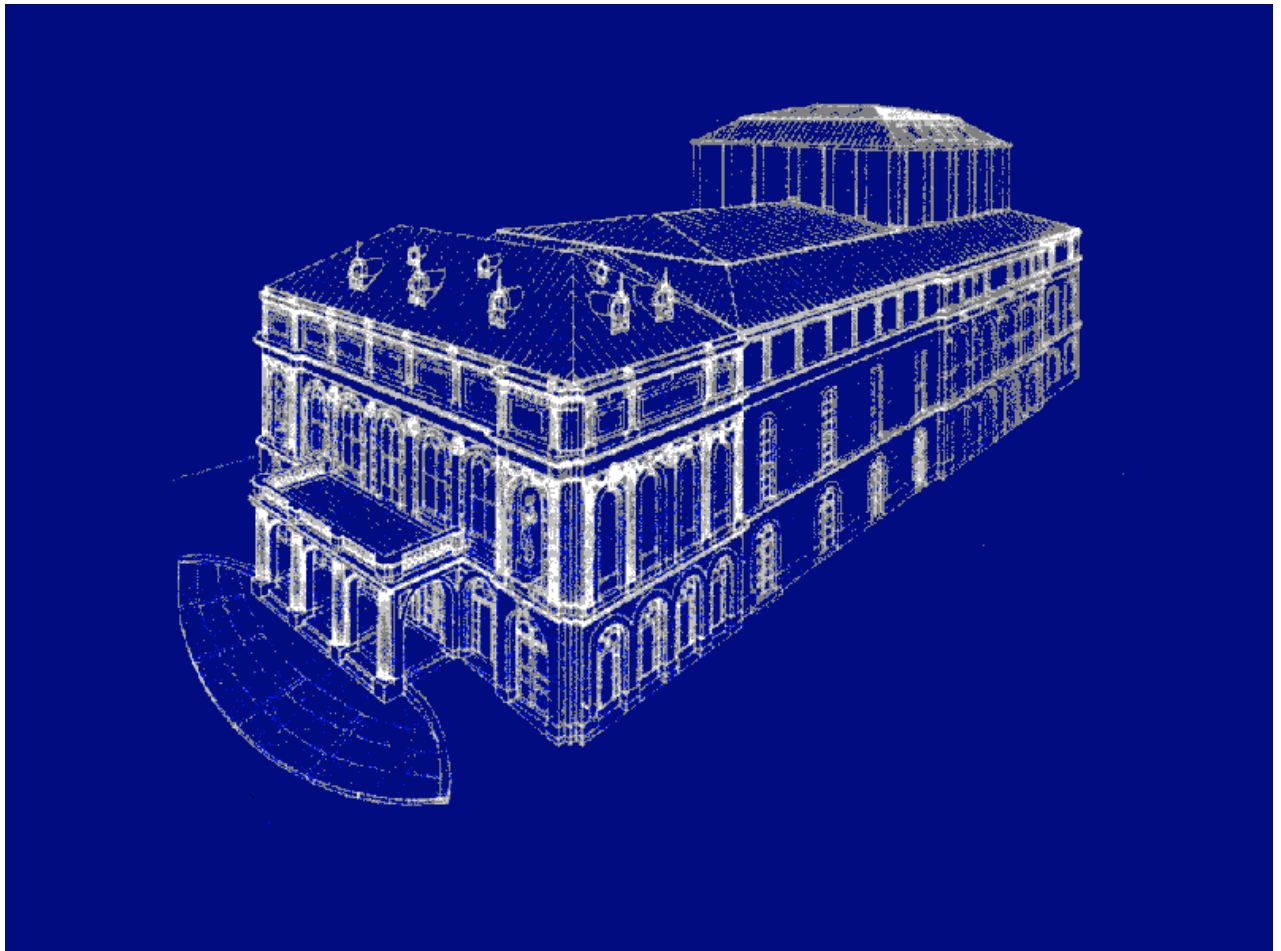


VILLE de NAMUR

Théâtre Royal



Réduction des consommations énergétiques

GOFFIN David
Avril 2013

Introduction

Le bâtiment originel du théâtre a été construit au milieu du 19^{ème} siècle.

Il a été rénové à plusieurs reprises.

La dernière rénovation profonde s'est déroulée de janvier 1995 à mars 1998.

A. Le bâtiment

Le théâtre de NAMUR abrite le Foyer, pouvant accueillir 500 personnes debout, et 3 salles de spectacles :

- La Grande Salle ayant une capacité de 900 places assises.
- L'Amphithéâtre ayant une capacité d'une centaine de places assises.
- Le Studio ayant une capacité de 110 places assises.

La largeur externe du bâtiment est : 27,5m.

La longueur externe du bâtiment est : 56m.

La hauteur sous corniche du bâtiment originel est d'environ 15m.

La hauteur sous toiture de la nouvelle cage de scène est d'environ 27m.

Le volume du bâtiment est d'environ 21.000m³.

La surface latérale du bâtiment originel totalise environ 2.500m².

La surface latérale de la cage de scène totalise environ 420m².

B. L'installation électrique

La cabine haute-tension comporte un transformateur unique de 630kVA.

C. L'installation de chauffage/ventilation (HVAC)

La production de chaleur était assurée par 2 chaudières à gaz de 440kW chacune.

Des collecteurs hydrauliques principaux en chaufferie distribuent l'eau de chauffage vers divers récepteurs :

- 4 circuits de chauffage statique par radiateurs
- 1 circuit de chauffage statique par rayonnement de sol
- 1 boucle de distribution vers les batteries des groupes de ventilation
- 1 sous-station située derrière le foyer alimentant
 - les circuits de radiateurs des salons et du foyer
 - les batteries des groupes de ventilation de cette zone
- 1 échangeur à plaque préparant l'eau chaude sanitaire

L'installation compte 14 groupes de ventilation allant du plus gros (Grande Salle) au plus petit (extracteur des sanitaires) répartis dans les locaux techniques situés sous les toitures du bâtiment.

Le tableau ci-dessous rassemble l'essentiel de leurs caractéristiques

N° ref	Ref	Zone	Pulsion (m³/h)	Extraction (m³/h)	Heures/an	P (kW)	Conso (kWh/an)	Air Neuf Min (%)	Remarque
		TOTAL	36.050	51.700		16.1	77.830	13	
1	GP1	Grande Salle de Spectacle	6.075	0	5.465	1,12	6.096	60%	T° pulsion variable
2	GE1	Grande Salle de Spectacle	0	5.700	5.465	1,05	5.719	60%	T° pulsion variable
3	GP2	Grande Salle de Spectacle	5.575	0	5.465	1,02	5.594	60%	T° pulsion variable
4	GE2	Grande Salle de Spectacle	0	5.700	5.465	1,05	5.719	60%	T° pulsion variable
5	GPE.3A	Petite Salle de Spectacle	3.100	3.100	5.465	1,14	6.221	60%	T° pulsion variable
6	GPE.3B	Petite Salle de Spectacle	3.100	3.100	5.465	1,14	6.221	60%	T° pulsion variable
7	GPE4	Foyer	11.200	11.200	5.465	4,11	22.476	60%	T° pulsion variable
8	GPE5	Salle de Répétition	4.400	4.400	5.465	1,62	8.830	100%	T° pulsion variable
9	GPE6	Régie	450	450	4.745	0,17	784	100%	T° pulsion variable
10	GPE7	Salle de rencontre/Billetterie	1.150	1.150	4.745	0,42	2.004	100%	T° pulsion fixe
11	GPE8	Vestiaire/Salle de rencontre	1.000	1.000	4.745	0,37	1.742	100%	T° pulsion fixe
12	GE9A/B	Puits de scène	0	11.500	50	2,11	106	100%	T° pulsion fixe
13	GE10	Sanitaires	0	1.950	8.760	0,36	3.136	100%	T° pulsion fixe
14	GE11	Sanitaires	0	650	8.760	0,12	1.045	100%	T° pulsion fixe
15	GE12	Sanitaires	0	300	8.760	0,06	483	100%	T° pulsion fixe
16	GE13	Local Onduleur	0	1.500	6.000	0,28	1.652	100%	T° pulsion fixe

Aucun groupe de ventilation n'est muni d'un système de récupération d'énergie sur l'air rejeté à l'extérieur.

L'installation HVAC fonctionnait sous le contrôle de 12 automates de régulation et de commande programmables (en abrégé ARCP) de la marque SATCHWELL (type IAC600), placés dans 5 tableaux électriques répartis dans le bâtiment et connectés les uns aux autres par l'intermédiaire d'un bus de communication numérique bifilaire (norme RS485).

Au départ, le CCRN (Centre Culturel Régional Namurois) assumait l'entièreté du coût de fonctionnement des installations techniques.

A partir de 2002, pour des raisons que j'ignore, le Pouvoir Politique a décidé de prendre en charge la totalité des frais de consommation du gaz et de l'électricité.

Le CCRN (Centre Culturel Régional Namurois) devait continuer à prendre en charge les frais d'entretien de toutes les installations techniques.

1. Détecter les anomalies

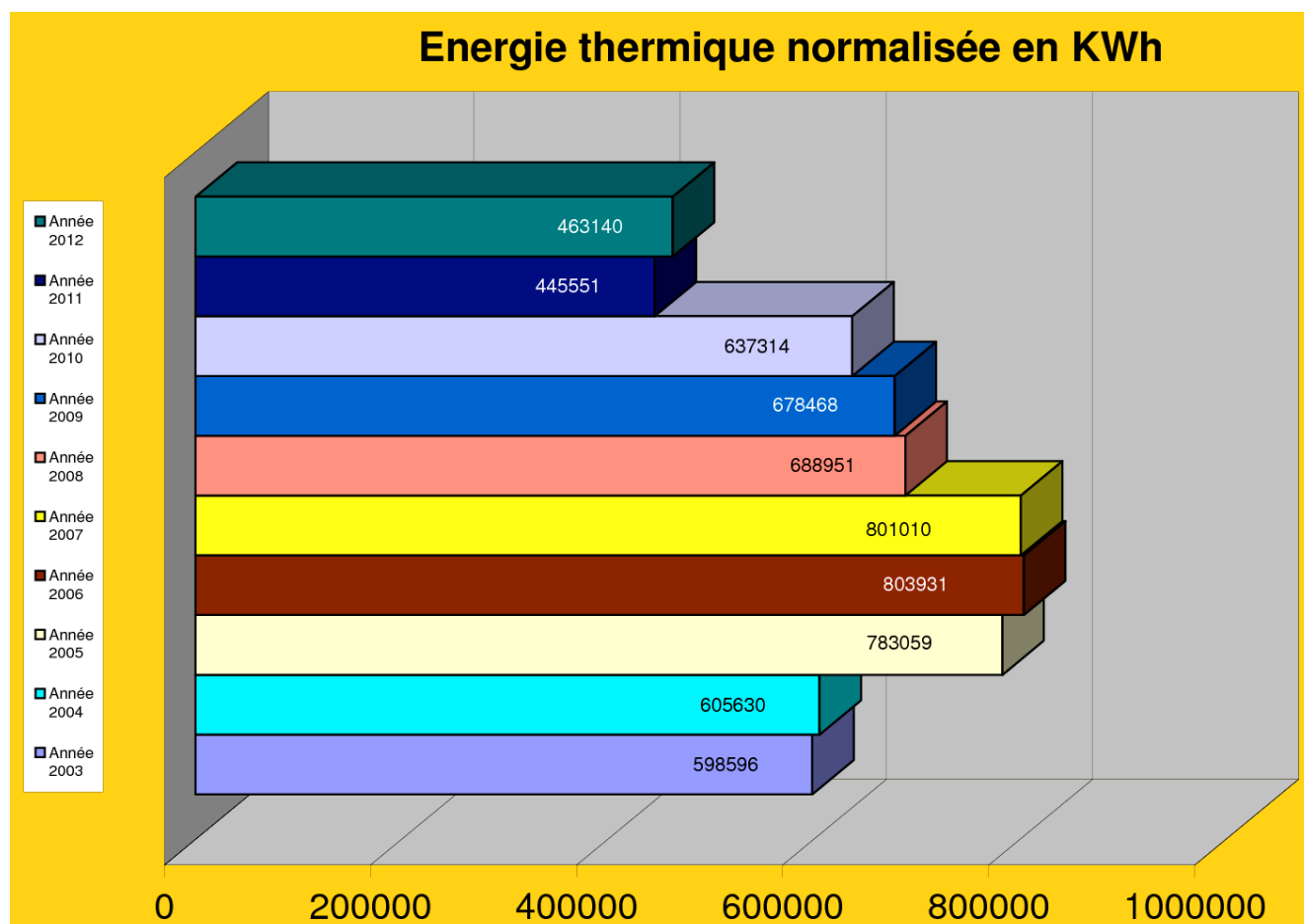
Puisque le Pouvoir politique de la Ville de NAMUR avait décidé de prendre en charge le coût des consommations énergétiques à partir de 2003, le théâtre était, de ce fait, rentré dans la comptabilité énergétique du parc des bâtiments communaux.

Le service, auquel j'appartenais, devenait donc responsable de la surveillance de l'évolution de ces consommations afin d'en signaler toute dérive au Pouvoir Politique.

Le tableau ci-dessous regroupe les consommations annuelles d'énergie thermique, depuis 2003 jusque 2012, extraites de la comptabilité énergétique des bâtiments communaux de la Ville de NAMUR.

Consommation d'énergie thermique										
Année	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
M ³ gaz	48542	47760	60314	60312	52623	53427	51524	61323	28017	36953
KWh	558231	549244	693615	693583	605169	614416	592522	705210	322190	424959
KWhN	598596	605630	783059	803931	801010	688951	678468	637314	445551	463140
EUROS	15.337,65	14.719,14	22.202,65	27.463,64	24.486,86	30.449,72	34.980,43	42.796,87	15.642,54	20.576,65

Sa transposition en graphique, représentée ci-dessous, me semble plus parlante.



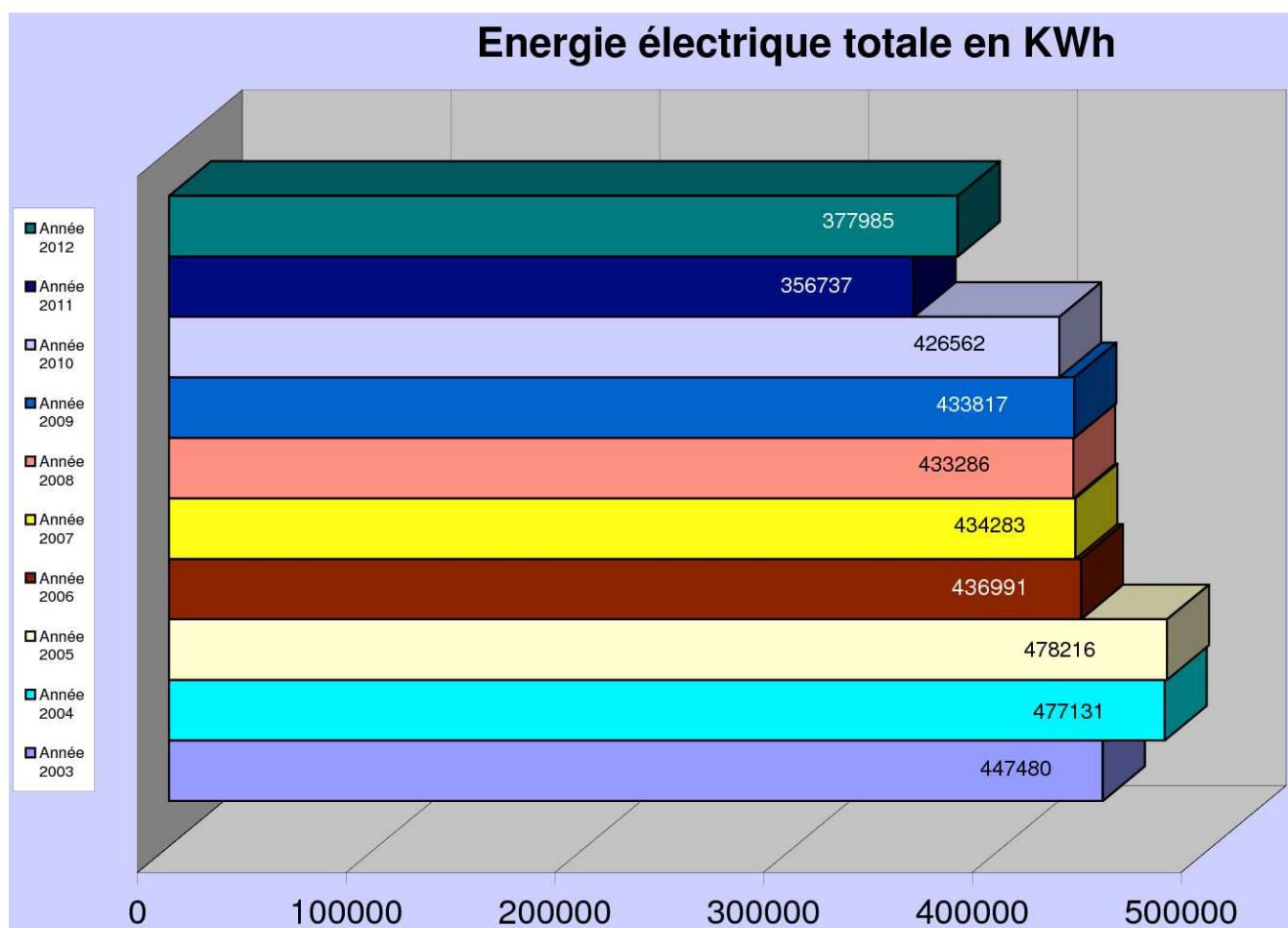
On y perçoit clairement la forte augmentation de la consommation à partir de l'année 2005 jusqu'en 2007.

A partir de 2008 s'amorce une diminution significative qui se confirmera les années suivantes comme on le verra plus loin dans la présentation.

On notera également le doublement de la facture entre 2003 et 2008.

Le tableau récapitulatif et le graphe qui suivent concernent les consommations d'énergie électrique.

Consommation d'énergie électrique										
Année	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
KW	211	197	197	175	213	169	144	201	160	149
KWh _p	246780	269653	269401	247985	244550	244541	241209	239520	207889	224315
KWh _c	200700	207478	208815	189006	189733	188745	192608	187042	148848	153670
Total KWh	447480	477131	478216	436991	434283	433286	433817	426562	356737	377985
EUROS	44.318,66	51.977,05	54.308,90	52.699,72	53.114,09	57.513,85	67.311,71	69.178,82	49.019,29	52.119,45



On peut constater que la consommation d'énergie électrique ne subit pas l'augmentation importante constatée pour l'énergie thermique entre 2003 et 2007.

Cela permet en tout cas d'avancer l'hypothèse que l'occupation du bâtiment et le nombre de spectacles n'ont pas augmenté de manière significative durant la même période.

L'augmentation de la consommation d'énergie thermique doit donc être cherchée ailleurs.

Si on calcule un indicateur de consommation appelé "consommation spécifique" c'est à dire la consommation d'énergie par m² de plancher chauffé, on obtient pour l'année 2006 :

$$C_s = 803.931\text{kWh} / 3500\text{m}^2 = 230 \text{ kWh/m}^2.\text{an}$$

Ce chiffre, qui peut paraître non exorbitant pour un bâtiment ancien, est toutefois difficile à apprécier compte tenu de l'utilisation essentielle du bâtiment aux fins de salle de spectacle. La pleine utilisation de ce genre de construction ne représente finalement que peu de temps sur une année si on la compare avec celle d'autres bâtiments publics comme des écoles ou des immeubles de bureaux. Certes, le théâtre comporte également des bureaux, mais leur surface ne représente qu'à peine 15% de la surface totale des planchers chauffés.

En réalité, il faudrait comparer cet indicateur avec celui d'autres salles de spectacle de même importance.

En tout cas, c'est surtout la croissance continue de 2003 à 2007 qui avait attiré notre attention.

2. Rechercher des informations

A ma rentrée de pause carrière (avril 2008), j'avais appris que la Région Wallonne avait accordé une promesse de subside à la Ville pour la réalisation d'un audit énergétique au théâtre. Pour bénéficier de ce subside qui représentait les 90% d'un coût maximal de 5.000 euros, il fallait toutefois que l'auditeur ait été désigné par la voie d'un marché public et que son rapport ait été rendu pour la fin du mois de septembre 2008 au plus tard.

Compte tenu de l'existence d'un contrat liant le C.C.R.N. avec une société privée pour ce qui concerne la gestion technique de l'installation de chauffage et de ventilation, il était en effet préférable de faire appel à une tierce partie pour nous informer sur les causes probables de la dérive des consommations énergétiques sans risque que cet avis soit entaché d'une quelconque forme de partialité. En pratiquant ainsi, les conclusions de l'audit seraient indiscutables.

En avril 2008, j'ai donc rédigé un cahier des charges permettant de lancer une procédure de marché de services dont l'objet était la réalisation de l'audit énergétique du théâtre.

Compte tenu des formalités administratives nécessaires, la mission d'audit n'a pu être commandée à l'adjudicataire qu'en juillet 2008.

Entretemps, j'avais entrepris de collecter moi-même déjà des informations auprès des techniciens du théâtre.

Au travers de ce qu'ils m'ont raconté, j'ai compris qu'ils avaient transféré entièrement la conduite de l'installation HVAC à la société de maintenance CEGELEC qui était liée au C.C.R. par un contrat de maintenance, conclu en 1998, dont le coût n'était pas bon marché compte tenu des prestations réalisées. Ce contrat n'incluait toutefois pas la conduite de l'installation.

En 2008, l'équipement de régulation et de commande de l'installation HVAC était toujours le même que celui qui avait été réceptionné lors de la rénovation du théâtre en 1998. Je pouvais témoigner que cette installation fonctionnait bien, à l'époque, pour l'avoir testée pendant quelques semaines.

Un poste de commande portable, constitué d'un écran et d'un clavier, existait en 1998. Cet appareil était très pratique puisqu'il permettait d'accéder à tous les paramètres de l'ensemble de l'installation quel que soit l'endroit où l'on branchait l'appareil. Celui-ci avait disparu depuis longtemps sans que personne ne puisse dire qui l'avait subtilisé.

Les auteurs de projet de la rénovation du théâtre avaient prévu des commandes locales dans les salles permettant aux utilisateurs d'enclencher la ventilation sans devoir nécessairement le faire via le poste de commande portable bien que cette possibilité y existe également et y soit fonctionnelle.

Toutes les commandes locales avaient disparu sans que personne ne puisse dire qui avait pris la décision de les supprimer.

Dès 1998, moment de la prise en charge de l'installation par la société de maintenance, j'avais été témoin du manque de volonté de cette société (qui s'appelait ABB-Services, à l'époque et qui avait été achetée, peu après, par

CEGELEC) à apprendre le maniement correct de la régulation qui n'appartenait pas à la catégorie de matériel que les membres de leur personnel avaient l'habitude de manipuler. Ceux-ci devaient sans cesse faire appel à l'entreprise EUROPELEC, installatrice du matériel, qui a son siège à Bruxelles. Celle-ci n'était pas liée par contrat avec ABB-Services et devait combler l'incompétence d'ABB-Services gratuitement selon ce qui m'avait été rapporté. Ce différend avait pris de l'ampleur à un point tel qu'ABB-Services avait proposé à la Ville de modifier l'entièreté de l'installation avec du matériel que le groupe ABB venait de mettre sur le marché. Le coût s'élevait à plus de 1.500.000 F.B. Nous étions en 2000 et la période de garantie du matériel installé par EUROPELEC venait à peine de s'achever.

Je n'avais pas relayé la proposition au Collège et j'avais eu raison puisque, quelques mois plus tard, le groupe mondial ABB (ASEA/BROWN-BOVERI) revendait sa branche « bâtiments » au groupe français CEGELEC ce qui stoppait, par la même occasion, la fabrication du produit proposé.

Selon ce que les techniciens du théâtre m'avaient dit, il semblait que le C.C.R. avait conclu un accord avec EUROPELEC afin que cette société gère à distance la surveillance du bon fonctionnement de la régulation ainsi que l'enclenchement des installations à la demande des techniciens du théâtre. Selon ceux-ci, EUROPELEC demandait 1.500€ par mois pour assurer cette mission. Le contrat avec ABB-Services était malgré tout maintenu intégralement.

En 2008, j'avais pris contact avec la société EUROPELEC afin d'obtenir leur version sur la mauvaise gestion de l'installation de régulation. Deux représentants sont même venus sur place, à ma demande, expliquer ce qui posait problème. La réponse que j'ai reçue était la suivante : «...je reçois, par téléphone, l'ordre de mettre en marche les installations pour un spectacle, mais je ne reçois pas en retour l'ordre de les mettre à l'arrêt...».

Il était donc difficile de connaître la véritable responsabilité de chacun.

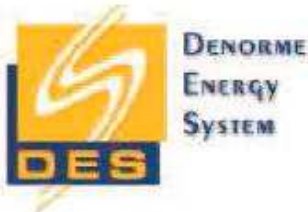
En tout cas, mon action aura au moins eu la mérite de faire naître chez tous les intervenants la conscience que la Ville de NAMUR s'inquiétait de la dérive des consommations énergétiques.

Je reste persuadé qu'il faut y voir là l'origine de la diminution significative des consommations en 2008 et 2009.

3. Confirmer et analyser les informations

Comme déjà mentionné au chapitre 2, une mission d'audit avait été confiée, par voie de marché public (procédure négociée sans publicité), à un bureau d'études privé.

La Ville n'a été en mesure de commander cette mission au bureau DES qu'en juillet 2008 alors que la Région Wallonne devait être en possession du rapport d'audit, au plus tard, fin septembre 2008 pour pouvoir libérer le subside.



Couthuin, le 16 septembre 2008

Client : Théâtre de Namur – Audit
HVAC

Denorme Energy System
rue de la Motte 6B à 4218 Couthuin
tél. : 085/71.40.71 GSM : 0475/93.26.33 Fax : 085/71.40.70
e-mail : info@denorme.be

AUDIT ENERGETIQUE

Théâtre de Namur – Audit HVAC



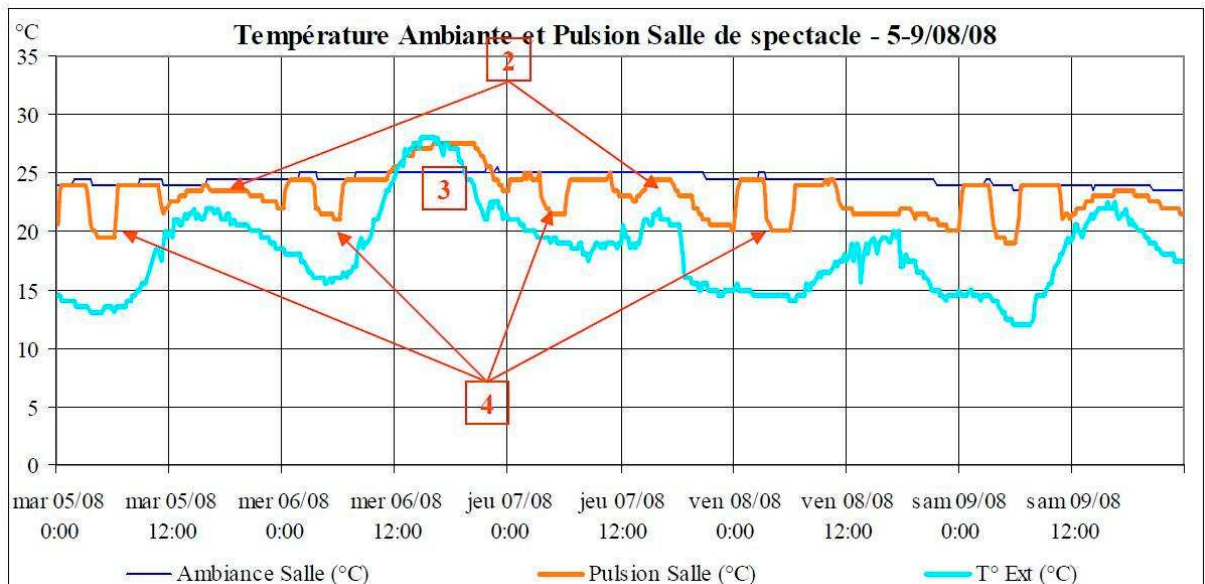
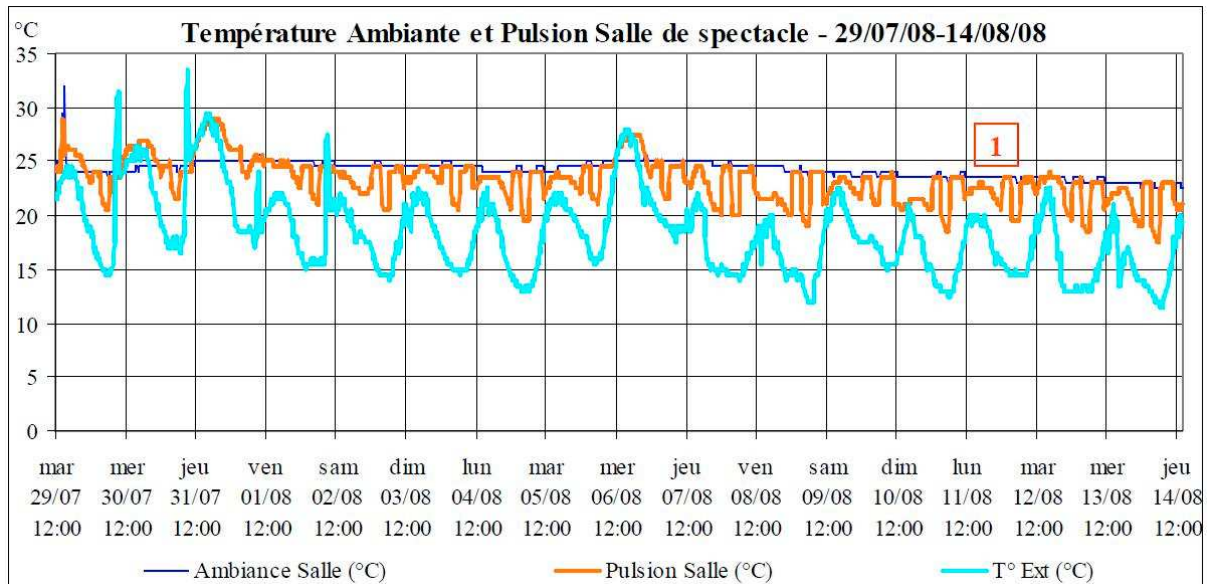
Etabli par : Grégory De Hoe
Stéphane Denorme
Véronique Denorme

Toutes les données contenues dans le présent rapport sont strictement confidentielles et, sauf accord écrit de l'autre partie, ne peuvent être révélées à des tiers que moyennant l'accord express d'une personne pouvant engager DES.

Dans le domaine technique, les mesures enregistrées sur une période de temps significative constituent les meilleures preuves matérielles permettant de vérifier des informations.

L'auditeur devait travailler vite et, de surcroît, en période estivale qui n'est guère propice à la réalisation de mesures de température concernant une installation de chauffage.

Il a néanmoins pu mettre en évidence des renseignements très intéressants.



1. La T° ambiante de la salle est très stable sur toute la période de mesures, malgré le taux de renouvellement d'air et les fortes variations de T° extérieure (de 12 à 27°C). La salle aura toutefois perdu environ 2°C sur la 2^e semaine d'août, avec une T° extérieure moyenne de 17°C.
2. L'horaire de fonctionnement du groupe est clairement visible sur le profil de la T° de pulsion (orange) : 10h30-23h30. Celui-ci suit le profil de T° extérieure avec une différence de 1 et 5°C, ce qui indique un **taux d'air neuf proche de 100% pendant la période de mesures.**

Namur_Theatre_RapportHVAC_080915/DES/GDH



Théâtre de Namur – Audit HVAC

Page n°19

Ce taux est justifié par la régulation pour refroidir le bâtiment avec l'air extérieur lorsque la T° ambiante est trop élevée.

3. Le 6 août 2008, la T° extérieure est montée jusque 27°C, et on remarque que la T° de pulsion a fait de même, car le taux d'air neuf minimum empêche de fonctionner en recirculation totale, apportant dans ce cas-ci des calories non désirées.
4. Pendant la nuit, le groupe fonctionne en free-cooling de 3h et 7h du matin, pour profiter de la fraîcheur de la nuit. Le free-cooling s'est exécuté toutes les nuits pendant la période de mesures.

Ces constats et analyses seraient trop longs à détailler ici.
Je ne vais donc que les résumer en les commentant.

a) Le bureau d'études DES a calculé les déperditions calorifiques au travers de l'enveloppe du bâtiment. Il a estimé la consommation annuelle théorique d'énergie nécessaire pour chauffer le théâtre : 340.000 kWh.

Il a également pu estimer le coefficient global d'isolation : K64. Il le considère comme relativement bon compte tenu de l'âge du bâtiment et de son faible degré d'isolation thermique. Ce coefficient n'a pas été considéré comme mauvais grâce à la bonne compacité du bâtiment (rapport volume/surface) qui atteint la valeur 3,4.

Le bureau DES soulignait le fait que la consommation annuelle a été estimée sur base des degrés.jours 15/15 qui sont loin de correspondre aux consignes de température en vigueur au théâtre (comme dans beaucoup de bâtiments publics).

b) Les besoins thermiques liés à l'occupation du bâtiment me paraissent particulièrement intéressants.

Le bureau d'études avait constaté les données suivantes :

- Les installations de chauffage/ventilation des salles de spectacles fonctionnaient automatiquement selon un horaire 10h30 à 23h30 confirmés par des enregistrements de température et de courant absorbé par les groupes de ventilation.

- La température ambiante de consigne était fixée à 22°C.
- La température minimale de pulsion était fixée à 16°C.

- Le taux minimal d'air frais était fixé à 60% pour les groupes munis d'un caisson de mélange air neuf/air recyclé. Il est évidemment de 100% pour les groupes qui ne sont pas munis de ce caisson de mélange.

J'ajouterai une caractéristique importante de l'installation de ventilation qu'il convient de signaler. Contrairement à ce que l'on peut voir sur la majorité des installations actuelles, il n'y a pas, au théâtre, de dispositif permettant de récupérer l'énergie contenue dans l'air rejeté à l'extérieur.

Le bureau d'études DES a basé son raisonnement sur la grande salle de spectacle dont la capacité théorique est de +/-1000 personnes mais dont seules 900 places sont réellement louées. Le dernier balcon est rarement utilisé car la visibilité de la scène y est approximative.

DES a calculé les besoins thermiques de la grande salle en fonction de la température extérieure (de -10 à +30°C) et du taux d'occupation (de 0 à 800 personnes).

Il a considéré que l'émission thermique moyenne d'une personne est : 50W.

Les résultats sont rassemblés dans 3 tableaux qui diffèrent par le taux d'air neuf admis. Les cases rouges y indiquent des besoins de chauffage en W et les cases bleues des besoins de refroidissement en W.

Lorsque le taux d'air neuf = 0%

									Personnes	
		0	100	200	300	400	500	600	700	800
T° ext (°C)	30	-23,3	-33,3	-43,3	-53,3	-61,3	-66,3	-71,3	-76,3	-81,3
	25	-15,0	-25,0	-35,0	-45,0	-53,0	-58,0	-63,0	-68,0	-73,0
	20	-6,7	-16,7	-26,7	-36,7	-44,7	-49,7	-54,7	-59,7	-64,7
	15	1,7	-8,3	-18,3	-28,3	-36,3	-41,3	-46,3	-51,3	-56,3
	10	10,0	0,0	-10,0	-20,0	-28,0	-33,0	-38,0	-43,0	-48,0
	5	18,3	8,3	-1,7	-11,7	-19,7	-24,7	-29,7	-34,7	-39,7
	0	26,7	16,7	6,7	-3,3	-11,3	-16,3	-21,3	-26,3	-31,3
	-5	35,0	25,0	15,0	5,0	-3,0	-8,0	-13,0	-18,0	-23,0
	-10	43,3	33,3	23,3	13,3	5,3	0,3	4,7	9,7	14,7
Perte Totale (kW/K)		1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
Perte salle (kW/K)		1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
Perte air frais (kW/K)		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
T° pulsion		20,7	19,4	18,1	16,8	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0
Charge totale		5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0
Charge Eclairage		5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Charge Personnes		0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0

L'intérêt de minimiser l'air neuf est clairement visible pour les périodes hors représentation : la charge thermique nécessaire est réduite de 60 à 95% (selon la T° ext) : charge de 1,7 à 43,3 kW, contre 17,8 à 116,9. Pour les spectacles, la ventilation avec air neuf est essentielle pour apporter les frigories nécessaires.

Lorsque le taux d'air neuf = 100%

Pour un taux d'air neuf de 100% :

T° ext (°C)	Personnes								
	0	100	200	300	400	500	600	700	800
30	-54,0	-64,0	-74,0	-84,0	-92,0	-97,0	-102,0	-107,0	-112,0
25	-26,5	-36,5	-46,5	-56,5	-64,5	-69,5	-74,5	-79,5	-84,5
20	1,0	-9,0	-19,0	-29,0	-37,0	-42,0	-47,0	-52,0	-57,0
15	28,5	18,5	8,5	-1,5	-9,5	-14,5	-19,5	-24,5	-29,5
10	56,0	46,0	36,0	26,0	18,0	13,0	8,0	3,0	-2,0
5	83,5	73,5	63,5	53,5	45,5	40,5	35,5	30,5	25,5
0	111,0	101,0	91,0	81,0	73,0	68,0	63,0	58,0	53,0
-5	138,5	128,5	118,5	108,5	100,5	95,5	90,5	85,5	80,5
-10	166,0	156,0	146,0	136,0	128,0	123,0	118,0	113,0	108,0
Perte Totale (kW/K)	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
Perte salle (kW/K)	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
Perte air frais (kW/K)	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8
T° pulsion	20,7	19,4	18,1	16,8	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0
Charge totale	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0
Charge Eclairage	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Charge Personnes	0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0

Un taux d'air neuf maximum n'est par contre pas spécialement intéressant au point de vue énergétique lorsque la salle est remplie, car la T° minimale de pulsion demandée (16°C) implique de chauffer l'air pulsé lorsque la T° extérieure est trop fraîche.

Lorsque le taux d'air neuf = 60%

T° ext (°C)	Personnes								
	0	100	200	300	400	500	600	700	800
30	-41,7	-51,7	-61,7	-71,7	-79,7	-84,7	-89,7	-94,7	-99,7
25	-21,9	-31,9	-41,9	-51,9	-59,9	-64,9	-69,9	-74,9	-79,9
20	-2,1	-12,1	-22,1	-32,1	-40,1	-45,1	-50,1	-55,1	-60,1
15	17,8	7,8	-2,2	-12,2	-20,2	-25,2	-30,2	-35,2	-40,2
10	37,6	27,6	17,6	7,6	-0,4	-5,4	-10,4	-15,4	-20,4
5	57,4	47,4	37,4	27,4	19,4	14,4	9,4	4,4	-0,6
0	77,3	67,3	57,3	47,3	39,3	34,3	29,3	24,3	19,3
-5	97,1	87,1	77,1	67,1	59,1	54,1	49,1	44,1	39,1
-10	116,9	106,9	96,9	86,9	78,9	73,9	68,9	63,9	58,9
Perte Totale (kW/K)	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Perte salle (kW/K)	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
Perte air frais (kW/K)	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
T° pulsion	20,7	19,4	18,1	16,8	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0
Charge totale	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0
Charge Eclairage	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Charge Personnes	0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0

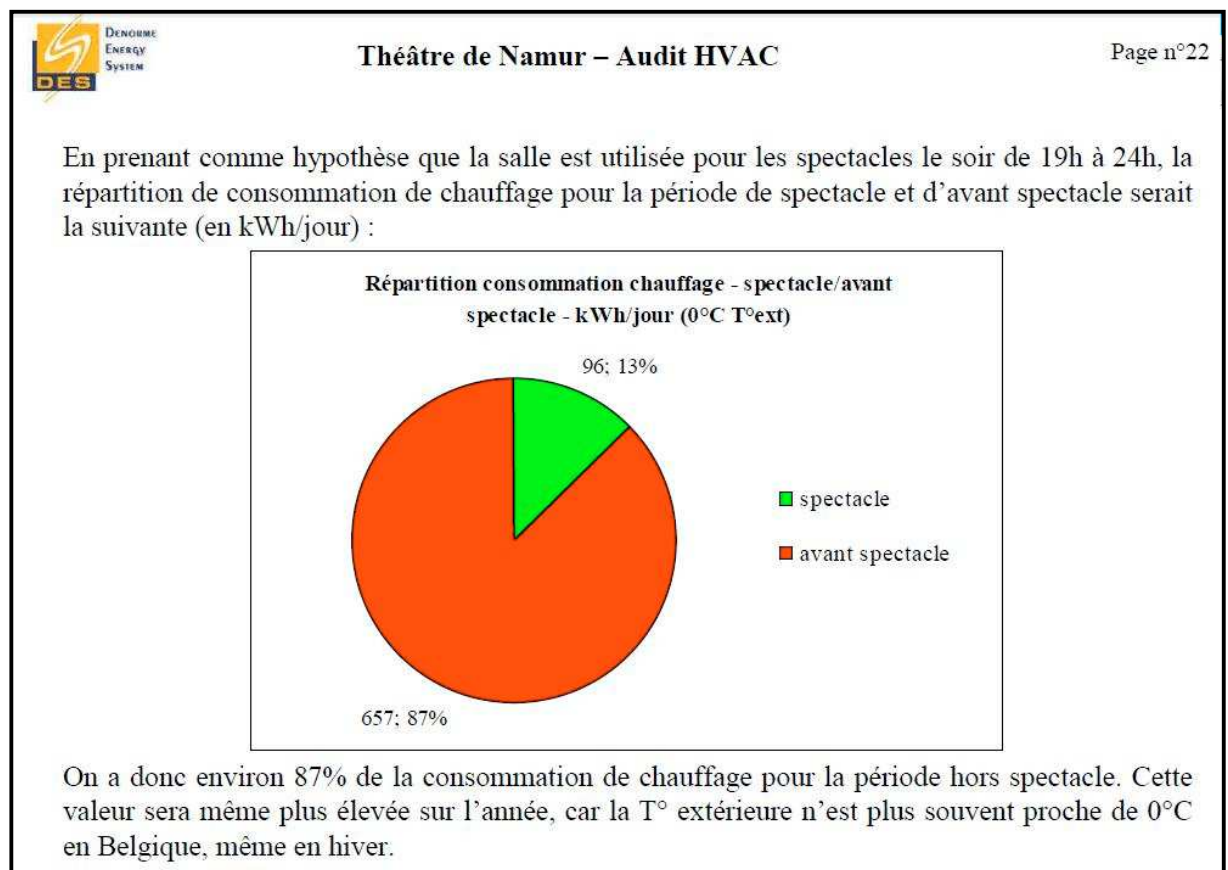
Observations :

1. Lorsque la salle est remplie, il faut que la T° extérieure soit inférieure à 5°C pour qu'il y ait une demande de chaleur. En pratique donc, il n'y a donc très rarement besoin de chauffage additionnel lorsque la salle est pleinement utilisée.
2. Par contre, lorsque la salle est vide, il y a un besoin de chauffage jusqu'à une T° extérieure de 15°C environ, besoin principalement dû au taux d'air neuf important. On remarque donc que l'essentiel de la consommation de chauffage est dû aux périodes d'inoccupation² de la salle.

Ces 2 derniers tableaux indiquent à quel point la ventilation devrait être nécessaire pour refroidir la grande salle. L'air neuf devrait permettre d'évacuer la charge thermique interne mais cela implique qu'il faudrait alors imposer une consigne de température minimale de pulsion très basse (très inférieure à 16°C). Or, l'expérience

nous a appris qu'une température de pulsion de 16°C n'était déjà pas tolérée par beaucoup de spectateurs. Au parterre, les bouches de pulsion sont situées sous les sièges et l'air est soufflé directement dans les jambes des spectateurs. Il aurait été préférable d'inverser le sens de circulation de l'air ventilé : pulser via le plafond de la grande salle et reprendre via le parterre et les balcons. La présence de la toile marouflée au plafond de la grande salle a probablement empêché les auteurs de projet d'adopter ce mode de ventilation.

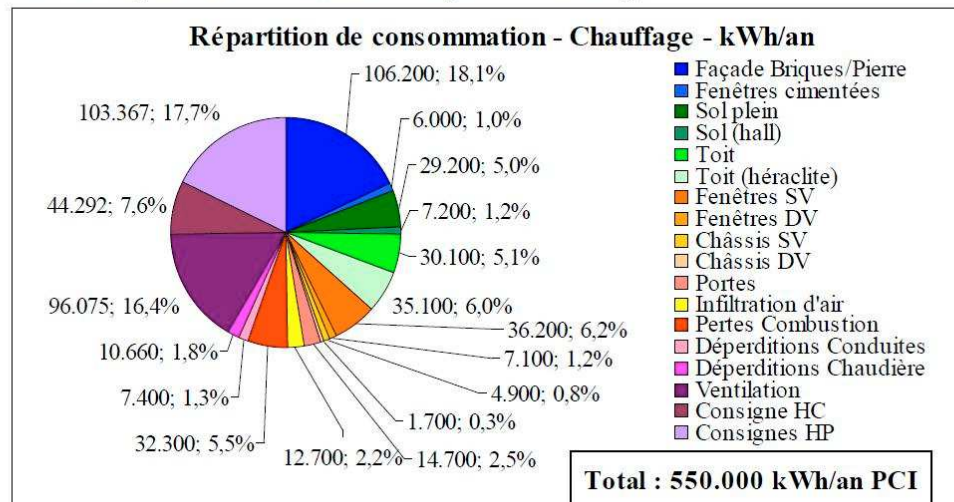
En ce qui concerne l'influence néfaste d'une utilisation inadéquate de la ventilation sur la consommation énergétique, la conclusion qui me paraît essentielle est bien résumée dans le graphique ci-dessous avec le commentaire qui l'accompagne. On y trouve la répartition estimée de la consommation d'énergie thermique quotidienne pour la Grande Salle lorsque la température extérieure est égale à 0°C. L'apport d'air neuf est fixé à 60% (consigne en vigueur lors de la visite du bureau DES).



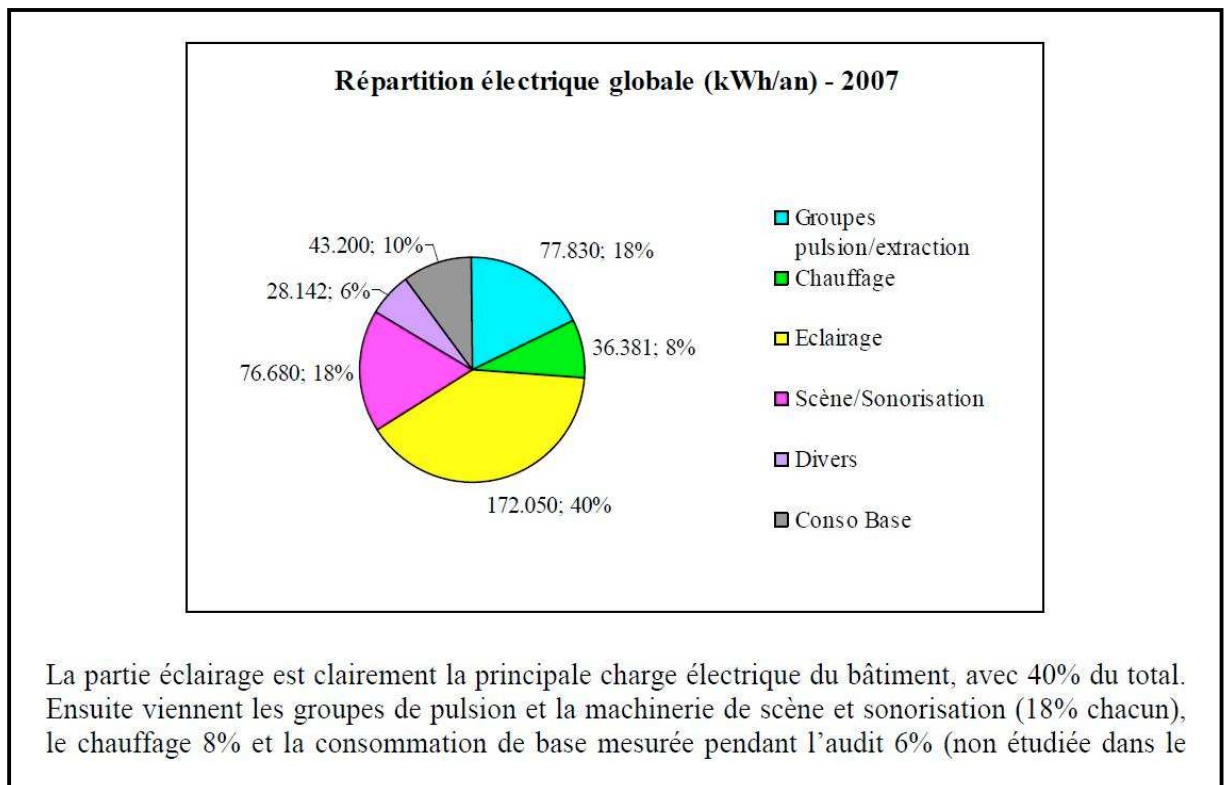
c) La consommation de gaz est finalement chiffrée et répartie par DES dans le graphique ci-dessous :

4.6.1 Répartition de la consommation de gaz

Sur base des calculs et observations précédentes, nous pouvons estimer la répartition de consommation de gaz facturée annuellement pour le chauffage :



d) Le bureau DES s'est également intéressé à la consommation électrique. Il estime sa répartition dans le graphique ci-dessous :



On peut y déceler une part non négligeable liée aux installations de chauffage/ventilation : environ 24% de la facture totale d'électricité.

4. Définir des objectifs

Mon attention apportée à la dérive des consommations énergétiques du théâtre m'avait amené tout naturellement à vouloir atteindre deux objectifs :

a) améliorer l'installation de régulation en agissant sur 3 facteurs :
en période d'occupation

1. réduire au strict nécessaire les plages horaires de fonctionnement nécessitant un confort thermique normal.
2. veiller à ce que la ventilation ne puise de l'air neuf extérieur que proportionnellement à la présence humaine.

en période d'inoccupation

3. favoriser automatiquement les périodes d'arrêt total des installations de production et de consommation d'énergie tout en préservant une température minimale d'ambiance garantissant la protection des biens intérieurs.

b) améliorer le mode de commande de l'installation afin d'en rendre son utilisation plus conviviale et sa mise à l'état de veille plus indépendante de l'intervention du personnel ou des utilisateurs du théâtre.

La possibilité de réduction de la consommation d'énergie était estimée dans la conclusion du rapport d'audit :

Energie thermique : --41.000m³ de gaz soit --475.000 kWh

Energie électrique : --68.000 kWh

Même si l'estimation de la réduction d'énergie thermique me paraissait beaucoup trop optimiste (une baisse de 70% par rapport à la consommation de 2006), je pensais que la moitié de cette estimation de réduction serait déjà un bel objectif à atteindre.

On pouvait donc fixer de manière plus réaliste les objectifs suivants :

Energie thermique : --20.000m³ de gaz soit --230.000 kWh

Energie électrique : --50.000 kWh

La réduction trop ambitieuse, que l'audit entrevoyait, devait être attribuée, selon moi, au fait que le bureau d'études, par manque de temps, avait extrapolé ses projections d'économie, basées sur l'installation de ventilation de la grande salle, à l'ensemble des installations de ventilation du théâtre.

5. Rechercher des solutions et évaluer les moyens nécessaires

La rapport d'audit fournissait des pistes de modification de l'installation pouvant conduire aux économies d'énergie escomptées.

Ces pistes sont toutes présentées ci-dessous avec chaque fois mon commentaire personnel.

a) Isolation d'une chaudière

Cette proposition de modification consistait à couper manuellement le fonctionnement d'une des 2 chaudières et à en isoler manuellement le circuit hydraulique.

Elle était motivée par le surdimensionnement excessif de la puissance des chaudières : 2 x 440kW pour des besoins estimés à 350kW dans les pires conditions qui ne se rencontrent jamais.

Estimation de l'économie : 5.500kWh/an

Estimation de l'économie d'électricité : 2.600kWh/an

Coût de l'investissement : 0,00 euros

Commentaire personnel

Le surdimensionnement et le dédoublement des chaudières est très fréquent dans les bâtiments publics (la peur de la panne totale peut-être).

En général, le cahier des charges impose que les chaudières doivent travailler en cascade.

Si la programmation des automates de commande était correctement pensée, la 2^{ème} chaudière de la cascade ne devrait s'enclencher automatiquement que si la puissance de la 1^{ère} ne suffit pas. Ceci est facile à déterminer en mesurant en permanence la différence entre la température de consigne de l'eau à fournir aux collecteurs et la température de retour des chaudières. Or, cette manière de procéder n'est pratiquement jamais appliquée.

Les automates, existant en 1998, auraient pu réaliser facilement cette fonction et la présence de vannes d'isolement à commande électrique (une sur chaque chaudière) devait rendre cette cascade tout à fait efficace. Une de ces vannes motorisées est visible sur la photo ci-dessous.



Or, jusqu'en 2010, les 2 chaudières travaillaient simultanément en permanence.

Les chaudières ne fonctionnaient donc pas en cascade.

b) Arrêt de la chaufferie en été

Cette proposition de modification consistait à couper manuellement les chaudières dès la fin de l'hiver (avril-mai) et à remettre en service une chaudière en octobre.

Pour maintenir la production d'eau chaude sanitaire, DES proposait le placement d'un chauffe-eau électrique d'une capacité non déterminée (200, 300, 400 litres, voire plus).

Estimation de l'économie de gaz : 9.800kWh/an

Estimation de l'économie d'électricité : 8.000kWh/an

Coût de l'investissement : 1050 euros

Commentaire personnel

Je n'avais pas compris pourquoi DES proposait cette modification car elle existait déjà depuis l'année 2001.

Une commande manuelle permettait de mettre en service un chauffe-eau électrique (300 litres) et de faire basculer, par vanne à 3 voies électrique, le circuit hydraulique de distribution (et son réservoir tampon de 500 litres) de l'échangeur à plaques, alimenté par les chaudières, vers le chauffe-eau électrique.

Cet équipement est visible sur la photo ci-dessous.



La seule amélioration apportée par le nouveau système de régulation réside dans l'automatisation de la commutation qui ne nécessite plus d'intervention manuelle. Le chauffe eau électrique est enclenché et déclenché de manière entièrement automatique à partir de la mesure de la température extérieure.


Une page des paramètres de fonctionnement, visible sur la capture d'écran ci-dessous, comporte la valeur de la température extérieure à partir de laquelle le régime d'été est automatiquement enclenché.



La valeur adoptée signifie que dès que la température extérieure devient supérieure à 22°C, le régime d'été est enclenché. Ce régime détermine, entre autres, le mode de fonctionnement de la préparation d'eau chaude sanitaire décrit ci-dessus.

c) Nouvelle régulation HVAC

Ci-dessous un extrait du rapport d'audit concernant cette piste



6.3.2 Solution proposée

Plutôt que de proposer différentes pistes indépendantes pour optimiser la gestion du chauffage et de l'air neuf, nous avons tout rassemblé dans une piste plus globale, car les différents postes d'amélioration sont fortement liés les uns aux autres.

L'idée principale est donc d'installer une nouvelle régulation pour les principaux groupes de pulsion/extraction. Les idées principales de régulation sont présentées ci-dessous.

Les diverses améliorations, qui devaient être intégrées dans le nouveau système de régulation, peuvent être résumées comme suit :

- Suppression du taux minimal d'air neuf pour les groupes de ventilation équipés d'un caisson de mélange
- Consigne de température ambiante variable en fonction du taux de CO2 pour tenir compte de la présence d'occupants
- Taux d'air neuf variable en fonction du taux de CO2, de l'humidité et de la température ambiante
- Fonctionnement des groupes de ventilation uniquement lorsque le taux de CO2 est supérieur à un seuil déterminé et que la température ambiante n'est pas atteinte.
- Fonctionnement des circulateurs (circuits et boucles principales) uniquement lorsqu'il y a nécessité de chauffer

Estimation de l'économie de gaz : 450.000kWh/an

Estimation de l'économie d'électricité : 56.000kWh/an

Coût de l'investissement : 80.000 euros

Commentaire personnel

Le placement de sondes de CO2 m'avait paru être l'amélioration majeure permettant de réduire considérablement la consommation d'énergie liée à la ventilation. Cependant, augmenter la température ambiante de consigne uniquement lorsque le taux de CO2 devient supérieur à 650ppm signifie que la température ambiante sera "fraîche" lorsque les occupants entreront dans le local. Cela me paraissait donc peu réaliste comme mesure.

La 4ième amélioration me paraissait également peu réaliste puisque, du moins en ce qui concerne les groupes des salles de spectacle, la ventilation doit servir également à rafraîchir les locaux.

D'autre part, je ne comprenais pourquoi il était nécessaire de remplacer l'ensemble des 12 automates programmables chargés de la régulation.

Ils disposaient tous d'entrées analogiques de réserve permettant de recevoir le signal des multiples sondes de CO2 supplémentaires.

Seule une reprogrammation des automates était nécessaire pour mieux prendre en compte l'ensemble des paramètres de l'installation HVAC afin d'optimiser :

- la production et l'utilisation de l'énergie thermique consommée par les éléments dissipateurs (batteries des groupes de ventilation, chauffage par radiateurs et par sol chauffant)
- l'énergie électrique consommée par les moteurs des groupes de ventilation et des pompes de circulation.

En 1998, le matériel de régulation originel, de marque SATCHWELL, était en avance sur ce que beaucoup de ses concurrents fabriquaient (notamment LANDIS & GYR ou STAEFFA rachetés tous deux par SIEMENS). Et pourtant, il était beaucoup moins onéreux que celui des concurrents. C'est la raison pour laquelle, l'entreprise avait opté pour cette marque qui était parfaitement conforme au cahier des charges.

En 2008, ce matériel n'était pas du tout démodé par rapport aux produits qui étaient et qui sont fabriqués actuellement par toutes les marques. Ces appareils se caractérisent surtout par une mise en réseau, sur bus de connexion numérique, de l'ensemble des unités de régulation et de commande.

d) **Gestion Technique Centralisée (GTC)**

Le bureau DES préconisait l'installation d'une GTC afin de faciliter le travail du responsable technique du théâtre dans la gestion et le contrôle de l'installation de régulation.

Pas d'économie d'énergie complémentaire

Investissement complémentaire : 15.000 euros.

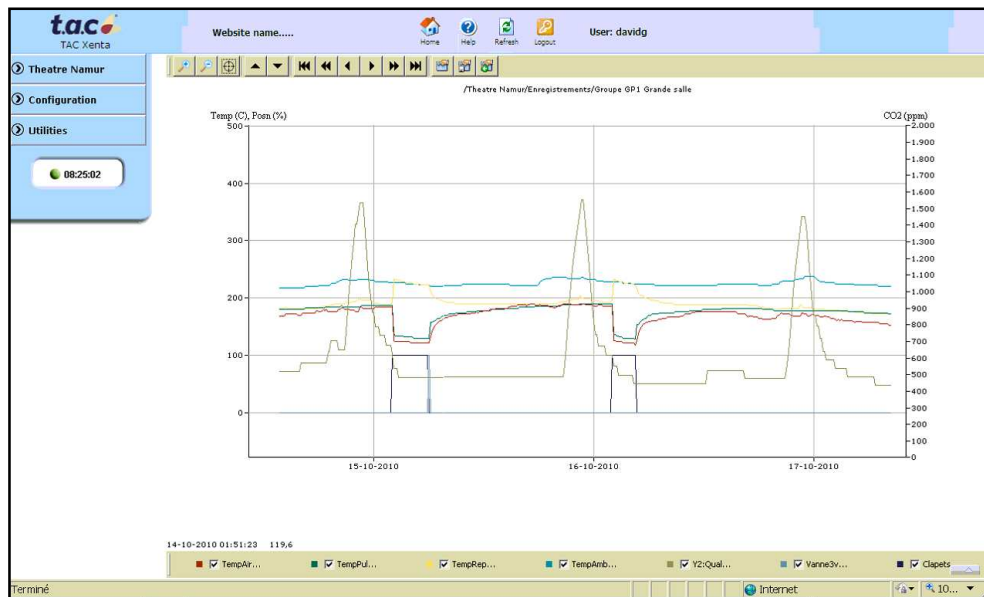
Commentaire personnel

L'installation originelle de 1998 comportait déjà cette gestion centralisée.

Si l'installateur pouvait contrôler, depuis Bruxelles, la totalité des automates répartis dans l'installation, il était évidemment possible de le faire depuis le bureau des techniciens du théâtre moyennant le rétablissement de l'appareillage ad-hoc originel qui avait disparu.

Tous les logiciels de GTC offrent divers outils facilitant la gestion des installations. Ci-dessous, je passe en revue quelques fonctions complémentaires disponibles au théâtre.

- Pour chacun des circuits, l'évolution de la valeur analogique des entrées et des sorties sont enregistrées sur des périodes de temps programmables. Ceci facilite la recherche des anomalies. La capture d'écran ci-dessous montre un enregistrement concernant la grande salle.



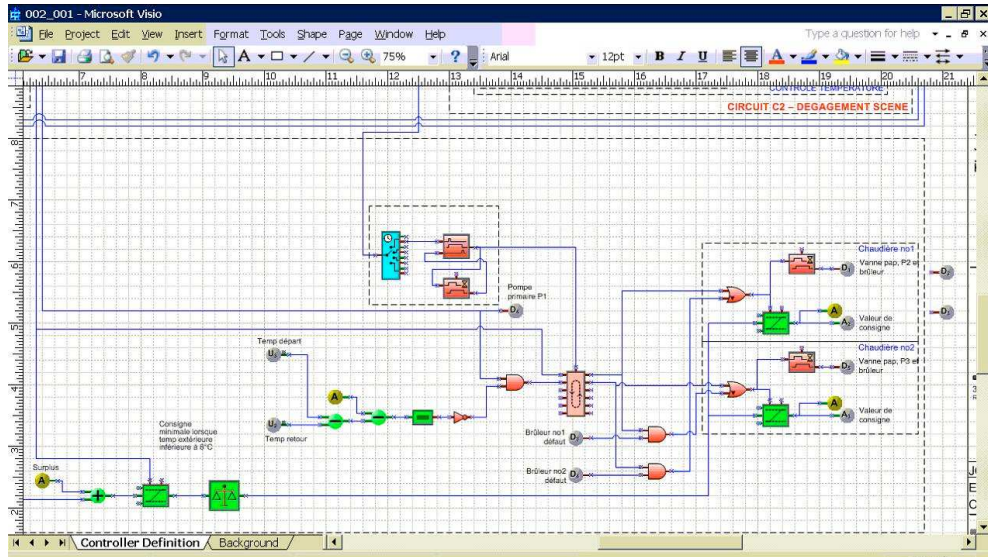
- Les divers évènements survenus au cours du temps sont systématiquement enregistrés. La capture d'écran ci-dessous illustre une partie de ce fichier récent.

The screenshot displays the Schneider Electric monitoring interface for 'Theatre Royal Namur'. The main window shows a table titled '/Theatre Namur/Anonces' with columns for Status, Co..., Priority, Date and Time, Address, User, and Alarm Text. The table contains several rows of event data, all with a status of 'OK' (green checkmark).

Status	Co...	Priority	Date and Time	Address	User	Alarm Text
OK	...	1	0 2013-09-06 11:16:59	Theatre Namur.Liste Evéne...		Pompe P24 Marche
OK	...	1	0 2013-09-06 11:16:59	Theatre Namur.Liste Evéne...		Pompe P24 cmde Marche
OK	...	1	0 2013-09-06 10:59:59	Theatre Namur.Liste Evéne...		GE36 Ventilateur Marche
OK	...	1	0 2013-09-06 10:59:59	Theatre Namur.Liste Evéne...		GP36 Ventilateur cmde Marche
OK	...	1	0 2013-09-06 10:59:59	Theatre Namur.Liste Evéne...		GP36 Ventilateur Marche
OK	...	1	0 2013-09-06 10:58:59	Theatre Namur.Liste Evéne...		GE3A Ventilateur cmde Marche
OK	...	1	0 2013-09-06 10:58:59	Theatre Namur.Liste Evéne...		GE3A Ventilateur Marche
OK	...	1	0 2013-09-06 10:57:59	Theatre Namur.Liste Evéne...		GP3A Ventilateur Marche
OK	...	1	0 2013-09-06 10:57:59	Theatre Namur.Liste Evéne...		GP3A Ventilateur cmde Marche
OK	...	1	0 2013-09-06 08:00:59	Theatre Namur.Liste Evéne...		Pompe P25 Marche
OK	...	1	0 2013-09-06 08:00:59	Theatre Namur.Liste Evéne...		Pompe P25 cmde Marche

On peut y lire que tout est enregistré dans le moindre détail.

- Les programmes des divers automates présents dans les tableaux électriques du bâtiment peuvent être téléchargés, modifiés et télérechargés. La capture d'écran ci-dessous représente la partie du programme concernant la commande des chaudières.

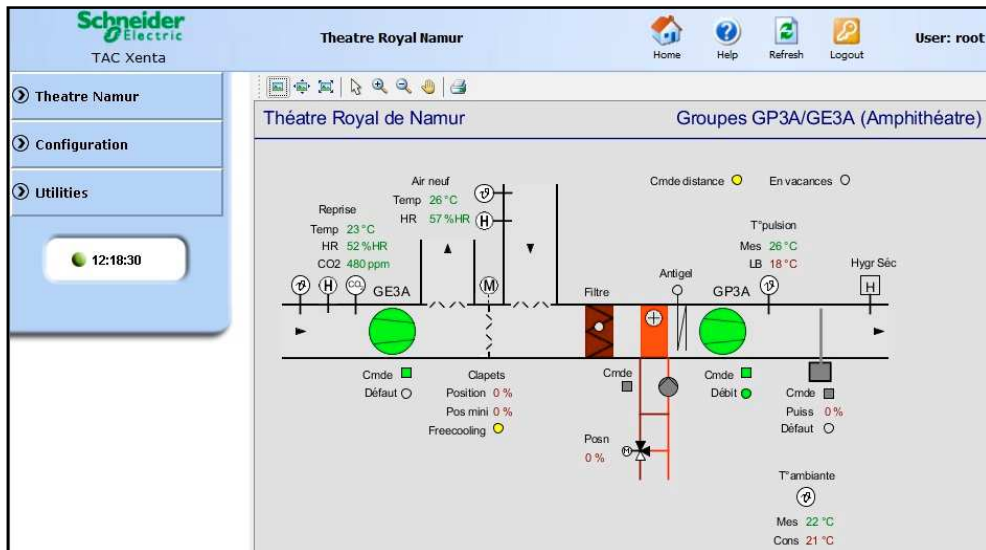


- Des alarmes concernant des anomalies essentielles de fonctionnement sont envoyées, par courriel via INTERNET, à des personnes désignées (la société privée de maintenance, le régisseur général, etc.). Ces anomalies essentielles sont affectées d'un haut degré d'urgence qui peut être modifié par le responsable technique. On peut citer par exemple :
 - Mise en sécurité des chaudières.
 - Alarme gaz.
 - Détection d'une alarme de gel d'une batterie de chauffage d'un groupe.
 - Etc..

Critique et concrétisation de ces propositions

Toutes les propositions de l'audit permettaient de rencontrer les points (a.1) et (a.2) des objectifs fixés tels qu'ils ont été expliqués au chapitre 4.

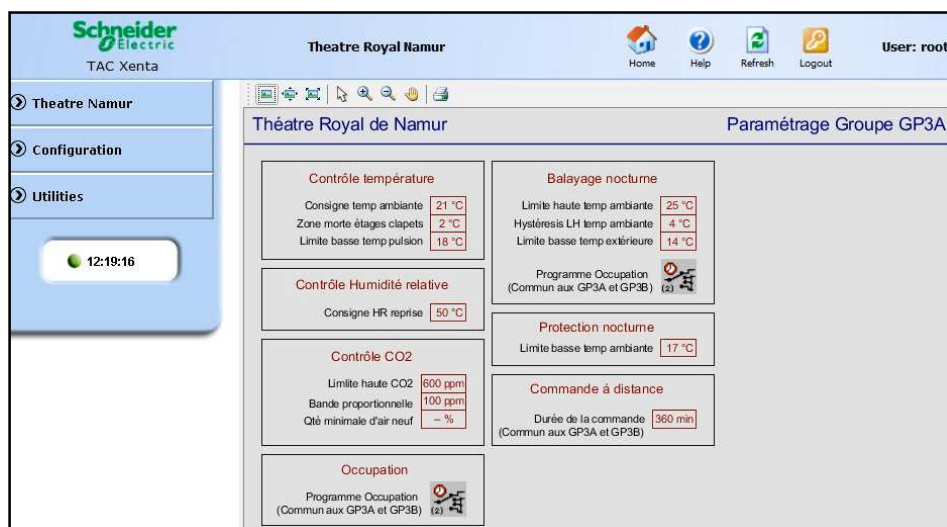
- ◆ En ce qui concerne le mode d'action des sondes de CO2 (point a.2 des objectifs), il fallait que la mise en oeuvre tienne compte de la différence entre :
 - ✓ les groupes de ventilation qui sont équipés d'un caisson de mélange air neuf/air recyclé. Dans ce cas, la sonde de CO2 agit de manière proportionnelle sur les 3 servomoteurs actionnant l'ouverture ou la fermeture des clapets d'air. La valeur de la concentration en CO2, à partir de laquelle l'admission d'air neuf débute, doit être un paramètre ajustable de même que l'amplitude de la bande proportionnelle. Le groupe GP3/GE3, ci-dessous, en est un exemple.



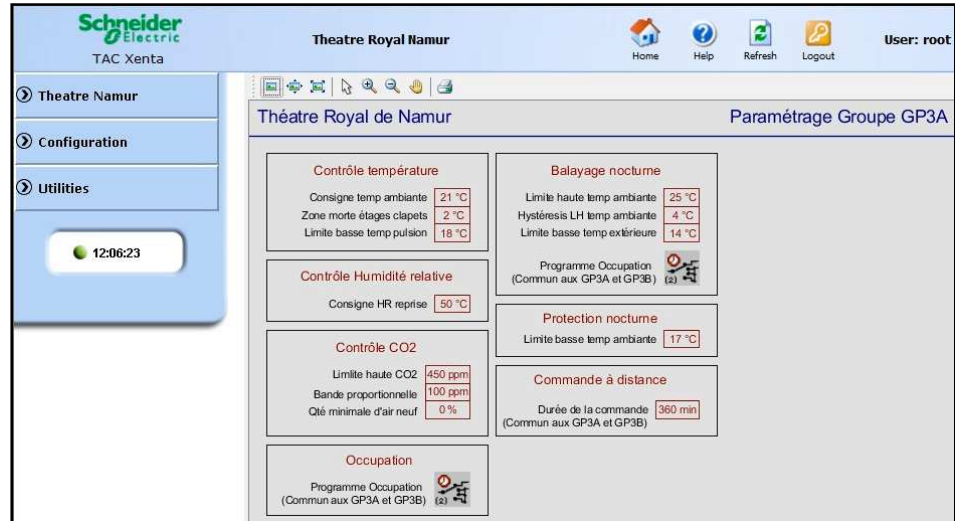
Afin d'illustrer l'action des sondes CO2 sur l'apport d'air neuf, nous allons agir sur la consigne puisque nous ne pouvons pas modifier la mesure.

L'écran ci-dessus montre que le système impose 0% d'air frais puisque la mesure de la concentration en CO2 est 480ppm et que la consigne est 600ppm comme représenté sur la capture d'écran ci-dessous concernant les paramètres de fonctionnement du GP3/GE3. On y voit également que le minimum d'air frais a été fixé à 0% afin d'éviter une consommation d'énergie inutile.

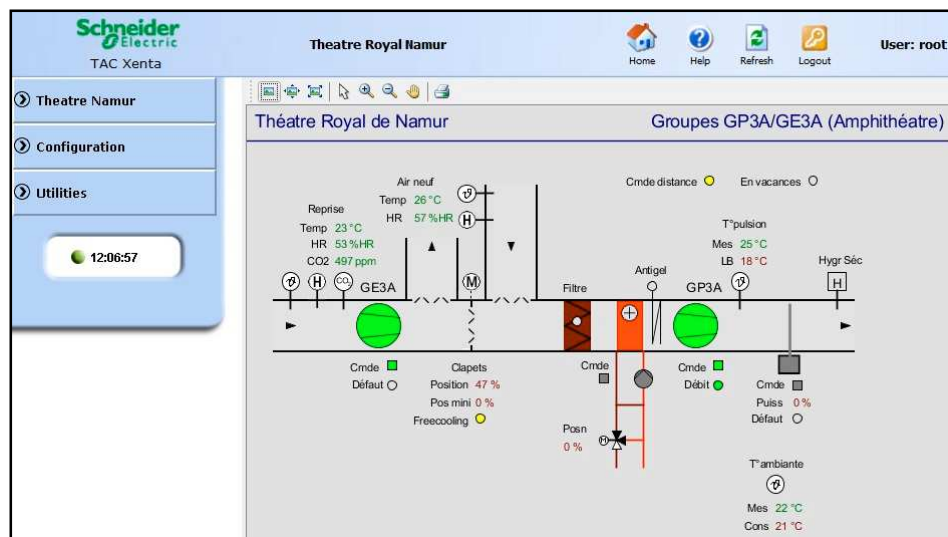
Il faut que la concentration en CO2 dépasse 600ppm pour que les clapets d'air commencent à s'ouvrir proportionnellement à l'écart entre la consigne et la mesure. La valeur de la bande proportionnelle qui est ici fixée à 100ppm signifie que dès que la concentration atteindra (600 + 100)ppm, les clapets d'air frais seront ouverts à 100%. Personnellement, j'estime que cette valeur n'est pas correcte. Une valeur de bande proportionnelle égale à 200ppm serait plus correcte.



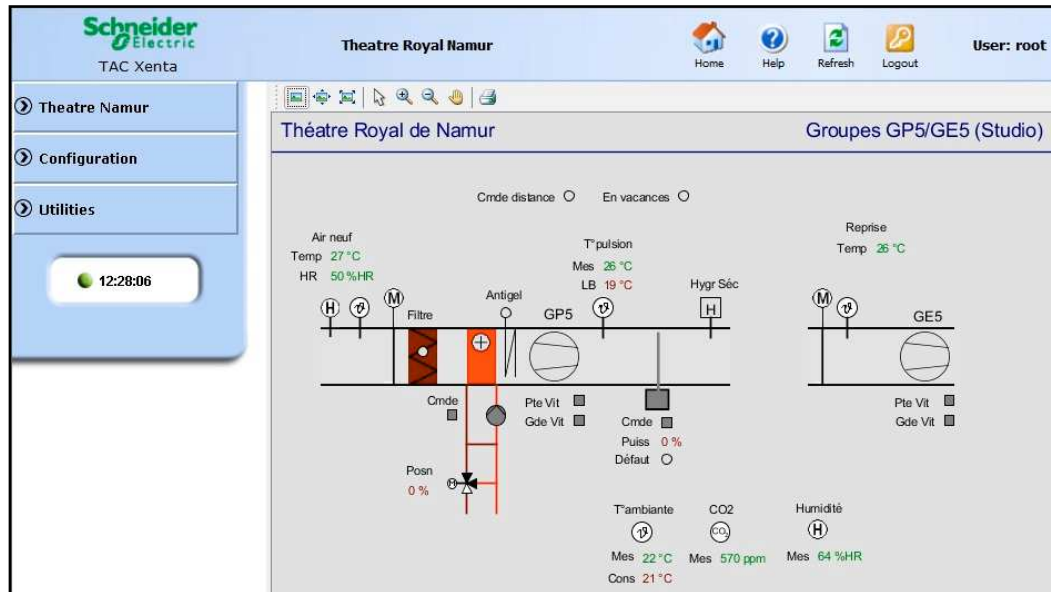
Sur la capture d'écran ci-dessous, la consigne du CO2 a été portée à 450ppm.



L'apport d'air frais devient : $(497 - 450) / 100 = 47\%$ du débit total pulsé.



- ✓ les groupes qui pulsent exclusivement de l'air neuf. Dans ce cas, la sonde de CO2 agit sur la commande d'enclenchement des ventilateurs des groupes de ventilation. Le groupe GP5/GE5, ci-dessous, fait partie de ce type de groupe de ventilation.



La valeur de la concentration en CO₂, à partir de laquelle le groupe fonctionne, doit être un paramètre ajustable. Un différentiel adaptable doit éviter une oscillation de la commande.

◆ Le point (a.3) des mêmes objectifs restait fortement insatisfait.

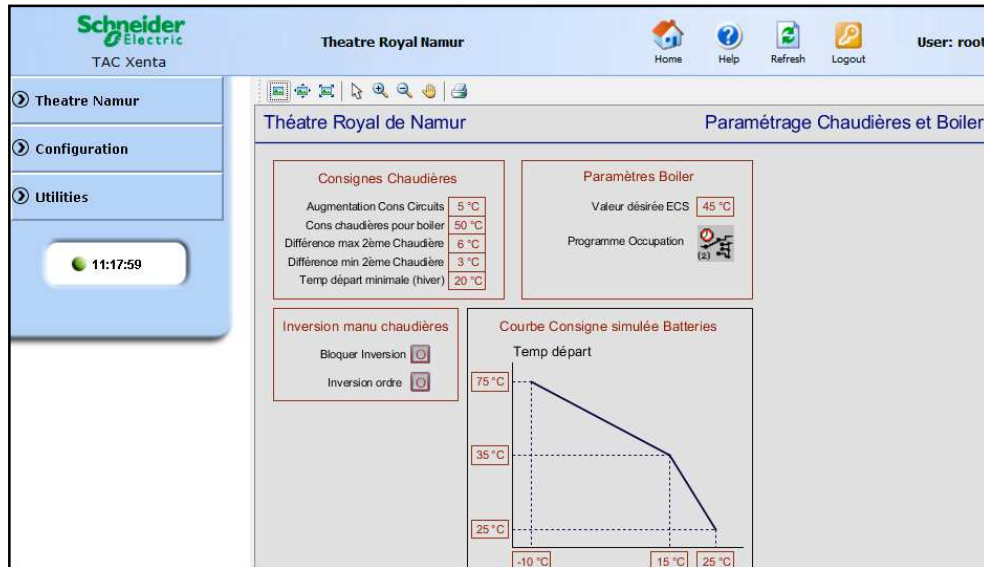
Pour l'avoir déjà expérimenté à plusieurs reprises sur d'autres installations, j'étais persuadé que l'arrêt total surveillé des installations, durant l'inoccupation du bâtiment, permet d'économiser énormément d'énergie.

L'utilisation d'automates, échangeant en permanence les uns avec les autres leurs consignes de fonctionnement, permet de vraiment optimiser la production et la distribution d'énergie consommée dans le bâtiment.

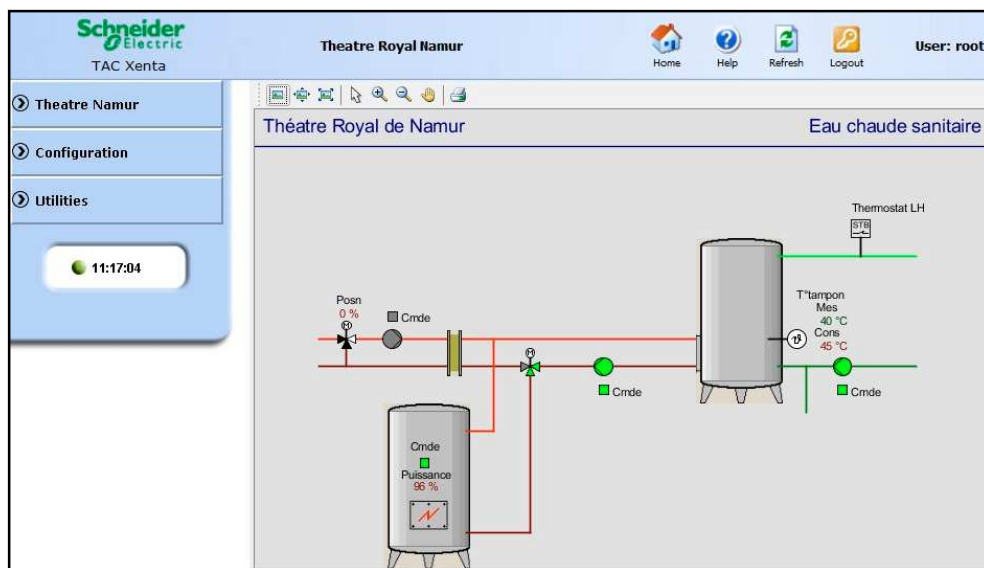
Chaque automate périphérique détermine la valeur de la température d'eau nécessaire pour assurer la chauffage de son secteur de régulation. Il envoie cette consigne à l'automate responsable, en chaufferie, de la commande des chaudières et des circulateurs principaux. Lorsqu'il constate que plus aucun automate périphérique ne demande de chaleur, il coupe la (ou les chaudières) en service ainsi que tous les circulateurs de boucles principales envoyant la chaleur vers les différents récepteurs.

Le nouveau système de régulation a également été programmé de manière à ce que les chaudières fonctionnent véritablement en cascade.

Ci-dessous, la capture d'écran affiche les paramètres concernant le processus de commande des chaudières et de la préparation d'eau chaude sanitaire.



Le régime d'été étant d'actualité, la capture d'écran suivante montre une situation où le système a enclenché la préparation d'eau chaude sanitaire. La mesure de la température d'eau sanitaire est 40°C alors que la consigne a été portée à 45°C pour la démonstration.

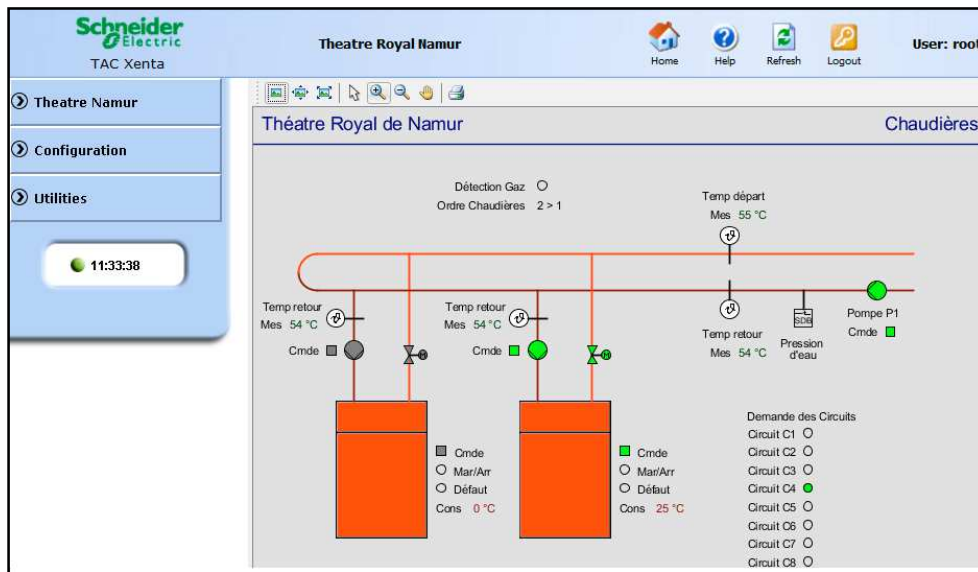


On aperçoit la position de la vanne trois voies qui alimente le réservoir tampon à partir du chauffe eau électrique. L'échangeur à plaques, le circulateur et la vanne troies raccordés sur les collecteurs du chauffage sont à l'arrêt.

La capture d'écran ci-dessous montre une situation où une seule chaudière fonctionne avec une température de consigne de 25°C. Cette valeur de consigne si basse émanant d'un circuit de radiateurs en période d'été est une anomalie. Elle a été corrigée et sera exposée à la fin de la présentation.

On remarque que l'eau de la boucle reliant les chaudières aux collecteurs est portée à une température de 55/54°C.

Il s'agit là d'une situation normale bien que peu logique.
La nuit et l'aube avaient été frais : température d'environ 10°C.



Le régime d'hiver avait donc été adopté par le système qui avait imposé une température de 55°C aux collecteurs pour préparer l'eau chaude sanitaire. Vers 11h, le régime d'été avait de nouveau été adopté par le système parce que la température extérieure dépassait à nouveau les 22°C. Un algorithme plus sophistiqué aurait dû être pensé pour que le système fixe le régime été ou hiver sans saut brusque et illogique.

◆ Le point (b.) des objectifs restait lui sans solution.

Je rappelle qu'il s'agissait d'imaginer un mode de commande simple pour chacun des circuits de chauffage/ventilation afin que tout utilisateur, même occasionnel, puisse aisément mettre en service le chauffage et la ventilation pour une durée déterminée prééglée sans rien connaître au système en place.

Pour moi, il s'agissait d'un aspect très important qui devait également avoir un effet bénéfique sur les consommations d'énergie.

La solution mise en place consiste à offrir à chaque utilisateur de salle ou de bureaux la possibilité de commander le chauffage (et la ventilation lorsqu'elle existe pour ces locaux) pour une période de temps limitée à laquelle l'utilisateur n'a pas accès. Au-delà de cette temporisation, le chauffage revient en mode "veille".

La commande s'effectue au moyen d'un bouton poussoir, clairement identifié, installé dans la salle ou un des locaux utilisés.

Il y a ainsi 12 boutons poussoirs répartis dans le bâtiment.

La photo de gauche ci-dessous illustre, par exemple, celui qui est situé sur la scène et qui commande les groupes de ventilation GP1 et GP2 de la grande salle.

La photo de droite représente le coffret de commande situé dans le local des techniciens qui regroupe les 12 boutons poussoirs dédoublés qui ont exactement la même fonction que ceux répartis dans le bâtiment.

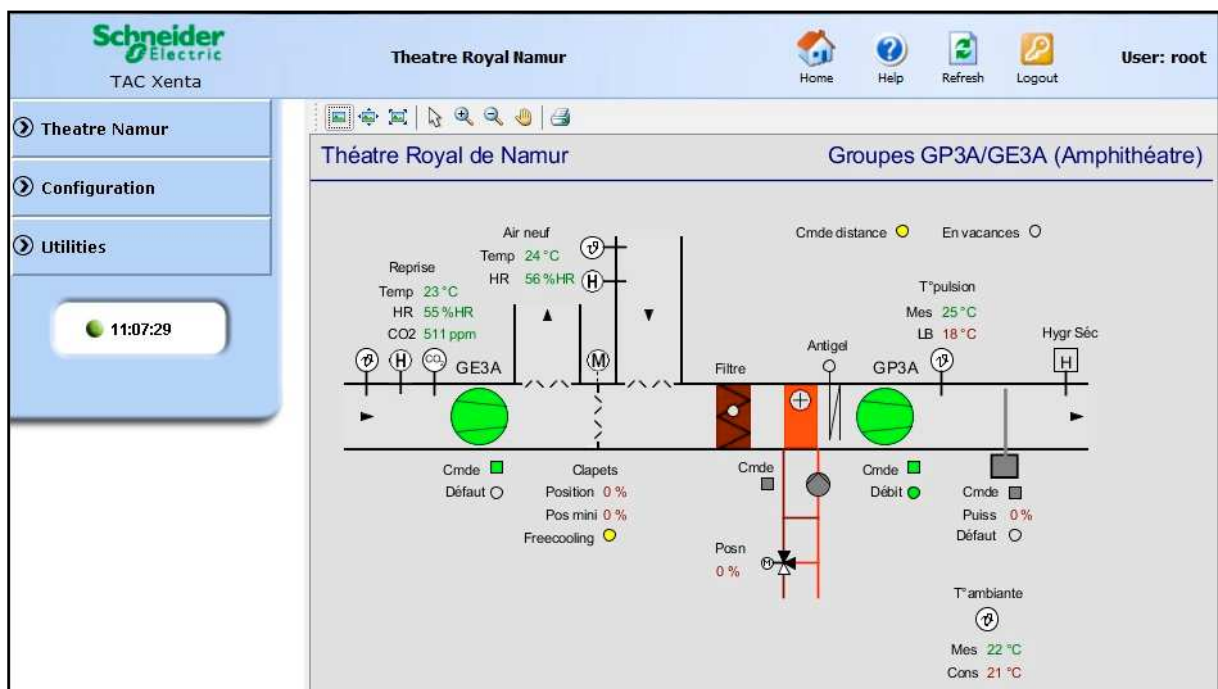


La durée de la temporisation est paramétrable, indépendamment pour chaque circuit, via le logiciel de la GTC.

En pressant un bouton activé (ce qui est signalé par le témoin lumineux), on peut mettre fin à la temporisation prématurément.

Sur la photo de droite ci-dessus, c'est le groupe GP3a qui a été enclenché.

La capture d'écran ci-dessous visualise l'action engendrée par cette commande.



La colorisation verte des ventilateurs de pulsion et d'extraction indique leur mise en marche.

Dans les paramètres de fonctionnement de GP3a, visibles ci-dessous, on peut lire que la commande sera valide durant 360 minutes.

The screenshot shows the Schneider Electric TAC Xenta interface for Theatre Royal Namur. The top navigation bar includes the Schneider Electric logo, the site name 'Theatre Royal Namur', and user information 'User: root'. A sidebar on the left contains menu items: 'Theatre Namur', 'Configuration', and 'Utilities', along with a digital clock showing 12:19:16. The main content area is titled 'Théâtre Royal de Namur' and 'Paramétrage Groupe GP3A'. It displays several configuration panels:

- Contrôle température:** Consigne temp ambiante (21 °C), Zone morte étages clapets (2 °C), Limite basse temp pulsion (18 °C).
- Contrôle Humidité relative:** Consigne HR reprise (50 %).
- Contrôle CO2:** Limite haute CO2 (600 ppm), Bande proportionnelle (100 ppm), Qté minimale d'air neuf (- %).
- Occupation:** Programme Occupation (Commun aux GP3A et GP3B).
- Balayage nocturne:** Limite haute temp ambiante (25 °C), Hystérésis LH temp ambiante (4 °C), Limite basse temp extérieure (14 °C).
- Protection nocturne:** Limite basse temp ambiante (17 °C).
- Commande à distance:** Durée de la commande (Commun aux GP3A et GP3B) (360 min).

Au plus tard à la fin de ce laps de temps, le groupe sera automatiquement remis à l'arrêt. On peut remettre le groupe à l'arrêt anticipativement en pressant manuellement à nouveau un bouton-poussoir de commande du GP3 ou en modifiant la valeur du paramètre concernant la durée de la temporisation.

La capture d'écran ci-dessous montre la vue d'ensemble des bouton-poussoirs des différents circuits qui permet de connaître ceux pour lesquels une commande temporisée a été lancée.

The screenshot shows the Schneider Electric TAC Xenta interface for Theatre Royal Namur, displaying the 'Commandes à distance' page. The top navigation bar and sidebar are identical to the previous screenshot, with the digital clock showing 11:02:25. The main content area is titled 'Théâtre Royal de Namur' and 'Commandes à distance'. It lists various circuits and their corresponding rooms, each with a radio button indicating the status of the remote command:

- GP1-GP2 +Circuit C2 Grande salle
- GP3A-GP3B Amphithéâtre
- GP4 + Circuit C7A Foyer
- GP5 + Circuit C6 Studio
- GP6 Régie 1er balcon
- GP7 + Circuit C7B Petit salon
- GP8 + Circuit C7B Théâtre et Evénements
- GESA-GE9B Extraction Scène
- Circuit C3 Loges
- Circuit C4 Bureaux et Billetterie
- Circuit C5 Hall d'entrée
- Aérotherme Sas technique

6. Rentabilité et résumé du projet



Théâtre de Namur – Audit HVAC

32

6.5 Résumé des pistes d'économie

n°	Propositions de piste d'économie	Economie en Electricité		Economie en Gaz		CO ₂ tonnes	Invest €	Subsides €	TDR années	Cat	Fois. Gaz	Fois. Elec		
		% Tot	kWh	€	% Tot								m ³	€
1	Isolation d'une chaudière	0,6%	2.628	320	0,9%	484	220	2,2	0	0	0,0	A1		
2	Arrêt de la chaufferie en été + production ECS indépendante	1,8%	8.000	980	1,6%	862	392	5,2	1.050	450	0,8	A1		
3	Nouvelle régulation HVAC	13,1%	56.830	6.930	75,2%	39.973	18.192	115	56.000	24.000	2,2	A2		
	Total Pistes "A1"	2,4%	10.628	1.300	2,5%	1.347	613	7	1.050	450	0,5	A1	100%	100%
	Total Pistes "A2"	13,1%	56.830	6.930	75,2%	39.973	18.192	114,8	56.000	24.000	2,2	A2	100%	100%
	Total Pistes	15,5%	67.460	8.230	77,7%	41.320	18.800	122,0	57.050	24.450	2,1		100%	100%

« Foïs. » = Foisonnement : lorsque plusieurs pistes se chevauchent sur le plan des économies d'énergie, il faut tenir compte d'un facteur de foisonnement, car réaliser 2 pistes ne signifie pas forcément obtenir la somme de leurs économies d'énergie.

7. Finaliser le plan d'action

Au paragraphe (c) du chapitre 6, j'ai indiqué que j'avais trouvé curieux que l'auditeur préconise le remplacement complet des automates de régulation alors que ceux-ci offraient toujours les possibilités suffisantes (moyennant reprogrammation) permettant d'effectuer les nouvelles fonctions préconisées dans le rapport d'audit.

Fin 2008, j'avais convoqué l'installateur originel et un représentant belge du matériel existant afin de savoir si les améliorations préconisées par le rapport d'audit étaient réalisables avec le matériel existant.

La réponse fut affirmative et un devis me fut présenté.

Le montant dépassait largement la limite autorisée par la loi pour la réalisation de travaux sans appel à la concurrence.

Etant donné qu'il fallait faire appel à la concurrence, il me semblait évident que celui-ci devait également être étendu aux automates eux-mêmes qui constituent le coeur du système.

Les automates existants ne permettaient pas l'incorporation de différents outils complémentaires, mais non indispensables, à savoir :

- Une platte-forme d'accès de la GTC au réseau INTERNET qui permet de piloter l'installation à distance.
- La diffusion (via le système de messagerie électronique d'INTERNET) d'alarmes multiples.
- L'enregistrement continu de l'entièreté des paramètres de l'installation.
- Etc.

Je m'étais donc alors résolu à écrire un cahier des charges détaillé et complet, basé sur le cahier des charges type n°105 mais adapté à notre temps, qui constituait la base d'un marché public sous forme d'appel d'offres dont les critères d'attribution étaient très variés et où le prix n'intervenait que pour 30% de la cote totale. Le projet, estimé à 101.700€ TVAC, fut approuvé par le Pouvoir Politique et la procédure fut lancée en fin d'année 2009.

Curieusement, seules 4 offres nous sont parvenues dont les soumissionnaires proposaient du matériel varié : SATCHWELL (il fallait s'y attendre), JOHNSON CONTROL, les automates industriels SIMATIC 300 de SIEMENS.

L'offre ayant obtenu la cote maximale était celle d'un entrepreneur qui s'était associé à la firme important le matériel SATCHWELL. Elle s'élevait à 87.500€ TVAC.

L'offre la plus coûteuse s'élevait à 134.000€ TVAC.

Pendant la procédure d'attribution du marché de travaux concernant l'installation de régulation, un nouveau problème est apparu sur l'installation du chauffage du théâtre.

Une des 2 chaudières avait été mise à l'arrêt car un des éléments en fonte de son corps de chauffe était cassé. Après consultation de l'importateur belge du matériel

REMEHA, il m'apparaissait que cet incident, le coût de réparation qu'il impliquait et le doute qui planait sur la pérennité de l'autre chaudière pouvaient être l'occasion d'étendre les économies d'énergie à la production de chaleur elle-même.

Un cahier des charges, complet constituant la base d'un marché public sous forme de procédure négociée, a été présenté au Pouvoir Politique. Le projet, estimé à 42.000€ TVAC, fut approuvé par le Pouvoir Politique et la procédure fut lancée en mai 2010.

Le cahier des charges prévoyait le remplacement des 2 chaudières existantes (440kW chacune) par 2 chaudières à condensation de 200kW chacune.

Le tubage de la cheminée unique existante était également inclus dans les travaux à réaliser.

L'offre la moins disante s'élevait à 40.800€ TVAC.

Les deux nouvelles chaudières prévues par l'adjudicataire étaient de marque ELCO.

La température de consigne des chaudières varie par l'intermédiaire d'une tension de commande 0-10Vcc provenant d'un automate de la GTC. Cette tension est calculée par le système de régulation à partir du besoin maximal d'énergie qu'il détermine en tenant compte des informations qui lui sont transmises en temps réel, via le bus de communication, par les divers automates placés dans les 5 armoires électriques réparties dans le bâtiment.

Le système de commande, incorporé dans chaque chaudière, calcule et module lui-même, dans une plage allant de 20 à 100%, la puissance du brûleur à gaz qui est nécessaire pour atteindre la température d'eau demandée.

Les 2 chaudières travaillent en véritable cascade ce qui veut dire que la 2ième chaudière ne fonctionne que :

- Si la 1ère chaudière est en panne (ce qu'elle signale à l'automate de la GTC)
- Si la puissance de la 1ère chaudière est insuffisante. Cette situation est déterminée par l'automate en mesurant la différence de température entre la température de consigne et la température de retour des collecteurs.

8. Réalisation

Régulation

Le marché avait été attribué et commandé au premier semestre 2010 afin de rendre opérationnelle la nouvelle installation de régulation pour la saison de chauffe 2010-2011.

Les travaux ont débuté en juillet 2010 afin de profiter de la période de faible activité du théâtre.

L'installation avait été réceptionnée provisoirement en novembre 2010 avec un certain nombre de défauts à corriger.

L'installation n'a été pleinement opérationnelle que pour la saison de chauffe 2011-2012.

Des travaux complémentaires imprévisibles ont justifié un supplément de prix de 1.336,81€ TVAC.

Chaudières

En ce qui concerne les chaudières, le marché avait été attribué et commandé en juillet 2010.

Les chaudières étaient opérationnelles le 10/11/2010.

Aucun travail complémentaire n'avait nécessité de supplément de prix.

9. Evaluation et gestion des écarts

Si l'on observe à nouveau le graphique montrant l'évolution des consommations de gaz entre 2003 et 2012, on peut constater que la chute est importante en 2011. C'est l'année pendant laquelle l'installation me paraissait fonctionner tout à fait conformément à ce que j'avais projeté dans le cahier des charges.

Si on focalise son attention sur les extrêmes.

En 2011 par rapport à 2006 :

- la baisse de la consommation d'énergie thermique normalisée est :
-358.000kWh soit -44,5%.
- la baisse de la consommation d'énergie électrique est :
-80.000kWh soit -18%

Si on prend comme référence une année qui pourrait être jugée moins "anormale":

En 2011 par rapport à 2009 :

- la baisse de la consommation d'énergie thermique normalisée est :
-232.917kWh soit -34%.
- la baisse de la consommation d'énergie électrique est :
-77.000kWh soit -17%

Même si je m'attendais à ce que les prévisions du rapport d'audit ne soient pas réalistes, l'économie réalisée est tout de même satisfaisante.

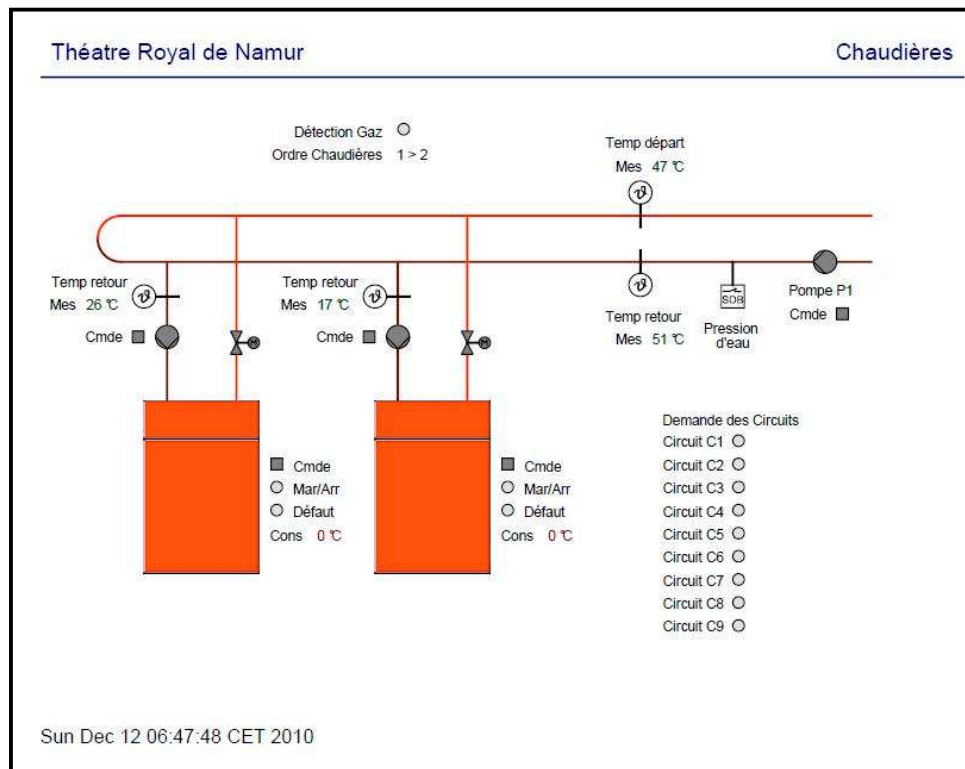
Le temps de retour escompté par le rapport d'audit n'est, lui non plus, pas respecté. Toutefois, étant donné que le coût du gaz et de l'électricité ne cesseront d'augmenter, on peut s'attendre à un temps de retour de 5 ans en incluant le coût du remplacement des chaudières qui n'était pas incorporé dans le coût estimatif des modifications conseillées dans le rapport d'audit.

En 2012, on observe une remontée de la consommation tant électrique que thermique. Ne m'étant plus occupé de cette installation en 2012, je ne peux qu'avancer des hypothèses qu'il serait aisé de vérifier :

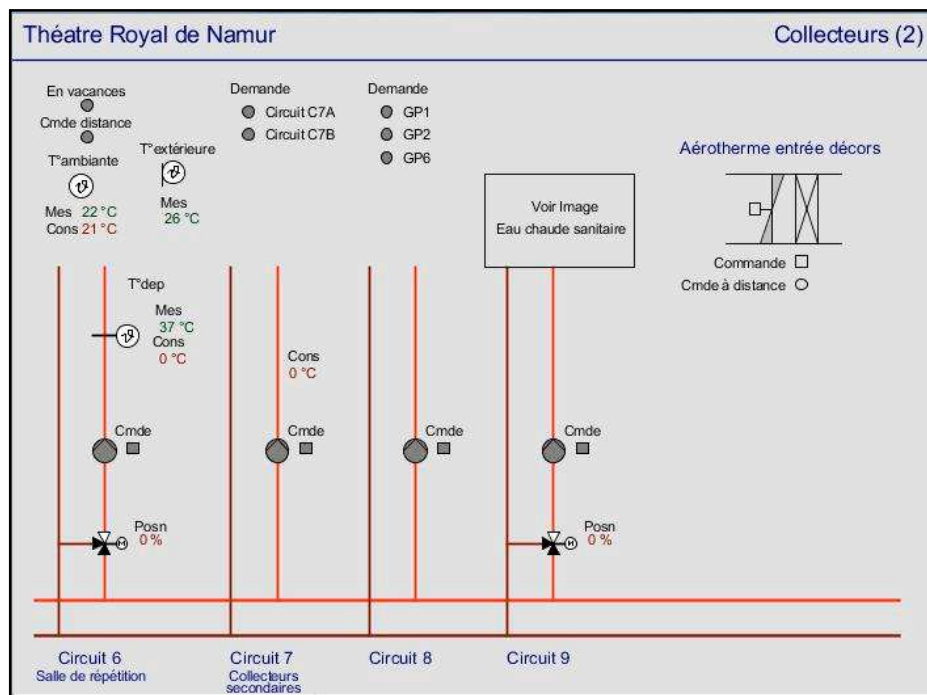
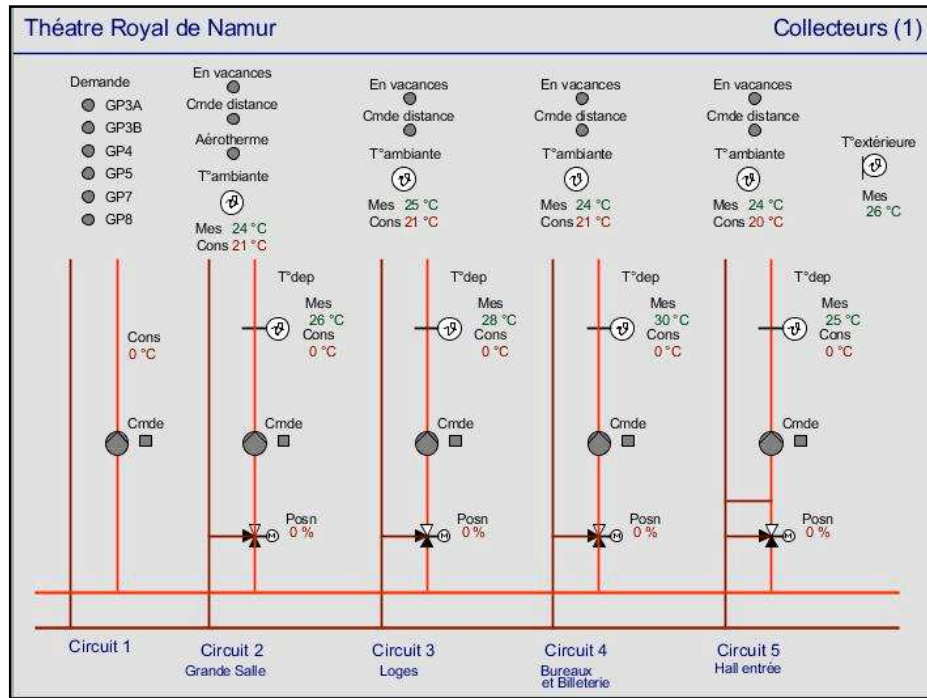
- En 2011, j'avais souvent observé que le programmeur de l'entreprise installatrice avait tendance à modifier des paramètres de sécurité et de fonctionnement qui ont pour effet de diminuer les périodes d'arrêt complet de l'installation. Il m'avait semblé que ce technicien craignait trop facilement des dommages causés à l'installation par le gel. Je rétablissais chaque fois des paramètres de fonctionnement moins timorés.

L'image ci-dessous est une copie d'écran d'un des nombreux affichages de contrôle accessible via le logiciel de conduite de la GTC qui était accessible par INTERNET depuis mon domicile.

On y constate que l'installation HVAC est en état de veille complet : tous les boutons témoins (ronds ou carrés) sont gris ou blancs alors qu'ils sont verts en état de fonctionnement; la consigne des chaudières indique 0°C. La capture a été faite un dimanche matin du mois de décembre 2010 à 6h47 et cette situation durait depuis longtemps puisque la température de l'eau des chaudières avoisine les 20°C. Avec les paramètres que j'avais corrigés, cette situation était coutumière tous les jours de la semaine.



Tous les circuits sont à l'état de veille comme en témoignent les captures d'écran suivantes concernant les collecteurs principaux.



- L’horaire de fonctionnement du circuit de chauffage par le sol du hall d’entrée était régulièrement modifié par le programmeur de telle sorte qu’il n’y avait pas d’arrêt nocturne contrôlé.
- Les consignes d’ambiance sont peut-être beaucoup trop confortables.
- Chaque circuit de chauffage par radiateurs comporte, dans ses multiples paramètres, une température limite haute pour l’ambiance au-delà de laquelle le système peut considérer que le circuit ne nécessitera plus d’apport d’énergie de la part des chaudières et qu’il peut mettre tous ses organes à l’arrêt (y compris son circulateur). Récemment, j’ai pu vérifier que ce paramètre comportait une valeur trop élevée (25°C). Une demande de chaleur était maintenue par certains circuits parce que la température

ambiante y était égale à 24°C (<25°C) alors que le système avait adopté le régime été aprce que la température extérieure était égale à 28°C.

Le haut degré d'automatisation de l'installation de régulation ne signifie pas qu'elle peut être "oubliée".

Au contraire, plus le degré de sophistication d'un système est élevé plus celui-ci nécessite un suivi régulier et complet de tous ses composants et de tous ses paramètres.

Un des critères d'attribution du marché de travaux concernait d'ailleurs le coût du contrôle annuel de l'installation dont le détail était inscrit dans le cahier des charges.

La vigilance du payeur, ici la Ville de NAMUR, pourrait se faire sentir chez les Responsables du théâtre si l'évolution des consommations leur était régulièrement transmise.

10. D'autres défauts restent à corriger

Toutes ces années passées au théâtre m'avaient permis de découvrir des défauts de fonctionnement ou de redécouvrir des lacunes déjà connues.

Ces défauts n'ont pas pu être corrigés pour différentes raisons mais il reste là une source possible d'économies d'énergie supplémentaires.

a) Absence d'isolation au Foyer

Le rapport d'audit ne signalait pas l'absence totale d'isolation thermique de la toiture du Foyer. La surface, projetée horizontalement, de cette toiture représente malgré tout 410m². Le plafond du Foyer est situé sous cette toiture et ne comporte, lui non plus, aucune isolation.

Dan son rapport, l'Auditeur mentionne une toiture, sans la désigner, de 490m² à laquelle il attribue un coefficient de transmission égal à 1,51W/m²K et qui transmet annuellement une énergie estimée à 30.100kWh.

Un matelas d'isolant de 0,20m d'épaisseur permettrait de réduire cette déperdition à 4.000kWh/an.

Les autres toitures (accompagnées de la mention "heraclite") représentent 995m² dans le rapport et leur coefficient de transmission y est estimé à 0,86W/m²K ce qui engendre une déperdition d'énergie estimée à 35.100kWh/an.

Un renforcement de cette isolation permettrait de réduire la déperdition à 8.000kWh/an.

Le total du gain supplémentaire pourrait donc être estimé à 12.000kWh/an en renforçant l'isolation des toitures du théâtre.

Les problèmes d'infiltration d'eau au travers des toitures existent depuis au moins 2006 et les travaux de réparation sont toujours en cours. Ils ont été un obstacle à la réalisation de ces travaux d'isolation.

b) Chauffage du sas de l'entrée technique arrière

Lors de la réalisation des travaux de rénovation de l'installation de régulation, nous avons décelé une anomalie de fonctionnement du circuit de chauffage des bureaux du rez.

L'aérotherme, qui chauffe le sas de l'entrée technique arrière située entre les 2 bureaux du rez, est branché sur le circuit hydraulique de la scène. Ce sas sépare également les loges d'artistes situées au niveau de la scène.

D'une part, cet aérotherme est bruyant et perturbe le jeu de scène.

D'autre part, le circuit hydraulique de la scène alimente également les radiateurs des dégagements des 5 niveaux de la grande salle.

Cela signifie qu'en l'absence de spectacle, il faut malgré tout enclencher le chauffage de la scène et des dégagements de la grande salle pour éviter que l'ouverture fréquente de la porte des bureaux du rez ("local des techniciens" pour l'un et "accueil" pour l'autre) ne refroidisse ces locaux lorsque le sas se trouve plongé dans

une très basse température. Sa porte monumentale n'est pas isolée, est peu hermétique et est exposée au nord.

Le passage des tuyauteries mères au plafond de ce local rendrait très facile la correction de cette anomalie et l'aérotherme pourrait être avantageusement remplacé par un gros radiateur.

c) Chauffage du studio

Dans le projet de rénovation du théâtre, le Studio actuel n'était qu'une salle de répétition. Ce n'est qu'en 1997, en cours de chantier, que ce grand local a été transformé en salle de spectacle.

Toute l'infrastructure de chauffage/ventilation était déjà terminée et les auteurs de projet n'ont pas songé à vérifier si le matériel installé était suffisant pour assurer le confort nécessaire pour un spectacle plutôt que pour des répétitions.

Lors des essais de la nouvelle installation de régulation, nous avons constaté que les radiateurs (qui devaient, selon ce que j'avais prévu dans le cahier des charges, assurer seuls la mise en température du local) n'étaient pas capables d'amener la température ambiante au-delà de 17 ou 18°C.

Il fallait mettre en service le groupe de ventilation GP5/GE5 pour combler le manque de puissance thermique statique (avant, nous avons pu constater que ce groupe tournait quasiment en permanence).

Etant donné que ce groupe de ventilation fonctionne avec 100% d'air neuf, la perte d'énergie est considérable.

Il faudrait placer des radiateurs supplémentaires et renforcer le diamètre de leurs tuyauteries de raccordement. Cette salle est située à côté de la chaufferie ce qui rendrait cette modification aisée.
