

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE**  
**SCIENTIFIQUE**  
**UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA**

**FACULTE : DES SCIENCES**  
**DEPARTEMENT : PHYSIQUE**  
**N° : Ph/ENR/18/2021**



**DOMAINE : Sciences de la matière**  
**FILIERE : Physique**  
**OPTION : Physique énergétique et énergies renouvelables.**

**Mémoire présenté pour l'obtention**  
**Du diplôme de Master Académique**  
**Par:**  
**Ben boudina Younes**  
**Elhanni Taki-eddine**

**Intitulé**

**Evaluation des modèles empiriques d'estimation de l'irradiation solaire globale basés sur l'humidité relative et les précipitations pour le site de M'sila**

**Soutenu devant le jury composé de:**

NAHOUI Azzedine	Université de M'sila	Président
HADDAD Zakaria	Université de M'sila	Rapporteur
BOURAS Abdelkarim	Université de M'sila	Examineur

**Année universitaire : 2020/2021**

# *Dédicace*

---

Je dédie ce mémoire :

A mes parents, pour l'amour qu'ils m'ont toujours donné, leurs encouragements

et toute l'aide qu'ils m'ont apportée durant mes études.

A mes chères sœurs pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral,

A mes chers frères, pour leur appui et leur encouragement,

A mes Amis.

# *Remerciements*

---

Avant tout, nos remerciements vont au Mr. Zakaria Haddad, merci de ne jamais avoir ressenti de détresse et aucun mot de remerciement ne peut exprimer à quel point nous vous apprécions et vous respectons.

Nous remercions Mr. Nahoui Azzedine, Enseignant à l'université Mohamed Boudiaf Msila, qui a accepté de présider le jury de soutenance.

Egalement, nous remercions Mr. Bouras Abdelkarim Enseignant à l'université Mohamed Boudiaf Msila, qui a accepté d'être membre de jury.

Nos remerciements à tous les enseignants et le personnel du département de physique. Ainsi que le chef du département Pr. Salmi Mohamed et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin.

# Sommaire

---

Dédicaces

Remerciements

Liste des figures

Liste des tableaux

Nomenclature

Introduction Générale .....1

## Chapitre 1 : Généralités sur l'humidité et les précipitations

1. Introduction .....	3
2. Humidité.....	3
3. Types d'humidités.....	3
3.1. Humidité absolue.....	3
3.2. Humidité relative.....	3
3.3. Humidité spécifique.....	4
4. Appareils de mesure de l'humidité.....	4
4.1. Historique de l'hygromètre.....	4
4.2. Hygromètre à cheveux .....	4
4.3. Hygromètre capacitif électrique .....	5
4.4. Hygromètre de point de rosée à miroir réfrigéré.....	5
5. Précipitations.....	6
5.1 types de précipitations .....	6
5.1. 1. Précipitations stratiformes.....	6
5.1. 2. Précipitations convectives (ou averses) .....	6
5.2. Les formes de précipitations .....	7

a. Pluie et la bruine .....	7
b. Les precipitations verglaçantes .....	7
c. Neige.....	7
d. Grésil .....	8
e. Grêle .....	8
6. Mesures des précipitations .....	9
6.1. Mesures de la hauteur d'eau précipitée .....	9
7. Relation entre le rayonnement solaire et l'humidité et les précipitations .....	9

## **Chapitre 2 : Modèles d'estimation de l'irradiation solaire globale basés sur l'humidité et les précipitations**

1. Introduction .....	11
2. Modèles d'estimation de l'irradiation solaire globale basés sur l'humidité.....	11
2.1. Modèle linéaire en fonction de l'humidité .....	11
2.2. Modèle quadratique en fonction de l'humidité .....	12
2.3. Autres modèles .....	13

## **Chapitre 3 : Evaluation des modèles proposé**

1. Introduction.....	20
2. Site de M'sila .....	20
3. Méthodologie du travail .....	20
4. Appareils de mesure .....	21

<b>5. Application de quelques modèles basés sur l'humidité relative pour le site de</b>	
<b>M'sila .....</b>	<b>22</b>
<b>5.1. Modèles en fonction de RH (octobre 2015) ... ..</b>	<b>22</b>
• <b>Modèle linéaire .....</b>	<b>22</b>
• <b>Modèle quadratique.....</b>	<b>23</b>
• <b>Modèle cubique .....</b>	<b>23</b>
<b>5.2. Modèles en fonction de RH (nevenbre 2015) ... ..</b>	<b>24</b>
• <b>Modèlél inéaire .....</b>	<b>24</b>
• <b>Modèle quadratique .....</b>	<b>24</b>
• <b>Modèle cubique .....</b>	<b>25</b>
<b>5.3. Modèles en fonction de RH (decembre 2015) .....</b>	<b>26</b>
• <b>Modèle linéaire .....</b>	<b>26</b>
• <b>Modèle quadratique.....</b>	<b>26</b>
• <b>Modèle cubique .....</b>	<b>27</b>
<b>5.4. Modèles en fonction de RH (janvier 2016) .....</b>	<b>28</b>
• <b>Modèle linéaire .....</b>	<b>28</b>
• <b>Modèle quadratique .....</b>	<b>28</b>
• <b>Modèle cubique .....</b>	<b>29</b>
<b>5.5 Modèles en fonction de RH (février 2016) .....</b>	<b>29</b>
• <b>Modèle linéaire .....</b>	<b>29</b>
• <b>Modèle quadratique .....</b>	<b>30</b>
• <b>Modèle cubique .....</b>	<b>30</b>
<b>5.6 Modèles en fonction de RH (mars 2016) .....</b>	<b>31</b>
• <b>Modèle linéaire .....</b>	<b>31</b>

•	Modèle quadratique .....	31
•	Modèle cubique .....	32
6.	Évaluation des modèles .....	32
7.	Application de quelques modèles basés sur les précipitations pour le site de M'sila ...	34
	Conclusion générale . .....	36
	<b>Références</b>	

# Nomenclature

---

Symbole	Désignation	Unité
RH	Humidité relative	%
$H_0$	Rayonnement solaire global moyen sur une surface horizontale	W/m <sup>2</sup>
H	Rayonnement extraterrestre	W/m <sup>2</sup>
MBE	Erreur de biais moyen	MJ/m <sup>2</sup> .jour
RMSE	Erreur de biais absolu moyen	MJ/m <sup>2</sup> .jour
MPE	Erreur quadratique moyenne carrée	MJ/m <sup>2</sup> .jour
$\theta$	Rapport de temperature	---
$\varphi$	Latitude de l'emplacement	Radians
Ta	Température ambiante	°C
T <sub>max</sub>	Température maximum	°C
$\Delta T$	Différence entre la température maximale et minimale	°C
Ra	Humidité absolu	
S <sub>0</sub>	Durée d'insolation théorique (durée astronomique du jour)	h
S	Durée d'insolation réel	h
$\frac{\bar{n}}{N}$	Fraction de la durée d'ensoleillement	---
$\frac{\bar{c}}{c}$	Indice de trouble	---
N	Numéro de jour dans l'année	---
W	Vitesse moyenne du vent	m/s
P	Précipitation moyenne	mm
R	Coefficient de corrélation	---

$R^2$	Coefficient de determination	---
$\sigma$	Fraction d'insolation qui est le rapport entre la durée d'insolation réelle et la durée d'insolation maximale (durée astronomique).	---
$a, b, c, d,$ $e, f, g, h, i$	Coefficients des modèles	---

## Liste des figures

---

Figure I.1	Structure de l'hygrographe capillaire
Figure I.2	Schéma des différents types de précipitation
Figure I.3	Petites billes glacées (grésil)
Figure III.1	Situation géographique de M'sila
Figure III.2	Station météo Vantage Pro 2.
Figure III.3	Modèle linéaire en fonction de RH (octobre 2015)
Figure III.4	Modèle quadratique en fonction de RH (octobre 2015)
Figure III.5	Modèle cubique en fonction de RH (octobre 2015)
Figure III.6	Modèle linéaire en fonction de RH (Novembre 2015)
Figure III.7	Modèle quadratique en fonction de RH (Novembre 2015)
Figure III.8	Modèle cubique en fonction de RH (Novembre 2015)

Figure III.9	Modèle linéaire en fonction de RH ( Décembre 2015)
Figure III.10	Modèle quadratique en fonction de RH (Décembre 2015)
Figure III.11	Modèle cubique en fonction de RH (Décembre 2015)
Figure III.12	Modèle linéaire en fonction de RH (Janvier 2016)
Figure III.13	Modèle quadratique en fonction de RH (Janvier 2016)
Figure III.14	Modèle cubique en fonction de RH (Janvier 2016)
Figure III.15	Modèle linéaire en fonction de RH (Février 2016)
Figure III.16	Modèle quadratique en fonction de RH (Février 2016)
Figure III.17	Modèle cubique en fonction de RH (Février 2016)

Figure III.18	Modèle linéaire en fonction de RH (Mars 2016)
Figure III.19	Modèle quadratique en fonction de RH (Mars 2016)
Figure III.20	Modèle cubique en fonction de RH (Mars 2016)

## Liste des tableaux

---

Table III.1	Rayonnement solaire, humidité relative et erreurs des valeurs estimées de modèle linéaire.
Table III .2	Rayonnement solaire, humidité relative et erreurs des valeurs estimées de modèle quadratique.
Tableau III.3	Rayonnement solaire, humidité relative et erreurs des valeurs estimées de modèle quadratique.

## *Introduction Générale*

---

En raison de l'augmentation des coûts des combustibles fossiles et la pollution de l'environnement, les sources vertes d'énergie sont encouragées. Les sources vertes d'énergie comprennent le solaire photovoltaïque, le solaire thermique, l'éolien, la biomasse, petite et grande hydro, marée, vague, océan, etc. Parmi ces sources d'énergie, l'éolien, le solaire et l'hydroélectricité sont les plus courants en usage parce que l'utilisation de ces énergies est efficace et économique [1] .

L'énergie solaire est la source d'énergie renouvelable la plus importante de la planète pour les ingénieurs, les concepteurs et les architectes.

Malgré l'importance reconnue des données de rayonnement solaire, il n'est enregistré que sur quelques stations météorologiques, notamment dans les pays en développement. En l'absence de données mesurées de rayonnement solaire, plusieurs modèles ont été développés pour estimer ce dernier en utilisant des données facilement disponibles. Certains sont l'équation d'Angstrom-Prezcott et ses modifications et d'autres sont des modèles linéaires, polynomiaux, cubiques .....etc [2] .

Ainsi, dans le cadre de ce travail, nous avons étudié trois modèles (linéaire, quadratique et cubique) basés sur l'humidité relative et les précipitations, pour estimer le rayonnement solaire global à partir des valeurs mesurées de l'humidité relative et les précipitations, au niveau de la station météorologique de M'sila. Nous avons par la suite évalués ces modèles pour le site de M'sila.

Ce mémoire est organisé en trois chapitres, complétés par une introduction et une conclusion générales.

- Le premier chapitre présente des généralités sur l'humidité et les précipitations.
- Le second chapitre est consacré aux modèles d'estimation de l'irradiation solaire globale basés sur l'humidité et les précipitations
- Les principaux résultats obtenus font l'objet du troisième chapitre.

# **Chapitre 1**

## **Généralités sur l'humidité et les précipitations**

## **1. Introduction**

Le climat est le temps moyen dans une zone donnée sur une période de temps plus longue. Une description d'un climat comprend des informations sur, par ex. la température moyenne selon les saisons, les précipitations et l'ensoleillement. Le changement climatique est tout changement systématique dans les statistiques à long terme des variables climatiques telles que la température, les précipitations, la pression ou le vent soutenu sur plusieurs décennies ou plus. Le changement climatique peut être dû à des forçages externes naturels (changements dans les émissions solaires ou changements dans l'orbite terrestre, processus internes naturels du système climatique) ou il peut être induit par l'homme. La période classique utilisée pour décrire un climat est de 30 ans, telle que définie par l'organisation météorologique mondiale (OMM). Ce chapitre est ainsi dédié à la présentation de deux paramètres météorologiques qui sont l'humidité et les précipitations [3].

## **2. Humidité**

La quantité de vapeur d'eau dans l'air. C'est la caractéristique la plus variable de l'atmosphère et constitue un facteur majeur du climat et de la météo. Elle est un facteur important du météo pour plusieurs raisons. Il régule la température de l'air en absorbant le rayonnement thermique du soleil et de la terre. De plus, plus la teneur en vapeur de l'atmosphère est élevée, plus l'énergie latente est disponible pour la génération d'orages. De plus, la vapeur d'eau est la source ultime de toutes les formes de condensation et de précipitation [3].

## **3. Types d'humidités**

### **3.1. Humidité absolue**

Ce terme est utilisé pour décrire la quantité réelle de vapeur d'eau qui sature l'air. L'humidité absolue est calculée en trouvant la masse de vapeur d'eau dans une zone et en la divisant par la masse d'air dans la même zone.

### **3.2. Humidité relative**

C'est le type d'humidité auquel les météorologues font généralement référence dans leurs bulletins météorologiques. L'humidité relative décrit la quantité de vapeur d'eau dans une région par opposition à la quantité de vapeur d'eau que pourrait contenir cette région, Ce type d'humidité est essentiellement un rapport de l'humidité absolue et de la quantité potentielle de saturation en eau que l'air pourrait éventuellement contenir.

### **3.3. Humidités spécifique**

Ce terme est utilisé comme un rapport entre la quantité de vapeur d'eau dans l'air et la quantité d'air sec dans la zone.

## **4. Appareils de mesure de l'humidité**

L'hygromètre est un instrument utilisé pour mesurer la quantité de vapeur d'eau dans l'air, dans le sol, parfois connu sous le nom de jauge à vis micrométrique.

### **4.1. Historique de l'hygromètre**

Le polymathe de la Renaissance Léonard de Vinci a conçu l'hygromètre à 1480. Puis le Polymath Johann Heinrich Lambert a inventé un hygromètre plus avancé en 1755. Plus tard, le physicien et géologue suisse Horace Saussure a été conçu et utilisé pour mesurer l'humidité un hygromètre à base de cheveux humains. A la fin du XVII<sup>e</sup> siècle, un appareil était appelé par certains experts hygrosopes, de ce mot «hygrosopes», l'hygroscope et l'hygroscopie ont dérivé et sont devenues populaires, et sont encore utilisées comme «hygromètre».

### **4.2. Hygromètre à cheveux**

L'hygromètre à cheveux utilise la caractéristique du cheveu que sa longueur se dilate ou réduit la réponse à l'humidité relative. Les dimensions de divers matériaux organiques varient en fonction de leur teneur en humidité. Un changement d'humidité a un effet sur la teneur en humidité de ces matériaux. La longueur des poils humains à partir desquels le liquide est enlevé augmente de 2 à 2,5 % lorsque l'humidité relative change de 0 à 100 %. Différents types de cheveux humains montrent différents changements de longueur. Cependant, il existe toujours une relation entre la longueur des cheveux et l'humidité relative.

L'hygrographe à cheveux est un hygromètre à cheveux sur lequel un tambour à horloge est installé pour enregistrer l'humidité pas un tableau d'enregistrement.

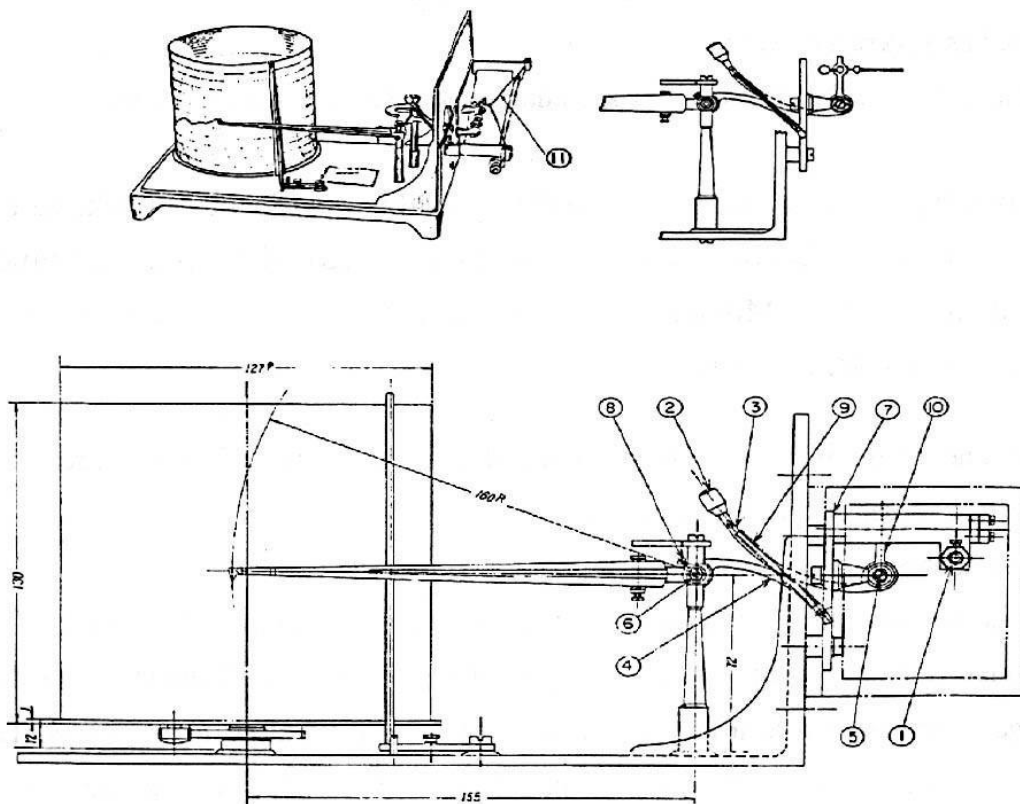


Figure I.1 Structure de l'hygrographe capillaire.

#### 4.3. Hygromètre capacitif électrique

La plage de mesure de l'hygromètre capacitif électrique est de 0 à 100%, et sa précision peut être améliorée par étalonnage. En calibrant avec l'hygromètre standard, l'hygromètre capacitif électrique atteint l'erreur de 1% ou moins dans la fourchette de 0 à 90% et l'erreur de 2% ou moins dans la fourchette de 90 à 100%.

#### 4.4. Hygromètre de point de rosée à miroir réfrigéré

Dans un hygromètre à point de rosée à miroir refroidi l'air de l'échantillon est aspiré à la surface du miroir métallique à travers la tuyauterie pour déterminer la température du point de rosée [5].

## 5. Précipitations

Les précipitations ont une influence majeure sur les activités de la vie quotidienne, car commerce, l'agriculture, le transport, les voyages. En outre, il est le facteur principal d'amélioration de la gestion des ressources en eau et des surveillances de la sécheresse pour la science hydrologique ou la recherche sur le climat. De plus, elle constitue une partie essentielle du cycle hydrologique, et sa distribution temporelle et spatiale a une influence majeure sur le sol [6]. Les précipitations correspondent à toutes les formes d'eau tombant du ciel sur la surface de la Terre. Pour se former, toute précipitation nécessite la condensation de la vapeur d'eau. Ainsi, lorsque les gouttelettes d'eau des nuages deviennent trop volumineuses et donc trop lourdes, elles sont emportées par la gravité et finissent tôt ou tard par retomber sur la Terre.

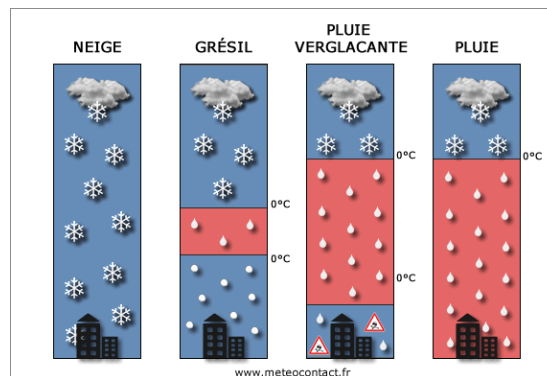


Figure I.2 Schéma des différents types de précipitation [7].

### 5.1. Types de précipitations :

#### 5.1. 1. Précipitations stratiformes

Qui sont de faibles intensités, mais qui durent longtemps, car les nuages couvrent une grande surface. Celles-ci se produisent au passage de dépressions qui sont associées à des nuages de types stratus.

#### 5.1. 2. Précipitations convectives (ou averses)

Qui ne durent pas longtemps, mais qui sont d'une forte intensité. Ces précipitations se produisent par " l'instabilité convective de l'air " associée à la formation de nuages de types cumulus ou cumulonimbus (nuages d'orages). Les précipitations peuvent tomber sous trois formes en fonction de la température de l'air :

- Liquide : pluie, bruine .
- Pluie verglaçante, bruine verglaçante .

- Solide : neige, grésil et grêle.

## **5.2. Les formes de Précipitations**

### **a. Pluie et la bruine**

Les fines gouttelettes présentes au sein d'un nuage se condensent sur des particules de poussière présentes dans l'air. Plus les nuages montent vers des couches d'air plus froid, plus les gouttelettes grossissent et se rapprochent les unes des autres. Lorsque la taille de la gouttelette atteint plus ou moins 0,02 mm, son poids commence à devenir notable et celle-ci commence à descendre lentement, de l'intérieur du nuage vers sa base. La température de la couche d'air à travers laquelle passent les gouttelettes d'eau doit être supérieure à 0°C en moyenne pour que les précipitations soient sous forme liquide. Comme la majeure partie des nuages se trouvent à une altitude relativement élevée où la température y est basse, il arrive souvent que les gouttelettes passent de l'état solide à liquide pendant leur chute vers le sol, car l'air se réchauffe et oblige les cristaux de glace à fondre.

### **b. Les précipitations verglaçantes**

Dans certaines situations l'air est plus froid en basses couches qu'en altitude. Dans le cas de la pluie et de la bruine verglaçante, la température est négative près du sol, mais une couche d'air plus douce (température au-dessus de 0°C) est présente au-dessus, les précipitations solides dans le nuage fondent au cours de leur chute vers le sol. En arrivant près du sol où la température doit y être inférieure à 0°C, ces pluies gèlent et forment une couche de verglas plus ou moins épaisse en fonction de l'intensité de ces précipitations d'eau surfondue et de la température présente près du sol. Cette situation est particulièrement redoutée car toutes surfaces dures deviennent alors très glissantes, ce qui rend les conditions de circulation très dangereuses, tandis que fils électriques et arbres cèdent parfois sous le poids de la glace accumulée.

### **c. Neige**

La neige se forme lorsque l'air en altitude est assez humide et que la température est très basse (inférieure à -15°C) dans des nuages où l'eau (à l'état solide) vient se réunir autour de noyaux de poussière présents au sein du nuage. Lorsque les cristaux de glace sont assez gros, ils tombent du nuage en s'agglutinant les uns aux autres, on assiste donc à la formation de flocons de neige. Un millier de cristaux de glace constitue un seul flocon de neige. Toutefois la température doit être inférieure à 0°C dans les basses couches de l'atmosphère pour qu'ils ne fondent pas avant

d'atteindre le sol. Plus la distance entre la naissance du flocon de neige et le sol est grande, plus les chances que les flocons soient gros augmentent.

#### **d. Grésil**

Le grésil se forme dans les mêmes conditions que pour les pluies verglaçantes. Quand de l'air plus chaud surmonte une couche d'air froid, la neige qui tombe du nuage rencontre tout d'abord de l'air doux au cours de sa descente et va fondre partiellement en gardant toutefois son noyau solide, celui-ci va alors servir de noyau de congélation. C'est en arrivant à proximité du sol, où la température y est plus froide, que les particules d'eau autour du noyau solide vont geler avant d'atteindre le sol. On assiste alors à la formation de granules de glace appelées grésil.



Figure I.3 Petites billes glacées(grésil)

#### **e. Grêle**

La grêle prend naissance dans des nuages d'orages (ou cumulonimbus) dans lesquels les courants ascendants peuvent être particulièrement puissants. Ces nuages s'élèvent à une altitude atteignant en moyenne 12 000 mètres, ainsi la présence de cristaux de glace à l'intérieur du nuage constitue le premier élément à la formation de grêlons de tailles et poids différents. Ces cristaux de glace subissent d'incessantes turbulences au sein du nuage et sous l'effet des puissants courants ascendants. Ils peuvent gagner de l'altitude ou bien chuter en quelques secondes en fonction de leur poids. Lors de ces turbulences des gouttelettes surfondues entrent en contact avec ces grêlons et gèlent : elles contribuent à augmenter la taille de ces grêlons en formant des couches de glace successives. Ce n'est que lorsque son poids sera suffisamment élevé pour contrer l'effet de ces phénomènes que le grêlon pourra tomber au sol.

Pour conclure, plus l'instabilité et les turbulences seront grandes au sein du nuage et plus les grêlons ne pourront acquérir une grande taille et devenir dangereux pour la végétation ainsi que les infrastructures. La grêle est souvent redoutée dans le milieu vinicole, car en l'espace de quelques

minutes elle peut détruire des parcelles de vignes entières et réduire une grande partie des récoltes [8].

## **6. Mesures des précipitations**

### **6.1. Mesures de la hauteur d'eau précipitée**

Comme les précipitations varient selon différents facteurs (déplacement de la perturbation, lieu de l'averse, influence de la topographie, etc.), leur mesure est relativement compliquée. Quelle que soit la forme de la précipitation, liquide ou solide, on mesure la quantité d'eau tombée durant un certain laps de temps. On l'exprime généralement en hauteur de précipitation ou lame d'eau précipitée par unité de surface horizontale (mm). On définit aussi son intensité (mm/h) comme la hauteur d'eau précipitée par unité de temps. La précision de la mesure est au mieux de l'ordre de 0,1 mm. En Suisse, toute précipitation supérieure à 0,5 mm est considérée comme pluie effective.

Citons toutefois les deux appareils de mesures fondamentaux que sont :

- **Le pluviomètre**

Instrument de base de la mesure des précipitations liquides ou solides. Il indique la quantité d'eau totale précipitée et recueillie à l'intérieur d'une surface calibrée dans un intervalle de temps séparant deux relevés.

- **Le pluviographe**

Instrument captant la précipitation de la même manière que le pluviomètre mais avec un dispositif permettant de connaître, outre la hauteur d'eau totale, leur répartition dans le temps, autrement dit les intensités [9].

## **7. Relation entre le rayonnement solaire et l'humidité et les précipitations**

Les chercheurs ont été observés que le changement de l'humidité relative et les précipitations sont influencé par le degré de couverture nuageuse et l'irradiation solaire. Dans le chapitre suivant on a détaillé cette relation.

# **Chapitre 2**

## **Modèles d'estimation de l'irradiation solaire globale basés sur l'humidité et les precipitations**

## 1. Introduction

L'information sur le rayonnement solaire en tout lieu est requise par les ingénieurs, les architectes, les agriculteurs et les hydrologues dans de nombreuses applications de l'énergie solaire. Le paramètre le plus important qui est souvent nécessaire est l'irradiation solaire globale à long terme. Cependant, les mesures de ce paramètre ne peuvent être déterminées qu'à quelques endroits.

Pour les endroits où aucune valeur mesurée n'est disponible, une pratique courante a été établie pour évaluer ce paramètre en utilisant des corrélations qui sont établies empiriquement en utilisant des données mesurées à certains endroits sélectionnés. Ces corrélations estiment les valeurs du rayonnement global H à partir de paramètres météorologiques, climatologiques et géographiques plus facilement disponibles. Le rayonnement global peut être estimé à partir de variables climatiques telles que la durée d'ensoleillement, la température de l'air ambiante, l'humidité relative, les précipitations [10].

## 2. Modèles d'estimation de l'irradiation solaire globale basés sur l'humidité

Plusieurs modèles empiriques ont été développés pour l'estimation de l'irradiation solaire globale en utilisant divers paramètres météorologiques. On cite ici quelques modèles utilisés basés sur l'humidité relative et les précipitations.

### 2.1. Modèle linéaire en fonction de l'humidité

Dans ce groupe, le rayonnement solaire global est corrélé à l'humidité relative RH sous la forme:

$$\frac{G}{G_0} = a + b (RH) \quad (\text{II.1})$$

Ce modèle a été appliqué sous les conditions météorologiques de plusieurs sites, parmi lesquels on cite les suivants :

- Port Harcourt à Nigeria:

a	b	R	MBE	RMSE	MPE
1,875	- 0,017	0,896	- 0,2002	- 0,1685	- 1,1496

- Ikeja à Nigeria:

a	b	R	MBE	RMSE	MPE
2,024	-0,019	0,896	1,6664	2,0520	13,4271

## 2.2. Modèle quadratique en fonction de l'humidité

Hargreaves et Samani ont développés le modèle quadratique sous la forme suivante :

$$\frac{G}{G_0} = a + b (RH)^2 \quad (\text{II.2})$$

Ce modèle a été appliqué sous les conditions météorologiques de plusieurs sites, parmi lesquels on cite les suivants :

- Port Harcourt à Nigeria:

$$\frac{G}{G_0} = 3,266 + 0,306(RH)^2 \quad (\text{II.3})$$

- Ikeja à Nigeria:

$$\frac{G}{G_0} = 3,614 - 0,364(RH)^2 \quad (\text{II.4})$$

## 2.3. Autres modèles

En 2010, Augustine et Nnabuchi [11] ont créé l'équation suivante :

$$\frac{G}{G_0} = a + b \left( \frac{RH}{100} \right) \quad (\text{II.5})$$

- L'application de ce modèle pour le site d'Oweri :

$$\frac{G}{G_0} = 0,718 - 0,401 \left( \frac{RH}{100} \right) \quad (\text{II.6})$$

R	MBE	RMSE	MPE
0,795	0,566	3,922	0,988

- L'application de ce modèle pour le site d'Emugu :

$$\frac{G}{G_0} = 0,538 - 0,119 \left( \frac{RH}{100} \right) \quad (II.7)$$

R	MBE	RMSE	MPE
0,378	0,533	3,812	0,678

- L'application de ce modèle pour le site d'Warri :

$$\frac{G}{G_0} = 0,309 - 0,082 \left( \frac{RH}{100} \right) \quad (II.8)$$

R	MBE	RMSE	MPE
0,221	0,533	3,812	0,678

- L'application de ce modèle pour le site d'uyo :

$$\frac{G}{G_0} = 0,538 - 0,119 \left( \frac{RH}{100} \right) \quad (II.9)$$

R	MBE	RMSE	MPE
,0509	0,578	3,218	0,699

En 1967, Swartman et Ogunlade ont exprimé le rayonnement solaire global en fonction de l'humidité relative et la durée d'ensoleillement:

$$\frac{G}{G_0} = a + b \left( \frac{s}{s_0} \right) + c (RH) \quad (II.10)$$

En 2009, Chegaar et Guechiont été appliqué cette équation, en utilisant des données météorologiques fournis par différentes stations météorologiques en Algérie (Alger, Oran, Bechar, Tamanrasset). Leurs résultats montrent un bon accord entre les valeurs mesurées et celles estimés. Ils ont recommandé l'utilisation de cette équation pour tous les sites avec un climat similaire en Algérie.

Okundamiya et al [12] ont proposé le modèle suivant pour les sites : Abuja, Benin and Sokoto à Nigeria.

- L'application de ce modèle pour le site d'Abuja :

$$\frac{G}{G_0} = 0,4171 + 0,4252 \left( \frac{s}{s_0} \right) + 0,0015 (RH) \quad (II.11)$$

$R^2$	MBE	RMSE	MABE
0,9467	0,1930	0,9159	0,7494

- L'application de ce modèle pour le site de Benin :

$$\frac{G}{G_0} = 0,6700 + 0,4381 \left( \frac{s}{s_0} \right) + 0,0046 (RH) \quad (II.12)$$

$R^2$	MBE	RMSE	MABE
0,8874	-0,8809	1,6891	1,2665

- L'application de ce modèle pour le site de Sokoto

$$\frac{G}{G_0} = 0,7561 - 0,029 \left( \frac{s}{s_0} \right) + 0,0014 (RH) \quad (II.13)$$

$R^2$	MBE	RMSE	MABE
0,8332	0,5119	1,0715	0,7433

Dans un autre modèle, les chercheurs ont corrélé l'irradiation avec l'humidité relative RH et  $\Delta T$  (la différence entre les températures maximale et minimale) et  $\theta$  (le rapport entre les températures minimale et maximale) et le nombre de jours, comme suit :

$$\frac{G}{G_0} = a + b \left( \frac{\Delta T + RH}{N} \right) + c \theta \quad (II.14)$$

- L'application de ce modèle pour le site de Port Harcourt (Nigeria):

$$a = 2,931 \quad b = -0,570 \quad c = -1,214$$

R	MBE	RMSE	MPE
0,841	-0,3663	1,3966	-1,5154

- L'application de ce modèle pour le site de Ikeja (Nigeria):

$$a = 3,886 \quad b = -0,673 \quad c = -2,135$$

R	MBE	RMSE	MPE%
0,879	0,4126	1,2932	3,4516

Sayigh propose un modèle basé sur plusieurs paramètres météorologiques (durée d'insolation  $S$ , humidité relative  $RH$ , température maximale  $T_{max}$ ). Ce modèle est tient compte aussi la position géographique du site Il est donné par la relation suivantes :

$$G = 11,6.N. e^{\frac{S}{S_0} + \frac{RH}{15} - \left(\frac{1}{T_{max}}\right)} \quad (\text{II.15})$$

Avec :

$$N = 1,7 - 0,458\varphi$$

$S_0$ : durée d'insolation théorique.

$RH$ : Humidité relative (%)

$S$  : durée d'insolation réel.

$\varphi$  : latitude du site exprimée en radians.

Dans un autre travail, les auteurs créé une relation entre le rayonnement solaire global  $H$ , et les paramètres suivants : l'humidité  $RH$ , la différence de température  $\Delta T$  et  $\theta$  comme suit :

$$\frac{G}{G_0} = a + b.RH + c.\theta + d.\Delta T \quad (\text{II.16})$$

- L'application de ce modèle pour le site de Port Harcourt (Nigeria):

$$a = 0,777 \quad b = 0,018 \quad c = 1,321 \quad d = 0,030$$

R	MBE	RMSE	MPE
0,876	0,4424	1,2885	2,8799

- L'application de ce modèle pour le site d' Ikeja (Nigeria):

$$a = -2,686 \quad b = 0,001 \quad c = 2,834 \quad d = 0,115$$

R	MBE	RMSE	MPE%
0,929	0,4129	0,9888	3,5857

Un autre modèle corrélé le rayonnement solaire global H et l'humidité RH, la différence de température  $\Delta T$  et le nombre de jours N comme suit:

$$\frac{G}{G_0} = a + b \left( \frac{\Delta T + RH}{N} \right)^{0.5} \quad (\text{II.17})$$

- L'application de ce modèle pour le site de Port Harcourt (Nigeria):

$$a = 5,981 \quad b = 1,991$$

R	MBE	RMSE	MPE
0,794	0,6193	1,6939	3,9494

- L'application de ce modèle pour le site d'Ikeja (Nigeria):

$$a = 2,282 \quad b = 0,675$$

R	MBE	RMSE	MPE
0,764	1,2313	2,1181	3,4516

H.P. Garget S.N Garg proposent un modèle qui tient compte la durée d'insolation et les humidités relative et absolue, comme suit :

$$G = G_0 (0.414 + 0.400 \cdot S_0 - 0.0055 \cdot Ra) \quad (\text{II.18})$$

$$Ra = (4.7923 + 0.3647 \cdot T_a + 0.0055 \cdot T_a^2 + 0.0003 \cdot T_a^3)$$

Avec :

G : Irradiation globale journalière.

$G_0$  : Irradiation journalière à la limite de l'atmosphère.

$T_a$  : Température ambiante.

$R_a$  : L'humidité absolue.

Hussain a développé le modèle de H.P Garg :

$$G = G_0 (0.394 - 0.364 \cdot S_0 - 0.0035 \cdot Ra) \quad (\text{II.19})$$

En 2010 Augustine et Nabuchi ont obtenu les modèles suivants pour les sites : Owerri, Enugu, Warri et Uyo (Nigeria) :

$$\frac{G}{G_0} = a \frac{\bar{n}}{N} + b T_m + c \frac{\bar{c}}{c} + d \frac{RH}{100} \quad (\text{II.20})$$

$\frac{\bar{n}}{N}$  : fraction de la durée d'ensoleillement.

$T_m$  : Température maximum.

$\frac{\bar{c}}{c}$  : indice de trouble [13] .

- L'application de ce modèle pour le site d'Owerri (Nigeria):

$$\frac{G}{G_0} = -0,024 \frac{\bar{n}}{N} + 0,009 T_m - 0,046 \frac{\bar{c}}{c} + 0,079 \frac{RH}{100} \quad (\text{II.21})$$

R	MBE	RMSE	MPE
0,948	0,884	1,122	0,047

- L'application de ce modèle pour le site d'Enugu (Nigeria):

$$\frac{G}{G_0} = -1,39 \frac{\bar{n}}{N} + 0,04 T_m - 6,59 \frac{\bar{c}}{c} + 1,10 \frac{RH}{100} \quad (\text{II.22})$$

R	MBE	RMSE	MPE
0,824	0,114	1,122	0,017

- L'application de ce modèle pour le site de Warri (Nigeria):

:

$$\frac{G}{G_0} = -1,39 \frac{\bar{n}}{N} + 0,04 Tm - 6,59 \frac{\bar{c}}{c} + 1,10 \frac{RH}{100} \quad (II.23)$$

R	MBE	RMSE	MPE
0,824	0,114	1,122	0,017

En 2014, Okonkwo et Nwokoye ont élaboré les modèles suivants pour le site de Minna à Nigeria [14] :

$$\frac{G}{G_0} = 0,513 + 0,244 \left( \frac{s}{s_0} \right) - 0,005(P) + 0,002(W) + 0,082(RH) - 0,328(Tr)$$

$$\begin{aligned} \frac{G}{G_0} = & 0,689 + 0,084 \left( \frac{s}{s_0} \right) - 0,023(P) - 0,007(W) + 0,115(RH) - 0,457(Tr) \\ & - 0,006 \left( \frac{s}{s_0} + P + W + RH + Tr \right) \end{aligned}$$

# **Chapitre3**

## **Evaluation des modèles proposés**

## 1. Introduction

Une connaissance précise de la disponibilité de la ressource solaire à n'importe quel endroit est requise par les ingénieurs, les architectes, les agriculteurs et dans de nombreuses applications de l'énergie solaire. Le paramètre le plus important est l'irradiation solaire globale. Cependant, les mesures de ce paramètre ne peuvent être déterminées qu'à quelques endroits. Pour les endroits où aucune valeur mesurée n'est disponible, l'estimation de ce paramètre à l'aide des corrélations est très importante. Ces corrélations permettent d'estimer les valeurs de rayonnement solaire  $G$ , à l'aide de paramètres météorologiques, climatologiques et géographiques facilement disponibles. L'humidité relative et les précipitations sont parmi les paramètres utilisés pour estimer l'irradiation solaire globale. On a étudié ici quelques modèles utilisés [15].

## 2. Site de M'sila

M'sila est située à l'est de l'Algérie (latitude  $35^{\circ}42'N$ , longitude  $4^{\circ}3'E$ , altitude 442m, albédo 0,2). Elle a une superficie de 18175 km<sup>2</sup>, limitée par les wilayas de : Médéa, Bouira, Bordj-Bou-Argeridj et Sétif, Batna, Djelfa et Biskra.



Figure III.1 Situation géographique de M'sila.

## 3. Méthodologie du travail

Les mesures de l'irradiation solaire globale, l'humidité relative et les précipitations que nous utiliserons dans le cadre de notre étude, proviennent de la station météorologique de M'sila (Latitude  $35^{\circ}40'N$ , Longitude  $4^{\circ}30'E$ ), effectuées durant la période, d'octobre 2015 jusqu'à mars 2016, plus le mois de juin 2016. Les mesures ont été effectuées avec une station météorologique de marque Vantage Pro2 Plus, des laboratoires DAVIS.

Les moyennes mensuelles de l'irradiation solaire globale, l'humidité relative et les précipitations ont été obtenues avec EXCEL. Un programme en FORTRAN a été élaboré afin de calculer l'irradiation solaire globale moyenne mensuelle hors atmosphère sur un plan horizontal. Les courbes qui illustrent la variation de  $(G/G_0)$  en fonction de (HR) et (P) pour chaque modèle ont été tracées avec le logiciel ORIGIN.

#### 4. Appareils de mesure

Le davis instrument vantage pro2 (figure III.2) se compose d'une console et d'une suite de capteurs intégrés innovants qui comprend un collecteur de pluie avec seau à vidange automatique, des capteurs de température et d'humidité et un anémomètre. La suite de capteurs est logée à l'intérieur d'un écran anti-rayonnement, protégeant les capteurs contre le rayonnement solaire et les sources supplémentaires de chaleur réfléchie et/ou rayonnée. De plus, cette station météo sans fil de haute technologie suivra les hauts et les bas (et/ou les totaux et les moyennes) pour presque toutes les variables météorologiques. Avec la plage de transmission étendue qui peut être étendue avec des répéteurs en option, cette station météo sans fil comprend un anémomètre qui peut être monté avec la suite de capteurs ou détaché et placé dans un emplacement séparé. Les stations météo Vantage Pro2 de Davis Instruments sont les meilleures pour les observateurs météorologiques amateurs et les professionnels de la météo [16].



Figure III.2 Station météo Vantage Pro2.

Cette station permet de mesurer [17] :

- La température intérieure - Résolution 0,1°C.
- La température extérieure - Résolution 0,1°C.
- L'humidité intérieure - Résolution: 1%.
- L'humidité extérieure - Résolution: 1%.
- La pression atmosphérique - Résolution: 0,1 hPa.
- L'indice de chaleur - Résolution 1°C.

- Le point de rosée - Résolution 1°C.
- Les précipitations - Résolution 0,2 mm.
- La température ressentie - Résolution 1°C.
- La vitesse du vent de 3 à 241 km/h - Résolution 1 km/h.
- La direction du vent - Résolution 1°.

Un kit classique pour la station, permet d'exploiter très finement les données collectées par les stations météo Vantage Pro2. Ce kit comprend un enregistreur de données (datalogger) qui fonctionne en mode connecté à un PC, et un logiciel d'exploitation Weather-Link. Il est possible de consulter en temps réel les données climatiques ou en mode non connecté [18].

L'enregistreur collecte les données à un intervalle de 5 minutes.

## 5. Application de quelques modèles basés sur l'humidité relative pour le site de M'sila

On a choisit trois modèles (linéaire, quadratique et cubique) basé sur l'humidité relative, qui sont largement utilisées pour l'estimation de l'irradiation solaire globale mensuelle.

### 5.1. Modèles en fonction de RH (octobre 2015)

- **Modèle linéaire**

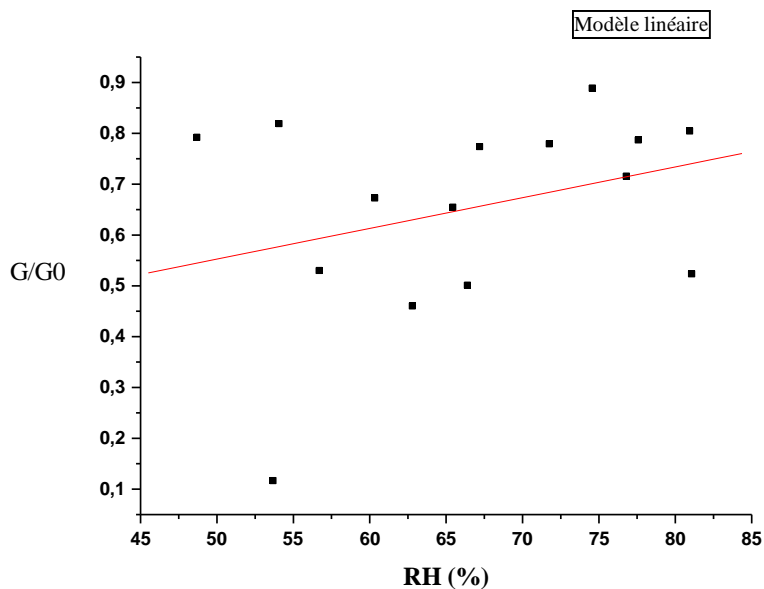


Figure III.3 Modèle linéaire en fonction de RH (octobre 2015)

$$G/G_0 = 0,25044 + 0,00604.RH \quad (III.1)$$

- **Modèle quadratique**

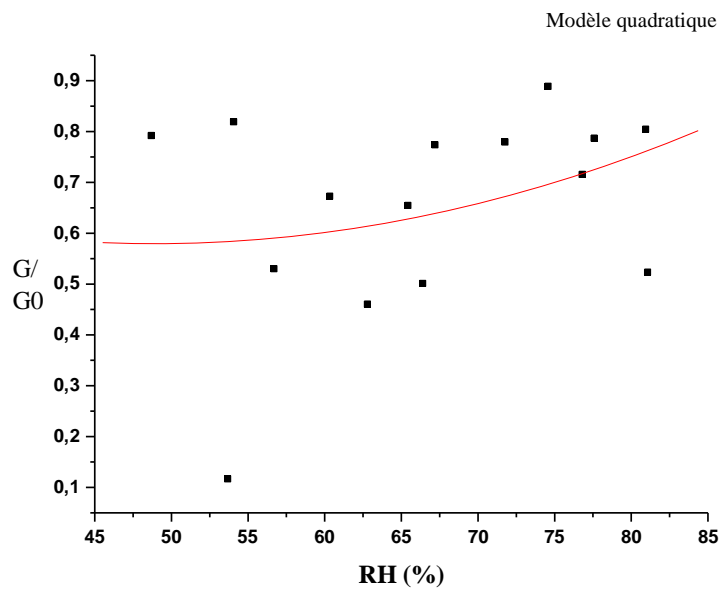


Figure III.4 Modèle quadratique en fonction de RH (octobre 2015)

$$G/G_0 = 1,00119 - 0,01726.RH + 1,76541E - 4. RH^2 \quad (III.2)$$

- **Modèle cubique**

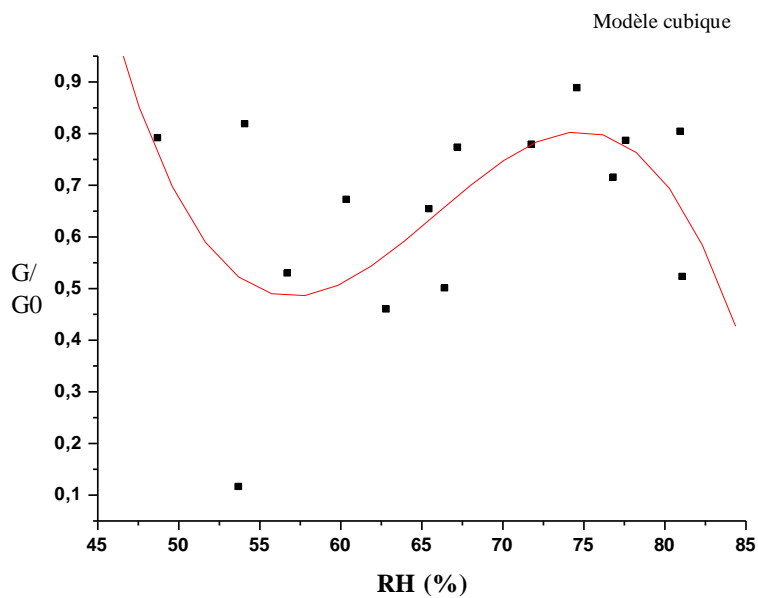


Figure III.5 Modèle cubique en fonction de RH (octobre 2015)

$$G/G_0 = 31,34105 - 1,4512. RH + 0,02243. RH^2 - 1,13446E - 4. RH^3 \quad (III.3)$$

## 5.2. Modèles en fonction de RH (novembre 2015)

- **Modèle linéaire**

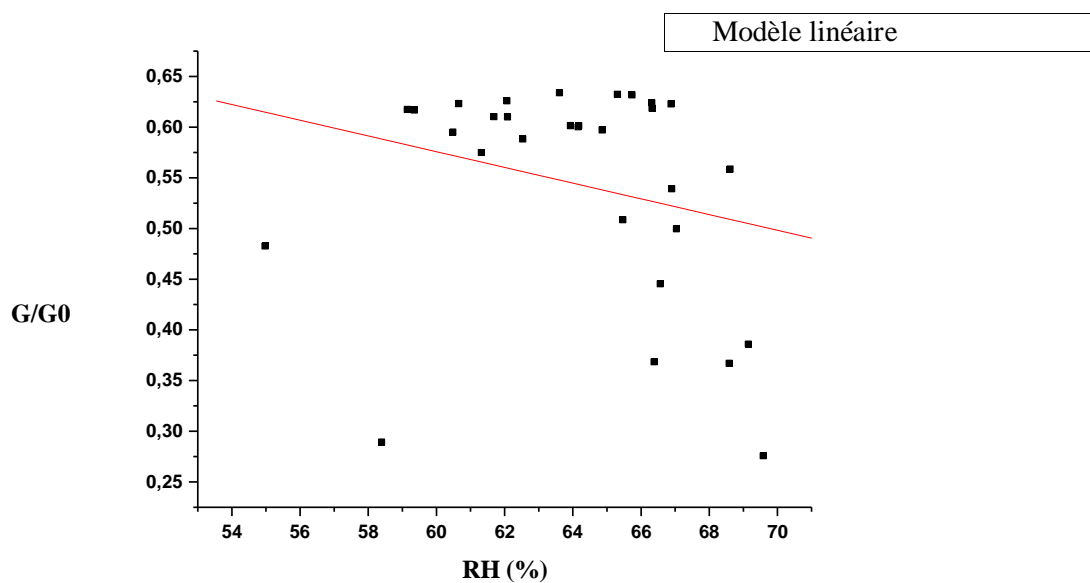


Figure III.6 Modèle linéaire en fonction de RH (Novembre 2015)

$$G/G_0 = 1,04117 - 0,00776.RH \quad (\text{III.4})$$

- **Modèle quadratique**

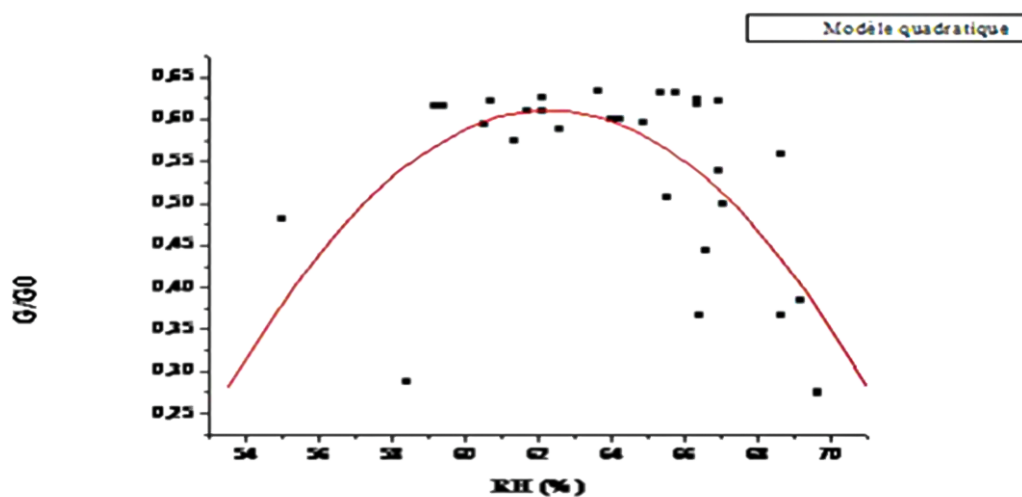


Figure III.7 Modèle quadratique en fonction de RH (Novembre 2015)

$$G/G_0 = - 16,24605 + 0,54156. RH - 0,00435. RH^2 \quad (\text{III.5})$$

• **Modèle cubique**

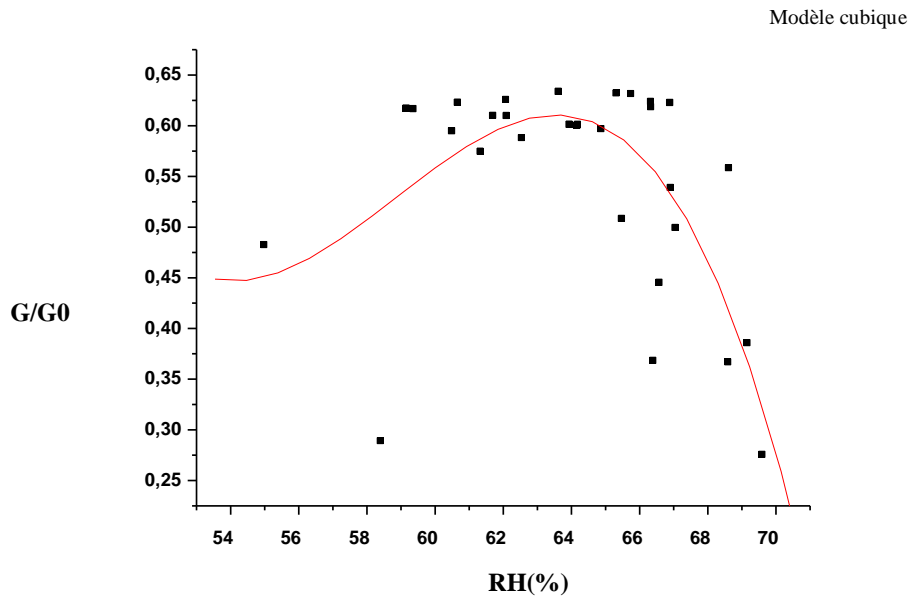


Figure III.8 Modèle cubique en fonction de RH (Novembre 2015)

$$G/G_0 = 78,40136 + 4,0227 \cdot RH + 0,06881 \cdot RH^2 - 3,89853E - 4 \cdot RH^3 \quad (III.6)$$

**5.3. Modèles en fonction de RH (decembre 2015)**

• **Modèle linéaire**

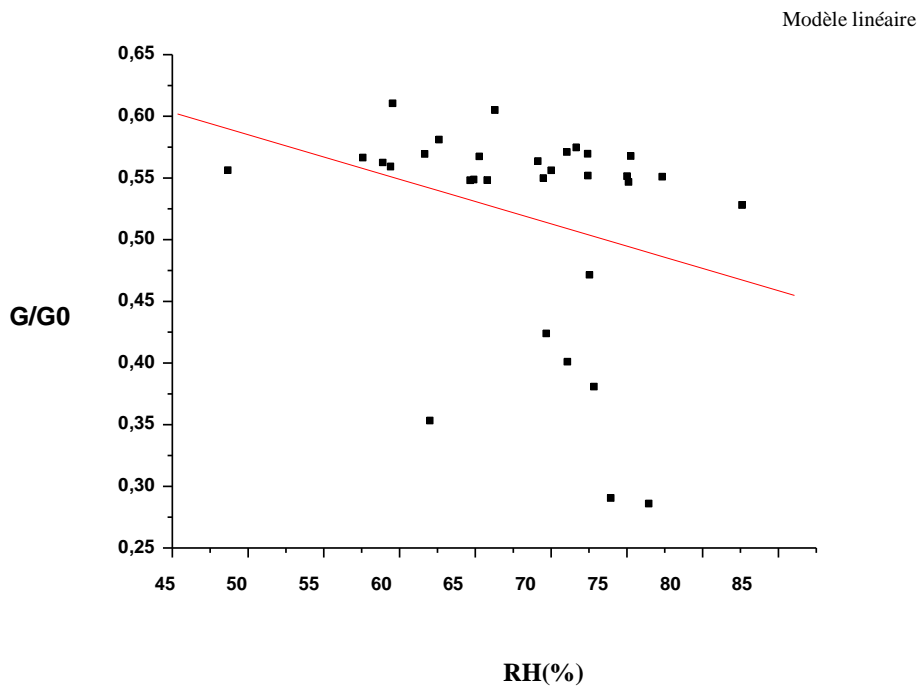


Figure III.9 Modèle linéaire en fonction de RH (decembre 2015)

$$G/G_0 = 0,76584 - 0,00361.RH \quad (III.7)$$

• **Modèle quadratique**

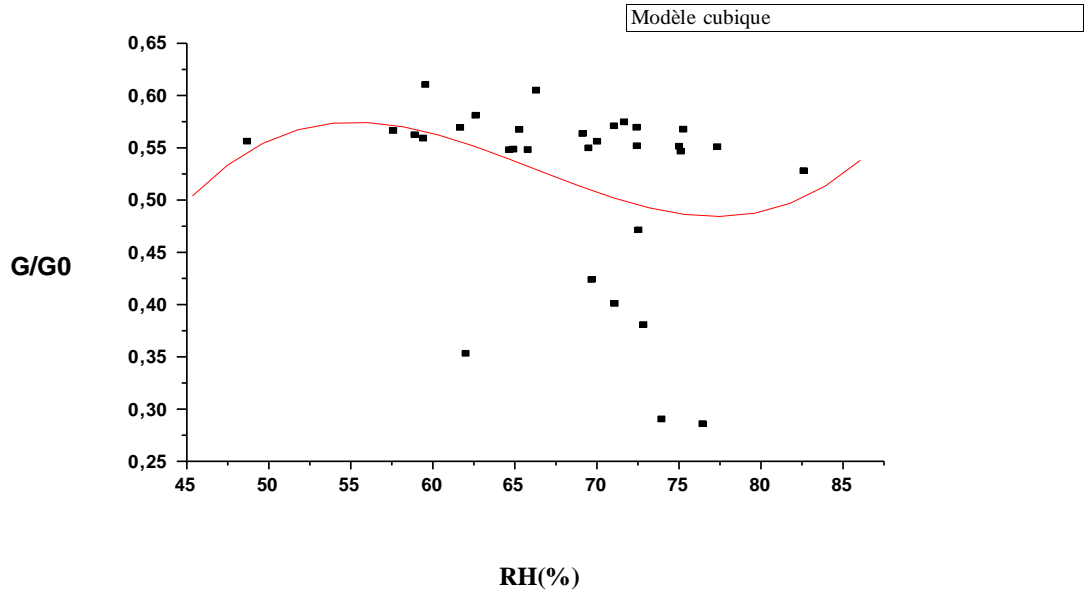


Figure III.10 Modèle quadratique en fonction de RH (decembre 2015)

$$G/G_0 = 0,61971 + 8,40718E-4. RH - 3,35493E - 5. RH^2 \quad (III.8)$$

• **Modèle cubique**

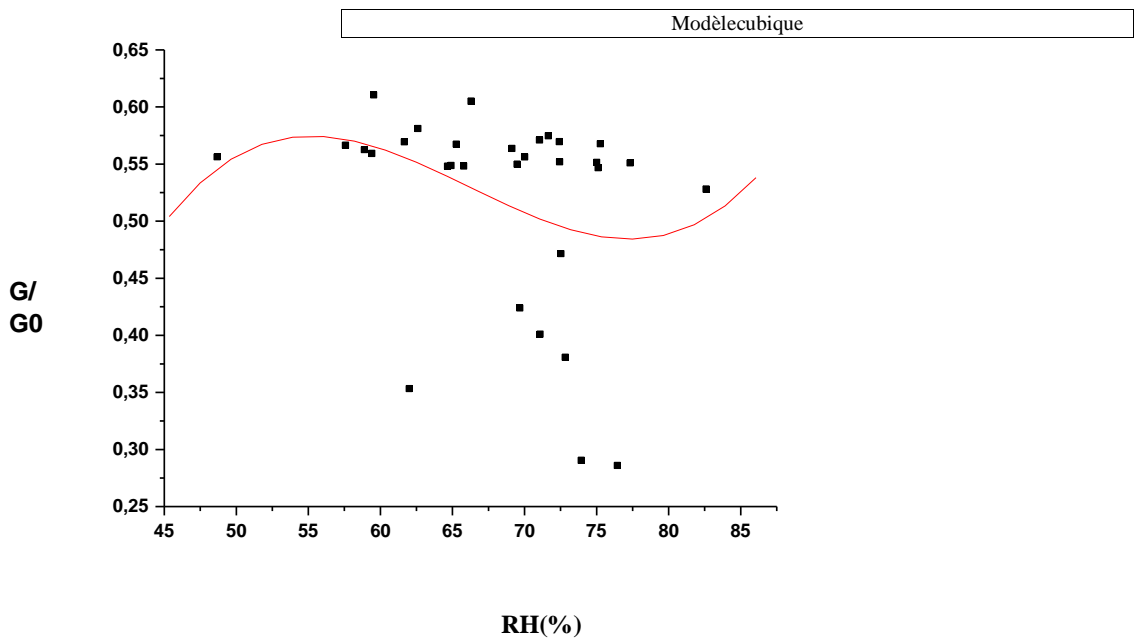


Figure III.11 Modèle cubique en fonction de RH (decembre 2015)

$$G/G_0 = -3,94572 + 0,21487 \cdot RH - 0,00334 \cdot RH^2 - 1,67768E-5 \cdot RH^3 \quad (\text{III. 9})$$

#### 5.4. Modèles en fonction de RH (janvier 2016)

##### . Modèle linéaire

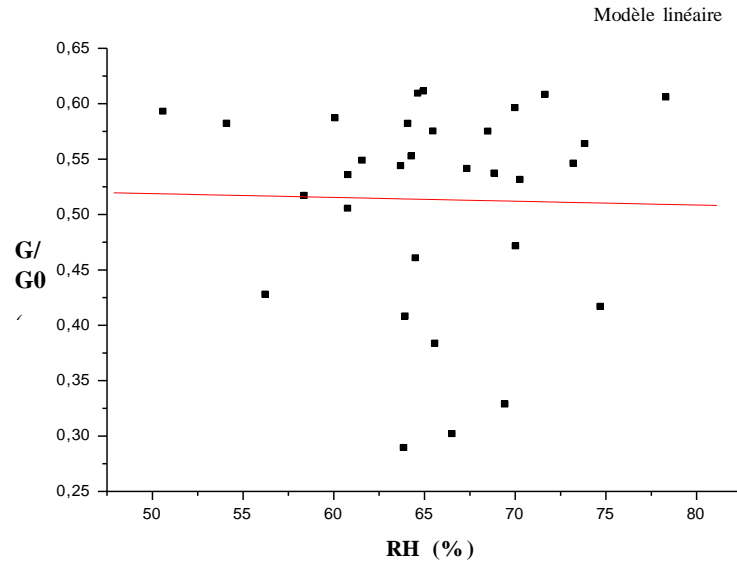


Figure III.12 Modèle linéaire en fonction de RH (Janvier 2016)

$$G/G_0 = 0,53599 - 3,42884E - 4 \cdot RH \quad (\text{III.10})$$

##### • Modèle quadratique

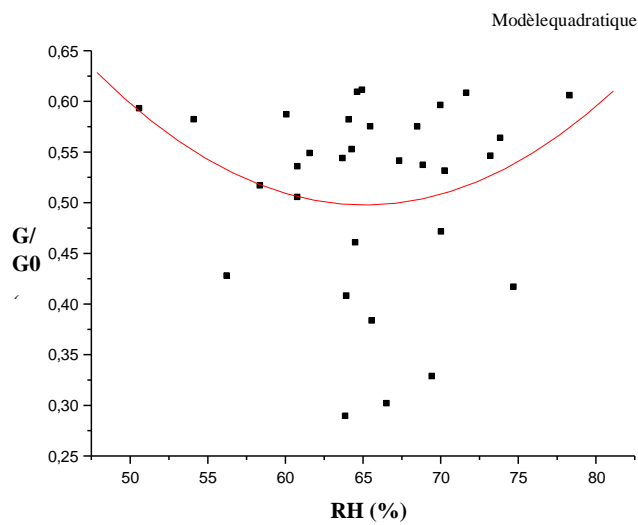


Figure III.13 Modèle quadratique en fonction de RH (Janvier 2016)

$$G/G_0 = 2,35948 - 0,05718 \cdot RH + 4,39084E - 4 \cdot RH^2 \quad (III.11)$$

• **Modèle cubique**

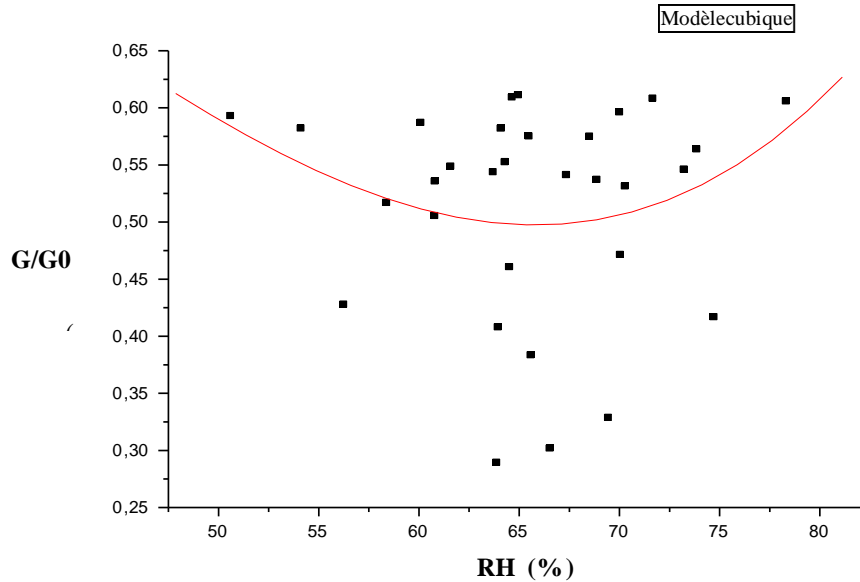


Figure III.14 Modèle cubique en fonction de RH (Janvier 2016)

$$G/G_0 = 0,82879 + 0,01536 \cdot RH - 6,96235E - 4 \cdot RH^2 + 5,87071E - 6 \cdot RH^3 \quad (III.12)$$

**5.5. Modèles en fonction de RH (février 2016)**

• **Modèle linéaire**

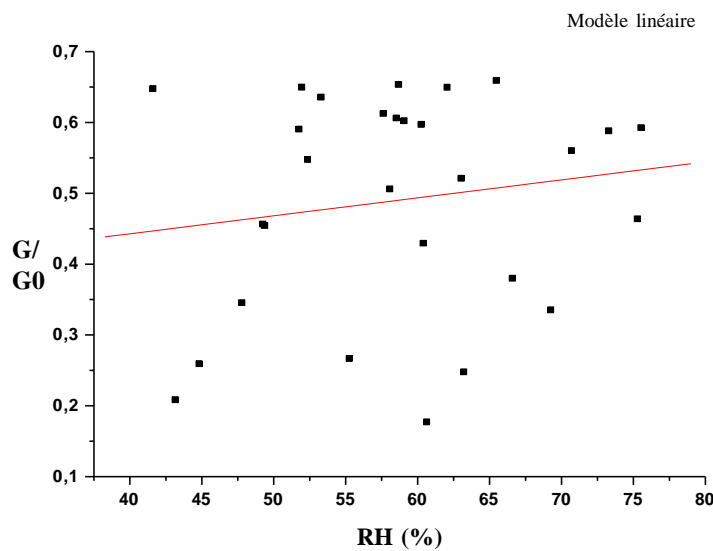


Figure III.15 Modèle linéaire en fonction de RH (Février 2016)

$$G/G_0 = 0,34142 + 0,00254.RH \quad (III.13)$$

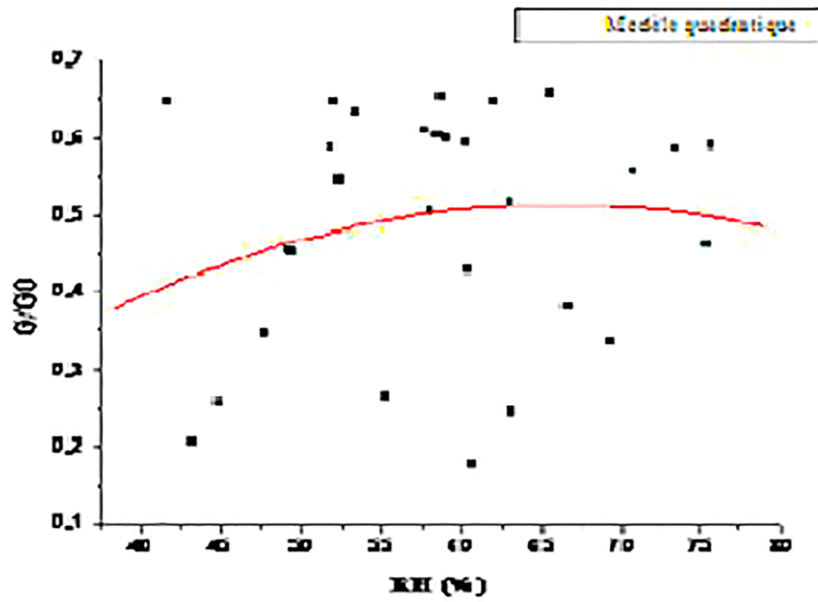


Figure III.16 Modèle quadratique en fonction de RH (Février 2016)

$$G/G_0 = -0,26359 + 0,02354.RH - 1,77976E - 4.RH^2 \quad (III.14)$$

- **Modèle cubique**

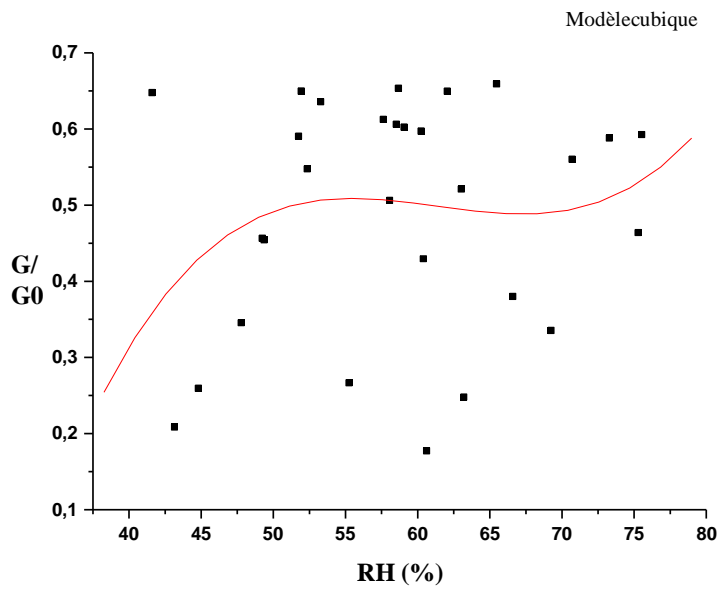


Figure III.17 Modèle cubique en fonction de RH (Février 2016)

$$G/G_0 = - 5,05519 + 0,27678. RH - 0,00455. RH^2 + 2,47395E - 5. RH^3 \quad (III.15)$$

### 5.6. Modèles en fonction de RH (Mars 2016)

#### •Modèle linéaire

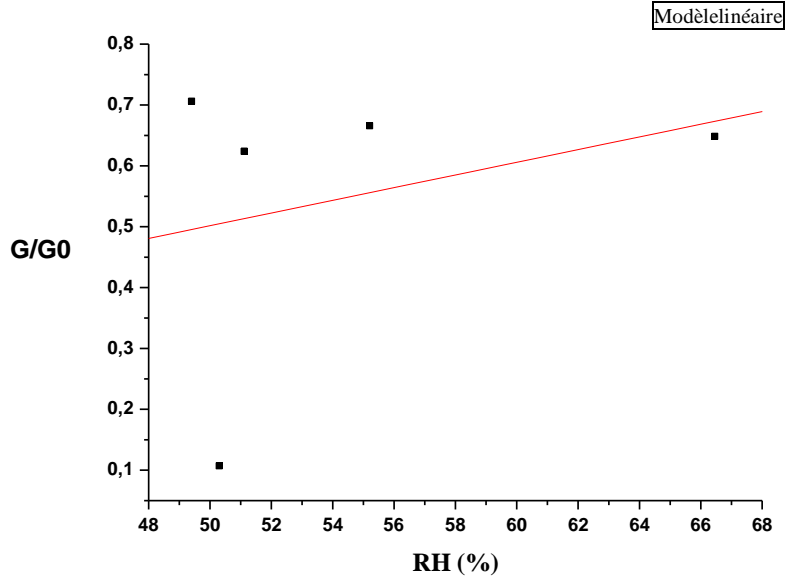


Figure III.18 Modèle linéaire en fonction de RH (Mars 2016)

$$G/G_0 = -0,01923 + 0,01042.RH \quad (III.17)$$

#### •Modèle quadratique

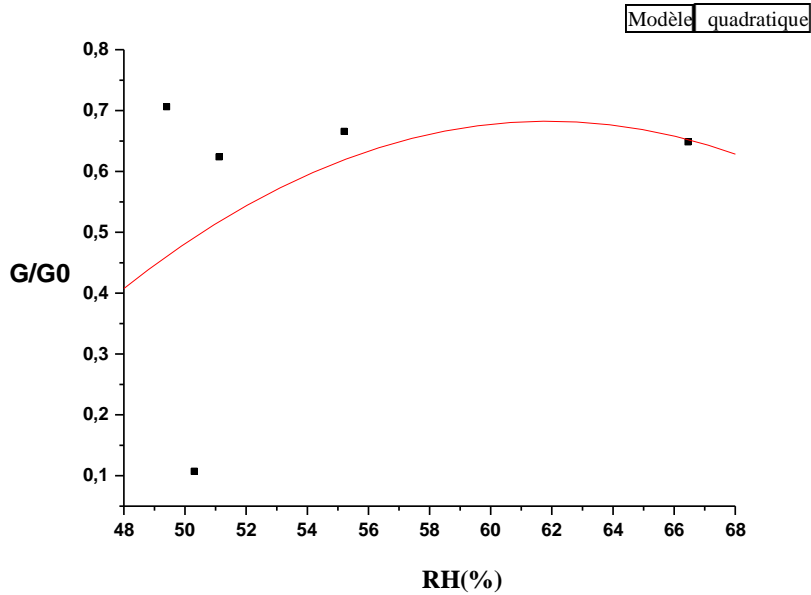


Figure III.19 Modèle quadratique en fonction de RH (Mars 2016)

$$G/G_0 = - 4,78386 + 0,17671. RH - 0,00143. RH^2 \quad (III.18)$$

- **Modèle cubique**

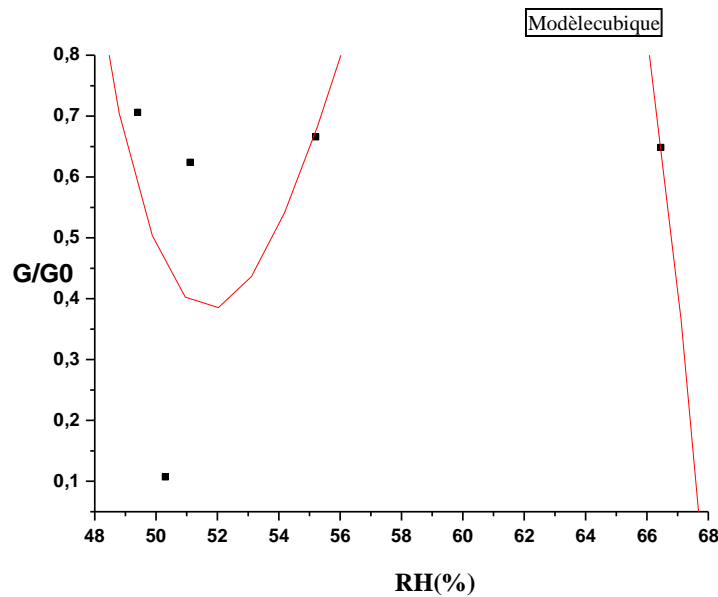


Figure III.20 Modèle cubique en fonction de RH (Mars 2016)

$$G/G_0 = 367,51708 - 19,66609. RH + 0,34875. RH^2 - 0,00204. RH^3 \quad (III.19)$$

## 6. Évaluation des modèles

D'après la littérature l'évaluation des modèles empiriques est basé sur le calcul des paramètres statistiques suivants :  $R^2$  (coefficient de détermination), RMSE (Root Mean Square Error), MBE (Mean Bias Error), MABE (Mean Absolute Bias Error), MPE (Mean Percentage Error) et MAPE (Erreur de pourcentage Absolu Moyen). Un modèle est plus efficace lorsque  $R^2$  est plus proche de 1 (un). Le RMSE renseigne sur les performances à court terme des corrélations en permettant une comparaison terme à terme de l'écart entre les valeurs calculées et mesurées. Les valeurs du MBE représentent l'erreur systématique ou le biais, une valeur positive de MBE montre une surestimation tandis qu'une valeur négative une sous-estimation par le modèle. Le MABE donne la valeur absolue de l'erreur de biais et c'est une mesure de la qualité de la corrélation. Le MPE est une mesure globale du biais de prévision, calculé à partir des différences réelles entre une série de prévisions et le point de données réel observé ; chaque différence est exprimée en pourcentage de chaque point de données observé, puis additionnée et moyennée. Le MAPE est une mesure globale de l'exactitude des prévisions, calculée à partir des différences absolues entre une série de prévisions et les données réelles observées. L'inconvénient associé à MBE et MPE est que des

erreurs de signes différents peuvent s'annuler. Plus la valeur est petite, les performances du modèle sont meilleures, mais quelques valeurs dans la somme peuvent produire une augmentation significative du paramètre. Le MBE et le MPE offrant des informations concernant la surestimation ou la sous-estimation des données estimées ; de faibles valeurs de ces erreurs moyennes sont souhaitables, bien qu'il faille noter que la surestimation d'un élément de données individuel annulera la sous-estimation dans une observation distincte [19]. Dans cette étude, on a confiné sur les paramètres RMSE, MBE et MPE. Les valeurs obtenues de ces paramètres sont présentés dans les tableaux suivants :

<b>Modèle linéaire</b>						
G mesuré (MJ/m <sup>2</sup> )	Mois	HR Moyenne (%)	G estimé (MJ/m <sup>2</sup> )	MBE	RMSE	MPE
11,44	Octobre 2015	67,44	15,22	0,56	1,37	-4,91
10,15	Novembre 2015	64,08	10,21	0,01	0,02	-0,09
8,77	Decembre 2015	68,52	8,78	-5,2 E-05	0,0001	0,0006
9,49	Janvier 2016	65,11	643,66	105,69	258,89	-1112,9
11,42	Février 2016	58,83	11,45	0,004	0,01	-0,03
16,16	Mars 2016	52,62	15,58	-0,09	0,237	0,59

Table III.1 Rayonnement solaire, humidité relative et erreurs des valeurs estimées de modèle linéaire.

<b>Modèle quadratique</b>						
G mesuré (MJ/m <sup>2</sup> )	Mois	HR Moyenne (%)	G estimé (MJ/m <sup>2</sup> )	MBE	RMSE	MPE
11,44	Octobre 2015	67,44	14,81	1	1,37	-6,60
10,15	Novembre 2015	64,07	11,16	0	0,41	-1,67
8,77	Decembre 2015	68,51	8,79	0	0,009	-0,042
9,49	Janvier 2016	65,11	9,18	0	0,12	0,55
11,42	Février 2016	58,82	11,78	0	0,14	-0,52
16,16	Mars 2016	52,62	16,35	0	0,078	-0,19

Table III.2 Rayonnement solaire, humidité relative et erreurs des valeurs estimées de modèle quadratique.

<b>Modèle cubique</b>						
G mesuré (MJ/m <sup>2</sup> )	Mois	HR Moyenne (%)	G estimé (MJ/m <sup>2</sup> )	MBE	RMSE	MPE
11,44	Octobre 2015	67,44	15,97	1	1,85	-6,60
10,15	Novembre 2015	64,07	11,19	0	0,42	-1,70
8,77	Decembre 2015	68,51	-174,37	-31	74,77	347,76
9,49	Janvier 2016	65,11	9,18	0	0,13	0,55
11,42	Février 2016	58,82	12,07	0	0,26	-0,94
16,16	Mars 2016	52,62	32,57	3	6,70	-16,92

Tableau III.3 Rayonnement solaire, humidité relative et erreurs des valeurs estimées de modèle quadratique.

## **7. Application de quelques modèles basés sur les précipitations pour le site de M'sila**

Les données des précipitations fournis par la station météorologique de M'sila concernant la période d'octobre 2015 jusqu'à mars 2016, plus le mois de juin 2016, montrent que la totalité de ces valeurs sont nulles ou presque nulles. Par conséquent on ne peut pas faire des calculs et des graphes pour trouver les corrélations qui relient l'irradiation solaire globale et les précipitations. Pour cela, on a négligé l'étude de ce type de modèle, et ne recommande pas l'utilisation de ce type pour le site de M'sila.

---

## *Conclusion générale*

L'utilisation directe d'un modèle proposé dans la littérature pour la prédiction de la valeur de l'irradiation solaire globale peut conduire à des valeurs erronées, et par conséquent peut influencer considérablement le dimensionnement des systèmes de conversion d'énergie solaire. Cependant, le choix des modèles dépend fortement des caractéristiques climatiques du site considéré.

Dans le cadre de ce travail, les valeurs mesurées de l'humidité relative au niveau de la station météorologique de M'sila ont été utilisées pour développer des modèles empiriques pour l'estimation du rayonnement solaire global pour le site de M'sila, Algérie.

Les modèles ont été comparés sur la base des paramètres statistiques suivants : RMSE (Root Mean Square Error), MBE (Mean Bias Error), MPE (Mean Percentage Error). Le travail a été limité par le manque des données météorologiques sur une longue période.

Les résultats obtenus montrent la fiabilité des modèles proposés et étudiés pour le site de M'sila, et que M'sila dispose d'un potentiel d'énergie solaire considérable pour produire de l'électricité ou d'autres applications de l'énergie solaire.

## Références

---

- [1] Shafique Rehman Mohamed Mohandes, Artificial neural network estimation of global solar radiation using air temperature and relative humidity, *Energy Policy*, 36, pp. 571-576, 2008
- [2] Argentina Javier Almorox, Mónica Bocco, Enrique Willington, Estimation of daily global solar radiation from measured temperatures at Cañada de Luque, Córdoba, Argentina, *Renewable Energy*, 60, pp. 382-387, 2013.
- [3] <https://www.climateurope.eu/what-is-climate-and-climate-change/>
- [4] <https://www.eva-dry.com/humidity-difference-absolute-relative-specific/>
- [5] <https://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/ric/Our%20activities/International/CP3Humidity.pdf>
- [6] Hasssen Babaousmail, Rongtao Hou, Brian Ayugi, Gnim Tchalim Gnitou, Evaluation of satellite-based precipitation estimates over Algeria during 1998–2016, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 195, pp. 105-139, 2019.
- [7] <https://www.meteocontact.fr/pour-aller-plus-loin/les-precipitations>
- [8] <https://www.cieau.com/connaitre-leau/leau-dans-la-nature/quest-ce-que-la-pluie-definitioncomposition/>
- [9] <https://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre3/chapitre3.html>
- [10] <https://www.newport.com/t/introduction-to-solar-radiation>
- [11] C. Augustine, M.N. Nnabuchi, Analysis of some meteorological data for some selected Cities in the eastern and southern zone of Nigeria, *African Journal of Environmental Science and Technology*, Vol. 4, pp. 92-99, 2010.
- [12] M. S. Okundamiya, J. O. Emagbetere, E. A. Ogujor, Evaluation of various global solar radiation models for Nigeria, *International Journal of Green Energy*, 13, pp. 505–512, 2015.
- [13] Ulimar Ibrahim, Etude et modélisation du rayonnement global horizontal en fonction de la durée d’insolation (application région Adrar), mémoire de master, 2018.

- [14] C. Augustine and M. N. Nnabuchi, , Analysis of some meteorological data for some selected cities in the eastern and southern zone of Nigeria, Ebonyi State University, 2010.
- [15] S. Chukwujindu, Nwokolo, J.C. Ogbulezie, A quantitative review and classification of empirical models for predicting global solar radiation in West Africa, Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences, 2018.
- [16] K. Ouali, R. Alkama, A new Model of global solar radiation based on meteorological data in Bejaia City (Algeria), Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences, pp. 670-676, 2014.
- [17] <https://www.scientificsales.com/Davis-6152-Wireless-Vantage-Pro2-p/6152.htm>
- [18] Davis instruments :[www.davisnet.com](http://www.davisnet.com)
- [19] Haddad Zakaria, contribution à l'étude de nouvelles technologies solaires destinées à la production d'eau pour les sites isolés, thèse de doctorat, 2020.
- [20] <http://www.sciencepublishinggroup.com/j/ijees>

## ملخص

يمكن أن يؤثر الاستخدام المباشر للنماذج المقترحة في الدراسات السابقة للتنبؤ بالإشعاع الشمسي الكلي بشكل كبير على حجم أنظمة تحويل الطاقة الشمسية. تستند هذه الدراسة إلى نمذجة الإشعاع الشمسي الكلي لموقع المسيلة باستخدام قيم مُقاسة للرطوبة النسبية وهطول الأمطار ، وقد تم قياس هذا الأخير في محطة الارصاد الجوية بالمسيلة. ناقشنا ثلاثة نماذج وهي نماذج خطية وتربيعية وتكعيبية ، ثم تم تقييم هذه النماذج من خلال حساب القيم الإحصائية التالية MBE: و RMSE و MPE ومقارنتها بالقيم المقاسة. تظهر النتائج التي تم الحصول عليها موثوقية النماذج المقترحة لموقع المسيلة ، وأن المسيلة لديها إمكانات كبيرة للطاقة الشمسية لتوليد الكهرباء أو تطبيقات الطاقة الشمسية الأخرى..

**الكلمات المفتاحية:** الإشعاع الشمسي ، النمذجة ، الرطوبة ، التساقط .

## Résumé

L'utilisation directe d'un modèle proposé dans la littérature pour la prédiction de l'irradiation solaire globale peut influencer considérablement le dimensionnement des systèmes de conversion d'énergie solaire. Cette étude est basé sur la modélisation du rayonnement solaire global pour le site de M'sila en utilisant des valeurs mesurées de l'humidité relative et les précipitations, celles dernières a été mesurées au niveau de la station météorologiques de M'sila. Nous avons discuté trois modèles, qui sont les modèles linéaire, quadratique et cubique, puis ces modèles ont été évalués par le calcul des valeurs statistiques suivants : MBE, RMSE et MPE, et les comparer par rapport aux valeurs mesurées. Les résultats obtenus montrent la fiabilité des modèles proposés pour le site de M'sila, et que M'sila dispose d'un potentiel d'énergie solaire considérable pour produire de l'électricité ou d'autre applications de l'énergie solaire.

**Mots clés :** rayonnement solaire, modélisation, humidité, précipitations, RMSE.

## Abstract

Direct use of a model proposed in the literature for the prediction of global solar irradiation can significantly influence the sizing of solar energy conversion systems. This study is based on the modeling of global solar radiation for the M'sila site using measured values of relative humidity and precipitation, the latter was measured at the M'sila weather station. We discussed three models, which are linear, quadratic and cubic models, then these models were evaluated by calculating the following statistical values: MBE, RMSE and MPE, and comparing them against the measured values. The results obtained show the reliability of the models proposed for the M'sila site, and that M'sila has considerable solar energy potential to generate electricity or other solar energy applications.

**Keywords:** solar irradiation, modeling, humidity, precipitation, RMSE.