

Stratégies d'assurance de la qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments existants

Negară Iulia,

Étudiant au doctorat, Ecole doctorale de CIVIL ENGINEERING, Chisinau,

[e-mail: iunegara@gmail.com](mailto:iunegara@gmail.com)

Université Technique de Moldavie

Résumé:

L'un des objectifs majeurs de la politique dans le domaine des bâtiments publics existants consiste dans la modernisation de l'enveloppe des bâtiments et des systèmes fonctionnels afférents. Dans cet article nous présentons le résultat d'une étude expérimentale réalisée dans un laboratoire de l'Université Technique de Moldavie et d'une étude numérique réalisée dans le cadre du département des Installations de l'Université Technique Gheorghe Asachi de Iasi, sur le comportement dynamique du système de chauffage / refroidissement et de l'environnement intérieur de la salle dans différentes conditions d'exploitation.

Nous remercions Mme Lucia Sop & M. Ion Nita, les Représentants de L'Organisation des Nations unies pour le développement industriel (UNIDO) en République de Moldavie, dans le cadre du Programme de l'Efficacité Énergétique et de la production plus pure afin d'assurer avec des appareils de mesure

Mot-clés: Net zero energy building, TRNSYS , récupérables, dégagements CO₂.

1. INTRODUCTION

Dans les actions de l'augmentation des performances énergétiques des bâtiments publics existants jusqu'au niveau „Net zero energy building” s'imposent, d'une part, la modernisation de l'enveloppe par l'hyper-isolation et l'hyper-étanchéité et de l'autre part, la modernisation des systèmes fonctionnels afférents, afin que le bilan énergétique annuel pour le chauffage / refroidissement soit quasiment nul. En général ces bâtiments ont un régime de fonctionnement intermittent diurne, mais après la modernisation de l'enveloppe ils sollicitent une nécessaire de chaleur relativement réduite pour le chauffage / refroidissement. Une autre caractéristique de ces bâtiments est qu'ils ont un degré d'occupation relativement grand, et cet aspect provoque des dégagements importants de CO₂, et en conséquence il est nécessaire d'introduire de l'air frais pour assurer la qualité de l'air intérieur.

Les systèmes de chauffage classiques avec des radiateurs sont impropres aux bâtiments modernisés. Le régime de fonctionnement intermittent impose l'adoption des systèmes de chauffage / refroidissement à inertie thermique douce, mais les bâtiments NZEB

nécessitent que les ressources utilisées soient renouvelables et / ou récupérables. Dans ces conditions un système de chauffage / refroidissement à air desservit par une pompe à chaleur air-eau semble être une solution appropriée à ces bâtiments.

2. PROGRAMME ET FACILITÉS DE RECHERCHE EXPÉRIMENTALE

2.1. Objectifs

L'objectif principal de notre recherche a consisté dans l'étude du comportement de la pompe à chaleur et la qualité de l'environnement intérieur (qualité de l'air et le confort hygrothermique) dans des différentes conditions d'occupation, des conditions de l'environnement extérieur et des différents régimes fonctionnels.

Les objectifs dérivés de l'objectif général sont:

- La surveillance des paramètres d'intérêt afin d'évaluer:
- L'efficacité énergétique de la pompe et du système technique-pompe-bâtiment
- La qualité de l'environnement intérieur (qualité de l'air et le maintien des paramètres de confort).
- L'analyse des résultats obtenus, l'extraction des fonctionnements de variation multiparamétrique de la température intérieure, l'accumulation de CO₂ durant le fonctionnement de la pompe à chaleur.
- L'extension des recherches sur des modèles virtuels (réalisées dans le TRNSYS¹) et la simulation du comportement pendant un an, pour identifier la valeur moyenne de la COP et l'EER.

2.2. Recherches expérimentales sur des modèles physiques

Dans cette étude nous présentons les résultats de quelques recherches menées à la Faculté Urbanisme et Architecture, Département d'Approvisionnement en chaleur, eau et gaz, la protection de l'environnement, le laboratoire de recherches expérimentales (figure 1), afin d'identifier l'aptitude de l'utilisation d'un tel système pour desservir les bâtiments publics modernisés. La conformation géométrique de l'espace desservit est montrée dans le figure 2, mais la zone étudiée est la salle A.

¹ Le moyen de simulation des systèmes d'installations le plus avancé du monde.

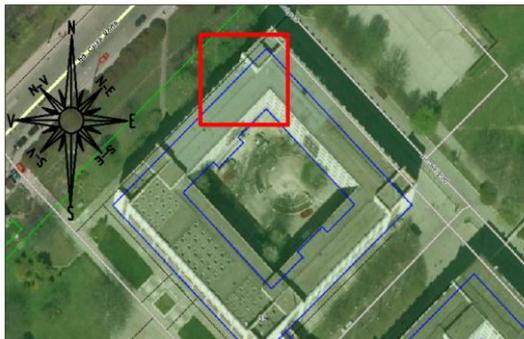


Figure 1. L'emplacement et l'orientation géographique de la zone recherchée

Le Schema de la division volumetrique des zones pour la simulation dans le TRNSYS

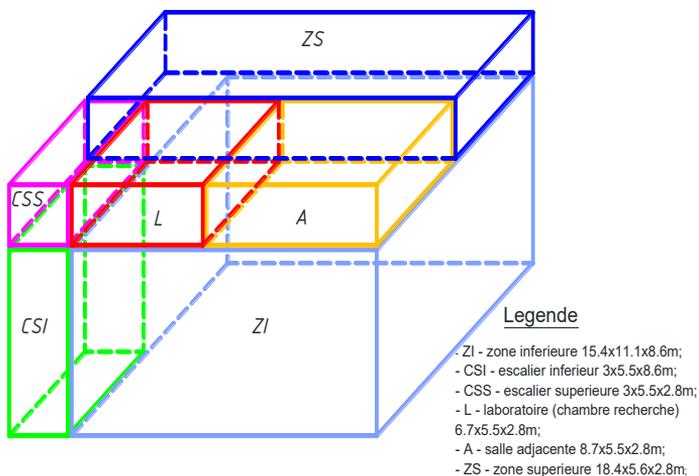


Figure 2. Le Schéma de la division volumétrique des zones pour la simulation dans le TRNSYS

Pour atteindre les objectifs proposés, les recherches seront réalisées tant par une étude expérimentale in situ que par une étude expérimentale numérique sur le modèle de l'enceinte recherchée, développé dans le TRNSYS.

Dans le cadre de la recherche nous avons mesuré/suivi les paramètres suivants:

- Température externe air;
- Consommation totale de l'énergie;
- Température interne air;
- Vitesse du ventilateur externe;
- Température tour/retour de l'eau;
- Humidité de l'air intérieur;
- Nombre de personnes;
- Energie absorbée;
- Emissions de CO₂;
- Fraction compresseur.

Le schéma fonctionnel de l'installation de laboratoire est présenté dans le figure 3:

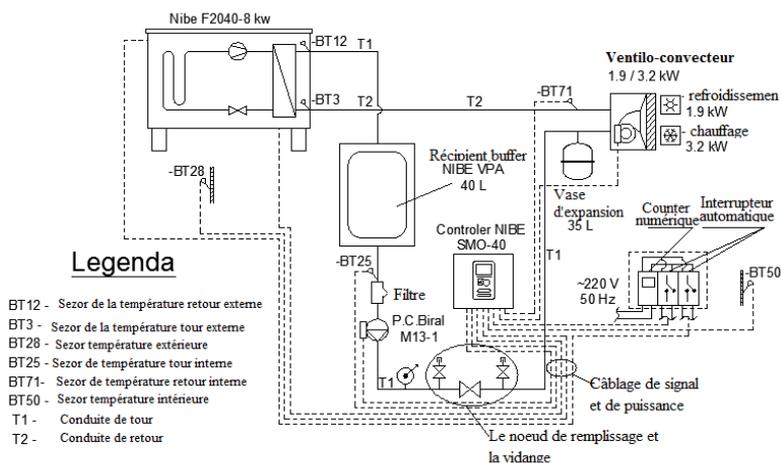


Figure 3. Le schéma de l'installation expérimentale du laboratoire

Les mesures ont été faites avec des appareils/instruments/capteurs de mesure:

- Spécifiques à l'équipement analysé (températures tour/retour, ...)
- Avec des capteurs surveillés à partir du panneau de commande NIBE SMO 40, la classe du thermostat – VI.
 - Capteur de température tour et retour externe BT3, BT12 ;
 - Capteur de température tour et retour interne BT25, BT71 ;
 - Capteur de température de l'air extérieur BT28 ;
 - Capteur de température de l'air intérieur BT50 ;
 - Ampèremètre avec classe de précision très élevée selon les dates EN ISO 17 255.
- Appareils mobiles externes à l'équipement et à l'installation:
 - Instrument de mesure de l'humidité d et de CO₂ type TESTO 435, du - 50 à + 150 °C, classe de précision ±0.2 °C (-25 à +74.9 °C), degré de résolution 0.1 °C ;
 - Pyromètre (fluxmètre) pour mesurer le rayonnement infrarouge (rayonnement calorifique) OMEGA 620, classe de précision : ±1°C/ 1°F dans un intervalle de 0 à 90 °C, degré de l'émission : de 0.2 jusqu'à 1.0 modèle à haute précision ;
 - Compteur monophasé d'énergie électrique avec émetteur d'impulsion, type HUABANG DDM65SC, classe de précision 1.0.

La classe de précision des instruments de mesure s'insère dans les prescriptions EN ISO 17 255.

Les points de mesure des mesures externes de l'équipement ont été:

- Pour mesurer le contenu de l'humidité d et de CO₂ – la hauteur de la zone de travail;
- Pour mesurer le flux thermique : Le Centre des éléments de limitation;
- Pour mesurer l'énergie électrique – au panneau du bloc de commutation électrique du système de chauffage du laboratoire;
- Pour mesurer l'électricité absorbée ont été suivies les indications du panneau de commande NIBE SMO 40.

3. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

3.1. Analyse de régression

Les résultats obtenus comprennent:

- Les résultats des mesures directes (tableau 1);
- Les calculs effectués à l'aide des résultats mesurés (tableau 1), respectivement:
 - CO₂ cumulé;
 - Dégagements de chaleur et d'humidité émanant des personnes;
 - Coefficient de performance: COP.
- Les représentations graphiques de l'évolution des différentes mesures par rapport aux mesures déterminées:
 - Le graphique de l'évolution du contenu de dioxyde de carbone CO₂ par rapport au nombre de personnes (Figure 4) ;

Nous constatons le fait que les émissions de CO₂ des personnes d'une salle de classe étanche chauffée avec ventilateur à recirculation, sans air frais, dépassent beaucoup les normes sanitaires (approximativement 9 fois dans 3 heures d'activité, pour 29 personnes). Il est absolument nécessaire d'introduire de l'air frais. Dans l'expérience, la salle a été aérée en ouvrant les portes et les fenêtres, après la clôture du programme quotidien des mesures.

- La fonction de la variation des émissions de CO₂ par rapport au nombre de personnes a été déterminée en base de l'analyse de la régression linéaire.

La fonction d'interdépendance des émissions de CO₂ (V10) par rapport au nombre de personnes (V12) est représentée graphiquement dans le figure 5.

$$V10=748,93+75,91V12 - r^2=0,356 \quad (1)$$

La fonction peut être écrite:

$$\text{Emissions de CO}_2=748,93+75,91\text{Nr. de pers.} - r^2=0,356 \quad (2)$$

Dans le figure 6 est représentée la probabilité normale.

Dans le figure 7 sont représentées les barres d'erreur.

Nous observons le fait que quand le nombre de personnes augmente, les erreurs baissent.

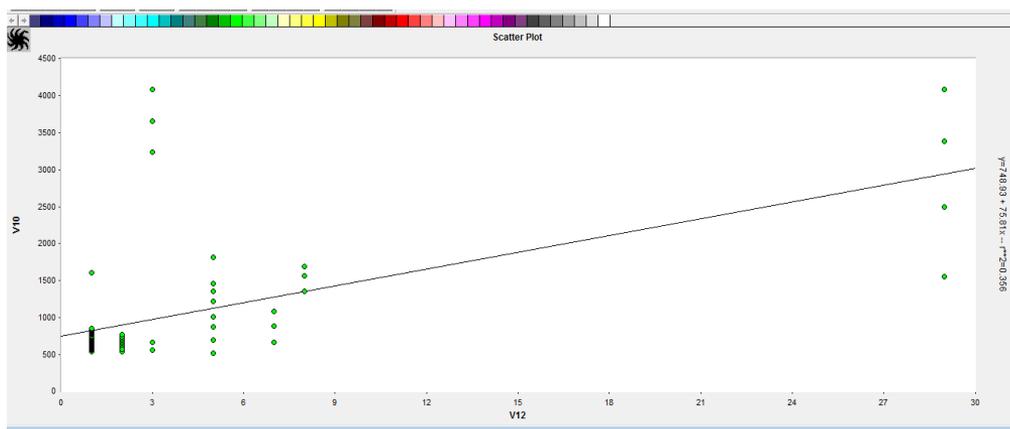


Figure 4. L'évolution des émissions de CO2 (V10) par rapport au nombre de personnes (V12).

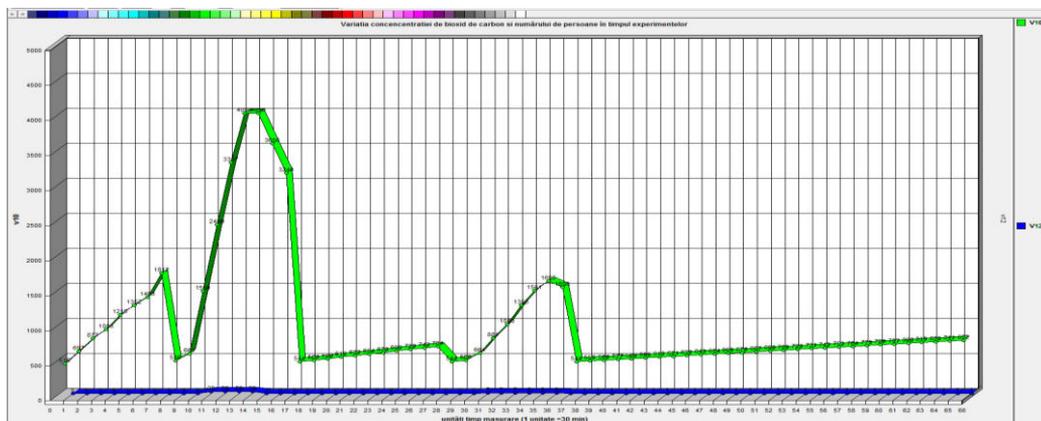


Figure 5. La fonction d'interdépendance des émissions de CO2 (V10) par rapport au nombre de personnes (V12).

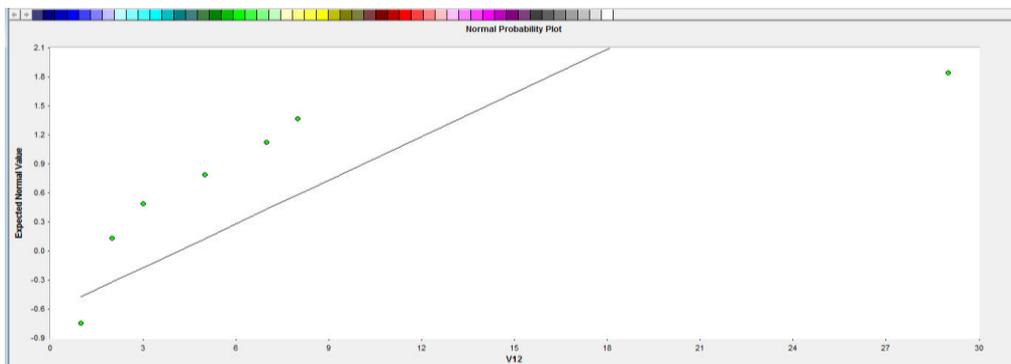


Figure 6. La probabilité normale.

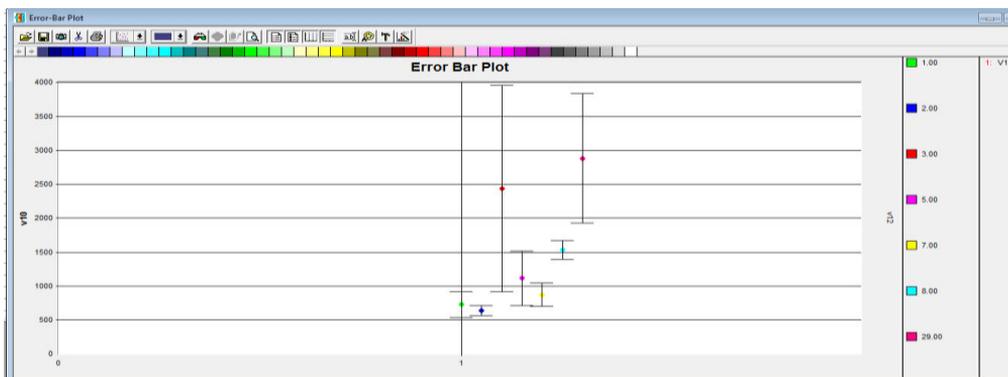


Figure 7. Les barres d'erreur.

Nous présentons :

- L'évolution de la température de l'air intérieur par rapport à la température extérieure, les températures tour/retour de l'eau, les températures tour/retour de l'air

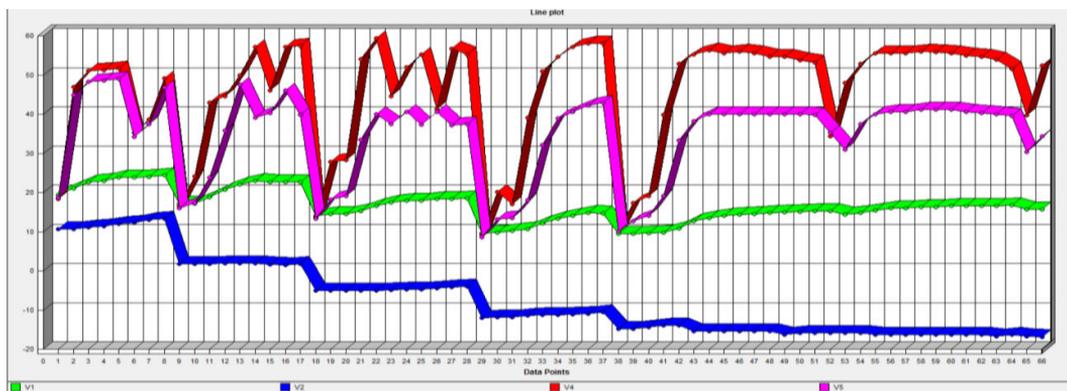


Figure 8. L'évolution de la température de l'air intérieur (V1) par rapport à l'évolution de la température de l'air extérieur (V2) ainsi que les températures tour/retour (V4, V5) agent thermique ventilo-convecteur.

Nous observons le fait que:

- Pour des températures inférieures à 2 °C, la température intérieure descend sous la valeur de confort selon SR EN 15251;
- La température intérieure varie beaucoup, donc la température de confort ne peut pas être maintenue;
- Dans la figure nous pouvons remarquer le moment d'interruption (quand les températures tour/retour de l'air ventilo-convecteur sont égales).

- L'évolution COP (V15) pendant les périodes de mesures

Pour l'évolution COP ont été incluses, en parelle, les mesures déterminantes. La valeur COP de la pompe à chaleur est différente par rapport au nécessaire de chaleur de l'espace desservit (variable par rapport au nombre de personnes et respectivement les apports des émissions de chaleur).

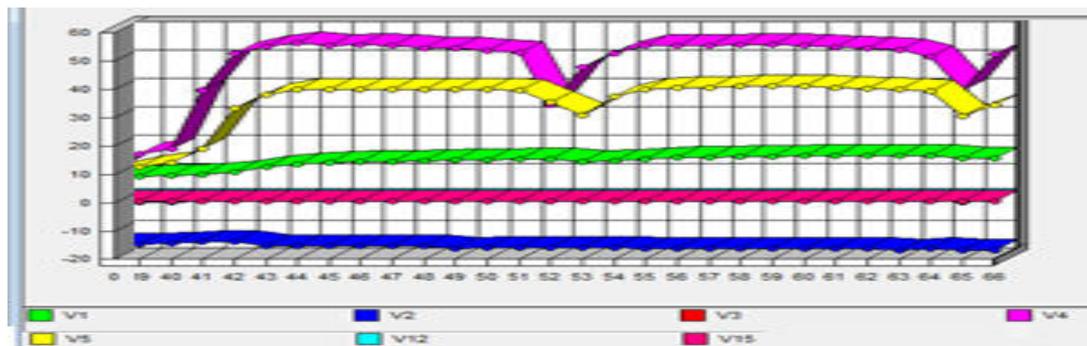


Figure 9. L'évolution des paramètres mesurés et la variation de la performance du système en fonction du nombre de personnes sur le site.

– L'évolution dans le temps des mesures prises et calculées

Dans le graphique du Figure 10 sont représentées toutes les mesures prises et calculées. Nous pouvons observer la variation de la consommation d'énergie en même temps avec l'augmentation de la valeur de la fréquence requise au convertisseur par l'immeuble de contrôle.

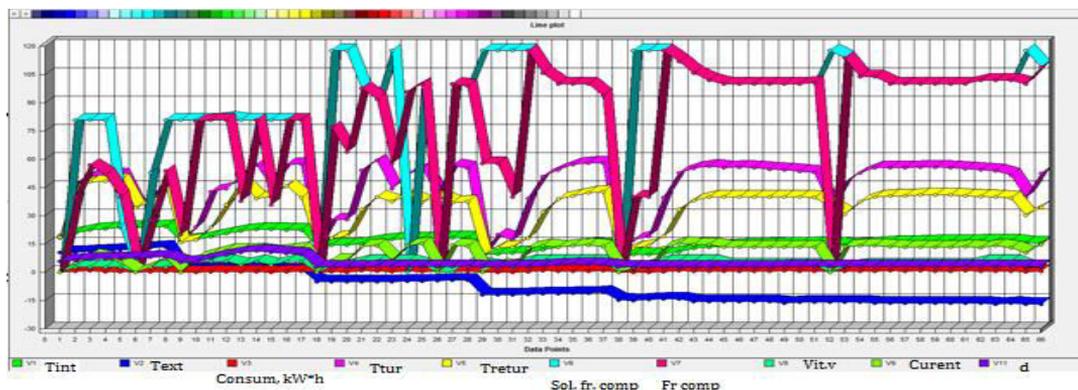


Figure 10. La variation de toutes les mesures suivies

Tableau 1. Le figure des variables préparées pour EQS, selon les dates expérimentales du premier jour

Ora	Nr pers	T int	T ext	Umid	C CO2	P atm	C curent	T cale	T tur	T retur	d	Entalp	Psya	C term sp	Tim*10	Caldura
V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15	V16	V17
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
10,43	5	19,5	10,7	43,5	516	977,8	0	59,5	18,4	18,8	6.041	34,94	952	1,17	195	10,12
11,13	5	21,1	10,8	42,85	696,5	977,6	0,7	56,4	47,1	45	6.578	37,93	1036	1,17	211	57,84
11,43	5	22,7	11,13	42,2	877	977,4	0,9	48,8	51,2	48,3	7.162	41,04	1127	1,16	227	86,96
12,13	5	23,1	11,5	42,1	1005	977,5	0,4	45,4	51,4	48,6	7.326	41,87	1152	1,16	231	85,89
12,43	5	23,9	12,1	40,8	1215	976,8	0,4	42,8	51,8	49,1	7.463	43,03	1174	1,16	239	84,37
13,13	5	23,9	12,3	41,7	1352	976,4	0,2	43,1	35,3	34,3	7.63	43,45	1200	1,16	239	31,95
13,43	5	24,1	13,13	43,9	1463	976,1	0,4	45,3	38,8	37,5	8.139	44,96	1279	1,15	241	44,3
14,13	5	24,5	13,43	44,2	1812	976,6	0,4	43,6	49,3	46,9	8.405	46,04	1320	1,15	245	84,46

Plus loin nous présentons le graphique de la variation des paramètres énergétiques de base:

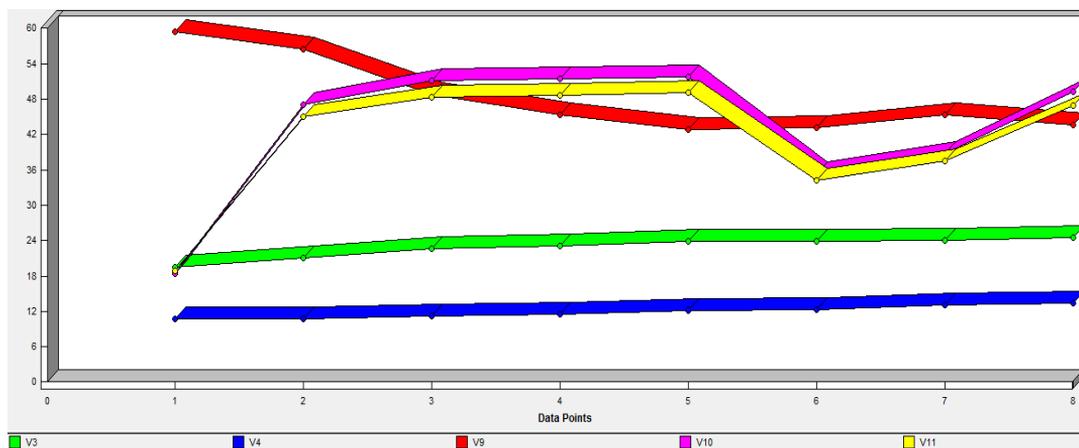


Figure 11. Le graphique de la variation de la température intérieure (V5), la température extérieure (V4), la température de calcul de la pompe à chaleur (V9), la température de l'agent thermique sur la conduite tour (V10), la température de l'agent thermique sur la conduite de l'agent thermique retour (V11), pour le premier jour d'essai du système de chauffage.

- La mise en place des fonctions multi-variables par de régression linéaire à l'aide du logiciel d'analyse statistique EQS.

Les fonctions de dépendances des différentes mesures ont été déterminées sur la base de l'analyse de régression hiérarchique avec EQS. Le modèle du bâtiment réalisé dans le TRNSYS est présenté dans le figure 12.

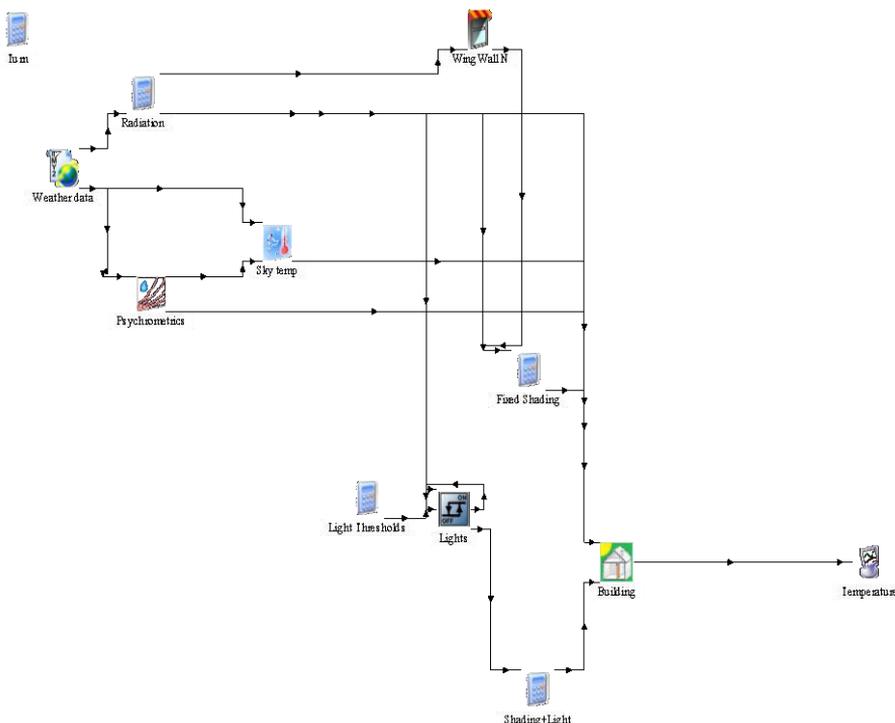
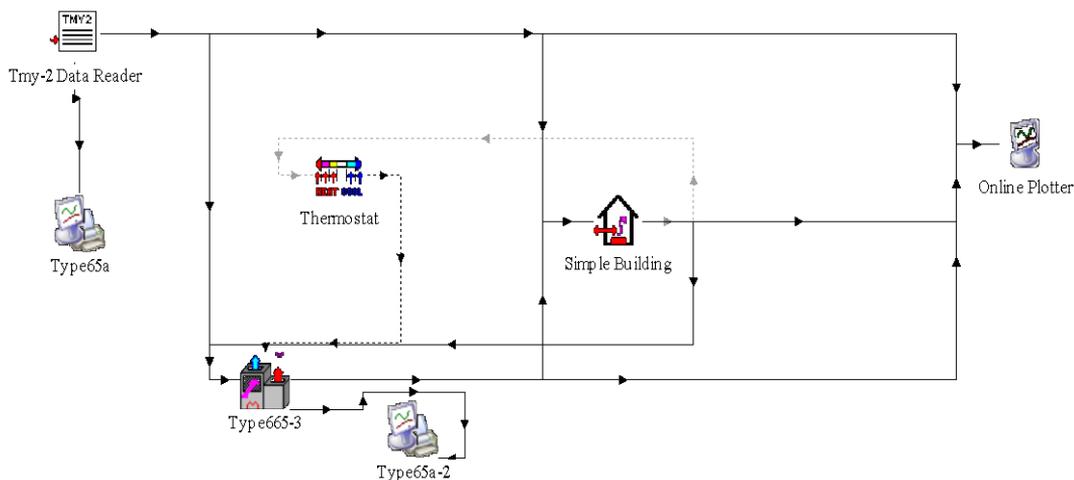


Figure 12. Le modèle du bâtiment réalisé dans le TRNSYS.

3.2. Laboratoires de recherche virtuels. Le modèle du système de chauffage de la salle réalisé dans le TRNSYS

Pour l'analyse du comportement dans l'exploitation de la pompe à chaleur air/eau et respectivement de l'enceinte réchauffée a été réalisé un modèle dans le TRNSYS, en utilisant le modèle de la pompe à chaleur, Type 665 et le modèle d'une salle simplifiée décrite par des coefficients de transmittance thermique déterminés à l'aide du modèle complet du bâtiment. Le modèle est présenté dans le figure 13.



a. Le modèle de l'installation du chauffage dans le TRNSYS

Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
10	Specific heat of air stream	1.007				kJ/kg.K More...
11	Scale factor for heat pump	1.0				- More...
12	Total air flow rate	300				V/s More...
13	Rated indoor fan power	35.				W More...
14	Rated outdoor fan power	81.				W More...
15	Auxiliary heat mode	1				- More...
16	Capacity - stage 1 heater	10				kW More...
17	Capacity - stage 2 heater	0				kJ/hr More...

b. L'extrait des paramètres considérés dans le modèle de la pompe à chaleur, Type 665

Figure 13. Le modèle du système de chauffage dans le TRNSYS

Suite à la simulation, a été réalisé le graphique de l'évolution dans le temps de la température extérieure, la température intérieure dans l'enceinte analysée et la température de l'air introduit (figurex 14 et 15).

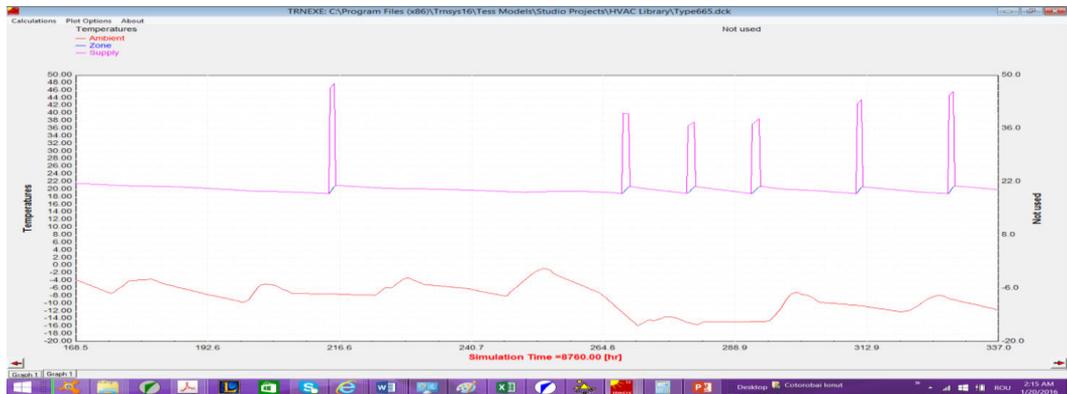
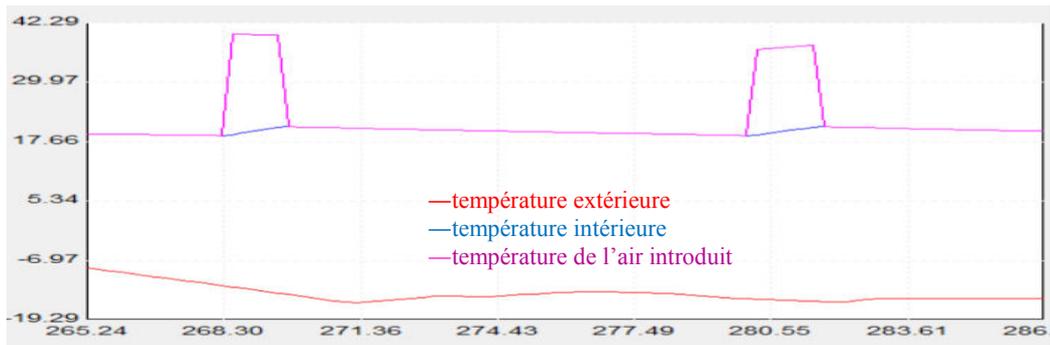
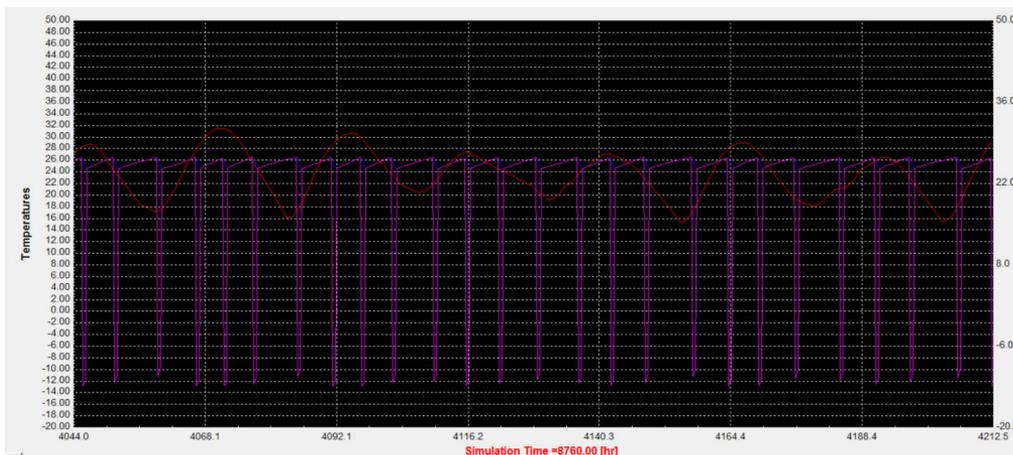


Figure 14. L'évolution de la température extérieure et intérieure

Dans le figure ci-dessous, nous voyons l'évolution de la température extérieure et intérieure pendant 21 heures de fonctionnement utile de l'installation.



a. L'évolution de la température extérieure et intérieure pendant l'hiver



b. L'évolution de la température extérieure et intérieure pendant l'été

Figure 15. L'évolution de la température extérieure et intérieure

Nous pouvons observer le fait que la température de confort n'est pas atteinte ($t=20^{\circ}\text{C}$).

- *Le graphique d'évolution dans le temps du coefficient de performance (extrait) (figure 16):*

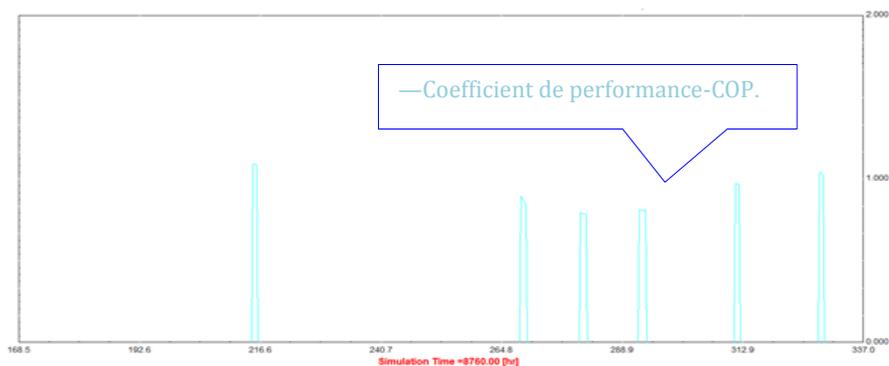


Figure 16. L'évolution dans le temps de la valeur COP (extrait)

- *Le graphique d'évolution dans le temps de l'EER (extrait) (figure 17):*

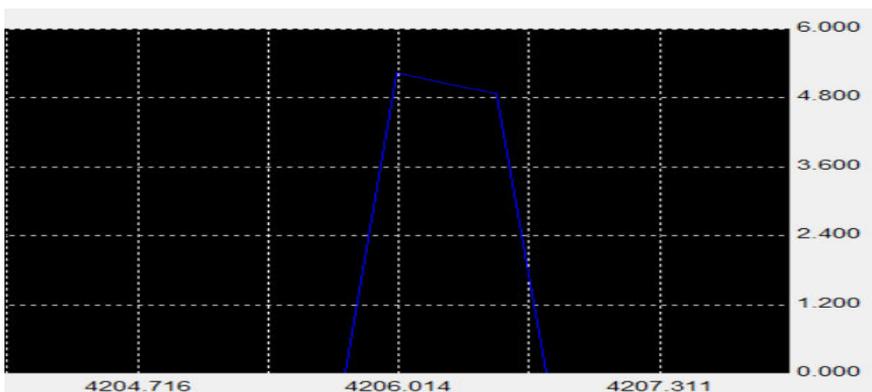
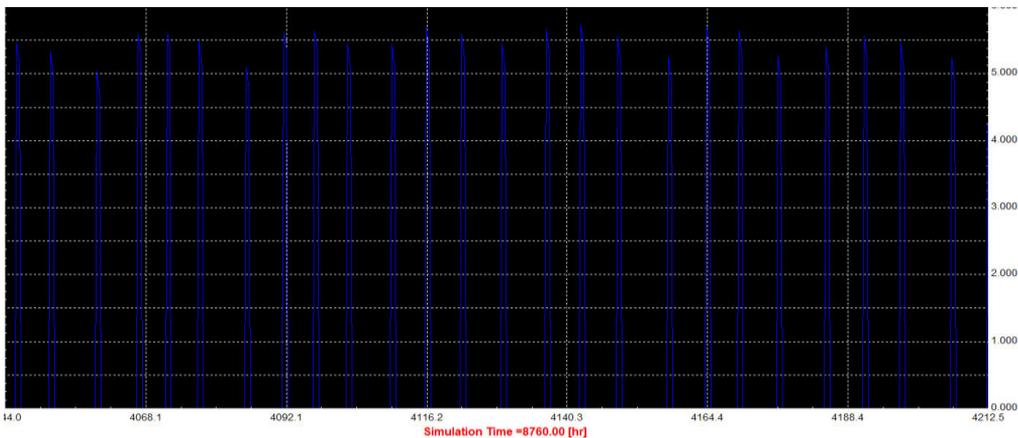


Figure 17. L'évolution dans le temps de la valeur EER (l'efficacité énergétique en mode de refroidissement) simulée dans le TRNSYS (extrait).

- *Le graphique d'évolution dans le temps du bilan énergétique (extrait) (figure 18):*

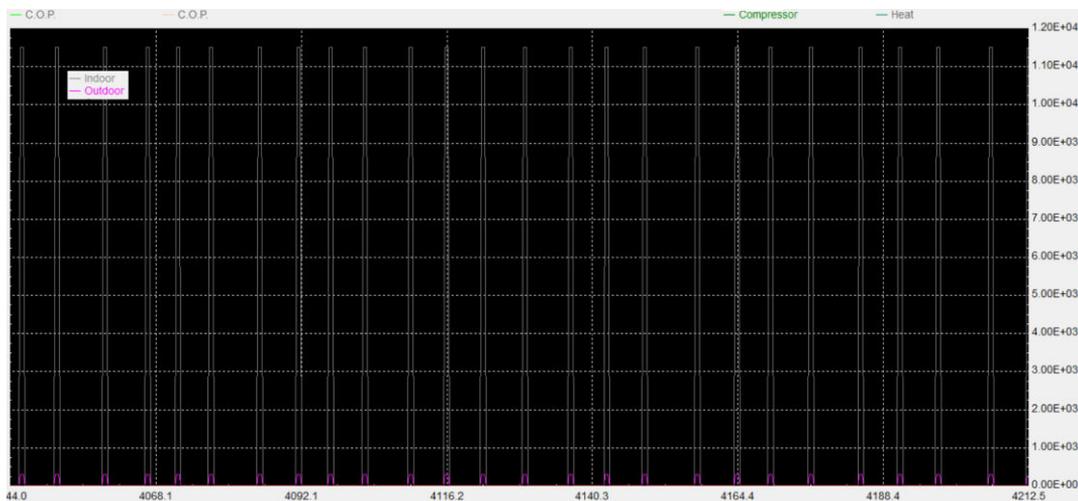


Figure 18. Le bilan énergétique de l'enceinte pendant 2 heures de fonctionnement (extrait).

Dans ce graphique est représentée la quantité d'énergie électrique consommée pour produire de la chaleur, dans le but de réchauffement de la salle, pendant le fonctionnement de l'installation.

4. CONCLUSIONS

En ce qui concerne les performances fonctionnelles de la pompe à chaleur en mode de réchauffement

La pompe à chaleur analysée, contribue à la réalisation des réductions de la consommation d'énergie pendant l'exploitation, par rapport à la solution classique existante. Des dysfonctionnalités de l'installation et respectivement la réduction du rendement de la pompe à chaleur, et la réduction du coefficient réel de performance énergétique ont été déterminées par l'utilisation de l'équipement non corrélé avec le fonctionnement (ex. capacité ventilo-convecteur de 2.5 fois plus petite), l'isolation incomplète du trajet de l'agent thermique depuis la pompe à chaleur vers le ventilo-convecteur, le temps limitée d'évaluation des possibilités de l'installation.

Une autre observation est qu'aux températures extérieures inférieures à 15 °C, la température de confort est difficilement atteinte, ce qui conduit à un inconfort thermique temporel. Pour des raisons thermo techniques de l'enveloppe, mais aussi du bilan énergétique de la salle examinée, nous pouvons faire les conclusions qu'il est nécessaire d'isoler le mur extérieur, de préférence à l'extérieur.

La durée de l'examen de ce système a été très petite, d'où résulte une dérivation de la valeur du coefficient de performance du celui documenté. Une proposition pour cette étude serait l'examen du comportement, tant de la salle, que de l'équipement, pendant un an ou au moins dans plusieurs circonstances climatiques.

En ce qui concerne la qualité de l'air

Le fonctionnement de la pompe en mode de recirculation intégrale de l'air à l'intérieur, conduit à l'accumulation de CO₂, atteignant des concentrations plus supérieures aux valeurs limitées admissibles (si le nombre de personnes est 29, la concentration de CO₂ dépasse approximativement 9 fois les limites admissibles en seulement deux heures de fonctionnement en continu, sans ventilation).

En ce qui concerne les performances fonctionnelles de la pompe à chaleur en mode de refroidissement

L'évaluation de l'EER à l'aide de TRNSYS a mis en évidence une valeur inférieure à l'indice de performance par rapport à celle théorique, indiquée par les producteurs. Le motif : la capacité réduite de céder l'énergie par le ventilo-convecteur existant.

BIBLIOGRAPHIE

1. I. Sarbu, C. Sebarchievici, *Pompe de caldura*, Ed. Politehnica, Timisoara 2010.
2. V. Radenco scl., *Instalatii de pompe de caldura*, Ed. Tehnica., Bucharest, 1985.
3. Zirngibl J. Standardisation activities for heat pumps REHVA Journal, vol. 4.6. nr 3 2009.
4. *Meteonorm Theory Manual Version 7.1 / Juillet 2015*.
5. TRNSYS 17 Livre d'utilisation.
6. EQS 6 Structural Equations Program Manual, Peter M. Bentler, Université de Californie, Los Angeles.
7. Cotorobai V. *Sisteme de Generare si Utilizare a Energiei prin Valorificarea Energiei Regenerabile si Deseuri*, Ed. Cermi 2012, Iasi.
8. *Aplicații ale pompelor de căldură la încălzirea/răcirea clădirilor, Instalații Pentru Construcții și Confortul Ambiental*, Ed. Politehnica. Timișoara 2013.
9. *Guide concernant l'élaboration et la soutenance des thèses de master CEP UTM*, 2010
10. www.mvsoft.com
11. www.nibe.eu
12. www.testo.com
13. www.omega.com
14. <http://simulationresearch.lbl.gov/wetter/download/LBNL-3908E.pdf>