

# *LA CLIMATISATION*

**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](mailto:Benachir.nouha@gmail.com)/[n.benbachir@uhp.ac.ma](mailto: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**

"The publication of this book was financed by the Hassan 1er University fund for scientific research. "

\*\*\*

*...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<sup>ER</sup>



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.**

# **COMMUNICATION 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 .**

## AVANT PROPOS

Je vais dans le présent document, rendre compte du Projet de Fin d'Etudes que j'ai réalisé dans l'association HESPUL à Villeurbanne du 2 février au 18 juin 2004 sur l'« **ETUDE DE LA PRODUCTION DE FROID DANS LE BATIMENT A L'AIDE DE PANNEAUX SOLAIRES** ».

L'objectif de cette étude était de réaliser un état des lieux technologique, mais également environnemental et économique des systèmes permettant de climatiser des locaux à l'aide d'énergie solaire. Il se devait d'être aussi exhaustif que possible dans le temps imparti et avec les moyens à disposition, afin que l'association HESPUL ait les données nécessaires pour anticiper et appréhender sereinement le développement souhaitable et inéluctable de cette filière et ainsi en devenir un acteur potentiel.

Il est très important de comprendre que tenter de climatiser des bâtiments avec de l'énergie solaire s'inscrit dans un contexte, dans une démarche cohérente et globale que je me suis efforcé de faire transparaître dans ce document et en particulier dans sa première partie.

Il est important de bien saisir les tenants et les aboutissants d'une telle démarche pour ainsi l'appréhender dans sa globalité et ne jamais en perdre l'essence.

Même si la notion de « Développement Durable » (satisfaire les besoins des générations présentes sans compromettre la possibilité pour les générations à venir de satisfaire leurs propres besoins) est discutable, on pourrait dire qu'elle définit assez bien dans quel cadre général la problématique de la climatisation solaire intervient et pourrait ainsi en être son fil directeur, son objectif implicite et évident.

# INTRODUCTION

Les bâtiments représentent l'un des secteurs les plus consommateurs d'énergie dans les sociétés industrialisées. En Europe environ 40% de l'énergie primaire est consommée par les bâtiments. Qu'ils soient à usage commercial, industriel ou privé ils utilisent de l'énergie pour différentes applications comme le chauffage, la production d'eau chaude sanitaire, la climatisation, l'éclairage et tous les équipements utilisant de l'électricité.

Comme nous allons le voir, durant les dernières décennies, la consommation d'énergie due à la climatisation a dramatiquement augmenté dans la plupart des pays industrialisés. En 1996 10 000 GWh d'énergie primaire étaient consommés en Europe par les seules climatisations individuelles d'une puissance frigorifique inférieure à 12 kW. Selon des études prospectives réalisées par l'Union Européenne cette valeur devrait être multipliée par 4 à l'horizon 2020 pour atteindre 44 000 GWh. Ces estimations ne prennent pas en compte les systèmes de climatisation centralisée largement répandues dans le secteur tertiaire et grands consommateurs d'énergie.

On peut avancer comme principales raisons à cette explosion de la demande d'énergie due à la climatisation, l'augmentation des exigences de confort des personnes mais aussi la tendance architecturale qui consiste à augmenter la proportion de surfaces vitrées de l'enveloppe des bâtiments ou encore la recherche d'optimisation de productivité des employés par les chefs d'entreprise...

Je vais dans une première partie replacer la problématique de la climatisation solaire dans son contexte pour aborder ensuite les aspects techniques, environnementaux et économiques des technologies actuelles.

# **I PRELIMINAIRES**

## **I.1 Présentation de l'association HESPUL**

### **I.1.1 Historique**

Hespul, qui s'appelait il y a encore 4 ans PHEBUS est une association à but non lucratif. Elle a été à l'origine de l'installation de la première centrale photovoltaïque (PV) connectée au réseau général d'électricité en France (1992). L'installation, initiée et financée par des militants fondateurs de l'association s'était faite à proximité du surgénérateur SUPERPHENIX en symbole d'une alternative vis à vis du programme électronucléaire en France.

Pendant qu'en Allemagne, en Suisse et dans les pays nordiques, les solutions alternatives au nucléaire et aux ressources fossiles, notamment le photovoltaïque, l'éolien et le solaire thermique étaient intégrées aux politiques énergétiques, la France restait dans l'ignorance de ces alternatives et continuait de développer son programme électronucléaire. Les initiateurs de cette action sont restés longtemps incompris en France ...

L'intérêt de l'opération de la première centrale résidait dans la démonstration que cela fonctionne, que la production d'énergie électrique – encore en pleine croissance – pouvait se faire par des moyens que l'on qualifierait aujourd'hui de « durables » (répondre à nos besoins sans compromettre ceux des générations futures) : malgré son intérêt, le nucléaire n'a pas encore démontré sa capacité à répondre aux problèmes qu'il génère (résidus à longue vie radioactive, démantèlement, risques inhérents à la technologie, etc.).

Depuis cette première centrale PV connectée au réseau, l'association fondée en 1991 a mis en route des programmes de disséminations, d'informations, aidés par les instances de la Commission Européenne dans un premier temps, projets auxquels se sont peu à peu intéressées les instances régionales puis nationales.

C'est ainsi qu'HESPUL a acquis avec le temps une expérience incomparable en France et est peu à peu devenu la principale référence du photovoltaïque connecté au réseau en France, avec un savoir-faire de terrain précis et poussé (les programmes Européens ont permis de tester et de travailler sur une gamme très large de questions qui se posaient au fur et à mesure du développement des actions de la filière photovoltaïque).

Par ailleurs, les dirigeants d'HESPUL ont su faire avancer avec leurs actions et celles des réseaux actifs du secteur le débat et l'information au sein des institutions en France, ce qui a récemment abouti entre autres choses au comblement d'une lacune historique majeure en matière à la fois de démocratie et de développement durable : l'ouverture du premier « débat sur l'énergie » en France par le gouvernement.

### **I.1.2 Activités**

Si le photovoltaïque est le fer de lance d'Hespul, elle élargit aujourd'hui ses compétences dans d'autres domaines des énergies renouvelables.

En effet Hespul s'est vu confier par les pouvoirs publics (ADEME et Région Rhône Alpes) des missions de service public en tant qu'ESPACE INFO ENERGIE du Rhône pour le développement du « plan bois » et du « plan Soleil ».

Hespul s'investit aussi dans le développement de l'efficacité énergétique ; du solaire thermique , du biogaz , de la cogénération , de la picohydraulique , du séchage agricole et alimentaire, du bois énergie , de l'éolien et de la valorisation énergétique de la biomasse.

La structure est au service des entreprises, des collectivités et de tous les particuliers qui souhaitent répondre à des questions de maîtrise énergétique et électrique, ainsi que de chauffage (en bâtiment, piscine et eau sanitaire). Hespul propose également des animations scolaires et des formations dans le département du Rhône et participe à diverses manifestations et activités, en vue de sensibiliser et de promouvoir les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique.

En tant que coordinateur de plusieurs projets photovoltaïques dans le cadre des IV<sup>ième</sup> , V<sup>ième</sup> et VI<sup>ième</sup> Programmes-cadres de Recherche-développement de la Commission européenne, Hespul a été à l'origine de plus de 300 installations de particuliers, d'entreprises, d'écoles ou de collectivités locales, soit près de 95% du parc français en service début 2000, alors que les toits solaires se comptent par milliers en Allemagne ou au Japon.

Hespul a ensuite obtenu en décembre 1999 du Ministère de l'industrie la mise en place d'un tarif d'achat de l'électricité photovoltaïque qui règle sous les angles techniques et tarifaires les relations entre les "producteurs" et EDF, gestionnaire du réseau public.

D'une manière générale, l'association continue à mettre en place des projets européens et se place, dans certains cas, comme assistant à maître d'ouvrage. Elle s'adresse principalement aux particuliers mais son expérience lui permet désormais d'aider des collectivités locales ou des industriels à monter des projets.

C'est l'une des 11 associations du réseau IERA (Info Énergies Rhône Alpes) ayant pour objectif le développement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique. Elle est spécialisée dans la filière des " micro-centrales photovoltaïques raccordées au réseau " et plus largement dans la production d'électricité " en bout de réseau ", sur les lieux de consommation.

Hespul est aussi membre actif de nombreux réseaux professionnels et associatifs en France et en Europe agissant pour l'avènement d'un système énergétique durable :

- membre du C.A. du CLER national (Comité de Liaison des Énergie Renouvelables),
- membre du C.A. de la FEE (France Énergie Éolienne), branche française de l'EWEA (association européenne de l'énergie éolienne),
- membre fondateur du RAC (Réseau Action Climat), branche française de " Climate Action Network ", réseau des ONG œuvrant à la prise de conscience des enjeux des changements climatiques dus à la pollution,
- représentant en France d'EUROSOLAR, association européenne de l'énergie solaire, dont le président, Hermann Sheer, a reçu le " Prix Nobel Alternatif " en décembre 1999 pour son action en faveur des énergies renouvelables,
- membre fondateur de EREF (European Renewable Energy Federation), qui regroupe les producteurs indépendants d'électricité renouvelables européens.
- membre du C.A. du VAD (Ville et Aménagement Durable)
- adhérente de EAF (Électricité Autonome de France)
- adhérente de l'ITEBE (Institut Technique Européen du Bois Énergie)

Toutes ces activités aussi diverses que variées mais touchant toutes à la thématique de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables sont assurées par une équipe de 17 salariés : techniciens, personnel administratif, animateurs scolaires, ingénieurs permettant ainsi à HESPUL d'avoir une approche, une vision et une compétence globale grâce aux différents niveaux et moyens d'intervention qu'elle possède.

### **I.1.3 Références**

1992

#### **Premier toit solaire photovoltaïque raccordé au réseau de France**

De 1993 à 1996

Proposant principal du programme Thermie  
n°SE/00033/93/FR/DE : PHEBUS93

#### **Installation de 21 centrales photovoltaïques raccordées au réseau (28,8 kWc)**

De 1995 à 1999

Proposant principal du programme Thermie  
n°SE/00369/95/FR/DE : PHEBUS95

#### **Installation de 41 centrales photovoltaïques raccordées au réseau (45 kWc)**

De 1997 à 2001

Proposant principal du programme Thermie n°SE/190/97/FR/  
DE/CH : PHEBUS97

#### **Installation de 126 centrales photovoltaïques raccordées au réseau (200 kWc)**

Une installation a été réalisée en ardoises photovoltaïques.  
Installation intégrée en toiture de 11 kWc

De 1999 à 2001

#### **Suivi détaillé à distance de la centrale photovoltaïque intégrée en façade de l'OPAC 38 à Echirolles**

dans le cadre du programme Green Cities  
BU/01001/96/DK/ES/IT .

1999-2000

sous-traitant du programme PERSEUS

#### **Rédaction d'un guide pratique**

**pour les futurs utilisateurs de toits photovoltaïques raccordés au réseau.**

1999-2002

Proposant du programme 5PCRD

n°NNE5-1999-00744 : PV-  
SALSA

#### **Installation de 70 kWc de photovoltaïque raccordé au réseau**

1999-2002

Membre du consortium français du programme HIP-HIP

#### **Installation de 500 kWc de photovoltaïque raccordé au réseau en vue d'initier une baisse des coûts de production**

2002-2003

Proposant principale du programme  
ALTENER n°4.1030/2/01-055/2001 : PV-  
DOMSYS

#### **Programme de promotion et de formation au photovoltaïque raccordé au réseau**

2002-2003

Sous-traitant du programme

5PCRD n°NNE5-224-2001 :  
PREDAC