

CITEE ADMINISTRATIVE CARCASSONNE

Notice descriptive modélisation thermique dynamique



Maître d'ouvrage :

CENTRE DES FINANCES PUBLIQUES
CITEE ADMINISTRATIVE
Place Gaston Jourdanne
11000 CARCASSONNE

Bureau d'étude fluide :

Raymond BACQUÉ Ingénierie
2A, rue Alfred Nast
11 100 NARBONNE

Sommaire

1) <i>Projet</i>	3
2) <i>Les acteurs du projet</i>	3
3) <i>Objectifs</i>	3
4) <i>Méthode de simulation</i>	3
5) <i>Modélisation thermique dynamique</i>	4
<i>A - Zonage des bâtiments</i>	4
<i>B - Hypothèses des calculs</i>	5
a) <i>Site</i>	5
b) <i>Station météorologique</i>	5
c) <i>DJU</i>	5
d) <i>Compositions des parois</i>	5
e) <i>Les équipements</i>	6
f) <i>Les différents scénarios</i>	7
<i>C - Objectifs et Résultats des calculs</i>	8
a) <i>Objectif de l'étude</i>	8
b) <i>Calculs de déperditions</i>	9
c) <i>Puissance à installer</i>	15
d) <i>Consommations</i>	16
e) <i>Résultats des calculs théoriques de consommations :</i>	21
f) <i>Analyse du comportement thermique des bâtiments</i>	22
<i>Conclusion</i>	26

1) Projet

Le projet concerne la réhabilitation des systèmes de production de chauffage de l'ensemble immobilier de Cité administrative de Carcassonne.

La Cité administrative de Carcassonne comprend 4 bâtiments. Les bâtiments 1, 2 et 3 sont des bâtiments anciens réalisés en pierre et le bâtiment 4 est de construction plus récente en béton et en parpaing.

2) Les acteurs du projet

Maître d'ouvrage :

CENTRE DES FINANCES PUBLIQUES
CITEE ADMINISTRATIVE
Place Gaston Jourdanne
11000 CARCASSONNE

Maître d'oeuvre :

Raymond BACQUÉ Ingénierie
2A, rue Alfred Nast
11100 CARCASSONNE

3) Objectifs

Les objectifs de l'étude modélisation thermique dynamique sont de déterminer les besoins réels de chauffage afin de réaliser le dimensionnement des réseaux primaires et de la sous station.

La modélisation des bâtiments permet de dimensionner les installations en prenant en compte les apports internes : apports par les éclairages, les occupants, les équipements et les apports externes : les apports solaires ce qui permet d'être plus précis qu'avec un dimensionnement conventionnel par calculs de déperditions.

La modélisation thermique permet de visualiser le comportement des différents bâtiments que ce soit aux niveaux des températures intérieures, des consommations d'énergies, des puissances appelées.

4) Méthode de simulation

La modélisation des bâtiments a été réalisée à l'aide du logiciel TRNSYS 17.

TRNSYS 17 est un logiciel modulaire de modélisation mathématique développé par l'université de Madison dans le Wisconsin depuis 35 ans.

Ce logiciel permet d'intégrer toutes les caractéristiques d'un bâtiment et de ses équipements (les systèmes de chauffage et de climatisation), pour l'étude détaillée du comportement thermique de ce bâtiment, en fonction de son emplacement, des matériaux de construction utilisés, de l'architecture globale, du concept énergétique choisi, etc.

TRNSYS est un programme de simulation de systèmes transitoires avec une structure modulaire. Il reconnaît un langage de description du système dans lequel l'utilisateur spécifie les composants qui constituent le système et la façon dont ils sont connectés. La bibliothèque TRNSYS comprend des composants couramment rencontrés dans les systèmes d'énergie thermique et électrique, ainsi que des composants pour gérer l'entrée de données météorologiques ou d'autres paramètres en fonction du temps et il permet l'obtention de courbes, de graphiques ou de données comme résultats de simulation. La nature modulaire de TRNSYS donne au programme une grande flexibilité, et facilite l'ajout de modèles mathématiques qui ne figurent pas dans la bibliothèque TRNSYS standard. TRNSYS est bien adapté à une analyse détaillée de tout système dont le comportement dépend du temps. TRNSYS est devenu le logiciel de référence pour les chercheurs et les ingénieurs du monde entier. Principales applications : systèmes solaires (systèmes solaires thermiques et photovoltaïques), bâtiments à basse consommation d'énergie et les systèmes de CVC, les systèmes d'énergie renouvelables, la cogénération, les piles à combustible etc.

Simuler et concevoir un projet performant et innovant

Simuler les performances thermiques des bâtiments avec TRNSYS permet de :

- Prendre en compte des phénomènes physiques dynamiques tels que les conditions météorologiques
- Valider les choix architecturaux et les équipements techniques de votre projet, dès la phase de conception
- Réaliser des bâtiments énergétiquement performants : un enjeu majeur dans un contexte énergétique mondial tendu
- Valider le concept énergétique de votre projet et expérimenter des approches innovatrices (stratégies de gestion, énergies renouvelables, variantes architecturales, etc.) dans le respect de la démarche HQE

5) Modélisation thermique dynamique

A - Zonage des bâtiments

Les bâtiments ont été décomposés en plusieurs zones :

Le zonage des bâtiments a été réalisé par bâtiments :

- Zone Bâtiment 4
- Zone Bâtiment Hall
- Zone Bâtiment 3
- Zone Bâtiment 1-2

B - Hypothèses des calculs

a) Site

Nom	Carcassonne	Altitude	128 m
Longitude	02° 17' 42"E	Latitude	43° 12' 54"N

b) Station météorologique

Les données météorologiques sont issues de la fiche climatologique de Météo France pour la station Carcassonne Salvaza.

Nom	Carcassonne	Altitude	142 m
Longitude	02° 17' 42"E	Latitude	43° 12' 54"N
Températures	Minimale (moyenne)	Maximale (moyenne)	Moyenne (moyenne)
	3.00°C	28°C	13.7°C

c) DJU

Annuels	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
1934.1	363.5	296.4	260.4	188.4	83	20.7	2.3	2.5	23.5	111.3	250.8	331.3

d) Compositions des parois

Les parois prises en compte dans la modélisation thermique dynamique sont les suivantes :
La description des parois est réalisée de l'intérieur des bâtiments vers l'extérieur.

Bâtiment 1, 2, 3 :

Murs extérieurs : BA13, Lamé d'air de 50 mm, Pierre calcaire dure de 73 cm, enduit béton extérieur.

Planchers sur terre plein : Dalle béton de 15 cm

Murs enterrés : Enduit plâtre, Pierre calcaire dure de 73 cm Enduit béton.

Planchers intermédiaires : Enduit plâtre, Lattis bois, Solive bois, plâtre, sable, carreaux de terre cuite.

Planchers sur sous sol Bâtiment 3 : dalle de compression de 50 mm, Hourdis brique ou voutains en terre cuite.

Plancher extérieur sur porche : Enduit plâtre, Lattis bois, Solive bois, plâtre, sable, carreaux de terre cuite.

Bâtiment 4, Hall :

Murs extérieurs : BA13, Laine de verre de 60 mm, parpaing de 20 cm, enduit béton extérieur.

Plancher sur parking : Béton de 20 cm, Laine de roche de 10 cm faux plafond en lames métalliques.

Plancher bas sur terre plein Hall : Dalle béton de 15 cm.

Mur intérieur sur chaufferie et LNC : Enduit plâtre, Briques de 20 cm, enduits plâtre.

Plancher intermédiaire : Faux plafond laine de verre 2.5 cm, lame d'air de 20 cm, dalle béton de 20 cm.

Toiture terrasse : Faux plafond laine de verre 2.5 cm, lame d'air de 20 cm, dalle béton de 20 cm, polystyrène extrudé de 60 mm, étanchéité.

- Menuiseries extérieures :

Les parois vitrées seront constituées de la manière suivante :

Bâtiment 3, 4 :

Complexe double vitrage 6/12/6 de type CLIMALIT :

- Verre extérieur de type SGG CLIMALIT de 6 mm,
- Lame d'AIR de 12 mm,
- Verre intérieur de type SGG CLIMALIT de 6 mm.

Les portes-fenêtres et baies vitrées ont un $U_g = 1,1 \text{ W} / (\text{m}^2.\text{K})$.

Le double vitrage posé sur une menuiserie en aluminium à rupture de pont thermique obtient un $U_w = 1.76 \text{ W} / (\text{m}^2.\text{K})$.

Portes pleines :

Les portes d'entrée seront isolées, en bois avec $U_w = 2.00 \text{ W} / (\text{m}^2.\text{K})$.

Hall d'entrée :

Baies vitrées et portes en aluminium avec un simple vitrage : $U_w = 5.52 \text{ W} / (\text{m}^2.\text{K})$.

Bâtiment 1, 2 :

Menuiseries bois simple vitrage avec survitrage $U_w = 2.79 \text{ W} / (\text{m}^2.\text{K})$.

Les fenêtres de la façade sud ont un $U_g = 1,1 \text{ W} / (\text{m}^2.\text{K})$.

Le double vitrage posé sur une menuiserie en aluminium à rupture de pont thermique obtient un $U_w = 1.76 \text{ W} / (\text{m}^2.\text{K})$.

e) Les équipements

- Ventilation

La ventilation des sanitaires des bâtiments 3 et 4 sont de type simple flux auto-réglable.

Le débit massique pris en compte par bâtiment est de 570 kg/h.

f) Les différents scénarios

Pour ces bâtiments, nous avons quatre types de scénarios :

Les **scénarios d'occupation** qui permettent de définir le nombre de personnes pour chaque zone. La puissance diffusée par chaque occupant est définie à 150W totale, 75 W en chaleur sensible et 75 W en chaleur latente.

Les personnes prises en compte pour les calculs sont les suivants :

Bâtiment 1 : 39 agents, Bâtiment 2: 36 agents, Bâtiment 3: 105 agents, Bâtiment 4: 108 agents
Hall : 15 personnes et 2 agents.

J'ai pris en compte des apports par le matériel informatique à raison d'un poste informatique par agent.

Les **calendriers**, qui permettent de définir le temps d'occupations par le personnel, les temps d'utilisation des appareils d'éclairage, des ordinateurs.

J'ai considéré que l'éclairage et les ordinateurs fonctionnaient de 8h à 18h du lundi au vendredi inclus comme pour les temps d'occupation des agents.

J'ai pris comme hypothèse que l'éclairage était réalisé par des tubes fluorescents d'une puissance de 17 W/m².

Le chauffage est mis en service le 15 octobre et arrêté le 20 avril de chaque année.

Les **températures de consigne** qui permettent de définir de manière horaire sur la semaine et annuellement les consignes de chauffage à appliquer.

Le chauffage fonctionne de 8h à 18h avec une consigne de température de 22°C, en réduit de 18h à 8h avec une consigne de 19°C pendant les jours ouvrés. Les weekends la température de consigne du chauffage est de 17°C du vendredi 18h au lundi matin 8h.

Les **gains de chaleur interne** qui permettent de définir la puissance des équipements qui libèrent de la chaleur, éclairage, ordinateurs, etc. pour chaque heure de l'année. Cela correspond normalement à la consommation électrique de la zone car tout se dégrade en chaleur.

J'ai pris comme hypothèse que l'éclairage était réalisé par des tubes fluorescents d'une puissance de 17 W/m² et que les postes informatiques emmêlaient 230W par poste.

C - Objectifs et Résultats des calculs

a) Objectif de l'étude

A l'heure actuelle les bâtiments sont chauffés par deux chaufferies, une au fuel domestique et une au gaz naturel.

Les bâtiments 1, 2 et 3 sont chauffés par la chaufferie au fuel domestique comprenant deux chaudières au sol, une de marque De Dietrich de type GT409 de 370 kW et une de marque Idéal Standard de type Idéal 2410 de 380 kW de puissance.

Le bâtiment 4 et le hall d'accueil sont chauffés par la chaufferie gaz comprenant deux chaudières au sol de marque Guillot de type Optimagaz 174 d'une puissance totale de 340kW.

Le maître d'ouvrage souhaite supprimer la chaufferie fonctionnant au fuel domestique afin d'avoir qu'une seule énergie et regrouper les moyens de production dans la chaufferie gaz.

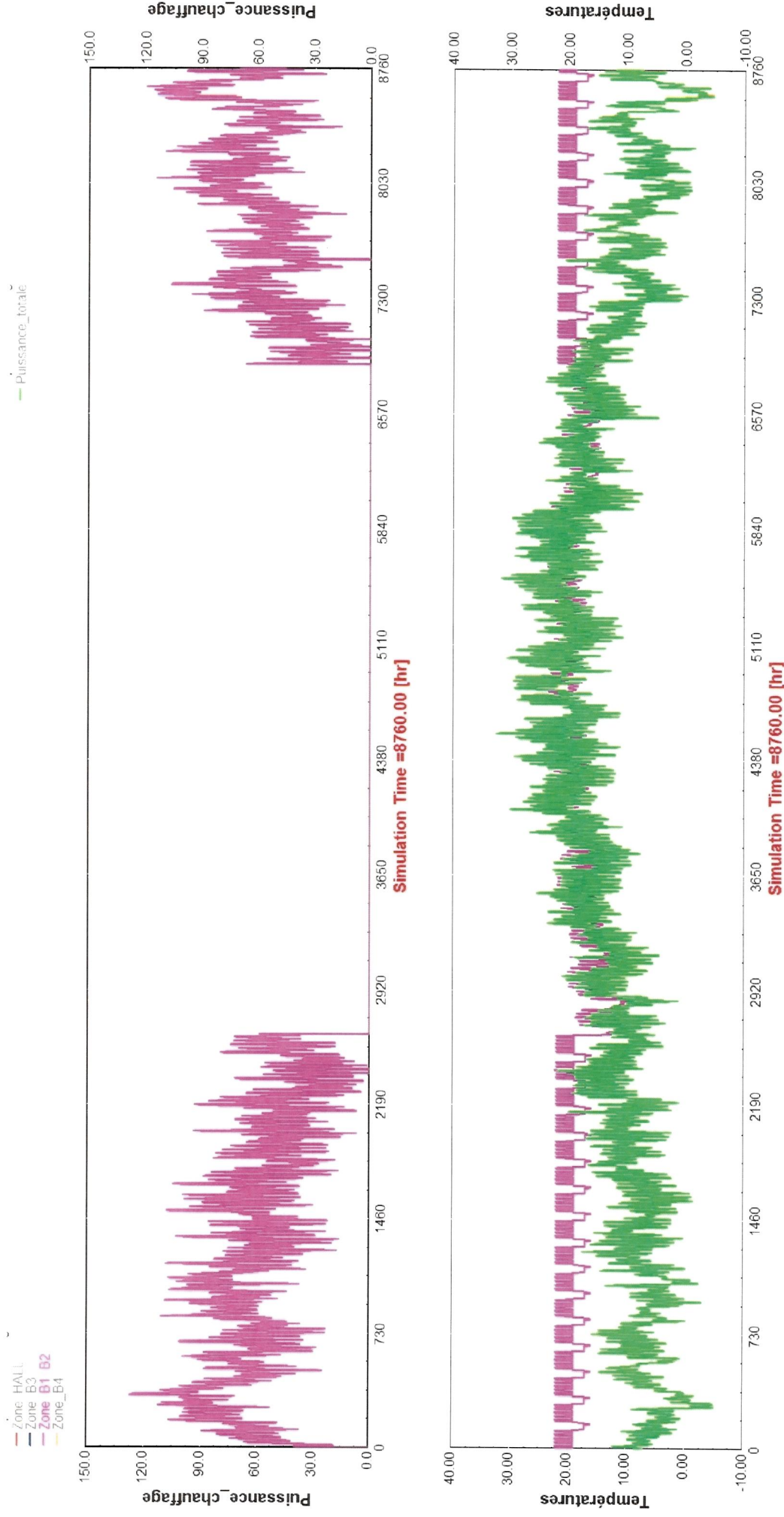
La chaufferie fuel sera déposée et remplacée par une sous station.

La cuve de fuel enterrée de 10 000 litres de type simple parois sera dégazée, nettoyée et neutralisée.

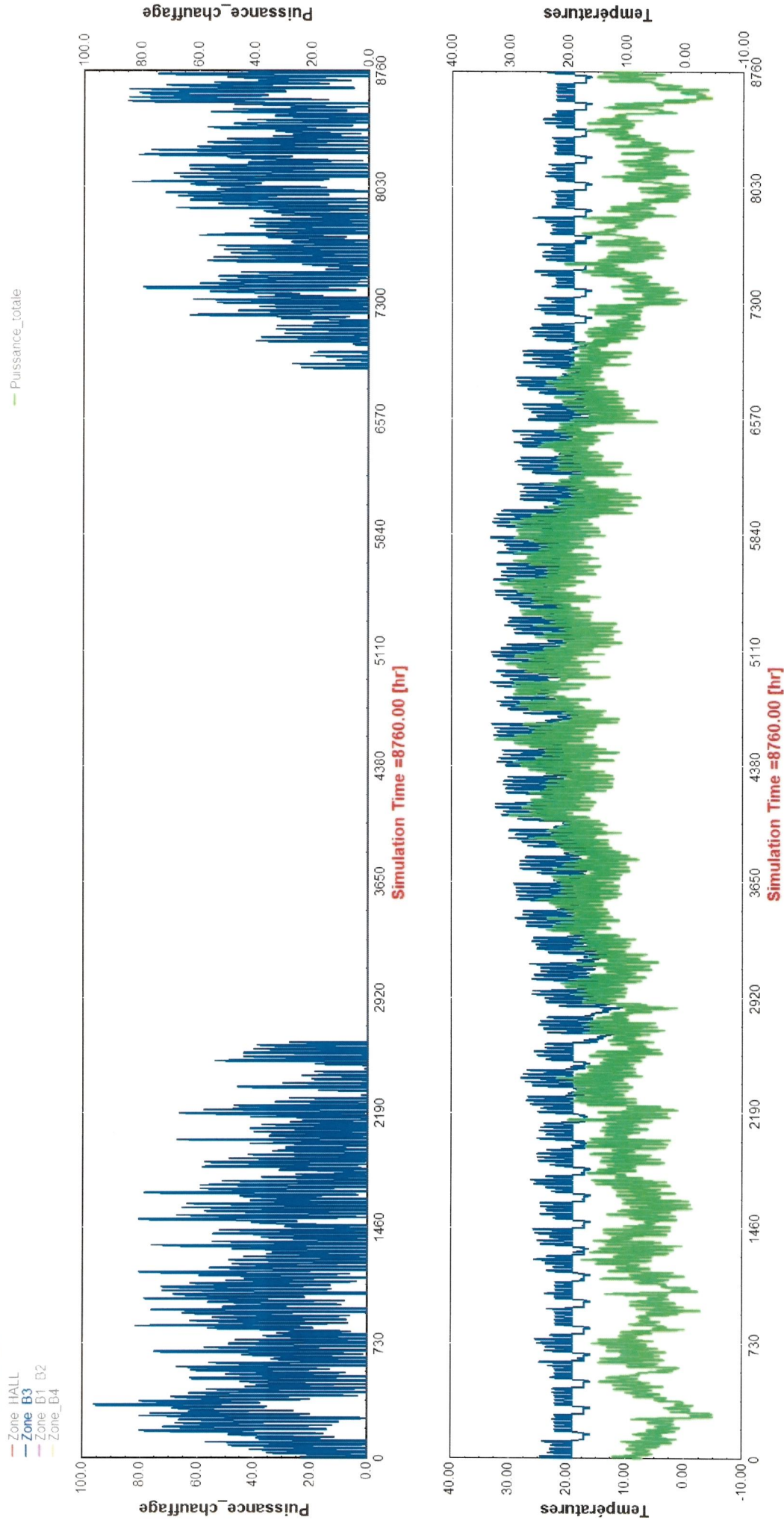
Un réseau de chaleur relira la future sous station dans le bâtiment 1 à la chaufferie gaz par les sous sol des bâtiments et la galerie technique existante entre le bâtiment 3 et le bâtiment 1.

b) Calculs de déperditions

Le résultat des calculs de déperditions en fonction de la température extérieure par bâtiment sont les suivants :
Bâtiment 1 et 2



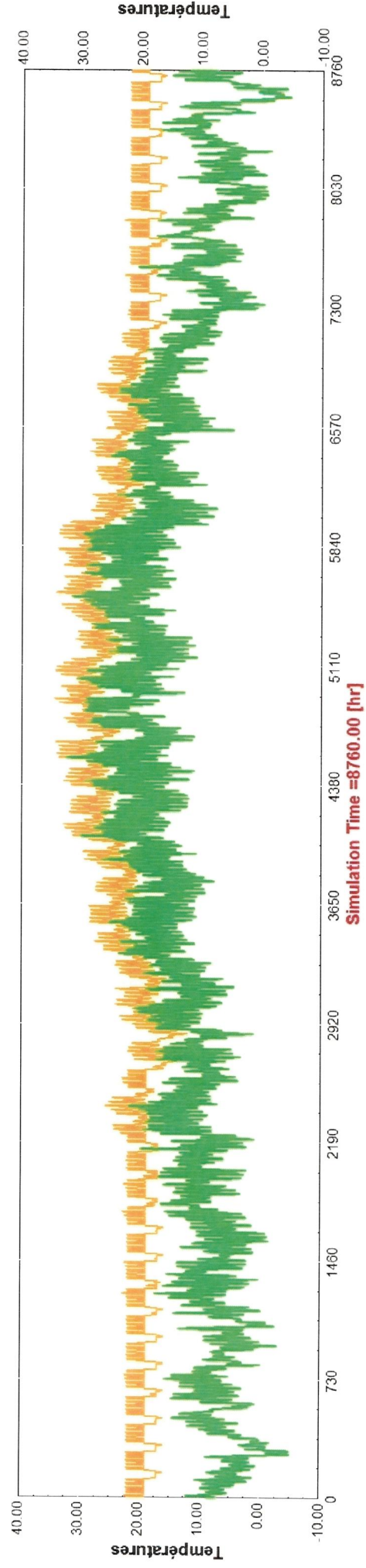
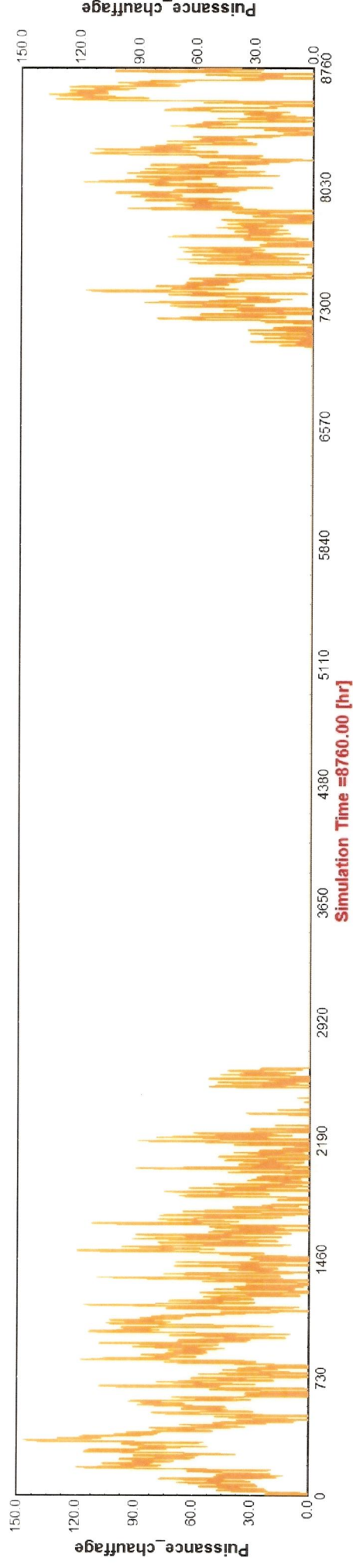
Bâtiment 3



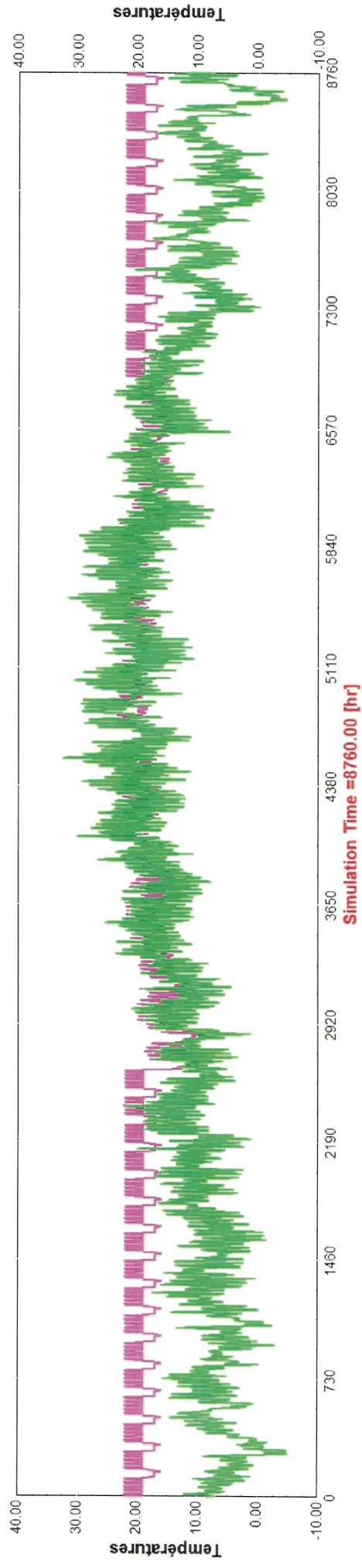
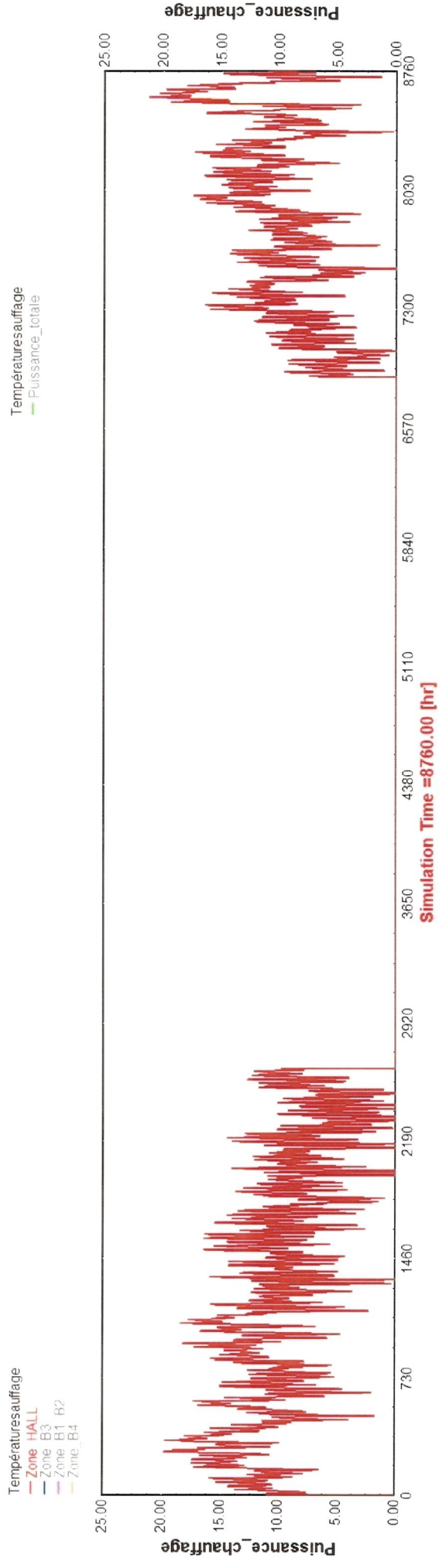
Comme on peut le visualisé sur les courbes de températures (courbes du bas) du 20 avril au 15 octobre le chauffage est arrêté et la température intérieure dérive en fonction de la température extérieure, de l'inertie du bâtiment et avec un décalage lié au apports internes.

Bâtiment 4

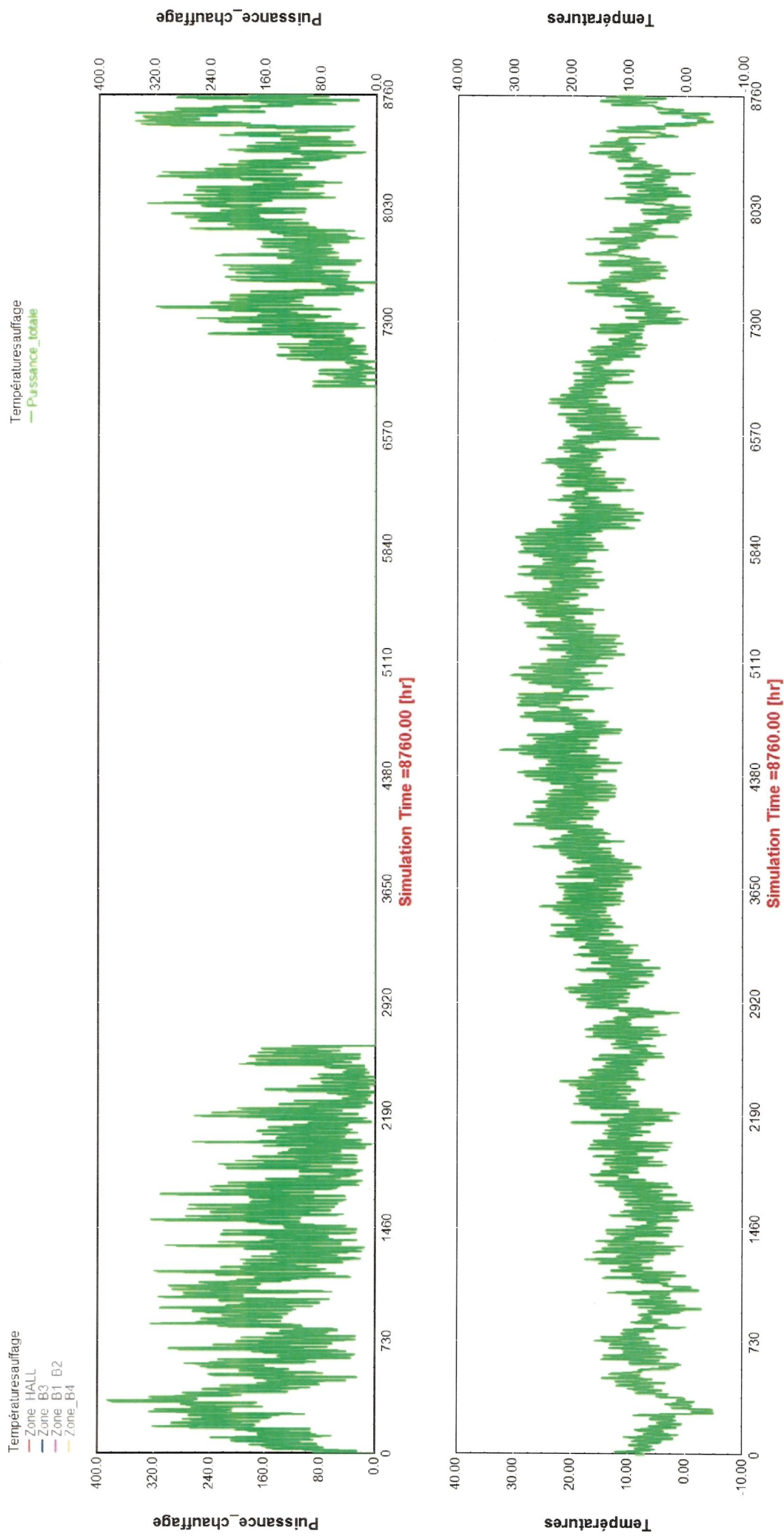
Températures chauffage
— Zone HALL
— Zone B3
— Zone B1 B2
— Zone B4



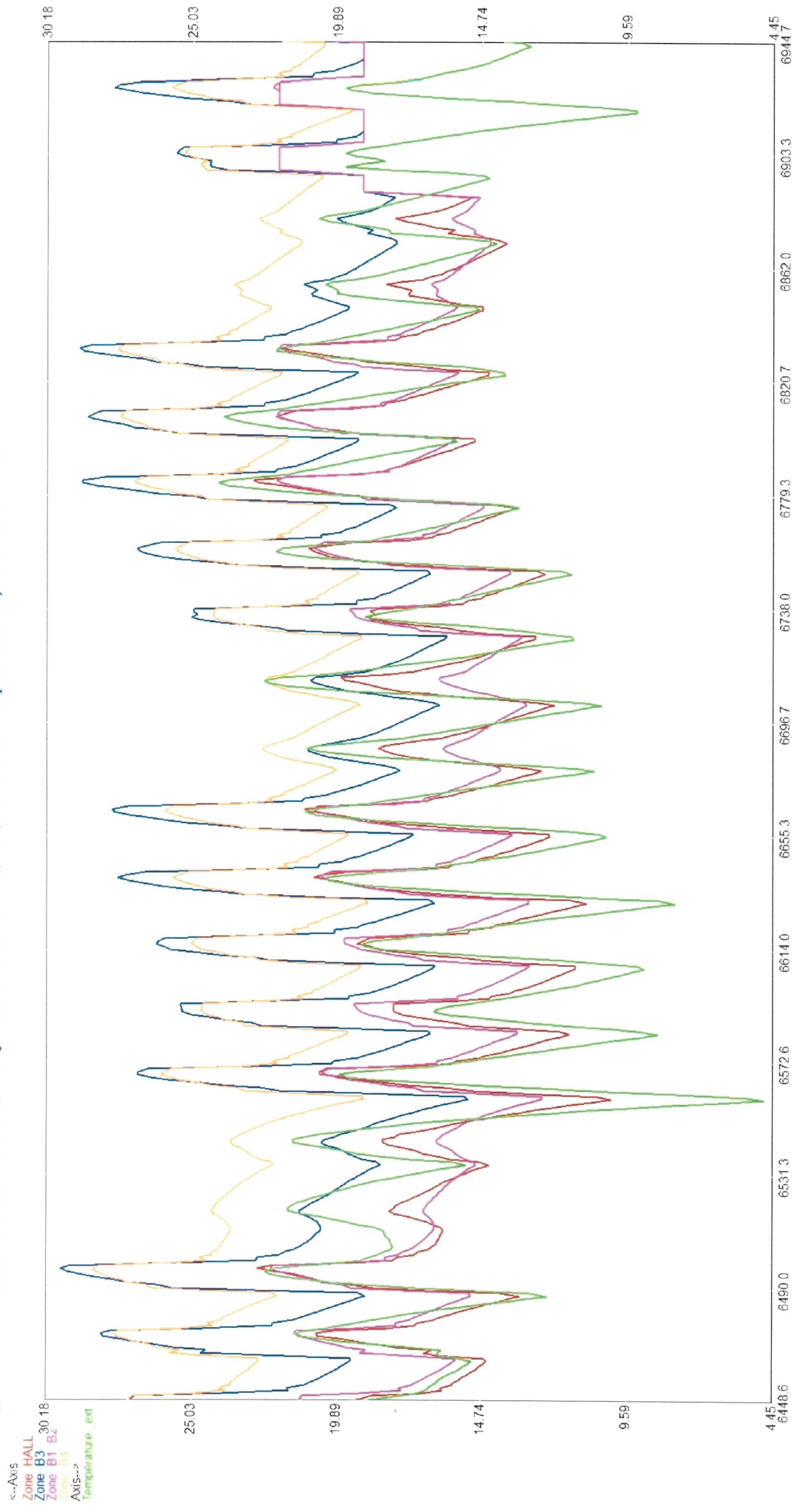
Bâtiment Hall d'accueil



Déperditions totales en kW et température extérieure en °C sur une année soit 8760 heures



Les puissances à mettre en œuvre pour chauffer les bâtiments ont été calculées en fonction des hypothèses énumérées précédemment et en prenant en compte une température de démarrage de 10°C intérieure qui est le résultat de la somme des températures extérieure les plus basse (inférieure à 10°C) sur plusieurs heures (20h) dans les 15 premiers jours d'octobre.



c) Puissance à installer

Cette température de démarrage permet de calculer la surpuissance nécessaire pour une mise en température rapide de l'installation. En régime établie la puissance nécessaire est de 12% moins importante qu'au démarrage.

Température intérieure de démarrage de 10°C	Zone_B1_B2_kW	Zone_B3_kW	Zone_B4_kW	Zone_HALL_kW
P Max Appelée en régime établie kW	127,72	96,23	147,33	21,26
P Max Appelée à la mise en service kW	129,49	117,55	201,55	21,26
Pourcentage de surpuissance	1,37%	18,13%	26,90%	0,00%
				Moyenne 11,60%

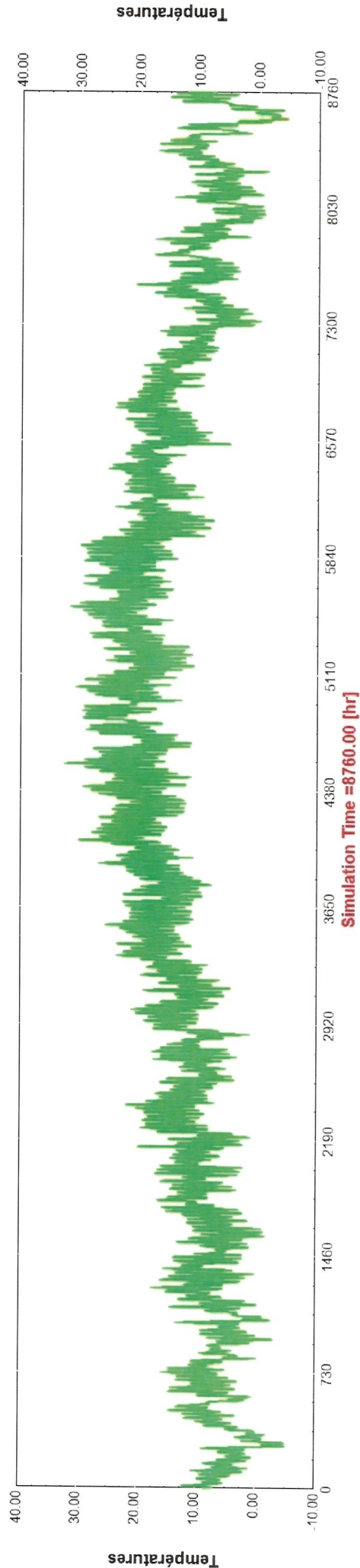
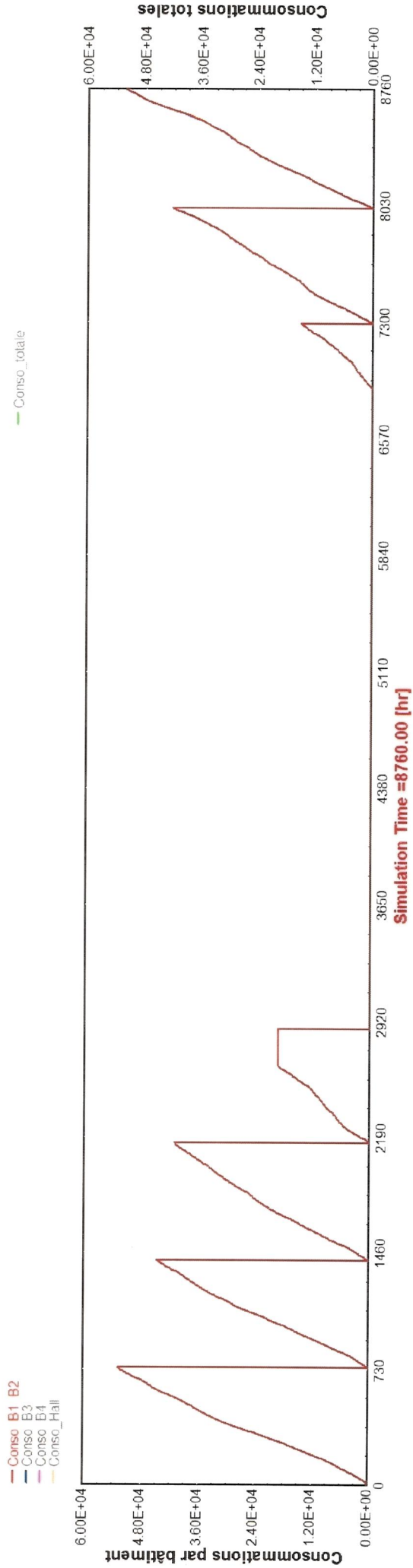
Dans le dimensionnement de l'installation il sera pris en compte cette surpuissance moyenne de 12% on obtient le résultat suivant :

	Zone B1 B2	Zone B3	Zone B4	Zone Hall	Puissance Total
P Max Appelée kW	127,72	96,23	147,33	21,26	392,54
P Max + surpuissance 12%	143,05	107,78	165,01	23,81	439,65

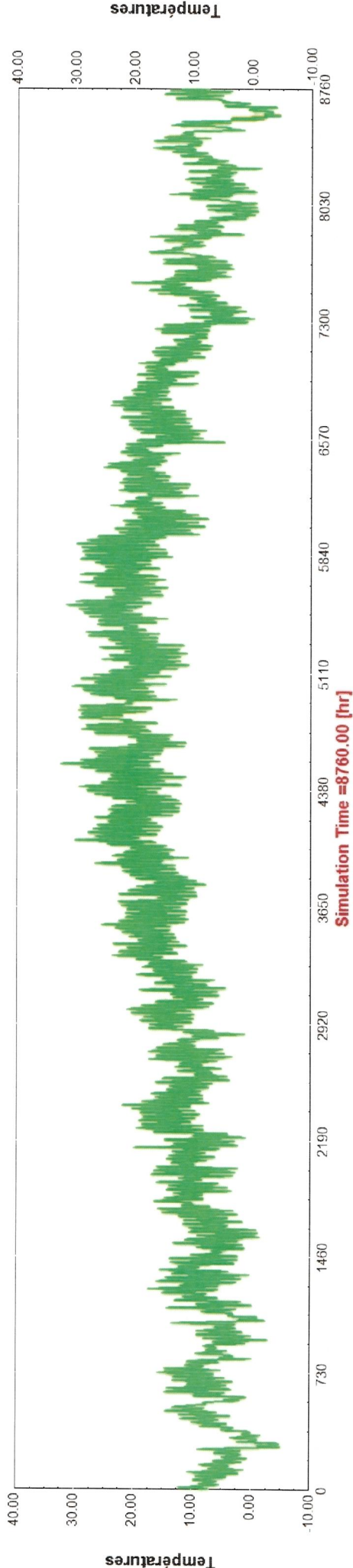
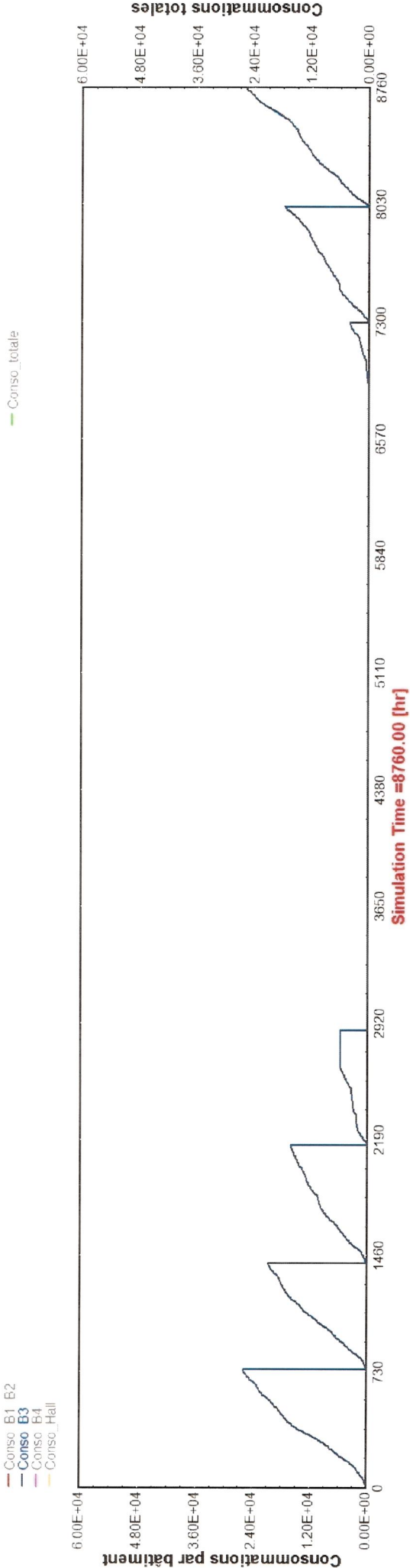
d) Consommations

Vérification des consommations calculées par rapport aux consommations effective de l'installation existante :

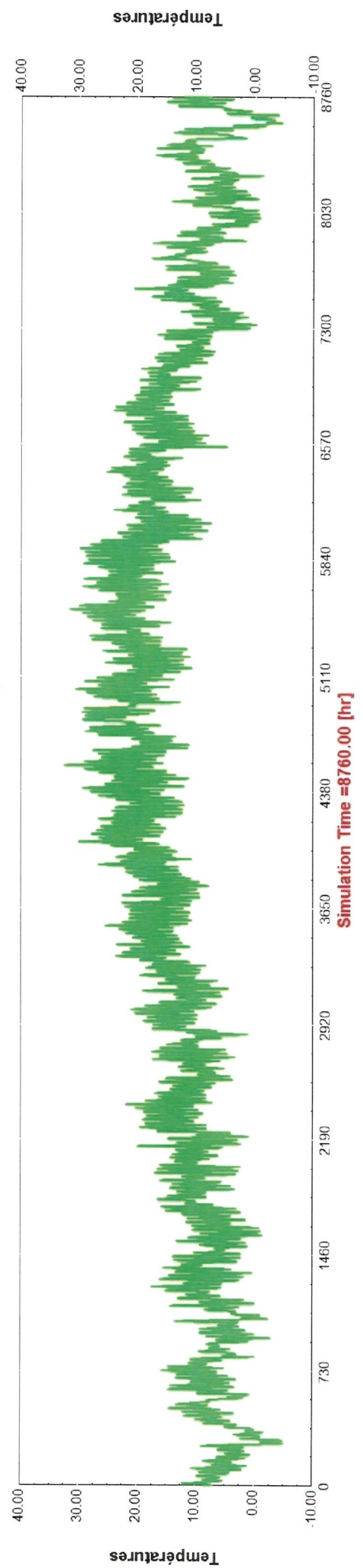
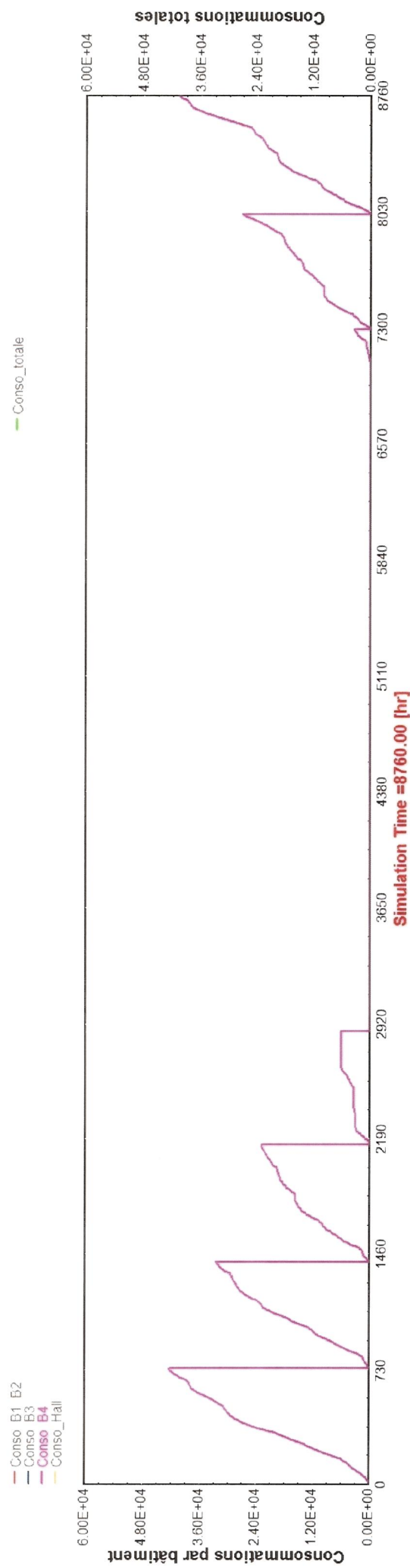
Courbes des sommes de consommations mensuelles sur une année (8760 heures)
Bâtiment 1, 2



Bâtiment 3

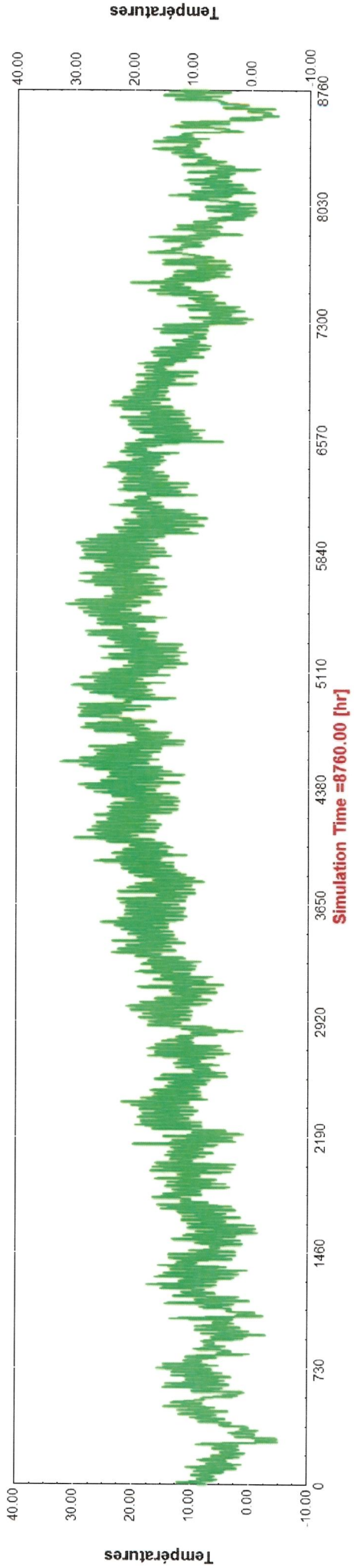
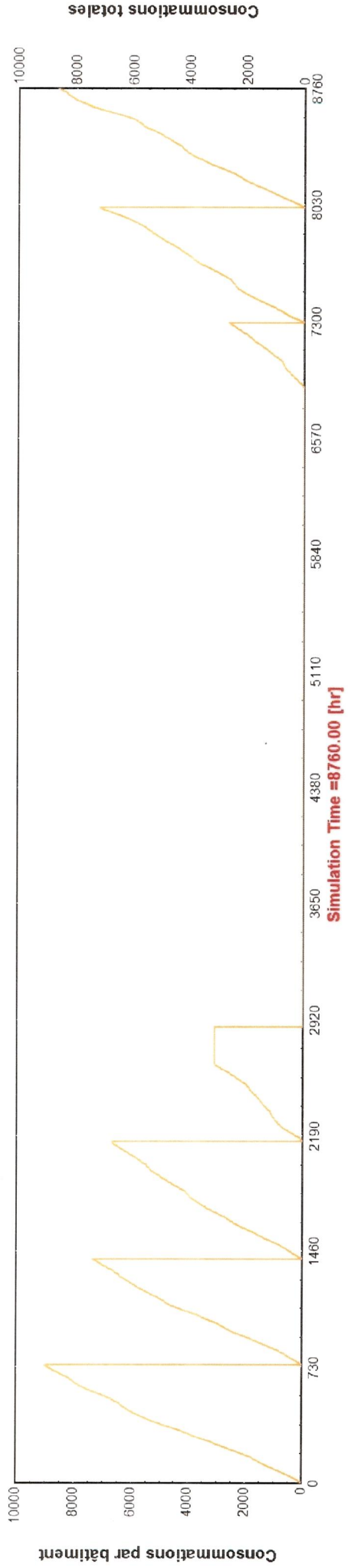


Bâtiment 4

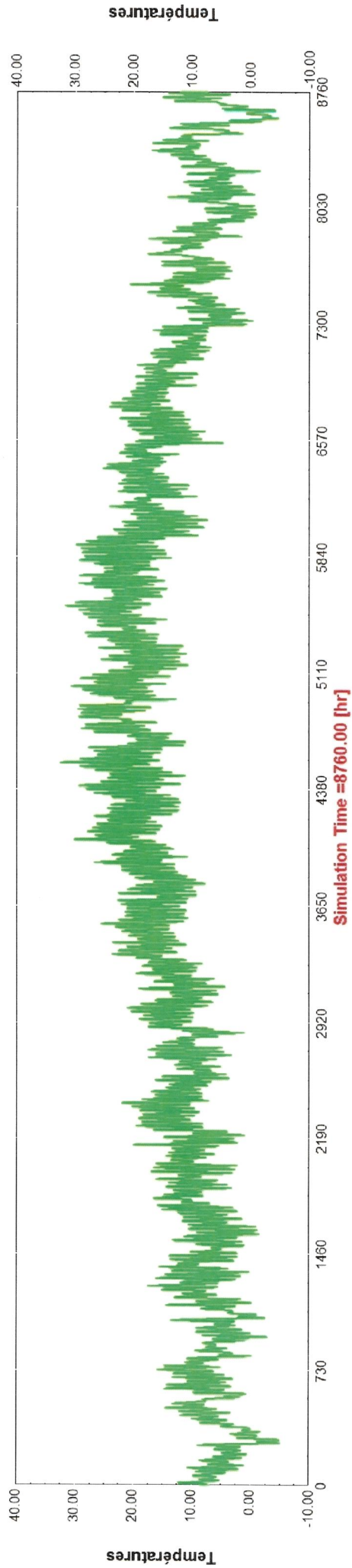
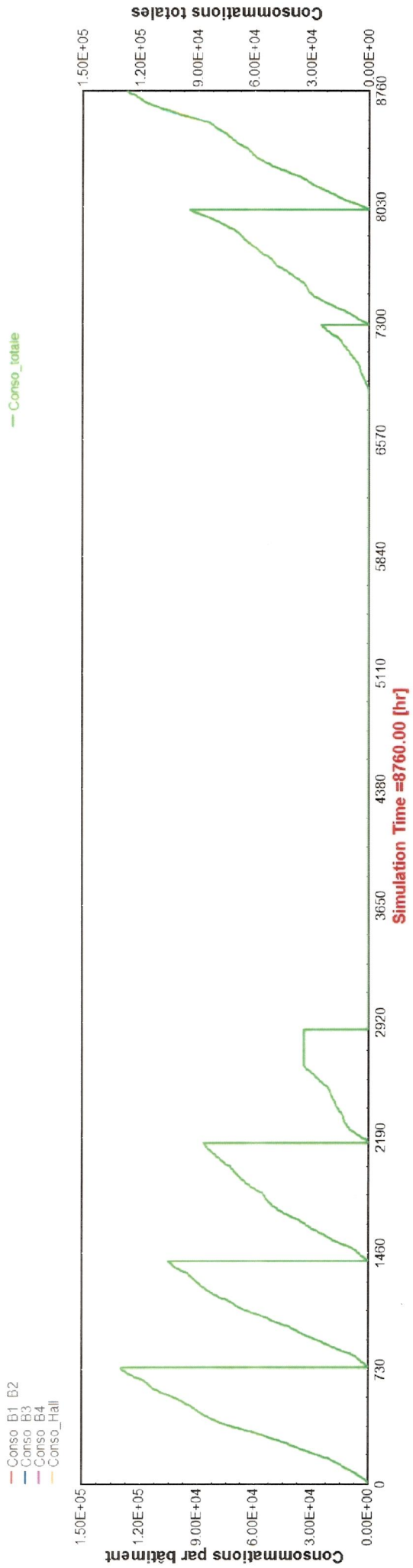


Bâtiment Hall d'accueil

- Corso B1 B2
- Corso B3
- Corso B4
- Corso Hall



Sommes mensuelles de consommations de tous les bâtiments



Le maître d’ouvrage m’a communiqué les relevés de consommation de gaz naturel et de fuel domestique :

Consommations Réelles Fournies par la Maître d'ouvrage

Relevé m3 gaz 2012	Coef conversion kWh (PCI)	Consommations kWh
23736	11,39	270 353,04
litres fuel 2015		
48004	10,647	511 098,59
Total		781 451,63

e) Résultats des calculs théoriques de consommations :

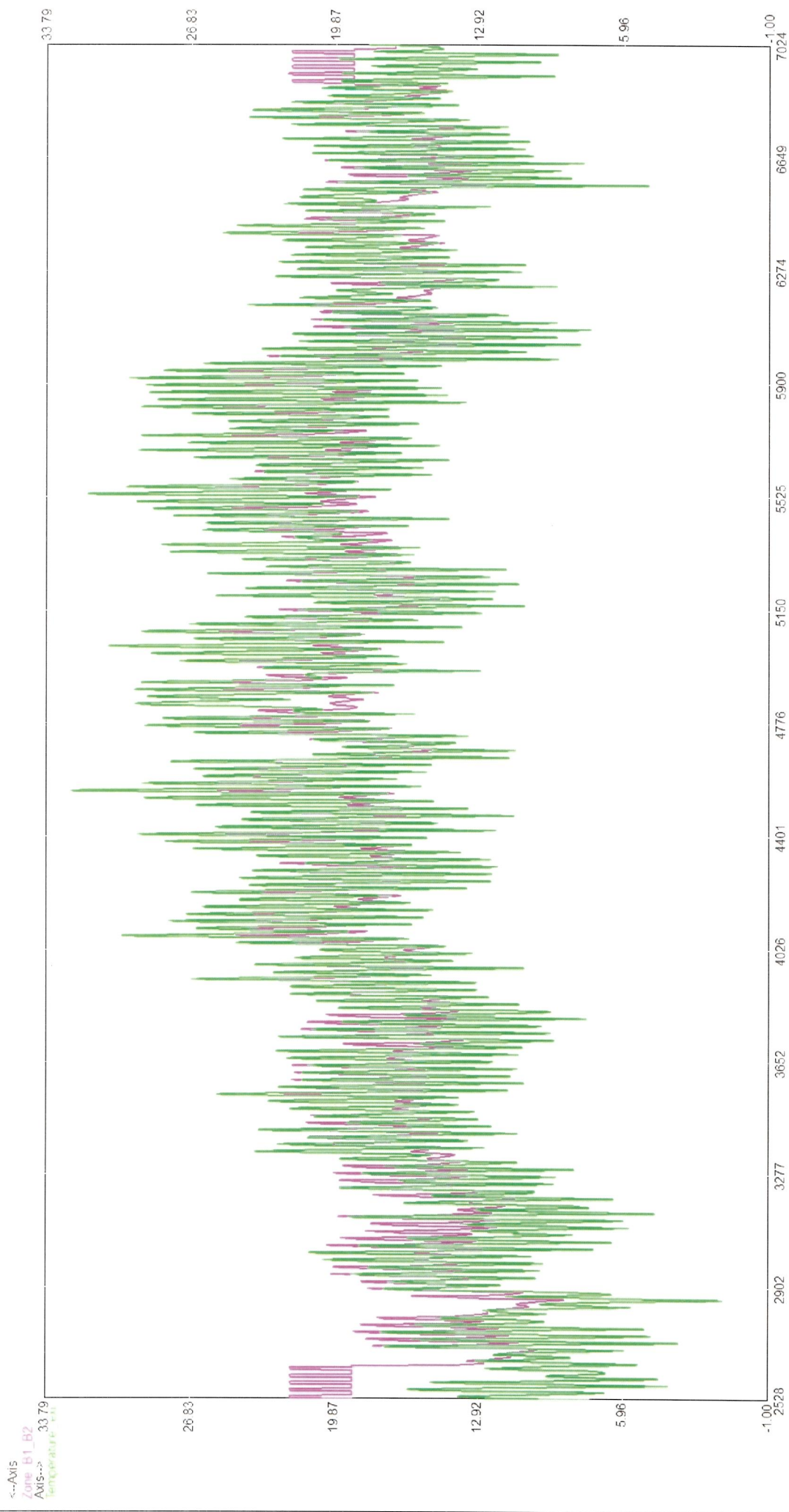
Afin que les relevés de consommation d’énergies qui intègre de fait les rendements de productions, de distributions, d’émissions et de régulations soient comparables avec les calculs théoriques j’ai pris comme hypothèses que les rendements globaux des installations fonctionnant au gaz sont de 80% et ceux de la chaufferie au fuel domestique sont de 75%. Ces valeurs sont habituellement utilisées dans la profession.

Total consommations bâtiment B1, B2, B3 brutes (kWh)	Rendement	Total consommations bâtiment B1, B2, B3, Fuel (kWh)
384682,83	0,75	512 910,44
Total Consommations brutes B4, Hall (kWh)		Total Consommations Gaz B4, Hall (kWh)
220436,40	0,8	275 545,50
605119,23		788 455,94
Total bâtiments		

Comme on peut le constater dans les tableaux ci-dessus les consommations d’énergies fuel et d’énergies gaz sont similaires aux relevés effectués par le maître d’ouvrage.

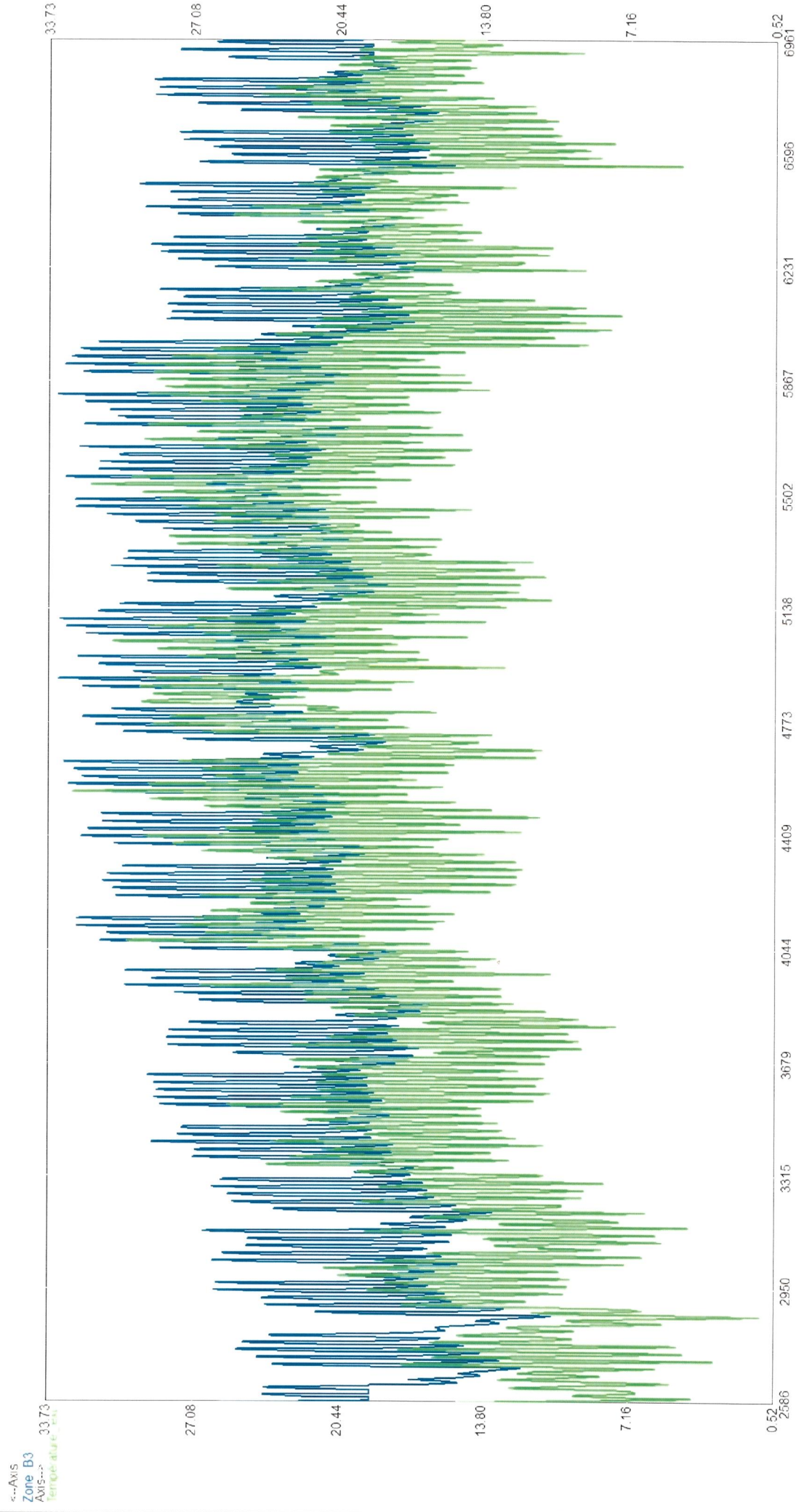
f) Analyse du comportement thermique des bâtiments

Analyse thermique des différents bâtiments en période estivale après l'arrêt du chauffage, courbes des températures intérieures et extérieures aux bâtiments :
Bâtiment 1, 2



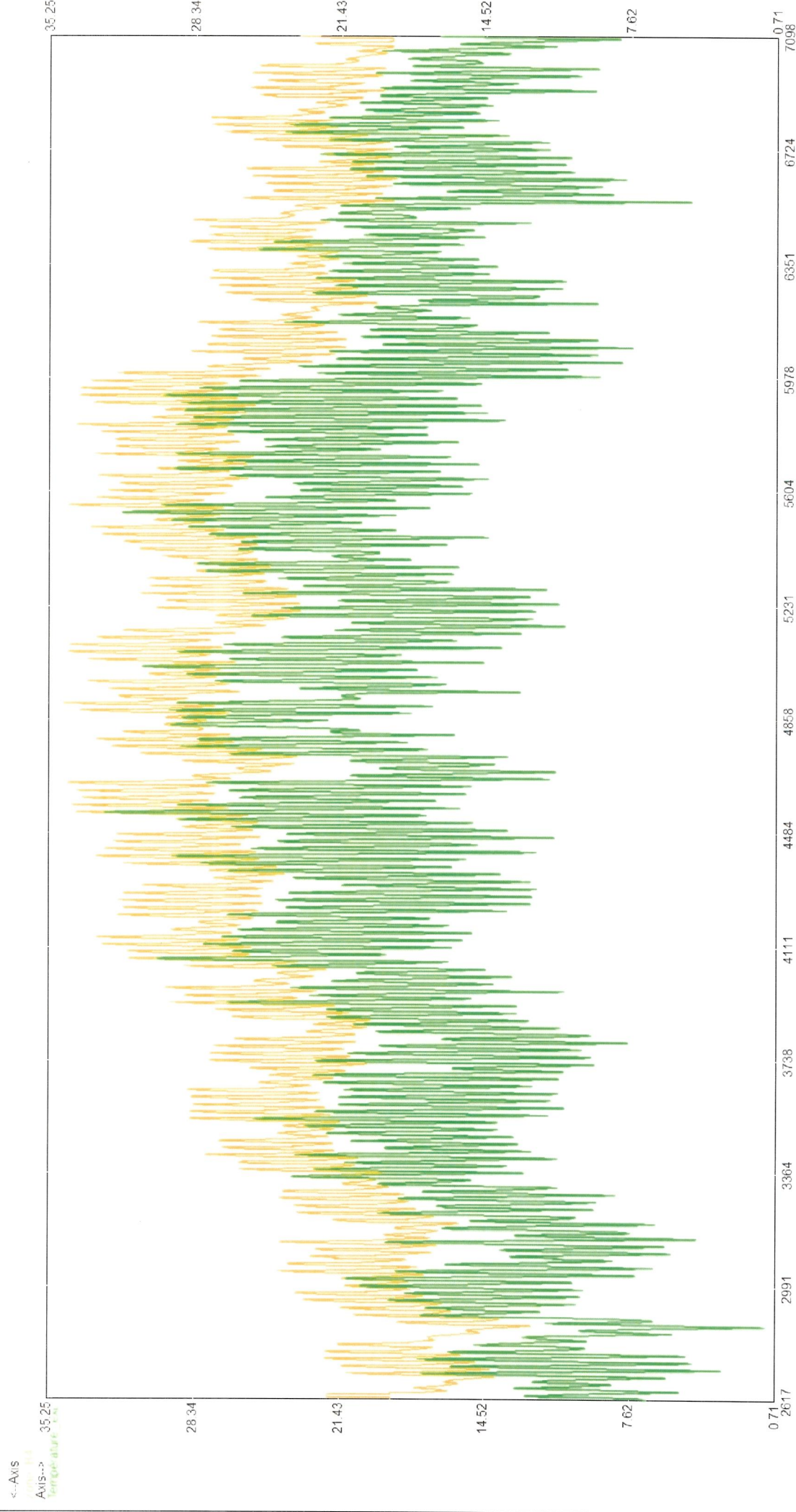
Comme nous pouvons le constater sur le graphique ci-dessus, malgré les apports par les occupants, par les éclairages et par les équipements informatiques la température intérieure varie de façon beaucoup moins importante que la température extérieure cette situation est liée au mode constructif de ces bâtiments qui leurs apporte une inertie très lourde ce qui favorise de confort d'été.

Bâtiment 3



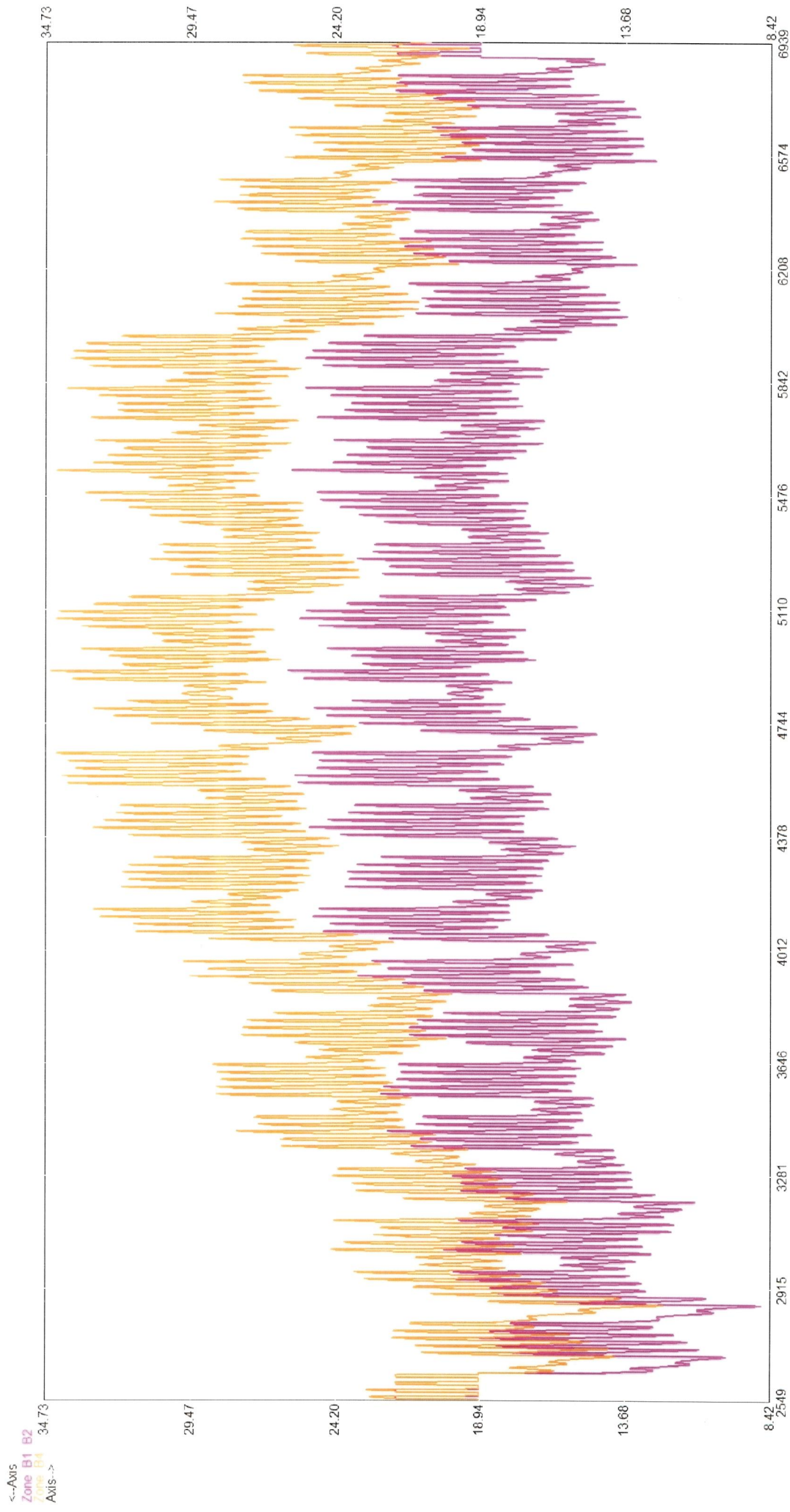
Même constatation que sur le bâtiment précédent avec une différence lié au renouvellement d'air dans les sanitaires qui introduit de l'air à température extérieure ce qui ne favorise pas le confort d'été mais apporte une meilleure qualité d'air intérieure.

Bâtiment 4



Comme nous pouvons le voir sur le graphique ci-dessus le mode constructif avec une inertie beaucoup moins importante que les bâtiments anciens construits en pierre, le renouvellement d'air et les sky-dômes simple vitrage en toiture dégrade de façon très importante le confort d'été. Sur le graphique ci-après je vais comparer les bâtiments 1 et 2 avec le bâtiment 4.

Températures intérieures des bâtiments 1, 2 et du bâtiment 4 :



Les calculs sont réalisés avec les fenêtres fermées et sur l'ensemble des bâtiments. Dans les bâtiments 1 et 2 vous devez ressentir des différences températures entre de RdC et les étages des derniers niveaux car le dernier niveau est sous combles et donc avec une inertie moins importante. Nous pouvons constater que les différences de température intérieures entre le deux bâtiments sont très importantes, elles avoisinent les 10°C de delta de température.

g) Simulation paramétrique

Lors de la simulation j'ai pris en compte dans les bâtiments 1, 2 et 3 des faux plafonds sur combles avec une isolation en laine de verre de 20 cm d'épaisseur. J'ai fait varier l'épaisseur afin de vérifier les gains possible en énergie et en puissance. Il s'avère que l'augmentation d'épaisseur de la laine de verre de 20 cm à 40 cm ne fait gagner que 2.06 % de la consommation globale des bâtiments et 1.22 % de puissance. L'investissement pour un soufflage de laine de verre dans les combles serait compris entre 29 500 et 33 000 €, alors que l'économie annuelle serait d'à peu près 1 000,00 € par ans, en prenant en compte le coût de consommation de l'année 2015, ce qui correspond à un temps de retour compris entre 29 et 33 ans.

Même si la puissance et l'énergie appelées pour le bâtiment Hall d'accueil sont démesurées rapportées au m² de surface, 162m² pour 24 kW et 45 000 kWh, le remplacement des vitrages simple vitrage par des doubles vitrages ne serait jamais amorti. Le hall d'accueil représente 1.85 % de la surface totale des bâtiments pour 7.40 % de la consommation globale et 5.42 % de la puissance. Par contre cette transformation apporterait un confort en toute saison que ce soit au niveau énergétique que thermique

Conclusion

La puissance nécessaire afin de couvrir les besoins de chauffage de tous les bâtiments est de 440 kW. A l'heure actuelle la puissance installée dans la chaufferie gaz est 348 kW c'est-à-dire qu'il suffira d'installer une chaudière d'une puissance à peu près égale à 92 kW dans la chaufferie gaz afin de couvrir les besoins. A Carcassonne la température moyenne annuelle est 13,7°C, la chaudière que nous devons installer afin de palier aux besoins énergétiques des bâtiments assurera un rendement de production bien meilleur si c'est une chaudière à condensation.

Dans notre cas 93 % des besoins en énergie sont couverts par 50 % de la puissance et la chaudière à condensation d'une puissance d'à peu près 100 kW couvre 70 % des besoins. Une chaudière à condensation actuelle possède un rendement sur PCI de 110 % alors que les chaudières de marque Guillot de type Optimagaz Série G, existantes dans la chaufferie au gaz, sont équipées d'un brûleur gaz à pré-mélange total modulant de 25 % à 100 %, bas NOx classe 5 selon la norme EN 656. Le rendement obtenu pour l'OPTIMAGAZ, est de 92 à 98 % sur PCI selon le taux de charge.

Le fait d'installer une chaudière à condensation optimise le rendement et permet de gagner de 12 à 18 % sur le rendement de production en fonction de la charge.