

PHASE Change Material

BENACHIR NOUHAILA

**Hassan First University of Settat, Ecole Nationale des Sciences Appliquées,
LISA Laboratory, Berrechid 26100, Morocco**



Corresponding author: BENACHIR NOUHAILA
(Benachir.nouha@gmail.com/n.benbachir@uhp.ac.ma/)

"Architecture is a wonderful expression of the discovery process. It's like a scientist who doesn't know the answer, but knows the path to it. That's what drives me: the joy of the path, the discovery."

**Glenn Murcutt Architect, winner of the 2002 Pritzker
Architecture Prize**

...A My BENACHIR Nouhaila .

Dedication

I dedicate this modest work to my dearest parents, the first ones who encouraged and supported me during this long way.

Thanks

"Praise be to GOD, lord and master of the universes".

I would like to express my thanks to a whole world of people who have made this study possible and who have contributed to its elaboration in any form.

I address myself to GOD, the almighty, to thank him for having given me the courage, the support, the patience to carry out this work.



جامعة الحسن الأول
UNIVERSITÉ HASSAN 1^{ER}



THÈSE PRÉSENTÉE EN VUE DE L'OBTENTION DU
DIPLOME DE DOCTORAT EN PHYSIQUE
INGÉNIERIE :

SCIENCES POUR L'INGÉNIEUR



By: Benachir Nouhaila
Soutenue publiquement le : 2023



Scientific production

Publications

Benachir Nouhaila (2022). Paper ID APEN-MIT-2022_7337 JOURNAL Applied Energy Symposium:Journal. Amélioration de la performance énergétique de l'enveloppe du bâtiment à l'aide de matériaux à changement de phase.

Benachir Nouhaila 2022 Paper ID APEN-MIT-2022_8017 Applied Energy Symposium : Effet de la ventilation solaire sur l'amélioration thermique et l'efficacité énergétique des bâtiments en utilisant des matériaux à changement de phase.

Benachir Nouhaila Journal of Pharmaceutical Negative Results | Volume 13 | Special Issue 1 | 2022 : Rôle de la ventilation mécanique solaire et des matériaux à changement de phase sur le confort thermique et l'énergie électrique de l'enveloppe des bâtiments.

Benachir Nouhaila Benachir , J Nucl Ene Sci Power Generat Technol 2022, 11:9 29 août 2022, manuscrit n° JNPGT-22-73579 ; Date d'attribution de l'éditeur : 31 août 2022, pré QC n° JNPGT-22-73579 (PQ) ; Date de révision : 14 septembre 2022, QC n° JNPGT-22-73579 ; Date de révision : 21 septembre 2022, manuscrit n° JNPGT-22-73579 (R) ; Date de publication : 28 septembre 2022, DOI : 10. 4172/2325-9809.1000292 Journal du nucléaire Énergy Science & Pooù Genrestion Ttechnologie.

Benachir Nouhaila NGSJ : Volume 10, Issue 6, June 2022 ISSN 2320-9186942 GSJ© 2022.

Benachir Nouhaila Maghrebien Journal of Pure and Applied Science e-ISSN : 2458-715X Copyright © 2023, Université Mohammed Premier Oujda Maroc .Maghr. J. Pure & Appl. Sci., 2022, Vol. 8, Issue 2, Page 63- 81 <https://revues.imist.ma/index.php/mjpas>. Reçu le 24 novembre 2022, révisé le 12 décembre 2022, accepté le 30 décembre 2022. Benachir et al, Maghr. J. Pure & Appl. Sci., 2022, Vol. 8, Issue 2, Page 1-19. CRÉATION D'UNE ENVELOPPE DE BÂTIMENT ÉCONOME EN ÉNERGIE BASÉE SUR DES MATÉRIAUX À CHANGEMENT DE PHASE (PCM).

Benachir Nouhaila International Journal of Engineering and Applied Physics (IJEAP) Vol. 2, No. 3, September 2022. ISSN : 2737-8071. Simulation de la ventilation solaire mécanique avec des matériaux à changement de phase dans l'enveloppe du bâtiment avec 2 logiciels TRNSYS et DESIGNBUILDER. Reçu le 9 juin 2022 Révisé le 20

novembre 2022 Accepté le 11 janvier 2022. Int J Eng & App Phy, Vol. 2, No. 3, Septembre 2022.

Internationale Communications :

Benachir Nouhaila Le comité d'organisation du 2022 MIT Applied Energy A+B Symposium, qui est organisé par l'International Journal of Applied Energy et le Massachusetts Institute of Technology (MIT)2022. MIT Applied Energy A+B Symposium 5-8 juillet 2022. Effet de la ventilation solaire sur l'amélioration thermique et l'efficacité énergétique des bâtiments utilisant des matériaux à changement de phase.

Benachir Nouhaila (2022) Le comité d'organisation du MIT Applied Energy A+B Symposium 2022, qui est organisé par l'International Journal of Applied Energy et le Massachusetts Institute of Technology (MIT)2022. MIT Applied Energy A+B Symposium 6-8 juillet 2022. Amélioration de la performance énergétique de l'enveloppe du bâtiment à l'aide de matériaux à changement de phase.

**Benachir Nouhaila (2021) Projet avec Schneider Electric : PAWA PLANT : A PLANT-BASED CELL GREENHOUSE SYSTEM
Application of Aloe Vera-derive**

Benachir Nouhaila (2022) 41ème Conférence mondiale sur les sciences appliquées, l'ingénierie et la technologie (WCASET 2022) 24 & 25 août 2022. Le rôle de la ventilation mécanique solaire et des matériaux à changement de phase sur le confort thermique et l'énergie électrique de l'enveloppe des bâtiments.

Benachir Nouhaila (2022) Editeur : IFERP Explore ISBN : 978-93-92105-14-2. Copyright 2022, IFERP-International Conference Institute for Engineering Research and Publication (IFERP) BOOK 41st World Conference on Applied Science, Engineering & Technology (WCASET 2022) 24th & 25th August 2022. Le rôle de la ventilation mécanique solaire et des matériaux à changement de phase sur le confort thermique

et l'énergie électrique de l'enveloppe des bâtiments.

Benachir Nouhaila (2020) Fraunhofer-Institut für Bauphysik Standort Holzkirchen. CONFÉRENCE SUR LE PROGRAMME TRANSYS.

NATIONAL COMM NATIONALE

Le 3e congrès international sur l'ingénierie des procédés pour le développement durable 2022 (3rd ICPESD22) - 29 juin 2022.

La 6e conférence internationale sur les technologies sans fil, les systèmes embarqués et intelligents (WITS-2020 FES).

Benachir Nouhaila 2020 "7th International Renewable and Sustainable Energy Conference -IRSEC'19" Agadir . Amélioration de la performance énergétique de l'enveloppe du bâtiment à l'aide de matériaux à changement de phase.

Benachir Nouhaila 2022 14e Conférence internationale sur l'énergie appliquée (ICAE2022).

Benachir Nouhaila 2019 7 ème édition de la journée Doctorant - Participation au comité d'organisation.

Benachir Nouhaila 2021 Présentation orale 8 ème édition Journée Doctorant....

Benachir Nouhaila 2022 Présentation orale 9 ème édition Journée Doctorant..

**Benachir Nouhaila (2021) Projet avec Schneider Electric : PAWA PLANT : A PLANT-BASED CELL GREENHOUSE SYSTEM
Application of Aloe Vera-derived Plant-based Cell in Powering IoT devices in a Smart Greenhouse. Application d'une cellule végétale dérivée de l'aloë vera à l'alimentation de dispositifs IoT dans une serre intelligente. PROJET POWER -to-X DÉVELOPPEMENT DURABLE**

ET ÉNERGIE AVEC DWIKI HARIONO .

Leadership

Leadership en TUNISIE Expérience en matière de développement : élan vers la conversation pré-COP Youth4Climate avec de jeunes champions du climat sur la façon dont nous pouvons amplifier et agir sur les perspectives de ceux qui sont les plus vulnérables aux impacts du climat. Et la formation sur l'application TRNSYS. 26 janvier 2020. Certificate ID : 5712972 . 5

Summary

Y

NOMENCLATURE.....	9
Introduction.....	65
Methodology.....	67
1.1 Numerical method.....	67
2.2)Thermal simulation of a building wall with PCM.....	72
Results and discussion.....	75
3.1. The effect of thermal conductivity on PCM performance.....	81
3.2)The effect of PCM density:.....	82
3.3. Influence of PCM thickness.....	82
3.4. The effect of heat capacity.....	83
Conclusion.....	84
Heat storage in buildings.....	90
Applications of energy storage materials thermal.....	109

Measurement techniques for thermal characterizations.....	114
Comfort thermal.....	118
Improvement of thermal storage by latent heat.....	119
Studies of the thermal performance of MCP.....	123
Conclusion.....	127
Description of the meteorology.....	128
Simulation assumptions and monitoring experimental.....	130
Coupling the PCM Wallboard Model and the Building Thermal Model.....	138
PCM Wallboards Performance Indicators.....	141
Acknowledgement.....	142
References.....	143



ENCLOSURE

Symbols	Definition	Unit
A	Surface	m ²
C _{Cover}	Sky cloudiness factor (0 to 1)	-
C _i C _p	Mass heat of the zone i Mass heat of a material	J.kg
		-
		¹ .K ⁻ ₁
		J.kg
		-
		¹ .K ⁻ ₁
Depth	Depth below ground surface	m
Edif _{,h}	Diffuse radiation on the horizontal	W.
		m ⁻²
Eglob _{,h}	Total radiation on the horizontal	W.
		m ⁻²
e _i	Thickness of the material "i" constituting the wall	m
fs _{,sky}	Sky view factor (0.5 for vertical surfaces and 1 for horizontal surfaces)	-
h and	Convective heat transfer coefficient	W.
h _c		m ⁻
		² .K ⁻

h_r	Radiation heat transfer coefficient	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$
I or I_T	Global solar irradiation on a horizontal plane	$W \cdot m^{-2}$
I_b	Direct solar radiation on a horizontal plane	$W \cdot m^{-2}$
I_d	Diffuse solar radiation on a horizontal plane	$W \cdot m^{-2}$
k_T	Ratio of global solar radiation on a horizontal surface to extraterrestrial radiation	-
n_a, n_b, n_c, n_d	Number of coefficients a_s, b_s, c_s and d_s	-
P_i	Thermal load of zone i (negative for heating, positive for cooling)	W
P_{atm}	Atmospheric pressure	Pa
P_0	Atmospheric pressure at reference height	Pa
Q_i	Net heat flows	W
Q_{surf}	Convective flows from interior walls	W
Q_{inf}	Infiltration flow	W
$Q_{sol,w}$	Internal radiative flux received by the wall	W
Q_i	Solar fluxes received by the wall via the windows	W
$Q_{long,w}$	Flux through radiant heat exchange between a wall and other walls in the area	W
$Q_{wall-gain}$	Specific radiative heat flux at a given wall	W
$\dot{q}_{r,s,i}$	Net radiative flux at long wavelength exchanged with all other surfaces in the area	W
$\dot{q}_{r,s,o}$	Net radiative flux exchanged with all surfaces outside the area	W
$\dot{q}_{w,g,i}$	User-defined flow in the wall or in the window surface	W

$\dot{q}_{s,i}$	Conductive flow in the wall to the internal surface	W
$\dot{q}_{s,o}$	Conductive flow in the wall from the external surface	W
$\dot{q}_{c,s,i}$	Convective flow from the inner surface of the wall to the air in the zone	W
$\dot{q}_{c,s,o}$	Convective flow from the external surface of the wall to the ambient air	W
Q_c	Total building heating load	W
Q_r	Total building cooling load	W
R	Thermal resistance of a wall	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$
RH	Relative humidity of the air	%
R_b	Geometric factor	-
and		
R_d		
$S_{s,i}$	Short-wave radiation absorbed by the interior surface (solar and radiative gains)	$\frac{W}{m^2}$
$S_{s,o}$	Short-wave radiation absorbed by the exterior surface (solar gains)	$\frac{W}{m^2}$
T_{wal}	Surface temperature of a wall	K
T_{am}	Ambient air temperature	K
$b,$		
T_{air}		
T_{int}	Indoor air temperature (measured)	$^{\circ}C$
TSI	Temperature (measured) of the inner surface of the roof	$^{\circ}C$
TSO	Temperature (measured) of the external surface of the roof	$^{\circ}C$
$T_{ext,i}$	Outdoor temperature	K
T_{ve}	Temperature of air from ventilation equipment	K
T_{zo}	Temperature of the zone i	K
$T_{ne,i}$		
and		
T_i		
$T_{f,sky}$	Fictional sky temperature	K

T_{sky}	Sky temperature	K
$T_{s,ground}$	Soil temperature	K
Q_{wind}	Ventilation flow	W
$Q_{g,c}$	Internal convective fluxes (by occupants, by equipment, lighting, etc.)	W
Q_{cplg}	Convective flows due to airflow between zones	W
Q_{solar}	Solar fluxes entering an area through external windows and immediately transferred in convective gain to the indoor air	W
Q_{ISHCCI}	Solar radiation absorbed by internal shading devices in the area, which is directly transferred as convective gain to the indoor air	W
$Q_{r,wi}$	Radiative fluxes through the surface node of the wall	W

Symbols	Definition
AME E	Moroccan Agency for Energy Efficiency
ASHR AE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
OCOL	Short wavelengths
CNER EE	National Centre for Water and Energy Studies and Research
EnR2 E	Renewable energy and energy efficiency laboratory
EPS	Expanded polystyrene
FPD	Date palm fibers
GHG	Greenhouse gases
GLO	Long wavelengths
HVA C	Heating, Ventilation and Air-Conditioning
ONEE	National Office of Electricity and Drinking Water in Morocco
PMR	Thin reflective products
REF	Reference
RT	French thermal regulations
RTC M	Thermal regulations for construction in Morocco
SH	Shading
STD	Dynamic thermal simulation
TMY	Typical meteorological year
TPF	TRNSYS project file
TRNS YS	Transient system simulations
WP	White paint