



HELMo GRAMME

MASTER ÉNERGIE RENOUVELABLE

PROJET - ECOLE SUPÉRIEURE

UE14 - THERMIQUE DU BÂTIMENT

Etudiants :

DETERVILLE-François
GUILLAUME
HALLEUX BASTIEN
PIERRET CYRIL
SCHMIDT BRICE

Professeurs :

GRENSON Julien
DELVIGNE Elie

M1 GEDb

Année académique 2022-2023

Contents

1	Introduction	1
2	Déperditions thermiques	1
2.1	Déperditions enveloppe	1
2.2	Déperditions local par local	2
3	Système de chauffage	4
3.1	Dimensionnement des tuyaux	7
3.2	GrundFos	7
3.3	Dimensionnement et choix des émetteurs	7
4	Ventilation en air hygiénique	9
5	Réseau aéraulique de ventilation	10
6	Dimensionnement système double-flux	13
7	Régulation	14
8	Besoins nets en énergie	15
9	Conclusion	15
10	Annexes	17
10.1	Simulations Trox	17
10.2	Chauffage	21

1 Introduction

Le but de ce projet est de présenter une étude exhaustive visant à améliorer l'efficacité énergétique de l'école supérieure située à Namur par le biais de techniques spéciales liées à la ventilation et au chauffage.

Le rapport est structuré autour de quatre objectifs principaux :

- Calculer les déperditions thermiques du bâtiment : Afin de déterminer la quantité de chaleur perdue à travers les différentes composantes du bâtiment et ainsi pouvoir dimensionner de manière appropriée les systèmes de chauffage à installer.
- Dimensionner les émetteurs et le réseau d'alimentation : Afin de proposer un système de chauffage efficace et économique qui répond aux besoins du bâtiment.
- Calculer les débits hygiéniques et dimensionner un système de ventilation double-flux : Dans le but de garantir une qualité d'air optimale tout en maximisant l'efficacité énergétique grâce à la récupération de chaleur.
- Déterminer des systèmes de régulation : Pour assurer que le chauffage et la ventilation fonctionnent de manière optimale, en tenant compte des variations de la demande et des conditions climatiques.

2 Déperditions thermiques

Dans le but de dimensionner la puissance nécessaire des émetteurs local par local, il a fallu calculer toutes les pertes que l'on pouvait retrouver dans le bâtiment. Celles-ci se retrouvaient sous la forme de pertes par transmission et par infiltration. Nous n'avons pas de pertes par ventilation car nous amenions de l'air ventilé déjà à la température que l'on voulait obtenir.

2.1 Déperditions enveloppe

Dans le cadre de notre projet de conception du système de chauffage pour l'école, nous avons d'abord procédé à une analyse détaillée des déperditions thermiques totales de l'enveloppe du bâtiment. Cela a impliqué une évaluation exhaustive des pertes thermiques par transmission à travers les différents éléments de l'enveloppe du bâtiment (murs, toit, planchers, fenêtres, etc.), ainsi que des pertes par ventilation et par infiltration d'air.

Ce calcul des déperditions totales nous a permis de quantifier la quantité de chaleur perdue par l'édifice sous des conditions hivernales normales. En ayant ces données à notre disposition, nous avons pu déterminer la quantité de chaleur que notre système de chauffage doit fournir pour maintenir une température intérieure confortable et constante.

Cela a été crucial pour dimensionner correctement notre système de chauffage. En connaissant la charge de chauffage totale, nous avons pu sélectionner une chaudière à condensation à gaz et des radiateurs de la taille appropriée pour répondre à cette demande. De plus, cette analyse nous a permis d'établir le débit d'eau chaude nécessaire à travers notre système et de choisir les tuyaux de la taille appropriée pour notre réseau de chauffage.

En somme, l'étude des déperditions totales de l'enveloppe du bâtiment a été la première étape essentielle pour concevoir un système de chauffage efficace et bien dimensionné pour notre école. Ce processus nous a assuré que notre système de chauffage peut fournir un confort thermique optimal aux utilisateurs du bâtiment tout en optimisant l'efficacité énergétique.

La déperdition à l'enveloppe comprend les déperditions par transmissions, par exfiltrations et par ventilations.

$$D_{enveloppe} = 107,535[kW] \quad (1)$$

2.2 Déperditions local par local

Pour calculer les pertes local par local, nous avons d'abord déterminé les coefficients de transmission de chaque mur grâce à leur composition. Concernant les fenêtres, nous avons pris un coefficient constant de 1,5 W/m²K et nous avons tenu compte de leur orientation. Voici un tableau récapitulatif de ceux-ci : 1

ΔT surfaces :	delta K
Extérieur	30
Couloir	0
Gym	5
Cave	11
Type	U (W/m²K)
Façade briques	0,159
Façade zinc	0,16
Mur mitoyen	0,126
Plancher classes	0,157
Plancher gym	0,156
sol boulangerie	0,217
sol classe	0,216
toiture plate	0,245
fenêtres/portes	1,5
Mur intérieur	1
coefficient	
Nord	1,05
Sud	1
Ouest/Est	1,025

Figure 1: Coefficients de transmission et facteur d'orientation

Grâce à ces coefficients, nous avons pu obtenir les déperditions dans les murs et les fenêtres. Voici les déperditions dans les murs : 2

Déperditions mur par mur									
Type	Nom du local	Mur Nord	Mur Sud	Mur ouest	Mur est	Déperdition Mur Nord	Déperdition mur sud	Déperdition mur ouest	Déperdition mur est
RDC	P028	31.04	12.53	8.74	0.00	155.46	59.78	0.00	0.00
RDC	P029	17.94	32.34	0.00	0.00	0.00	154.25	0.00	0.00
RDC	P030	18.24	32.34	0.00	0.00	81.35	0.00	0.00	0.00
RDC	P031	8.41	0.00	0.00	32.34	42.10	0.00	0.00	26.35
RDC	P027	22.46	0.00	11.32	28.07	0.00	0.00	55.36	137.26
RDC	P026	0.00	0.00	18.32	40.09	0.00	0.00	89.55	202.52
RDC	P025	0.00	5.50	0.00	0.00	0.00	26.24	0.00	0.00
RDC	P024	0.00	7.49	0.00	0.00	0.00	35.72	0.00	0.00
RDC	P023	0.00	7.39	0.00	0.00	0.00	36.45	0.00	0.00
RDC	P022	0.00	7.49	16.70	0.00	0.00	35.72	81.66	0.00
RDC	P020	0.00	0.00	15.94	0.00	0.00	0.00	77.92	0.00
RDC	P019	0.00	0.00	0.00	43.04	0.00	0.00	0.00	210.42
RDC	P018	12.17	0.00	23.42	0.00	60.94	0.00	114.51	0.00
RDC	Local technique	0.00	0.00	11.79	11.79	0.00	0.00	0.00	57.66
RDC	local trapèze	0.00	15.53	0.00	6.69	0.00	74.10	0.00	32.72
RDC	Ascenseur + couloir	0.00	0.00	12.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
RDC	Grand couloir	25.36785	25.36785	0	8.74	0.00	0.00	0.00	0.00
étage	P130	14.69	0.00	20.99	15.11	0.00	0.00	0.00	74.33
étage	P131	0.00	0.00	23.34	16.40	0.00	0.00	0.00	80.69
étage	P132	0.00	0.00	20.92	15.04	0.00	0.00	0.00	74.02
étage	P133	6.68	47.73	16.74	9.12	0.00	223.11	82.36	44.88
étage	Local technique	17.30	0.00	11.89	11.89	0.00	0.00	0.00	58.51
étage	local entretien	14.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
étage	Couloir étage	5.72	0.00	57.80	0.00	0.00	0.00	284.38	0.00

Figure 2: Déperditions dans les murs

Voici les déperditions dans les fenêtres : 2

Déperditions fenêtre par fenêtre									
Nom du local	fenêtre nord	fenêtre sud	fenêtre ouest	fenêtre est	Nom du local	Déperdition fenêtre Nord	Déperdition fenêtre sud	Déperdition fenêtre ouest	Déperdition fenêtre est
P028	28	4.16	0	0	P028	1260	187.2	0	0
P029	14.4	0	0	0	P029	648	0	0	0
P030	14.1	0	0	0	P030	634.5	0	0	0
P031	14.1	0	0	0	P031	634.5	0	0	0
P027	0	0	16.75	0	P027	0	0	753.75	0
P026	0	0	21.77	0	P026	0	0	979.65	0
P025	0	1.5	0	0	P025	0	67.5	0	0
P024	0	0	0	0	P024	0	0	0	0
P023	0	0	0	0	P023	0	0	0	0
P022	0	0	3	0	P022	0	0	135	0
P020	0	0	4	0	P020	0	0	180	0
P019	0	0	0	3.67	P019	0	0	0	165.15
P018	0	0	7	0	P018	0	0	315	0
Local technique	0	0	0	0	Local technique	0	0	0	0
local trapèze	0	2.25	0	0	local trapèze	0	101.25	0	0
Ascenseur + couloir	0	0	0	0	Ascenseur + couloir	0	0	0	0
Grand couloir	0	0	0	0	Grand couloir	0	0	0	0
P130	0	0	0	5.88	P130	0	0	0	264.6
P131	0	0	0	6.94	P131	0	0	0	312.3
P132	0	0	0	5.88	P132	0	0	0	264.6
P133	0	0	11.53	3.47	P133	0	0	518.85	156.15
Local technique	0	0	0	0	Local technique	0	0	0	0
Local entretien	0	0	0	0	Local entretien	0	0	0	0
Couloir étage	0	0	21.7	0	Couloir étage	0	0	1000.9125	0

Figure 3: Déperditions dans les fenêtres

La somme de ces déperditions plus les déperditions par infiltration nous donne les déperditions totales local par local ce qui nous permet de dimensionner nos émetteurs. 4

Déperditions local par local											
Niveau	Nom du local	Surface au sol (m²)	Volume (m³)	Déperditions infiltration (W)	Déperditions murs (W)	Déperditions sol (W)	Déperditions plafond (W)	Déperditions fenêtre (W)	Déperditions toiture (W)	Déperditions totales	
RDC	P028	233.36	700.08	9269.61	215.24	554.46	183.19	1447.20	/	11669.70	
RDC	P029	53	159	3958.17	154.25	125.93	41.61	648.00	/	4927.96	
RDC	P030	52	156	3958.17	91.35	123.55	40.82	634.50	/	4848.39	
RDC	P031	54	162	2754.67	88.45	80.78	26.69	634.50	/	3565.10	
RDC	P027	54.93	219.72	6872.39	192.82	130.51	0.00	753.75	/	7849.28	
RDC	P026	79.09	315.36	9812.93	292.07	187.92	0.00	979.65	/	11272.57	
RDC	P025	7.02	28.08	855.80	26.24	16.68	0.00	67.50	/	967.21	
RDC	P024	7.18	28.72	915.53	35.72	17.05	0.00	0.00	/	969.21	
RDC	P023	6.72	26.88	905.07	38.45	15.97	0.00	0.00	/	957.49	
RDC	P022	6.99	27.96	3328.15	117.38	16.61	0.00	135.00	/	3597.14	
RDC	P020	21.09	84.36	2440.26	77.92	50.11	0.00	180.00	/	2748.29	
RDC	P019	60.04	200.15	5716.89	210.42	118.80	0.00	165.15	/	6211.32	
RDC	P018	32.93	131.72	4355.97	175.45	78.24	0.00	315.00	/	4824.66	
RDC	Local technique	20.48	81.92	1443.54	57.66	48.66	0.00	0.00	/	1549.86	
RDC	Grand couloir	11.61	34.83	0.00	0.00	38.28	9.11	0.00	/	47.39	
RDC	local trapèze	7.79	31.16	2395.81	106.82	18.51	0.00	101.25	/	3222.49	
RDC	Ascenseur + couloir	13.05	39.15	1558.10	0.00	31.01	0.00	0.00	/	1614.25	
étage	P130	66	184.8	2558.9312	74.33	0.00	/	264.60	/	3409.13	
étage	P131	73.4	205.92	2856.95289	80.69	0.00	/	312.30	/	3807.43	
étage	P132	68.6	192.08	2561.14656	74.02	72.71	/	264.60	/	3493.49	
étage	P133	95.6	287.68	10844.00352	356.36	52.08	/	675.00	/	12653.52	
étage	Local technique	19.85	55.58	1455.72768	58.51	0.00	/	0.00	/	1665.00	
étage	Local entretien	10.87	47.936	0	0.00	0.00	/	0.00	/	82.56	
étage	Couloir étage	52.793	147.8204	9730.8	0.00	248.66	/	1000.91	/	400.96	

Figure 4: Déperditions totales

3 Système de chauffage

Dans notre établissement, nous avons mis en place un système de chauffage centralisé sophistiqué qui nous permet de maintenir une température confortable et uniforme dans tout le bâtiment, tout en optimisant l'efficacité énergétique.

Pour ce faire, nous utilisons ventilation double-flux couplé à une pompe à chaleur pour pulser de l'air à une température constante de 21°C dans l'ensemble du bâtiment.

Cependant, nous savons que chaque pièce a des besoins spécifiques en matière de chauffage, en fonction de son usage, de sa taille, de son isolation et de sa position dans le bâtiment. Pour compenser ces variations et assurer un confort optimal, nous utilisons également une chaudière à condensation au gaz pour combler les pertes thermiques spécifiques à chaque pièce.

Cette chaudière à condensation à haut rendement utilise le gaz comme combustible pour produire de la chaleur, et elle est capable de récupérer une partie de la chaleur normalement perdue dans les gaz d'échappement, ce qui la rend très efficace par rapport aux chaudières traditionnelles.

La chaleur produite par la chaudière est distribuée dans chaque pièce par des émetteurs qui sont des radiateurs. Ces radiateurs sont soigneusement dimensionnés pour fournir exactement la quantité de chaleur nécessaire pour compenser les pertes thermiques de chaque pièce.

En combinant ces deux systèmes, nous sommes en mesure de chauffer efficacement et confortablement notre établissement, tout en minimisant notre consommation d'énergie et notre impact sur l'environnement.

non concerné par les travaux

RDC

Emplacements 2 autocars scolaires (à créer)

LOCAL A

LOCAL P004

LOCAL P005

LOCAL P006

LOCAL P007

LOCAL P008

LOCAL P009

LOCAL P010

LOCAL P011

LOCAL P012

LOCAL P013

LOCAL P014

LOCAL P015

LOCAL P016

LOCAL P017

LOCAL P018

LOCAL P019

LOCAL P020

LOCAL P021

LOCAL P022

LOCAL P023

LOCAL P024

LOCAL P025

LOCAL P026

LOCAL P027

LOCAL P028

LOCAL P029

LOCAL P030

LOCAL P031

LOCAL P032

LOCAL P033

LOCAL P034

LOCAL P035

LOCAL P036

LOCAL P037

LOCAL P038

LOCAL P039

LOCAL P040

LOCAL P041

LOCAL P042

LOCAL P043

LOCAL P044

LOCAL P045

LOCAL P046

LOCAL P047

LOCAL P048

LOCAL P049

LOCAL P050

LOCAL P051

LOCAL P052

LOCAL P053

LOCAL P054

LOCAL P055

LOCAL P056

LOCAL P057

LOCAL P058

LOCAL P059

LOCAL P060

LOCAL P061

LOCAL P062

LOCAL P063

LOCAL P064

LOCAL P065

LOCAL P066

LOCAL P067

LOCAL P068

LOCAL P069

LOCAL P070

LOCAL P071

LOCAL P072

LOCAL P073

LOCAL P074

LOCAL P075

LOCAL P076

LOCAL P077

LOCAL P078

LOCAL P079

LOCAL P080

LOCAL P081

LOCAL P082

LOCAL P083

LOCAL P084

LOCAL P085

LOCAL P086

LOCAL P087

LOCAL P088

LOCAL P089

LOCAL P090

LOCAL P091

LOCAL P092

LOCAL P093

LOCAL P094

LOCAL P095

LOCAL P096

LOCAL P097

LOCAL P098

LOCAL P099

LOCAL P100

LOCAL P101

LOCAL P102

LOCAL P103

LOCAL P104

LOCAL P105

LOCAL P106

LOCAL P107

LOCAL P108

LOCAL P109

LOCAL P110

LOCAL P111

LOCAL P112

LOCAL P113

LOCAL P114

LOCAL P115

LOCAL P116

LOCAL P117

LOCAL P118

LOCAL P119

LOCAL P120

LOCAL P121

LOCAL P122

LOCAL P123

LOCAL P124

LOCAL P125

LOCAL P126

LOCAL P127

LOCAL P128

LOCAL P129

LOCAL P130

LOCAL P131

LOCAL P132

LOCAL P133

LOCAL P134

LOCAL P135

LOCAL P136

LOCAL P137

LOCAL P138

LOCAL P139

LOCAL P140

LOCAL P141

LOCAL P142

LOCAL P143

LOCAL P144

LOCAL P145

LOCAL P146

LOCAL P147

LOCAL P148

LOCAL P149

LOCAL P150

LOCAL P151

LOCAL P152

LOCAL P153

LOCAL P154

LOCAL P155

LOCAL P156

LOCAL P157

LOCAL P158

LOCAL P159

LOCAL P160

LOCAL P161

LOCAL P162

LOCAL P163

LOCAL P164

LOCAL P165

LOCAL P166

LOCAL P167

LOCAL P168

LOCAL P169

LOCAL P170

LOCAL P171

LOCAL P172

LOCAL P173

LOCAL P174

LOCAL P175

LOCAL P176

LOCAL P177

LOCAL P178

LOCAL P179

LOCAL P180

LOCAL P181

LOCAL P182

LOCAL P183

LOCAL P184

LOCAL P185

LOCAL P186

LOCAL P187

LOCAL P188

LOCAL P189

LOCAL P190

LOCAL P191

LOCAL P192

LOCAL P193

LOCAL P194

LOCAL P195

LOCAL P196

LOCAL P197

LOCAL P198

LOCAL P199

LOCAL P200

LOCAL P201

LOCAL P202

LOCAL P203

LOCAL P204

LOCAL P205

LOCAL P206

LOCAL P207

LOCAL P208

LOCAL P209

LOCAL P210

LOCAL P211

LOCAL P212

LOCAL P213

LOCAL P214

LOCAL P215

LOCAL P216

LOCAL P217

LOCAL P218

LOCAL P219

LOCAL P220

LOCAL P221

LOCAL P222

LOCAL P223

LOCAL P224

LOCAL P225

LOCAL P226

LOCAL P227

LOCAL P228

LOCAL P229

LOCAL P230

LOCAL P231

LOCAL P232

LOCAL P233

LOCAL P234

LOCAL P235

LOCAL P236

LOCAL P237

LOCAL P238

LOCAL P239

LOCAL P240

LOCAL P241

LOCAL P242

LOCAL P243

LOCAL P244

LOCAL P245

LOCAL P246

LOCAL P247

LOCAL P248

LOCAL P249

LOCAL P250

LOCAL P251

LOCAL P252

LOCAL P253

LOCAL P254

LOCAL P255

LOCAL P256

LOCAL P257

LOCAL P258

LOCAL P259

LOCAL P260

LOCAL P261

LOCAL P262

LOCAL P263

LOCAL P264

LOCAL P265

LOCAL P266

LOCAL P267

LOCAL P268

LOCAL P269

LOCAL P270

LOCAL P271

LOCAL P272

LOCAL P273

LOCAL P274

LOCAL P275

LOCAL P276

LOCAL P277

LOCAL P278

LOCAL P279

LOCAL P280

LOCAL P281

LOCAL P282

LOCAL P283

LOCAL P284

LOCAL P285

LOCAL P286

LOCAL P287

LOCAL P288

LOCAL P289

LOCAL P290

LOCAL P291

LOCAL P292

LOCAL P293

LOCAL P294

LOCAL P295

LOCAL P296

LOCAL P297

LOCAL P298

LOCAL P299

LOCAL P300

LOCAL P301

LOCAL P302

LOCAL P303

LOCAL P304

LOCAL P305

LOCAL P306

LOCAL P307

LOCAL P308

LOCAL P309

LOCAL P310



3.1 Dimensionnement des tuyaux

Nous nous sommes aidés d'un abaque pour trouver le ϕ de nos tuyaux. La vitesse de l'eau dans nos canalisations est de 1 [m/s]. L'abaque est repris en annexe de ce projet.

3.2 GrundFos

Après une simulation sur GrundFos avec un débit de 2 [m^3/h], nous optons pour un circulateur MAGNA3 25-60 [1]

3.3 Dimensionnement et choix des émetteurs

Après avoir réfléchi aux différentes options à notre disposition quant au type d'émetteurs pour notre système de chauffage, nous avons finalement opté pour des radiateurs classiques. Pour les choisir, nous avons été sur le site Internet du fabricant Henrad qui nous avait été renseigné en classe.

Voilà tout d'abord un tableau récapitulatif des radiateurs par local et de la puissance qu'ils vont émettre.

Colonne1	Perte	Type22 H900 L1800 - 3085W	Type 21 H500 L2000 - 1655W	Type 22 H700 L1800 - 2531W	Type 22 H600 L3000 - 3832W	Type 22 H900 L2000 - 3428W	Puissance installée
Nom du local	Déperditions totales						W/Local
P028	11669.702	4	/	/	/	/	12340
P029	4927.956	/	/	2	/	/	5062
P030	4849.368	/	/	2	/	/	5062
P031	2700.000	/	1	/	/	/	1655
P027	7949.278	3	/	/	/	/	9255
P026	11272.568	/	/	/	3	/	11496
P025	967.215	/	/	/	/	/	0
P024	969.309	/	/	/	/	/	0
P023	957.488	/	/	/	/	/	0
P022	3597.144	/	/	/	/	/	0
P020	2748.293	1	/	/	/	/	3085
P019	6211.324	/	/	1	1	/	6363
P018	4924.663	/	/	2	/	/	5062
Local technique	1549.859	/	/	/	/	/	0
Grand couloir	47.390	/	/	/	/	/	0
local trapèze	3222.488	1	/	/	/	/	3085
Ascenseur + couloir	1614.250	/	1	/	/	/	1655
P130	3409.133	/	/	/	/	1	3428
P131	3807.430	/	/	/	1	/	3832
P132	3493.488	/	/	/	1	/	3832
P133	12653.524	/	1	/	3	/	13151
Local technique	1665.003	/	/	/	/	/	0
Local entretien	82.558	/	/	/	/	/	0
Couloir étage	11281.239	/	/	/	3	/	11496
		9	3	7	12	1	98859

Figure 5: Émetteurs de chauffage

Nous avons sélectionné deux gammes de radiateurs, la première étant la gamme : "Premium All In" dans laquelle nous avons pris tous nos émetteurs sauf le radiateur délivrant une puissance de 3832 W que nous avons pris dans la gamme : "Standard All In".

Pour commencer donc le radiateur de 3832 W est un type 22 donc il a deux panneaux de chauffe espacés de 100 mm entre eux et de 125 mm entre le plus éloigné du mur, et le mur. Nous avons sélectionné des radiateurs vraiment plus larges que hauts, ce qui nous donne pour celui-ci, 600 mm de haut et 3000 mm de large. C'est notre radiateur le plus puissant.

Ensuite dans la gamme : "Premium All In", nous avons un radiateur de 3428 W qui

est aussi de type 22. Cette gamme a les mêmes dimensions de profondeur que la gamme citée dans le paragraphe juste au-dessus. Mais cet émetteur est dans à lui plus haut avec 900 mm de haut et 2000 mm de large.

Après cela nous avons des radiateurs de 3085 W. Ils sont de type 22 aussi et ont 900 mm de haut pour 1800 mm de large.

Pour continuer à descendre dans les puissances, nous avons eu besoin de radiateurs de 2531 W. Ils sont de type 22 et ont une hauteur de 700 mm pour une largeur de 1800 mm. Enfin le dernier modèle d'émetteurs que nous avons aussi choisi sont des radiateurs de 1655 W, cette fois de type 21 donc avec 77 mm entre les deux panneaux et 102 mm entre le panneau le plus éloigné du mur et le mur. Ils ont une hauteur de 500 mm et une largeur de 2000 mm. C'est le plus petit modèle d'émetteur de chaud que nous avons sélectionné.

Nous avons donc au total, cinq types de radiateurs dans notre système pour un total de 32 émetteurs.

4 Ventilation en air hygiénique

Pour dimensionner notre système de ventilation à double-flux, nous avons dû déterminer le débit d'air hygiénique minimal pour chaque espace du bâtiment. Nous avons utilisé le logiciel PEB, qui se base sur les normes en vigueur pour accomplir cette tâche. Conformément au code du bien-être au travail, il est stipulé qu'un enseignant doit bénéficier d'un débit d'air minimum de 44 m³/h dans une salle de classe. Quant aux étudiants, bien qu'ils ne soient pas directement concernés par le code du bien-être au travail, il est généralement recommandé qu'ils disposent d'un débit d'air minimal de 22 m³/h. En ce qui concerne les toilettes, nous avons adopté le standard couramment utilisé de 25 m³/h. Pour la salle polyvalente, le débit de 4400 m³/h est très élevé mais nous avons opté pour un système de régulation de débit car nous estimons qu'il sera très rarement nécessaire de fournir un tel débit. Plus de détails concernant ce système se trouve dans la section régulation 7

Voici un tableau reprenant les débits calculés pour chaque local. 6

Pour plus de visualisation, la représentation de ceux-ci se retrouve sur le plan en annexe.

10.2

Niveau	Nom du local	Surface au sol (m ²)	Débit air hygiénique / pièce (m ³ /h) Norme	Pulsion (m ³ /h)	Extraction (m ³ /h)
RDC	P028	233,36	4400	4400	4400
RDC	P029	53	572	572	572
RDC	P030	52	572	572	572
RDC	P031	34	44,2	44,2	44,2
RDC	P027	54,93	572	572	572
RDC	P026	79,09	682	682	682
RDC	P025	7,02	44	44	44
RDC	P024	7,18	25	0	33,33
RDC	P023	3,89	25	0	33,33
RDC	P022	6,99	25	0	33,33
RDC	Zone toilette	2,83	25	100	0
RDC	P020	21,09	27,42	27,42	27,42
RDC	P019	50,04	88	88	88
RDC	P018	32,93	66	66	66
RDC	Local technique	20,48	26,2	0	43,17
RDC	local trapèze	7,79	10,13	10,13	10,13
RDC	Grand couloir	11,61	15,1	15,1	15,1
RDC	Ascenseur + couloir	13,05	16,97	43,17	0
étage	P130	66	682	682	682
étage	P131	73,4	682	682	682
étage	P132	68,6	682	682	682
étage	P133	95,6	682	682	682
étage	Local technique	19,85	25,8	25,8	0
étage	Local entretien	10,87	14,13	0	108,56
étage	Couloir étage	52,793	68,63	82,76	0
			Total	10072,58	10072,57

Figure 6: débit hygiénique

5 Réseau aéraulique de ventilation

Pour pulser le débit souhaité dans chaque pièce, il a fallu calculer la section nécessaire en essayant de maintenir une vitesse maximum de 3 m/s dans le réseau de distribution. En effet, des vitesses élevées entraînent des bruits dans le réseau et de l'inconfort dans les pièces desservies.

Le logiciel Trox a permis de dimensionner les bouches de ventilation nécessaires dans chaque local tout en tenant compte du débit nécessaire ainsi que de la limitation des vitesses pour les nuisances acoustiques. La conception des bouches permettait aussi une diffusion globale en évitant le côté désagréable du courant d'air sur soi 8. Pour certaines pièces qui ne sont pas des classes pour des raisons acoustiques, un transfert par grille était nécessaire.

La disposition des bouches dans les pièces est assurée pour pulser du côté des parois froides, à savoir les fenêtres et à plus de 1,5 m des murs.



Figure 7: Diffuseur régulateur TVT



Figure 8: grille de ventilation

Nous avons utilisé des bouches tellus-LOV 9 et LVS 10 ainsi qu'un TVT 7 qui permet la régulation de notre salle polyvalente.



Figure 9: Diffuseur tellus-LOV



Figure 10: Diffuseur LVS

Voici un tableau reprenant les sections de bouches normalisées ainsi que les vitesses en sortie de bouches. 11 Les simulations de ces dernières sur le logiciel Trox se trouvent en annexe.

Nom du local	diamètre bouche pulsion (mm)	diamètre bouche pulsion normalisé (mm)	vitesse sortie (m/s)	référence	diamètre bouche extraction (mm)	diamètre bouche extraction normalisé (mm)	vitesse sortie (m/s)	référence	Transfert grille (mm)
P028	720,23	500x700	2,99	TVT	720,23	500x700	2,99	TVT	/
P029	259,68	315,00	2,34	tellus-LOV	259,68	315,00	2,34	tellus-LOV	/
P030	259,68	315,00	2,34	tellus-LOV	259,68	315,00	2,34	tellus-LOV	/
P031	72,19	100,00	1,56	LVS/100	72,19	100,00	1,56	LVS/100	/
P027	259,68	315,00	2,34	tellus-LOV	259,68	315,00	2,34	tellus-LOV	/
P026	283,55	315,00	2,79	tellus-LOV	283,55	315,00	2,79	tellus-LOV	/
P025	72,02	100,00	1,56	LVS/100	72,02	100,00	1,56	LVS/100	/
P024	/	/	/	/	62,68	100,00	1,18	LVS/100	125x225
P023	/	/	/	/	62,68	100,00	1,18	LVS/101	125x225
P022	/	/	/	/	62,68	100,00	1,18	LVS/102	125x225
Zone toilette	108,58	125,00	2,31	tellus-LOV	/	/	/	/	125x225
P020	56,86	100,00	0,97	LVS/100	56,86	100,00	0,97	LVS/100	/
P019	101,86	100,00	2,44	tellus-LOV	101,86	100,00	2,44	tellus-LOV	/
P018	88,21	100,00	2,33	LVS/100	88,21	100,00	2,33	LVS/100	/
Local technique	/	/	/	/	71,34	100,00	1,53	LVS/100	125x225
local trapèze	34,56	100,00	0,36	LVS/100	34,56	100,00	0,36	LVS/100	/
Grand couloir	42,19	100,00	0,53	LVS/100	42,19	100,00	0,53	LVS/100	/
Ascenseur + couloir	71,34	100,00	1,53	LVS/100	/	/	/	/	125x225
P130	283,55	315,00	2,79	tellus-LOV	283,55	315,00	2,79	tellus-LOV	/
P131	283,55	315,00	2,79	tellus-LOV	283,55	315,00	2,79	tellus-LOV	/
P132	283,55	315,00	2,79	tellus-LOV	283,55	315,00	2,79	tellus-LOV	/
P133	283,55	315,00	2,79	tellus-LOV	283,55	315,00	2,79	tellus-LOV	/
Local technique	55,15	100,00	0,90	LVS/100	/	/	/	/	125x225
Local entretien	/	/	/	/	113,13	125,00	2,52	tellus-LOV	125x225
Couloir étage	98,78	100,00	2,31	tellus-LOV	/	/	/	/	125x225

Figure 11: Bouches de ventilation

Concernant les gaines, celles-ci doivent être dimensionnées pour pouvoir véhiculer les débits nécessaires à la distribution de l'air hygiénique dans chaque local. Pour l'étage et une partie du rez-de-chaussée, il a fallu passer des gaines circulaires à des gaines rectangulaires [2] car la hauteur du faux plafond ne le permettait pas¹². Pour cela, nous avons utilisé la formule d'Ashrae tout en tenant compte de limiter le rapport a/b à minimum 1/3.

$$D = 1,3 \cdot \frac{(a \cdot b)^{0,625}}{(a + b)^{0,25}} \quad (2)$$

Lieu	Hauteur (m)
étage	0,38
boulangerie	1,37
classe RDC Sud	1,68
classe RDC Nord	0,37

Figure 12: Hauteur faux plafond

Voici le tableau reprenant les dimensions normalisées ainsi que les débits des gaines pour le RDC : 13

réseau RDC	Pulsion (m³/h)	Extraction (m³/h)	Section Pulsion (mm)	Section rectangle pulsion (mm)	Section Circulaire (mm)	Vitesse gaine (m/s)	Section Extraction (mm)	Section rectangle extraction (mm)	Section Circulaire (mm)	Vitesse gaine (m/s)
A	7236,02	/	923,6194307	/	1000	2,56	/	/	/	/
B	5603,3	/	812,7652354	/	800	3,09	/	/	/	/
C	5559,1	/	809,5532578	/	800	3,07	/	/	/	/
D	1159,1	/	369,6610004	/	400	2,56	/	/	/	/
E	587,1	/	263,0868989	/	300	2,31	/	/	/	/
F	572	/	259,6816105	/	300	2,24	/	/	/	/
G	1632,72	/	438,7317232	250x700	/	2,94	/	/	/	/
H	1589,55	/	432,892716	250x700	/	2,86	/	/	/	/
I	1017,55	/	346,3546805	200x550	/	2,91	/	/	/	/
J	335,55	/	198,8940555	/	200	2,99	/	/	/	/
K	142,13	/	129,4452324	/	125	3,21	/	/	/	/
L	54,13	/	79,88444001	/	100	1,91	/	/	/	/
M	44	/	72,02272016	/	100	1,56	/	/	/	/
N	193,42	/	151,0058843	/	150	3,04	/	/	/	/
O	127,42	/	122,5637335	/	125	2,88	/	/	/	/
P	100	/	108,578336	/	125	2,26	/	/	/	/
1	/	7236,02	/	/	/	/	923,6194307	/	1000	2,56
2	/	44,2	/	/	/	/	72,18622257	/	100	2,55
3	/	7191,81	/	/	/	/	920,7935834	/	1000	2,54
4	/	1159,1	/	/	/	/	369,6610004	/	400	2,56
5	/	587,1	/	/	/	/	263,0868989	/	300	2,31
6	/	572	/	/	/	/	259,6816105	/	300	2,24
7	/	1632,71	/	/	/	/	438,7303796	250x700	/	2,94
8	/	1589,54	/	/	/	/	432,8913543	250x700	/	2,86
9	/	1017,54	/	/	/	/	346,3529786	200x550	/	2,91
10	/	335,54	/	/	/	/	198,8910917	/	200	2,966824978
11	/	269,54	/	/	/	/	178,2603659	/	200	2,383256853
12	/	242,12	/	/	/	/	168,9501237	/	160	3,345016912
13	/	142,13	/	/	/	/	129,4452324	/	125	3,217165093
14	/	98,13	/	/	/	/	107,5583375	/	125	2,221208827
15	/	10,13	/	/	/	/	34,55794461	/	100	0,358275461
16	/	99,99	/	/	/	/	108,5729069	/	125	2,263310615
17	/	66,66	/	/	/	/	88,64940729	/	100	2,357615224
18	/	33,33	/	/	/	/	62,68459704	/	100	1,178807612

Figure 13: Gainex ventilation RDC

Voici le tableau reprenant les dimensions normalisées ainsi que les débits des gaines pour l'étage : 14

réseau étage	Pulsion (m³/h)	Extraction (m³/h)	Section Pulsion (mm)	Section Extraction (mm)	Section rectangle pulsion (mm)	Section Circulaire (mm)	Vitesse gaine (m/s)	Section rectangle extraction (mm)	Section Circulaire (mm)	Vitesse gaine (m/s)
débit total	2836,56	2836,56	578,2813268	578,2813268	350x850	/	2,96	350x850	/	2,96
A	2753,8		569,7828581	0	350x850	/	2,87	0	/	0
B	2728		567,1074657	0	350x850	/	2,85	0	/	0
C	2046		491,1294719	0	300x750	/	2,83	0	/	0
D	1364		401,0055346	0	250x600	/	2,82	0	/	0
E	682		283,5537328	0	/	315	2,43	0	/	0
F	82,76		98,77645202	0	/	100	2,93	0	/	0
H		2836,56	0	578,2813268	0	/	0	350x850	/	2,87
I		2728	0	567,1074657	0	/	0	350x850	/	2,85
J		2046	0	491,1294719	0	/	0	300x750	/	2,83
K		1364	0	401,0055346	0	/	0	250x600	/	2,82
L		682	0	283,5537328	0	315	0	/	315	2,43

Figure 14: Gainex ventilation étage

Pour plus de clarté, la représentation sur le plan de notre réseau aéraulique avec la dimension des gaines ainsi que le débit véhiculé et la vitesse se trouve en annexe : 10.2

6 Dimensionnement système double-flux

Grâce aux débits d'air hygiénique par local calculé précédemment, nous pouvons dimensionner notre système. Notre installation doit pouvoir fournir un débit d'air total de $10073 \text{ m}^3/\text{h}$.

Notre choix s'est porté sur un système double-flux avec pompe à chaleur intégrée. Le modèle est un RHP 1200 U et plus précisément RHP 50 de VENTALIRgroup[3]. L'avantage de ce dernier est qu'il possède une PAC. Cette dernière permet de chauffer l'air de l'extérieur à une certaine température et dans notre cas 21 degrés mais aussi de le rafraichir en été.



Figure 15: système double-flux avec pompe à chaleur intégrée

Le modèle RHP 50 comme mentionné dans la fiche technique [4] à un débit d'air maximal de $11\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ et une puissance de chauffe maximal de 65 kW avec un rendement de 83% et un COP de 10. [5]

Les 65 kW sont largement suffisant car grâce à l'échangeur dans le système double-flux, la PAC ne doit plus chauffer de l'air directement issu de l'extérieur mais un air qui a été réchauffé par l'air extrait de l'intérieur du bâtiment.

$$\delta T = -9 + (21 + 9) \cdot 0.83 = 15,9^\circ\text{C} \quad (3)$$

$$P = 0.34 \cdot 10073 \cdot (21 - 15,9) = 17,47 \text{ kW} \quad (4)$$

7 Régulation

Suite à l'étape du dimensionnement de notre système de chauffage et de ventilation pour l'école, nous nous sommes tournés vers l'optimisation de ces installations pour en améliorer l'efficacité et réaliser des économies d'énergie. Pour cela, nous avons décidé d'intégrer des systèmes de régulation au sein de notre bâtiment.

Dans cette perspective, nous avons eu le privilège d'avoir une entrevue avec Monsieur Jolien, représentant de la société Priva, leader en matière de solutions de contrôle pour la gestion de l'énergie et du climat intérieur des bâtiments. Monsieur Jolien avait récemment donné une présentation sur la régulation des bâtiments à l'Institut Gramme, ce qui nous a incités à solliciter son expertise pour notre projet.

Durant notre entretien, Monsieur Jolien nous a fourni des conseils et nous a orienté vers plusieurs pistes d'amélioration potentielles. Il a souligné l'importance d'un contrôle fin des installations de chauffage et de ventilation, permettant d'ajuster en temps réel les conditions intérieures en fonction des besoins spécifiques de chaque zone de l'école et des variations extérieures.

Nous avons donc décidé d'installer une sonde de température, de pression et de CO_2 à l'endroit où l'air est repris dans notre salle polyvalente, et ce, pour plusieurs raisons.

Grâce au logiciel PEB, nous avons déterminé un débit d'air hygiénique de $4400 \text{ m}^3/\text{h}$, ce qui est considérable. Il faut noter que la salle polyvalente est principalement un lieu de passage, où le temps d'occupation reste généralement court. L'installation d'un capteur de CO_2 nous permet de réguler le débit d'air introduit en fonction de l'occupation réelle de la salle.

En ce qui concerne le chauffage, nous avons positionné une sonde extérieure sur la face nord du bâtiment, qui est généralement la plus exposée aux conditions climatiques défavorables. De plus, deux sondes ont été installées dans deux pièces de référence, l'une située au nord et l'autre au sud du bâtiment. Nous avons ensuite effectué une moyenne pondérée des valeurs relevées par ces deux sondes afin d'optimiser la régulation de la température intérieure par la chaudière.

8 Besoins nets en énergie

Les besoins nets en énergie sont constitués à partir de la puissance nécessaire que notre chaudière et notre système double-flux doivent fournir pour atteindre une température de 21 degrés dans notre bâtiment. Pour effectuer ce calcul, nous nous basons sur les degrés jours de la ville de Namur.

Pour notre calcul, nous avons estimé que l'école est utilisée 210 jours sur l'année. La température moyenne devient :

$$T = 15 - \frac{2281}{210} = 4,138^{\circ}\text{C} \quad (5)$$

On peut ensuite calculer la puissance de la ventilation et de la chaudière grâce à la valeur obtenue. Nous trouvons respectivement 17,47 kW et 99,76 kW ce qui nous permet de calculer l'énergie nécessaire en kWh.

$$17,47W = 83032\text{kWh} \quad (6)$$

$$99,76W = 502806\text{kWh} \quad (7)$$

En connaissant le prix du kWh du gaz et de l'électricité, à savoir 0,06 € et 0,4 €, nous pouvons calculer le coût de l'énergie sur une année.

$$83032 \cdot 0,4 = 35213\text{€} \quad (8)$$

$$502806 \cdot 0,06 = 30168\text{€} \quad (9)$$

Ce qui nous donne un total de 65 381 €

9 Conclusion

Pour conclure ce projet, nous avons accompli toutes les étapes initialement prévues et établi une solution optimisée pour le chauffage et la ventilation de notre établissement scolaire.

Notre point de départ a été le calcul des déperditions thermiques, étape essentielle qui nous a guidés dans le choix des systèmes de chauffage et de ventilation. Ainsi, grâce à ces calculs, nous avons pu dimensionner correctement ces systèmes en fonction de la puissance nécessaire et des débits d'air hygiéniques requis.

Par la suite, nous avons adapté les émetteurs et le réseau d'alimentation pour chaque système, en prenant en compte les spécificités de l'établissement, afin d'assurer une distribution efficace et équilibrée de la chaleur et de l'air frais.

Enfin, nous avons intégré des systèmes de régulation provenant de chez Priva. Ces derniers permettent d'ajuster de manière fine et automatique la performance des systèmes de

chauffage et de ventilation, afin de maximiser leur efficacité tout en minimisant leur consommation énergétique.

En résumé, cette étude a été une démarche complète et intégrée qui nous a permis de sélectionner, dimensionner, et optimiser les systèmes de chauffage et de ventilation pour notre établissement, en vue d'assurer un confort optimal tout en respectant les normes d'efficacité énergétique.

10 Annexes

10.1 Simulations Trox

Le logiciel Trox a permis de dimensionner les bouches de pulsion et d'extraction ainsi que les grilles de ventilation entre certains locaux tout en tenant compte des nuisances acoustiques. On estime que pour une classe, le nombre de décibels maximum acceptable est de 30 dB.

Voici la simulation pour les classes de 30 personnes :

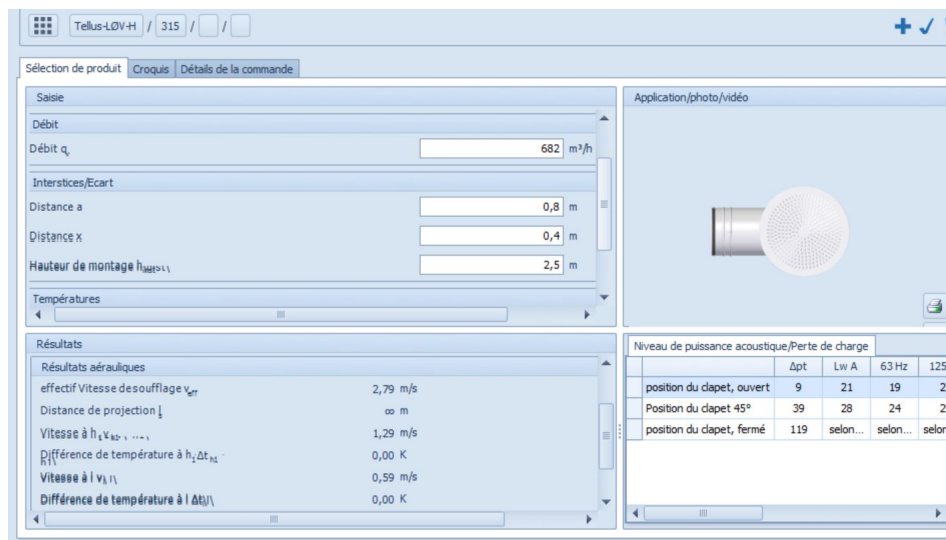


Figure 16: Simulation pour local 30 personnes tellus-LOV

Voici la simulation pour les classes de 25 personnes :

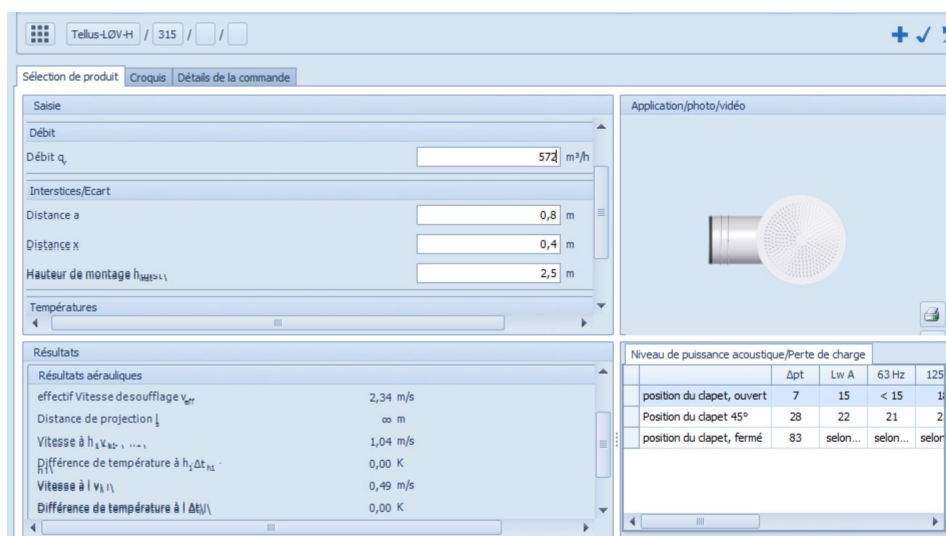


Figure 17: Simulation pour local 25 personnes tellus-LOV

Voici la simulation pour les toilettes :

Sélection de produit: Croquis Détails de la commande

Saisie

Stratégie: Général

Conditions de fonctionnement

Largeur d'ouverture: -4,5

Débit

Débit q_v : 33 m³/h 1...216

Résultats

Conditions de fonctionnement

Largeur d'ouverture: -4,5 mm

Application/photo/video

Niveau de puissance acoustique/Perte de charge

	Δp_t	Lw A	63 Hz	125 Hz	250 Hz
Général	23	< 15	29	< 15	< 15

Figure 18: Simulation toilette LVS

Voici la simulation pour le grand couloir à l'étage :

Sélection de produit: Croquis Détails de la commande

Saisie

Stratégie: Soufflage

Débit

Débit q_v : 83 m³/h

Résultats

effectif Vitesse de soufflage v_{eff} : 2,31 m/s

Distance de projection l : ∞ m

Vitesse à h_1 v_{h_1} : 0,30 m/s

Différence de température à h_1 Δt_{h_1} : 0,00 K

Vitesse à l v_l : 0,16 m/s

Différence de température à l Δt_l : 0,00 K

Application/photo/video

Niveau de puissance acoustique/Perte de charge

	Δp_t	Lw A	63 Hz	125
position du clapet, ouvert	10	17	< 15	<
Position du clapet 45°	35	28	19	2
position du clapet, fermé	82	selon...	selon...	selon...

Figure 19: Simulation grand couloir à l'étage tellus-LOV

Voici la simulation pour le bureau au RDC :

Sélection de produit: Croquis Détails de la commande

Saisie

Stratégie: Général

Conditions de fonctionnement

Largueur d'ouverture: 5

Débit

Débit q_v : 66 m³/h 1...327

Résultats

Conditions de fonctionnement

Largueur d'ouverture: 5,0 mm

Application/photo/vidéo

Niveau de puissance acoustique/Perte de charge

	Δp_t	Lw A	63 Hz	125 Hz	250 Hz
Général	28	20	29	15	21

Figure 20: Simulation bureau RDC LVS

Voici la simulation pour le local 019 au RDC :

Sélection de produit: Croquis Détails de la commande

Saisie

Stratégie: Soufflage

Débit

Débit q_v : 83 m³/h

Résultats

effectif Vitesse desoufflage v_{eff} : 2,31 m/s

Distance de projection l : ∞ m

Vitesse à h_1 v_{h_1} : 0,07 m/s

Différence de température à h_2 Δt_{h_2} : 0,00 K

Vitesse à h_1 v_{h_1} : 0,03 m/s

Différence de température à h_1 Δt_{h_1} : 0,00 K

Application/photo/vidéo

Niveau de puissance acoustique/Perte de charge

	Δp_t	Lw A	63 Hz	125
position du clapet, ouvert	10	17	< 15	<
Position du clapet 45°	35	28	19	2
position du clapet, fermé	82	selon...	selon...	selon...

Figure 21: Simulation local 019 RDC tellus-LOV

Voici la simulation pour une grille de ventilation :

Sélection de produit : Détails de la commande

Saisie

Stratégie : Transfert d'air

Débit : Débit q_v : 43 m³/h 1...190

Résultats

Résultats aérodynamiques

Vitesse d'air géométrique v_{geo}	1,35 m/s
Surface géométrique A_{geo}	0,0088 m ²

Application/photo/vidéo

Niveau de puissance acoustique/Perte de charge

	Δp_t	Lw A
position du clapet, ouvert	6	23

Figure 22: Simulation grille de ventilation

Voici la simulation pour notre régulateur dans la salle polyvalente :

Sélection de produit : Croquis Détails de la commande

Saisie

Stratégie : Valeurs de fonctionnement pour calculer les données acoustiques

Valeurs de fonctionnement

Débit d'air minimal	660 m ³ /h	Valeur=0,
Débit d'air maximal	4,400 m ³ /h	Valeur=0,
Pression différentielle statique	100 Pa	80...1000
Niveau de pression acoustique maximum, bruit du flux d'air	25 dB(A)	
Niveau de pression acoustique maximum, bruit rayonné	20 dB(A)	

Application/photo/vidéo

TVT

Photo produit

Silencieux : sans Silencieux TX

Capotage : sans Capotage

Calculer

Figure 23: Simulation régulateur TVT dans salle polyvalente

10.2 Chauffage

Abaque utilisé pour déterminer les diamètres nominaux des canalisations du chauffage.

SECO LIFE HVAC n° 1

mise en application 15/03/02

rev 01

TUYAUTERIES EAU CHAUDE - EAU GLACEE

r limitée à 200 Pa/m - v limitée à 1 m/sec

de 20° à 60°

Diamètre	Débit m³/h	Watts chauds Dif. Temp. 20°	Watts froids Dif. Temp. 5°
DN 15 - 1/2"	0,23	6.500	1.630
DN 20 - 3/4"	0,54	12.600	3.140
DN 25 - 1"	1,10	25.600	6.400
DN 32 - 1 1/4"	2,60	61.000	15.000
DN 40 - 1 1/2"	3,60	84.000	21.000
DN 50	7,50	175.000	43.500
DN 65	12	280.000	70.000
DN 80	20	465.000	115.000
DN 100	29	675.000	170.000
DN 125	49	1.140.000	285.000
DN 150	72	1.675.000	420.000
DN 200	140	3.255.000	815.000
DN 250	220	5.120.000	1.220.000
DN 300	320	7.740.000	1.860.000

pour les
BT 3°

des Poles Radiaires

COLLECTEURS EAU CHAUDE - EAU GLACEE

p limitée à 100 Pa/m - v limitée à 0,5 m/sec

Figure 24: Abaque



non concerné par les travaux

RDC

Emplacements 2 autocars scolaires (à créer)

List of Figures

1	Coefficients de transmission et facteur d'orientation	2
2	Déperditions dans les murs	3
3	Déperditions dans les fenêtres	3
4	Déperditions totales	3
5	Émetteurs de chauffage	7
6	débit hygiénique	9
7	Diffuseur régulateur TVT	10
8	grille de ventilation	10
9	Diffuseur tellus-LOV	10
10	Diffuseur LVS	10
11	Bouches de ventilation	11
12	Hauteur faux plafond	11
13	Gaines ventilation RDC	12
14	Gaines ventilation étage	12
15	système double-flux avec pompe à chaleur intégrée	13
16	Simulation pour local 30 personnes tellus-LOV	17
17	Simulation pour local 25 personnes tellus-LOV	17
18	Simulation toilette LVS	18
19	Simulation grand couloir à l'étage tellus-LOV	18
20	Simulation bureau RDC LVS	19
21	Simulation local 019 RDC tellus-LOV	19
22	Simulation grille de ventilation	20
23	Simulation régulateur TVT dans salle polyvalente	20
24	Abaque	21

References

- [1] GrundFos. Référence du circulateur grundfos, 2023. URL <https://product-selection.grundfos.com/be/fr/products/magna/magna3/magna3-25-60-97924245?pumpsystemid=2119947504&tab=variant-sizing-results>. Consulté le 08 juin 2023.

- [2] CAIROX. Référence gaines rectangulaires, 2023. URL <https://www.cairox.be/FR/documentation/C05.050.1-SDR-Conduits-rectangulaires>. Consulté le 08 juin 2023.

- [3] VENTILAIRgroup. Rhp 1200 u, 2023. URL <https://www.ventilairgroup.be/be-fr/produits/systemes-de-ventilation/systemes-double-flux-avec-pompe-a-chaleur-integree/rhp-1200-u/groups/g+c+a+view>. Consulté le 08 juin 2023.

- [4] VENTILAIRgroup. Fiche technique rhp, 2023. URL https://www.ventilairgroup.be/media/files/Brochure_RHP_FR.pdf. Consulté le 08 juin 2023.

- [5] VENTILAIRgroup. Manuel rhp, 2023. URL https://www.ventilairgroup.be/media/files/Manual_RHP_EN.pdf. Consulté le 08 juin 2023.