3,161$$

6.4.3 RENDEMENT NOMINAL DU GROUPE DE CHAUD

SimAudit demande également d'encoder le rendement nominal du groupe de chaud.

Cependant, on ne disposait pas de cette information.

Néanmoins, on disposait d'une mesure du rendement moyen du groupe de chaud (égal à 84%) et comme SimAudit calcule aussi le rendement moyen du boiler, le rendement nominal qu'il fallait attribuer au groupe de chaud afin d'atteindre cette valeur moyenne a pu être déterminé.

Ainsi, le rendement nominal du boiler a été établi à 90%.

6.5 EVALUATION DES GAINS INTERNES

Dans SimAudit, les gains internes sont séparés en 4 parties:

- Les gains dus à l'occupation (le nombre de personnes présentes dans une zone et leur activité)
- Les gains dus aux appareils électriques (PC, imprimante,...)
- Les gains dus à l'éclairage (fonction du type d'éclairage et de l'intensité de celui-ci)
- Les gains dus aux processus (présence d'une cuisine,...)

6.5.1 GAINS DU À L'OCCUPATION

Les gains dus aux appareils, à l'éclairage et aux processus sont encodés directement dans le logiciel; en Watts pour ce qui est des appareils ou des processus et en Watts par mètre carré pour ce qui est de l'éclairage.

Les gains dus à l'occupation, quant à eux, se calculent de manière différente. En effet, ils sont définis en Met. Le Met est l'unité d'énergie métabolique:

$$1 \text{ Met} = 58 \text{ W/m}^{226}$$

Le gain de chaleur engendré par un occupant pourra varier entre 1 et 1,2 Met.

6.5.2 GAINS DUS AUX APPAREILS ÉLECTRIQUES

On fera l'hypothèse qu'il n'y a des appareils électriques que dans les zones de bureaux.

On sait que les bureaux sont occupés par 2 personnes. Sur base de cela, on suppose qu'un bureau type renferme les éléments suivants:

- 2 tours d'ordinateur
- 2 écrans d'ordinateur
- 1 imprimante laser

En prenant en compte la date de mise en service du bâtiment pour avoir une idée de la vétusté des équipements et en se rapportant à la documentation²⁷, les gains relatifs aux appareils électriques situés dans un bureau peuvent être calculés et valent :

Tour d'ordinateur	65W
Ecran d'ordinateur	30W
Imprimante laser	110W

TABLEAU 6-13: PUISSANCE DU MATÉRIEL PRÉSENT DANS UN BUREAU TYPE DU BLOC DE RÉFÉRENCE

²⁶ La surface du corps humain peut être considérée égale à environ 1,8 m²

²⁷ 2009 ASHRAE Handbook – Fundamentals, Chapter 18, Nonresidential cooling and heating load calculations

6.5.3 GAINS DU À L'ÉCLAIRAGE

La documentation²⁸ fournit une puissance d'éclairage au mètre carré en fonction du type de pièce dont il s'agit. Dans le cas qui nous occupe, les valeurs relevées sont les suivantes:

Bureaux	$12W/m^2$
Couloirs	$5W/m^2$
Atrium	$6W/m^2$

TABLEAU 6-14: PUISSANCE DE L'ÉCLAIRAGE AU SEIN DU BLOC DE RÉFÉRENCE

6.5.4 GAINS DUS AUX PROCESSUS

Il n'y a aucun processus dans le bloc de référence qui nous intéresse. Les gains affectés aux processus seront donc pris égaux à 0.

²⁸ 2009 ASHRAE Handbook – Fundamentals, Chapter 18, Nonresidential cooling and heating load calculations

7 EXPLOITATION DES MESURES

7.1 CONSOMMATION ÉLECTRIQUE

En ce qui concerne la consommation électrique, on dispose, entre autres, des données suivantes:

1. Puissance électrique du groupe de froid 1 (Ouest), P_1
2. Puissance électrique du groupe de froid 2 (Est), P_2
3. Puissance électrique des circulateurs de la boucle d'eau glacée 1, P_3
4. Puissance électrique des circulateurs de la boucle d'eau glacée 2, P_4
5. Puissance électrique du circulateur du groupe de chaud, P_5
6. Puissance électrique de la sous-station "Gs-Hs", P_6
7. Puissance électrique de la sous-station "Gn-Hn", P_7

Ces relevés peuvent être séparés en 2 groupes:

- Ceux qui concernent une puissance utilisée au bénéfice de tout le bâtiment (P_1 à P_5).
- Ceux qui concernent une puissance utilisée au bénéfice des seuls modules "G" et "H" (P_6 et P_7).

Chaque groupe sera traité de façon différente.

D'une part, les 5 premières puissances listées ci-dessus servent à la production de froid, ainsi qu'à la distribution de chaud et de froid dans tout le bâtiment. Il faut donc pouvoir extraire la part de puissance consommée qui concerne les modules "G" et "H". Pour ce faire, on peut se baser sur le tableau suivant, déjà présenté au point 0, reprenant les surfaces de bureaux de chaque module.

Module	Surface des bureaux
[-]	[m ²]
A	630
B	1680
C	2100
D	2520
E	2100
F	2520
G	2100
H	1680
I	1680
J	2940
K	2940
L	1260
M	0

Surface totale	24150 m ²
Surface des modules G et H	3780 m ²
Rapport	0,1565

TABEAU 7-1: RÉPARTITION DES SURFACES DE BUREAUX AU SEIN DU CA-MET

On pondérera les consommations obtenue d'un facteur 0,1565 afin de se ramener aux seuls modules "G" et "H".

D'autre part, les 2 dernières puissances de la liste concernant directement les modules "G" et "H" et peuvent être utilisées telles quelles.

La puissance utilisée afin de climatiser les modules "G" et "H" est donc calculée par:

$$P_{GH} = 0,1565. (P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5) + P_6 + P_7$$

Il suffit ensuite d'intégrer cette puissance, pour obtenir la consommation électrique pour la partie HVAC concernant les modules "G" et "H".

Ce faisant, on obtient les résultats suivants:

	GnHn	GsHs	Froid 1	Froid 2	Circ. F. (1)	Circ. F. (2)	Circ. E.C.	Total HVAC G et H
avr-02	3115,1	2540,9	1424,2	315,1	157,5	71,3	412,9	8037,0
mai-02	2690,7	2575,8	956,9	2523,5	158,1	626,6	275,9	9807,6
juin-02	2281,5	2229,2	596,4	4638,9	126,8	850,8	86,2	10809,9
juil-02	2590,9	2560,3	3079,2	530,5	147,2	244,3	43,1	9195,5
août-02	2441,5	2426,9	3976,8	987,7	139,1	168,5	102,0	10242,5
sept-02	2410,8	2369,5	1105,7	1973,3	131,9	449,7	179,4	8620,3
oct-02	2756,7	2593,4	1167,8	1652,6	143,2	377,9	492,6	9184,4
nov-02	3075,9	2378,0	1377,8	680,8	132,3	189,1	576,9	8410,8
déc-02	3567,4	2536,7	798,2	1330,2	141,1	389,0	772,0	9534,5
janv-03	4788,4	3194,7	0,0	2635,5	177,9	809,4	903,6	12509,5
févr-03	3902,9	2338,9	1210,4	412,7	132,8	143,6	792,0	8933,2
mars-03	3853,7	3061,2	1500,8	803,6	146,1	183,0	759,2	10307,7
Année	37475,5	30805,4	17194,2	18484,4	1734,2	4503,3	5395,8	115592,8

TABLEAU 7-2: CONSOMMATIONS ÉLECTRIQUES RELATIVES À LA CLIMATISATION DES MODULES "G" ET "H"

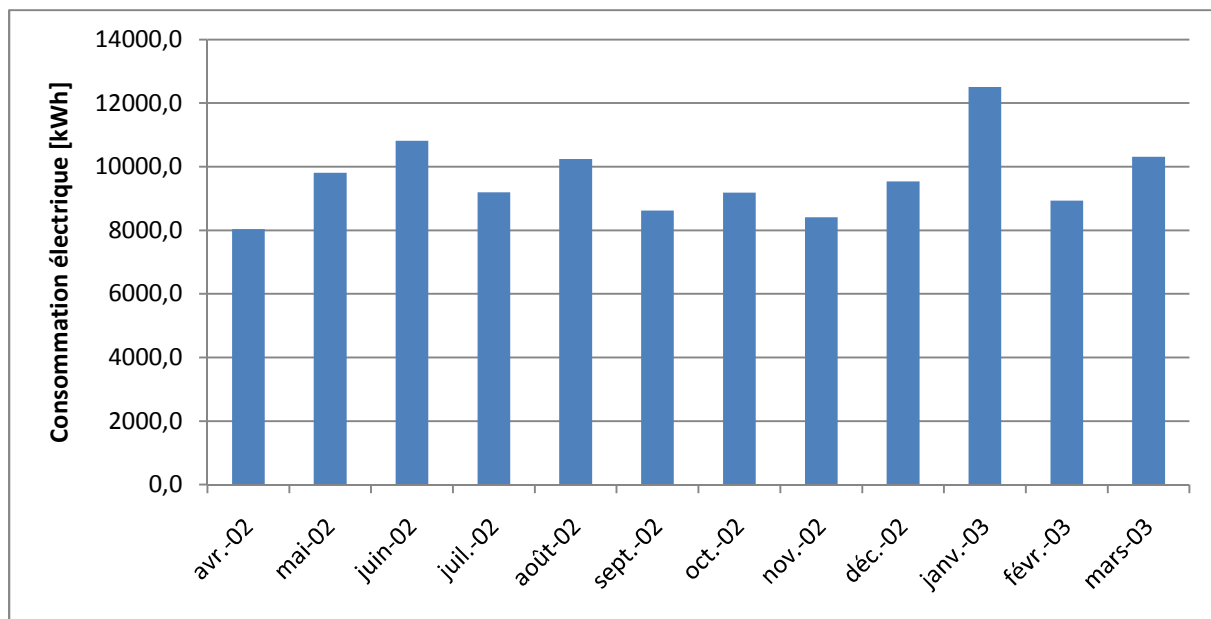


FIGURE 7-1: CONSOMMATION ÉLECTRIQUE RELATIVE À LA CLIMATISATION DES MODULES "G" ET "H"

A puissance consommée par l'installation HVAC desservant les modules "G" et "H" se répartit de la façon suivante.

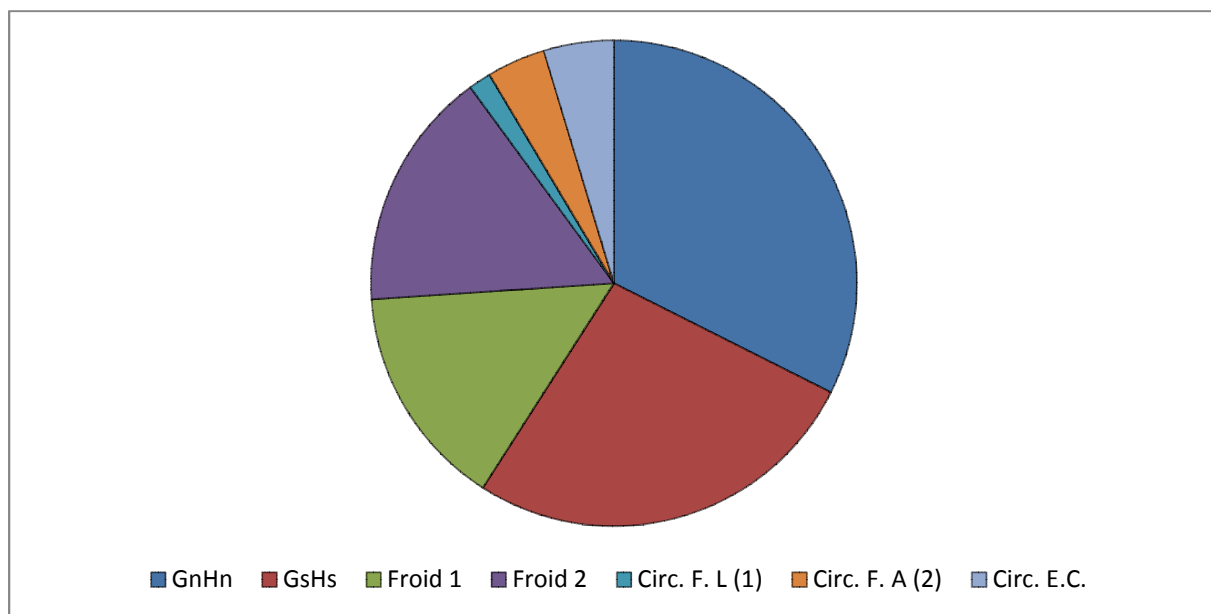


FIGURE 7-2: RÉPARTITION DES CONSOMMATIONS ÉLECTRIQUES RELATIVES À LA CLIMATISATION DES MODULES "G" ET "H"

7.2 CONSOMMATION DE GAZ

On dispose du relevé de la consommation en gaz de l'entièreté du bâtiment. Le gaz servant à alimenter les chaudières pour la production d'eau chaud pour tout le bâtiment, il faudra aussi pondérer cette consommation par le facteur 0,1565.

On obtient une consommation de la forme suivante:

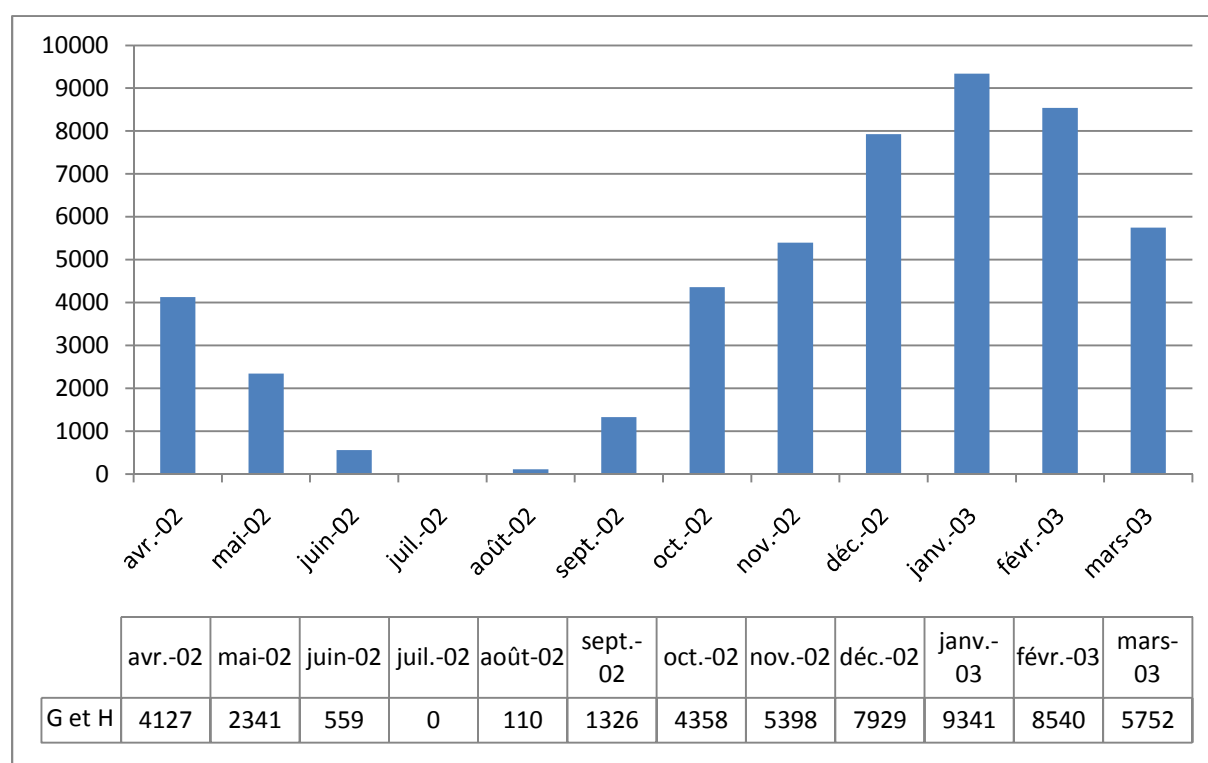


FIGURE 7-3: CONSOMMATION DE GAZ RELATIVE À LA CLIMATISATION DES MODULES "G" ET "H"

8 CALIBRATION

Maintenant que tous les paramètres utilisés par le programme ont été définis (ou en tout cas une plage de variation probable), on peut lancer la simulation.

Le modèle va à présent être calibré de manière à obtenir une consommation pour la partie HVAC relative aux modules "G" et "H" aussi proche que possible des résultats de mesure.

On peut effectuer la calibration du modèle en modifiant les paramètres pour lesquels aucune information n'était disponible ou pour lesquels des hypothèses ont dû être formulées. Cependant, afin de rester réaliste, on s'est cantonné à faire varier ces valeurs dans des plages de variation représentant les valeurs couramment observées pour ces paramètres.

Les éléments qu'on a fait varier lors de la calibration sont les suivants:

- La plage de variation de la température de pulsion dans les bureaux en fonction de la température extérieure; pour laquelle on a émis une hypothèse au point 5.4.1.
- La loi régulant la température de pulsion dans l'atrium; pour laquelle 2 variations différentes avaient été trouvées dans les documents.
- Les puissances spécifiques des pompes des circulateurs; pour lesquelles on n'a trouvé aucune information mais qu'on a évalué autour de 300 W/kg/s.
- Le PLR (Part Load Ratio) minimum du boiler; pour lequel on n'a trouvé aucune information et qu'on a fait varier de 0,1 à 0,3.
- Le PLR (Part Load Ratio) minimum du chiller; pour lequel on n'a trouvé aucune information et qu'on a fait varier de 0,1 à 0,3.
- L'albédo; pour lequel on a utilisé des valeurs courantes (entre 0,2 et 0,4)
- L'efficacité des humidificateurs adiabatiques; pour laquelle on est resté autour d'une valeur commune de 85%.
- La loi de température en sortie du boiler; pour laquelle une hypothèse a été faite au point 5.4.3.
- La loi de température en sortie du chiller; pour laquelle une hypothèse a été faite au point 5.4.4.
- Le facteur de dimensionnement du boiler; pour lequel on a considéré une valeur comprise entre 1,1 et 1,25.
- Le facteur de dimensionnement du chiller; pour lequel on a considéré une valeur comprise entre 1,1 et 1,25.

8.1 CALCUL DE L'ERREUR

Comme expliqué ci-avant, on va faire varier quelques paramètres, de manière à atteindre un certain degré de précision du modèle.

Néanmoins, pour juger cette précision, il faut pouvoir quantifier l'écart (ou erreur) qui sépare le modèle de la réalité.

Ceci se fera au moyen de 2 coefficients²⁹:

- l'erreur du biais moyen (MBE, Mean Bias Error)
- l'erreur moyenne quadratique (RMSE, Root Mean Square Error) ou plus particulièrement son coefficient de variation, CV(RMSE)

Les définitions de ces grandeurs sont fournies ci-dessous.

8.1.1 MBE (MEAN BIAS ERROR)

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim,i} - Q_{mes,i})}{n \cdot Q_{mes}}$$

Où:

- $Q_{sim,i}$ est la valeur obtenue par simulation durant la période i
- $Q_{mes,i}$ est la valeur mesurée durant la période i
- Q_{mes} est la moyenne des valeurs mesurées
- n est le nombre de périodes

Ce qui ce traduit, dans le cas qui nous intéresse par:

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^{12} (Q_{sim,mois_i} - Q_{mes,mois_i})}{12 \cdot Q_{mes}}$$

- $Q_{sim,mois_i}$ est la consommation obtenue par simulation durant le mois i
- $Q_{mes,mois_i}$ est la consommation mesurée durant le mois i
- Q_{mes} est la consommation moyenne mesurée sur l'année

8.1.2 RMSE (ROOT MEAN SQUARE ERROR)

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{sim,i} - Q_{mes,i})^2}}{n}$$

Ce qui donne:

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{12} (Q_{sim,mois_i} - Q_{mes,mois_i})^2}}{12}$$

²⁹Bertagnolio S., Chapter 2, Simulation assisted audit methodology

8.1.3 CV(RMSE)

$$CV(RMSE) = \frac{RMSE}{Q_{mes}} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{sim,i} - Q_{mes,i})^2}}{n Q_{mes}}$$

Ce qui donne, dans ce cas-ci:

$$CV(RMSE) = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{12} (Q_{sim,mois_i} - Q_{mes,mois_i})^2}}{12 Q_{mes}}$$

8.1.4 CRITÈRES À RESPECTER

Il faut encore savoir quelle sont les valeurs acceptables des grandeurs citées ci-dessus pour qu'un modèle soit considéré comme acceptable. On peut trouver cette réponse dans l'ASHRAE Guideline 14-2002 qui propose les bornes suivantes pour valider la simulation:

	ASHRAE 14
MBE	± 5%
CV(RMSE)	± 15%

Il reste maintenant à faire varier les paramètres de simulation afin d'atteindre ces 2 critères.

8.2 RÉÉVALUATION DES COEFFICIENTS D'EXTRAPOLATION

Après une cinquantaine de simulations différentes, on s'est rendu compte qu'il était impossible d'approcher suffisamment les consommations mesurées.

Ainsi, on a commencé à remettre en doute les coefficients d'extrapolation cités au point 4.2.

En effet, ceux-ci ont été établis dans le cadre d'une modélisation effectuée avec un autre logiciel et avec des hypothèses qui nous étaient inconnues et donc probablement différentes. De ce fait, on peut penser qu'ils ne conviennent peut-être pas à la simulation présente.

On a donc regardé ce qu'il advenait de l'extrapolation si on utilisait une approche un peu plus immédiate qui consiste à multiplier les consommations relatives à chaque zone par le nombre de fois où ces zones se reproduisent au sein du module.

L'effet de l'utilisation de ces nouveaux coefficients a pu être constaté immédiatement. De fait, comme illustré à la Figure 8-1, la simulation se trouvait beaucoup plus proche de la situation réelle, ce qui nous a poussés à continuer avec ces coefficients.

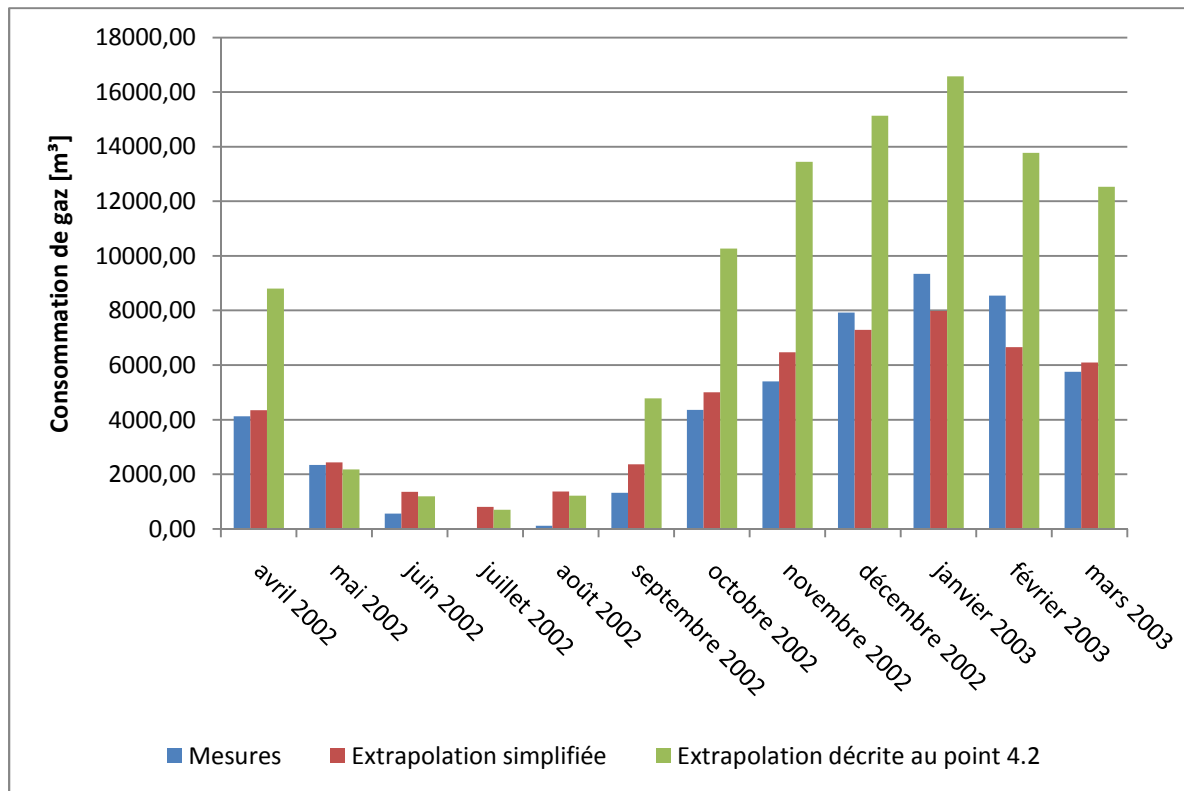


FIGURE 8-1: IMPACT DES COEFFICIENTS D'EXTRAPOLATION SUR LA CONSOMMATION SIMULÉE

Une vingtaine de simulation plus tard, il était à nouveau impossible de se rapprocher plus de la situation réelle.

Les consommations obtenues alors sont présentées ci-dessous.

8.3 CONSOMMATION DE GAZ

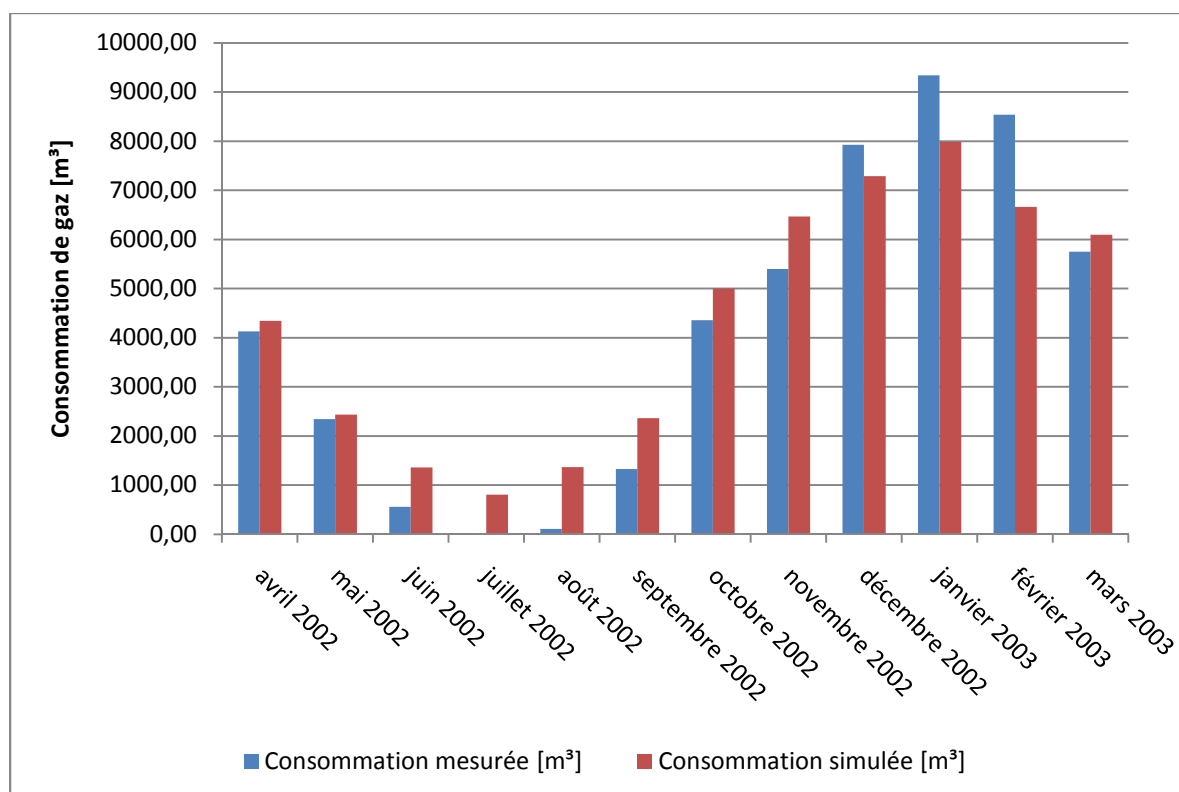


FIGURE 8-2: COMPARAISON DU MODÈLE SIMULÉ AVEC LES DONNÉES MESURÉES (CONSOMMATION DE GAZ)

	Consommation mesurée	Consommation simulée	Ecart
	[m³]	[m³]	[%]
avril 2002	4127,32	4343,75	5,24
mai 2002	2341,41	2435,03	4,00
juin 2002	559,41	1359,26	142,98
juillet 2002	0,00	804,25	/
août 2002	110,19	1366,70	1140,30
septembre 2002	1326,37	2365,45	78,34
octobre 2002	4358,03	5002,52	14,79
novembre 2002	5398,28	6465,03	19,76
décembre 2002	7928,77	7288,29	8,08
janvier 2003	9341,37	7987,00	14,50
février 2003	8540,30	6659,83	22,02
mars 2003	5751,55	6097,19	6,01

TABLEAU 8-1: COMPARAISON DU MODÈLE SIMULÉ AVEC LES DONNÉES MESURÉES (CONSOMMATION DE GAZ)

L'écart le plus marquant est constaté pendant les mois d'été où la consommation réelle est proche de 0, alors que la consommation simulée est non nulle. Cela vient probablement du fait qu'en réalité la chaudière est mise à l'arrêt, alors que dans la modélisation elle se trouve en stand-by et consomme toujours du gaz. Cela peut aussi provenir de la consommation d'eau chaude faite par la batterie chaude suite à l'humidification de l'air.

	Valeur calculée	Valeur à atteindre
MBE	20,82	5%
RMSE	976,99	
CV(RMSE)	0,24	15%

TABLEAU 8-2: CALCUL DE L'ERREUR SUR LA SIMULATION DE LA CONSOMMATION DE GAZ

On voit que les critères établis au point Calcul de l'erreur 8.1 ont pu être approchés, mais sans être atteints.

8.4 CONSOMMATION ÉLECTRIQUE

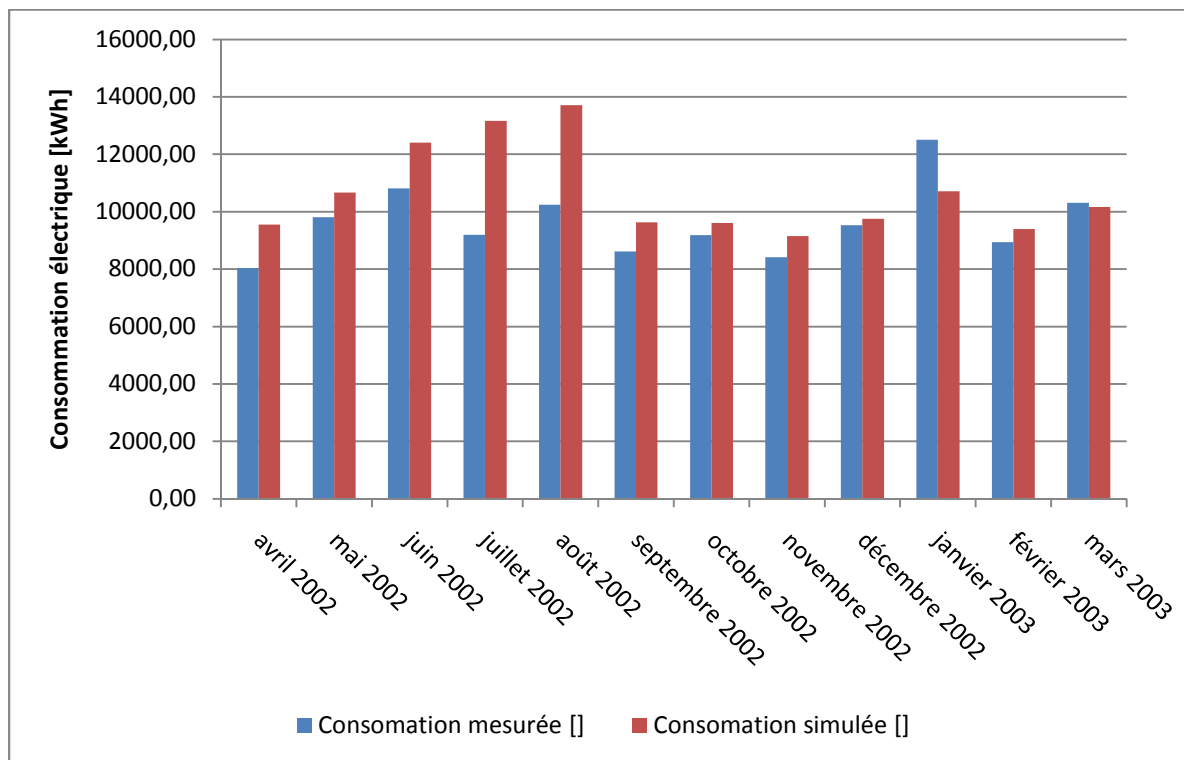


FIGURE 8-3: COMPARAISON DU MODÈLE SIMULÉ AVEC LES DONNÉES MESURÉES (CONSOMMATION ÉLECTRIQUE)

	Consommation mesurée	Consommation simulée	Ecart
	[kWh]	[kWh]	[%]
avril 2002	8036,97	9549,94	18,83
mai 2002	9807,65	10662,92	8,72
juin 2002	10809,90	12409,62	14,80
juillet 2002	9195,47	13166,59	43,19
août 2002	10242,46	13712,29	33,88
septembre 2002	8620,26	9631,93	11,74
octobre 2002	9184,36	9607,18	4,60
novembre 2002	8410,85	9154,73	8,84
décembre 2002	9534,53	9755,92	2,32
janvier 2003	12509,47	10707,19	14,41
février 2003	8933,18	9395,97	5,18
mars 2003	10307,73	10168,96	1,35

TABLEAU 8-3: COMPARAISON DU MODÈLE SIMULÉ AVEC LES DONNÉES MESURÉES (CONSOMMATION ÉLECTRIQUE)

L'écart le plus marquant est à nouveau constaté pendant les mois d'été.

	Valeur calculée	Valeur à atteindre
MBE	9,37	5%
RMSE	1795,26	
CV(RMSE)	0,19	15%

TABLEAU 8-4: CALCUL DE L'ERREUR SUR LA SIMULATION DE LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ

On voit qu'à nouveau, les critères établis au point Calcul de l'erreur8.1 ont pu être approchés, mais sans être atteints.

Néanmoins, étant donnée les hypothèses qu'on a du émettre et l'erreur introduite par l'extrapolation, les résultats obtenus peuvent être considérés comme étant suffisamment approchants. Ainsi, la simulation présentée ci-dessus servira de modèle de base pour simuler le comportement énergétique du CA-MET.

9 MESURES DE RÉNOVATION

Maintenant que l'on dispose d'un modèle représentant assez fidèlement le comportement énergétique du bâtiment, on va pouvoir tenter d'identifier des mécanismes permettant de réduire la consommation énergétique de celui-ci.

La lecture de documents reprenant des listes de mesures d'économie d'énergie possibles³⁰ ou d'études précédentes³¹, couplée à une étude des résultats fournis par le modèle informatique, a permis de dégager une série de mesures de rénovation qui paraissent pertinentes.

Les modifications suivantes ont été envisagées:

- Remplacement des chaudières actuelles par des chaudières à condensation
- Utilisation de fenêtres plus performantes
- Meilleure isolation des parois opaques
- Utilisation d'un éclairage plus performant (basse consommation)
- Remplacement du chiller par un chiller plus performant
- Diminution de l'infiltration d'air
- Remplacement de l'équipement de bureau par un matériel moins énergivore
- Régulation de l'éclairage et des appareils permettant une diminution du taux d'utilisation en dehors des heures de bureau
- Remplacement des ventilateurs existants par des ventilateurs plus performants

Un examen rapide permet tout de suite d'écarter l'hypothèse de remplacement du chiller. En effet, celui-ci possède déjà un EER de 3,16. Or, comme on peut le voir sur la Figure 9-1, ce coefficient d'efficacité frigorifique du chiller est déjà dans le haut de la fourchette correspondant à sa capacité frigorifique.

³⁰ Voir l'Annexe C

³¹ Knight I., Cambray J. Quantifying the Energy Conservation Opportunities found in Air-Conditioning Inspections as requires by EPBD Article 9.

Caillet J., Adnot J., Masoero M., Rivière P. Proposal for the field identification of a short list of Energy Conservation Opportunities related with Air Conditioning equipments.

Alexandre J.L., Silva M., Freire A., Rouboa A. General Overview of Potential Energy Savings in the Tertiary Sector in Some European Countries.

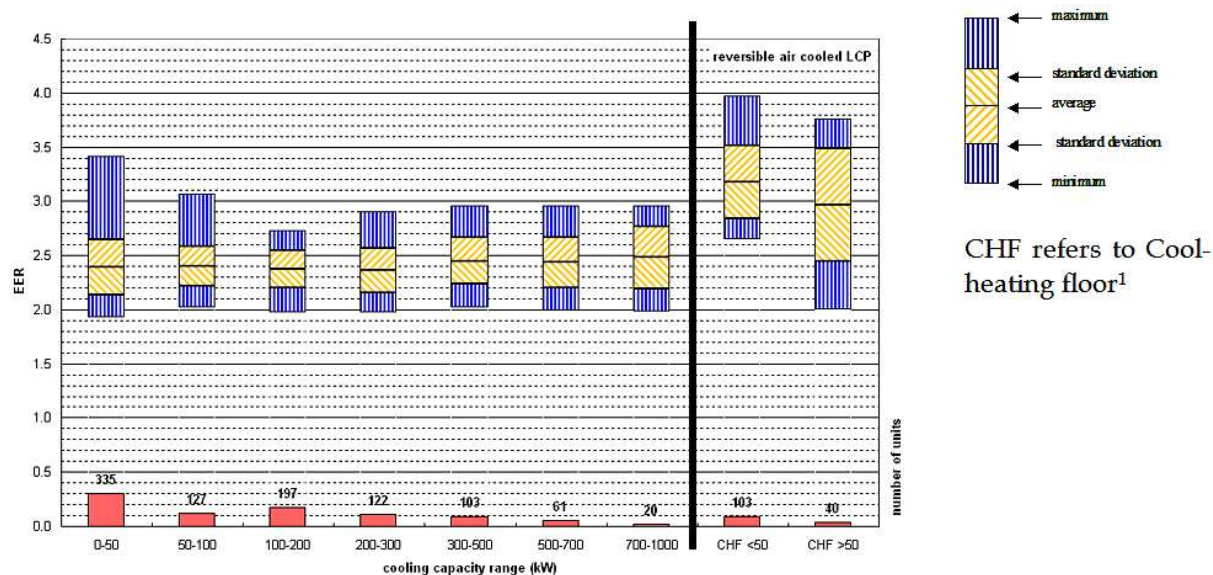


FIGURE 9-1: PLAGES DE VARIATION DE L'EER EN FONCTION DE LA CAPACITÉ FRIGORIFIQUE DU CHILLER

On va donc modéliser l'impact des 8 modifications restantes sur la consommation de gaz et d'électricité du bâtiment.

9.1 EVALUATION DU PRIX DE L'ÉNERGIE

Afin de pouvoir quantifier l'impact qu'auront les mesures de rénovation sur la facture énergétique du bâtiment, il est nécessaire de définir un prix réaliste pour les 2 formes d'énergie que celui-ci utilise (gaz et électricité).

Pour ce faire, on s'est fondé sur les derniers chiffres relevés par la "direction générale de la Commission européenne chargée de l'information statistique à l'échelle communautaire (Eurostat)".

9.1.1 PRIX DE L'ÉLECTRICITÉ

Dans le cas d'un consommateur résidentiel consommant plus de 15000 kWh par an (profil DE), le site Eurostat³² fourni les valeurs suivantes:

Belgique	Tranche DE : Consommation > 15 000 kWh				
	2009 (S2)	2009 (S1)	2008 (S2)	2008 (S1)	2007 (S2)
	0,1454	0,1459	0,1670	0,1592	0,1562

TABLEAU 9-1: EVOLUTION DU PRIX DE L'ÉLECTRICITÉ (€/KWH) EN BELGIQUE (PROFIL DE)

Si on se réfère au second semestre de 2009, on peut considérer que le prix moyen de l'électricité est de:

³² <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do>

9.1.2 PRIX DU GAZ

Les chiffres fournis par Eurostat³³ sont fournis en GJ. Dans un premier temps, il va falloir convertir la consommation annuelle du bâtiment en GJ.

On sait que:

$$1GJ = 277.78 kWh$$

Ainsi, la consommation annuelle de 620874,15 kWh de gaz correspond à 2235,13 GJ.

Maintenant qu'on peut déterminer la tranche de consommation qui nous intéresse, on obtient les chiffres suivants:

	Tranche D3 : Consommation > 200 GJ				
Belgique	2009 (S2)	2009 (S1)	2008 (S2)	2008 (S1)	2007 (S2)
	13,0500	15,6500	19,0200	15,2300	12,4800

TABLEAU 9-2: EVOLUTION DU PRIX DU GAZ (€/GJ) EN BELGIQUE (TRANCHE D3)

Si on effectue la conversion en kWh, on obtient le tableau suivant:

	Tranche D3 : Consommation > 200 GJ				
Belgique	2009 (S2)	2009 (S1)	2008 (S2)	2008 (S1)	2007 (S2)
	0,04698	0,05634	0,068472	0,054828	0,044928

TABLEAU 9-3: EVOLUTION DU PRIX DU GAZ (€/KWH) EN BELGIQUE (TRANCHE D3)

Si on se réfère au second semestre de 2009, on peut considérer que le prix moyen du gaz est de:

$$0,04698€/kWh$$

9.2 IMPACT SUR LES ÉMISSIONS DE CO₂

Outre l'économie d'énergie faite par le gestionnaire du bâtiment, il est intéressant de calculer la réduction d'émission de gaz à effet de serre qui sera réalisée en appliquant une amélioration.

Dans un premier temps, il est utile de rappeler quelques concepts.

9.2.1 INTRODUCTION ET DÉFINITIONS

Il existe différents gaz à effet de serre (GES) ayant chacun une nocivité différente. Afin de pouvoir les comparer entre eux, on utilise comme unité commune l'équivalent CO₂ ou l'équivalent carbone.

Dans le cadre du protocole de Kyoto, les GES ont été caractérisés par leur potentiel de réchauffement global (PRG).

Le potentiel de réchauffement global est l'unité de mesure de l'effet d'un gaz à effet de serre sur le réchauffement climatique par rapport à celui du CO₂ sur une période de 100 ans. De ce fait, le PRG du CO₂ est égal à 1.

Connaissant le PRG de chaque gaz, on peut ensuite se ramener à une unité commune qui est la tonne d'équivalent CO₂.

³³ http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_pc_202&lang=fr

Par exemple, sachant que le méthane a un pouvoir de réchauffement 23 fois supérieur au CO₂, on sait que l'émission d'une tonne de méthane a le même impact que l'émission de 23 tonnes de CO₂. Donc une tonne de méthane vaut 23 tonnes d'équivalent CO₂.

L'autre unité qui peut être utilisée pour caractériser l'émission des gaz à effet de serre est la tonne d'équivalent carbone.

Comme un kilo de CO₂ contient 272,7 grammes de carbone, une tonne d'équivalent carbone vaut 0,2727 tonne d'équivalent CO₂.

9.2.2 GAZ NATUREL³⁴

On considère que la combustion de gaz génère l'équivalent de 0.056 kg d'équivalent carbone (soit 0,2054 kg équ. CO₂) pour produire 1kWh. Mais il convient d'ajouter à ce chiffre la génération de CO₂ produite par l'extraction, le traitement et le transport du gaz.

Ces chiffres sont de :

	g CO ₂ /MJ d'énergie finale
Extraction	1,9
Traitement	1,6
Transport	2,2

De plus, il y a des fuites lors du transport du gaz. Celles-ci sont évaluées à 0,35% du gaz transporté. Mais, comme le méthane est un puissant gaz à effet de serre, 1% de fuite lors du transport revient à ajouter l'équivalent de 10% aux émissions de combustion de gaz.

Au final, en faisant les conversions³⁵ qui s'imposent on obtient les chiffres suivants:

	kg équ. CO ₂ par kWh
Combustion	0,2054
Extraction	0,0068
Traitement	0,0058
Transport	0,0079
Fuites	0,0072
Total	0,2330

L'utilisation de gaz génère donc l'émission de 0,233 kg d'équivalent CO₂ par kWh produit.

9.2.3 ELECTRICITÉ

En Belgique, on estime³⁶ que la production d'un 1kWh d'électricité génère 0,29kg d'équivalent CO₂. Si on y ajoute les pertes lors du transport (les pertes de ligne), qui sont évaluées à 10%, on obtient un total de 0,319kg d'équivalent CO₂ par kWh produit.

³⁴ ADEME, Bilan Carbone – Calcul des facteurs d'émissions et sources bibliographiques utilisées (Version 3.0)

³⁵ 1MJ = 0,278kWh et 1kg CO₂ = 0,2727 équ. C

³⁶ Meunier F. Thermodynamique de l'ingénieur: Energétique et environnement

9.3 REMPLACEMENT DES CHAUDIÈRES ACTUELLES PAR DES CHAUDIÈRES À CONDENSATION.

Une chaudière à condensation diffère d'une chaudière à combustion classique par le fait qu'elle provoque la condensation de la vapeur d'eau contenue dans les fumées avant leur rejet³⁷. Ainsi, elle permet de récupérer l'énergie de vaporisation de l'eau contenue dans les fumées et l'utilise pour préchauffer l'eau qui revient des émetteurs. De ce fait, ces chaudières ont un rendement supérieur aux chaudières dites "classiques"³⁸.

La chaudière à condensation choisie pour la modélisation est une chaudière de marque "UNICAL" et de type "ELLPREX 1100"³⁹. Ce modèle a une puissance nominale de 1100kW, ce qui est relativement proche de la puissance nominale des chaudières présentes dans le bâtiment, qui ont une puissance nominale de 1050kW.

Le rendement nominal des chaudières à condensation modélisées est de 109%, contre 90% pour les chaudières actuellement en place, ce qui devrait permettre une économie significative de gaz.

9.3.1 IMPACT SUR LA CONSOMMATION DE GAZ

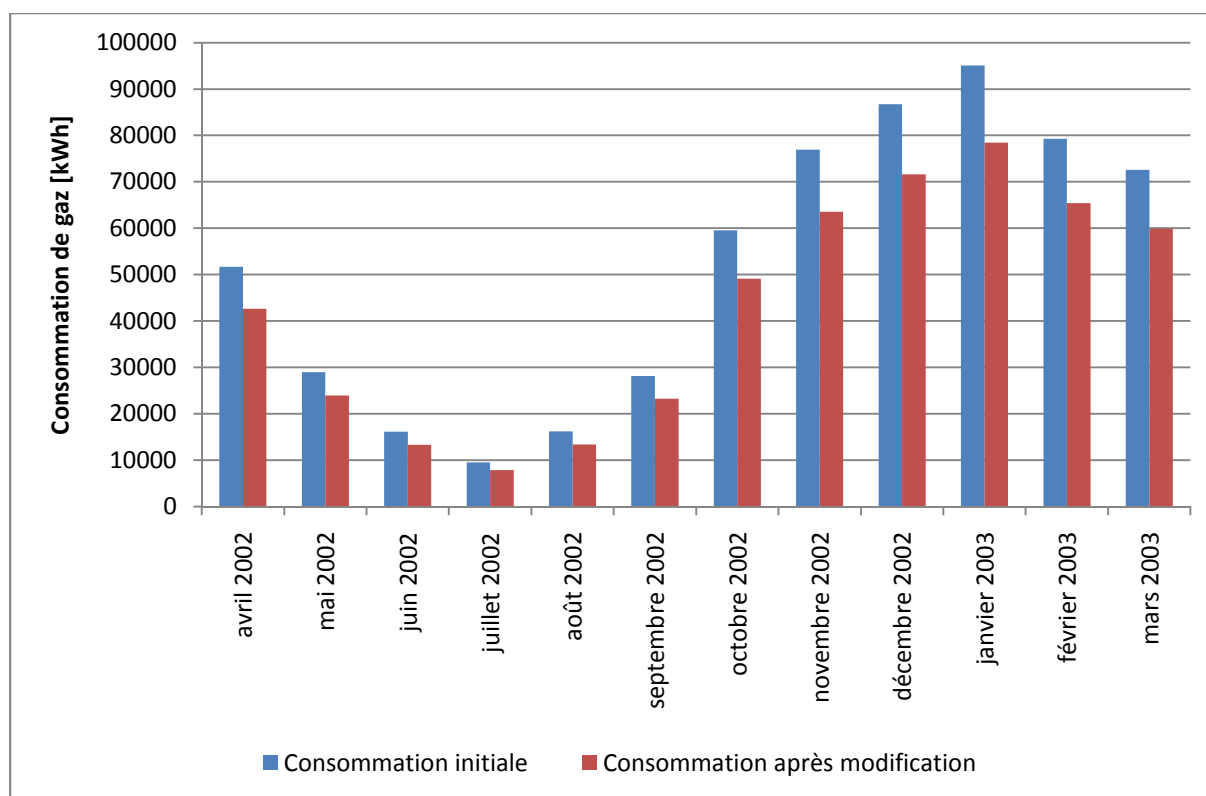


FIGURE 9-2: IMPACT DE LA MISE EN PLACE DE CHAUDIÈRES À CONDENSATION SUR LA CONSOMMATION DE GAZ

³⁷ André P., 2010. Notes du cours Climatisation (ARCH2015-1). Université de Liège.

³⁸ André P., 2010. Notes du cours Climatisation (ARCH2015-1). Université de Liège.

³⁹ Voir l'Annexe D

	Consommation initiale	Consommation après modification	Différence	Coût
	[kWh]	[kWh]	[%]	[€]
avril 2002	51690,58	42680,30	-17,43	-423,30
mai 2002	28976,87	23925,86	-17,43	-237,30
juin 2002	16175,23	13355,70	-17,43	-132,46
juillet 2002	9570,57	7902,30	-17,43	-78,38
août 2002	16263,74	13428,78	-17,43	-133,19
septembre 2002	28148,88	23242,19	-17,43	-230,52
octobre 2002	59529,94	49153,16	-17,43	-487,50
novembre 2002	76933,84	63523,36	-17,43	-630,02
décembre 2002	86730,69	71612,49	-17,43	-710,25
janvier 2003	95045,29	78477,76	-17,43	-778,34
février 2003	79251,97	65437,40	-17,43	-649,01
mars 2003	72556,55	59909,08	-17,43	-594,18
Total	620874,15	512648,38	-17,43	-5084,45

TABLEAU 9-4: IMPACT DE LA MISE EN PLACE DE CHAUDIÈRES À CONDENSATION SUR LA CONSOMMATION DE GAZ

9.3.2 IMPACT SUR LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE

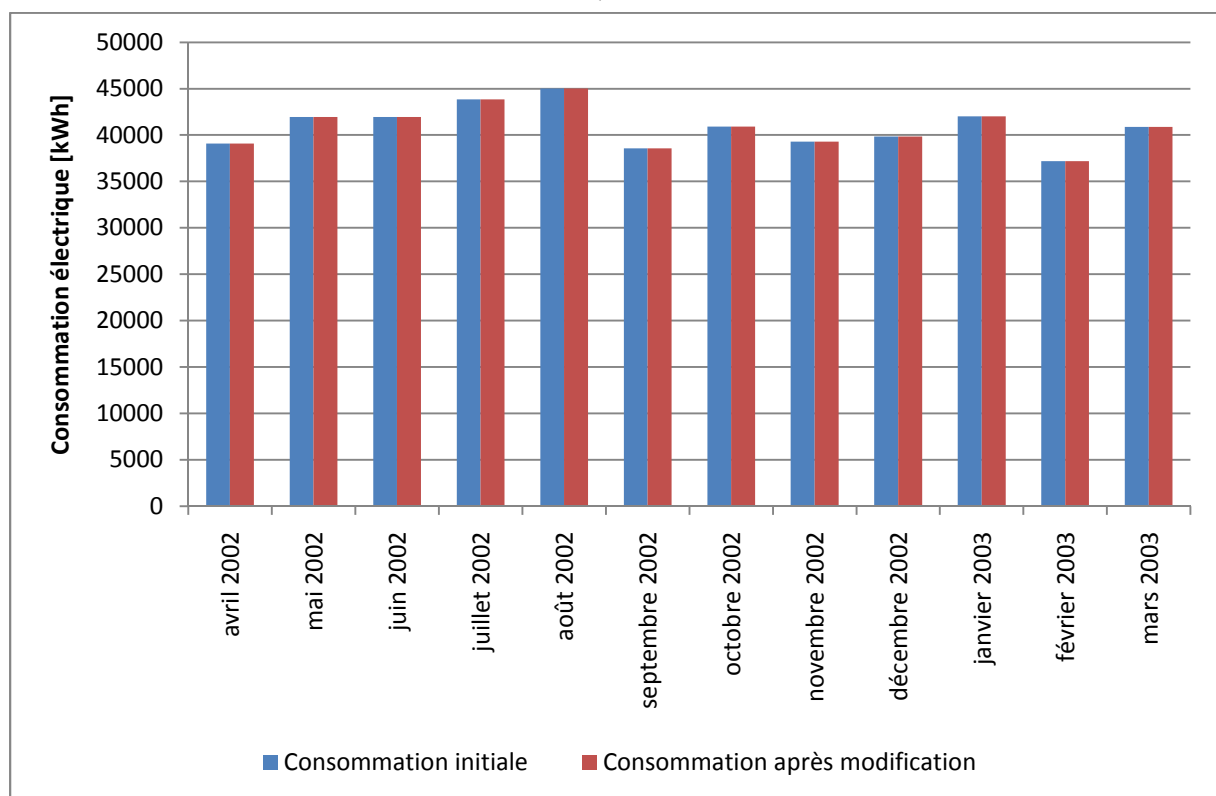


FIGURE 9-3: IMPACT DE LA MISE EN PLACE DE CHAUDIÈRES À CONDENSATION SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ

9.3.3 ANALYSE

On peut voir que la consommation électrique reste inchangée, tandis qu'on constate une diminution de la consommation en gaz de la chaudière de 17,43%. Cette diminution est constante tout au long de l'année; ce qui est bien ce à quoi on s'attendait, vu que la chaudière doit consommer moins de gaz pour produire la même quantité de chaleur.

9.3.4 BILAN FINANCIER ET ÉCOLOGIQUE

Du fait de la diminution de 17,43% de la consommation en gaz, tout en conservant une consommation électrique inchangée, on peut s'attendre à une diminution de la facture énergétique annuelle s'élevant à 5084€.

De plus, cette modification permettrait d'économiser 25216,60 kg d'équivalent CO₂.

9.4 ISOLATION DES MURS OPAQUES

Dans cette partie, on modélisera une amélioration de l'isolation des parois opaques telle qu'elle réponde aux exigences de *l'Arrêté du Gouvernement wallon relatif à l'octroi de subventions aux personnes de droit public et aux organismes non commerciaux pour la réalisation d'études et de travaux visant l'amélioration de la performance énergétique des bâtiments*⁴⁰.

Cet arrêté du gouvernement impose, entre autres, des limites maximales pour les coefficients de transmission des murs opaques. Dans le cas qui nous intéresse, ces impositions sont les suivantes:

Description du type de mur opaque	Coefficient de transmission maximal autorisé
Murs et parois opaques entre le volume protégé et l'air extérieur ou entre le volume protégé et un local non chauffé non à l'abri du gel	$U_{max} = 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$
Toiture ou plafond séparant le volume protégé d'un local non chauffé non à l'abri du gel	$U_{max} = 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$

TABLEAU 9-5: IMPOSITIONS RELATIVES À L'ARRÊTÉ DU GOUVERNEMENT WALLON RELATIF À L'OCTROI DE SUBVENTIONS AUX PERSONNES DE DROIT PUBLIC ET AUX ORGANISMES NON COMMERCIAUX POUR LA RÉALISATION D'ÉTUDES ET DE TRAVAUX VISANT L'AMÉLIORATION DE LA PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE DES BÂTIMENTS

Les coefficients des murs opaques sont déjà en dessous de la limite fixée, étant donné qu'ils sont égaux à 0,424 W/m²K.

Par contre, la terrasse bordant l'atrium et faisant office de toiture à un coefficient de transmission égal à 0,505 W/m²K, ce qui est supérieur à la limite de 0,3 W/m²K.

On va donc modéliser l'impact d'une isolation de cette terrasse permettant d'atteindre le coefficient de transmission de 0,3 W/m²K.

⁴⁰ Voir l'12Annexe FAnnexe F

9.4.1 IMPACT SUR LA CONSOMMATION DE GAZ

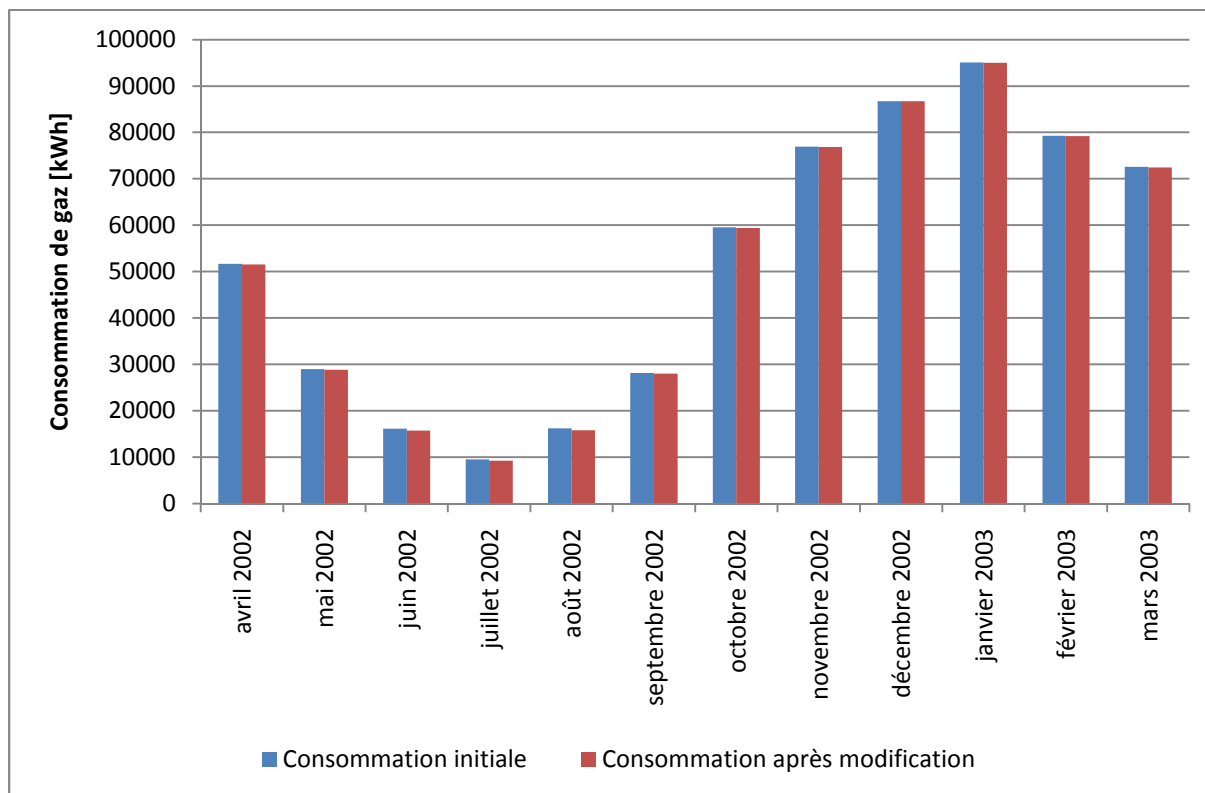


FIGURE 9-4: IMPACT DE L'AUGMENTATION DE L'ISOLATION DE LA TERRASSE DE L'ATRIUM SUR LA CONSOMMATION DE GAZ

9.4.2 IMPACT SUR LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE

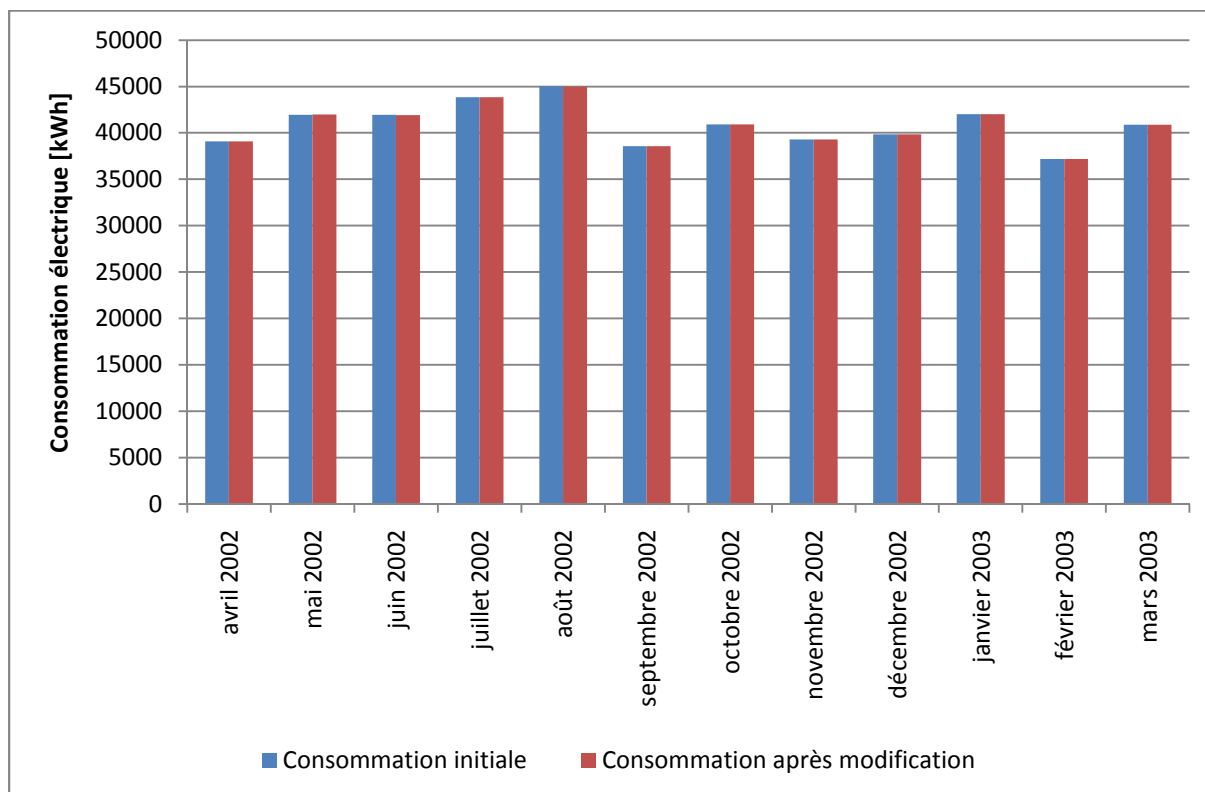


FIGURE 9-5: IMPACT DE L'AUGMENTATION DE L'ISOLATION DE LA TERRASSE DE L'ATRIUM SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ

9.4.3 ANALYSE

On remarque directement que l'impact est quasi nul (moins de 1%), aussi bien sur la consommation en gaz que sur la consommation en électricité. Cela est certainement dû au fait que la terrasse n'occupe que 26% de la surface du sommet de l'atrium, couvert à 74% par la verrière ($U=2,86 \text{ W/m}^2\text{K}$), et que son coefficient de transmission initial était déjà de $0,505 \text{ W/m}^2\text{K}$ (contre 0,3 après modification). Cette hypothèse de modification ne présente donc aucun intérêt.

9.5 REMPLACEMENT DES FENÊTRES

On considère le remplacement des vitrages existants par des doubles vitrages à haut rendement. Le vitrage modélisé est le vitrage "Sprimoglass Optima"⁴¹ fabriqué par la société Sprimoglass, située à Sprimont.

Les caractéristiques principales de ce vitrage sont les suivantes:

Transmission lumineuse	Réflexion lumineuse	Facteur solaire	U (Argon 90%)	Composition	Emissivité (ϵ) du coating en face #3
80%	12%	63%	$1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$	4/16/4 mm	3%

TABLEAU 9-6: CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DU VITRAGE "SPRIMOGLASS OPTIMA"

On peut signaler que l'utilisation de ce type de fenêtre à haut rendement représente une augmentation du prix du vitrage estimée à 16€ du mètre carré par rapport à un double vitrage classique.

Pour ce qui est des châssis, on considèrera qu'ils conservent le même coefficient de transmission.

⁴¹ Voir l'Annexe E

9.5.1 IMPACT SUR LA CONSOMMATION DE GAZ

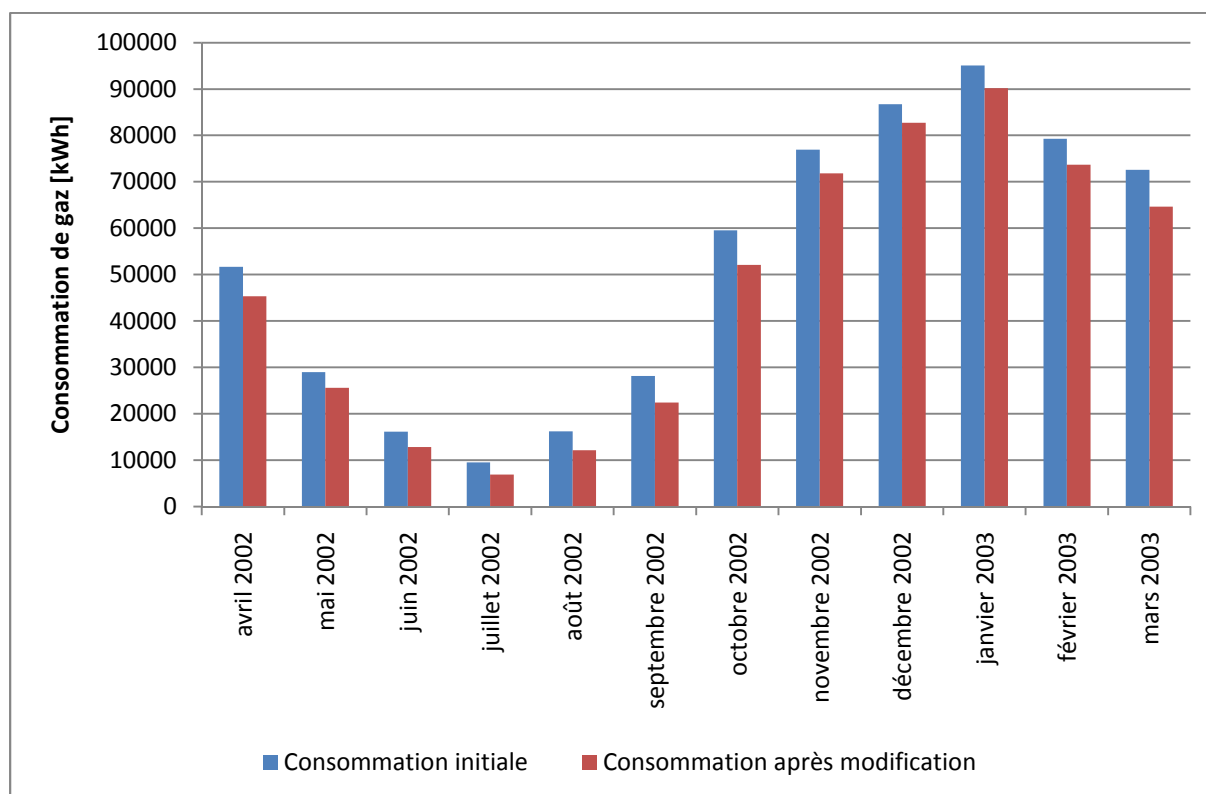


FIGURE 9-6: IMPACT DE LA MISE EN PLACE D'UN DOUBLE VITRAGE À HAUT RENDEMENT SUR LA CONSOMMATION DE GAZ

	Consommation initiale	Consommation après modification	Différence	Coût
	[kWh]	[kWh]	[%]	[€]
avril 2002	51690,58	42680,30	-12,24	-297,14
mai 2002	28976,87	23925,86	-11,55	-157,29
juin 2002	16175,23	13355,70	-20,59	-156,43
juillet 2002	9570,57	7902,30	-27,71	-124,61
août 2002	16263,74	13428,78	-25,21	-192,65
septembre 2002	28148,88	23242,19	-20,34	-268,97
octobre 2002	59529,94	49153,16	-12,53	-350,48
novembre 2002	76933,84	63523,36	-6,65	-240,27
décembre 2002	86730,69	71612,49	-4,66	-189,80
janvier 2003	95045,29	78477,76	-5,16	-230,43
février 2003	79251,97	65437,40	-7,01	-261,17
mars 2003	72556,55	59909,08	-10,87	-370,57
Total	620874,15	512648,38	-9,74	-2839,82

TABLEAU 9-7: IMPACT DE LA MISE EN PLACE D'UN DOUBLE VITRAGE À HAUT RENDEMENT SUR LA CONSOMMATION DE GAZ

9.5.2 IMPACT SUR LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE

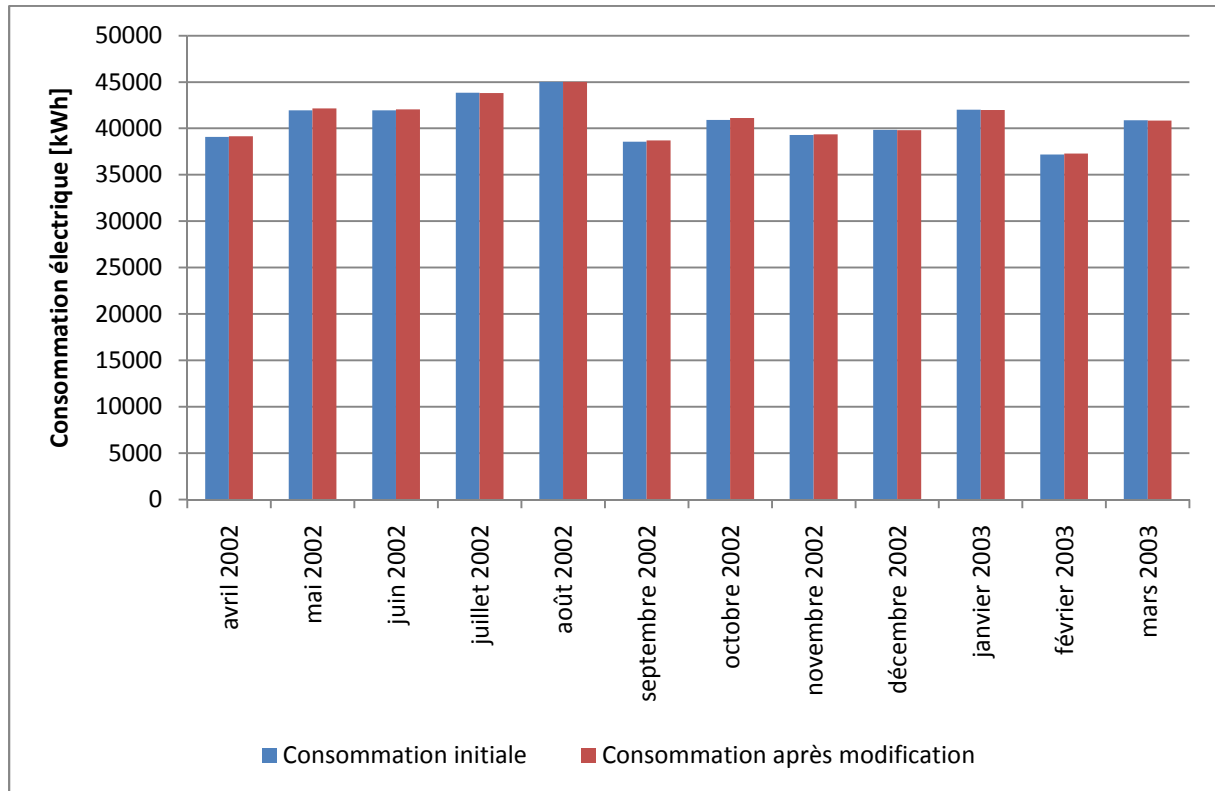


FIGURE 9-7: IMPACT DE LA MISE EN PLACE D'UN DOUBLE VITRAGE À HAUT RENDEMENT SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ

9.5.3 ANALYSE

On voit que la consommation électrique reste quasiment inchangée, tandis qu'on constate une diminution de la consommation en gaz de 9,74%.

9.5.4 BILAN FINANCIER ET ÉCOLOGIQUE

Du fait de la diminution de 9,74% de la consommation en gaz, tout en conservant une consommation électrique stable, on peut s'attendre à une diminution de la facture énergétique annuelle s'élevant à 2729€.

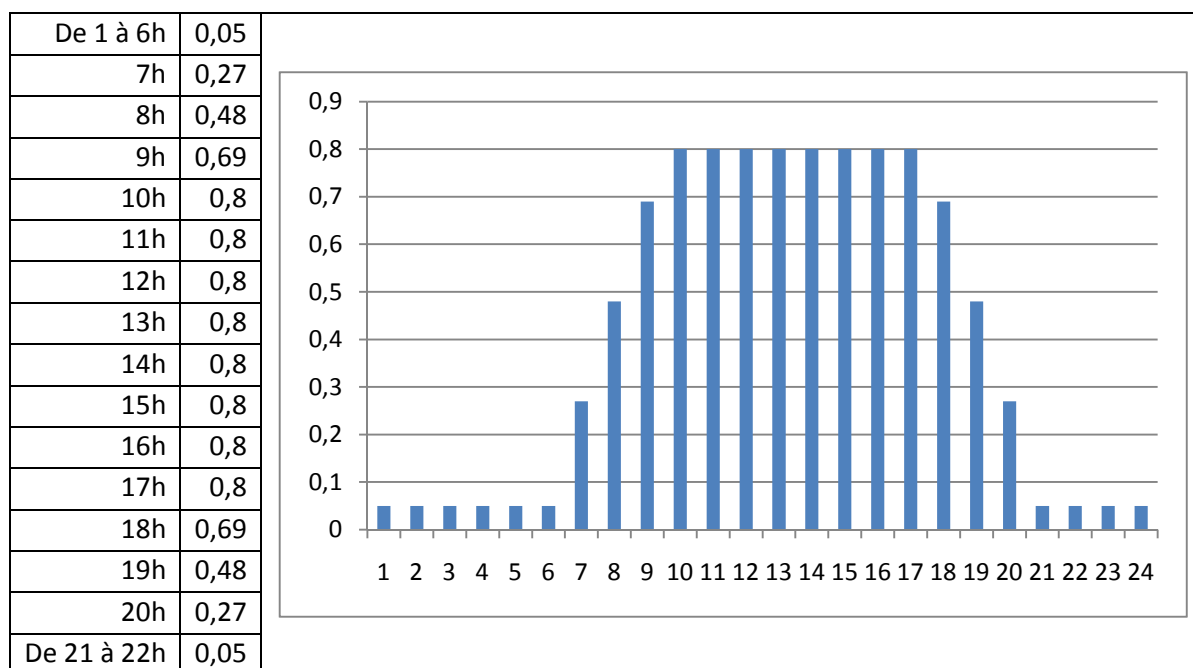
En outre, cette modification engendrerait l'économie de 13840,39 kg d'équivalent CO₂.

9.6 MISE EN PLACE D'UN DISPOSITIF D'EXTINCTION DES APPAREILS ET DE L'ÉCLAIRAGE

Comme expliqué au point 5.5.2, la modélisation considère un facteur d'utilisation minimal de l'éclairage et des appareils de 16%, en l'absence d'occupation. En utilisant des dispositifs programmables permettant d'éteindre l'éclairage et les appareils en période de non occupation, on peut espérer réaliser des économies d'électricité.

Afin de modéliser cette hypothèse, on considèrera que le taux d'utilisation minimum des appareils et de l'éclairage est de 5%, afin de tenir compte d'un éclairage et d'une d'appareils minimum même hors des périodes d'occupation (personnel d'entretien, de sécurité,...).

L'horaire d'une journée de semaine devient le suivant:



TABEAU 9-8: MODIFICATION DU FACTEUR D'UTILISATION DES APPAREILS ET DE L'ÉCLAIRAGE

L'horaire de week-end est quant à lui constamment égal à 5%.

9.6.1 IMPACT SUR LA CONSOMMATION DE GAZ

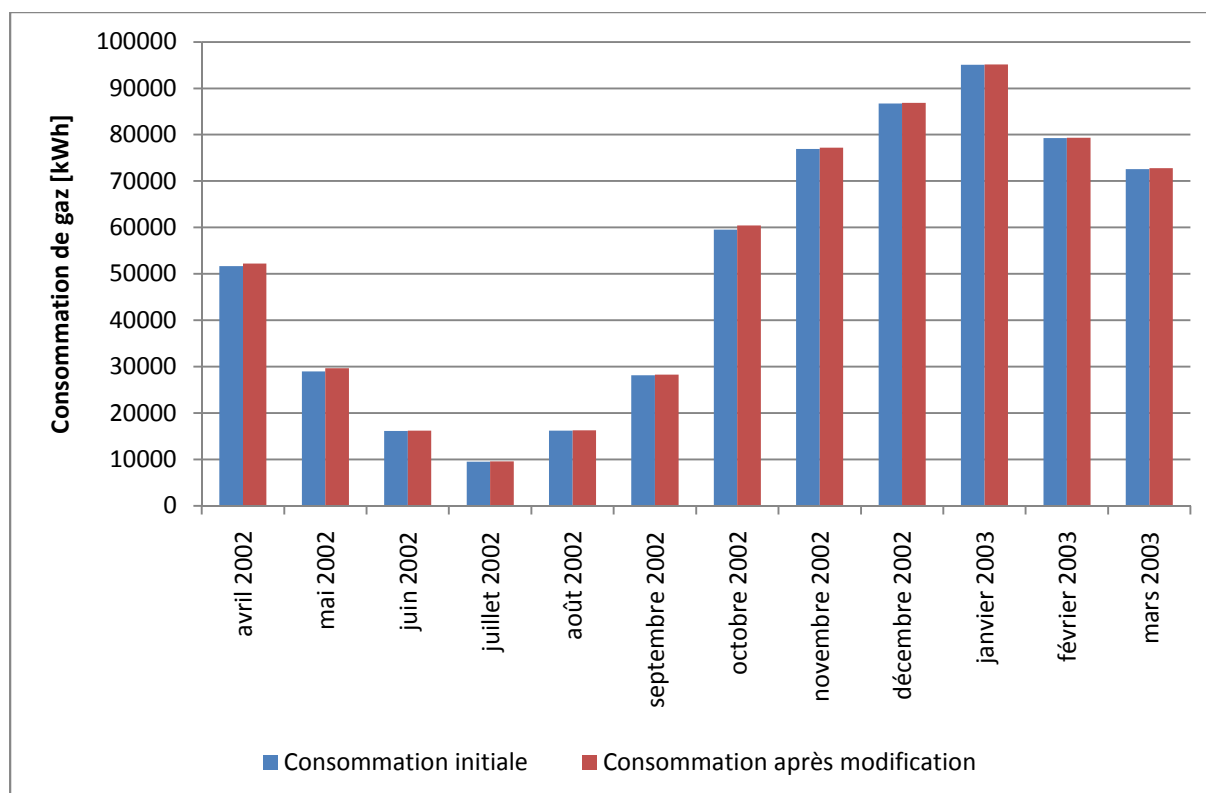


FIGURE 9-8: IMPACT D'UNE LIMITATION DU FACTEUR D'UTILISATION MINIMUM DES APPAREILS ET DE L'ÉCLAIRAGE SUR LA CONSOMMATION DE GAZ

9.6.2 IMPACT SUR LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE

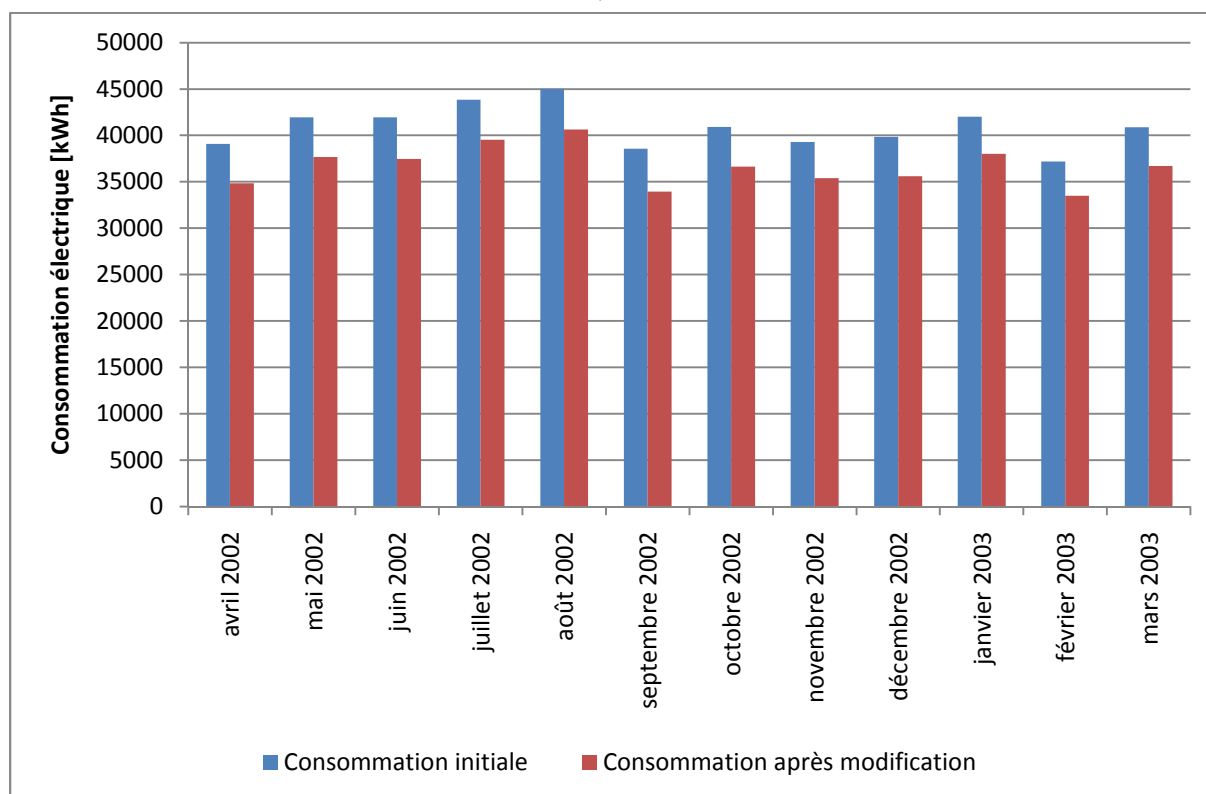


FIGURE 9-9: IMPACT D'UNE LIMITATION DU FACTEUR D'UTILISATION MINIMUM DES APPAREILS ET DE L'ÉCLAIRAGE SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ

	Consommation initiale	Consommation après modification	Différence	Coût
	[kWh]	[kWh]	[%]	[€]
avril 2002	39079,31	34826,8258	-10,88	-618,31
mai 2002	41963,37	37657,73	-10,26	-626,04
juin 2002	41938,99	37463,93	-10,67	-650,67
juillet 2002	43861,84	39529,31	-9,88	-629,95
août 2002	45012,75	40648,84	-9,69	-634,51
septembre 2002	38556,09	33945,30	-11,96	-670,41
octobre 2002	40907,63	36649,30	-10,41	-619,16
novembre 2002	39289,31	35402,35	-9,89	-565,16
décembre 2002	39845,96	35593,33	-10,67	-618,33
janvier 2003	42007,64	38018,35	-9,50	-580,04
février 2003	37198,80	33493,10	-9,96	-538,81
mars 2003	40864,20	36713,85	-10,16	-603,46
Total	490525,91	439942,22	-10,31	-7354,87

TABLEAU 9-9: IMPACT D'UNE LIMITATION DU FACTEUR D'UTILISATION MINIMUM DES APPAREILS ET DE L'ÉCLAIRAGE SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ

9.6.3 ANALYSE

On constate que la consommation de gaz reste quasi inchangée (une légère augmentation de 0,51% soit 149,47€).

Par contre, on observe une diminution de la consommation électrique de 10,31%. Cette diminution est quasi constante tout au long de l'année.

9.6.4 BILAN FINANCIER ET ÉCOLOGIQUE

La diminution de consommation électrique couplée à une très faible augmentation de la consommation en gaz permet de réaliser un bénéfice de 7205€.

Parallèlement, cette modification aurait pour effet de diminuer les émissions de gaz à effet de serre dues à la consommation du bâtiment de 15394,89 kg d'équivalent CO₂.

9.7 RÉDUCTION DU TAUX D'INFILTRATION D'AIR

L'infiltration d'air dans un bâtiment doit en général être limitée, car contrairement à la ventilation, elle n'est pas contrôlée et est régie par des phénomènes naturels tels que des différences de pression ou de température entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment⁴².

Pendant la simulation, le taux d'infiltration d'air dans le bâtiment a été établi à une valeur forfaitaire de 0,2 vol/h. On peut se demander ce qui arriverait si on réduisait ce taux d'infiltration de 25%.

Pour ce faire, on effectue une simulation avec une infiltration définie à 0,15 vol/h.

⁴² André P., 2010. Notes du cours Climatisation (ARCH2015-1). Université de Liège.

9.7.1 IMPACT SUR LA CONSOMMATION DE GAZ

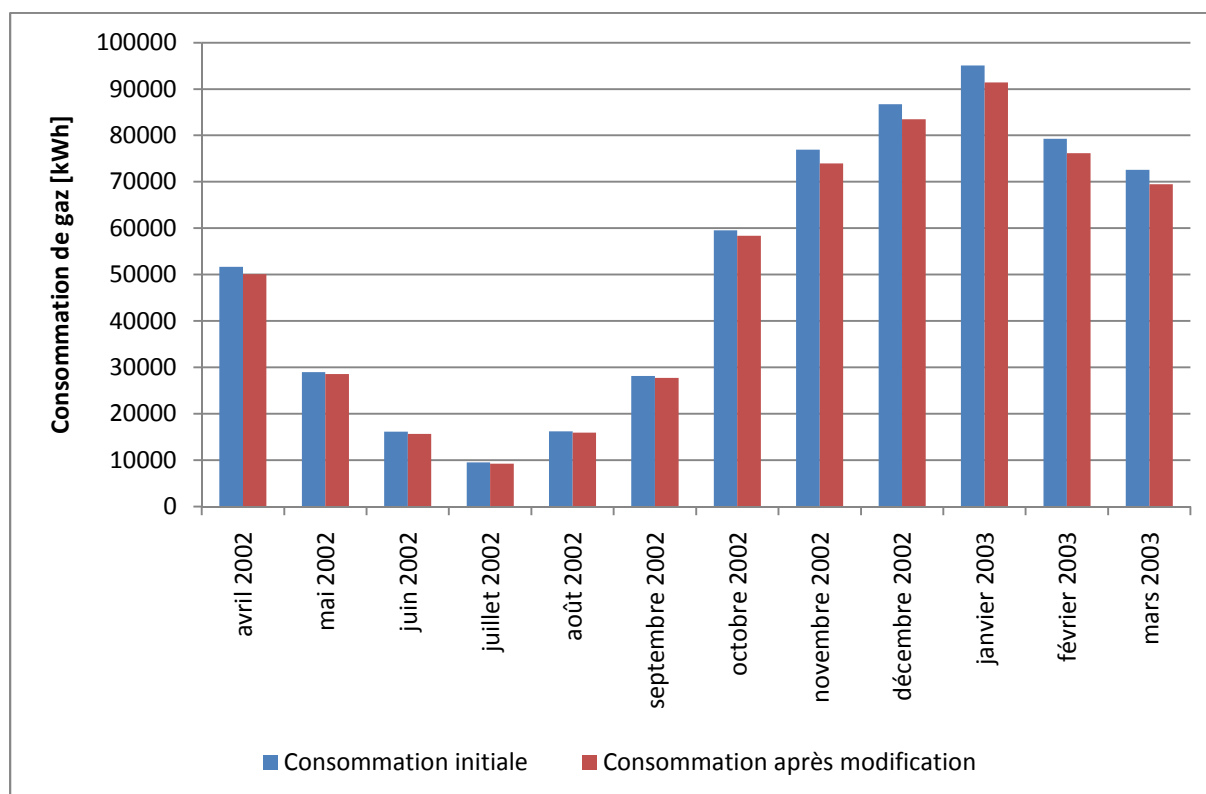


FIGURE 9-10: IMPACT D'UNE DIMINUTION DU TAUX D'INFILTRATION D'AIR SUR LA CONSOMMATION DE GAZ

	Consommation initiale	Consommation après modification	Différence	Coût
	[kWh]	[kWh]	[%]	[€]
avril 2002	51690,58	50083,13	-3,11	-75,52
mai 2002	28976,87	28550,82	-1,47	-20,02
juin 2002	16175,23	15687,05	-3,02	-22,93
juillet 2002	9570,57	9277,57	-3,06	-13,77
août 2002	16263,74	15944,76	-1,96	-14,99
septembre 2002	28148,88	27741,11	-1,45	-19,16
octobre 2002	59529,94	58379,86	-1,93	-54,03
novembre 2002	76933,84	73945,98	-3,88	-140,37
décembre 2002	86730,69	83493,14	-3,73	-152,10
janvier 2003	95045,29	91411,27	-3,82	-170,73
février 2003	79251,97	76178,20	-3,88	-144,41
mars 2003	72556,55	69483,30	-4,24	-144,38
Total	620874,15	600176,19	-3,33	-972,39

TABLEAU 9-10: IMPACT D'UNE DIMINUTION DU TAUX D'INFILTRATION D'AIR SUR LA CONSOMMATION DE GAZ

9.7.2 IMPACT SUR LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE

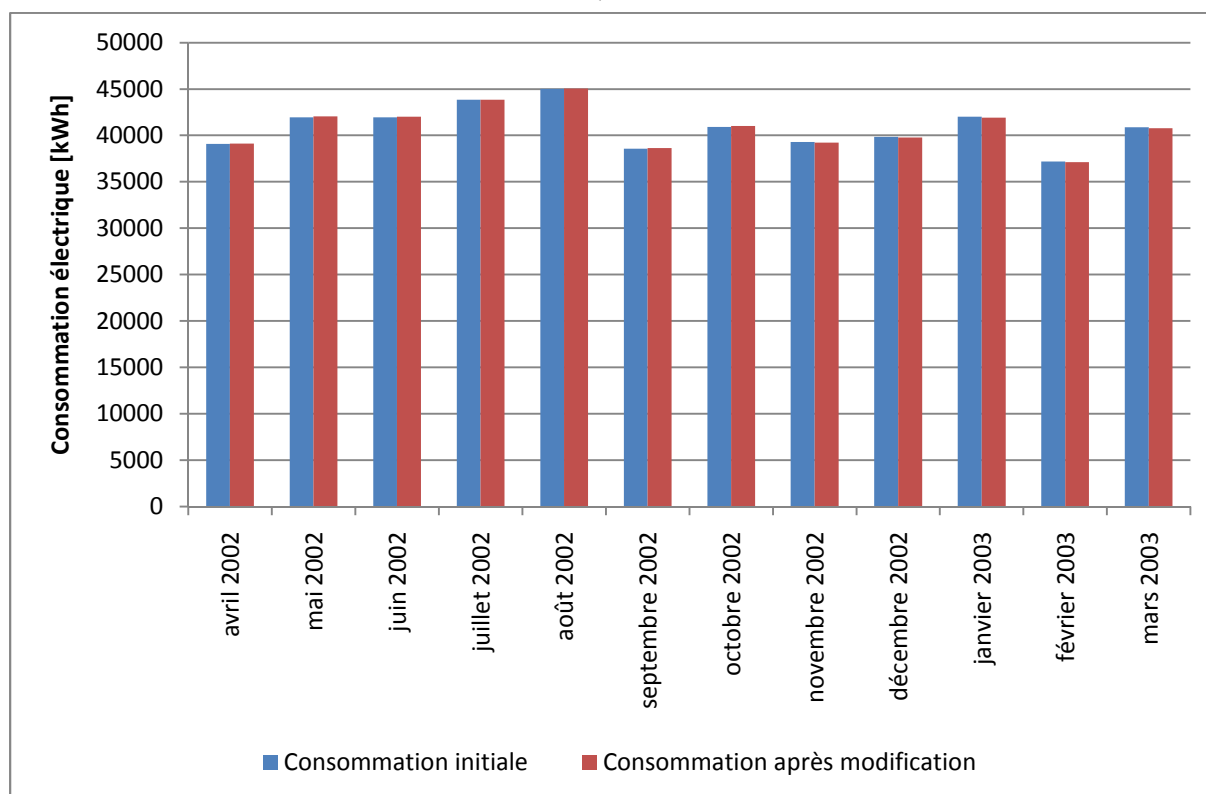


FIGURE 9-11: IMPACT D'UNE DIMINUTION DU TAUX D'INFILTRATION D'AIR SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ

9.7.3 ANALYSE

On observe une diminution de la consommation de gaz à hauteur de 3,33%. Cette diminution est plus marquée durant les mois les plus froids de l'année; ce qui est logique, étant donné que l'air pénétrant dans le bâtiment pendant cette période est à une température nettement inférieure à la température qu'on souhaite maintenir dans celui-ci.

La consommation électrique est, quant à elle, assez peu affectée par cette modification (augmentation de 0,2% de la consommation, soit à hauteur de 13,98€).

9.7.4 BILAN FINANCIER ET ÉCOLOGIQUE

L'économie de gaz réalisée avec, en parallèle, une très légère augmentation de la consommation électrique permet d'estimer le gain engendré par cette modification à 958€.

De plus, la réduction du taux d'infiltration d'air mènerait à une économie de 4791,96 kg d'équivalent CO₂.

9.8 UTILISATION DE VENTILATEURS PLUS PERFORMANTS

Pour ce qui est des ventilateurs, l'Annexe VI de la PEB⁴³ définit 3 classes de performance en fonction de leur puissance spécifique:

- catégorie 1 : moins de $500 \text{ W/m}^3\text{s}^{-1}$
- catégorie 2 : entre 500 et $750 \text{ W/m}^3\text{s}^{-1}$
- catégorie 3 : entre 750 et $1250 \text{ W/m}^3\text{s}^{-1}$

Or, les ventilateurs présents dans les groupes de traitement d'air ont une puissance spécifique comprise entre 1870 et $2478 \text{ W/m}^3\text{s}^{-1}$.

On va modéliser le remplacement de ces ventilateurs par des ventilateurs de classe 2 ($700 \text{ W/m}^3\text{s}^{-1}$) afin d'en analyser l'impact sur la consommation énergétique.

9.8.1 IMPACT SUR LA CONSOMMATION DE GAZ

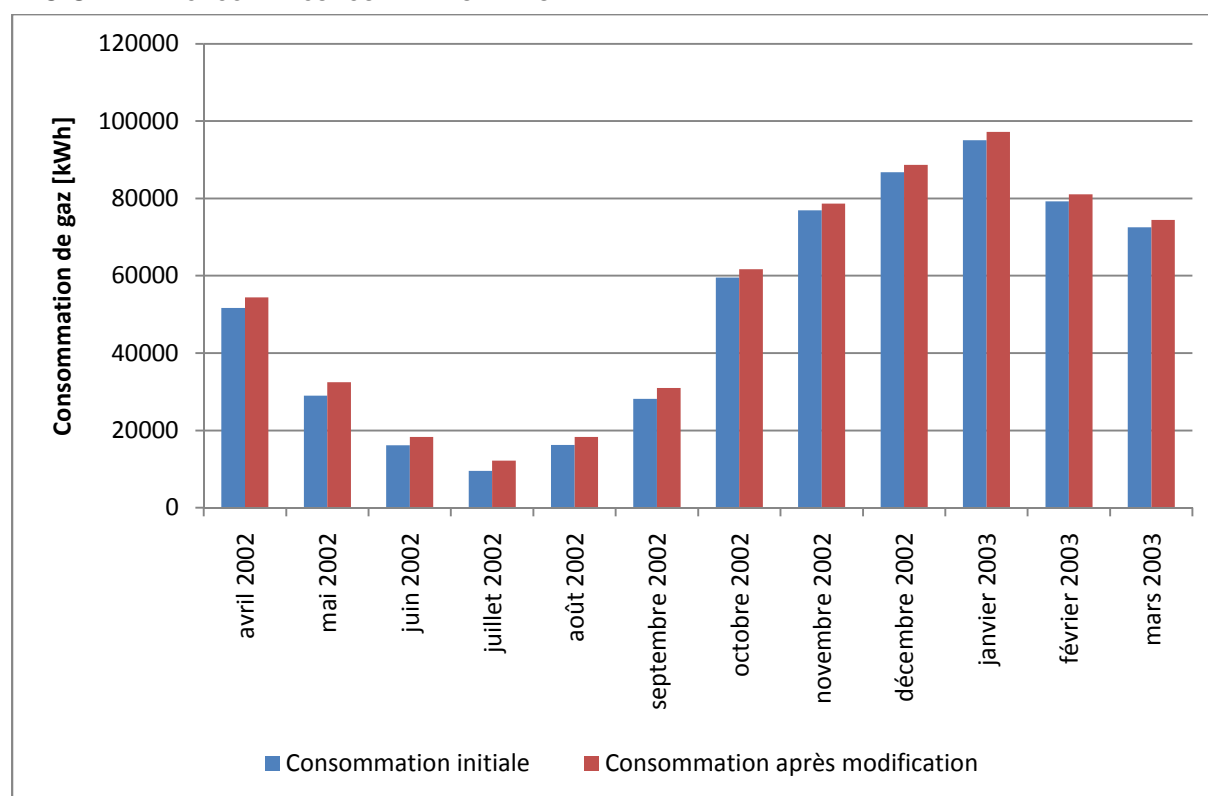


FIGURE 9-12: IMPACT D'UN REMPLACEMENT DES VENTILATEURS SUR LA CONSOMMATION DE GAZ

⁴³ Annexe VI de la PEB - Dispositifs de ventilation des bâtiments non résidentiels : Méthode de détermination et exigences

Disponible à l'adresse suivante: http://www.energieplus-lesite.be/energieplus/page_16478.htm#c16575

	Consommation initiale	Consommation après modification	Différence	Coût
	[kWh]	[kWh]	[%]	[€]
avril 2002	51690,58	54399,39	5,24	127,26
mai 2002	28976,87	32457,67	12,01	163,53
juin 2002	16175,23	18291,70	13,08	99,43
juillet 2002	9570,57	12170,96	27,17	122,17
août 2002	16263,74	18348,35	12,82	97,93
septembre 2002	28148,88	31002,86	10,14	134,08
octobre 2002	59529,94	61658,37	3,58	99,99
novembre 2002	76933,84	78674,87	2,26	81,79
décembre 2002	86730,69	88707,61	2,28	92,88
janvier 2003	95045,29	97188,51	2,25	100,69
février 2003	79251,97	81093,47	2,32	86,51
mars 2003	72556,55	74429,83	2,58	88,01
Total	620874,15	648423,60	4,44	1294,27

TABLEAU 9-11: IMPACT D'UN REMPLACEMENT DES VENTILATEURS SUR LA CONSOMMATION DE GAZ

9.8.2 IMPACT SUR LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE

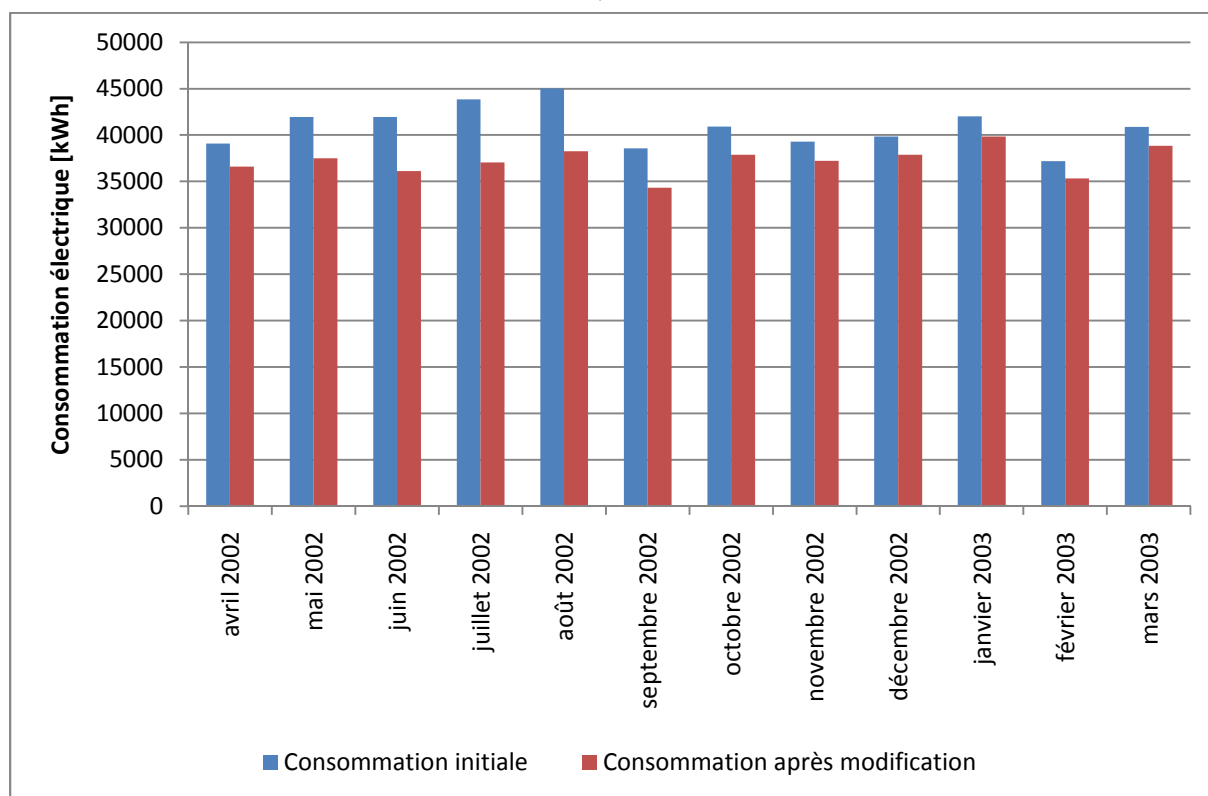


FIGURE 9-13: IMPACT D'UN REMPLACEMENT DES VENTILATEURS SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ

	Consommation initiale	Consommation après modification	Différence	Coût
	[kWh]	[kWh]	[%]	[€]
avril 2002	39079,31	36592,51	-6,36	-361,58
mai 2002	41963,37	37492,71	-10,65	-650,03
juin 2002	41938,99	36117,22	-13,88	-846,49
juillet 2002	43861,84	37037,34	-15,56	-992,28
août 2002	45012,75	38250,21	-15,02	-983,27
septembre 2002	38556,09	34331,11	-10,96	-614,31
octobre 2002	40907,63	37864,17	-7,44	-442,52
novembre 2002	39289,31	37228,32	-5,25	-299,67
décembre 2002	39845,96	37876,02	-4,94	-286,43
janvier 2003	42007,64	39846,36	-5,14	-314,25
février 2003	37198,80	35315,76	-5,06	-273,79
mars 2003	40864,20	38853,61	-4,92	-292,34
Total	490525,91	446805,36	-8,91	-6356,97

TABLEAU 9-12: IMPACT D'UN REMPLACEMENT DES VENTILATEURS SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ

9.8.3 ANALYSE

On peut constater une augmentation de 4,44% de la consommation de gaz. Celle-ci s'explique par le fait qu'un ventilateur plus efficace engendre moins de déperditions d'énergie sous forme de chaleur. Cette chaleur n'étant plus récupérée par l'air traversant le ventilateur, elle doit être fournie par la batterie chaude (elle-même alimentée par la chaudière).

Pour ce qui est de la consommation électrique, on voit qu'elle diminue de 8,91%, ce qui est logique, étant donné que les ventilateurs modélisés sont plus efficaces.

9.8.4 BILAN FINANCIER ET ÉCOLOGIQUE

On aurait donc une réduction de 8,91% de la consommation électrique, mais qui est à contrebalancer avec une augmentation de la consommation de gaz de 4,44%. Néanmoins, le prix du kWh de gaz étant bien inférieur à celui du kWh d'électricité, cette modification permet tout de même d'engendrer un bénéfice annuel de 5063€.

Simultanément, on réaliserait une diminution de 7527,83 kg d'équivalent CO₂ sur les émissions de gaz à effet de serre liées à la consommation du bâtiment.

9.9 REMPLACEMENT DES APPAREILS DE BUREAU

Lors de la modélisation, on a supposé que chaque bureau contenait 2 ordinateurs et une imprimante. On va maintenant tenter de quantifier l'impact d'un remplacement des équipements actuels par des équipements moins énergivores.

Lors de la simulation, les puissances de l'appareillage présent dans les bureaux ont été estimées aux valeurs suivantes:

Tour d'ordinateur	65 W
Imprimante	110 W

TABLEAU 9-13: PUISSANCE NOMINALE DU MATÉRIEL DE BUREAU UTILISÉ DANS LA SIMULATION DE BASE

Celles-ci représentent des valeurs moyennes conseillées par l'ASHRAE.

Cependant, on pourrait potentiellement remplacer cet équipement par un équipement plus moderne consommant moins d'énergie pour des performances équivalentes.

On peut trouver les valeurs suivantes dans l'ASHRAE pour tenir compte d'appareils moins énergivores:

Tour d'ordinateur	50 W
Imprimante	75 W

TABLEAU 9-14: PUISSANCES D'UN MATÉRIEL DE BUREAU MOINS ÉNERGIVORE

On va maintenant simuler la demande du bâtiment après remplacement des appareils.

9.9.1 IMPACT SUR LA CONSOMMATION DE GAZ

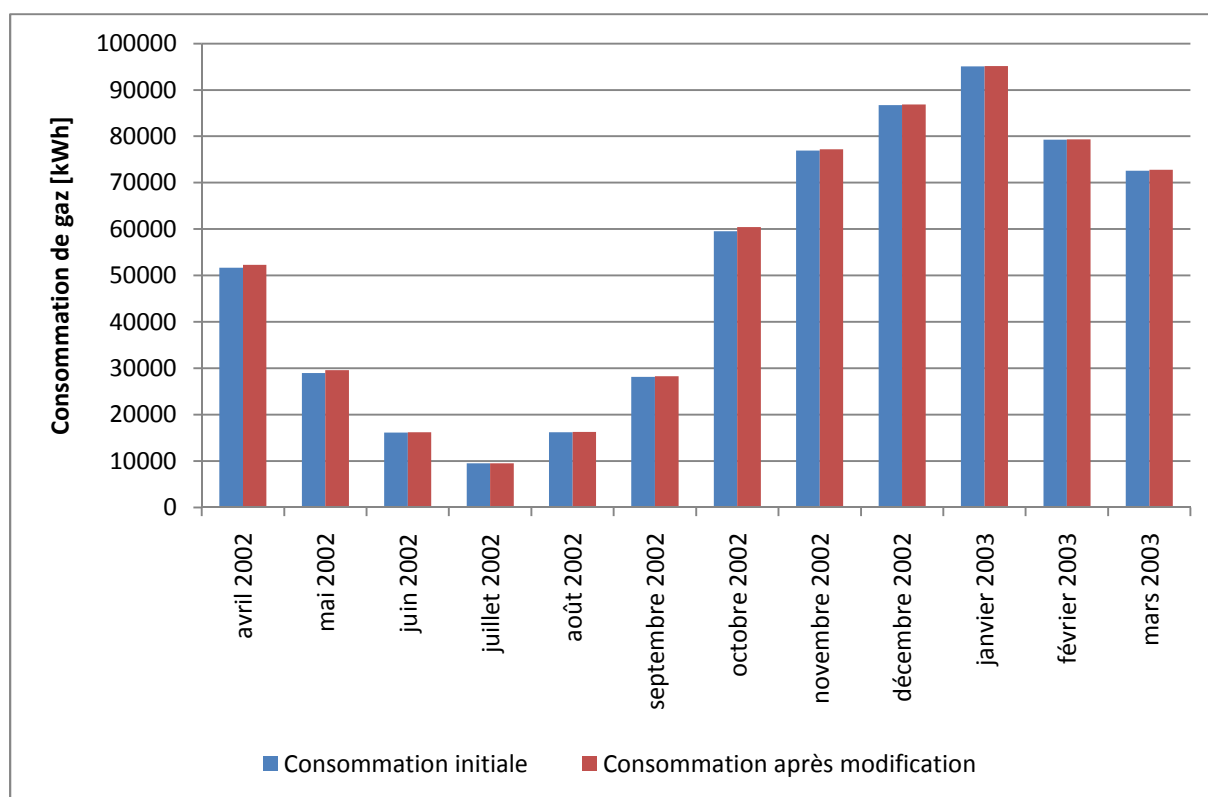


FIGURE 9-14: IMPACT D'UN REMPLACEMENT DU MATÉRIEL DE BUREAU SUR LA CONSOMMATION DE GAZ

9.9.2 IMPACT SUR LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE

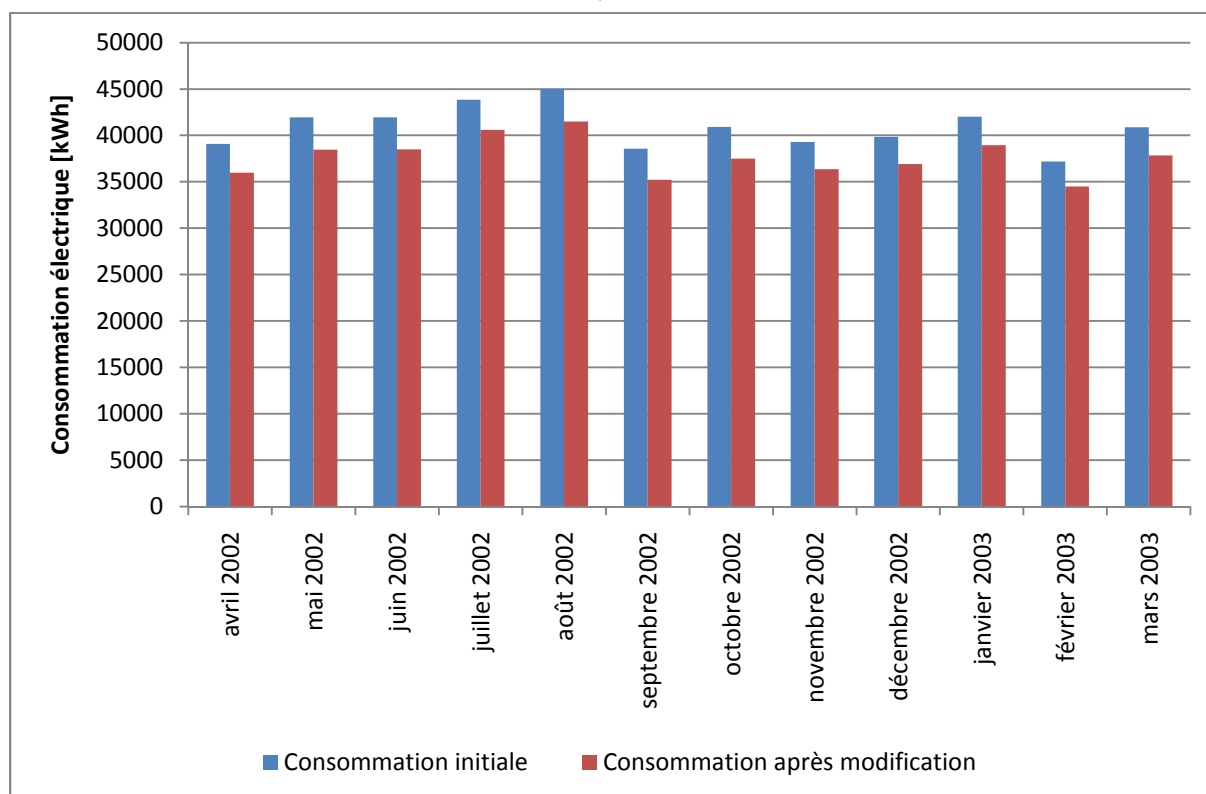


FIGURE 9-15: IMPACT D'UN REMPLACEMENT DU MATÉRIEL DE BUREAU SUR LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE

	Consommation initiale	Consommation après modification	Différence	Coût
	[kWh]	[kWh]	[%]	[€]
avril 2002	39079,31	35979,80	-7,93	-450,67
mai 2002	41963,37	38473,23	-8,32	-507,47
juin 2002	41938,99	38505,73	-8,19	-499,20
juillet 2002	43861,84	40610,66	-7,41	-472,72
août 2002	45012,75	41497,03	-7,81	-511,19
septembre 2002	38556,09	35220,37	-8,65	-485,01
octobre 2002	40907,63	37499,25	-8,33	-495,58
novembre 2002	39289,31	36357,28	-7,46	-426,32
décembre 2002	39845,96	36911,61	-7,36	-426,65
janvier 2003	42007,64	38953,29	-7,27	-444,10
février 2003	37198,80	34486,27	-7,29	-394,40
mars 2003	40864,20	37831,69	-7,42	-440,93
Total	490525,91	452326,20	-7,79	-5554,24

TABEAU 9-15: IMPACT D'UN REMPLACEMENT DU MATÉRIEL DE BUREAU SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ

9.9.3 ANALYSE

On peut voir que l'impact d'une modification de l'appareillage sur la consommation de gaz reste très faible (augmentation de 0,5%, soit 144,64€).

A contrario, l'utilisation de matériel moins énergivore engendre une diminution de 7,79% de la consommation électrique.

9.9.4 BILAN FINANCIER ET ÉCOLOGIQUE

Le remplacement de l'équipement de bureau actuellement présent par un équipement moins gourmand en électricité permettrait une réduction de la facture énergétique de 5410€ par année.

Grâce à cette modification, on permettrait en plus une économie d'émission de gaz à effet de serre à hauteur de 11468,34 kg d'équivalent CO₂.

9.10 OPTIMISATION DE L'ÉCLAIRAGE

On va à présent tenter d'optimiser l'éclairage présent au sein des bureaux. Pour ce faire, on va se servir d'une méthode décrite dans le cours "*Introduction à l'éclairage et à l'acoustique*"⁴⁴.

Avant toute chose, il est utile de présenter les définitions suivantes:

- Le **flux lumineux** correspond à la puissance lumineuse émise par une source, i.e. à un nombre de photons émis par unité de temps.
Il se mesure en lumen (lm).
- L'**éclairement lumineux** caractérise le flux lumineux reçu par unité de surface.
Il se mesure en lux (lx) avec:

$$1lx = \frac{1lm}{m^2}$$

- L'**éclairement à maintenir** – E_m [lx]:
Valeur en dessous de laquelle l'éclairement moyen de la surface considérée ne peut pas descendre.
- Le **facteur de maintenance** – MF [/]:
Facteur de réduction permettant de prendre en compte la diminution de l'éclairement du à plusieurs phénomènes liés au vieillissement de l'installation et des locaux.
- L'**éclairement initial** – E_i [lx]:
Eclairement moyen lorsqu'une installation est à l'état neuf.
Il est lié à l'éclairement à maintenir et au facteur de maintenance lumineuse.
$$E_m = E_i \cdot MF$$
- L'**indice de rendu des couleurs** – R_a [/]:
Indice compris entre 0 et 100 caractérisant l'effet de la lumière sur la couleur des objets par rapport à la lumière naturelle (pour laquelle R_a est égal à 100).

Dans le cas d'un travail de bureau administratif (écriture, dactylographie, lecture et traitement de donnée), la norme NBN EN 12464-1 recommande de respecter les critères suivants:

E_m [lx]	R_a [/]
500	80

TABEAU 9-16: CRITÈRES IMPOSÉS PAR LA NORME NBN EN 12464-1 POUR L'ÉCLAIRAGE D'UN ESPACE DE BUREAU

⁴⁴ J-J. Embrechts, 2010. Notes du cours d'Introduction à l'éclairage et à l'acoustique (ELEN0077-4). Université de Liège.

Le facteur de maintenance est, par défaut, fixé à 0,85.

On peut donc calculer l'éclairement initial imposé par la norme:

$$E_i = \frac{E_m}{MF} = \frac{500}{0,85} = 588 \text{ lx} = 588 \text{ lm/m}^2$$

Afin de réaliser une économie, on peut considérer l'emploi de tubes fluorescents (néons) ou de tubes fluorescents compacts (lampes économiques). Ces types d'éclairage ont les caractéristiques suivantes:

	Tubes fluorescents (gamme 80)	Tubes fluorescents compacts
Efficacité lumineuse – η [lm/W]	95	70
Indice de rendu des couleurs – R_a [/]	85	85

TABLEAU 9-17: CARACTÉRISTIQUES DES TUBES FLUORESCENTS

Ces types de lampes possèdent bien un indice de rendu des couleurs supérieur à 80.

Pour ce qui est du rendement lumineux, on considèrera une valeur intermédiaire (modélisant un emploi mixte des 2 types de lampes) de 80 lm/W.

On peut maintenant calculer la puissance de l'éclairage à installer:

$$\left. \begin{array}{l} E_i = 588 \text{ lm/m}^2 \\ \eta = 80 \text{ lm/W} \end{array} \right\} P_{\text{écl}} = \frac{588}{80} = 7,35 \text{ W/m}^2$$

On considèrera un éclairage de 8 W/m² dans les bureaux.

Pour les circulations et les couloirs, la norme NBN EN 12464-1 recommande de respecter les critères suivants:

E_m [lx]	R_a [/]
100	40

TABLEAU 9-18: CRITÈRES IMPOSÉ PAR LA NORME NBN EN 12464-1 POUR L'ÉCLAIRAGE D'UNE ZONE DE CIRCULATION

Le facteur de maintenance est toujours fixé, par défaut, à 0,85.

On calcule maintenant l'éclairement initial imposé par la norme:

$$E_i = \frac{E_m}{MF} = \frac{100}{0,85} = 118 \text{ lx} = 118 \text{ lm/m}^2$$

Le rendu des couleurs des lampes envisagées est bien supérieur au rendu imposé et elles peuvent donc convenir à cette application.

Calculons maintenant la puissance nécessaire:

$$\left. \begin{array}{l} E_i = 118 \text{ lm/m}^2 \\ \eta = 80 \text{ lm/W} \end{array} \right\} P_{\text{écl}} = \frac{118}{80} = 1,475 \text{ W/m}^2$$

On prendra en compte un éclairage de 2 W/m² dans les couloirs et l'atrium.

9.10.1 IMPACT SUR LA CONSOMMATION DE GAZ

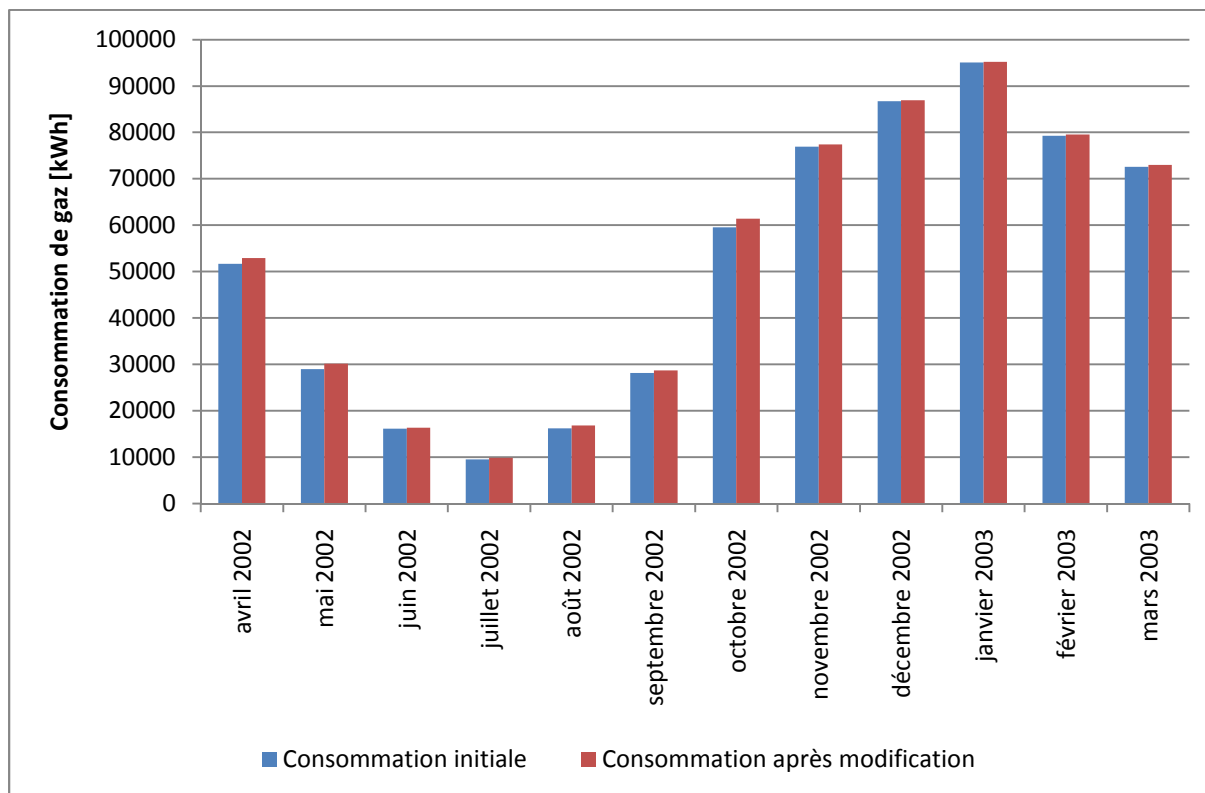


FIGURE 9-16: IMPACT DE L'UTILISATION D'UN ÉCLAIRAGE ÉCONOMIQUE SUR LA CONSOMMATION DE GAZ

9.10.2 IMPACT SUR LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE

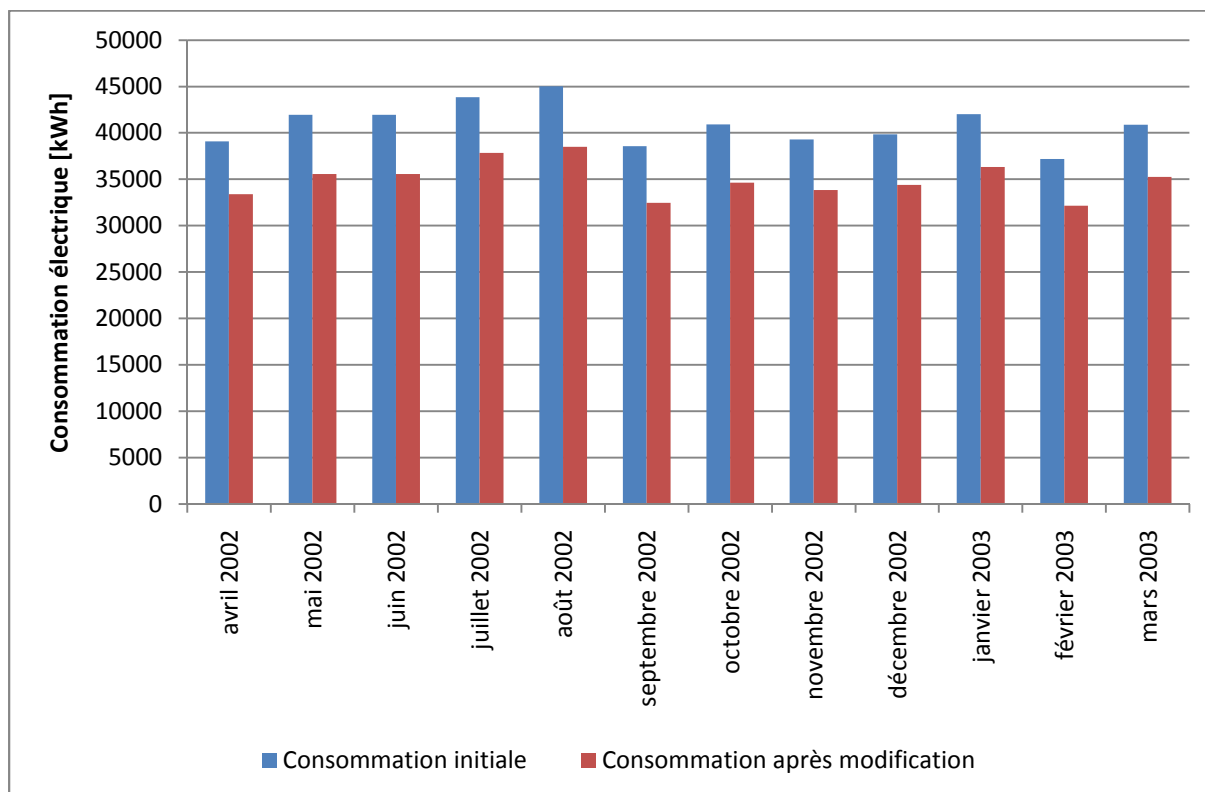


FIGURE 9-17: IMPACT DE L'UTILISATION D'UN ÉCLAIRAGE ÉCONOMIQUE SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ

	Consommation initiale	Consommation après modification	Différence	Coût
	[kWh]	[kWh]	[%]	[€]
avril 2002	39079,31	33382,57	-14,58	-828,31
mai 2002	41963,37	35555,7265	-15,27	-931,67
juin 2002	41938,99	35553,2963	-15,23	-928,48
juillet 2002	43861,84	37852,0641	-13,70	-873,82
août 2002	45012,75	38515,9134	-14,43	-944,64
septembre 2002	38556,09	32448,8188	-15,84	-888,00
octobre 2002	40907,63	34627,4949	-15,35	-913,13
novembre 2002	39289,31	33838,0145	-13,87	-792,62
décembre 2002	39845,96	34399,5508	-13,67	-791,91
janvier 2003	42007,64	36337,8842	-13,50	-824,38
février 2003	37198,80	32158,0219	-13,55	-732,93
mars 2003	40864,20	35252,0989	-13,73	-816,00
Total	490525,91	419921,45	-14,39	-10265,89

TABLEAU 9-19: IMPACT DE L'UTILISATION D'UN ÉCLAIRAGE ÉCONOMIQUE SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ

9.10.3 ANALYSE

L'impact d'une modification de l'éclairage sur la consommation de gaz demeure raisonnable (augmentation de 1,21%, soit 352,86€).

En revanche, l'utilisation de lampes à basse consommation d'énergie permet une économie conséquente sur la consommation en électricité.

9.10.4 BILAN FINANCIER ET ÉCOLOGIQUE

Même si l'éclairage a un impact sur la température au sein des pièces, il est loin de représenter la manière la plus efficace de chauffer une pièce. Donc, même si on enregistre une légère hausse de la consommation de gaz, celle-ci est largement compensée par la diminution de la facture d'électricité. Cette modification devrait permettre d'engendrer un bénéfice annuel de 9913€.

L'adoption de cette mesure de rénovation permettrait aussi de réduire de 20772,80 kg d'équivalent CO₂ les émissions de gaz à effet de serre dues à la consommation énergétique du bâtiment.

9.11 RÉCAPITULATIF

Le tableau ci-dessous reprend un récapitulatif des mesures de rénovation envisagée ainsi que de leurs impacts respectifs.

Mesures de rénovation	Impact sur la consommation de gaz annuelle	Impact sur la consommation électrique annuelle	Economie annuelle attendue	Réduction des émissions de gaz à effet de serre
	[%]	[%]	[€]	[kg équ. CO ₂]
Chaudières à condensation	-17,43	0,00	5084,45	25216,60
Isolation des murs	-0,30	0,00	89,04	439,64
Remplacement des fenêtres	-9,74	0,16	2728,67	13840,39
Dispositif d'extinction des appareils et de l'éclairage	0,51	-10,31	7205,40	15394,89
Réduction du taux d'infiltration d'air	-3,33	0,02	958,41	4791,96
Ventilateurs plus performants	4,44	-8,91	5062,69	7527,83
Remplacement des appareils de bureau	0,50	-7,79	5409,59	11468,34
Optimisation de l'éclairage	1,21	-14,39	9913,03	20772,80

TABEAU 9-20: COMPARAISON DES IMPACTS DES DIFFÉRENTES MESURES DE RÉNOVATION

Les dispositifs les plus efficaces en vue d'une économie sur la facture d'énergie sont dans l'ordre:

1. Le remplacement de l'éclairage
2. La mise en place d'un dispositif d'extinction des appareils et de l'éclairage
3. Le remplacement du matériel de bureau par un équipement moins énergivore
4. Le remplacement des chaudières actuelles par des chaudières à condensation
5. Le remplacement des ventilateurs de pulsion des AHU par des modèles plus performants
6. Le remplacement des fenêtres actuelles par des modèles à haut rendement
7. La réduction du taux d'infiltration d'air à l'intérieur du bâtiment
8. L'isolation de la terrasse au sommet de l'atrium

Bien entendu, il est bon de rappeler que la mise en œuvre de ces modifications représente un coût qui peut varier d'une alternative à l'autre. Néanmoins, on peut constater que des améliorations plutôt simples, comme la mise en œuvre d'un plus haut taux d'extinction de lumières et des appareils, peuvent avoir un impact conséquent.

10 CONCLUSION

Différents points intéressants ont été mis en exergue au cours de la réalisation de ce travail.

D'abord, l'étape de calibration de la simulation informatique du comportement énergétique du bâtiment a permis de mettre en évidence toute l'importance de la phase d'inspection du bâtiment.

En effet, plus la connaissance du bâtiment est complète, plus la calibration est aisée. On a pu constater que les paramètres pour lesquels on disposait d'une information suffisante ont pu être évalués très rapidement, tandis que ceux pour lesquels on ne disposait que de peu d'information ont nécessité un beaucoup plus grand nombre de simulations avant d'être fixés. On peut donc penser que, dans un projet d'audit, une phase d'inspection plus approfondie, qui pourrait de prime abord sembler plus longue et plus coûteuse, représente en fait un investissement qui porte ses fruits lors des étapes ultérieures de l'audit. Cette étape d'inspection ne doit dès lors pas être prise à la légère, au risque de voir le reste de l'audit en pâtir.

Ensuite, on a pu se rendre compte de l'importance d'étudier correctement le mode de fonctionnement d'un logiciel ainsi que les hypothèses inhérentes à ses calculs avant de l'utiliser.

De fait, étant donné que les choix de modélisation ont été en partie guidés par ce qui avait été fait par le passé, on s'est parfois retrouvé à devoir modifier le code du programme afin de pouvoir effectuer une modélisation suffisamment proche de ce qui avait déjà été fait. On est dès lors en droit de se demander si l'économie de temps qu'on pensait réaliser au départ, en se servant des résultats de calculs précédemment effectués, ne s'annulait pas au vu des transformations qui ont du être faites afin de pouvoir se servir des ces résultats. Il aurait peut-être mieux valu repartir de zéro, tout en comparant, au fil de l'avancement de la modélisation, les résultats obtenus avec les résultats des études précédentes, afin de s'assurer qu'on ne faisait pas fausse route.

Enfin, l'étape d'analyse de mesures de rénovation a permis de se rendre compte du fait que des mesures ne nécessitant pas un grand investissement pouvaient néanmoins avoir un impact significatif sur la consommation énergétique d'un bâtiment, et donc sur les finances de son gestionnaire. Ceci illustre bien toute l'utilité des procédures d'audit, qui permettent de dégager un panel de solutions d'amélioration de la performance énergétique d'un bâtiment, afin de permettre à son gestionnaire de choisir, en toute connaissance de cause, celles qui lui conviennent le mieux. On peut dès lors penser que la méthodologie développée dans le cadre du projet HARMONAC permettra des bénéfices, aussi bien économiques qu'environnementaux, ce qui est particulièrement en phase avec l'époque actuelle.

11 BIBLIOGRAPHIE

André P., 2010. Notes du cours Climatisation (ARCH2015-1). Université de Liège.

André P., Lebrun J., Adam C., Cuevas C., Fonseca N., Lacôte P., 2002. Etude de cas CA-MER, Poursuite et finalisation des travaux. Vérification des performances énergétiques d'un immeuble de bureaux: Le Centre administratif du MET.

André P., Rogiest-Lejeune C., 2006. Field benchmarking and Market development for Audit methods in Air Conditioning. EIE-AUDITAC – Belgian Case Study Nr1: An Office Building in Namur.

André P., Lebrun J., Lacôte P., 2002. Gestion optimale de la climatisation d'un immeuble de bureaux. (Communication présentée à la journée d'étude "Réinventons l'énergie", visite du CA-MET, le 10 octobre 2002).

Cuevas C., 2002. Simplified Modeling of the CA-MET building.

Cuevas C., Lacôte P., Lebrun J., 2002. Re-commissioning of an Air Handling Unit.

André P., Lacôte P., 1999. Projet QG-MET/AIE Annexe 34 – Convention 98/45199. Bâtiment QG-MET à Namur. Synthèse des apports de la simulation à différents stades du cycle de vie du projet.

André P., 1994. Prolongement des AIE Annexe 17 et 21 – Convention 93/32734. Contribution de la FUL au troisième rapport technique de la phase 3.

André P., 1994. Prolongement des AIE Annexe 17 et 21 – Convention 93/32734. 4ème rapport technique de la phase 3, 1ère partie: Analyse globale d'un "niveau" du bâtiment QG-MET.

André P., Kummert M., 1995. International Energy Agency – Energy Conservation in Buildings and Community Systems. Annex 30 "Bringing Simulation to Application". Analysis of sensible heating and cooling demand of the QG-MET building. First approach of the HVAC and control systems simulation.

NBN EN 13779, 2007. Ventilation des bâtiments non résidentiels – Exigences de performances pour les systèmes de ventilation et de conditionnement d'air.

ISO/FDIS 13790, 2007. Energy performance of buildings – Calculation of energy use of space heating and cooling.

HarmonAC. Audit-case study. CASE STUDY: Large VAV Administration Building (Audit ID: CASE01 Belgium).

HarmonAC. Audit-case study. BE Case Study 1: Belgium Administrative building. ECOs: E3.9; P3.12; O4.6; O2.2; O2.3; O3.1.

Knight I., Cambray J. Quantifying the Energy Conservation Opportunities found in Air-Conditioning Inspections as required by EPBD Article 9.

Caillet J., Adnot J., Masoero M., Rivière P. Proposal for the field identification of a short list of Energy Conservation Opportunities related with Air Conditioning equipments.

Alexandre J.L., Silva M., Freire A., Rouboa A. General Overview of Potential Energy Savings in the Tertiary Sector in Some European Countries.

Bertagnolio S., 2010. Harmonizing Air Conditioning inspection and audit procedures in the tertiary building sector (EIE-07-132), Workpackage No.:7, Improved Inspection and Audit Simulation Tools, Simulation Tools – Reference Book (Draft 3).

Bertagnolio S., Lebrun J., Hannay J., Aparecida Silva C., 2008. Simulation – Assisted audit of an air conditioned office building.

Bertagnolio S., Lemort V., 2010. IEA-ECBCS Annex 53: Total Energy Use in Buildings - Analysis and evaluation methods. Simple Building Energy Simulation Model.

Meunier F. Thermodynamique de l'ingénieur: Energétique et environnement

J-J. Embrechts, 2010. Notes du cours d'Introduction à l'éclairage et à l'acoustique (ELEN0077-4). Université de Liège.

ADEME, Bilan Carbone – Calcul des facteurs d'émissions et sources bibliographiques utilisées (Version 3.0).

MET Namur – Régulation HVAC Bloc A description des programmes CPU 03.

ASHRAE,2006. ASHRAE Handbook series, Refrigeration.

ASHRAE,2007. ASHRAE Handbook series, HVAC Applications.

ASHRAE,2008. ASHRAE Handbook series, HVAC Systems and Equipment.

ASHRAE,2009. ASHRAE Handbook series, Fundamentals.

12 SITES INTERNET CONSULTÉS

Site Internet de la Commission Wallonne Pour l'Energie (CWAPE):

<http://www.cwape.be/xml/themes.xml?IDC=1917>

Site Internet du projet HARMONAC:

<http://www.harmonac.info/index.php?id=284>

Site Internet de la société Fluxys:

<http://www.fluxys.com/fr-BE/home.aspx>

Site Internet Energie⁺:

http://www.energieplus-lesite.be/energieplus/page_16090.htm

Site Internet du Réseau International d'Accès aux Energies Durables (RIAED):

<http://www.riaed.net/spip.php?article470>

Site Internet de l'ULg (Campus d'Arlon), Unité "Surveillance de l'environnement":

http://www.dsge-arlon.ulg.ac.be/ulg_surveillance/index.php?option=com_content&task=view&id=48&Itemid=49

Site Internet du logiciel WINDOW 5.2:

<http://windows.lbl.gov/software/window/window.html>

Site Internet de la direction générale de la Commission européenne chargée de l'information statistique à l'échelle communautaire (Eurostat):

<http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do>

TABLE DES ANNEXES

Annexe A Plans des parois des pièces	A-1
A.1 Bureau 1	A-1
A.1.1 Mur Nord.....	A-1
A.1.2 Mur Sud	A-1
A.1.3 Mur Ouest	A-2
A.1.4 Mur Est	A-2
A.1.5 Plafond	A-3
A.1.6 Plancher.....	A-3
A.2 Couloir 2	A-4
A.2.1 Mur Nord.....	A-4
A.2.2 Mur Sud	A-4
A.2.3 Plafond	A-5
A.2.4 Plancher.....	A-5
A.3 Bureau 3	A-6
A.3.1 Mur Nord.....	A-6
A.3.2 Mur Sud	A-6
A.3.3 Mur Ouest	A-7
A.3.4 Mur Est	A-7
A.3.5 Plafond	A-8
A.3.6 Plancher.....	A-8
A.4 Atrium	A-9
A.5 Bureau 4	A-9
A.5.1 Mur Nord.....	A-9
A.5.2 Mur Sud	A-9
A.5.3 Mur Ouest	A-10
A.5.4 Mur Est	A-10
A.5.5 Plafond	A-11
A.5.6 Plancher.....	A-11
A.6 Couloir 5	A-12
A.6.1 Mur Nord.....	A-12
A.6.2 Mur Sud	A-12
A.6.3 Plafond	A-13
A.6.4 Plancher.....	A-13

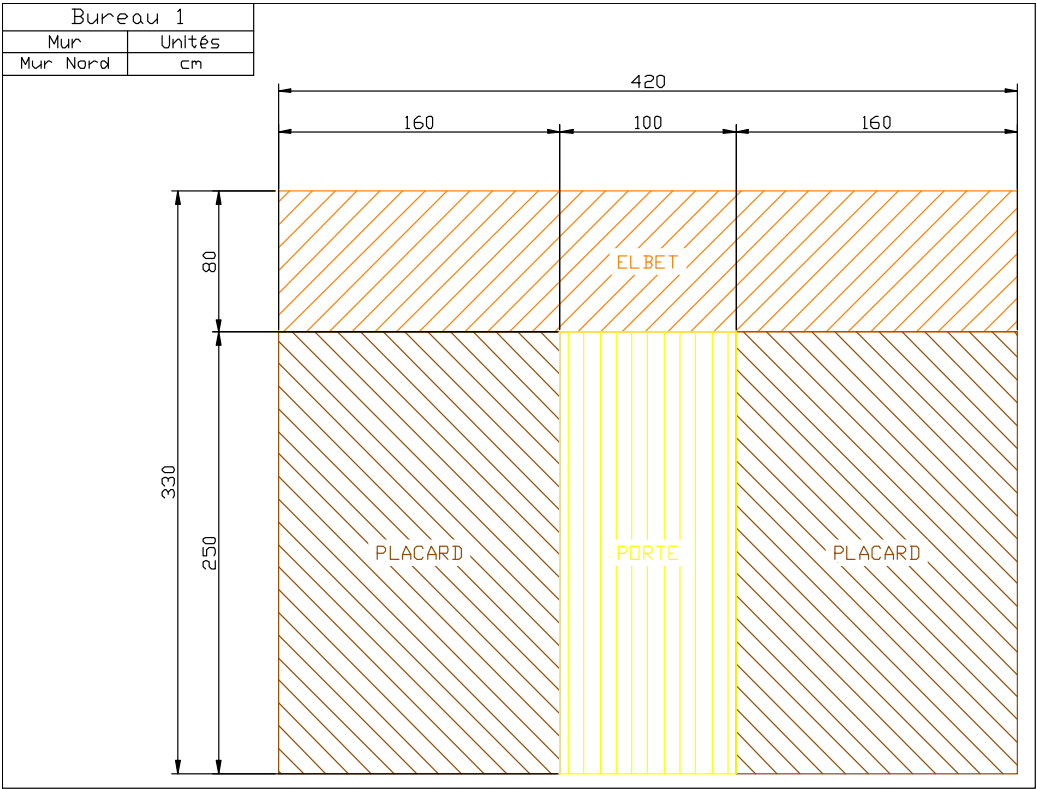
A.7 Bureau 6	A-14
A.7.1 Mur Nord.....	A-14
A.7.2 Mur Sud	A-14
A.7.3 Mur Ouest	A-15
A.7.4 Mur Est	A-15
A.7.5 Plafond	A-16
A.7.6 Plancher.....	A-16
Annexe B Description des parois.....	B-1
B.1 ALLRUE	B-1
B.2 ALLEGE.....	B-1
B.3 ATRIUM	B-1
B.4 CHASATR.....	B-2
B.5 CHASEXT	B-2
B.6 CHASRUE	B-2
B.7 CLOISON	B-2
B.8 DVITRAGE	B-3
B.9 ELBET	B-3
B.10 EXTNORD	B-3
B.11 EXTSUD	B-4
B.12 PLACARD.....	B-4
B.13 PLAFBUR	B-4
B.14 PLAFCOU.....	B-5
B.15 PLANBUR	B-5
B.16 PLANCOU	B-5
B.17 PORTE	B-6
B.18 TERRASSE.....	B-6
B.19 TVITRAGE.....	B-6
B.20 VERRIERE	B-7
B.21 VITRAGE.....	B-7
B.22 VITRAGER	B-7
Annexe C Liste de possibilités d'économie d'énergie	C-1
Annexe D Caractéristiques techniques de la chaudière à condensation "ELLPREX 1100"	D-1
Annexe E Brochure descriptive du vitrage "Sprimoglass Optima"	E-1

Annexe F Exigences d'isolation thermique et de ventilation pour les bâtiments à transformer en Région Wallonne	F-1
--	-----

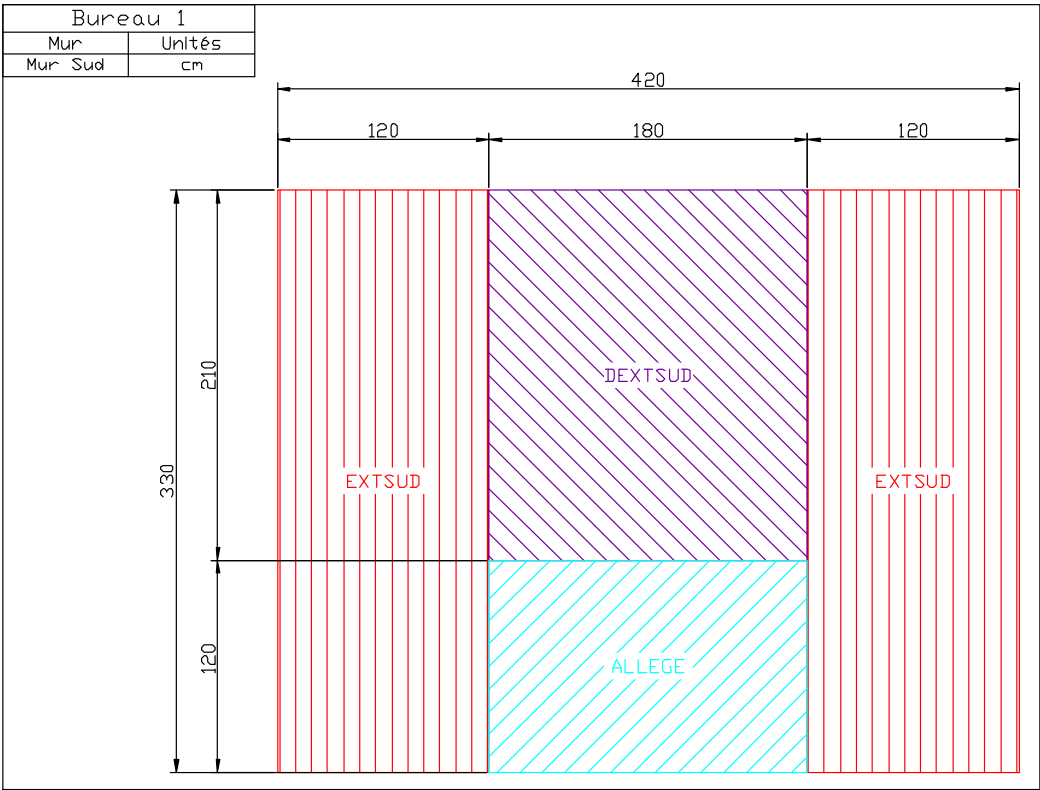
Annexe A PLANS DES PAROIS DES PIÈCES

A.1 BUREAU 1

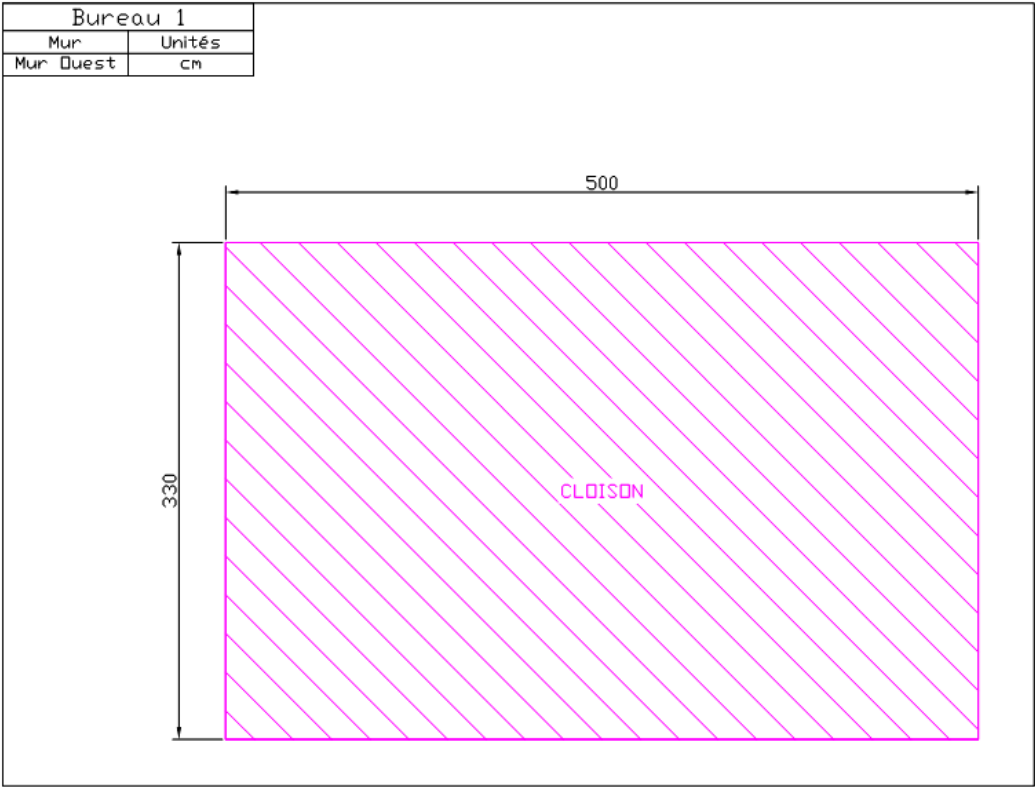
A.1.1 MUR NORD



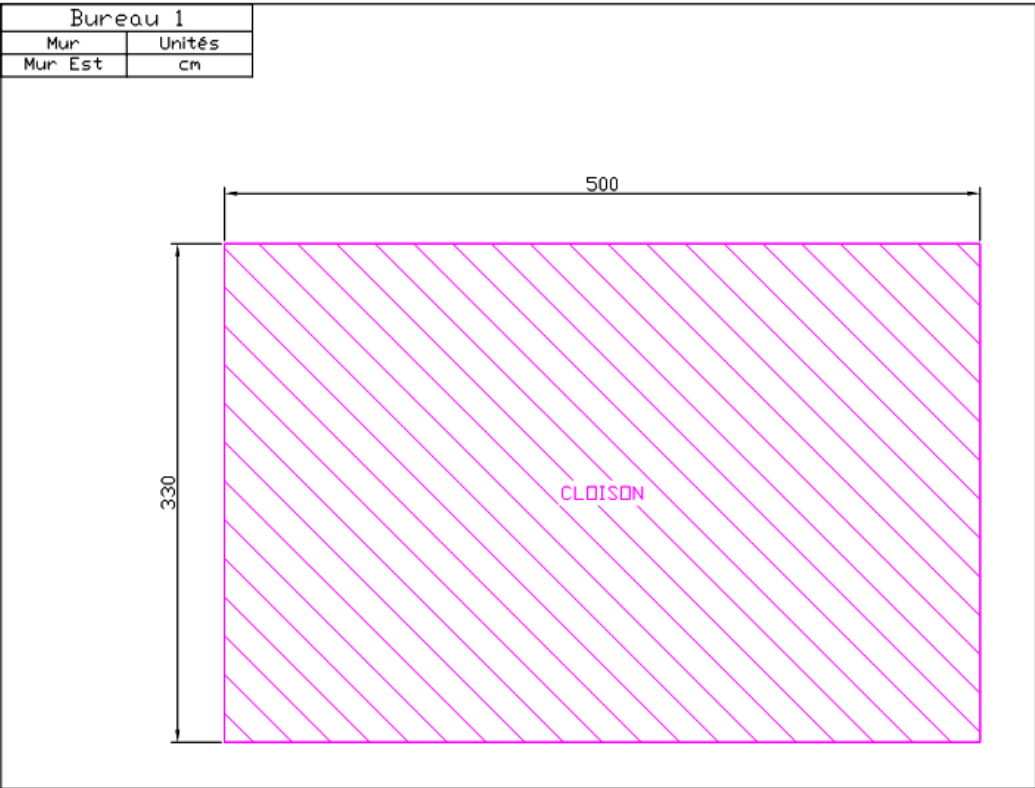
A.1.2 MUR SUD



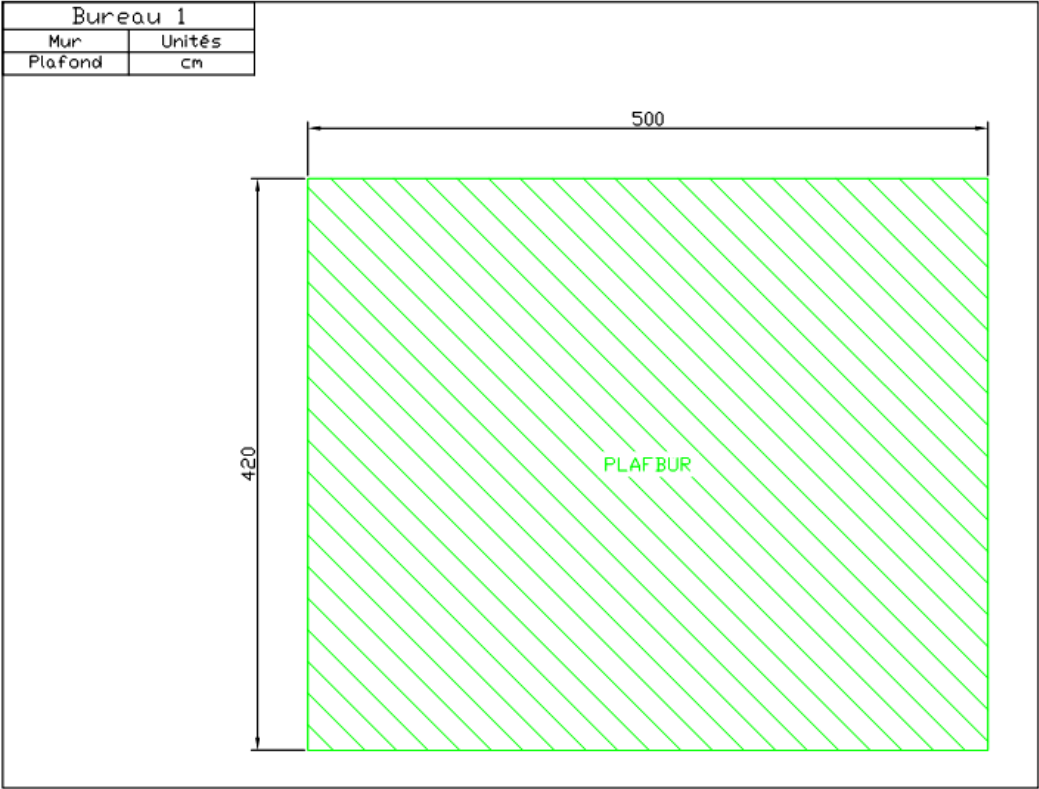
A.1.3 MUR OUEST



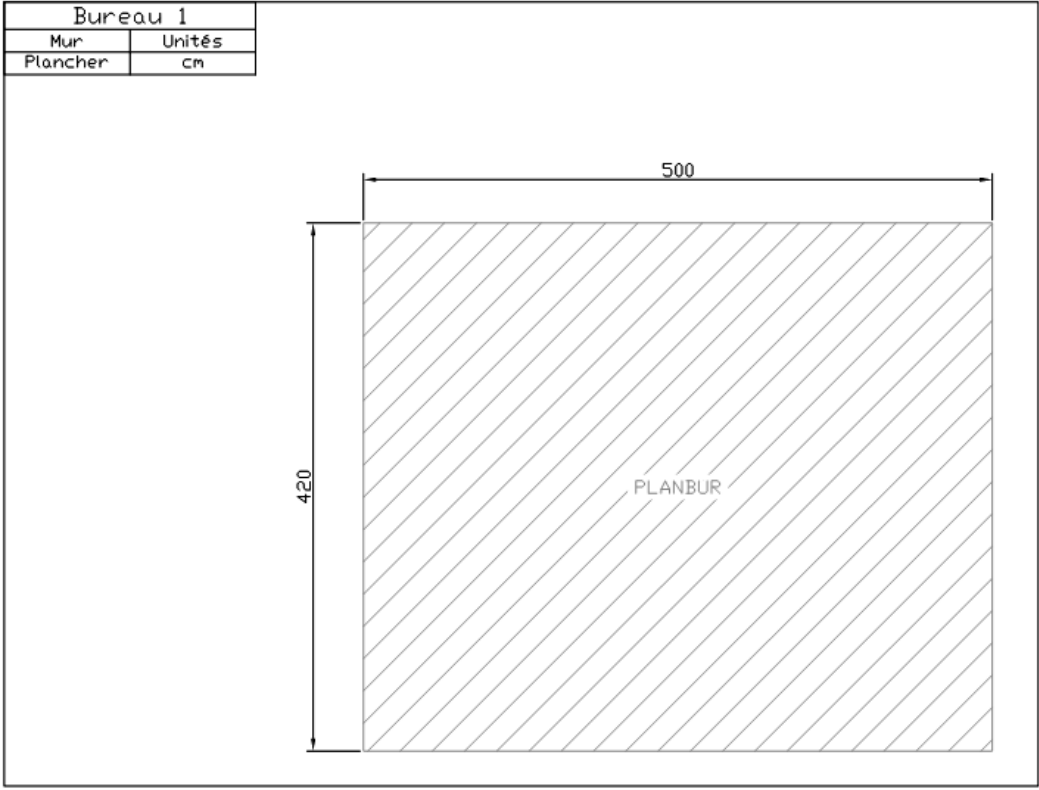
A.1.4 MUR EST



A.1.5 PLAFOND

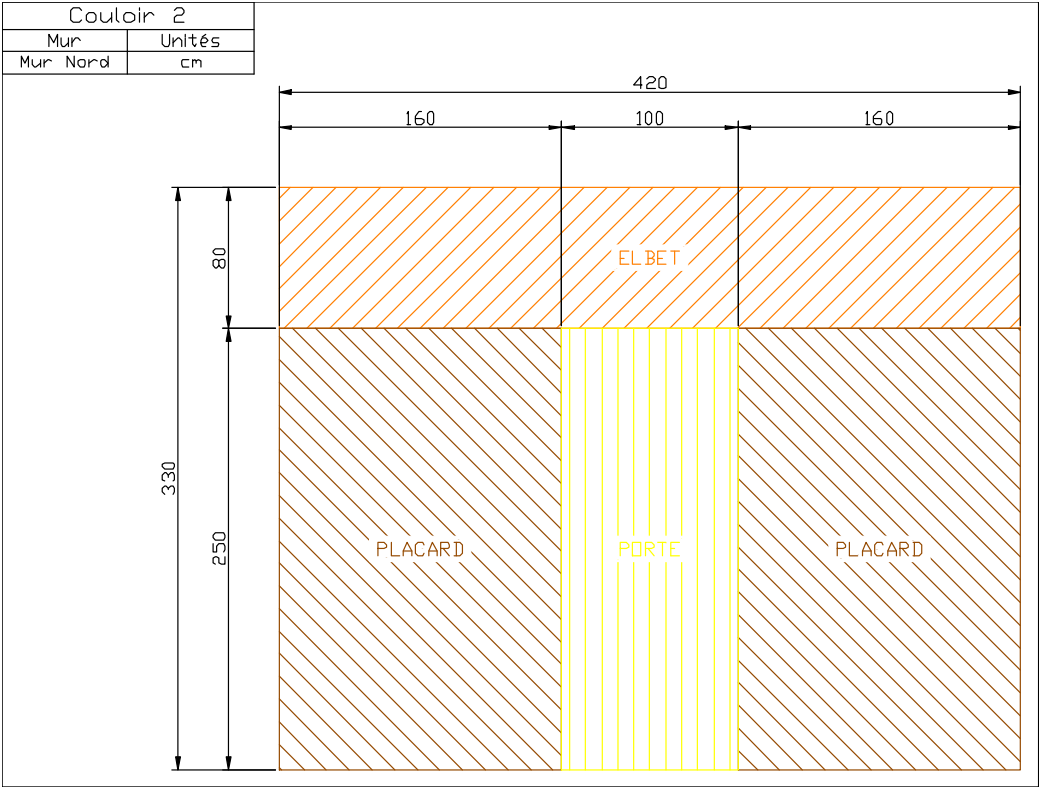


A.1.6 PLANCHER

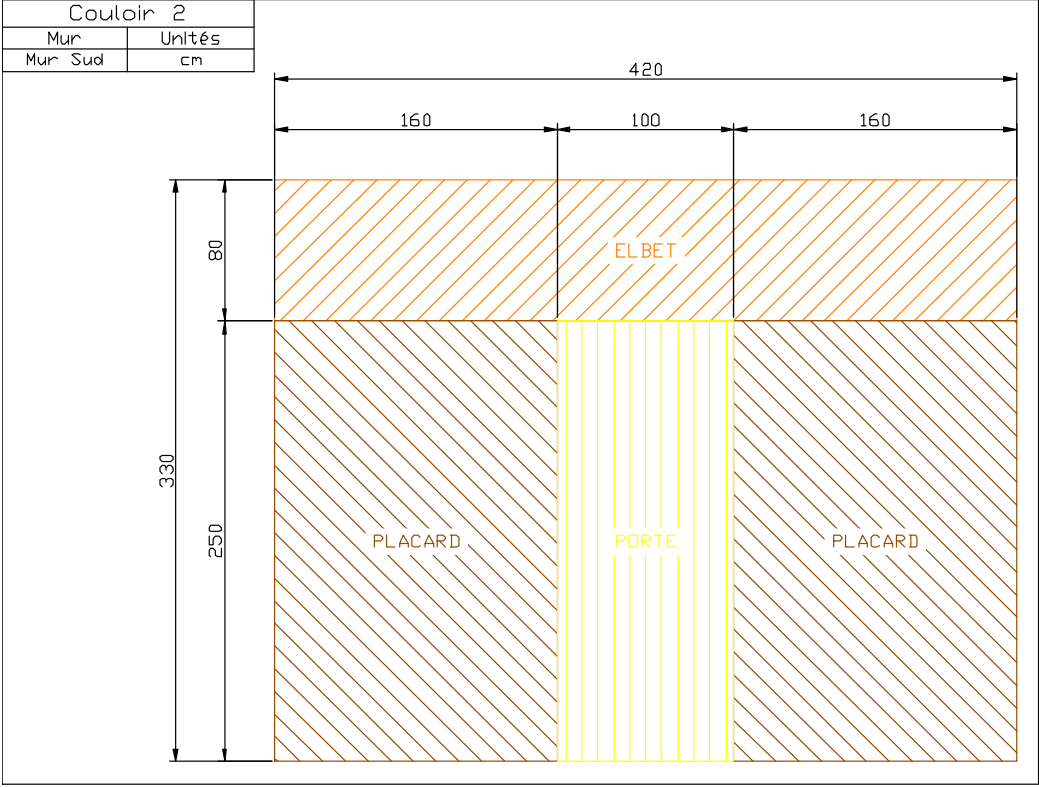


A.2 COULOIR 2

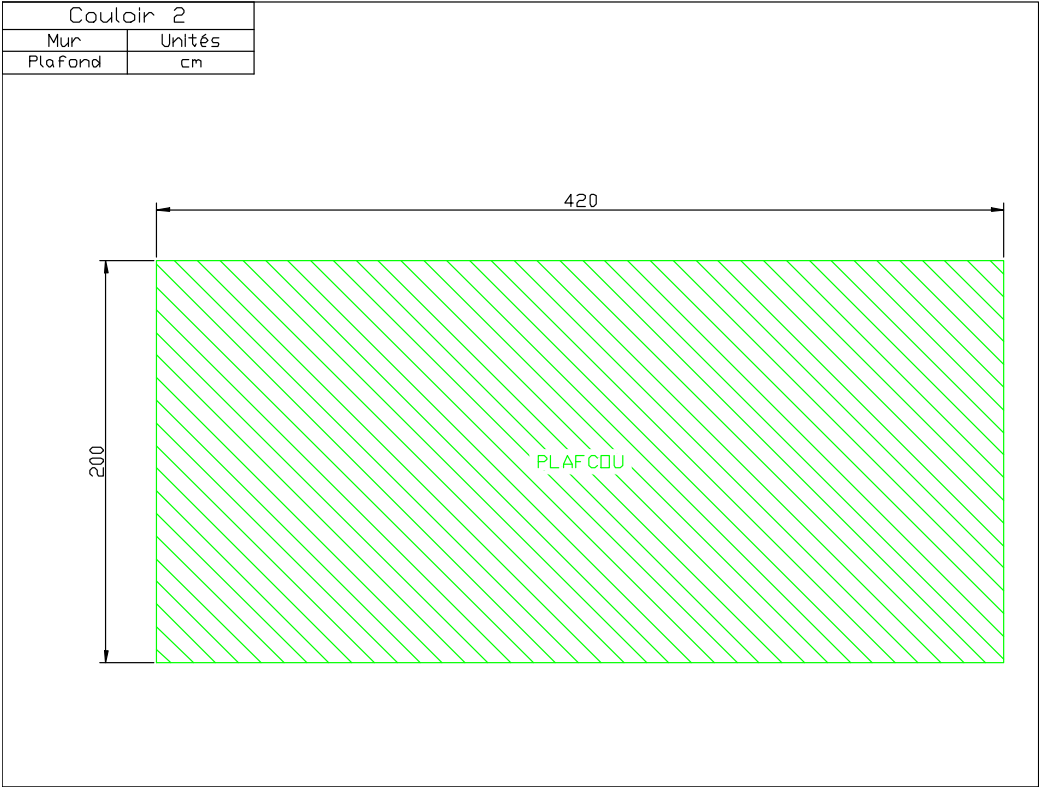
A.2.1 MUR NORD



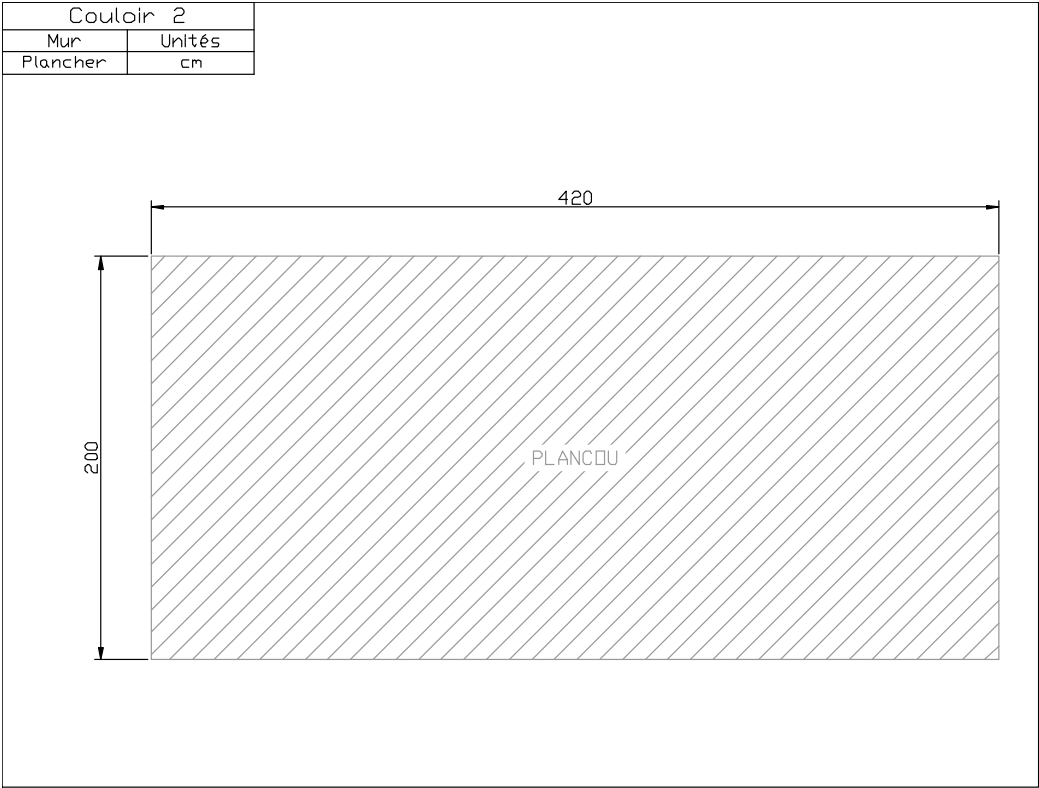
A.2.2 MUR SUD



A.2.3 PLAFOND

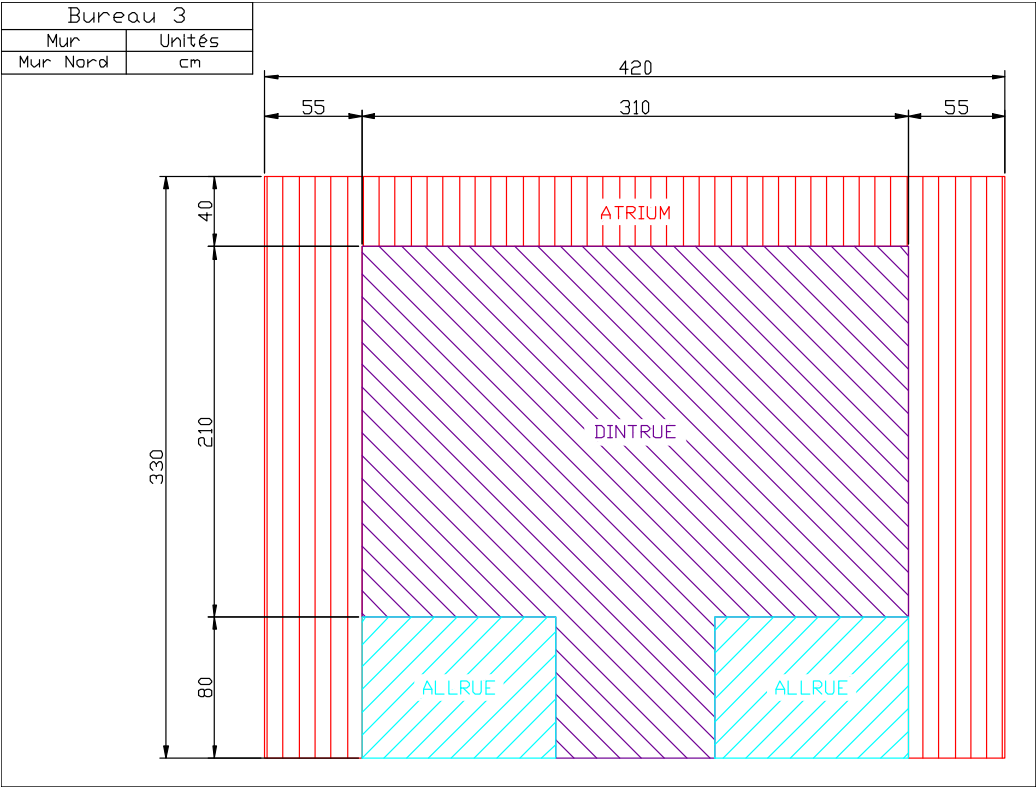


A.2.4 PLANCHER

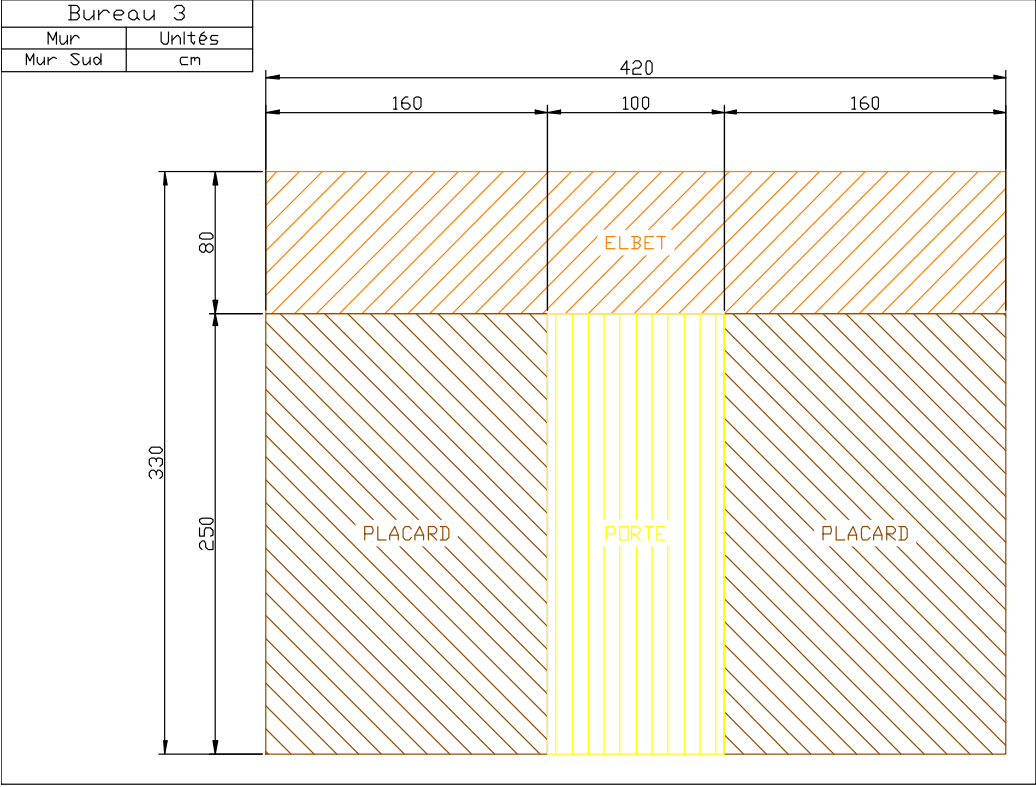


A.3 BUREAU 3

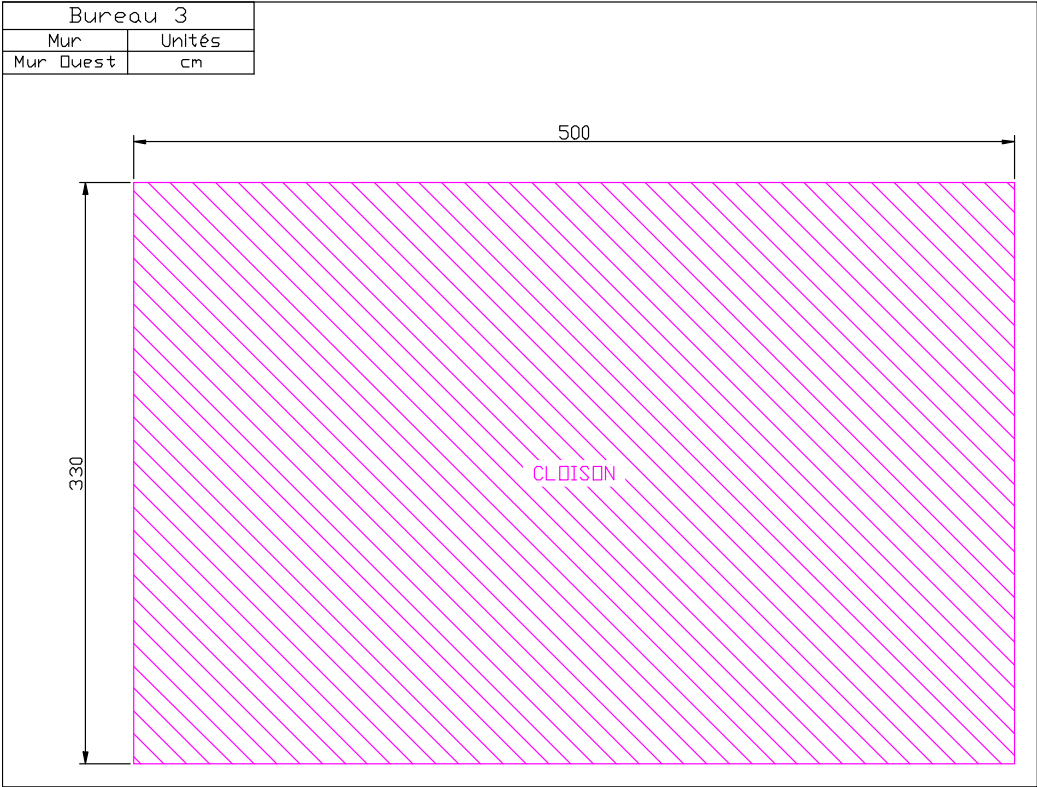
A.3.1 MUR NORD



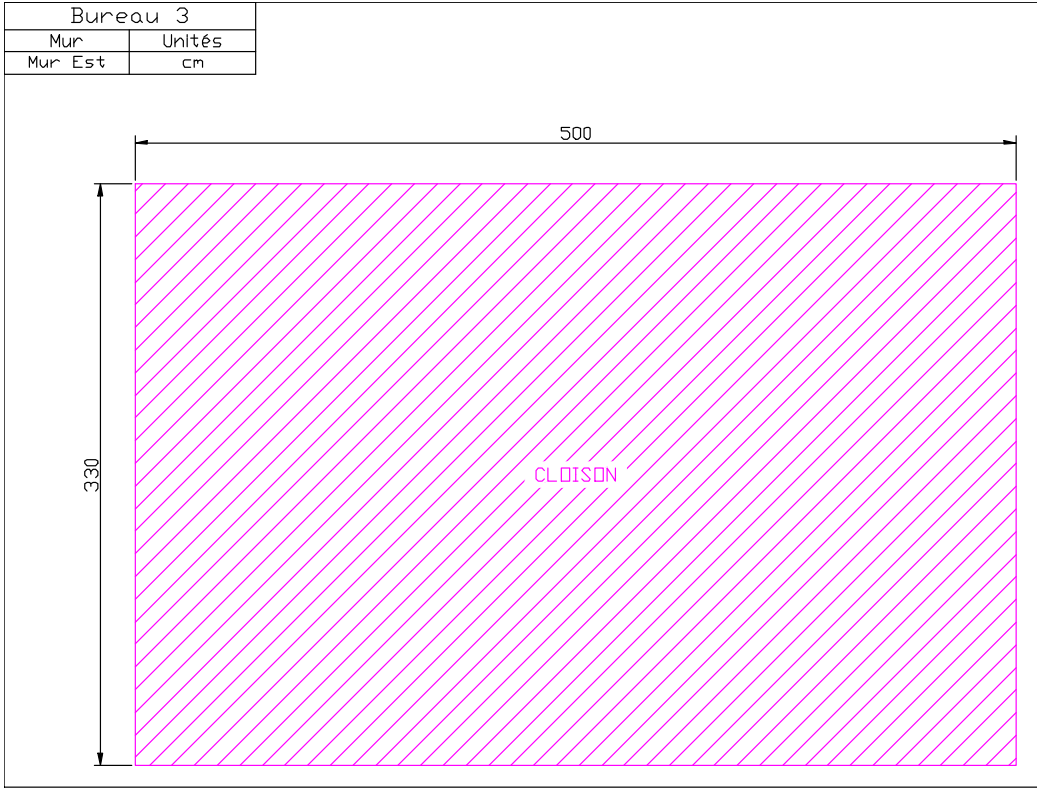
A.3.2 MUR SUD



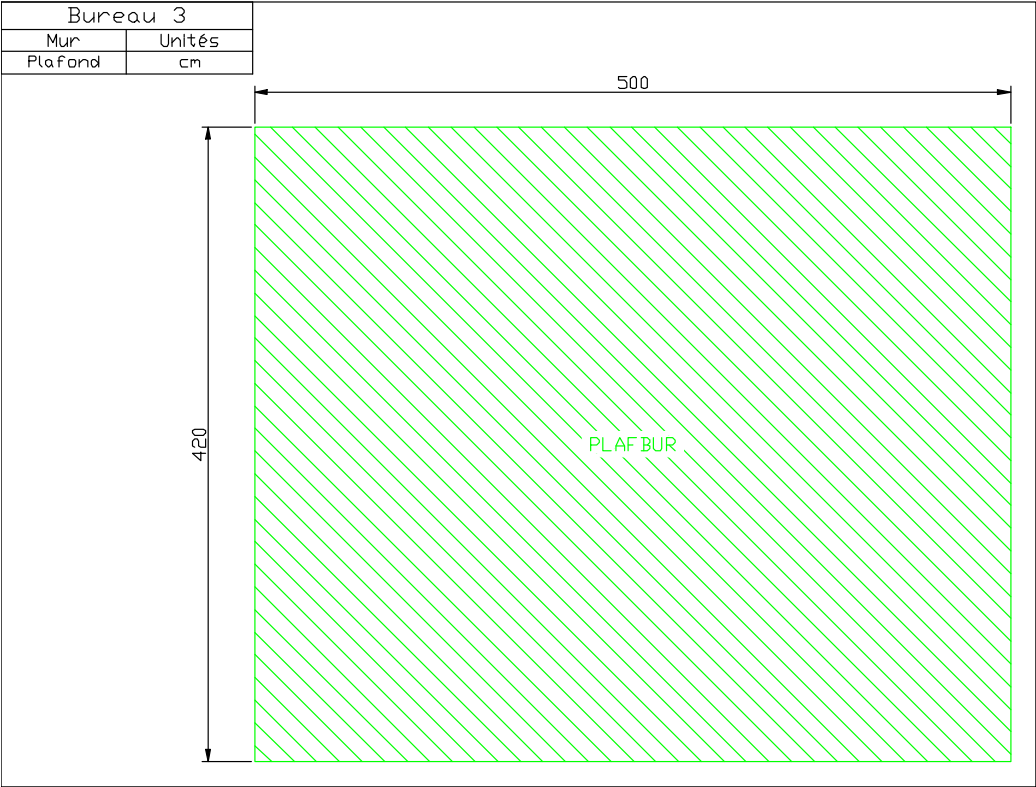
A.3.3 MUR OUEST



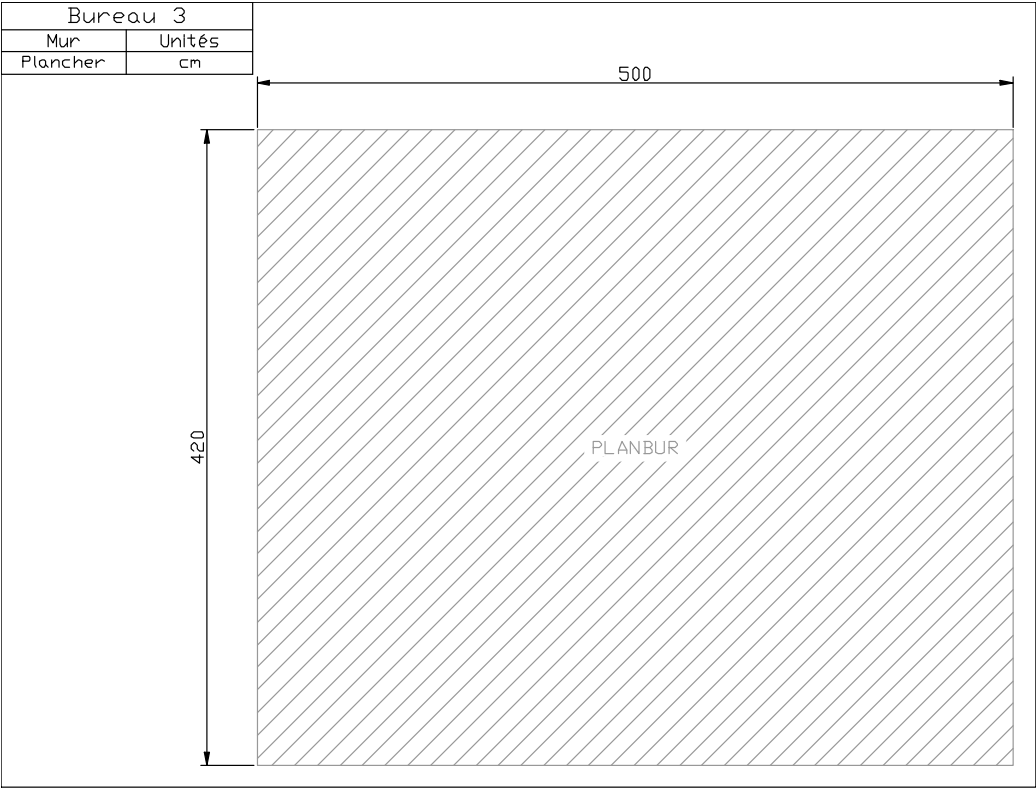
A.3.4 MUR EST



A.3.5 PLAFOND



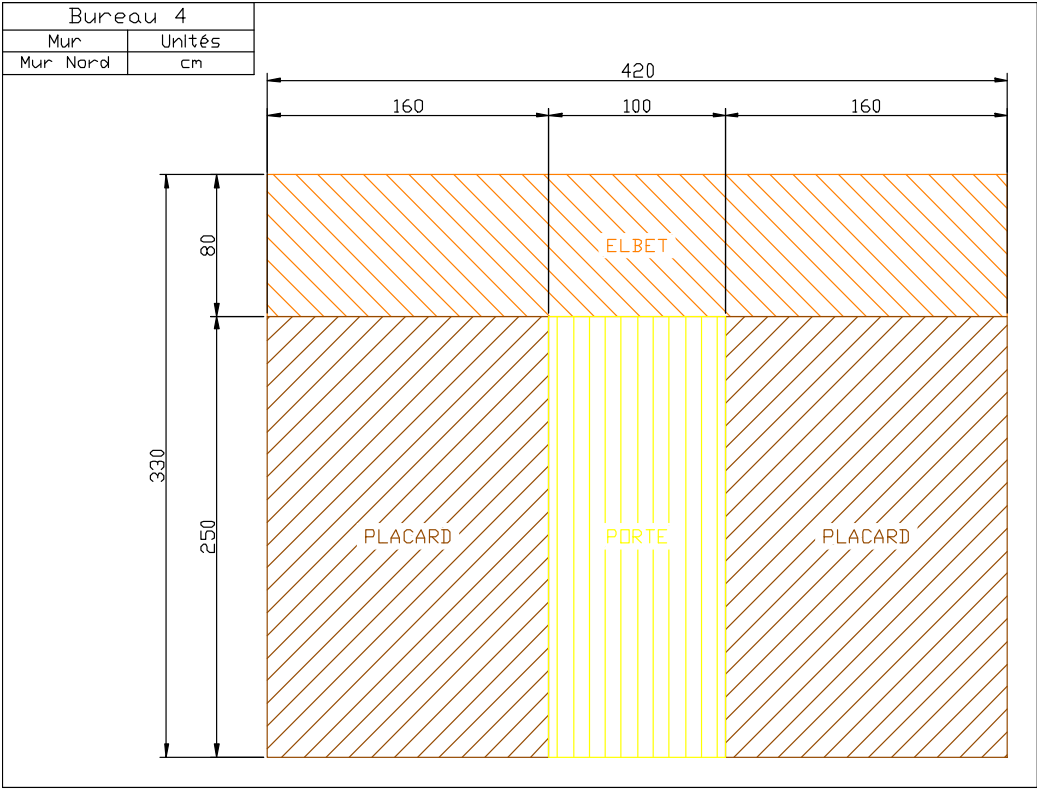
A.3.6 PLANCHER



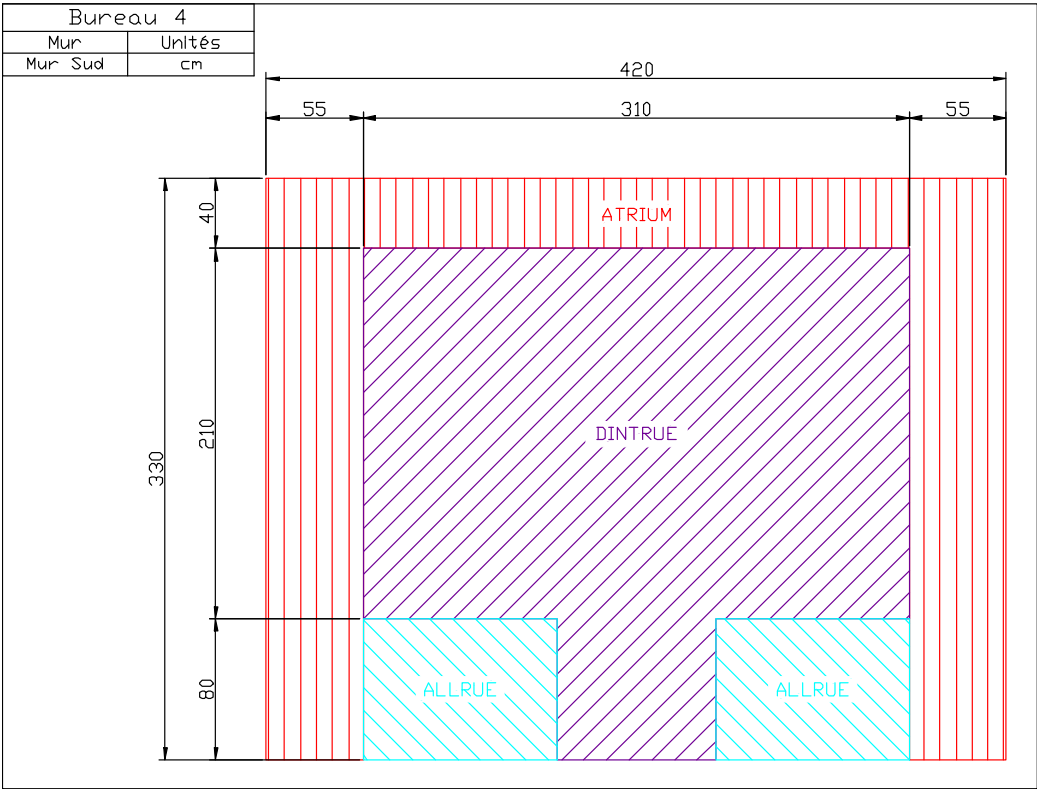
A.4 ATRIUM

A.5 BUREAU 4

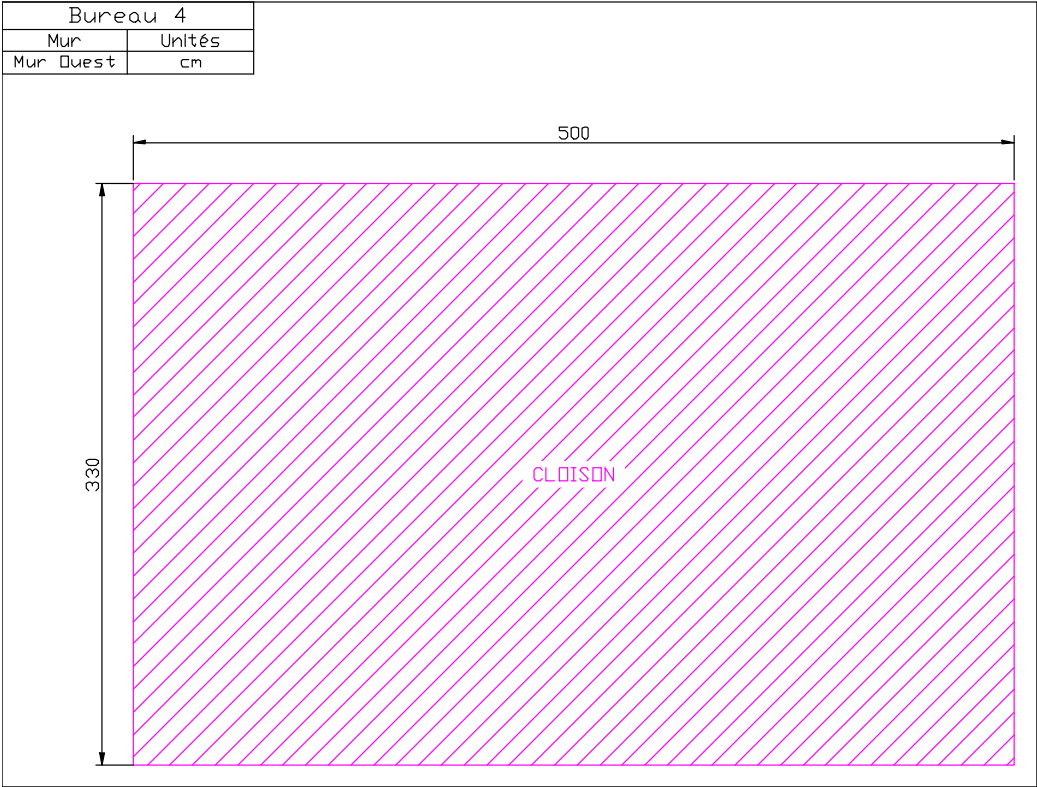
A.5.1 MUR NORD



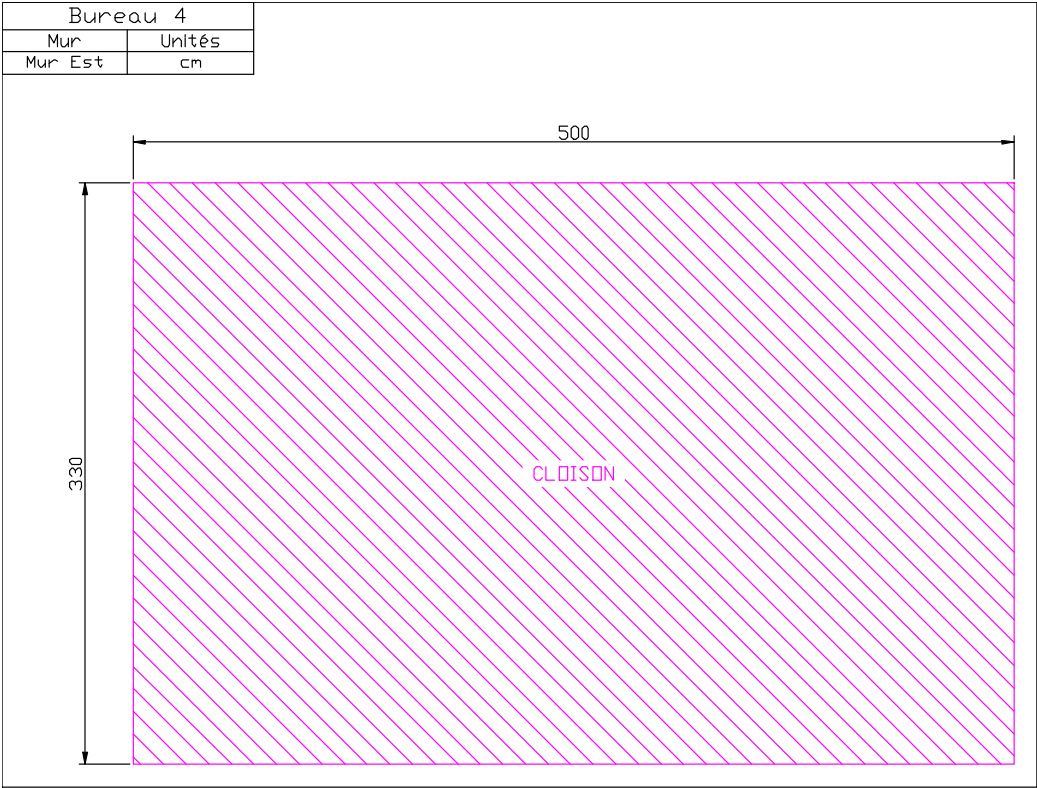
A.5.2 MUR SUD



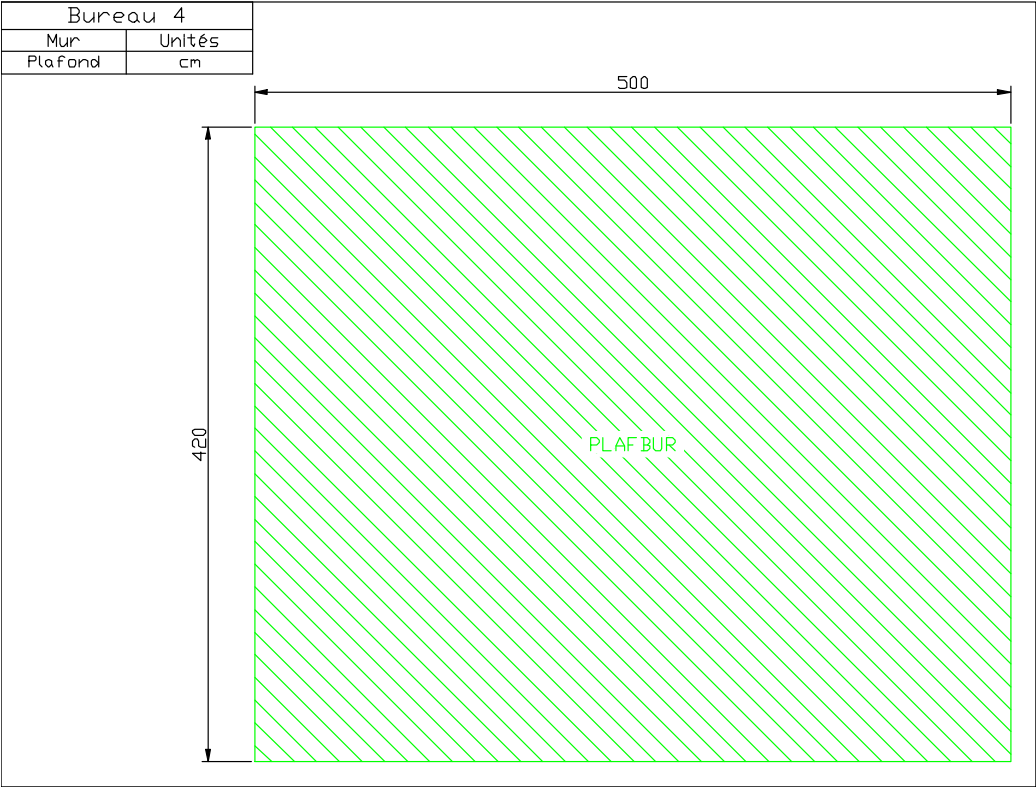
A.5.3 MUR OUEST



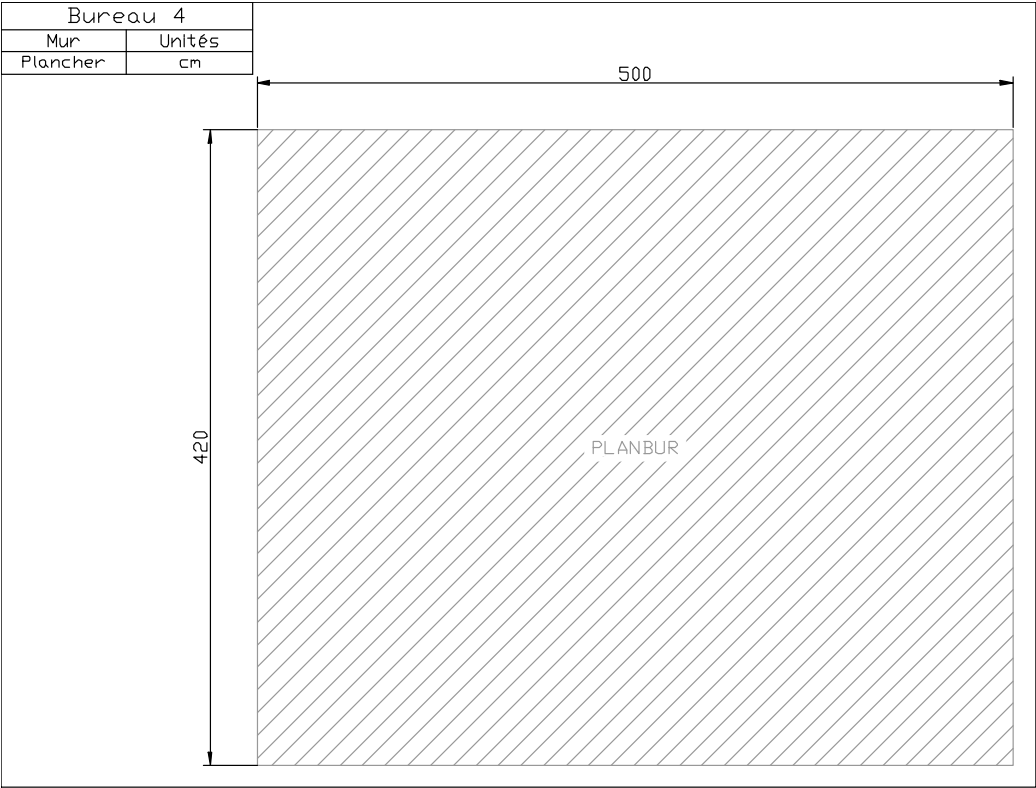
A.5.4 MUR EST



A.5.5 PLAFOND

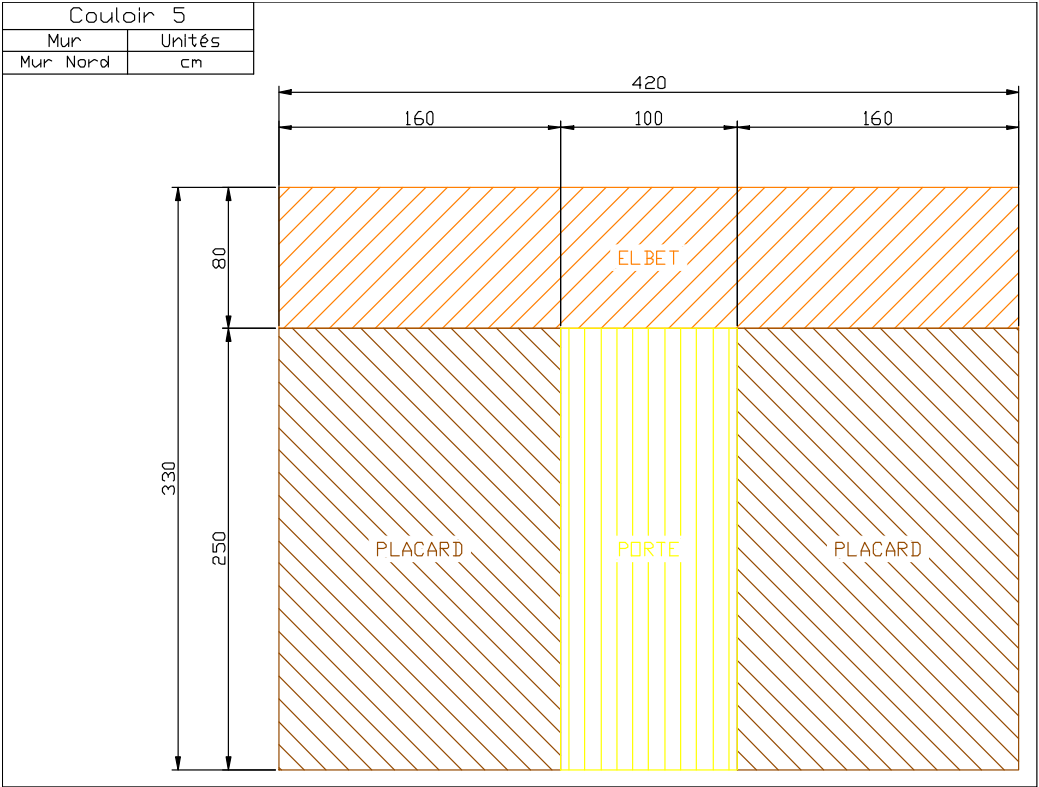


A.5.6 PLANCHER

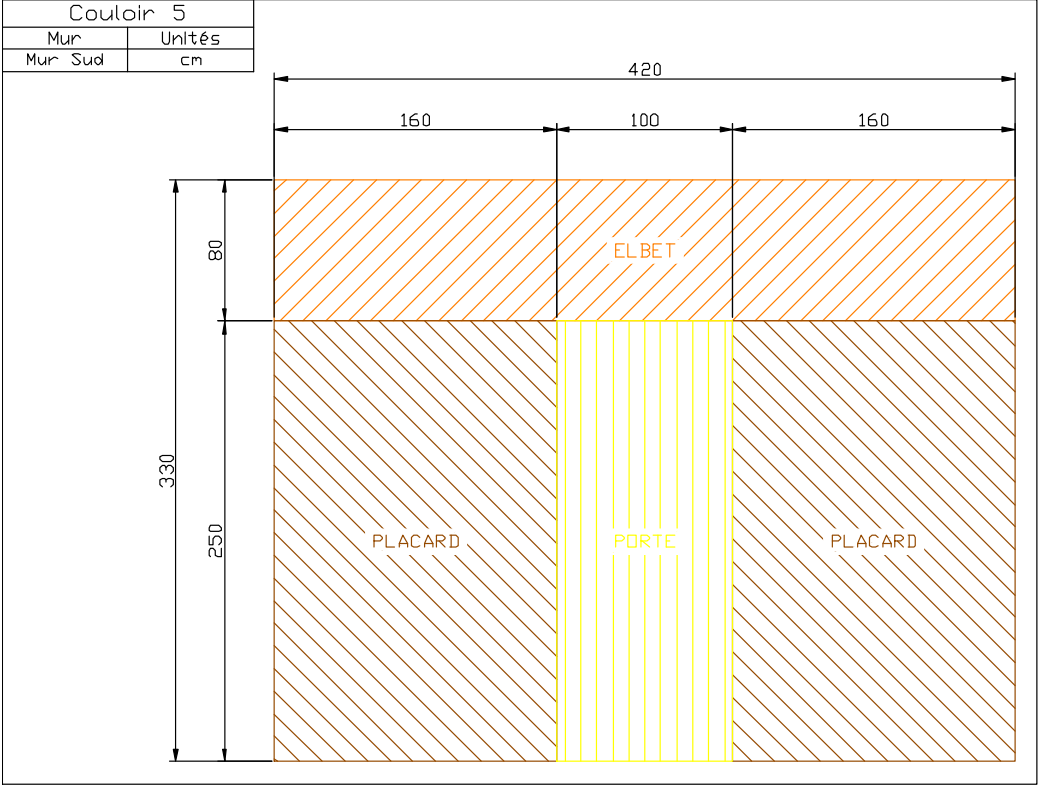


A.6 COULOIR 5

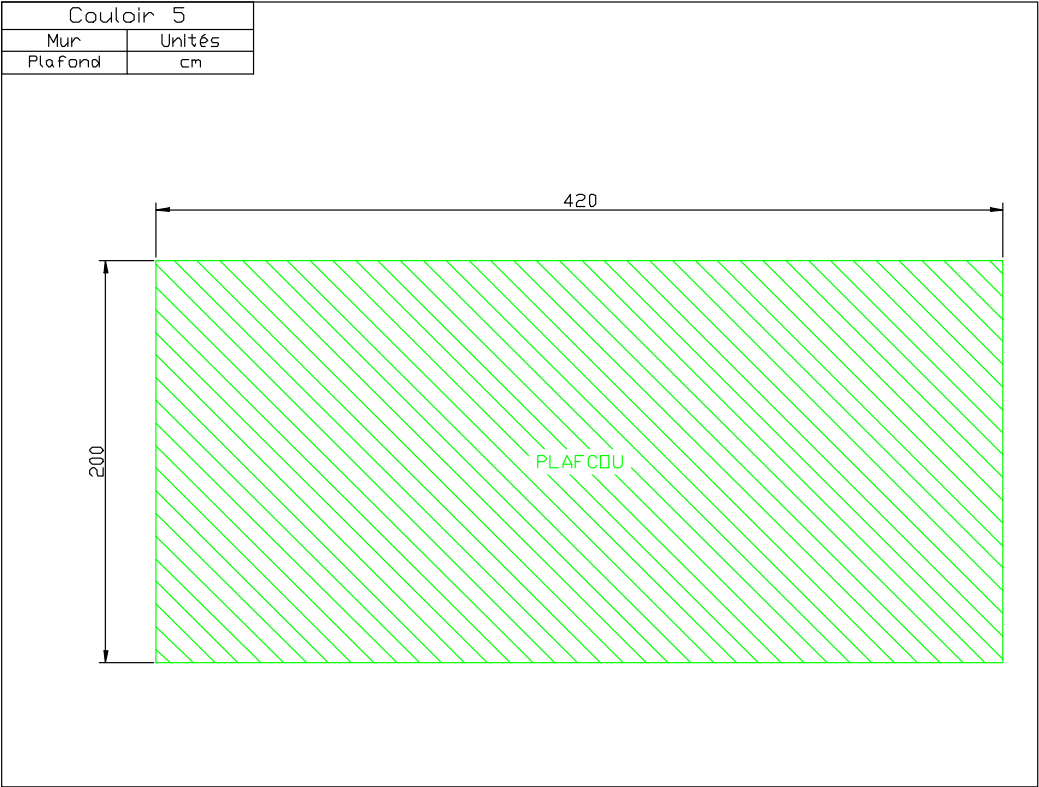
A.6.1 MUR NORD



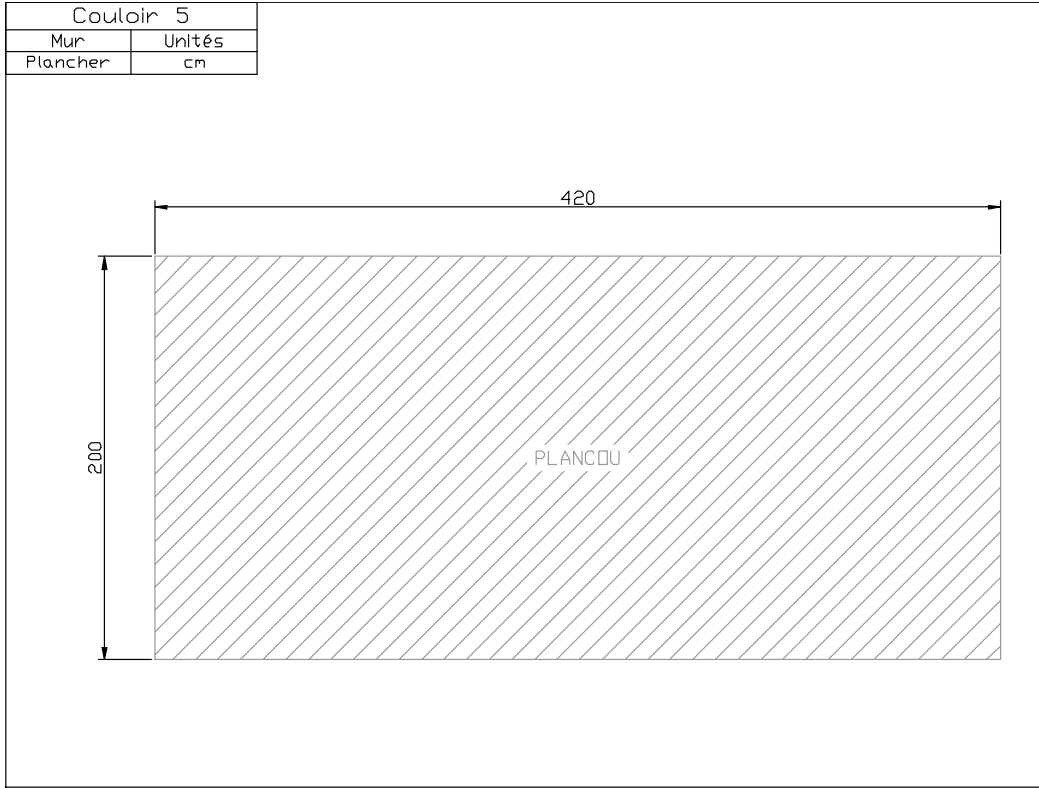
A.6.2 MUR SUD



A.6.3 PLAFOND

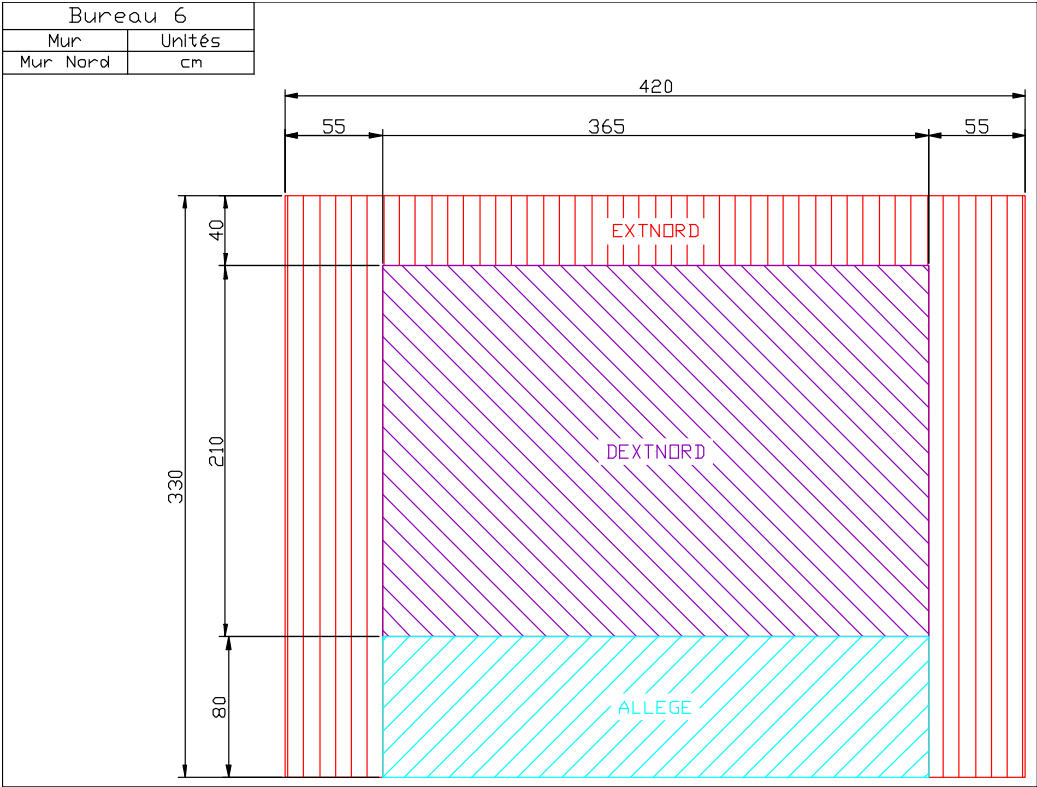


A.6.4 PLANCHER

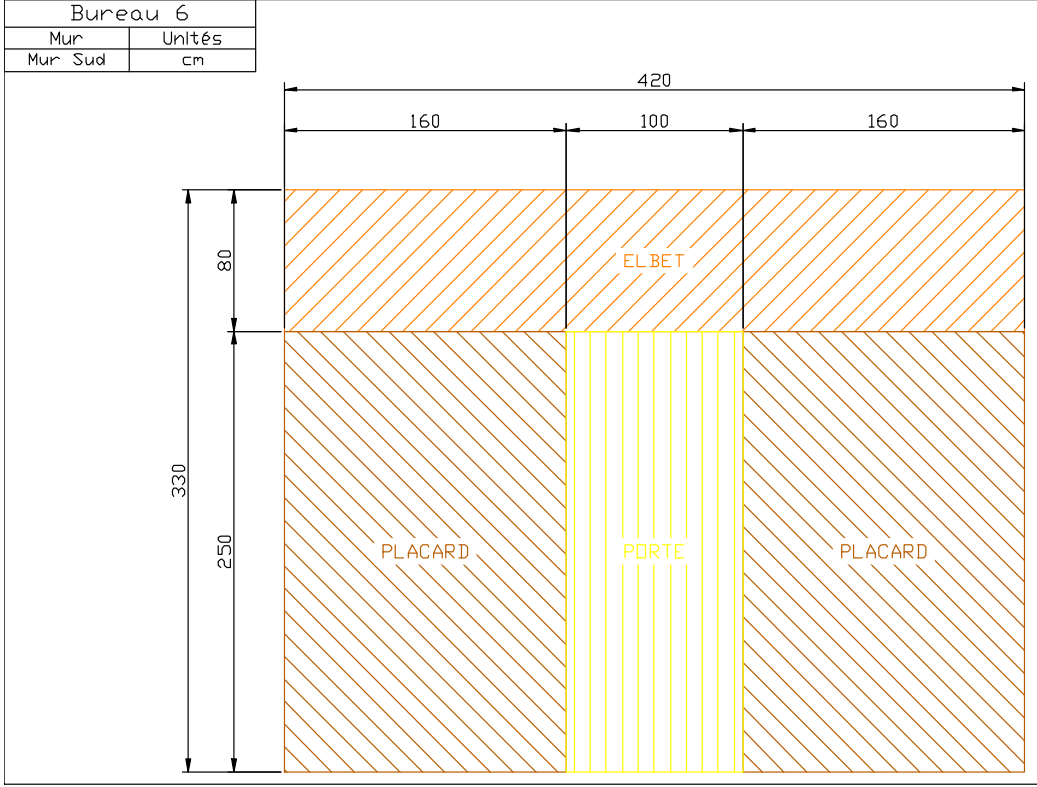


A.7 BUREAU 6

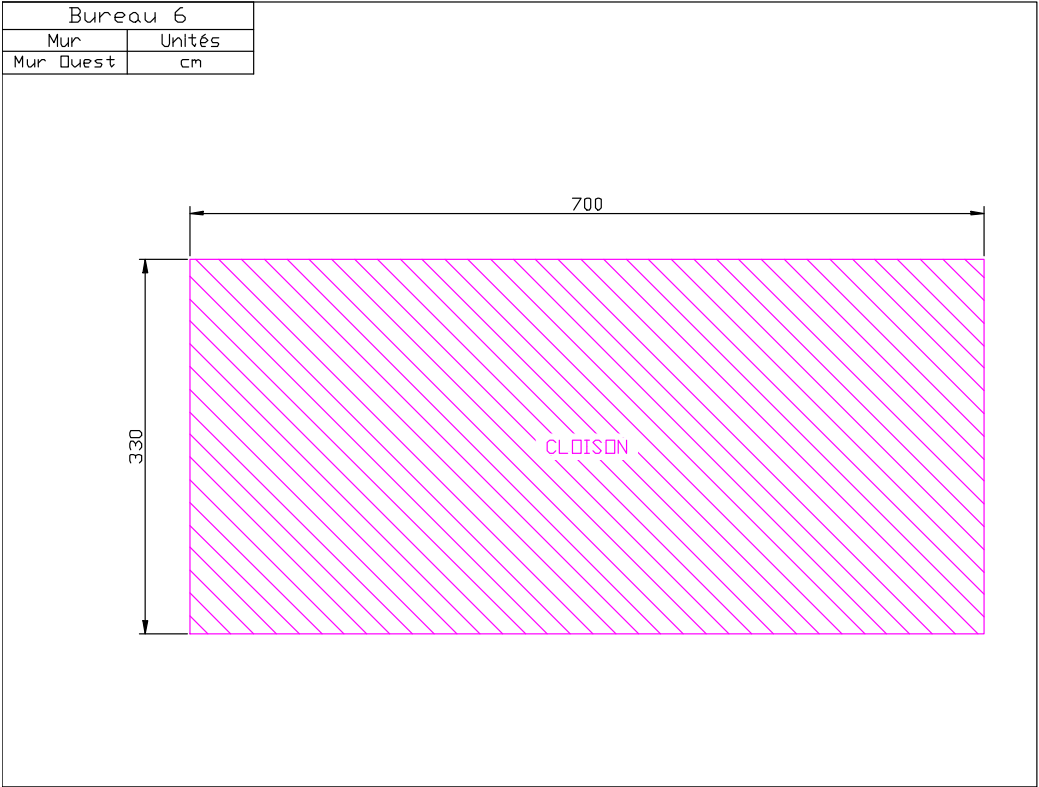
A.7.1 MUR NORD



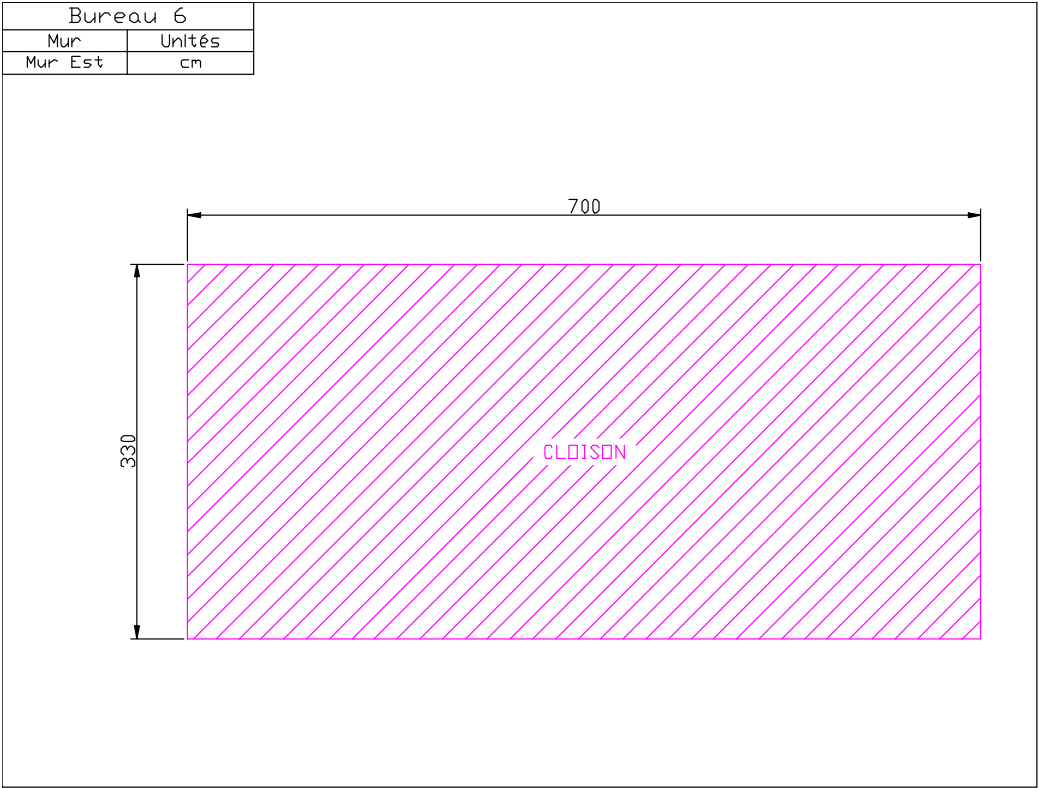
A.7.2 MUR SUD



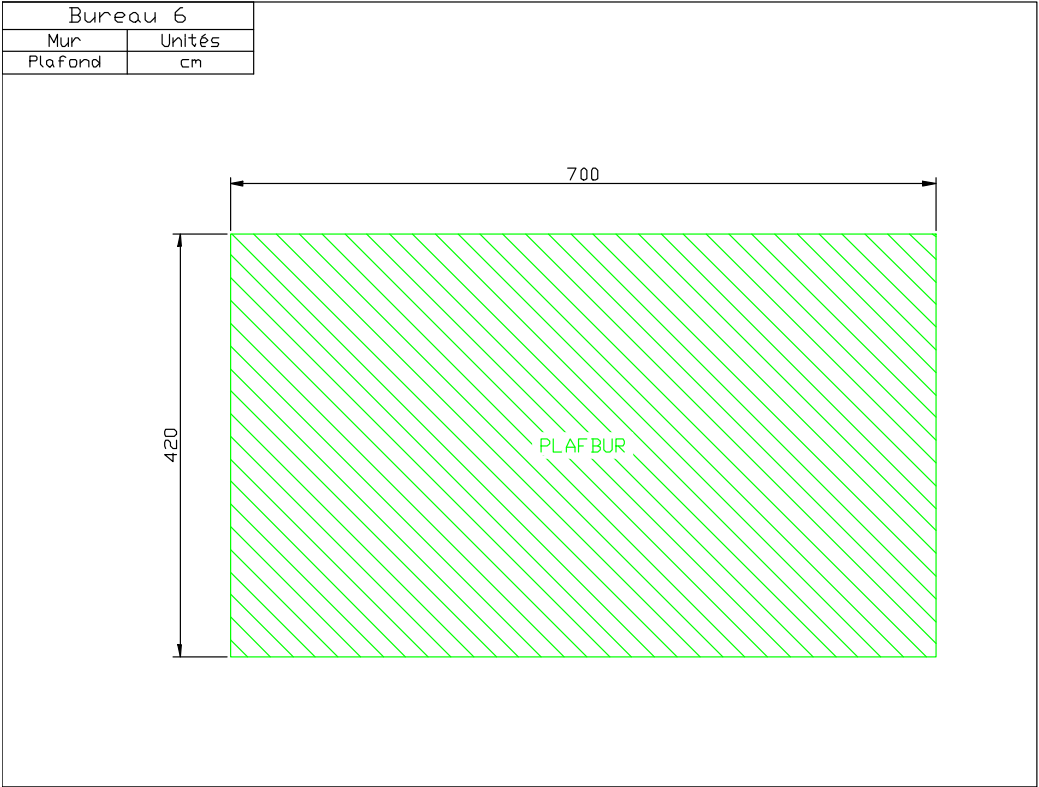
A.7.3 MUR OUEST



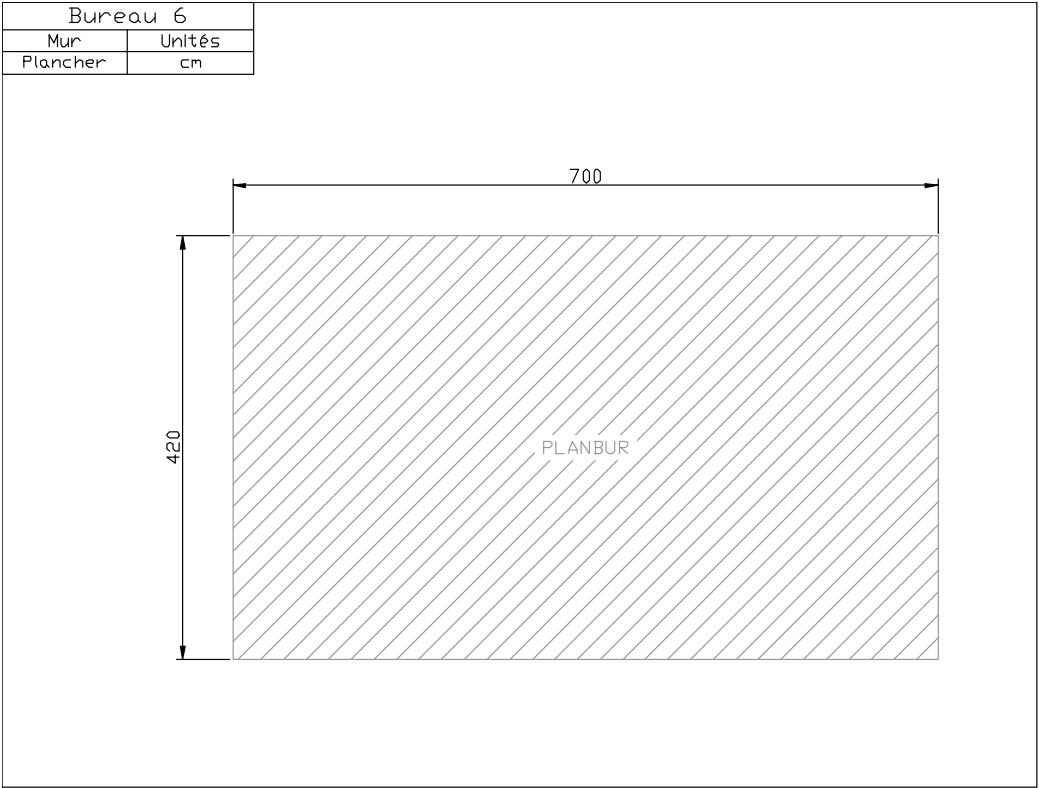
A.7.4 MUR EST



A.7.5 PLAFOND



A.7.6 PLANCHER



Annexe B DESCRIPTION DES PAROIS

B.1 ALLRUE

	Matériau	λ W/mK	c J/kgK	ρ kg/m ³	δ m	R m ² K/W
$h_{\text{ext}} = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$						0,1250
1	Feuille alu	203	880	2700	0,001	0,0000
2	Contreplaqué	0,15	1880	600	0,02	0,1333
3	Plystyrène	0,04	1470	90	0,08	2,0000
4	Contreplaqué	0,14	1880	600	0,02	0,1429
$h_{\text{int}} = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$						0,1250
					R_t	2,5262
					U	0,3959

B.2 ALLEGE

	Matériau	λ W/mK	c J/kgK	ρ kg/m ³	δ m	R m ² K/W
$h_{\text{ext}} = 15 \text{ W/m}^2\text{K}$						0,0670
1	Feuille alu	203	880	2700	0,001	0,0000
2	Contreplaqué	0,15	1880	600	0,02	0,1333
3	Plystyrène	0,04	1470	90	0,08	2,0000
4	Contreplaqué	0,14	1880	600	0,02	0,1429
$h_{\text{int}} = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$						0,1250
					R_t	2,4682
					U	0,4052

B.3 ATRIUM

	Matériau	λ W/mK	c J/kgK	ρ kg/m ³	δ m	R m ² K/W
$h_{\text{ext}} = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$						0,1250
1	Pierre bleue	2,91	840	2700	0,05	0,0172
2	Lame d'air	0,588	1005	1,2	0,1	0,1701
3	Béton armé	1,7	840	2400	0,2	0,1176
$h_{\text{int}} = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$						0,1250
					R_t	0,5549
					U	1,8021

B.4 CHASATR

	Matériau	λ W/mK	c J/kgK	ρ kg/m ³	δ m	R m ² K/W
$h_{\text{ext}} = 15 \text{ W/m}^2\text{K}$						0,0670
1	Chassis bois	0,38	1880	600	0,06	0,1579
$h_{\text{int}} = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$						0,1250
						R _t 0,3499
						U 2,8580

B.5 CHASEXT

	Matériau	λ W/mK	c J/kgK	ρ kg/m ³	δ m	R m ² K/W
$h_{\text{ext}} = 15 \text{ W/m}^2\text{K}$						0,0670
1	Chassis bois	0,38	1880	600	0,06	0,1579
$h_{\text{int}} = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$						0,1250
						R _t 0,3499
						U 2,8580

B.6 CHASRUE

	Matériau	λ W/mK	c J/kgK	ρ kg/m ³	δ m	R m ² K/W
$h_{\text{ext}} = 15 \text{ W/m}^2\text{K}$						0,0670
1	Chassis en bois	0,38	1880	600	0,06	0,1579
$h_{\text{int}} = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$						0,1250
						R _t 0,3499
						U 2,8580

B.7 CLOISON

	Matériau	λ W/mK	c J/kgK	ρ kg/m ³	δ m	R m ² K/W
$h_{\text{ext}} = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$						0,1250
1	Plâtre	0,35	840	1000	0,025	0,0714
2	Laine de roche	0,04	840	120	0,1	2,5000
3	Plâtre	0,35	840	1000	0,025	0,0714
$h_{\text{int}} = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$						0,1250
						R _t 2,8929
						U 0,3457

B.8 DVITRAGE

	Matériau	λ W/mK	c J/kgK	ρ kg/m ³	δ m	R m ² K/W
$h_{\text{ext}} = 15 \text{ W/m}^2\text{K}$						0,0670
1	Vitrage	1,05	840	2500	0,005	0,0048
2	Lame d'air	0,0779	1000	1,2	0,012	0,1540
3	Vitrage	1,05	840	2500	0,005	0,0048
$h_{\text{int}} = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$						0,1250
						R_t 0,3556
						U 2,8124

B.9 ELBET

	Matériau	λ W/mK	c J/kgK	ρ kg/m ³	δ m	R m ² K/W
$h_{\text{ext}} = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$						0,1250
1	Béton armé léger	0,58	840	1200	0,14	0,2414
$h_{\text{int}} = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$						0,1250
						R_t 0,4914
						U 2,0351

B.10 EXTNORD

	Matériau	λ W/mK	c J/kgK	ρ kg/m ³	δ m	R m ² K/W
$h_{\text{ext}} = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$						0,1250
1	Pierre Bleue	12				0,0000
2	Polyuréthane	0,028	1470	30	0,05	1,7857
3	Béton armé	2,2	840	2400	0,25	0,1136
$h_{\text{int}} = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$						0,1250
						R_t 2,1494
						U 0,4653

B.11 EXTSUD

	Matériau	λ W/mK	c J/kgK	ρ kg/m ³	δ m	R m ² K/W
$h_{\text{ext}} = 15 \text{ W/m}^2\text{K}$						0,0670
1	Crépi	1,5	840	1900	0,02	0,0133
2	Polystyrène	0,04	1470	90	0,08	2,0000
3	Béton armé	2,2	840	2400	0,25	0,1136
$h_{\text{int}} = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$						0,1250
					R_t	2,3190
					U	0,4312

B.12 PLACARD

	Matériau	λ W/mK	c J/kgK	ρ kg/m ³	δ m	R m ² K/W
$h_{\text{ext}} = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$						0,1250
1	Panneau de particules	0,12	1880	500	0,02	0,1667
2	Lame d'air	1	1005	1,2	0,4	0,4000
3	Plaque de plâtre	0,35	840	1000	0,0125	0,0357
4	Lame d'air	1	1005	1,2	0,4	0,4000
5	Panneau de particules	0,12	1880	500	0,02	0,1667
$h_{\text{int}} = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$						0,1250
					R_t	1,4190
					U	0,7047

B.13 PLAFBUR

	Matériau	λ W/mK	c J/kgK	ρ kg/m ³	δ m	R m ² K/W
$h_{\text{ext}} = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$						0,1250
1	Linoléum	0,19	1470	1200	0,005	0,0263
2	Béton léger	0,37	840	1000	0,2	0,5405
3	Béton armé lourd	1,7	840	2400	0,195	0,1147
$h_{\text{int}} = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$						0,1250
					R_t	0,9316
					U	1,0735

B.14 PLAFCOU

	Matériau	λ W/mK	c J/kgK	ρ kg/m ³	δ m	R m ² K/W
$h_{\text{ext}} = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$						0,1250
1	Carrelage de grès	1,2	840	2000	0,01	0,0083
2	Béton léger	0,37	840	1000	0,075	0,2027
3	Béton armé	1,7	840	2400	0,12	0,0706
$h_{\text{int}} = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$						0,1250
					R_t	0,5316
					U	1,8810

B.15 PLANBUR

	Matériau	λ W/mK	c J/kgK	ρ kg/m ³	δ m	R m ² K/W
$h_{\text{ext}} = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$						0,1250
1	Béton armé lourd	1,7	840	2400	0,195	0,1147
2	Béton léger	0,37	840	1000	0,2	0,5405
3	Linoléum	0,19	1470	1200	0,005	0,0263
$h_{\text{int}} = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$						0,1250
					R_t	0,9316
					U	1,0735

B.16 PLANCOU

	Matériau	λ W/mK	c J/kgK	ρ kg/m ³	δ m	R m ² K/W
$h_{\text{ext}} = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$						0,1250
1	Béton armé	1,7	840	2400	0,12	0,0706
2	Béton léger	0,37	840	1000	0,075	0,2027
3	Carrelage de grès	1,2	840	2000	0,01	0,0083
$h_{\text{int}} = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$						0,1250
					R_t	0,5316
					U	1,8810

B.17 PORTE

	Matériau	λ W/mK	c J/kgK	ρ kg/m ³	δ m	R m ² K/W
$h_{\text{ext}} = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$						0,1250
1	Panneau de particules	0,14	1880	700	0,01	0,0714
2	Lame d'air (non vent.)	0,118	1005	1,2	0,02	0,1695
3	Panneau de particules	0,14	1880	700	0,01	0,0714
$h_{\text{int}} = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$						0,1250
						R_t 0,5623
						U 1,7783

B.18 TERRASSE

	Matériau	λ W/mK	c J/kgK	ρ kg/m ³	δ m	R m ² K/W
$h_{\text{ext}} = 15 \text{ W/m}^2\text{K}$						0,0670
1	Lestage cailloux	1,69	840	2200	0,05	0,0296
2	Asphalte	1,2	920	2100	0,01	0,0083
3	Feutre bitumé	0,23	1700	1100	0,01	0,0435
4	PRLR	0,04	840	120	0,06	1,5000
5	Pare-vapeur	1,2	920	2100	0,008	0,0067
6	Béton ?	0,37	840	1000	0,03	0,0811
7	Béton armé	1,7	840	2400	0,2	0,1176
$h_{\text{int}} = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$						0,1250
						R_t 1,9788
						U 0,5054

B.19 TVITRAGE

	Matériau	λ W/mK	c J/kgK	ρ kg/m ³	δ m	R m ² K/W
$h_{\text{ext}} = 15 \text{ W/m}^2\text{K}$						0,0670
1	Vitrage	1,05	840	2500	0,005	0,0048
2	Lame d'air	0,0675	1005	1,2	0,01	0,1481
3	Vitrage	1,05	840	2500	0,005	0,0048
4	Lame d'air	0,0675	1005	1,2	0,01	0,1481
5	Vitrage	1,05	840	2500	0,005	0,0048
$h_{\text{int}} = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$						0,1250
						R_t 0,5026
						U 1,9897

B.20 VERRIERE

	Matériau	λ W/mK	c J/kgK	ρ kg/m ³	δ m	R m ² K/W
$h_{\text{ext}} = 15 \text{ W/m}^2\text{K}$						0,0670
1	Vitrage	1,05	840	2500	0,006	0,0057
2	Lame d'air	0,0667	1000	1,2	0,01	0,1499
3	Vitrage	1,05	840	2500	0,006	0,0057
$h_{\text{int}} = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$						0,1250
						R_t 0,3534
						U 2,8300

B.21 VITRAGE

	Matériau	λ W/mK	c J/kgK	ρ kg/m ³	δ m	R m ² K/W
$h_{\text{ext}} = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$						0,1250
1	Vitrage simple clair	1,05	840	2500	0,008	0,0076
$h_{\text{int}} = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$						0,1250
						R_t 0,2576
						U 3,8817

B.22 VITRAGER

	Matériau	λ W/mK	c J/kgK	ρ kg/m ³	δ m	R m ² K/W
$h_{\text{ext}} = 15 \text{ W/m}^2\text{K}$						0,0670
1	Vitrage	1,05	840	2500	0,006	0,0057
2	Lame d'air	0,0667	1000	1,2	0,01	0,1499
3	Vitrage	1,05	840	2500	0,006	0,0057
$h_{\text{int}} = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$						0,1250
						R_t 0,3534
						U 2,8300

Annexe C LISTE DE POSSIBILITÉS D'ÉCONOMIE D'ÉNERGIE

SOLAR GAIN REDUCTION / DAYLIGHT CONTROL IMPROVEMENT

- E1.1
Install window film or tinted glass
- E1.2
Install shutters, blinds, shades, screens or drapes
- E1.3
Operate shutters, blinds, shades, screens or drapes
- E1.4
Replace internal blinds with external systems
- E1.5
Close off balconies to make sunspace/greenhouse
- E1.6
Modify vegetation to save energy
- E1.7
Maintain windows and doors

VENTILATION / AIR MOVEMENT / AIR LEAKAGE IMPROVEMENT

- E2.1
Generate possibility to close/open windows and doors to match climate
- E2.2
Ensure proper ventilation of attic spaces
- E2.3
Optimise air convective paths in shafts and stairwells
- E2.4
Correct excessive envelope air leakage
- E2.5
Roll shutter cases: insulate and seal air leaks
- E2.6
Generate possibility of night time overventilation
- E2.7
Add automatic door closing system between cooled and uncooled space
- E2.8
Replace doors with improved design in order to reduce air leakage

ENVELOPE INSULATION IMPROVEMENT

- E3.1
Upgrade insulation of flat roofs externally
- E3.2
Upgrade attic insulation
- E3.3
Add insulation to exterior walls by filling cavities
- E3.4
Add insulation to exterior wall externally
- E3.5
Add insulation to basement wall externally
- E3.6
Upgrade insulation of ground floor above crawl space
- E3.7
Locate and minimize the effect of thermal bridges
- E3.8
Cover, insulate or convert unnecessary windows and doors
- E3.9
Use double or triple glaze replacement

OTHER ACTIONS AIMED AT LOAD REDUCTION

- E4.1
Reduce effective height of room
- E4.2
Use appropriate colour exterior
- E4.3
Employ evaporative cooling roof spray
- E4.4
Provide means of reducing electrical peak demand through load shedding
- E4.5
Replace electrical equipment with Energy Star or low consumption types
- E4.6

- Replace lighting equipment with low consumption types
E4.7
- Modify lighting switches according to daylight contribution to different areas
E4.8
- Introduce daylight / occupation sensors to operate lighting switches
E4.9
- Move equipments (copiers, printers, etc.) to non conditioned zones

PLANT

BEMS AND CONTROLS / MISCELLANEOUS

- P1.1
Install BEMS system
- P1.2
Define best location for new electrical and cooling energy meters
- P1.3
Modify controls in order to sequence heating and cooling
- P1.4
Modify control system in order to adjust internal set point values to external climatic conditions
- P1.5
Generate the possibility to adopt variable speed control strategy
- P1.6
Use class 1 electrical motors
- P1.7
Reduce power consumption of auxiliary equipment

COOLING EQUIPMENT / FREE COOLING

- P2.1
Minimise adverse external influences (direct sunlight, air flow obstructions, etc.) on cooling tower and air cooled condenser (AHU, packaged, split, VRF systems)
- P2.2
Reduce compressor power or fit a smaller compressor
- P2.3
Split the load among various chillers
- P2.4
Repipe chillers or compressors in series or parallel to optimise circuiting
- P2.5
Improve central chiller / refrigeration control
- P2.6
Replace or upgrade cooling equipment and heat pumps
- P2.7
Consider feeding condenser with natural water sources
- P2.8
Apply evaporative cooling
- P2.9
Consider using ground water for cooling
- P2.10
Consider indirect free cooling using the existing cooling tower (free chilling)
- P2.11
Consider Indirect free cooling using outdoor air-to-water heat exchangers
- P2.12
Consider the possibility of using waste heat for absorption system
- P2.13
Consider cool storage applications (chilled water, water ice, other phase changing materials)
- P2.14
Consider using condenser rejection heat for air reheating

AIR HANDLING / HEAT RECOVERY / AIR DISTRIBUTION

- P3.1
Reduce motor size (fan power) when oversized
- P3.2
Relocate motor out of air stream
- P3.3
Use the best EUROVENT class of fans
- P3.4
Use the best class of AHU
- P3.5
Consider applying chemical de-humidification
- P3.6

- Apply variable flow rate fan control
 - P3.7
- Consider conversion to VAV
 - P3.8
- Exhaust (cool) conditioned air over condensers and through cooling towers
 - P3.9
- Introduce exhaust air heat recovery
 - P3.10
- Consider applying demand-controlled ventilation
 - P3.11
- Generate possibility to increase outdoor air flow rate (direct free cooling)
 - P3.12
- Replace ducts when leaking
 - P3.13
- Modify ductwork to reduce pressure losses
 - P3.14
- Install back-draught or positive closure damper in ventilation exhaust system

WATER HANDLING / WATER DISTRIBUTION

- P4.1
 - Use the best class of pumps
- P4.2
 - Modify pipework to reduce pressure losses
- P4.3
 - Convert 3-pipe system to 2-pipe or 4-pipe system
- P4.4
 - Install separate pumping to match zone requirements
- P4.5
 - Install variable volume pumping

TERMINAL UNITS

- P5.1
 - Consider applying chilled ceilings or chilled beams
- P5.2
 - Consider introducing re-cool coils in zones with high cooling loads
- P5.3
 - Increase heat exchanger surface areas
- P5.4
 - Consider displacement ventilation
- P5.5
 - Install localised HVAC system (in case of local discomfort)

SYSTEM REPLACEMENT (IN SPECIFIC LIMITED ZONES)

- P6.1
 - Consider water loop heat pump systems
- P6.2
 - Consider VRF (Variable Refrigerant Flow) systems

O&M

FACILITY MANAGEMENT

- O1.1
 - Generate instructions (“user guide”) targeted to the occupants
- O1.2
 - Hire or appoint an energy manager
- O1.3
 - Train building operators in energy – efficient O&M activities
- O1.4
 - Introduce an energy – efficient objective as a clause in each O&M contract
- O1.5
 - Introduce benchmarks, metering and tracking as a clause in each O&M contract, with indication of values in graphs and tables
- O1.6
 - Update documentation on system / building and O&M procedures to maintain continuity and reduce troubleshooting costs
- O1.7
 - Check if O&M staff are equipped with state – of – the – art diagnostic tools

GENERAL HVAC SYSTEM

- O2.1
 - Use an energy accounting system to locate savings opportunities and to track and measure the success of energy – efficient strategies

- O2.2
Shut off A/C equipments when not needed
- O2.3
Shut off auxiliaries when not required
- O2.4
Maintain proper system control set points
- O2.5
Adjust internal set point values to external climatic conditions
- O2.6
Implement pre-occupancy cycle
- O2.7
Sequence heating and cooling
- O2.8
Adopt variable speed control strategy
- COOLING EQUIPMENT**
- O3.1
Shut chiller plant off when not required
- O3.2
Sequence operation of multiple units
- O3.3
Operate chillers or compressors in series or parallel
- O3.4
Track and optimize chillers operation schedule
- O3.5
Maintain proper starting frequency and running time of (reversible) chillers
- O3.6
Improve part load operation control
- O3.7
Maintain proper evaporating and condensing temperatures
- O3.8
Raise chilled water temperature and suction gas pressure
- O3.9
Lower condensing water temperature and pressures
- O3.10
Check sensor functioning and placement for (reversible) chillers
- O3.11
Maintain efficient defrosting (reversible chillers)
- O3.12
Maintain proper heat source/sink flow rates
- O3.13
Maintain functioning of (reversible) chiller expansion device
- O3.14
Check (reversible) chiller stand-by losses
- O3.15
Maintain full charge of refrigerant
- O3.16
Clean finned tube evaporator / condenser air side and straighten damaged fins
- O3.17
Clean condenser tubes periodically
- O3.18
Repair or upgrade insulation on chiller
- O3.19
Clean and maintain cooling tower circuits and heat exchanger surfaces
- O3.20
Apply indirect free cooling using the existing cooling tower (free chilling)
- FLUID (AIR AND WATER) HANDLING AND DISTRIBUTION**
- O4.1
Consider modifying the supply air temperature (all-air and air-and-water systems)
- O4.2
Perform night time over ventilation
- O4.3
Shut off coil circulators when not required
- O4.4
Replace mixing dampers
- O4.5
Adjust fan belts (AHU, packaged systems)
- O4.6
Eliminate air leaks (AHU, packaged systems)

O4.7
Increase outdoor air flow rate (direct free cooling)
O4.8
Adjust/balance ventilation system
O4.9
Reduce air flow rate to actual needs
O4.10
Check maintenance protocol in order to reduce pressure losses
O4.11
Reduce air leakage in ducts
O4.12
Clean fan blades
O4.13
Maintain drives
O4.14
Clean or replace filters regularly
O4.15
Repair/upgrade duct, pipe and tank insulation
O4.16
Consider the possibility to increase the water outlet – inlet temperature difference and reduce the flow rate for pumping
power reduction
O4.17
Balance hydronic distribution system
O4.18
Bleed air from hydronic distribution system
O4.19
Switch off circulation pumps when not required
O4.20
Maintain proper water level in expansion tank
O4.21
Repair water leaks
O4.22
Reduce water flow rates to actual needs

Annexe D CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DE LA CHAUDIÈRE À CONDENSATION "ELLPREX 1100"

ELLPREX		630	760	870	970	1100	1320
Puissance utile	kW	630	760	870	970	1100	1320
Charge thermique	kW	688	830	950	1060	1200	1442
Surface d'échange	m²	12,80	14,69	16,59	18,50	20,99	24,73
Dimensions du foyer (diamètre)	mm	568	684	684	684	744	744
Dimensions du foyer (profondeur)	mm	1624	1383	1578	1773	1702	1982
Volume de la chambre de combustion	m³	0,412	0,508	0,580	0,651	0,740	0,862
Volume total du circuit des fumées	m³	0,632	0,802	0,889	0,977	1,158	1,312
Poids à vide	kg	1049	1341	1447	1553	1821	2030
Pression maxi de service	bar	6	6	6	6	6	6
Contenance en eau	l	565	671	753	836	1040	1242
Pertes de charge sur l'eau à $\Delta t 15^{\circ}\text{C}$ mm CE		380	260	330	410	300	350
Résistance du foyer	mbar	5,5	5,1	5,7	4,9	5,2	6,7
η de combustion sur PCI	%	92,9÷92,5	93,0÷92,6	93,2÷92,7	93,2÷92,7	93,0÷92,6	92,9÷92,6
η sur l'eau requis à 100% de charge	%	89,2÷89,2	89,2÷89,2	89,2÷89,2	89,2÷89,2	89,2÷89,2	89,2÷89,2
η sur l'eau à 100% de charge	%	92,6÷92,2	92,7÷92,4	92,9÷92,5	93,0÷92,5	92,8÷92,5	92,7÷92,4
η sur l'eau requis à 30% de charge	%	87,8÷87,8	87,8÷87,8	87,8÷87,8	87,8÷87,8	87,8÷87,8	87,8÷87,8
η sur l'eau à 30% de charge	%	93,2÷92,8	93,3÷93,1	93,6÷93,3	93,7÷93,4	93,6÷93,4	93,5÷93,3
Température des fumées	°C	152÷175	162÷173	145÷172	159÷177	162÷175	152÷179
Débit des fumées en fioul	kg/s	0,216÷0,286	0,262÷0,346	0,309÷0,410	0,339÷0,441	0,389÷0,500	0,453÷0,601
Débit des fumées en gaz	kg/s	0,222÷0,288	0,271÷0,357	0,308÷0,413	0,351÷0,452	0,402÷0,512	0,463÷0,615
Pertes à la cheminée brûleur en service	%	7,1÷7,5	7,0÷7,4	6,8÷7,3	6,8÷7,3	7,0÷7,4	7,1÷7,4
Pertes à la cheminée brûleur à l'arrêt	%	0,1÷0,1	0,1÷0,1	0,1÷0,1	0,1÷0,1	0,1÷0,1	0,1÷0,1
Pertes vers l'ambiance à $\Delta t 50^{\circ}\text{C}$	%	0,3÷0,3	0,3÷0,2	0,3÷0,2	0,2÷0,2	0,2÷0,1	0,2÷0,2

Annexe E BROCHURE DESCRIPTIVE DU VITRAGE "SPRIMOGLASS OPTIMA"

Halte au gaspillage !

Nul besoin de vous rappeler l'envolée des prix des produits pétroliers et des moyens de chauffage en particulier.

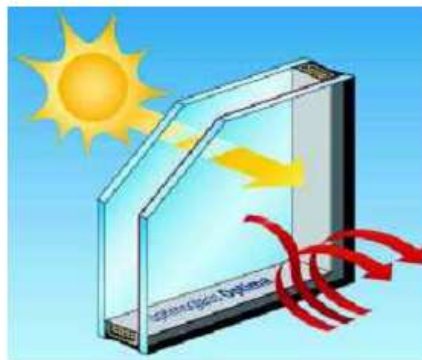
La solution : Sprimoglass Optima

La valeur U de 1.1 W/m²K (avec un remplissage d'Argon à 90%) du Sprimoglass Optima en fait un champion des économies d'énergie. La valeur U peut être comparée à la vitesse à laquelle la chaleur sort de votre bâtiment.

Concrètement : une diminution de 0,1 W/m²K de la valeur U de votre fenêtre représente une économie de 1,2 litre de mazout par an et par m² de vitrage.



L'utilisation d'un vitrage super isolant tel que le Sprimoglass Optima est indispensable pour l'obtention des valeurs d'isolation requises donnant droit à une prime.



Plus de confort :

Le pouvoir isolant du Sprimoglass Optima vient de la couche microscopique déposée sur une des faces du verre (généralement la face #3). Elle permet de retenir la chaleur produite à l'intérieur du bâtiment. Le mouvement d'air froid est diminué et l'impression de froid à proximité d'une fenêtre tend à disparaître, ce qui réduit également l'apparition de buée à l'intérieur.

Cette couche retient également près de 65% des rayons UV, ce qui implique un ralentissement considérable de la décoloration de votre intérieur (meubles, tapis,...).

La transparence du Sprimoglass Optima est telle qu'on peut le comparer avec un verre ordinaire sans couche. Sa couleur parfaitement neutre, tant en transmission qu'en réflexion, offre un confort inégalé à ce jour.

Protégeons l'environnement

Chaque litre de mazout consommé représente 3 Kg de CO₂ rejeté dans la nature. En favorisant les économies d'énergie, vous agissez concrètement contre la pollution.



Données photométriques

Composition 4/16/4, couche en face #3

Transmission Lumineuse	Réflexion Lumineuse	Facteur Solaire	U (W/m ² K) (Argon 90%)
80%	12%	63%	1.1

Coating avec une émissivité (ε) de 3%

Valeur U pour un remplissage d'air au lieu d'Argon : 1.4 W/m²K

Valeurs indicatives calculées suivant EN410 et EN673

Revendeur agréé

SPRIMOGLASS s.a. - Z.I. de Damré - Rue de Louvelgné, 96 - 4140 SPRIMONT (Bel.)

Tél. : +32 (0) 4 / 382 41 50

Fax : +32 (0) 4 / 382 41 75 ou 76

<http://www.sprimoglass.com>

E-Mail : info@sprimoglass.com

Annexe F EXIGENCES D'ISOLATION THERMIQUE ET DE VENTILATION POUR LES BÂTIMENTS À TRANSFORMER EN RÉGION WALLONNE

4. VALEURS U MAXIMALES annexe IIbis de l'AGW du 17 avril 2008

ELEMENT DE CONSTRUCTION	U_{max} [W/m²K]	U [W/m²K]
1. PAROIS DELIMITANT LE VOLUME PROTÉGÉ à l'exception des parois formant la séparation avec un volume protégé adjacent.		
1.1. PAROIS TRANSPARENTES / TRANSLUCIDES à l'exception des portes et portes de garage (voir 1.3), des façades légères (voir 1.4) et des parois en briques de verre (voir 1.5)	$U_{W,max} = 2.5$ (1) Et $U_{g,max} = 1.6$ (2)	..... ..... ..... .....
1.2. PAROIS OPAQUES à l'exception des portes et portes de garage (voir 1.3) et des façades légères (voir 1.4)		
1.2.1. Toitures et plafonds	0.3	..... .....
1.2.2. Murs non en contact avec le sol, à l'exception des murs visés en 1.2.4 et 1.2.5.	0.5	..... .....
1.2.3. Murs en contact avec le sol	0.9	..... .....
1.2.4. Parois verticales et en pente en contact avec un vide sanitaire	0.6	..... .....
1.2.5. Parois verticales et en pente en contact avec une cave en dehors du volume protégé	0.9	..... .....
1.2.6. Planchers en contact avec l'environnement extérieur ou au-dessus d'un vide sanitaire	0.6	..... .....
1.2.7. Autres planchers (planchers sur terre-plein ou au-dessus d'un espace à l'abri du gel, d'une cave en dehors du volume protégé, planchers de cave enterrés)	0.9	..... .....
1.3. PORTES ET PORTES DE GARAGE (cadre inclus)	2.9	..... .....
1.4. FACADES LEGERES	$U_{CW,max} = 2.9$ et $U_{g,max} = 1.6$ (2)	..... .....
1.5. PAROIS EN BRIQUES DE VERRE	3.5	..... .....
2. PAROIS ENTRE 2 VOLUMES PROTÉGÉS (3) SITUÉS SUR DES PARCELLES ADJACENTES (4)	1.0	..... .....
3. LES PAROIS OPAQUES SUIVANTES À L'INTÉRIEUR DU VOLUME PROTÉGÉ OU ADJACENT À UN VOLUME PROTÉGÉ SUR LA MÊME PARCELLE (5) à l'exception des portes et portes de garage:		
3.1. ENTRE UNITÉS D'HABITATION DISTINCTES	} 1.0	.....
3.2. ENTRE UNITÉS D'HABITATION ET ESPACES COMMUNS (cage d'escalier, hall d'entrée, couloirs, ...)		.....
3.3. ENTRE UNITÉS D'HABITATION ET ESPACES À AFFECTATION NON RÉSIDENTIELLE		.....
3.4. ENTRE ESPACES À AFFECTATION INDUSTRIELLE ET ESPACES À AFFECTATION NON INDUSTRIELLE		.....

Les valeurs U sont calculées selon la norme NBN B 62 002 et ses addenda.

- (1) Pour l'évaluation de U_{max} , il faut tenir compte de la valeur moyenne pondérée par les surfaces de toutes les parois transparentes / translucides auxquelles s'applique l'exigence.
- (2) U_g est la valeur U centrale du vitrage en position verticale. Chaque vitre en soi doit satisfaire à la valeur centrale $U_{g,max}$.
- (3) Tous les locaux des bâtiments situés sur une parcelle adjacente sont par définition chauffés.
- (4) A l'exception de la partie d'une paroi commune déjà existante contre laquelle est construit un nouveau bâtiment, si la plus petite distance jusqu'à la limite opposée de la parcelle est inférieure à 6 mètres au droit de la paroi considérée.
- (5) Dans le calcul de la valeur U des planchers intermédiaires, le flux de chaleur est supposé aller du bas vers le haut.

Il faut tenir compte de la surface totale de toutes les parois auxquelles des exigences sont imposées dans la case 1. Il n'est pas obligatoire de satisfaire aux exigences imposées dans la case 1 pour un maximum de 2 % de cette surface.

Le volume protégé est défini selon la norme NBN B 62-301.