

Simulation de la consommation d'énergie d'un aréna à l'aide du logiciel DOE-2.1E

Radu Zmeureanu
Université Concordia
Montréal (Québec)
zmeur@cbs-engr.concordia.ca

Ethel Mayrena Zelaya
Ressources naturelles Canada
CTEC, Varennes (Québec)
ezelaya@NRCan.gc.ca

Daniel Giguère
Ressources naturelles Canada
CTEC, Varennes (Québec)
dgiuguere@NRCan.gc.ca

RÉSUMÉ

Ce document présente l'approche développée pour simuler les phénomènes thermiques qui ont lieu à l'intérieur d'un bâtiment de type aréna au Canada. L'outil de simulation a été développé en vue d'étudier la sensibilité de diverses technologies éconergétiques appliquées spécifiquement aux arénas. L'originalité de ce travail réside dans l'utilisation du logiciel de calcul énergétique DOE-2.1E pour simuler ses échanges thermiques. Ce document présente principalement la structure de l'outil de simulation, une brève description des routines de calculs qui ont été développées, ainsi que quelques résultats préliminaires obtenus lors de la validation du modèle.

INTRODUCTION

Des enquêtes réalisées dans les arénas du Québec, ont révélé que la majorité d'entre eux sont âgés de plus de vingt ans, ce qui nécessite la rénovation des systèmes de réfrigération. D'autres études ont démontré qu'il y a au Québec un potentiel d'économies d'énergie de 270 GWh/an avec un potentiel de réduction des émissions de gaz à effet de serre de 81 kilotonnes-équivalents de CO₂/an, par l'implantation de mesures d'efficacité énergétique sur les systèmes de réfrigération/chauffage des arénas. Ce potentiel est actuellement quasi-inexploité. Il est donc important de mettre en place des outils d'analyse énergétique adaptés aux besoins des arénas pour faciliter l'estimation des économies selon différents scénarios de conception et de fonctionnement.

La consommation d'énergie du système de réfrigération d'un aréna est influencée par la performance des refroidisseurs et par des phénomènes thermiques simultanés et complexes qui ont lieu à l'intérieur de la zone de la patinoire. Ces phénomènes thermiques sont : le rayonnement entre la surface de la glace et les surfaces intérieures, la convection due aux mouvements d'air et à la température de l'air dans l'enceinte de la patinoire, le rayonnement des appareils d'éclairage sur la patinoire et la condensation de la vapeur d'eau sur la surface glacée.

Le Centre de la technologie de l'énergie de CANMET (CTEC) en collaboration avec l'Université Concordia a développé un outil informatique qui simule ces phénomènes thermiques et calcule la consommation énergétique d'un aréna. L'outil d'analyse a été créé à l'aide du logiciel DOE-2.1E en utilisant l'approche des routines intégrées, appelées des « *Functional Values* ». Ce document analyse plusieurs routines de calculs qui ont été développées pour simuler les phénomènes thermiques. L'article présente l'organigramme du logiciel, une brève description des modèles utilisés ainsi que les résultats de la calibration, réalisée en comparant les résultats des simulations aux lectures du monitoring d'un aréna existant.

MÉTHODOLOGIE

La difficulté principale dans la réalisation de ce projet résidait dans l'utilisation de DOE-2.1E, logiciel reconnu pour ses performances dans la simulation des bâtiments commerciaux. Ce logiciel de calcul énergétique n'est pas adapté à simuler directement les arénas qui présentent diverses particularités par leur conception telles que l'estimation de la charge frigorifique de la glace.

Le modèle de référence qui a été développé est composé de 5 zones thermiques qui sont : (1) la patinoire, (2) une zone fictive utilisée pour calculer la charge de la glace, (3) les gradins, (4) l'administration et (5) les vestiaires des joueurs et les douches.

La glace de la patinoire est simulée comme un mur intérieur ayant une résistance thermique négligeable. D'un côté du mur est la patinoire, zone thermique appelée PATINOIRE, et de l'autre côté est la zone fictive appelée GLACE. La zone de la patinoire est simulée comme un espace où la température intérieure n'est pas contrôlée. La zone FICTIVE est définie avec une superficie équivalente à celle de la glace. Sa température intérieure est égale à la température de la glace (par exemple, -4.5°C). La charge de refroidissement de cette zone, qui est en réalité la charge de la glace, est calculée à l'aide de la routine NEW-LOAD.

La zone des GRADINS est chauffée à une température de consigne de 18 °C . Il y a un transfert de chaleur entre la zone des gradins et la zone patinoire à travers un mur intérieur de type AIR, c'est-à-dire un mur fictif qui n'emmagasine pas de la chaleur. Les autres zones thermiques, telles que les vestiaires et l'administration sont chauffées à une température de 21°C.

Le modèle de référence est représentatif de la situation actuelle des arénas. Il y a un système de réfrigération pour la glace, un système de chauffage/ventilation pour la zone des gradins et un autre pour les autres espaces. Le système de ventilation de la zone GRADINS utilise un appareil de type PSZ (*Package Single Zone*). Il est composé d'un serpentin de chauffage électrique et d'un serpentin récupérateur de chaleur. Le système de ventilation des zones « vestiaires et services administratifs » est de type HVSYS (*Heating and Ventilating System*). Il utilise un serpentin de chauffage électrique. Des plinthes électriques ont été placées en périphérie.

La charge de réfrigération est satisfaite par plusieurs compresseurs réciproques refroidis à l'air. Les évaporateurs sont à expansion directe. Il y a une pompe à débit constant qui circule la saumure entre l'évaporateur et l'échangeur qui est installé au-dessous de la glace. Il n'y a pas de récupération de chaleur du système de réfrigération.

La demande en eau chaude domestique et en eau de resurfaçage est satisfaite par un chauffe-eau au gaz naturel et par un réservoir d'emmagasiner.

Le module PLANT ne contient aucun équipement mécanique tel que chaudières ou compresseurs, les besoins du système de réfrigération étant tous calculés et comblés dans le module SYSTEM. Ce module calcule la consommation énergétique pour le chauffe-eau (par exemple au gaz naturel) et additionne les consommations d'électricité estimées dans les modules LOADS et SYSTEMS. Finalement, ces résultats sont transférés au module ÉCONOMICS pour estimer le coût annuel de l'électricité, selon la structure tarifaire d'Hydro-Québec et le coût du gaz naturel, selon la structure tarifaire de Gaz Métropolitain.

STRUCTURE DE L'OUTIL

L'outil de simulation a été développé à l'aide du logiciel DOE-2 en utilisant l'approche appelée <<Functional Values>>.

La routine désignée comme « *Functional values* » est une routine intégrée, qui est couplée à DOE-2.1 à

travers certaines portes laissées ouvertes par les concepteurs du logiciel. La nouvelle routine permet d'influencer les résultats du DOE-2 en introduisant des nouveaux algorithmes ou modifiant certains calculs que le logiciel utilise habituellement; elle permet aussi de lire des données externes. Le couplage est réalisé sans avoir à recompiler le programme. De plus, les routines intégrées peuvent être utilisées pour produire des rapports horaires qui permettent de vérifier les résultats des modifications. La comparaison avec les rapports horaires standard du DOE-2 montre si le transfert des données a été bien réalisé entre les nouvelles routines intégrées et le logiciel DOE-2. Les routines intégrées peuvent être utilisées seulement dans les modules LOADS et SYSTEMS.

Il y a quatre routines intégrées dans le module SYSTEMS qui permettent de simuler les influences de la glace sur la charge thermique de l'aréna et de simuler différentes stratégies d'économie d'énergie (Figure 1). Le transfert de certaines variables entre les nouvelles routines est réalisé à l'aide des fichiers temporaires (FOR063, FOR064 et FOR066). Les caractéristiques d'opération du système de réfrigération (e.g., nombres de compresseurs, horaire d'opération, température de la glace pendant le jour et la nuit, les courbes de performances des compresseurs) sont introduites par l'utilisateur à l'aide du fichier FOR055.

- ✓ La routine NEW-LOAD calcule la charge thermique de la zone GLACE, qui remplace la valeur estimée par DOE-2. La routine est couplée à DOE-2 à la porte d'entrée <<TEMDEV-1>>. La charge de réfrigération est transférée vers la routine CHILLER à l'aide du fichier FOR063.
- ✓ La routine CHILLER simule la consommation d'énergie du système de réfrigération composé des compresseurs et pompes à saumure ; la routine calcule aussi le rejet de chaleur maximum à récupérer. Le couplage est réalisé à la porte d'entrée <<PTAC-IZ>>. Le rejet de chaleur peut être utilisé pour réduire la consommation d'énergie pour l'eau chaude domestique. Dans ce cas les informations sont passées vers la routine DOUCHES à l'aide du fichier FOR064. Si le rejet est utilisé pour réduire la consommation d'énergie de chauffage, les informations sont passées vers la routine RECUPER à l'aide du fichier FOR066.
- ✓ La routine RECUPER calcule la récupération de chaleur réalisée, en fonction de l'efficacité de l'échangeur thermique, des besoins des systèmes de chauffage et du rejet thermique disponible ; elle estime aussi les besoins en chauffage qui restent à

satisfaisant après la récupération de la chaleur. Le couplage est réalisé à la porte d'entrée <plant-after-function>>.

- ✓ La routine DOUCHES calcule les besoins énergétiques pour l'eau chaude domestique en tenant compte de la récupération de chaleur de la désurchauffe.

ROUTINE NEW-LOAD

Le bilan thermique de la zone patinoire est effectué dans la routine NEW-LOAD. Cette dernière calcule la charge thermique de réfrigération de la glace en additionnant [ASHRAE 1994] :

Qrad - la charge due au rayonnement entre le plafond et la glace ;
Qres - la charge due au resurfaçage ;
Qconv - la charge due à la convection ;
Qcond - la charge due à la condensation de la vapeur d'eau ;
Qray - la charge due au rayonnement produit par l'éclairage.

Cet article présente le modèle développé pour l'estimation du Qrad.

La charge de la glace due au rayonnement dans la zone patinoire est calculée en utilisant un modèle de type corrélation, développé séparément. Le logiciel DOE-2 ne calcule pas la température de la surface intérieure des murs et par conséquent il est impossible d'utiliser un modèle analytique direct pour l'estimation de l'échange radiatif. On a donc utilisé un modèle thermique détaillé, développé avec le logiciel TRNSYS. Les modèles basés sur DOE-2 et TRNSYS utilisent les mêmes données météorologiques, la même structure des murs et de toit et les mêmes conditions intérieures.

Le modèle de type corrélation a été développé pour calculer la charge de la glace en fonction des paramètres suivants : (1) la température de l'air dans la zone de la patinoire, (2) la température de la glace, (3) l'émissivité des surfaces, (4) la température d'enseulement à la surface extérieure de la toiture, et (5) la résistance thermique de la toiture.

Le modèle a la forme suivante :

$$Q_{\text{rad}} = A [a + b \cdot \epsilon_{\text{ceiling}} + c \cdot T_{\text{solair}} + d \cdot (T_{\text{air}} - T_{\text{glace}})]$$

[W]

où :

$\epsilon_{\text{ceiling}}$: est l'émissivité du plafond de la zone patinoire;

T_{solair} : est la température d'enseulement pour une surface horizontale, °C ;

T_{air} : est la température de l'air intérieur près de la surface intérieure du plafond, °C;

T_{glace} : est la température de la glace, °C;

Il est à noter que la température T_{air} est considérée comme étant égale à la température de l'air dans la zone gradins (ex. 15 ou 18°C).

Le modèle TRNSYS de l'aréna a été utilisé avec les quatre paramètres suivants:

$T_{\text{glace}} = -1.0^{\circ}\text{C}$ et -5.0°C

$\epsilon_{\text{ceiling}} = 0.05$ et 0.9

$T_{\text{air}} = 15.0^{\circ}\text{C}$ et 18.0°C

$R_{\text{toit}} = 1.76 \text{ m}^2\text{C/W}$ (R-10) et $3.52 \text{ m}^2\text{C/W}$ (R-20).

La hauteur du plafond est de 26 pi.

Les paramètres précédents ont été combinés et introduits dans la simulation avec TRNSYS. Près de 26 400 valeurs horaires ont été emmagasinées concernant le flux par rayonnement entre le plafond et la glace par rapport aux quatre paramètres. Les données ont été séparées et filtrées selon le cas (1) $T_{\text{solair}} > T_{\text{air}}$ et (2) $T_{\text{solair}} < T_{\text{air}}$. L'analyse statistique a été effectuée à l'aide du logiciel STATGRAPHICS pour obtenir les coefficients de corrélation a, b, c et d. Les coefficients de corrélation obtenus pour le cas d'un plafond non-suspendu avec une résistance thermique R-20 sont présentés au Tableau 1.

Charge totale

La charge thermique de réfrigération, à transférer dans le module SYSTEMS, est égale à [ASHRAE 1994] :

$Q_{\text{glace}} = (\text{Pertes du système}) \cdot (Q_{\text{rad}} + Q_{\text{res}} + Q_{\text{conv}} + Q_{\text{cond}} + Q_{\text{ray}})$, où les "Pertes du système" varient selon le type de système de réfrigération et l'efficacité du système de réfrigération.

ROUTINE CHILLER

Les courbes de fonctionnement des compresseurs et des pompes ont été générées à partir des données des fabricants. Les courbes proposées par DOE correspondent plus à l'utilisation des refroidisseurs pour les systèmes de climatisation qu'à la réfrigération. Les courbes tiennent compte notamment du travail des compresseurs à charge partielle, modifient leur capacité de refroidissement ainsi que leur consommation

électrique en fonction de la température de la saumure à la sortie de l'évaporateur et de la température de l'air qui refroidit le condenseur à air.

La puissance électrique absorbée par les compresseurs pour la glace est estimée selon la méthode DOE-2 :

$$\text{Puissance électrique} = \text{Capacité nominale} * \text{EIR} * [-\text{CAP-FT}] * [-\text{EIR-FT}] * [-\text{EIR-FPLR}]$$

où :

EIR = 1/COP; le coefficient de performance COP est défini aux conditions de design (charge pleine, 6.7°C eau glacée et 30°C au condenseur); EIR = 0.3632;

Pour un système de réfrigération à expansion directe où les compresseurs fonctionnent à pression de tête variable, les courbes obtenues selon les données du manufacturier sont les suivantes :

$[-\text{CAP-FT}]$ = courbe corrective de la capacité du refroidisseur en fonction de la température de la saumure à la sortie à l'évaporateur (Tchil) et la température de l'air qui refroidit le condenseur à air (Text) :

$$\text{CAP-FT} = 1.339912 + 0.021238 \cdot \text{Tchil} - 0.00723 \cdot \text{Text};$$

$[-\text{EIR-FT}]$ = courbe corrective du coefficient EIR en fonction de Tchil Text :

$$\text{EIR-FT} = 0.317813 - 0.00779 \cdot \text{Tchil} + 0.008875 \cdot \text{Text};$$

$[-\text{EIR-FPLR}]$ = courbe corrective du coefficient EIR du compresseur lorsqu'il travaille à charge partielle (PLRC):

$$[-\text{EIR-FPLR}] = 1.03596 - 0.03569 * \text{PLRC}$$

Le PLRC est égal au rapport entre la charge de la glace et la somme des capacités corrigées des compresseurs en opération ou tous les compresseurs.

ROUTINE RECUPER

La récupération d'énergie qui sert à chauffer l'air des GRADINS à l'aide de la chaleur dégagée par le système de réfrigération est calculée dans la routine RECUPER. La routine RECUPER fait appel à la récupération une fois que la charge de chauffage a été déterminée dans le module SYSTEMS.

ROUTINE DOUCHES

Les besoins en eau chaude pour le resurfaçage ou pour les douches et lavabos, l'équipement utilisé et la source d'énergie (gaz naturel ou électricité) sont définis sous

la commande PLANT-ASSIGNMENT du module SYSTEMS. L'horaire d'utilisation de l'eau chaude totale ainsi que le débit maximum d'eau chaude sanitaire y sont définis.

La température d'alimentation en eau froide provenant du réseau d'aqueduc est définie par un horaire mensuel.

Le débit de chaleur récupérée est calculé par :

$$Q = nr * mr * cpr * (Ts - Tm) * \text{effic}$$

où

nr est le nombre de désurchauffeurs utilisés pour la récupération;

mr est le débit massique de réfrigérant;

cpr est la chaleur spécifique du réfrigérant;

Ts est la température de désurchauffe;

Tm est la température de mélange;

effic est l'efficacité de transfert de chaleur.

La température de mélange est donnée par la résultante entre la température à l'entrée du réseau d'aqueduc et la température dans le réservoir de stockage, cette dernière étant considérée comme uniforme et constante dans le réservoir.

Le rejet thermique Q est ensuite transféré, à l'aide de la nouvelle routine, dans la variable DHWWST (rejet thermique disponible). La consommation d'énergie servant au chauffage de l'eau est ensuite estimée, en utilisant l'algorithme original de DOE-2, en réduisant les besoins énergétiques par (1) la chaleur de rejet disponible (la variable DHWWST) et (2) par l'énergie emmagasinée dans le réservoir. La chaleur récupérée à l'heure t est utilisée comme rejet de chaleur disponible à l'heure t+1.

MESURES D'ÉCONOMIE D'ÉNERGIE SIMULÉES

Les mesures suivantes peuvent être simulées à l'aide du fichier arena :

- ✓ L'installation d'un échangeur de chaleur pour préchauffer l'alimentation d'eau chaude domestique avec la chaleur des condenseurs.
- ✓ L'installation des échangeurs de chaleur pour récupérer la surchauffe des gaz de compression afin de produire l'eau chaude domestique et de resurfaçage.
- ✓ L'installation d'un échangeur de chaleur pour préchauffer l'alimentation de l'air neuf du bâtiment en entier ou seulement du système pour la zone des gradins.

- ✓ La récupération de chaleur avec une température de condensation variable.
- ✓ L'arrêt de la pompe à saumure la nuit ou durant les périodes sans charge.
- ✓ L'utilisation d'une pompe à saumure à 2 vitesses.

VALIDATION

BÂTIMENT DE RÉFÉRENCE

L'aréna Témoin est situé au Nord de Montréal. Le bâtiment est construit sur deux étages. Il comprend une patinoire intérieure avec les locaux de services électromécaniques, les vestiaires des joueurs et les douches au sous-sol. À l'étage, la cafétéria ou casse-croûte, les gradins pour les spectateurs et le soutien administratif
Le bâtiment a une surface de 2800 m² donc 1800 m² concernent la glace.

DONNÉES GÉNÉRALES :

Occupation

Mois d'opération : 11 mois par an
Temps d'occupation : 80 heures /sem

Conditions ambiantes

T ° gradins : 18 °C
T ° vestiaires : 21 °C
T ° administration : 21 °C
Plafond de la patinoire : 7 ° et 50% d'humidité (selon les calculs de charge)

Il y a abaissement de température dans la zone des gradins (15 °C) et dans le reste du bâtiment (13 °C) durant la période d'inoccupation.

Construction :

Murs extérieurs : R-12
Toiture : R-10
Fenêtres extérieures : R-2 (verre double)
La surface totale de fenêtrage est de moins de 30% de la surface totale des murs.

Type d'éclairage

Patinoire : 38 lampes à halogénure métallique
Restant : lampes doubles fluorescentes
Charge totale : 30kW (10.71W/m²)

Eau chaude

Type d'appareil : chauffe-eau au gaz naturel + réservoir d'emmagasinage de 7500 litres.
Utilisation : douches et resurfaçages
T ° surfaçage : 72 °C
Volume d'eau par surfaçage : 450 litres
Nombre de surfaçages en moyenne : 70 /sem

SYSTÈMES CVCA

Système No1 : zones administration et vestiaires
Type : Volume constant, 3303 L/s
P.A.F. : 100% air frais
Chauffage : serpentin électrique de 50kW, roue thermique de 70% efficacité moyenne
La périphérie des zones est chauffée à l'aide de plinthes électriques. Il y a abaissement de température en période inoccupée.
Le hall d'entrée est chauffé avec des aérothermes électriques muraux.

Système No2 : zones des gradins
Type : Volume constant, 7080 L/s
P.A.F. : 10-15% air frais
Chauffage : serpentins électriques de 71kW, récupération de chaleur.
Le chauffage de l'air se fait exclusivement par le système de ventilation.

Les volets des prises d'air neuf (P.A.F.) des systèmes de ventilation No1 et No2 sont fermés en période d'inoccupation.

Les services électromécaniques ne font pas l'objet de la présente modélisation étant donné leur faible importance dans le calcul de la dépense énergétique totale du bâtiment.

Il n'y a pas de climatisation dans aucune des zones thermiques.

SYSTÈME DE RÉFRIGÉRATION

Type de réfrigérant : R-22 primaire
Type de réfrigérant secondaire : saumure
COP du système : 2.94
Compresseurs : 2 compresseurs de 50 kW chacun
Refroidisseur : noyé de 280 000 kW de capacité
Condenseur : refroidit à l'air, de 350 000 kW de capacité
Pompe à saumure : vitesse variable, 54 L/s, 19 kW.

VALIDATION DE LA MODÉLISATION

Le logiciel DOE-2 n'offre pas les courbes requises pour le fonctionnement des compresseurs en mode réfrigération. Des nouvelles courbes, correspondant à la situation actuelle, ont été générées et intégrées dans le modèle.

Le modèle a été réalisé pour estimer la consommation d'énergie de l'aréna Témoin selon sa conception architecturale, ses systèmes CVCA-R et les données de monitoring journalières obtenues.

L'aréna Témoin est un aréna instrumenté qui permet la prise des données de monitoring aux 5,10 et 15 minutes selon le type de donnée.

Voici la liste des données qui ont été monitorées à l'aréna Témoin :

- ✓ Temps de fonctionnement des compresseurs;
- ✓ Température de la glace;
- ✓ Température de l'enceinte;
- ✓ Demande et pointe électrique ;
- ✓ Consommation électrique journalière;
- ✓ Température de l'enceinte ;
- ✓ Ampérage des compresseurs ;
- ✓ Taux d'humidité dans l'enceinte ;
- ✓ Température d'alimentation du système gradins.

Le modèle a été calibré en comparant les résultats obtenus des valeurs horaires DOE-2.1 (hourly end-use) avec les données de monitoring. Plus de 200 points de contrôle ou débogage ont été intégrés au modèle afin de détecter les erreurs dans la modélisation du système de réfrigération.

La calibration du modèle a été effectuée dans un processus itératif avec plusieurs ajustements des paramètres et des modifications aux routines de calcul.

La figure 3 représente la température des gradins sur une période de 24 heures. La température monitorée ne rejoint le point de consigne que durant la nuit. La température de simulation se colle bien aux mesures et démontre le même comportement du déficit en puissance de chauffage des gradins.

La figure 4 montre la consommation d'énergie des compresseurs sur une même période de 24 heures. La courbe des données monitorées varient dans le temps en fonction des charges instantanées comme le surfacage. La courbe de la consommation simulée est par contre parfaitement droite parce que les charges instantanées ont été réparties également durant la journée. La consommation moyenne journalière simulée est 4% supérieure à la consommation monitorée.

CONCLUSIONS

Les résultats de la modélisation démontrent la validité du modèle sur une base journalière. Le modèle devra être validé sur une base horaire avec au moins un autre site de monitoring avant de pouvoir être utilisée comme outil de simulation pour les arénas au Québec.

REMERCIEMENTS

Ce projet a été réalisé dans le cadre du Programme d'intervention en réfrigération dans les arénas du Québec (PIRAQ).

Nous remercions nos partenaires subventionnaires de ce projet qui sont la Fédération canadienne des municipalités du Québec (FCM), l'Association des arénas du Québec (AAQ), l'Office de l'efficacité énergétique (OEE), l'Agence de l'efficacité énergétique du Québec (AEE), Hydro-Québec et la Société en Commandite Gaz Métropolitain.

Nous désirons également remercier le Groupe-Séguin experts-conseils inc ainsi que nos autres collaborateurs pour leur précieuse contribution.

RÉFÉRENCES

- ASHRAE Handbook: Refrigeration Systems and Applications, *SI Edition, 1994.*
- INCROPERA, Frank P. et David P. DE WITT. *Fundamental of Heat and Mass Transfer*, 3rd edition , New York, John Wiley & Sons inc., 1990.
- MCQUISTON, Faye C., Jerald D. PARKER et Jeffrey D. SPITLER. *Heating, Ventilating, and Air Conditioning: analysis and design*, 5th edition, New York, John Wiley & Sons inc., 2000.
- ASHRAE Handbook: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, *ANSI/ASHRAE, 1989.*
- ASHRAE Handbook: HVAC Systems and Equipment, *SI Edition, 1992.*
- "Potential electricity savings in ice arenas and curling rinks through improved refrigeration plant" de l'Association Canadienne de l'Électricité, 1992.
- "Potentiel d'économies d'énergie en réfrigération dans les arénas du Québec". Centre de la technologie de l'énergie de CANMET-Varennes, 2000.

Tableau 1. Coefficients de corrélation (situation sans plafond suspendu)

	a	b	C	d	R ² [%]	Écart type	Erreur abs. moyenne
R-20 (3.5" isolation) Tsolair ≥ Tair	-18.0	26.76	0.14	1.57	94.8	3.03	2.48
R-20 (3.5" isolation) Tsolair < Tair	-14.9	25.19	0.15	1.57	92.8	3.46	2.79

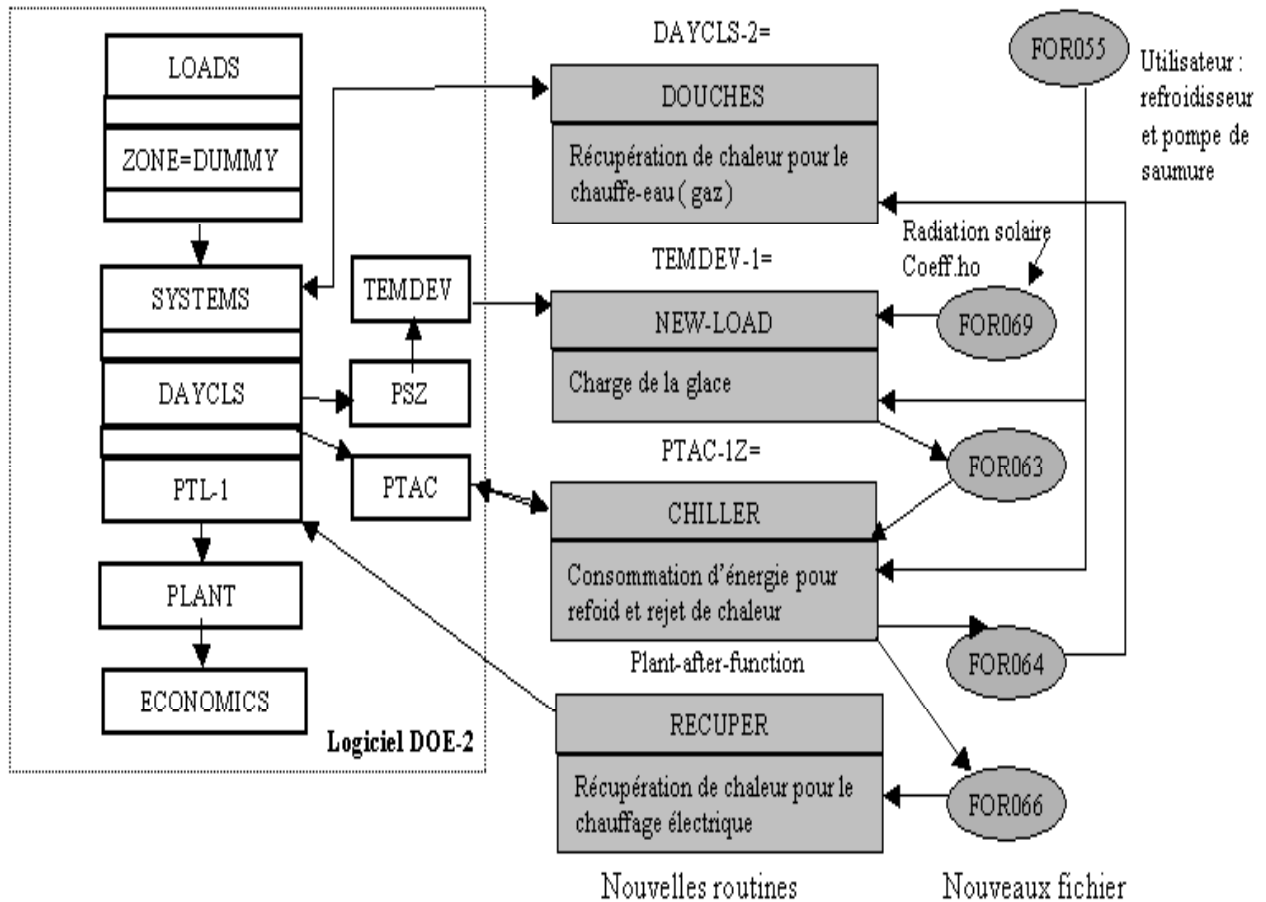


Figure 1. Diagramme logique du couplage avec DOE-2.

TEMPÉRATURE DES GRADINS DE L'ARÉNA TÉMOIN

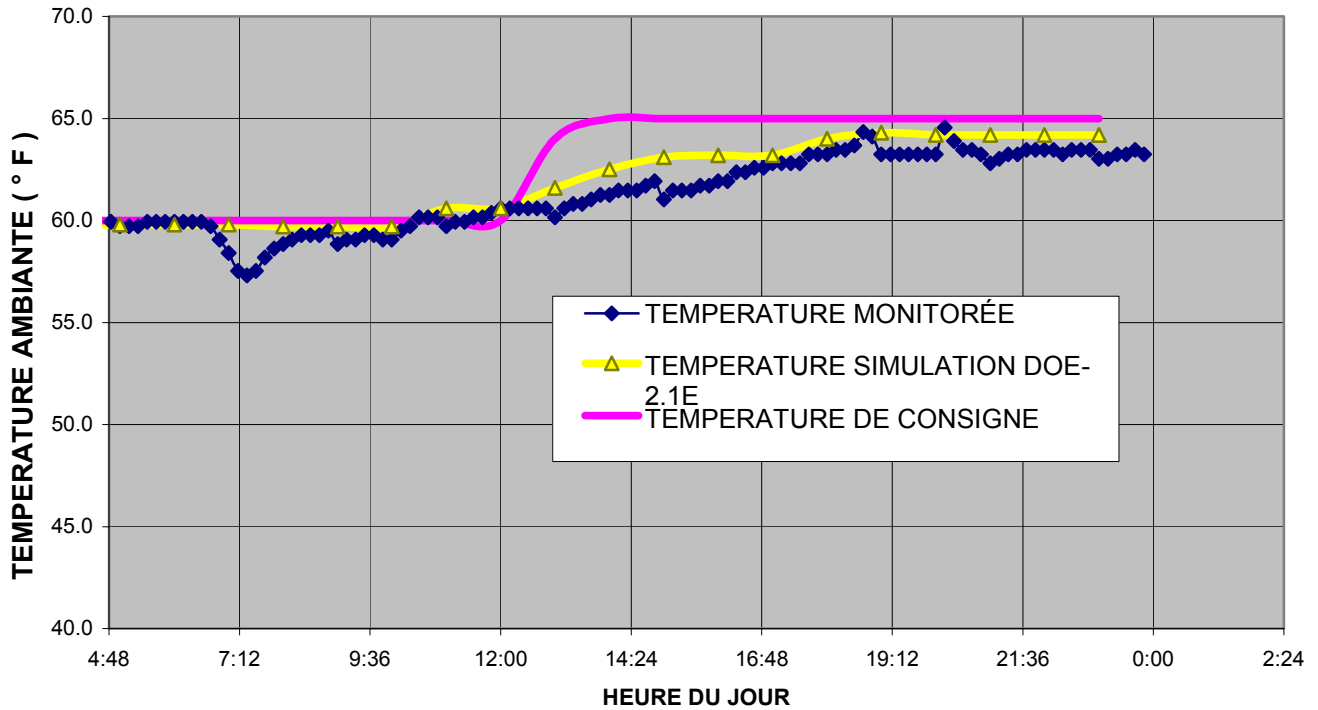


Figure 3 : Température des gradins

FONCTIONNEMENT DES COMPRESSEURS DE L'ARÉNA TEMOIN

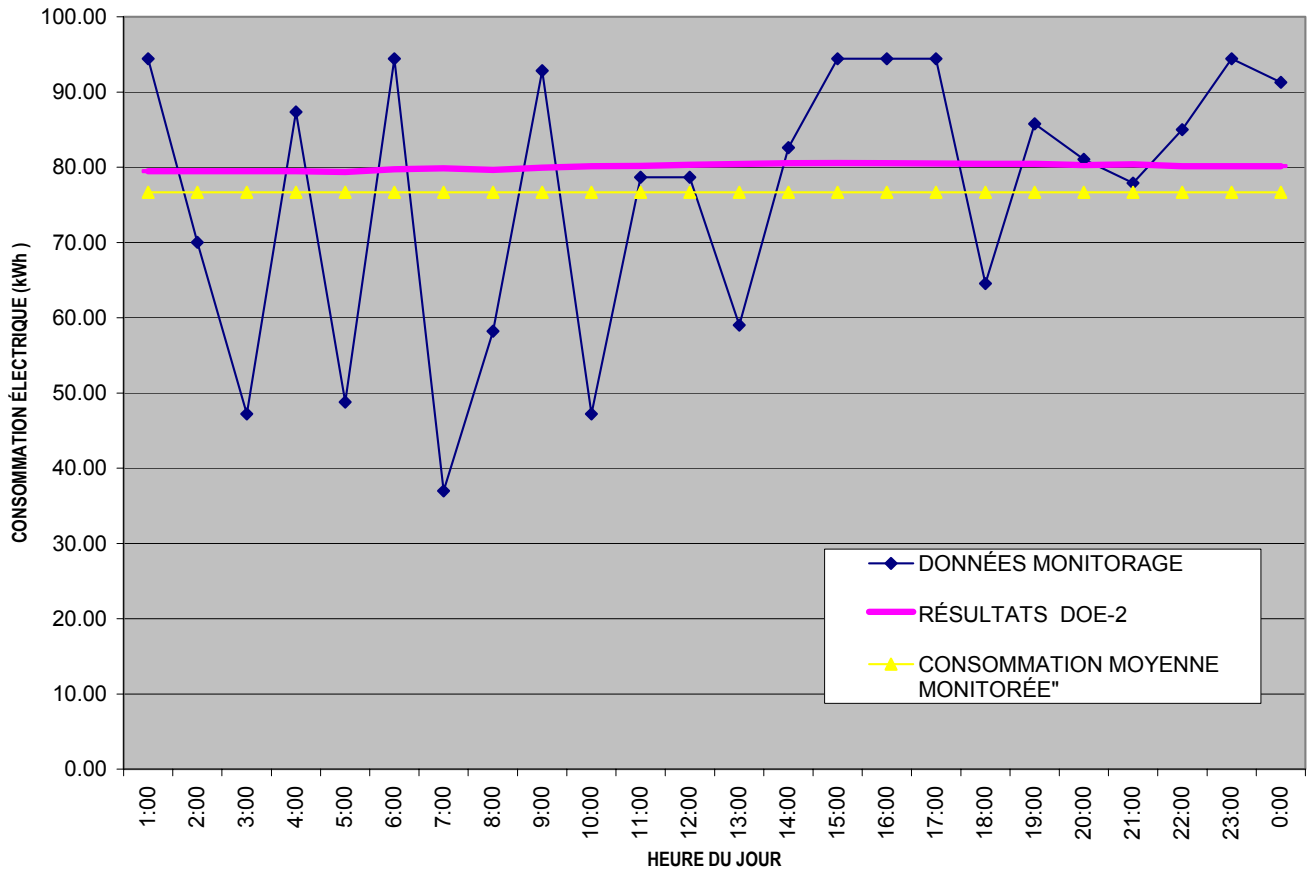


Figure 4 : Consommation des compresseurs de l'aréna témoin