

**Equipe de recherche :** Équipe énergétique et des énergies renouvelables

**Responsable de l'équipe de recherche :** Pr. AL MERS AHMED

**Numéro de sujet :** **43**

**Directeur de thèse :** Pr. BAKKAS M'BARK

**Co-directeur de thèse :** GHAZI MOHAMED

**Mot clés :** Chaleur fatale, Modélisation, Optimisation, Stockage thermique, Efficacité énergétique.

**Descriptive :**

L'utilisation rationnelle de l'énergie est devenue une nécessité pour les entreprises industrielles dans l'élaboration d'une politique de maîtrise de l'énergie. Les chaînes de production cherchent à éliminer toutes les pertes possibles, y compris les pertes thermiques en vue d'améliorer l'efficacité énergétique de l'entreprise. L'optimisation de la facture énergétique est devenue indispensable. C'est dans ce cadre que s'inscrit ce sujet de thèse qui a pour objectif la conception et le développement d'un système de récupération de la chaleur fatale industrielle. L'intégration d'un système de stockage thermique sera également étudiée. Une étude de modélisation, d'optimisation et de simulation des différents composants d'un prototype sera effectuée.

Des études de cas d'intérêt pratique à l'échelle industrielle seront également étudiées dans le cadre de ce travail

**Equipe de recherche :** Équipe énergétique et énergies renouvelables

**Responsable de l'équipe de recherche :** Pr. AL MERS AHMED

**Numéro de sujet :** **44**

**Directeur de thèse :** Pr. BAKKAS MBARK

**Co-directeur de thèse :** GHAZI MOHAMED

**Mot clés :** Technologies de dessalement, Modélisation, Optimisation, Analyse thermique, Exergétique, Energie Renouvelable.

**Descriptive :**

La problématique de l'eau et de l'énergie demeure toujours constante malgré les efforts notables et les avancées techniques et technologiques énormes pour assurer leur disponibilité et durabilité et répondre aux besoins croissants et continus à travers le monde entier. Dans le cas particulier du Maroc, où les ressources en énergie fossiles sont presque inexistantes, ils s'y ajoutent également des problèmes liés à la disponibilité de l'eau du fait que les précipitations sont tellement rares et aléatoires surtout dans les déserts des zones sud et sud-est. Une des technologies prometteuses pour faire face à la fois aux problèmes de l'énergie et l'eau est le couplage des procédés de dessalement et les technologies d'énergies nouvelles et renouvelables. L'objectif de ce travail consiste à étudier l'intégration et le couplage d'une unité de cogénération et les technologies de dessalement. L'intégration d'un système de stockage sera également étudiée.

**Equipe de recherche :** Équipe énergétique et énergies renouvelables

**Responsable de l'équipe de recherche :** Pr. AL MERS AHMED

**Numéro de sujet :** **45**

**Directeur de thèse :** Pr. BAKKAS MBARK

**Co-directeur de thèse :**

**Mot clés :** Cogénération solaire, énergie solaire thermique, Concentrateurs solaires, stockage thermique, cycle de puissance à vapeur, Modélisation, Optimisation

**Descriptive :**

L'objectif de ce travail est d'étudier les performances énergétiques d'une installation de cogénération solaire. Le système est constitué d'un concentrateur solaire associé à un bloc de puissance fonctionnant avec un cycle de puissance à vapeur de Hirn ou de Rankine. L'intégration d'un système de stockage thermique sera également étudiée. Les performances globales à savoir le rendement, les puissances électrique et thermique produites du système seront évaluées.

Des études de cas d'intérêt pratique à l'échelle industrielle seront également étudiées dans le cadre de ce travail.

**Equipe de recherche :** Équipe énergétique et énergies renouvelables

**Responsable de l'équipe de recherche :** Pr. AL MERS AHMED

**Numéro de sujet :** **46**

**Directeur de thèse :** Pr. BAKKAS MBARK

**Co-directeur de thèse :** GHAZI MOHAMED

**Mot clés :** Modélisation, Optimisation, Biomasse, Energie solaire thermique, Concentrateurs solaires, Chaleur industrielle, Simulation dynamique, Chaudière.

**Descriptive :**

L'objectif de ce travail consiste à étudier les performances thermiques d'un système énergétique hybride avec stockage qui semble une alternative prometteuse et durable aux générateurs conventionnelles de la chaleur industrielle. Le système considéré est composé d'un concentrateur solaire associé à une chaudière à biomasse en vue de produire de la chaleur industrielle. L'intégration d'un système de stockage thermique sera également étudiée. Une étude de modélisation, d'optimisation et de simulation des différents composants du prototype sera effectuée.

**Equipe de recherche :** Energétique et Energies renouvelables

**Responsable de l'équipe de recherche :** Pr. AL MERS AHMED

**Numéro de sujet :** **47**

**Directeur de thèse :** Pr. MOHAMMED SRITI

**Co-directeur de thèse :** YOUNES EL KHCHINE

**Mot clés :** Energie éolienne, Eolienne à axe horizontal, Performance aérodynamique, Simulation CFD, Analyse dynamique, Raideur-Amortissement

**Descriptive :**

Optimisation des performances aérodynamiques d'une éolienne à axe horizontal et son comportement Dynamique

**Equipe de recherche :** Energétique et Energies Renouvelables

**Responsable de l'équipe de recherche :** Pr. AL MERS AHMED

**Numéro de sujet :** **48**

**Directeur de thèse :** Pr. MOHAMMED SRITI

**Co-directeur de thèse :** YOUNES EL KHCHINE

**Mot clés :** Transfert thermique, Milieu poreux Nanofluide, Plaque plane inclinée, Capteur Rayonnement, solaire, Capteur solaire, Solution semi-analytique.

**Descriptive :**

Etude de transfert de chaleur d'une plaque plane inclinée à travers un milieu poreux saturé de nanofluide en présence de rayonnement solaire

**Equipe de recherche :** Energétique et Energies Renouvelables

**Responsable de l'équipe de recherche :** Pr. AL MERS AHMED

**Numéro de sujet :** **49**

**Directeur de thèse :** Pr. MOHAMMED SRITI

**Co-directeur de thèse :** YOUNES EL KHCHINE

**Mot clés :** Performance énergétique, Hydrogène, Gaz naturel, Combustion, Turbine à Gaz, Simulation CFD, Polluants

**Descriptive :**

Performance énergétique, Hydrogène, Gaz naturel, Combustion, Turbine à Gaz, Simulation CFD, Polluants

**Equipe de recherche :** Energétique et énergies renouvelables

**Responsable de l'équipe de recherche :** Pr. AL MERS AHMED

**Numéro de sujet :** **50**

**Directeur de thèse :** Pr. BOUTAMMACHTE NOUR-EDDINE

**Co-directeur de thèse :**

**Mot clés :** Systèmes PV, Energies intermittentes, perturbation du réseau, Stratégies de contrôle

**Descriptive :**

L'objectif de ce travail de recherche est de développer une approche fiable pour l'intégration des systèmes PV aux réseaux nationaux, en évitant les problématiques liées aux perturbations et surcharge du réseau. Notre pays se prépare à développer sa stratégie nationale pour une intégration croissante des systèmes PV au réseau et cette thèse constitue une contribution scientifique pour concevoir un système permettant un fonctionnement fiable et stable.



**Equipe de recherche :** Energétique et Energies renouvelables

**Responsable de l'équipe de recherche :** Pr. AL MERS AHMED

**Numéro de sujet :** **51**

**Directeur de thèse :** Pr. AL MERS AHMED

**Co-directeur de thèse :** BADR BOUOULID IDRISSE

**Mot clés :** Systèmes CSP, Concentrateur de type Fresnel, Modélisation, control-command, modèle de comportement dynamique, bilan d'énergie et de masse stockage thermocline, optimisation.

**Descriptive :**

L'objet de ce projet e Thèse est la mise en place d'une stratégie de control-commande intelligente automatisée d'une centrale solaire à concentration utilisant un champ solaire de type Fresnel innovant couplé à un système de stockage thermique thermocline. Il s'agit d'implanter une solution à faible impact énergétique, ainsi qu'à faible coût. Le protocole de control-commande à développer sera basé sur des modèles de transfert de chaleur et de masse déjà élaborés antérieurement. Il permettra en outre l'optimisation de la production d'énergie dans ce type de centrales.

Ce projet fait suite aux projets de R&D "Chams1", COLDSUN et SIROCCO. Il s'agit d'une solution innovante de concentrateurs solaires, développée par le consortium constitué de partenaires académiques et industriels à savoir ENSAM Meknès, INTER TRIDIM et AZOLIS.

D'un point de vue scientifique et technique, le développement de ce Protocol permettra la mise en œuvre et l'application concrète des dernières recherches effectuées par le consortium dans le domaine des énergies renouvelables.

D'un point de vue industriel et économique, ce projet de thèse permettra d'achever les procédés de fabrication locale du champ solaire, ainsi que la possibilité de fabrication à plus grande échelle au Maroc.

**Equipe de recherche :** Énergétique et Mécanique des fluide

**Responsable de l'équipe de recherche :** Pr. MOUQALLID M'HAMEDL

**Numéro de sujet :** **52**

**Directeur de thèse :** Pr. KABIRI MOULAY RACHID

**Co-directeur de thèse :**

**Mot clés :** Durabilité, corrosion, matériaux de construction, milieu marin

**Descriptive :**

Beaucoup de matériaux de construction de nos jours se trouvent limités en utilisation à cause des nouvelles réglementations ou d'exigences spécifiques. Les compositions chimiques et les formulations diffèrent selon les propriétés exigées, mais aussi selon les milieux de fonctionnement.

La durabilité des matériaux de construction requiert de plus en plus d'attention de la part des fabricants afin de donner une longévité à ces matériaux.

L'objectif de ce travail est d'analyser les dégradations de quelques matériaux de construction, en particulier les bétons de différentes formulations, dans des milieux marins, afin d'expliquer les mécanismes de corrosion, de quantifier cette dégradation et de surtout proposer des solutions afin de limiter les dégâts de cette dégradation.

**Equipe de recherche :** Énergétique et Mécanique des fluide

**Responsable de l'équipe de recherche :** Pr. MOUQALLID M'HAMEDL

**Numéro de sujet :** **53**

**Directeur de thèse :** Pr. KABIRI MOULAY RACHID

**Co-directeur de thèse :**

**Mot clés :** Corrosion, aciers inoxydables, caractérisation, microstructures

**Descriptive :**

La corrosion qui se définit comme une dégradation des matériaux par l'environnement, concerne aussi bien les métaux que les verres, les plastiques, ou les bétons. La corrosion métallique à laquelle nous nous intéressons particulièrement est en somme un processus permettant aux métaux de retourner à leur état combiné originel sous forme d'oxyde, de sulfure, de carbonate... - forme plus stable par rapport au milieu considéré. Dans le présent sujet, on s'intéressera en particulier aux effets de la structure métallurgique : phases, microstructures, taille de grains, texture etc.... sur la tenue à la corrosion de quelques alliages métalliques en présence d'acides industriels. L'étude comportera des analyses métallographiques des différents alliages métalliques (microscopie optique/ENSAM), des analyses de composition chimiques (Spectrométrie) et des études de tenue à la corrosion (Potentiostat et Brouillard salin).

**Equipe de recherche :** LEMD2

**Responsable de l'équipe de recherche :** Pr. MOUQALLID M'HAMEDL

**Numéro de sujet :** **54**

**Directeur de thèse :** Pr. ETTAQI SAID

**Co-directeur de thèse :** ESSOUSI HAMZA

**Mot clés :** Aciers A3G, soudabilité, résistance aux chocs, usinabilité, transformation, propriétés mécaniques

**Descriptive :**

Pour une réduction significative des émissions de CO<sub>2</sub> émises par les véhicules, les constructeurs automobiles cherchent à développer de nouvelles motorisations plus propres ou à alléger le poids des véhicules afin de diminuer leur consommation. Actuellement, les aciers représentent environ 45% du poids des véhicules et 96% de la caisse en blanc. Ce constat a conduit au développement de nouveaux matériaux tels que des alliages de magnésium, d'aluminium, et de certains matériaux à matrice organique. Cette concurrence dans le secteur des matériaux, oblige les producteurs des aciers à développer de nouvelle génération répondant au cahier des charges fixé par les constructeurs automobiles, c'est-à-dire des aciers à caractéristiques mécaniques performantes et surtout avec une ductilité élevée. Pour cela, différentes solutions métallurgiques sont alors explorées et toujours étudiées tels que : le durcissement par solution solide ou par précipitation, la réduction de la taille de grains, l'optimisation de la texture, mise en forme à haute température des nuances trempantes.

Cette thèse s'inscrit dans la thématique globale de l'équipe (UIR/ENSAM) et qui consiste à développer des matériaux pour le secteur de transport.

L'objectif de la thèse est d'étudier :

- l'interaction des aciers 3G et les procédés de mise en forme thermique, thermomécanique ou les procédés de déformation plastique.

-Lever les verrous scientifiques sur les phénomènes physiques qui résultent de l'interaction.

**Equipe de recherche :** LEMD2

**Responsable de l'équipe de recherche :** Pr. MOUQALLID M'HAMEDL

**Numéro de sujet :** **55**

**Directeur de thèse :** Pr. ETTAQI SAID

**Co-directeur de thèse :** ESSOUSSI HAMZA

**Mot clés :** Revêtements, multi-matériaux, procédés hybrides, mécaniques, tribologies

**Descriptive :**

Les procédés de production hybride apportent des avantages substantiels par rapport aux procédés de production classique pris séparément. Ces avantages sont : L'amélioration des qualités métallurgiques des pièces, flexibilité, propriétés mécaniques progressives, amélioration des propriétés mécaniques, physiques et chimiques des surfaces, ..

Actuellement, les procédés hybrides sont capables d'apporter des solutions innovantes et performantes dans plusieurs domaines de mise en forme des matériaux. Leur utilisation va se généraliser de plus en plus dans plusieurs secteurs industriels (soudage, fabrication additive, forgeage, usinage, ....)

Pour élaborer des multi-matériaux en bonne santé mécanique, chimique et physico-chimique, il est nécessaire de mieux maîtriser la connaissance des phénomènes complexes qui régissent ces procédés. Le sujet de thèse proposé consiste à élaborer des multi-matériaux en utilisant deux procédés innovants.

Les objectifs de cette thèse s'articulent autour de trois phases :

- La première phase concerne un aspect expérimental qui permettra au futur(e) doctorant(e) la compréhension des différents aspects et processus présents dans ce procédé hybride innovant.
- La deuxième phase traite l'influence des principaux paramètres opératoires et leurs effets sur les caractéristiques mécaniques et structurales des revêtements multi-matériaux.
- La troisième phase concerne un aspect tribologique et des revêtements.

**Equipe de recherche :** LEMD2

**Responsable de l'équipe de recherche :** Pr. MOUQALLID M'HAMEDL

**Numéro de sujet :** **56**

**Directeur de thèse :** Pr. ETTAQI SAID

**Co-directeur de thèse :** ELHACHIMI ESSADIQI/RADI.B

**Mot clés :** IA, phases, température, transformations, équilibre, données.

**Descriptive :**

Le développement de nouveau matériau avec des propriétés augmentées repose sur la vitesse de couplage entre les propriétés du matériau et les propriétés du matériau transformé. Pour cela, développer rapidement un matériau performant nécessite une utilisation et une gestion rigoureuse et efficace des données. Pour exploiter le pouvoir de l'intelligence artificielle et répondre à l'industrie des matériaux (Elaboration, transformation et recyclage), l'organisation et le stockage de ces données dans un unique format, consultable, exploitable est primordiale. Le sujet de thèse proposé s'inscrit dans ce contexte. Il a pour objectif de développer une approche supportée par l'IA dans le domaine de la métallurgie : cas des diagrammes de phases

**Equipe de recherche :** Energétique et Mécanique des fluides (EM)

**Responsable de l'équipe de recherche :** Pr. MOUQALLID M'HAMEDL

**Numéro de sujet :** **57**

**Directeur de thèse :** Pr. EL MGHOUCI YOUNESS

**Co-directeur de thèse :** JRAIDA KAOUTAR

**Mot clés :** Net Zero Energy Building; Inter-Building Effects; Indoor Thermal Comfort; Passive Design in Building; Renewable Energy Systems; TRNSYS; Morocco.

**Descriptive :**

Morocco is facing several major energy challenges, such as an energy dependence on foreign countries, which exceeds 90% of its imported energy. An effective use of renewable energy sources has become a necessity to reduce the dependence of promising sectors, such as transport, industrial and building sectors, on fossil fuels. To this end, various strategies and policies have been launched to move down energy consumption, mainly the adoption of a national energy efficiency strategy. The main objective of this strategy is to achieve energy savings of around 20% in all areas of economic and social activities by 2030.

The energy consumption of the building sector represents about 33% of the total energy consumption in Morocco. As an ambitious objective to move the building sector to a more sustainable future, Net Zero Energy Building strategy will be needed. In literature, different zero-energy building definitions are available. A Net Zero Energy Building means a building with performer envelop that, in an average year, generates at least as much energy from renewable energy sources as it consumes.

To achieve goal of Net Zero Energy Building, there is a need to reduce the building energy consumption and improve the indoor thermal comfort. Various parameters, in this context, should be evaluated and discussed, including possible inter-building effects on building energy balance and renewable energy use. There are other variables that may be beneficial to studying the passive design in building: the thermal resistance of envelop, window-to-wall ratio, windows type, the coating of the opaque elements (wall and roof), air change rate and the size of the renewable energy systems, etc.

In literature, a Net Zero Energy Building was studied, in generally, with isolated architecture designs, where there are four facades that were considered, and there are a few publications about the possible impact of inter-building effects on indoor thermal comfort for buildings having one, two or three facades. Consequently, there is a need to pay more attention to this field of research.

**Laboratoire énergétique, matériau et développement durable**  
**Responsable laboratoire : Pr. MOUQALLID M'Hamed**

In this thesis's subject we need to study possible correlation between inter-building effects and building energy balance and renewable energy use for architectures with one, two and three facades with different climatic characteristics. For cities with different climate characteristics, the possible impact of inter-building effects on building energy consumption, including cooling and heating loads, lighting and electricity needs should be simulated (using TRNSYS), discussed, and quantitatively summarized. There are other software that may be useful in studying the inter-building effects on buildings like Energyplus, eQUEST, Designbuilder, Ecotect and DAYSIM.

Various renewable energy systems could be introduced in this study. The impact of inter-building effects on PV systems, STC systems, and WT (wind turbine) systems, should also be discussed and quantitatively summarized for the six Moroccan climatic zones.

The aim of this study is to investigate the inter-building effects in order to meet zero energy balance in the six Moroccan climatic zones. Thus, different possibilities and options to improve thermal comfort, minimize life cycle cost and achieve considerable energy savings consisting mainly of passive measures should be assessed and analysed.



**Equipe de recherche :** Énergétique et Mécanique des fluides

**Responsable de l'équipe de recherche :** Pr. MOUQALLID M'HAMEDL

**Numéro de sujet :** **58**

**Directeur de thèse :** Pr. MOUQALLID MHAMED

**Co-directeur de thèse :** MAJDOUBI HASSAN

**Mot clés :** Microclimat, Mécanique des fluides, Transferts thermiques, Intelligence artificielle, Fluent.

**Descriptive :**

L'optimisation de la gestion du microclimat en horticulture est devenue incontournable. Dans ce contexte les serristes et les producteurs ont donc besoin d'outils plus performants intégrant l'hétérogénéité du climat et s'appuyant sur des outils de modélisation pour améliorer les performances de leur outil de production.

Devant cette problématique, l'introduction de l'intelligence artificielle permettra de détecter et contrôler le comportement et l'évolution du microclimat diurne et nocturne distribué sous serre. Le présent sujet permettra la mise en œuvre d'un modèle informatisé dans le but d'assurer une gestion optimisée des ressources énergétiques et hydriques et de durabilité du système serre.

**Equipe de recherche :** Energétique et Mécanique des fluides

**Responsable de l'équipe de recherche :** Pr. MOUQALLID M'HAMEDL

**Numéro de sujet :** **59**

**Directeur de thèse :** Pr. MOUQALLID MHAMED

**Co-directeur de thèse :** MAJDOUBI HASSAN

**Mot clés :** Microclimat sous serre, Mécanique des fluides, transferts thermiques, CFD

**Descriptive :**

La rationalisation de l'utilisation des ressources en eau est l'un des défis majeur dans le monde. Le secteur de l'agriculture est le premier consommateur de cette matière vivante menacé par un déficit aigu à travers le monde et y compris le nord de l'Afrique dont le Maroc fait partie. La gestion optimisée des paramètres de production est le grand défi pour les agriculteurs, dans ce contexte, l'horticulture est la meilleure alternative pour faire face au problème de rendement et de période de maturation de la production agricole

La gestion de microclimat sous serre est devenue une préoccupation forte des professionnels de l'Horticulture. Les enjeux sont importants tant dans le milieu aérien (gestion du climat) que dans le milieu racinaire (irrigation et fertilisation).

L'objectif visé par ce sujet de recherche est d'utiliser les modèles mis au point grâce à la mise en œuvre de code de calcul de mécanique des fluides couplés aux différents modes de transferts thermiques et hydriques afin de prédire et d'analyser le microclimat résultant sous abri serre et d'étudier le fonctionnement et le comportement physiologique des plantes et en particulier le stress hydrique et thermique afin d'optimiser ses besoins réels en eau.

**Equipe de recherche :** Energétique et Mécanique des fluides (EM)

**Responsable de l'équipe de recherche :** Pr. MOUQALLID M'HAMEDL

**Numéro de sujet :** **60**

**Directeur de thèse :** Pr. MOUQALLID MHAMED

**Co-directeur de thèse :** EL MGHOUCHI YOUNESS

**Mot clés :** Sunlight capture; Monte Carlo simulation; Intelligent Computing; Solar Energy Conversion Systems; Meteorological Measures; Numerical Simulation; Solar Radiation Forecasting; Energy efficiency.

**Descriptive :**

Solar radiation forecasting is vital for well understanding the global climate change and then for taking urgent steps in combating the causes of extreme weather, heat waves and droughts. Hence, forecasting the output power of solar conversion systems is required for the optimal management of the power grid or of the solar radiation occurring into the solar energy system and for several applications in the engineering sector. Before estimating the output of a solar energy system, it is essential to focus on the prediction of solar irradiance.

Forecasting of the solar radiation can be made by several approaches; the two big categories are cloud imagery combined with physical mechanisms models, and machine learning (ML) models - known also as data-driven models-, in which no physical mechanisms were considered. In addition, utilizing ML models for the prediction of solar radiation has gained increasing attention by researchers due to the flexibility, availability, and accessibility of these models compared to cloud imagery models.

Applications of solar energy engineering were widely reviewed for solar space heating and cooling, water heating, electrical generation, and several solar energy conversion systems. Basic principles and fundamentals of solar radiation distribution and methods for measuring data are discussed as preliminary in analyzing various applications of solar energy systems. Laws of thermodynamics, aerodynamics, the properties of fluid mechanics and the principles of heat transfer were used to explain the thermal and the physical characteristics of these system components. The types of collectors reviewed include flat plates, tubular, concentrating, fixed, or intermittently turned concentrators, various technologies of tracking concentrators.

Solar photovoltaic cells and other precited receivers of solar energy arranged in complex 3D leaf like configurations can potentially collect more sunlight than traditionally used flat configurations. It is hypothesized that this could be because of two reasons. First, the 3D space can be utilized to increase the overall surface area over which the sunlight may be captured. Second, as opposed to

**Laboratoire énergétique, matériau et développement durable**  
**Responsable laboratoire : Pr. MOUQALLID M'Hamed**

traditional flat panel configurations where the capture efficiency decreases dramatically for shallow angles of incidence, the capture efficiency of a solar tree is hampered little by shallow angles of incidence due to the 3D orientation of the solar leaves. In this context, a Monte Carlo simulation of radiation transport and Machines Learning techniques should be conducted, as probabilistic prediction study, to gain insight into whether the above hypotheses are true.

In this study, we need to conduct:

- A probabilistic analysis on the Effective Sunlight Capturing by a given solar energy device.
- A prediction of solar radiation estimates by using Monte-Carlo simulation.
- A Comparison of Monte-Carlo simulation with other artificial intelligence techniques.

**Equipe de recherche :** Energétique et Mécanique des fluides (EM)

**Responsable de l'équipe de recherche :** Pr. MOUQALLID M'HAMEDL

**Numéro de sujet :** **61**

**Directeur de thèse :** Pr. EL MGHOUCHE YOUNESS

**Co-directeur de thèse :**

**Mot clés :** Solar radiation modelling and forecasting; Satellite products; artificial intelligence; climatological and meteorological data analysis; climate classification; Morocco.

**Descriptive :**

In the past and present centuries, it is clear that temperature data showing warming and, it should be noted that most scientist experts on the subject of climate change think that the effects of anthropogenic drivers are huge and must be the dominant reason for detecting climate change since the past fifteen years. Anthropogenic drivers, which include human transport, industrial and agricultural activities, are causing the greenhouse gas emissions related to the poor management of energy use. This could surely be because of several problems: the supply and demand imbalance, the unsustainability of conventional energy resources, and the drastic consequences of global warming, which could affect directly human health and/or humankind.

Accordingly, renewable energies were recommended in the last decades as proper alternative sources of energy supply tanks for being clear, free, environmentally friendly, and broadly accessible energy forms across the globe. Therefore, there is a big awareness and very interesting attention from the world's states to renewable energy resources. In this regard, countries are nowadays performing tremendous efforts to assign a high priority to different renewable energy resources by investing intensively in this field of cleaner energy production and by decreasing the use of fossil fuels.

The term of renewable energy includes solar energy; wind energy; biomass; hydroelectric power; and wave power. Solar energy, which reaches the earth under solar radiation form after crossing several million kilometres, is the power that we could harness because of the sun rays falling on solar-powered devices. The solar radiation intensity that arrives at the earth is equal to 10,000 times the annual total energy consumption in the world. On average, the solar intensity received is about 1700 kWh/m<sup>2</sup>/year.

However, in many areas, especially in underdeveloped and developing countries, measures of solar radiation are limited or not available. To extend this limited data, several techniques and methods for forecasting and modelling of the solar radiation with certain levels of uncertainty are of paramount importance. Forecasting can be made by several approaches; the two big categories are

cloud imagery (or satellite imagery) combined with physical mechanisms models, and machine learning (ML) models -known also as data-driven models-, in which no physical mechanisms were considered.

In this thesis's subject, we could apply satellite remote sensing techniques to make global observations of solar irradiance and then fit it to values at the surface level. During this phase, we need to sufficiently understand the physical phenomenon of how the sun interacts and travels through the earth's atmosphere and how what is received by the satellite is leveraged to measure the irradiance at the surface level. Here, we could opt for the RESNET architecture for its performance/efficiency ratio recorded at the ImageNet competition, so the first model took satellite images as input plus some meteorological metadata strongly correlated with the global irradiance (Temperature, humidity, solar angles, and wind speed), and then learned how to map global solar irradiance data from pixel values of satellite images.

The first model output should be then a time series of global solar irradiance values at a specific location, which is the input of the second model whose mission is to forecast the irradiance in a 24h time horizon. Here, we could use a sliding window algorithm that fed the data into an LSTM architecture: a batch of 10 hourly values of solar irradiance values coupled with the next day value of the first element of the batch, which formed the feature and labels couple that trained the LSTM model. We could finally concentrate on the two models in TensorFlow and Keras to have a complete model that takes the satellite images of 10 hourly values as input and output the forecasted value of the next day. In the same way, we should be conducted to take the satellite images of month values as input and output the forecasted value of the next month, and so on.

Satellite products, like Heliosat-2, Heliosat-4, GEOJSON Morocco, SENTINELSAT, McClear, etc., have a large spatial cover and are continuous, besides the accuracy of detecting cloud dynamic changes which heavily affect the solar radiation intensity; hence, it can be a good resource for solar radiation data and other related variables. Therefore, this study is the first attempt to establish solar radiation distribution for Morocco based on relationships between incoming solar intensity and other related climatological and meteorological variables. Multi-year observations from satellite imagery such as Multi-angle Imaging Spectroradiometer (MISR), Microwave Limb Sounder (MLS), Atmosphere Infrared Sounder (AIRS), CloudSat, and Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) could be of interest for reaching the purposes of the study. The objective is, therefore, forecasting and mapping solar power distribution according to the climate zones of Morocco.

**Equipe de recherche :** Energétique et Mécanique des fluides (EM)

**Responsable de l'équipe de recherche :** Pr. MOUQALLID M'HAMEDL

**Numéro de sujet :** **62**

**Directeur de thèse :** Pr. EL MGHOUCI YOUNESS

**Co-directeur de thèse :**

**Mot clés :** Solar radiation modelling and forecasting; Satellite products; artificial intelligence; digital surface model (DSM); LiDAR data; Morocco.

**Descriptive :**

Forecasting of solar radiation intensity is a necessity for the establishment of solar energy projects and for decision-making in other related fields. Current prediction models/methods are site-dependent and their performance/accuracy outside the area of application is debatable.

Morocco's kingdom, which enjoys about 3000 h of sunshine per year with an equivalent of 5.3 kWh/m<sup>2</sup>/day, has recently inaugurated one of the world's leading solar energy projects (including both PV and CSP technologies: Noor I to V), with an installed capacity of 2000 MW (MW) in 2020 [BTI 2020 Country Report - Morocco]. Such a plan is ideal due to their suitable atmospheric conditions (such as high altitudes, low fugitive dust, high transparency, and low humidity). These are indeed relevant steps in decreasing the country's reliance on coal. In these projects, the government's dream of eventually exporting its green energy to the rest of Africa remains for the time being wishful thinking. Nevertheless, it should be remembered that Morocco is still a long way from achieving its goal of energy export, because, in the implemented projects, it has only reached less than 50% of the estimated output power. This was mainly caused by climate change and models they used in forecasting the incoming solar radiation and then the possible output power.

However, certain utilizations of solar radiation depend principally on the site in which the receiver is implemented and on the possible solar intensity to be received and harnessed. In addition, before any attempt to install and implement a solar project, there is a need to get information, with high possible accuracy, about the possible insolation that can be reached, and power that can be produced. For achieving this goal, through forecasting several solar radiation models were reviewed, elaborated, and proposed.

Forecasting of solar power can be made by several approaches; the two big categories are cloud imagery (or satellite imagery) combined with physical mechanisms models, and machine learning (ML) models -known also as data-driven models-, in which no physical mechanisms were considered. According to our survey, commonly used ML models in solar radiation forecasting include artificial neural networks ANN, support vector machines SVM, Decision Trees DT, Autoregressive Integrated

**Laboratoire énergétique, matériau et développement durable**  
**Responsable laboratoire : Pr. MOUQALLID M'Hamed**

Moving Average ARIMA, Ensemble Learning Machine ELM, and Random Forest RF, etc. Satellite products, like Heliosat-2, Heliosat-4, GEOJSON Morocco, SENTINELSAT, McClear, etc., have a large spatial cover and are continuous, besides the accuracy of detecting cloud dynamic changes which heavily affect the solar radiation intensity; hence, it can be a good resource for solar radiation data and other related variables.

In this thesis's subject, we need to develop a solar 3D map-model for the prediction and visualisation of the solar energy potential of buildings, integrating the potential of roofs with that of facades. To assess this potential, a digital surface model (DSM) that could be built from LiDAR data should be adopted. In addition, remote sensing and Geographic Information System are of vital importance in this step. multi-year observations from satellite imagery such as Multi-angle Imaging Spectroradiometer (MISR), Microwave Limb Sounder (MLS), Atmosphere Infrared Sounder (AIRS), CloudSat, and Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) could also be useful. Shadow effects should also be considered for estimating shadow maps and sky view factor both for roofs and facades of buildings. Direct and diffuse solar radiation may be then obtained for each point on the ground, roof and facades with a given spatial and time resolutions. The objective is, therefore, to develop a method/model in which the solar potential of an urban landscape, both roofs and facades of building could be determined and visualized in 3D. After this step, shadow effects for direct light and sky view factor for diffuse radiation should be estimated.



**Equipe de recherche :** Energétique et Mécanique des fluides

**Responsable de l'équipe de recherche :** Pr. MOUQALLID M'HAMEDL

**Numéro de sujet :** **63**

**Directeur de thèse :** Pr. MOUQALLID MHAMED

**Co-directeur de thèse :** MAJDOUBI HASSAN

**Mot clés :** Microclimat sous serre, Mécanique des fluides, transferts thermiques, CFD

**Descriptive :**

La rationalisation de l'utilisation des ressources en eau est l'un des défis majeur dans le monde. Le secteur de l'agriculture est le premier consommateur de cette matière vivante menacé par un déficit aigu à travers le monde et y compris le nord de l'Afrique dont le Maroc fait partie. La gestion optimisée des paramètres de production est le grand défi pour les agriculteurs, dans ce contexte, l'horticulture est la meilleure alternative pour faire face au problème de rendement et de période de maturation de la production agricole

La gestion de microclimat sous serre est devenue une préoccupation forte des professionnels de l'Horticulture. Les enjeux sont importants tant dans le milieu aérien (gestion du climat) que dans le milieu racinaire (irrigation et fertilisation).

L'objectif visé par ce sujet de recherche est d'utiliser les modèles mis au point grâce à la mise en œuvre de code de calcul de mécanique des fluides couplés aux différents modes de transferts thermiques et hydriques afin de prédire et d'analyser le microclimat résultant sous abri serre et d'étudier le fonctionnement et le comportement physiologique des plantes et en particulier le stress hydrique et thermique afin d'optimiser ses besoins réels en eau.

**Equipe de recherche :** Energétique et Mécanique des fluides (EM)

**Responsable de l'équipe de recherche :** Pr. MOUQALLID M'HAMEDL

**Numéro de sujet :** **64**

**Directeur de thèse :** Pr. EL MGHOUCHI YOUNESS

**Co-directeur de thèse :**

**Mot clés :** Solar radiation modelling and forecasting; Satellite products; artificial intelligence; climatological and meteorological data analysis; aerosols; air mass quality, air mass trajectory; climate classification; Morocco.

**Descriptive :**

With the rapid development of exploitation and utilization of solar energy, building energy saving and energy consumption assessment, the urgent demand for accurate and reliable solar radiation data, especially global solar radiation data, is put forward. However, many areas (especially in developing countries) lack the long-term observation data of global solar radiation due to expensive equipment and maintenance. Therefore, several researchers have proposed different regression models with different forms and/or several techniques/models based on artificial intelligence to approximate and correlate this radiation. These models were based either on empirical correlations or astronomical-meteorological variables such as sunshine duration, ambient temperature, rainfall, cloudiness, humidity, and geographical coordinates. Nevertheless, there are a few studies that consider combination possible (or plausible) between global solar radiation and aerosols, clouds, air quality and/or air mass trajectory.

Aerosols, Clouds, Air Quality and Air Mass Trajectory play critical roles in Earth's climate and weather systems. Understanding interactions among aerosols, clouds and air mass trajectory and their impacts on incoming solar radiation at a given earth surface and on climate and air quality has been an active research area, requiring some well-thought observational, modelling, and forecasting approaches to disentangle all coupled processes.

In this thesis's subject we could apply satellite remote sensing techniques to make global observations of cloud and aerosol properties and do an analysis on air mass trajectory, and then investigate morphology and variability of these variables in relation to solar radiation measurements. In particular, we study aerosol-cloud-air mass trajectory-air mass quality and their relationships with global (and/or direct and diffuse) solar radiation by analysing multi-year observations from satellite imagery such as Multi-angle Imaging Spectroradiometer (MISR), Microwave Limb Sounder (MLS), Atmosphere Infrared Sounder (AIRS), CloudSat, and Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). On global scales, we are interested primarily in the possible impacts of aerosol-cloud variabilities, air quality index, and air mass trajectory on incoming solar radiation.

**Laboratoire énergétique, matériau et développement durable**  
**Responsable laboratoire : Pr. MOUQALLID M'Hamed**

Satellite products, like Heliosat-2, Heliosat-4, GEOJSON Morocco, SENTINELSAT, McClear, etc., have a large spatial cover and are continuous, besides the accuracy of detecting cloud dynamic changes which heavily affect the solar radiation intensity; hence, it can be a good resource for solar radiation data and other related variables. Therefore, this study is the first attempt to establish solar radiation distribution for Morocco based on relationships between incoming solar intensity and aerosols, clouds, air mass quality and air mass trajectory.