

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية

N° d'enregistrement

Université de Ghardaïa

/.../.../.../.../...



كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم الآلية و الكهروميكانيك

Département de Automatique et électromécanique

Mémoire de fin d'étude, en vue de l'obtention du diplôme

Master

Domaine: Sciences et technologie.

Filière: Electromécanique.

Spécialité: Maintenance industriel.

Thème

**Modélisation des données météorologiques par la
méthode regression polynomiale multivariée**

Présenté par :

BEN KOUMAR Abdelhak

CHEHAM Abdelfattah

Devant le jury composé de:

LADJEL Boumediene

MAA

Université

Encadrant

CHERIF Salah

MCB

Université

Président

BELLAOUAR Abderahmane

PROFESSEUR

Université

Examineur

DJELLOULI Tahar

MCB

Université

Examineur

Année universitaire 2023/2024

REMERCIEMENTS

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements et notre profonde gratitude envers notre superviseur, le Dr Ladjal. Ses conseils précieux et son expertise technique ont été d'une grande valeur pour nous. Nous avons grandement apprécié sa bienveillance, sa disponibilité et son soutien inébranlable, surtout dans les moments les plus difficiles.

Nous voulons également remercier chaleureusement le Dr Chenini Nadir pour son soutien continu tout au long du processus. Nous sommes vraiment reconnaissants pour tout ce qu'il nous a apporté, transmis et enseigné au cours de ce travail.

Nos remerciements vont également au Directeur de l'Unité de Recherche Appliquée en Énergies Renouvelables (URAER, Ghardaïa), le Dr Jaafar Jalloul, pour avoir rendu possible la réalisation de ce travail au sein de l'URAER.

Nous tenons à exprimer notre gratitude envers tous nos professeurs qui nous ont accompagnés tout au long de ces années d'études.

Nous remercions également les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer notre travail. Nous n'oublions pas non plus de remercier nos parents pour leur soutien indéfectible, leur contribution et leur patience. Enfin, nous adressons nos remerciements à toutes les personnes, qu'elles soient proches ou lointaines, qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet. Merci à tous.

Dédicace

À nos chers parents, qui ont toujours su allumer cette flamme en nous, nous souhaitons et leur disons : Merci de nous avoir donné une bonne éducation. Merci pour votre soutien et vos encouragements pendant nos études. Merci de partager nos joies et nos peines, votre foi en nous et votre confiance en nous. Merci pour tout ce que vous nous avez appris et donné. Que Dieu nous accorde la force et les moyens de toujours prendre soin de vous.

Nos remerciements vont également à nos chers frères et sœurs, ainsi qu'à tous les membres de la famille. Enfin, le mérite de ce travail revient à toutes les personnes qui ont participé à sa réalisation, à qui nous exprimons notre plus profonde gratitude et nos remerciements.

Abdelfettah

&

Abdelhak

TABLEAU DES FIGURES

SOMMAIRE

Tableau des figures.....	Erreur ! Signet non défini.
Résumé	X
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	XII
Chapitre I : Description Des Stations Météorologique	
I.1 Introduction	14
I.2.Définition des stations météorologiques	14
I.3. Historique :.....	15
I.3.1. Histoire de l'observation météorologique :	15
I.3.2. Stations météorologiques analogiques ou numériques :	16
I.4. Quelques paramètres météorologiques à mesurer :.....	16
I.4.1.Température:	16
I.4.1.1. Définition et unités :.....	16
I.4.1.2 Mesure :.....	17
I.4.1.3. Evolution spatio-temporelle de la température :.....	18
I.4.2. Humidité :.....	19
I.4.2.1. Définition et unités de mesure :	19
I.4.2.2. Mesure :.....	20
I.4.2.3. Evolution spatio-temporelle d'Humidité :	21
I.4.3.Radiation solaire :	21
I.4.3.1. Introduction et contexte :	21
I.4.3.2. Définition et unités :.....	22
I.4.3.3. Mesure :.....	23
I.4.3.4. Evolution spatiale et temporelle de radiation solaire :.....	23
I.4.4. Pression atmosphérique :.....	25

TABLEAU DES FIGURES

I.4.4.1. Le baromètre :	25
I.4.5. Le vent :	26
I.4.5.2. Formation du vent :	27
I.4.6. Précipitation :	27
I.5. Instruments de mesure d'un station météorologique	28
I.5.1. Thermomètre et l'hygromètre :	28
I.5.2. Anémomètre :	29
I.5.3 Girouette :	29
I.5.4 Pluviomètre :	30
I.5.5 Pyranomètre :	31
I.6. Types des stations météorologiques :	31
I.6.1. Stations météorologiques Classique :	31
I.6.2. Stations météorologiques professionnelle :	33
I.7 Conclusion.....	34

Chapitre II : Modélisation des Processus

II.1 Introduction :	35
II.2 Définition d'un processus et d'un modèle :	35
II.2.1.Processus :	35
II.2.2.Modèles :	36
II.3.Buts d'une modélisation :	37
II.4.Classification des modèles :	37
II.4.1 Classification selon le mode de conception :	37
II.4.2 Classification selon l'utilisation.....	38
II.5 Choix du modèle d'un processus	39
II.5.1 Modèle à temps continu	39
II.5.2 Modèles à temps discontinu ou discret :	39

TABLEAU DES FIGURES

II.5.3 Modèle linéaire :	40
II.5.4 Modèle non linéaire :	40
II.6. Identification des processus :	41
II.6.1 Les structures d'identification :	42
II.6.1.1 Identification parallèle :	42
II.6.1.2. Identification série-parallèle :	42
II.7. Conclusion.....	43
 Chapitre III : Modélisation des données météorologiques par la méthode de régression polynomiale multivarié	
III.1 Introduction :	44
III.2 Formulation mathématique :	44
III.3 Formule de la méthode des moindres carrées :	45
III.4. Périmètre de l'évaluation de modèle	47
III.5. Normalisation des données :	47
III.6. TESTE DE MODÈLE	48
III.7. Collecte des données	48
III.8. Utilisation des données	49
III.9. Test de Modèle	49
III.10. TESTE 01	52
III.11. TESTE 02	55
III.12. TESTE03	59
III.13. Conclusion :	63
CONCLUSION GÉNÉRALE	64
ANNEXE.....	68

TABEAU DES FIGURES

N	Titre	Page
Figure I.1	Station météorologique de URAER (Ghardaia)	12
Figure I.2	Exemples des instruments actuels de mesure de la température	14
Figure I.3	Distribution de température mondiale le 9 janvier 2008	15
Figure I.4	Moyennes journalières mensuelles moyennes, températures minimales et maximales à Ghardaia (2005)	16
Figure I.5	Hygromètre de Saussure (à gauche) et de psychromètre du 20ème siècle (à droite)	18
Figure I.6	Longueur d'onde et décomposition du rayonnement solaire	19
Figure I.7	Rayonnement net mensuel en W/m ²	21
Figure I.8	Baromètre à anéroïde (à gauche) , Baromètre à mercure(à droite).	23
Figure I.9	Anémomètre et la girouette dans une station météo	23
Figure I.10	Le thermomètre et L'hygromètre	25
Figure I.11	L'anémomètre	26
Figure I.12	La girouette	26
Figure I.13	Le pluviomètre	27
Figure I.14	Le pyranomètre	28
Figure I.15	station météorologique classique	29
Figure I.16	Station météorologique professionnelle	30
Figure II.1	Schéma synoptique d'un processus.	32

TABLEAU DES FIGURES

Figure II.2	Système à non linéarité séparable.	37
Figure II.3	Structure d'identification parallèle.	38
Figure II.4	Structure d'identification série-parallèle.	39
Figure III.1	diagramme de température	47
Figure III.2	diagramme de humidité	47
Figure III.3	diagramme de pression	48
Figure III.4	diagramme de vitesse de vent	48
Figure III.5	diagramme de Radiation solaire	49
Figure III.6	Schéma synoptique d'un processus de teste 1	49
Figure III.7	diagramme de Ligne de Régression linéaire simple	50
Figure III.8	diagramme de Comparaison entre Y_r et Y_e de teste 1 degré 5	50
Figure III.9	diagramme de Ligne de Régression linéaire simple	51
Figure III.10	diagramme de Comparaison entre Y_r et Y_e de teste 1 degré 7	51
Figure III.11	diagramme de Ligne de Régression linéaire simple de teste 1 degré 9	52
Figure III.12	diagramme de Comparaison entre Y_r et Y_e de teste 1 degré 9	52
Figure III.13	Schéma synoptique d'un processus de teste 2	53
Figure III.14	diagramme de Ligne de Régression linéaire simple de teste 2 degré 5	53
Figure III.15	diagramme de Comparaison entre T_r et T_e de teste 02 degré 5	54

TABLEAU DES FIGURES

Figure III.16	diagramme de Ligne de Régression linéaire simple de teste 2 degré 7	54
Figure III.17	diagramme de Comparaison entre Tr et Te de teste02 degré 7	55
Figure III.18	diagramme de Ligne de Régression linéaire simple de teste 2 degré 9	55
Figure III.19	diagramme de Comparaison entre Tr et Te de teste 02 degré 9	56
Figure III.20	Schéma synoptique d'un processus de teste 3	56
Figure III.21	diagramme de Ligne de Régression linéaire simple de teste 3 degré 5	57
Figure III.22	diagramme de Comparaison entre Tr et Te de teste03 degré 5	57
Figure III.23	diagramme de Ligne de Régression linéaire simple de teste 3 degré 7	58
Figure III.24	diagramme de Comparaison entre Tr et Te de teste03 degré 7	58

Résumé

Surveiller les conditions météorologiques et mesurer ses différents indicateurs, tels que la température, l'humidité, la pression atmosphérique et d'autres indicateurs, est très important pour plusieurs activités comme l'aviation et les pratiques quotidiennes. Pour cette tâche, des stations météorologiques équipées de capteurs sont utilisées pour surveiller les changements. Les stations météorologiques sont parfois sujettes à des dommages, et l'un des capteurs peut être endommagé. Dans cet humble travail, nous avons conçu un modèle pour les données mesurées par la méthode de régression polynomiale multivariée. Prédire les résultats des mesures du rayonnement solaire sur la base des mesures de température, de pression et d'humidité et cela avec utiliser MATLAB.

Mots-clés : (Station Météorologique - U.R.A.E.R - Modélisation – Régression -Polynôme – Les Paramètres Météorologiques – Les Capteurs - Modèle – Poucessus - Méthode des Moindres Carrées - Normalisation des données)

الخلاصة :

إن مراقبة الأحوال الجوية وقياس مؤشراتها المختلفة، مثل درجة الحرارة والرطوبة والضغط الجوي وغيرها من المؤشرات، أمر مهم جداً لعدة أنشطة مثل الطيران والممارسات اليومية. ولهذه المهمة، يتم استخدام محطات الأرصاد الجوية المجهزة بأجهزة استشعار لرصد التغيرات. تكون محطات الأرصاد الجوية عرضة للتلف في بعض الأحيان، وقد يتضرر أحد أجهزة الاستشعار. وفي هذا العمل المتواضع، قمنا بتصميم نموذج للبيانات المقاسة بطريقة الانحدار متعدد الحدود متعدد المتغيرات، للتنبؤ بنتائج قياسات الإشعاع الشمسي على أساس درجة الحرارة قياسات الضغط والرطوبة باستخدام برنامج MATLAB.

الكلمات المفتاحية: (محطة الأرصاد الجوية النمذجة - الانحدار - متعدد الحدود - معلمات الأرصاد الجوية - أجهزة الاستشعار - النموذج - العملية - طريقة المربعات الصغرى - تطبيع البيانات)

Abstract :

Monitoring weather conditions and measuring its various indicators, such as temperature, humidity, atmospheric pressure and other indicators, is very important for several activities like aviation and daily practices. For this task, weather stations equipped with sensors are used to monitor changes. Weather stations are sometimes prone to damage, and one of the sensors may be damaged. In this humble work, we have designed a model for the data measured by the multivariate polynomial regression method. Predict the results of solar

RÉSUMÉ

radiation measurements on the basis for temperature, pressure and humidity measurements using MATLAB.

Keywords : (Meteorological Station - U.R.A.E.R - Modeling - Regression - Polynomial - Meteorological Parameters - Sensors - Model - Process - Least Squares Method - Data Normalization)

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La modélisation des données météorologiques est une tâche complexe et cruciale pour de nombreux domaines, allant de la prévision météorologique à l'étude des impacts du changement climatique. Parmi les diverses techniques utilisées pour cette modélisation, la régression polynomiale multivariée se distingue par sa capacité à capturer les relations non linéaires entre plusieurs variables indépendantes et la variable dépendante d'intérêt. Cette méthode permet de développer des modèles prédictifs qui peuvent s'adapter aux complexités inhérentes aux phénomènes météorologiques.

La régression polynomiale multivariée consiste à étendre la régression linéaire multiple en incluant des termes polynomiaux des variables indépendantes. Ainsi, au lieu de supposer une relation linéaire simple entre les variables, cette méthode permet de modéliser des interactions plus complexes en introduisant des termes quadratiques, cubiques, voire de degrés supérieurs. Par exemple, dans une étude météorologique, les variables indépendantes peuvent inclure la température, l'humidité, la pression atmosphérique, la vitesse du vent, etc., tandis que la variable dépendante pourrait être la quantité de précipitations[2], [3].

L'utilisation de termes polynomiaux permet au modèle de mieux capturer les variations subtiles et les interactions entre les différents facteurs météorologiques. Cela est particulièrement pertinent dans le contexte des prévisions météorologiques, où les phénomènes peuvent être influencés par une multitude de facteurs interagissant de manière complexe. Par exemple, la relation entre la température et les précipitations peut ne pas être strictement linéaire, mais plutôt dépendre de diverses combinaisons des conditions atmosphériques.

Cependant, l'augmentation du degré des polynômes introduits dans le modèle nécessite une gestion prudente pour éviter le surapprentissage. Le surapprentissage se produit lorsque le modèle devient trop complexe et commence à capturer le bruit dans les données d'entraînement plutôt que les véritables tendances sous-jacentes. Pour pallier ce problème, des techniques de régularisation, comme la régression Ridge ou Lasso, peuvent être intégrées afin de pénaliser les coefficients des termes polynomiaux élevés, favorisant ainsi un modèle plus général et robuste[4].

INTRODUCTION GÉNÉRALE

En somme, la régression polynomiale multivariée est un outil puissant pour la modélisation des données météorologiques, permettant de capturer des relations non linéaires complexes entre diverses variables climatiques. Grâce à cette méthode, les chercheurs et les météorologues peuvent développer des modèles prédictifs plus précis et mieux comprendre les dynamiques météorologiques, contribuant ainsi à des prévisions plus fiables et à une meilleure compréhension des phénomènes climatiques.

Chapitre I :

Déscription Des

Stations

Météorologique

Chapitre I : Description Des Stations Météorologique

I.1 Introduction :

Actuellement, la météorologie est essentielle à de nombreuses activités humaines, nécessitant une compréhension approfondie des changements climatiques affectant l'environnement mondial. Cependant, il est important de noter que dans le passé, la prévision des conditions météorologiques était une tâche difficile en l'absence d'outils de mesure sophistiqués.

Ce chapitre traite de la météorologie en détail, en se concentrant sur son évolution au fil du temps et sur l'importance croissante des stations météorologiques. Comprendre la complexité des régimes météorologiques est crucial non seulement pour prévoir le changement climatique, mais aussi pour guider diverses activités humaines, telles que l'agriculture et l'urbanisme.

I.2. Définition des stations météorologiques :

Une station météorologique est un ensemble d'appareils de mesure composés de divers capteurs qui enregistrent et fournissent des informations sur les mesures physiques liées aux changements climatiques. La température, la vitesse du vent et la pluviométrie sont quelques-unes de ces grandeurs physiques. La station météorologique est fascinante. Ils sont utilisés dans divers domaines, tels que la sécurité routière et la navigation aérienne, pour surveiller les conditions optimales de circulation et garantir la sécurité des passagers et le trafic continu des avions. Les programmes de prévision du climat et les estimations des réserves d'énergie renouvelable utilisent également ces données. Les stations météorologiques sont généralement constituées d'une maquette sur laquelle des capteurs sont installés qui ci-dessous montre un exemple de station de mesure



Figure I.1 : Station météorologique de URAER (Ghardaia)

Les stations météo peuvent être connectées à Internet ou sans fil. Les consoles câblées sont généralement moins chères car elles sont fixées dans un boîtier avec des capteurs intégrés. Cependant, le câble nécessite un trou dans le mur. Les stations sans fil plus chères utilisent des signaux radio ou GSM pour communiquer entre les capteurs et la console. Le type de signal et le milieu de transmission déterminent la portée.

I.3. Historique :

I.3.1. Histoire de l'observation météorologique :

Les instruments météorologiques modernes n'ont commencé à apparaître qu'au XVe siècle après JC. Avant cette époque, l'observation météorologique restait essentiellement simple, reposant principalement sur l'observation du ciel et la simple perception des conditions météorologiques. Le développement de ces outils ne s'est pas seulement limité à répondre aux besoins de l'agriculture, mais a également été un moteur de la croissance significative des voyages maritimes. Avec une fréquence croissante dans la navigation maritime, la sécurité des navires est devenue une préoccupation importante. Les tempêtes en

Chapitre I : Description Des Stations Météorologique

mer peuvent être mortelles, en particulier pour les navires qui dépendent de vents forts pour se déplacer. La capacité de prédire les conditions météorologiques est donc devenue extrêmement importante. Ce développement n'était pas seulement une réponse aux besoins de l'agriculture, mais aussi aux pressions croissantes associées aux voyages maritimes. Alors que les navires dépendent du vent comme moyen de déplacement, la nécessité d'anticiper les conditions météorologiques est devenue essentielle pour assurer la sécurité des marins sur l'océan [5].

I.3.2. Stations météorologiques analogiques ou numériques :

Les stations météorologiques locales avaient généralement quelques outils analogiques spécialisés au début des années 1800 et 1900. Les baromètres et les jauges de pluie aident à déterminer les mesures précédentes et futures, tandis que les jauges d'humidité mesurent les changements d'humidité dans l'air. Aujourd'hui, il existe des stations météorologiques numériques qui peuvent mieux mesurer et signaler la météo. Certaines stations météorologiques peuvent même se connecter aux applications Android des téléphones intelligents ou aux services en ligne afin que les gens puissent accéder à leurs informations météorologiques de n'importe quel moment et n'importe où.

Les observateurs météorologiques contemporains peuvent utiliser ces informations pour surveiller et gérer leurs jardins. Les stations météorologiques numériques sont de plus en plus pratiques et précises [6].

I.4. Quelques paramètres météorologiques à mesurer :

I.4.1. Température:

I.4.1.1. Définition et unités :

Dans la vie quotidienne, le terme « température » est utilisé. Elle est considérée comme une grandeur physique associée aux concepts de chaud et de froid. Le mouvement des atomes et des molécules à l'échelle macroscopique produit la température. Par conséquent, une température élevée indique une forte « agitation » atomique [7].

Le kelvin (K) est l'unité internationale de mesure de la température. Celsius est une autre unité de mesure très utilisée en Europe. La température la plus basse du système Celsius est de $-273,15^{\circ}\text{C}$ qui correspond au (0K).

Chapitre I : Description Des Stations Météorologique

Le degré Fahrenheit (°F) est une unité de mesure différente utilisée dans certains pays anglo-saxons et aux États-Unis. Les formules de transformations entre les unités sont les suivantes :

$$^{\circ}\text{C} = 0,55x (^{\circ}\text{F} - 32) \quad , \quad \text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273,15$$

I.4.1.2 Mesure :

Un principe similaire s'applique à la plupart des appareils de mesure de température. Les caractéristiques de température d'un élément de référence sont connues. Prenons l'exemple du thermomètre à mercure pour illustrer cette idée. Le mercure se dilate à des températures élevées et se contracte à des températures basses. La dilatation des corps (solides, liquides ou gazeux) est la caractéristique qui permet de mesurer la température. Cependant, il peut également s'agir de toute autre propriété physique, comme la variation électrique dans les thermocouples et les thermistances ou l'identification de la couleur d'émission de la lumière pour les senseurs infrarouges. La méthode universelle de mesure de la température est utilisée de manière extrêmement variée selon (plages de températures à mesurer, nature des matériaux à étudier, etc.)[7].



a : Thermomètre



b : Thermistance



c : Thermocouple

Figure I.2 : Exemples des instruments actuels de mesure de la température.

Notons sur les figures précédentes l'évolution des instruments de mesure de la température.

Actuellement, des recherches arrivent à estimer la température à partir des images satellitaires et des algorithmes basés sur l'intelligence artificielle.

Chapitre I : Description Des Stations Météorologique

I.4.1.3. Evolution spatio-temporelle de la température :

La rotation et l'inclinaison de la Terre autour du soleil ont un impact significatif sur la température, en particulier sur sa variation au fil du temps et de l'espace. Par conséquent, l'orientation des rayons solaires varie tout au long de l'année en fonction de la latitude au fur et à mesure que la Terre avance sur son orbite autour du soleil[8].

L'altitude influence également la température. Ainsi, la latitude, la période de l'année et l'altitude influencent la température. La figure ci-dessus donne un exemple de la répartition mondiale des températures pour une journée[8].

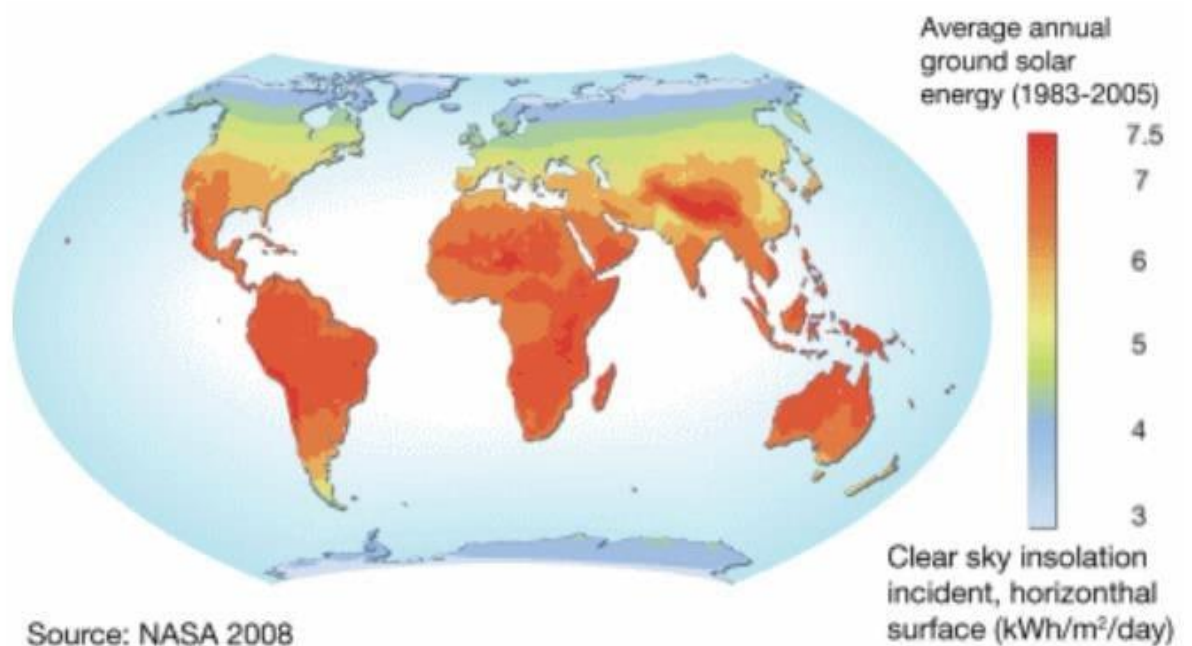


Figure I.3 : Distribution de température mondiale le 9 janvier 2008

Etant donné que les moyennes annuelles de la température pour un même lieu ne varient pas beaucoup. Il est plus intéressant d'observer les moyennes mensuelles ou saisonnières qui sont plus pertinentes pour comprendre et analyser les climats. En 2005 à Ghardaia on remarque qu'une saison chaude qui s'étend d'avril à octobre et une saison froide

Chapitre I : Description Des Stations Météorologique

en hiver (de novembre à mars)



Figure I.4 : Moyennes journalières mensuelles moyennes, températures minimales et maximales à Ghardaia (2005)

I.4.2. Humidité :

I.4.2.1. Définition et unités de mesure :

Le rapport entre la quantité actuelle de vapeur d'eau dans l'air et la quantité maximale peut être mesuré à l'humidité relative. Elle se traduit par des pourcentages. Un taux de 100% signifie que la vapeur d'eau est présente dans l'air, ce qui accroît le risque de nuages, de pluie, de brouillard, de rosée ou de givre. D'un autre côté, un taux de 0% indique un air totalement sec. L'humidité relative est évaluée en utilisant un hygromètre ou un psychromètre [5.9.10].

En météorologie, on quantifie l'humidité de l'air de deux manières : l'humidité absolue et l'humidité relative

• L'humidité absolue :

Le rapport entre la masse de vapeur d'eau, habituellement exprimée en grammes, et le volume d'air humide en mètres cubes, à une pression et une température données est appelé humidité absolue. Il est possible de la définir de manière différente en multipliant l'humidité relative par l'humidité absolue de saturation.[5.8].

Chapitre I : Description Des Stations Météorologique

• L'humidité relative :

La relation entre la pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air et la pression de vapeur saturante est connue sous le nom d'humidité relative de l'air, mesurée à une température et une pression spécifiques. La mesure de ce rapport est complexe en raison des variations de température ou de pression. L'humidité relative correspond donc à la proportion de vapeur d'eau présente dans l'air par rapport à sa capacité maximale dans ces conditions particulières. On l'appelle communément le degré hygrométrique et elle est mesurée sur une échelle allant de 0 à 100 %. La présence d'une humidité relative de 100 % se traduit par un air rempli de vapeur d'eau, tandis qu'un air extrêmement sec peut présenter une humidité de 10 à 20 %. La température influence la pression de vapeur saturante et l'humidité relative. Plus la température de l'air est élevée, plus il peut renfermer de vapeur d'eau. La relative humidité est exprimée en pourcentage (%).[8]

I.4.2.2. Mesure :

La mesure de l'humidité de l'air, également appelée hygrométrie, a progressé lentement au fil des siècles en raison des défis posés par la compréhension de la nature précise de la vapeur d'eau. Deux types d'instruments sont couramment utilisés pour mesurer l'humidité relative : l'hygromètre et le psychromètre.

L'hygromètre exploite la propriété d'un élément tel que des cheveux, un boyau ou du crin de cheval, qui a la capacité de s'allonger ou de se rétracter en réponse aux variations d'humidité.

Le fonctionnement du psychromètre est le suivant : deux tubes sont utilisés pour évaluer l'humidité relative. La température de l'air ambiant est mesurée par un tube, tandis que la température du thermomètre mouillé est mesurée par l'autre tube en raison de son immersion dans de l'eau. Au fur et à mesure que les deux températures se rapprochent, l'humidité relative augmente. En règle générale, les incertitudes liées à cet instrument sont liées à sa construction et à son emplacement [7].

Le psychromètre reste l'instrument de mesure de l'humidité utilisé dans l'abri météorologique pendant très longtemps

Actuellement, suite à l'essor des sondes électroniques, il existe des hygromètres à sondes capacitatives dont les propriétés diélectriques varient en fonction de l'humidité de l'air [8]

Chapitre I : Description Des Stations Météorologique

I.4.2.3. Evolution spatio-temporelle d'Humidité :

La complexité de mesurer les fluctuations d'humidité et d'analyser ses tendances est soulignée dans cette phrase, car elle est étroitement liée à d'autres paramètres physiques tels que la température et la pression. Dans la plupart des cas, les modèles climatiques numériques indiquent que l'élévation de la température pourrait entraîner une augmentation de l'évaporation au-dessus des océans, ce qui entraînerait une hausse de l'humidité dans l'air [8].



Figure I.5 : Hygromètre de Saussure (à gauche) et de psychromètre du 20ème siècle (à droite)

I.4.3. Radiation solaire :

I.4.3.1. Introduction et contexte :

Cette phrase met en évidence le fait que le Soleil est la principale source d'énergie naturelle sur Terre. Selon elle, la fusion nucléaire au cœur du soleil produit une énergie considérable, qui nous parvient sous forme d'ondes électromagnétiques quelques minutes après sa libération (en raison de la vitesse de la lumière dans le vide, d'environ 300 000 km/s).

Ces ondes que l'on appelle aussi rayonnement solaire émettent plusieurs types de rayons, on peut les regrouper en trois grandes familles en fonction de leur longueur d'onde que l'on exprime en nanomètre (nm) [8], [11]

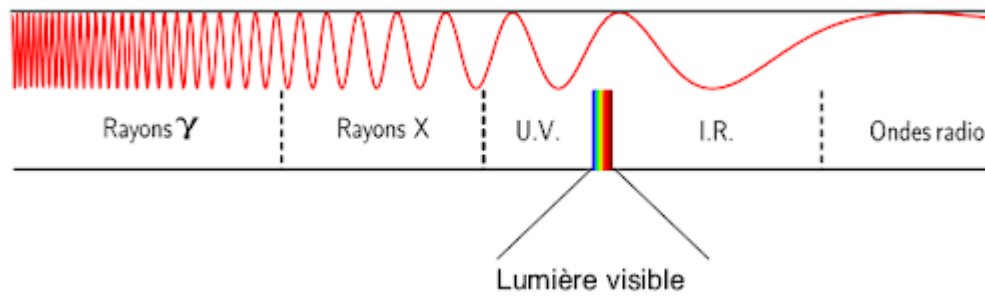


Figure I.6 : Longueur d'onde et décomposition du rayonnement solaire

1. **Les rayons à longueur d'ondes courtes**, invisibles pour notre œil, comprennent :

- ✓ les rayons gamma de la radioactivité (0.001 à 0.01 nm),
- ✓ les rayons X utilisés lors des radiographies (entre environ 0.1 à 10 nm)
- ✓ les rayons ultraviolets⁶, (UV) responsables de notre bronzage (entre 10 et 400 nm).

Ils ne représentent qu'environ 6 % de l'énergie totale émise par le soleil. Les rayons gamma et X sont extrêmement dangereux, mais heureusement ils sont bloqués par l'atmosphère de la terre. Quant au rayon UV, ils sont partiellement filtrés par la couche d'ozone [8].

2. **La lumière visible**

Environ 46 % de l'énergie totale émise par le Soleil est représentée par la lumière visible. En outre, elle indique que cette lumière visible a des longueurs d'onde allant d'environ 380 nm à 780 nm.

3. **Les rayons de la longueur d'ondes longues :** Aussi invisibles à l'œil humain.

Il y a des rayons infrarouges (de 1000 à 300 000 nm), des micro-ondes (de 3 à 10 cm) et des ondes radio (plus de 10 cm). Environ 48 % de l'énergie totale émise par le Soleil provient d'eux [10].

I.4.3.2. Définition et unités :

Le rayonnement solaire est une onde, provenant du soleil, fournissant de l'énergie. Son unité est le Watts par mètre carré (W/m²)

L'énergie solaire est d'origine des rayonnements solaires, cette énergie peut se convertir selon autre formes

- ✓ d'une part le solaire photovoltaïque, qui transforme directement le rayonnement du soleil en électricité grâce à des panneaux formés de cellules de semi-conducteurs

Chapitre I : Description Des Stations Météorologique

le système solaire thermique, une méthode pour capter la chaleur solaire.

✓ Le solaire thermodynamique offre la possibilité d'utiliser directement la chaleur collectée ou de la convertir en énergie mécanique, voire en électricité. On fait référence à l'impact de l'altitude, en soulignant que lorsque l'altitude augmente, la couche d'atmosphère traversée diminue, ce qui entraîne une augmentation du rayonnement solaire. Dans les régions montagneuses, cela se manifeste par une augmentation de la luminosité, car les rayons solaires sont moins filtrés. De cette façon, l'altitude et la latitude jouent un rôle dans l'impact de la quantité d'énergie solaire reçue.

I.4.3.3. Mesure :

La forme de l'héliographe est une sphère en verre qui agit comme une lentille convergente. La capacité de cette lentille est de focaliser les rayons du soleil sur une surface de mesure, comme une bande de carton ou une cellule solaire. La quantité de rayons présente permet d'évaluer la durée de l'insolation, ce qui fournit des informations précieuses sur les conditions lumineuses observées lors de l'observation.

Le pyranomètre mesure le rayonnement solaire global provenant du soleil. Alors que le pyréliomètre, ou actinomètre, mesure le rayonnement solaire direct provenant seulement du disque solaire [8]

I.4.3.4. Evolution spatiale et temporelle de radiation solaire :

Les fluctuations saisonnières sont causées par l'inclinaison de la Terre. Les pôles reçoivent une énergie solaire plus faible par mètre carré que l'Équateur. Tout au long de la course de la Terre autour du Soleil, cette inclinaison demeure inchangée. À midi, lors des équinoxes de printemps et d'automne (21 mars, 21 septembre), le soleil brille perpendiculairement à l'équateur (latitude 0°). Cela implique que les régions proches de l'équateur bénéficient d'une quantité d'énergie solaire relativement constante tout au long de l'année, tandis que les régions polaires sont confrontées à des variations saisonnières plus prononcées en raison de l'angle d'i

✓ **Au solstice d'été** (21 juin), les rayons solaires sont perpendiculaires au tropique du Cancer (latitude $23^\circ 27'$ N). Ainsi pendant nos mois d'été, l'hémisphère nord est tourné vers le soleil. Les jours sont alors plus longs que les nuits. De plus, le soleil ne se couche jamais dans les régions du globe situées à l'intérieur du cercle arctique vncinaison.

Chapitre I : Description Des Stations Météorologique

✓ **Au solstice d'hiver** (22 décembre), c'est le tropique du Capricorne (latitude $23^{\circ}27' S$) qui bénéficie d'un rayonnement perpendiculaire.

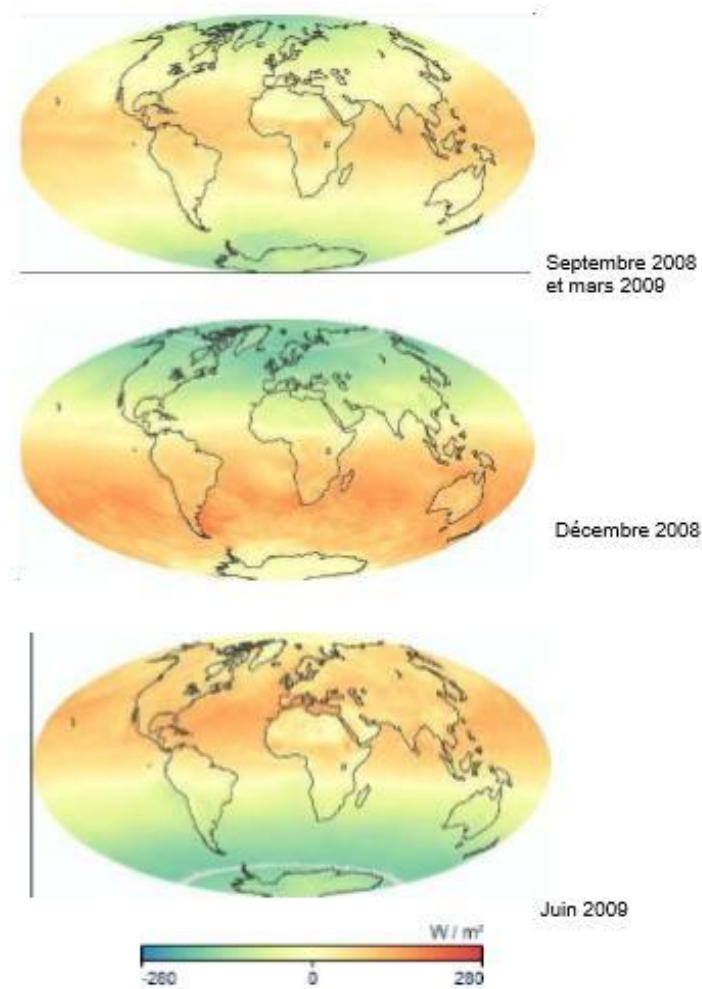


Figure I.7 : Rayonnement net mensuel en W/m^2 [8]

Dans le domaine des applications d'énergie renouvelable, les mesures de rayonnement solaire revêtent une grande importance. Ces mesures sont cruciales pour l'estimation du gisement solaire dans une région donnée. Elles permettent de quantifier la quantité d'énergie solaire incidente sur une surface spécifique pendant une période donnée. Ces données sont essentielles pour évaluer le potentiel solaire d'une zone, ce qui est crucial dans la planification et la mise en œuvre de projets d'énergie solaire.

Chapitre I : Description Des Stations Météorologique

De plus, les mesures de rayonnement solaire sont également indispensables pour la caractérisation des capteurs solaires, tels que les panneaux photovoltaïques. En comprenant la quantité de rayonnement solaire disponible, on peut optimiser la conception et l'orientation des capteurs solaires pour maximiser leur efficacité. Ces mesures aident également à évaluer les performances réelles des panneaux photovoltaïques dans des conditions spécifiques.

Enfin, les données de rayonnement solaire sont utilisées dans le calcul du rendement des systèmes solaires. Elles permettent d'estimer la production d'énergie solaire prévue et d'ajuster les paramètres du système en conséquence. Ainsi, les mesures de rayonnement solaire jouent un rôle fondamental dans le développement, la gestion et l'optimisation des installations solaires, contribuant ainsi à l'avancement des technologies d'énergie renouvelable [8].

I.4.4. Pression atmosphérique :

La pression atmosphérique correspond à la pression produite par les globules d'air à un point donné et est exprimée en unité basque (Pa), où le basque équivaut à un newton par mètre carré (N/m²). Les spécialistes de la météorologie parlent généralement de la baisse de la pression comme d'un indicateur de mauvaises conditions climatiques dans les régions modérées. Lorsqu'une pression dépasse 1,020 hPa, cela est considéré comme une augmentation de la pression, ce qui indique une pression atmosphérique élevée, souvent associée à de bonnes conditions atmosphériques, car elle contribue à apporter le soleil aux lignes d'affichage associées à cette hausse de pression.

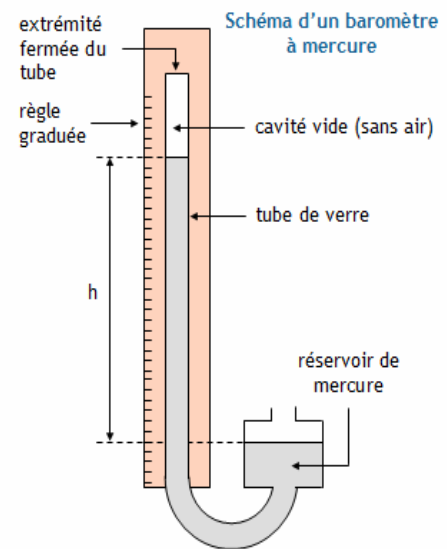
I.4.4.1. Le baromètre :

Instrument de base en météorologie, le baromètre mesure la variation de pression atmosphérique. Elle varie suivant le déplacement des masses d'air qui font le temps. Il existe 3 types de baromètres:

- Baromètres avec colonne de mercure.
- Baromètres anéroïdes.
- Baromètres électronique.



Baromètre à anéroïde



Baromètre à mercure

Figure I.8 : Baromètre à anéroïde (à gauche) , Baromètre à mercure(à droite).

I.4.5. Le vent :

Dans le domaine de la météorologie, le vent désigne le mouvement horizontal de l'air. Il faut prendre en compte deux éléments pour la caractériser : sa direction et sa vitesse, généralement exprimée en kilomètres par heure (km/h) ou en mètres par seconde (m/s). En revanche, les marins et les pilotes utilisent les nœuds comme moyen de mesure (1 nœud équivaut à 1,852 km/h). Le vent est toujours évalué en utilisant une moyenne établie sur une période spécifique. Dans cette optique, l'anémomètre est l'outil préféré pour mesurer la vitesse du vent[10].



Figure I.9 : Anémomètre et la girouette dans une station météo

I.4.5.2. Formation du vent :

Le vent et la pression de l'air sont étroitement associés. Les vents découlent des inégalités dans la répartition de la pression atmosphérique. La principale cause de ces variations est la répartition inégale de l'énergie solaire reçue à la surface de la Terre, ainsi que les disparités dans les caractéristiques thermiques des continents et des océans.

I.4.6. Précipitation :

La précipitation fait référence à la formation de gouttes d'eau ou de cristaux de glace dans les nuages suite à la condensation et à l'agglomération. Quand leur poids devient excessif pour rester suspendus dans l'air, ils se déversent au sol sous la forme de pluie, de neige, de grêle ou de grésil. Il peut arriver que ces précipitations se dissipent avant d'atteindre le sol, en particulier lorsqu'elles traversent une couche d'air sec en dessous du ciel.

Ces précipitations sont de plusieurs natures : la pluie, la neige et la grêle comptent parmi les plus fréquentes :

- **La pluie** : concerne les différentes formes de précipitations en fonction de la taille des gouttes d'eau. Les précipitations peuvent se former à partir de gouttelettes ou de cristaux de glace dans les nuages. Si ces gouttes ou cristaux de glace ne sont pas soumis à des températures inférieures au point de congélation (0 degré Celsius), ils restent liquides ou partiellement liquides pendant leur chute vers le sol.

Chapitre I : Description Des Stations Météorologique

Lorsque les gouttes sont très petites, mesurant moins de 1,5 mm de diamètre, elles forment une bruine, une fine pluie qui peut être presque imperceptible. Au-delà de cette taille, on parle simplement de pluie, qui peut varier en intensité en fonction de la taille des gouttes et d'autres facteurs météorologiques.

- **La grêle** : décrit les caractéristiques des grêlons, qui sont des billes de glace pouvant tomber à des vitesses élevées, parfois jusqu'à 160 km/h, lors des orages violents. Les grêlons peuvent atteindre des tailles impressionnantes, parfois aussi grandes qu'une balle de tennis ou même plus grandes. Ce phénomène se produit lorsque des gouttelettes d'eau sont projetées vers le haut dans les nuages où elles gèlent et se développent en grêlons avant de retomber sur terre.

- **Le grésil** : À la différence de la grêle, elle se transforme en liquide avant de se retrouver dans une couche plus froide et inférieure à 0°C lors de sa chute, ce qui pousse l'enveloppe à geler, tandis que le noyau reste souvent liquide.

- **La neige** : Dans des situations spécifiques, la vapeur d'eau se transforme directement en cristaux de glace qui se regroupent de manière à former des flocons, tout en traversant des couches dont la température les empêche de fondre lors de leur chute.[10,12]

I.5. Instruments de mesure d'un station météorologique

I.5.1. Thermomètre et l'hygromètre :

Le thermomètre utilise la dilatation d'un corps comme l'alcool ou le mercure placé dans un tube fini qui amplifie l'effet de dilatation. L'unité utilisée dans le système international est le degré Celsius (°C).

Un hygromètre est un dispositif utilisé pour évaluer l'humidité relative de l'air, l'hygrométrie, et identifier le point de rosée. De nos jours, il y a divers modèles d'hygromètres, élaborés selon diverses règles physiques.

- L'hygromètre à cheveu
- L'hygromètre à condensation
- L'hygromètre capacitif
- L'hygromètre résistif



Figure I.10 : Le thermomètre et L'hygromètre

I.5.2. Anémomètre :

L'anémomètre est un instrument qui sert à mesurer la vitesse d'écoulement de vent (voir figure) Il peut être constitué d'une simple hélice munie d'un capteur de vitesse qu'il faut orienter dans le sens du vent ou d'un rotor supportant trois demi-sphères placées à 120° l'une de l'autre et muni d'un capteur de fréquence comme le montre



Figure I.11: L'anémomètre

I.5.3 Girouette :

La girouette est un dispositif destiné à indiquer la direction du vent au sol. Cette direction est indiquée en utilisant soit les points cardinaux. Soit les degrés d'angle (par exemple, 90° pour un vent d'est, 180° pour un vent de sud, 360° pour un vent de nord).



Figure I.12 : La girouette

I.5.4 Pluviomètre :

Un pluviomètre permet de connaître la quantité de pluie tombée dans un intervalle de temps. Un pluviomètre est gradué en mm. La quantité 1mm d'eau dans le pluviomètre indique qu'un litre d'eau est tombé par m².

Il existe plusieurs types de pluviomètres :

- A lecture direct
- A augets basculeurs
- A balance



Figure I.13 : Le pluviomètre

Chapitre I : Description Des Stations Météorologique

I.5.5 Pyranomètre :

Le pyranomètre est un instrument employé afin de mesurer l'exposition solaire, qu'elle soit directe ou diffuse, qui parvient à la surface de la Terre. Ce dispositif offre la possibilité de mesurer non seulement le rayonnement global, tel qu'indiqué dans le guide CIMO n° 8 de l'OMM (7e édition), mais aussi le rayonnement solaire réfléchi (albédomètre) et le rayonnement diffus en utilisant une bande d'occultation. Le pyranomètre peut mesurer des longueurs d'onde allant de 300 à 3000 nm, avec une visibilité de 2π stéradians. Pour effectuer la mesure, il se sert d'une thermopile dont la surface extérieure est imperméabilisée afin de diminuer le pouvoir réfléchissant à moins de 2% (efficacité $> 0,98$) dans la plage spectrale du capteur.[13]



Figure I.14 : Le pyranomètre

I.6. Types des stations météorologiques :

On distingue deux types de stations météo : les stations météo classiques et les stations météo professionnelles.

I.6.1. Stations météorologiques Classique :

Ce sont de petites stations météorologiques, composées en général d'une sonde thermométrique, permettent de mieux connaître le temps qu'il fait ou qu'il fera. On trouve, deux options dans ce domaine :

Chapitre I : Description Des Stations Météorologique

- les stations météorologiques locales,
- les stations météorologiques régionales

❖ Les stations locales

Elles permettent de déterminer les conditions météorologiques dans un seul endroit. Elles disposent d'un baromètre mécanique intégré. L'objectif principal de ces stations est de fournir la température, mais il y a des options qui permettent d'optimiser leur utilisation au maximum. Effectivement, il existe certains modèles qui sont équipés d'un hygromètre qui permet de mesurer l'humidité de l'air. Certains autres fourniront des renseignements sur les différentes phases de la lune, qui jouent un rôle dans les activités de jardinage. Finalement, ceux qui souhaitent avoir une idée de la température extérieure pour repérer les conditions de tempête ou de glace opteront pour une station équipée d'un capteur extérieur.

❖ Les stations météorologiques régionales

Elles offrent une prévision précise pour une période de trois ou quatre jours, en fonction du cas, dans la localité choisie. Les stations météorologiques sont informées des prévisions officielles locales. Il y a même des personnes qui envoient des messages en cas d'alerte. Ce genre de station convient à ceux qui prévoient des vacances ou un voyage professionnel dans la région choisie.

Ces stations météorologiques sophistiquées sont extrêmement pratiques et sont particulièrement pratiques pour les individus qui doivent prévoir leurs activités en fonction des conditions météorologiques à court terme [9].



Figure I.15 : station météorologique classique

I.6.2. Stations météorologiques professionnelle :

De manière générale, les stations météorologiques professionnelles offrent davantage d'informations que les stations météorologiques traditionnelles. La pluviométrie, la vitesse et la direction du vent, l'ensoleillement, la température et la pression atmosphérique sont mesurées à l'aide de leur ensemble de capteurs. Ainsi, ces stations possèdent non seulement une sonde thermométrique et hydrométrique, mais aussi un pluviomètre, un anémomètre et un polarimètre. En outre, ces stations sont connectées à une console qui regroupe toutes les informations mesurées à intervalles réguliers grâce à une connexion, qu'elle soit filaire ou sans fil, en fonction de la technologie employée. Ensuite, les informations sont utilisées sur ordinateur en utilisant des logiciels spécialisés. Selon le niveau de l'utilisateur, il y a divers modèles de stations météorologiques, mais en général.

Ces stations météorologiques professionnelles offrent une grande précision et sont utilisées dans divers domaines tels que la recherche scientifique, l'agriculture, l'aviation, et la gestion des risques naturels, entre autres ces stations météorologiques professionnelles sont classées en trois catégories :

- ✓ Les débutants.
- ✓ Les intermédiaires.
- ✓ Les expérimentés.

Chapitre I : Description Des Stations Météorologique

Les débutants utiliseront des stations météorologiques plus simples et faciles d'utilisation et dont les prix sont accessibles.

Les intermédiaires choisiront des stations offrant plus de fonctionnalités tandis que les utilisateurs expérimentés choisiront d'autres plus complexes [9].



Figure I.16 : Station météorologique professionnelle

I.7 Conclusion

En conclusion, les stations météorologiques jouent un rôle essentiel dans la collecte des données et informations nécessaires à la compréhension et à la prévision des phénomènes météorologiques. Ces stations s'appuient sur un ensemble d'appareils et de technologies avancés pour mesurer les variables météorologiques telles que la température, l'humidité, la pression atmosphérique et la vitesse du vent. En analysant les données fournies par ces stations, les scientifiques et les météorologues peuvent développer des modèles prédictifs précis, qui contribuent à réduire les effets des catastrophes naturelles et à améliorer la planification environnementale et agricole. Les stations météorologiques sont un outil essentiel pour maintenir la sécurité de la société et de l'environnement, et la recherche et le développement dans ce domaine continuent de renforcer nos capacités à faire face aux futurs défis climatiques.

Chapitre II :

Modélisation des

Processus

II.1 Introduction :

Il est complexe d'étudier les systèmes réels, ce qui nécessite de les modéliser mathématiquement afin de pouvoir les commander [14]

.La modélisation d'un processus implique la recherche d'une description mathématique de son fonctionnement, qui permet de rendre compte des relations existantes entre ses entrées et ses sorties, et qui sont généralement exprimées par des équations. En cas d'équations algébriques, on qualifie le modèle de statique. Le modèle est appelé dynamique lorsque ces équations sont des équations différentielles ou des équations aux différences récurrentes, que ce soit à temps continu ou à temps discret [15].

II.2 Définition d'un processus et d'un modèle :

II.2.1.Processus :

Un processus est un système en constante évolution au fil du temps. Selon un observateur, un processus est un système physique considéré dans le contexte de l'évolution des interactions avec son environnement.

Un processus se distingue par :

- Une ou plusieurs mesures de sortie, qui représentent le résultat du processus.

Parmi les grandeurs d'entrée (ou facteurs), on peut distinguer deux types :

Les entrées de commande sont des entrées sur lesquelles il est possible d'agir,

tandis que les perturbations sont des entrées sur lesquelles il n'est pas possible d'agir. Ces perturbations peuvent être aléatoires ou déterministes, mesurables ou non mesurables.

Les différentes formes de processus peuvent être physiques, chimiques, biologiques, écologiques, financières, sociologiques, etc. [16].

Dans le cas général, un processus est un système dynamique traversé par des flux d'informations, d'énergie et de matière tout en étant soumis à des perturbations ayant l'une des trois formes précitées. La figure 1, fournit un exemple d'une telle représentation.

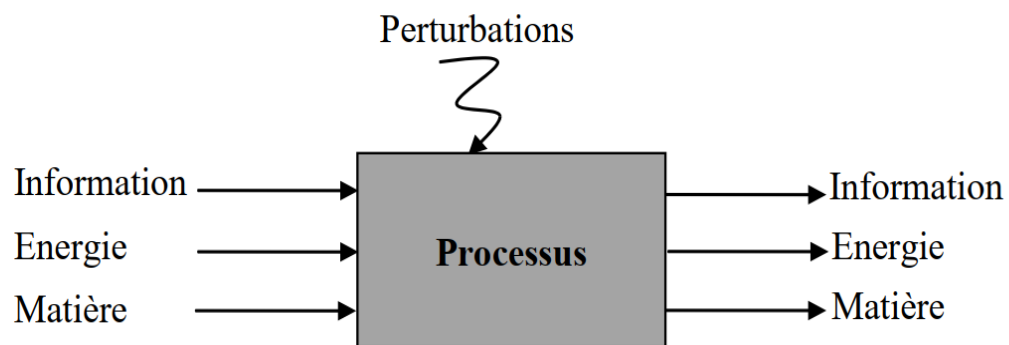


Figure II.1 : Schéma synoptique d'un processus.

L'étude des processus a généralement pour objectif de :

- Pouvoir comprendre le fonctionnement du système et prévoir son comportement et ses performances face à une variation des entrées ; on parle alors d'analyse du système,
- Chercher à maîtriser les sorties et les performances du système en agissant sur les entrées ; il s'agit, dans ce cas, de synthèse de lois de commande.

II.2.2.Modèles :

Qu'est-ce qu'un modèle ?

Un modèle se distingue par son domaine de validité, c'est-à-dire par le domaine de l'espace des entrées où l'accord entre les valeurs des sorties du processus calculées par le modèle et leurs valeurs mesurées est considéré comme satisfaisant en fonction de l'utilisation que l'on fait du modèle. Un modèle est considéré comme statique lorsque ses équations mathématiques algébriques sont représentées. Le modèle est appelé dynamique lorsque ces équations sont des équations différentielles ou des équations aux différences récurrentes, que ce soit à temps continu ou à temps discret [15].

Modélisation statique et modélisation dynamique :

- Un système statique a une sortie $y(t)$ indépendante des valeurs antérieures de l'entrée $u(T)$ avec $T < t$, pour tout t . La modélisation statique est un modèle qui réalise une relation algébrique entre ses entrées et ses sorties. Ce modèle est utilisé pour prédire les états stationnaires de la sortie d'un processus industriel ou pour relier des grandeurs qui sont indépendantes du temps.
- Un système dynamique a une sortie $y(t)$ qui dépend des valeurs antérieures de l'entrée $u(T)$ avec $T < t$. Pour modélisation dynamique les entrées et les sorties sont reliées

Chapitre II : Modélisation des Processus

entre elles ; soit par des équations différentielles (modèle à temps continu) soit par des équations récurrentes ou aux différentielles (modèle à temps discret), le pont diviseur de tension est donc un système statique, alors que le système masse-ressort est un système dynamique, qui nécessite de garder en mémoire les valeurs antérieures de son entrée. Est également possible de classer les systèmes dynamiques dans deux catégories [15].

II.3. Buts d'une modélisation :

Il est possible d'utiliser un modèle pour simuler différents processus, tels que :

- Pour enseigner, détecter des anomalies de fonctionnement, diagnostiquer des pannes, réaliser des conceptions assistées par ordinateur, etc.
- Dans le but de synthétiser une loi de commande ou d'être intégré dans un dispositif de commande.

II.4. Classification des modèles :

II.4.1 Classification selon le mode de conception :

On distingue trois sortes de modèles en fonction des informations mises en jeu pour leur conception.

Modèles de connaissance : les modèles de connaissance sont construits à partir d'une analyse physique, chimique, biologique (ou autre suivant le type du processus), en appliquant soit les lois générales, fondées sur des principes (lois de la mécanique, de l'électromagnétisme, de la thermodynamique, de la physique quantique, etc.), soit les lois empiriques (finance, économie), qui régissent les phénomènes intervenant au sein des processus étudiés. Ces modèles ne comportent généralement pas de paramètres ajustables, ou des paramètres ajustables en très petit nombre.

Dans la pratique, il est toujours souhaitable d'établir un modèle de connaissance des processus que l'on étudie. Néanmoins, il arrive fréquemment que le processus soit trop complexe, ou que les phénomènes qui le régissent soient trop mal connus, pour qu'il soit possible d'établir un modèle de connaissance suffisamment précis pour l'application considérée.

On est alors amené à concevoir des modèles purement empiriques, fondés exclusivement sur les résultats de mesures effectuées sur le processus.

Modèles « boîte noire » : les modèles "boîte noire" sont construits essentiellement sur la base de mesures effectuées sur les entrées et les sorties du processus à modéliser. La modélisation consiste alors à utiliser, pour représenter les relations entre les entrées et les sorties, des

Chapitre II : Modélisation des Processus

équations (algébriques, différentielles, ou récurrentes) paramétrées, et à estimer les paramètres, à partir des mesures disponibles, de manière à obtenir la meilleure précision possible avec le plus petit nombre possible de paramètres ajustables. Le domaine de validité d'un tel modèle ne peut pas s'étendre au de-là du domaine des entrées qui est représenté dans les mesures utilisées pour l'apprentissage.

Modèles « boîte grise » : lorsque des connaissances, exprimables sous forme d'équations, sont disponibles, mais insuffisantes pour concevoir un modèle de connaissance satisfaisant, on peut avoir recours à une modélisation "boîte grise" (ou modélisation semi physique) qui prend en considération à la fois les connaissances et les mesures. Une telle démarche peut concilier les avantages de l'intelligibilité d'un modèle de connaissance avec la souplesse d'un modèle comportant des paramètres ajustables.

II.4.2 Classification selon l'utilisation

Indépendamment de la classification précédente, on peut distinguer deux types de modèles en fonction de l'utilisation qui en est faite.

Modèles de simulation (ou simulateurs) : un modèle de simulation est utilisé de manière indépendante du processus qu'il représente. Il doit donc posséder un comportement aussi semblable que possible à celui du processus.

De tels modèles sont utilisés pour valider la conception d'un système avant sa fabrication (conception assistée par ordinateur en mécanique, en microélectronique,), pour la formation de personnels (simulateurs de vols), pour la prévision à long terme, etc. Du point de vue de la structure du modèle, les sorties passées, mesurées sur le processus à modéliser, ne peut constituer des entrées du modèle. L'estimation des paramètres et l'utilisation du modèle constituent deux phases successives et distinctes (apprentissage non adaptatif).

Modèles de prédiction (ou prédicteurs) : un modèle de prédiction est utilisé en parallèle avec le processus dont il est le modèle. Il prédit la sortie du processus à une échelle de temps courte devant les constantes de temps du processus. Les prédicteurs sont utilisés pour la synthèse de lois de commande, ou dans le système de commande lui-même (commande avec modèle interne).

Du point de vue de la structure du modèle, les sorties passées, mesurées sur le processus, peuvent constituer des entrées du modèle. L'estimation des paramètres et l'utilisation du modèle peuvent être effectuées simultanément si nécessaire (apprentissage adaptatif, utile notamment si les caractéristiques du processus dérivent dans le temps).

Chapitre II : Modélisation des Processus

II.5 Choix du modèle d'un processus

En général, pour déterminer un modèle mathématique d'un processus, il est nécessaire de formuler plusieurs hypothèses simplificatrices pour réduire sa complexité. Il est essentiel de trouver un équilibre entre la finesse et la précision du modèle à mettre en place, d'une part, et la limite de complexité admissible, en tenant compte des objectifs fixés, d'autre part. Nous nous concentrons principalement sur les mécanismes par lesquels les variables caractéristiques peuvent prendre un ensemble continu de valeurs à des intervalles spécifiques. En outre, nous nous concentrerons uniquement sur les modèles de processus avec des paramètres localisés, c'est-à-dire, caractérisés par des équations différentielles ordinaires ou des équations récurrentes.

Il est important de toujours se souvenir que le choix du modèle d'un processus dépend de l'utilisation prévue pour ce modèle[15].

II.5.1 Modèle à temps continu

Dans ce type de modèle, le temps est une variable qui évolue continûment sur un intervalle $T \subset \mathbb{R}$ prenant en croissant toutes les valeurs situées dans cet intervalle. C'est le cas par exemple d'un modèle dans l'espace d'état de la forme :

$$\begin{aligned} \dot{x} &= f(x, u, t, v) \\ y &= h(x, u, t, w) \end{aligned} \quad (1)$$

où \dot{x} représente la dérivée totale dx/dt du vecteur d'état $x \in \mathbb{R}^n$ par rapport au temps, $u \in \mathbb{R}^l$ le vecteur d'entrée, $t \in T$ le temps, un vecteur $v \in \mathbb{R}^{n_v}$ de perturbations, et le vecteur des $y \in \mathbb{R}^m$ sorties.

Dans cette représentation on a :

$$\begin{aligned} f &: \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^l \times T \times \mathbb{R}^{n_v} \rightarrow \mathbb{R}^n, \\ h &: \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^l \times T \times \mathbb{R}^{n_v} \rightarrow \mathbb{R}^m, \\ T &= [t_0, t_0 + T_e], t_0 \in \mathbb{R}, t_0 \ll \infty, T_e \notin \mathbb{R}^+ \end{aligned} \quad (2)$$

Dans beaucoup de problème, on prend $t_0=0$ mais cette restriction n'est en aucun nécessaire a priori.

Dans beaucoup de problème, on prend $t_0 = \mathbf{0}$ ou $t_0. \mathbf{0}$ mais cette restriction n'est en aucun nécessaire a priori.

II.5.2 Modèles à temps discontinu ou discret :

Ce type de modèle est utilisé soit lorsque le processus étudié a naturellement un mode d'évolution séquentiel, soit lorsque-on a adopté une représentation du processus qui

Chapitre II : Modélisation des Processus

correspond à une observation des variables d'état ou de sortie à des instants discrets t_k du temps avec $k \in \mathbb{Z}$

On a dans ce cas une représentation dite échantillonnée, particulièrement bien adoptée aux divers types de calculs à effectuer dans les problèmes de commande de processus par ordinateur numérique. notant :

$$x_k = x(t_k). \quad (3)$$

Alors, la description continue devient :

$$\begin{aligned} x_{k+1} &= f(x_k, u_k, k, v_k), \\ y_k &= h(x_k, u_k, k, w_k). \end{aligned} \quad (4)$$

II.5.3 Modèle linéaire :

Un tel modèle caractérise un processus susceptible d'être décrit par une équation différentielle ordinaire ou une équation récurrente à coefficients constants (stationnaire) ou non constants (non stationnaire) ou par un ensemble d'équation de ce type.

La propriété fondamentale des systèmes linéaires s'exprime par le principe de superposition : si $y_1(t)$ et $y_2(t)$ représentent respectivement l'évolution des sorties du processus pour les entrées $u_1(t)$ et $u_2(t)$ sur un horizon et pour un état initial donné, alors, à l'entrée $u(t)$

$$u(t) = \alpha_1 u_1(t) + \alpha_2 u_2(t), \quad (5)$$

où α_1 et α_2 sont des constantes réelles, correspond la sortie :

$$y(t) = \alpha_1 y_1(t) + \alpha_2 y_2(t) \quad (6)$$

sur le même horizon et pour les mêmes conditions initiales.

II.5.4 Modèle non linéaire :

Dans un modèle non linéaire, le théorème de superposition n'est plus valable. L'aspect non linéaire peut être intrinsèque et quasiment irréductible, comme dans la modélisation de la loi d'action de masse en chimie, ou correspondre des éléments à caractéristiques non linéaires à des systèmes linéaires comme dans le cas des systèmes à non linéarités séparables (figure .2).

Dans certains cas, lorsque le processus non linéaire est utilisé dans une plage de variation limitée de ses variables d'état, alors l'évolution sera effectuée autour d'une valeur x_0 donnée, il est donc possible d'effectuer une linéarisation autour de ce point de fonctionnement en prenant comme nouvelle variable l'expression $\Delta x = x - x_0$.

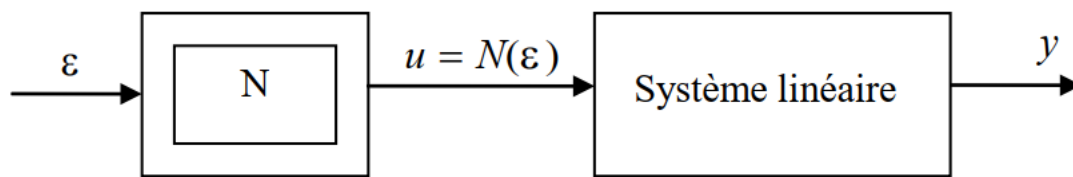


Figure II.2 : Système à non linéarité séparable.

Dans ce cas linéaire, on néglige alors dans le développement limité de la fonction termes d'ordre supérieurs à 1. Il vient par exemple pour la relation : $\dot{x} = f(x, u, t)$ (7)
 Si la fonction f admet des dérivées partielles continues au premier ordre, le modèle linéarisé sera valable pour (x, u) évoluant dans un voisinage de (x_0, u_0) :

$$f(x, u) = f(x_0, u_0) + (x - x_0) f'_x(x_0, u_0) + (u - u_0) f'_u(x_0, u_0) \quad (8)$$

$$= f(x_0, u_0) + \Delta x F_x + \Delta u F_u$$

avec : $\Delta x = x - x_0$, $\Delta u = u - u_0$, et

$$F_x = \frac{\partial f}{\partial x} \quad F_u = \frac{\partial f}{\partial u}$$

Sont les matrices jacobiniennes de f par rapport à x et à u .

Pour certains processus non linéaires et/ou non stationnaires, on adopte aussi parfois une représentation multi modèle, chaque modèle étant représentatif de l'évolution du processus dans un domaine limité de l'espace et du temps.

Ainsi un système linéaire non stationnaire peut être représenté par un ensemble de modèles linéaires à coefficients constants se succédant au cours du temps.

II.6. Identification des processus :

L'identification est la détermination, sur la base de la connaissance d'un nombre fini d'entrées-sorties du système, d'un modèle appelé modèle d'identification, qui soumit aux mêmes entrées que le système fournit des sorties suffisamment proches de celui-ci. L'identification consiste à déterminer un ensemble d'équations –un modèle- décrivant le mieux possible le procédé. Il y a deux étapes d'identification, la première consiste à fixer la forme des équations, c'est l'étape qualitative, ou caractérisation, la seconde consiste à trouver les valeurs numériques des coefficients qui interviennent dans ces équations, c'est l'étape quantitative, ou estimation des

Chapitre II : Modélisation des Processus

paramètres. Ces valeurs numériques sont déterminées pour que le comportement de modèle soit le plus proche de celui du système [14].

II.6.1 Les structures d'identification :

La sortie d'un système dynamique dépend de son entrée et de son état ultérieur, c'est pour cela qu'il existe deux classes de modèle d'identification.

II.6.1.1 Identification parallèle :

Dans le cas d'un système dynamique à temps discret, la sortie du modèle est calculée à partir de ses entrées et ses sorties passées :

$$y(k+1) = f[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1); u(k), u(k-1), \dots, u(k-m+1)] \dots \dots (10)$$

Certaines précautions doivent être prises lors de l'identification, la principale étant d'utiliser des entrées bornées et sorties bornées, le système reste stable, il est dit BIBO (*Bounded Input Bounded Output*).

L'inconvénient de l'identification parallèle est que même avec un système borné, rien ne garantit que les paramètres vont converger et que l'erreur tend vers zéro [14].

La structure d'un identificateur parallèle est donnée par la figure suivante :

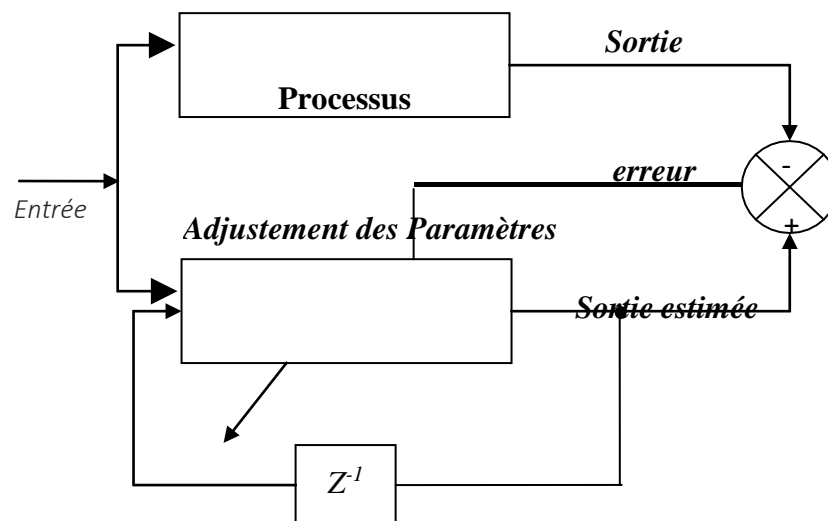


Figure II.3 : Structure d'identification parallèle.

II.6.1.2. Identification série-parallèle :

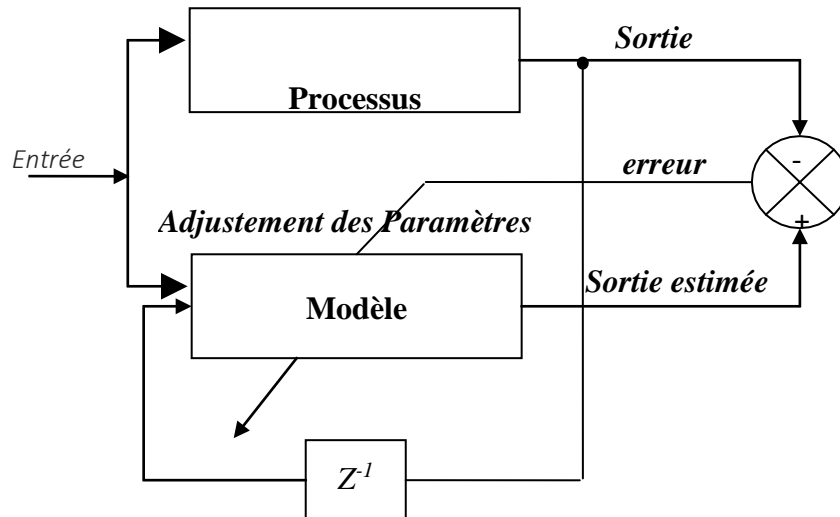
La sortie du modèle est calculée à partir de ses entrées et la sortie du système à identifier :

$$y(k+1) = f[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1); u(k), u(k-1), \dots, u(k-m+1)] (11)$$

Chapitre II : Modélisation des Processus

Ce modèle a plus de chances de converger, car tous les signaux utilisés lors de l'identification sont bornés [14].

La structure d'un identificateur série- parallèle est donnée par la figure suivante :



FigureII.4 : Structure d'identification série-parallèle

II.7. Conclusion :

Ce chapitre a été consacré aux notions de base relatives au processus et la modélisation, ou nous avons introduits quelques définitions, l'objectif de la modélisation, types des modèles et comment choisir un modèle. Le chapitre suivant sera consacré à la présentation des notions de base relatives aux algorithmes d'optimisations.

Chapitre III :
Modélisation des
données
météorologiques par
la méthode de
régression
polynomiale
multivarié

Chapitre III : Modélisation des données météorologiques par la méthode de régression polynomiale multivariée

III.1 Introduction :

Dans ce travail, nous avons développé un algorithme utilisant MATLAB pour créer un modèle basé sur les entrées et les sorties connues du système. Ensuite, en ignorant les sorties réelles, l'algorithme prévoit les sorties en se basant uniquement sur les entrées. Nous comparons les sorties prévues aux sorties réelles mesurées en modifiant le degré du polynôme et en changeant les entrées et les sorties afin de surveiller la précision du modèle développé.

III.2 Formulation mathématique :

Considérons les variables indépendantes

$X = \{x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4 \ x_5 \dots x_m\} \in R^d$ où R représente des nombres réels en d dimensions. m est le nombre total de sets dans les variables indépendantes. La variable dépendante unique, y, peut être corrélée par une fonction d'approximation, f où $f:x \rightarrow y$ en prenant le produit point des fonctions de puissance respectives. y^h est la fonction d'estime sous forme de fonction de puissance multivariable comme indiqué dans (*****).

$$y^h = W.V_d^T \quad \text{III.1}$$

$$V_d(x) := (\underbrace{1}_{\text{deg } 0}, \underbrace{x_1, \dots, x_n}_{\text{deg } 1}, \underbrace{x_1^2, x_1 x_2, \dots, x_1 x_n, x_2^2, \dots, x_n^2}_{\text{deg } 2}, \dots, \underbrace{x_1^d, \dots, x_n^d}_{\text{deg } d})$$

pour le vecteur de colonne des monomiels ordonnés selon leur degré, et où les monomials du même degré sont ordonnés par rapport à l'ordre lexicographique.

$$W=(w_0, w_1, w_2, \dots, \dots, w_k) ; \quad \text{III.2}$$

d : degré de polynomial

n : nombre d'entrées système

k : Le nombre maximum de termes dans un polynôme de variables m et d'ordre n est donné

Chapitre III : Modélisation des données météorologiques par la méthode de régression polynomiale multivariée

par Eq. ***** ci-dessous

$$k = \frac{(n+d)!}{n!+d!} \quad \text{III.3}$$

III.3 Formule de la méthode des moindres carrées :

La méthode des moindres carrées indique que la courbe qui convient le mieux à un ensemble donné d'observations est une courbe ayant une somme minimale des résidus carrés (ou des déviations ou des erreurs) des points de données donnés. Supposons que les points de données donnés sont $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), \dots, (x_n, y_n)$ dans lequel tous les x's sont des variables indépendantes, tandis que tous les y's sont dépendants. En outre, supposons que

$f(x)$ est la courbe correspondante et d représente une erreur ou une déviation de chaque point donné. Maintenant, nous pouvons écrire :

$$\begin{aligned} er_1 &= y_1 - f(x_1) \\ er_2 &= y_2 - f(x_2) \\ er_3 &= y_3 - f(x_3) \\ &\dots \\ er_n &= y_n - f(x_n) \end{aligned} \quad \text{III.4}$$

Les plus petits carrés expliquent que la courbe qui convient le mieux est représentée par la propriété que la somme des carrés de toutes les déviations des valeurs données doit être minimale, i.e:

$$\begin{aligned} S &= \sum_1^n er^2 \\ S &= \sum_1^n (y^y - y)^2 = \sum_1^n (W_k V_d^T - y)^2 \end{aligned} \quad \text{III.5}$$

Lors de l'expansion de (3), solution pour A peut être obtenue en prenant la minimisation de S par rapport à A, dans laquelle:

$$\frac{\partial S}{\partial W_i} = 0; \quad i = 0, 1, 2, \dots \dots \dots k; \quad \text{III.6}$$

Chapitre III : Modélisation des données météorologiques par la méthode de régression polynomiale multivariée

où je suis le i^{th} n est le nombre total d'éléments dans l'ensemble des variables. La minimisation de J par rapport à

$$W = \{W_0 \ W_1 \ W_2 \ \dots \dots \dots W_k\} \quad \text{III.7}$$

donnera l'ensemble des équations qui peuvent être résolues facilement en utilisant la matrice.

$$\frac{\partial S}{\partial W_0} = 0; \quad \frac{\partial S}{\partial W_1} = 0; \quad \frac{\partial S}{\partial W_2} = 0; \quad \dots \dots \dots; \quad \frac{\partial S}{\partial W_k} = 0 \quad \text{III.8}$$

L'erreur carré est minimisée lorsque W = (appelé les estimateurs les moins carrés, LSE) satisfait l'équation normale qui est la distance carrée entre le vecteur y et la combinaison linéaire b des colonnes de la matrice X. La distance est minimisée en prenant la projection de y sur l'espace étendu par les colonnes de X (*****).

Supposons maintenant que X a le rang complet de la matrice, c'est-à-dire qu'aucune matrice dans X ne peut être écrite comme une combinaison linéaire des autres colonnes. Ensuite, le moins estimateur des carrés W est donné par

$$W = (X^T X)^{-1} X^T y \quad \text{III.9}$$

$$X = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ x_1 & x_1 & x_1 & \dots & x_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_n & x_n & x_n & \dots & x_n \\ x_1^2 & x_1^2 & x_1^2 & \dots & x_1^2 \\ x_1 x_2 & x_1 x_2 & x_1 x_2 & \dots & x_1 x_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_n^2 & x_n^2 & x_n^2 & \dots & x_n^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_1^d & x_1^d & x_1^d & \dots & x_1^d \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_n^d & x_n^d & x_n^d & \dots & x_n^d \end{pmatrix}$$

Chapitre III : Modélisation des données météorologiques par la méthode de régression polynomiale multivariée

III.4. Périmètre de l'évaluation de modèle :

Le performance des modèle obtenu ont été jugées par le indicateur statistique en terme de coefficient de corrélation (R^2).

$$R^2 = 1 - \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{(n\sum x^2 - (\sum x)^2)(n\sum y^2 - (\sum y)^2)}} \quad \text{III.10}$$

x_i les valeurs real

y_i les valeur estimée

III.5. Normalisation des données :

La normalisation des données est un processus essentiel en science des données et en apprentissage automatique. Son objectif est de transformer les données brutes afin de les rendre comparables et utiles pour l'analyse. Voici les points clés à retenir :

1. Raisons de la normalisation des données :
2. Comparabilité : Permet de rendre les variables comparables entre elles.
3. Performance des algorithmes : Les algorithmes d'apprentissage automatique, tels que les réseaux de neurones ou la régression logistique, fonctionnent de manière plus efficace avec des données normalisées. [17]
4. Stabilité et convergence : Améliore la stabilité numérique et accélère la convergence des algorithmes.

Méthodes courantes de normalisation :

III.5.1. Min-Max Scaling :

- **Formule** : $X' = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$
- **Utilité** : Mettre les données à l'échelle entre un minimum et un maximum, généralement entre 0 et 1.

III.5.2. Standardisation (Z-score Normalization) :

Chapitre III : Modélisation des données météorologiques par la méthode de régression polynomiale multivariée

- **Formule** : $X'=(X-\mu)/\sigma$
- **Utilité** : Centrer les données autour de zéro et ajuster l'écart type à 1, particulièrement utile pour les données suivant une distribution normale

III.5.3. Scaling to Unit Length :

- **Formule** : $X'=X/\|X\|$
- **Utilité** : Mettre les vecteurs à l'échelle pour qu'ils aient une longueur unitaire, couramment utilisé en traitement de texte et d'image. [18]

III.6. TESTE DE MODÈLE :

Pour tester le modèle obtenu, nous avons collecté des données météorologiques comprenant la température, l'humidité, la vitesse du vent et d'autres facteurs atmosphériques depuis le satellite "MERRA" de la NASA. Ces données ont été recueillies à partir du site officiel de la NASA pour l'année 2017. Nous allons détailler ce processus comme suit :

III.7. Collecte des données :

1. **Source** : Les données ont été extraites du satellite "MERRA" (Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications) de la NASA, qui fournit des données archivées complètes sur le climat et la météo.
2. **Période temporelle** : Les données collectées couvrent l'année entière de 2017.
3. **Variables atmosphériques** :
 - Température
 - Humidité
 - Vitesse du vent

Toutes les données ont été prises à une hauteur de 2 mètres[19].

Chapitre III : Modélisation des données météorologiques par la méthode de régression polynomiale multivariée

III.8. Utilisation des données :

1. **Nettoyage des données** : Les données ont été nettoyées pour éliminer les valeurs manquantes ou incorrectes. Des techniques de prétraitement telles que la vérification de la qualité et le nettoyage des données ont été utilisées.
2. **Normalisation des données** : Pour garantir que les valeurs soient dans une plage appropriée, les données ont été normalisées en utilisant des techniques comme la normalisation (Normalization).
3. **Division des données** : Les données ont été divisées en ensembles d'entraînement et de test. Une partie des données a été utilisée pour entraîner le modèle et une autre partie pour le tester et évaluer ses performances.

III.9. Test de Modèle :

1. **Évaluation** : Les performances du modèle ont été évaluées en utilisant l'ensemble de données de test. Les métriques utilisées pour l'évaluation comprennent des indicateurs de performance tels que la précision (Accuracy), la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) et le coefficient de détermination (R^2).
2. **Analyse** : Les résultats de l'évaluation ont été analysés pour déterminer l'efficacité du modèle à prédire les conditions météorologiques en fonction des variables atmosphériques fournies.

En utilisant les données météorologiques détaillées du satellite "MERRA", nous avons pu construire un modèle précis et efficace pour la prévision des conditions météorologiques. Les données fiables et complètes de la NASA nous ont aidés à obtenir des résultats de haute qualité lors du processus de test et d'évaluation.

Chapitre III : Modélisation des données météorologiques par la méthode de régression polynomiale multivariée

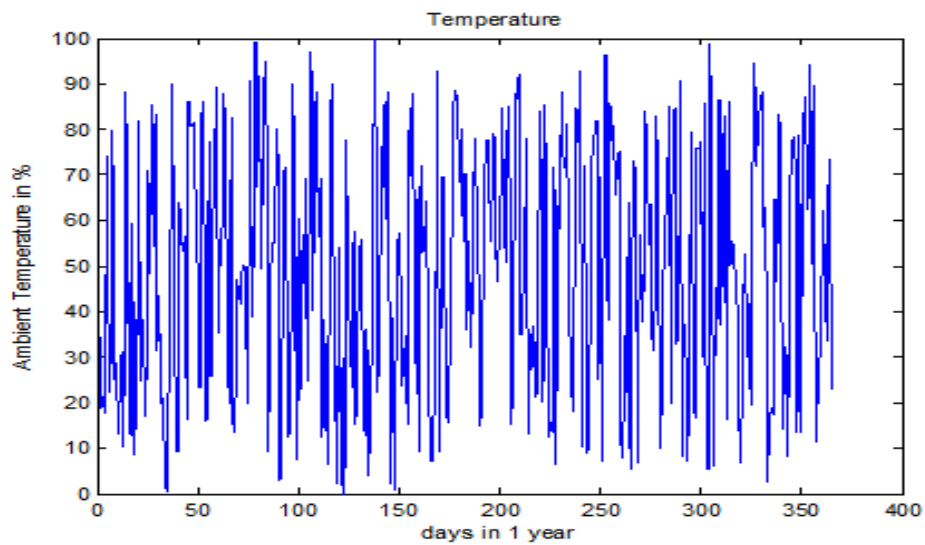


Figure III.1: diagramme de température

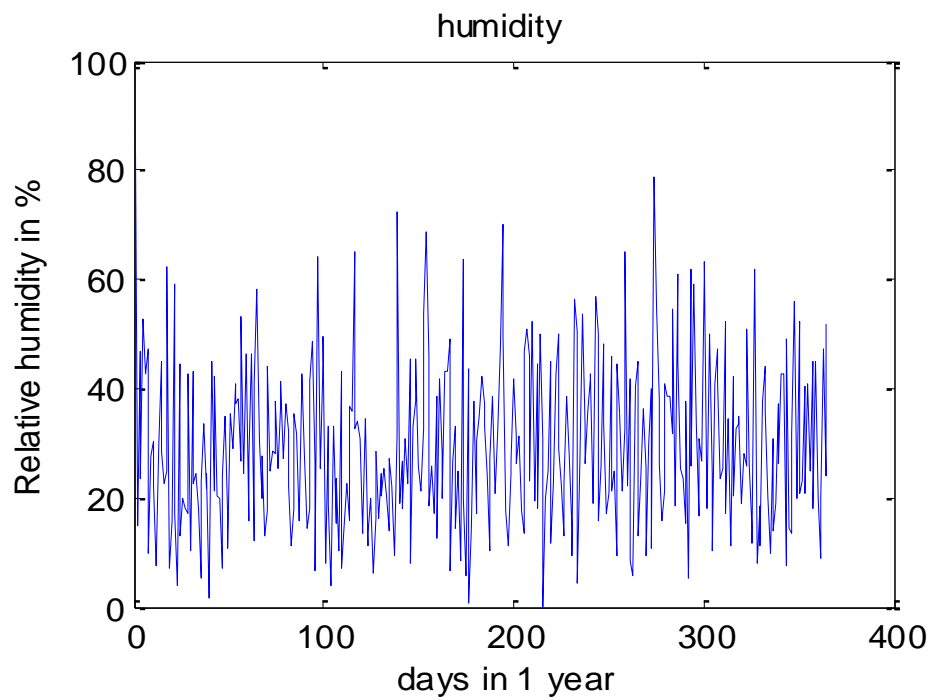


Figure III.2: diagramme de humidité

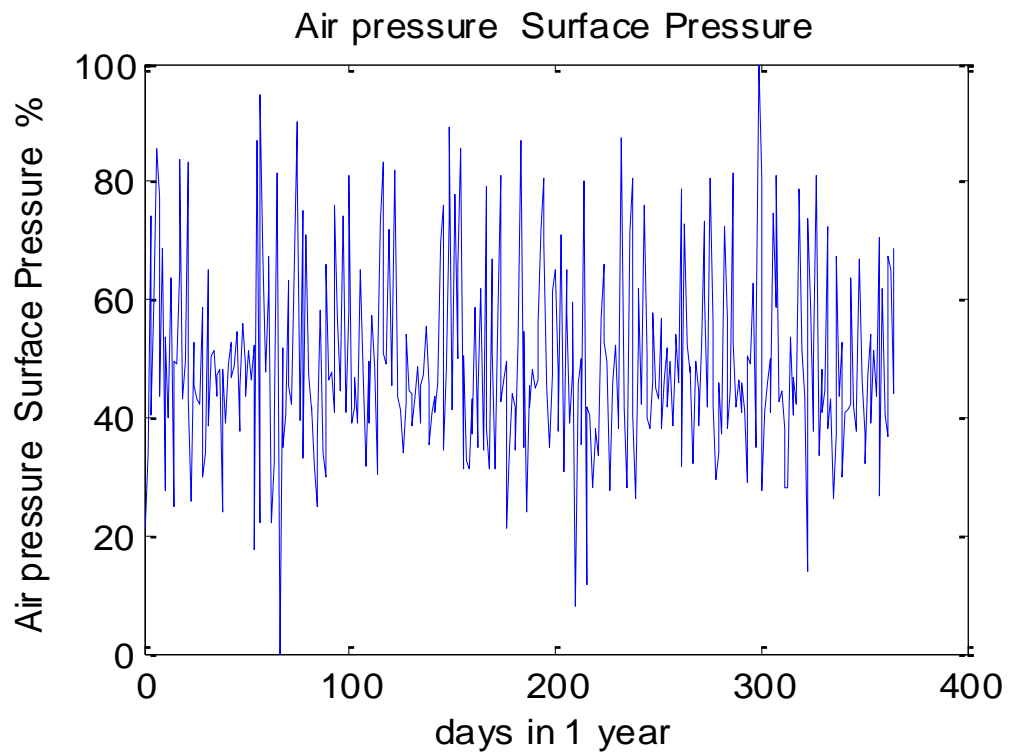


Figure III.3: diagramme de pression

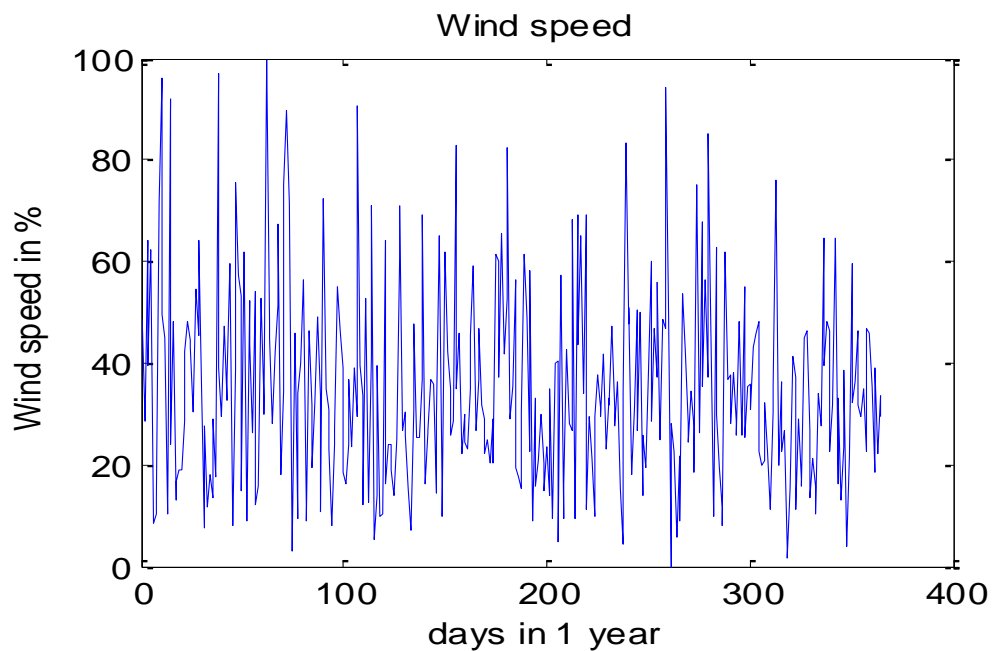


Figure III.4: diagramme de vitesse de vent

Chapitre III : Modélisation des données météorologiques par la méthode de régression polynomiale multivariée

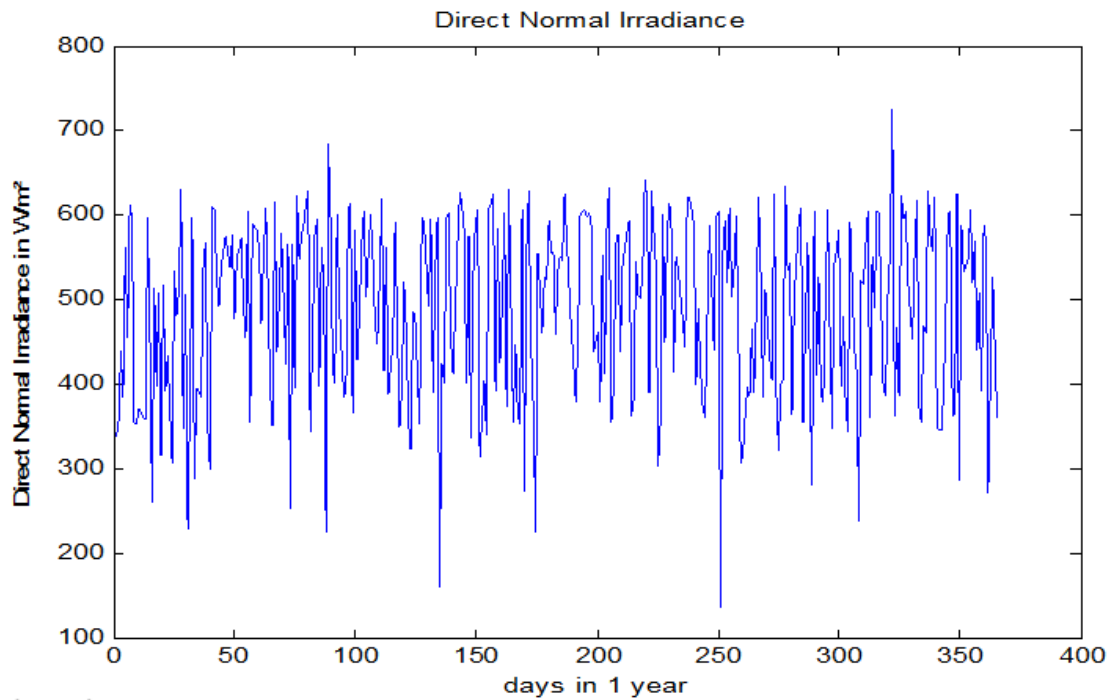


Figure III.5: diagramme de Radiation solaire

III.10. TESTE 01 :

Les entrés(températures /humidité /pression /vitesse du vent)

Les sorties (Radiation solaire)

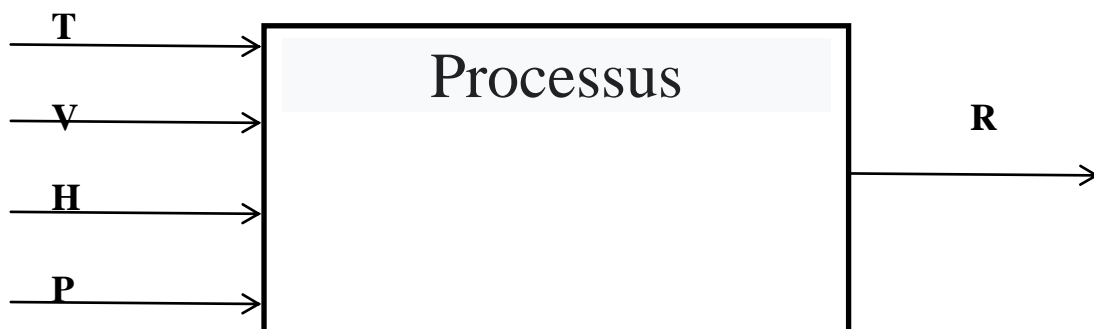


Figure III.6 : Schéma synoptique d'un processus de teste 1

Chapitre III : Modélisation des données météorologiques par la méthode de régression polynomiale multivariée

Lors du premier test, nous avons choisi un ensemble de variables comme entrées dans le modèle, notamment la température, l'humidité, la vitesse du vent et la pression atmosphérique. Le rayonnement solaire est spécifié comme sortie du modèle. Après avoir préparé le modèle et l'avoir entraîné sur les données disponibles, nous l'avons testé pour obtenir les résultats. Les résultats que nous avons obtenus étaient les suivants :

Pour $M=5$

M : le degré de polynôme

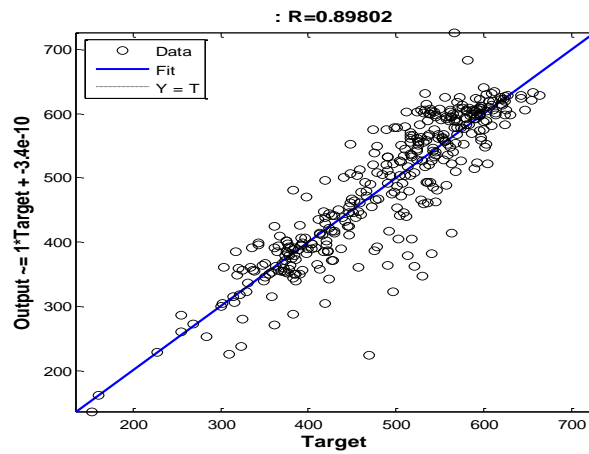


Figure III.7 : diagramme de Ligne de Régression linéaire simple de teste 1 degré 5

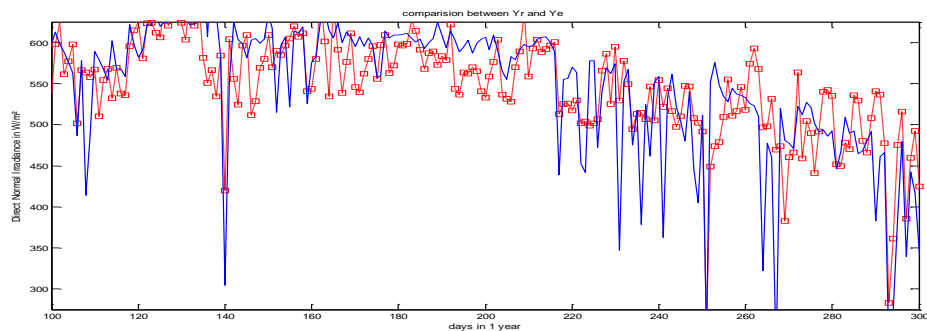


Figure III.8: diagramme de Comparaison entre Yr et Ye de teste1degré 5

Chapitre III : Modélisation des données météorologiques par la méthode de régression polynomiale multivariée

D'après les résultats présentés dans les figures ci-dessus, nous remarquons que le modèle obtenu a donné de bons résultats avec seulement un polynôme du cinquième degré, Les résultats attendus et les résultats réels sont proches avec une précision acceptable estimée à

R = 0,898.

M=7

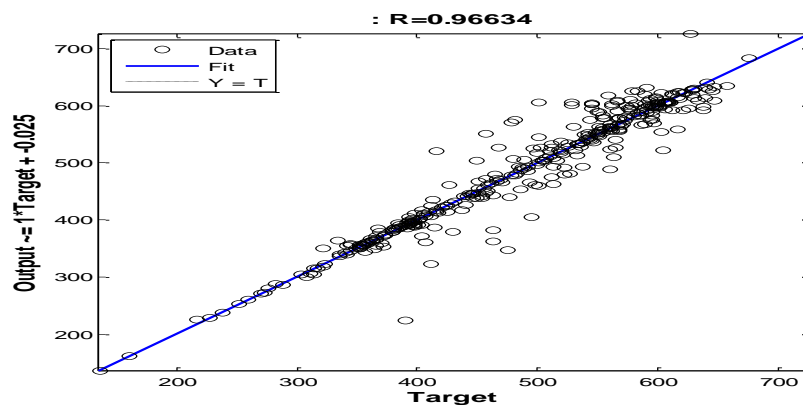


Figure III.9 : diagramme de Ligne de Régression linéaire simple de teste 1 degré 7

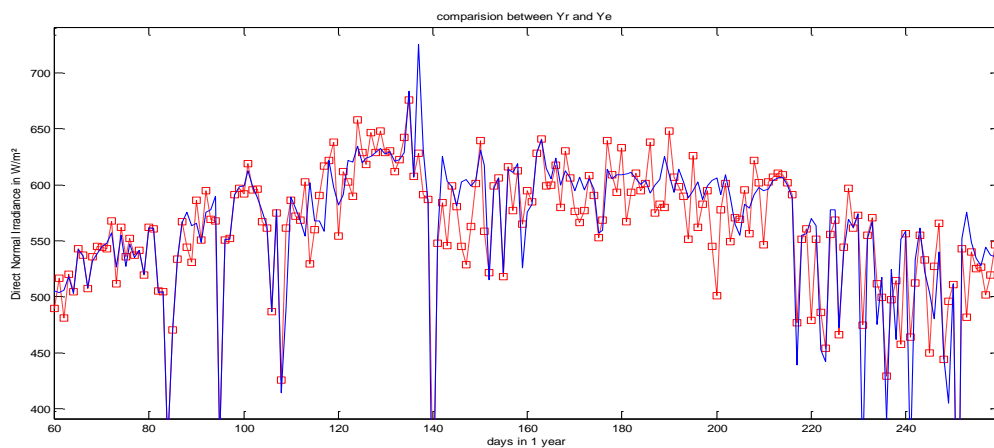


Figure III.10: diagramme de Comparaison entre Yr et Ye de teste1 degré 7

Chapitre III : Modélisation des données météorologiques par la méthode de régression polynomiale multivariée

On remarque que lorsque le degré du polynôme augmente, les résultats deviennent plus précis et il y a une plus grande convergence entre les résultats attendus et les résultats réels.

M=9

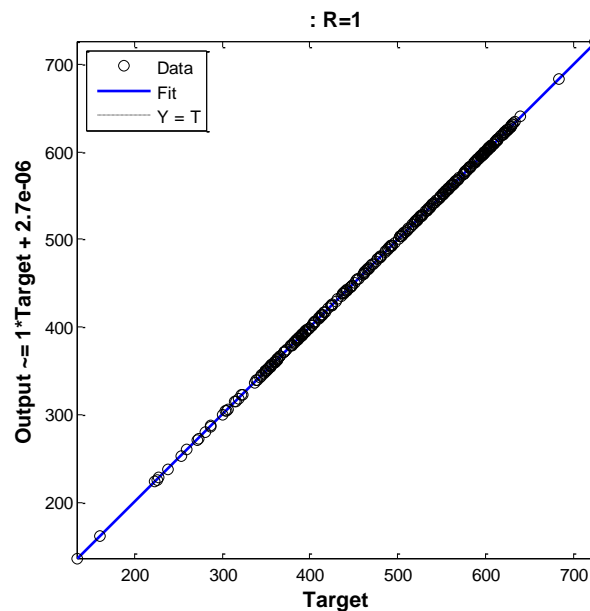


Figure III.11 : diagramme de Ligne de Régression linéaire simple de teste 1 degré 9

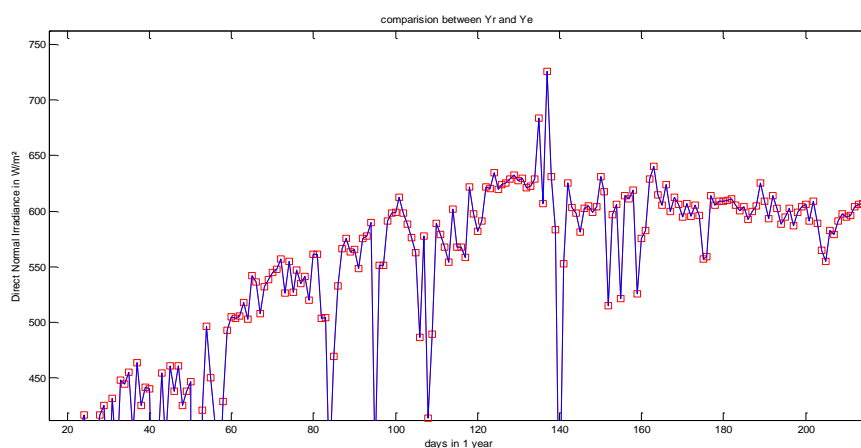


Figure III.12: diagramme de Comparaison entre Yr et Ye de teste1 degré 9

III.11. TESTE 02 :

Chapitre III : Modélisation des données météorologiques par la méthode de régression polynomiale multivariée

Les entrées(Radiation solaire /humidité /pression /vitesse du vent)

Les sorties (températures)

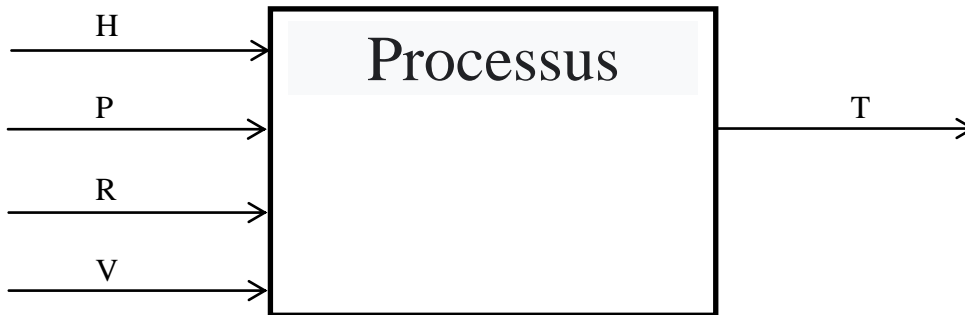


Figure III.13 : Schéma synoptique d'un processus de teste 2

Dans le deuxième test, nous avons choisi un ensemble de variables comme entrées dans le modèle, notamment le rayonnement solaire, l'humidité, la vitesse du vent et la pression atmosphérique. La température est spécifiée comme sortie du modèle. Après avoir préparé le modèle et l'avoir entraîné sur les données disponibles, nous l'avons testé pour obtenir les résultats. Les résultats que nous avons obtenus étaient les suivants :

M=5

Chapitre III : Modélisation des données météorologiques par la méthode de régression polynomiale multivariée

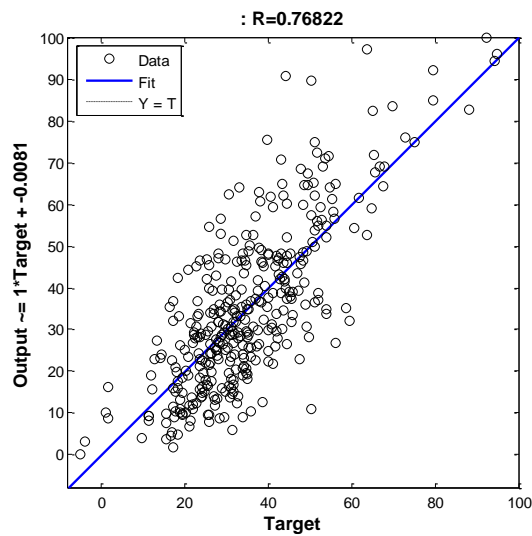


Figure III.14 : diagramme de Ligne de Régression linéaire simple de teste 2 degré 5

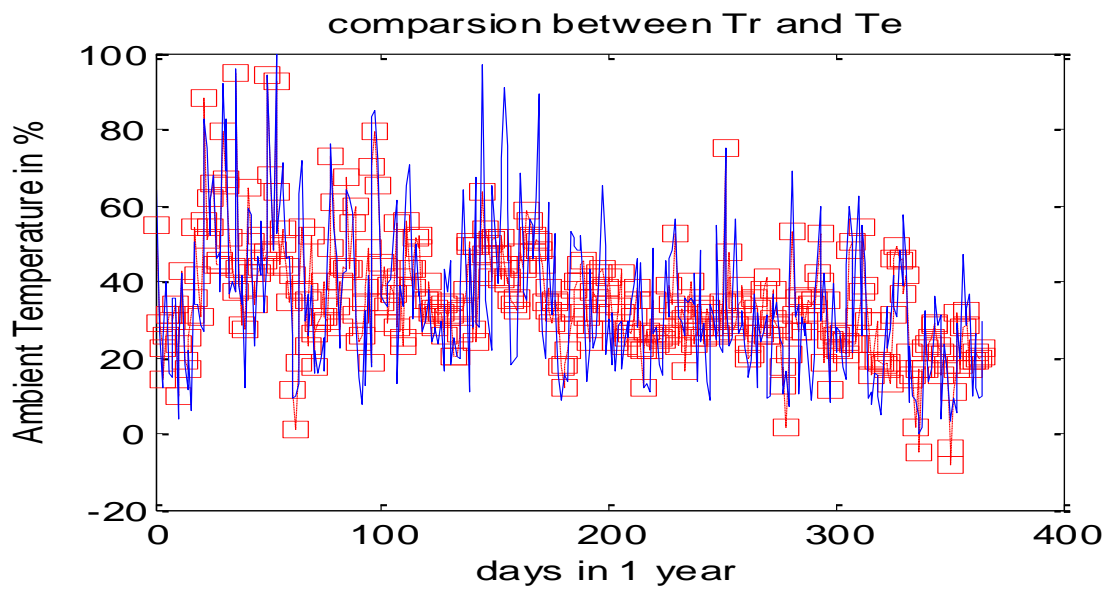


Figure III.15 : diagramme de Comparaison entre Tr et Te de teste02 degré 5

M=7

Chapitre III : Modélisation des données météorologiques par la méthode de régression polynomiale multivariée

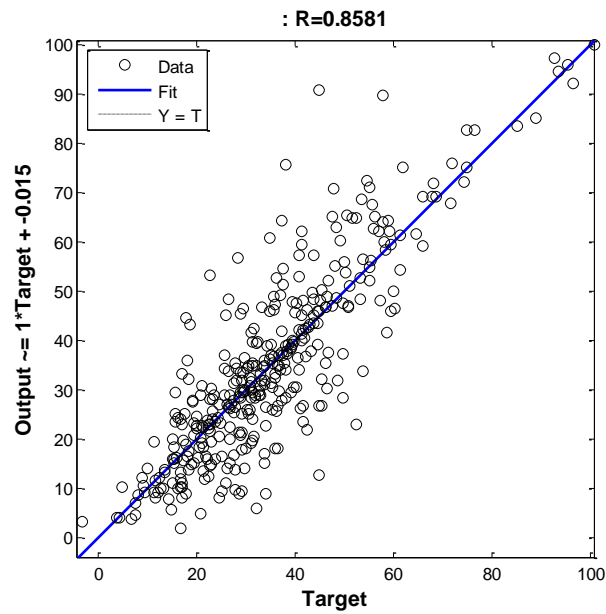


Figure III.16 : diagramme de Ligne de Régression linéaire simple de teste 2 degré 7

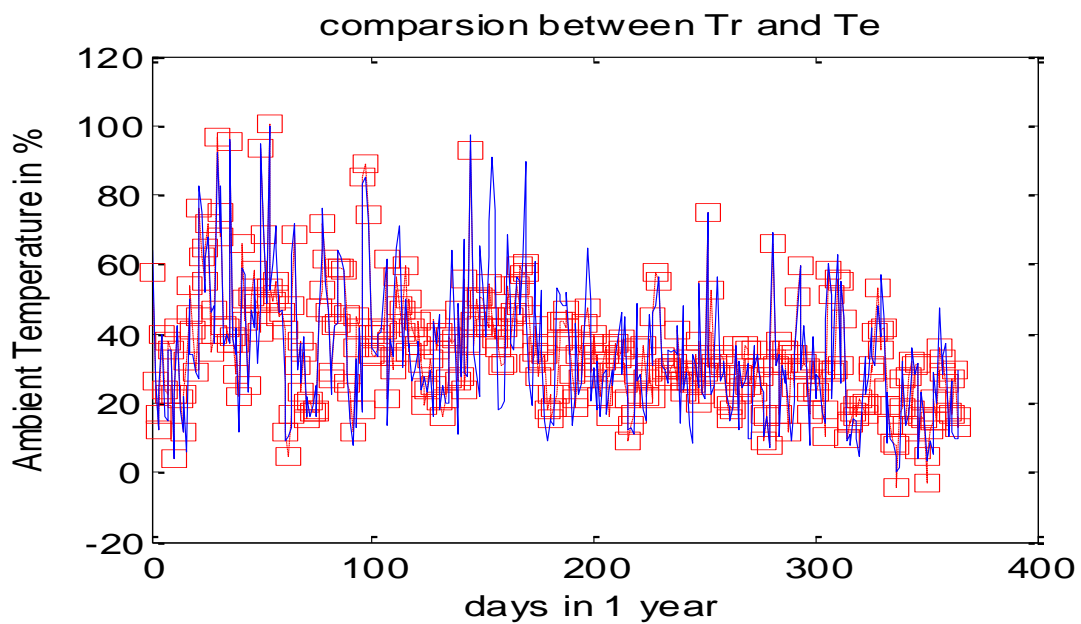


Figure III.17 : diagramme de Comparaison entre Tr et Te de teste02 degré 7

M=9

Chapitre III : Modélisation des données météorologiques par la méthode de régression polynomiale multivariée

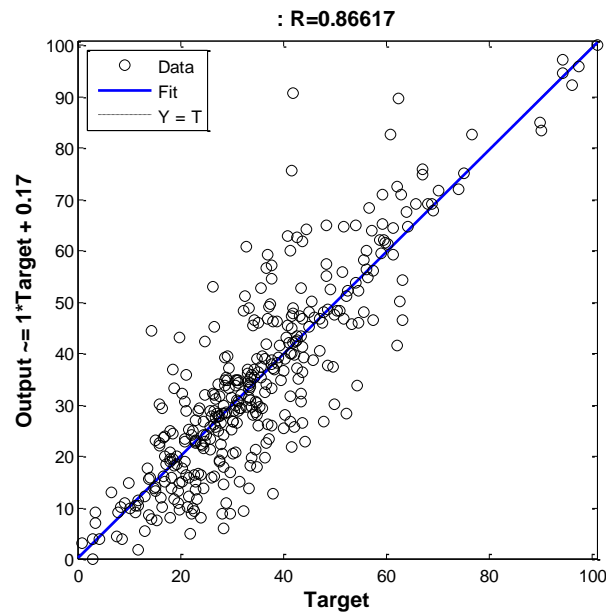


Figure III.18 : diagramme de Ligne de Régression linéaire simple de teste 2 degré 9

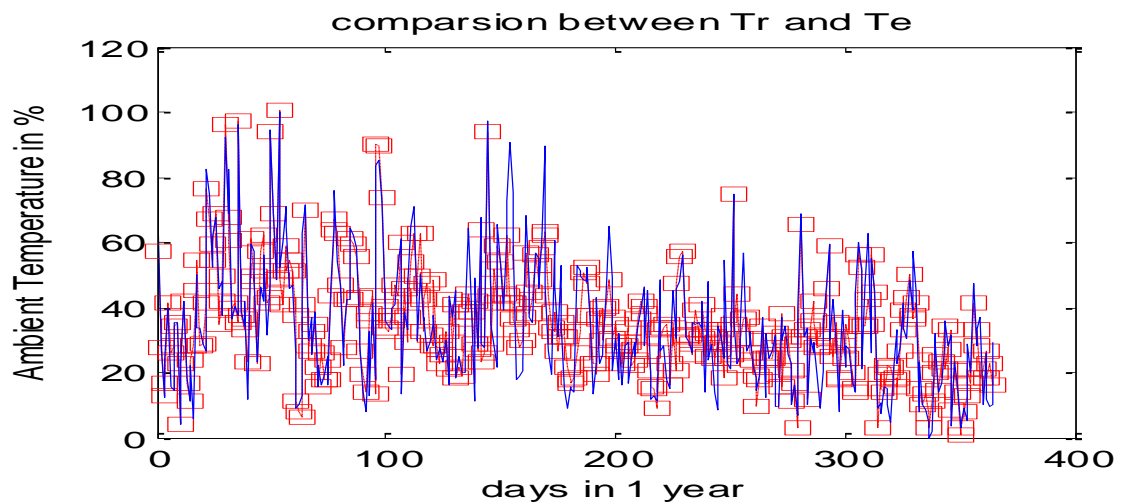


Figure III.19 : diagramme de Comparaison entre Tr et Te de teste02 degré 9

D'après les résultats précédents que nous avons obtenus, nous remarquons que les résultats obtenus se caractérisent par une plus grande précision à mesure que le degré du polynôme est élevé, mais les résultats n'étaient pas au niveau de précision requis.

III.12. TESTE03 :

Chapitre III : Modélisation des données météorologiques par la méthode de régression polynomiale multivariée

Les entrées : (Radiation solaire /humidité /pression /vitesse du vent/La valeur précédente de la sortie)

Les sorties : (températures)

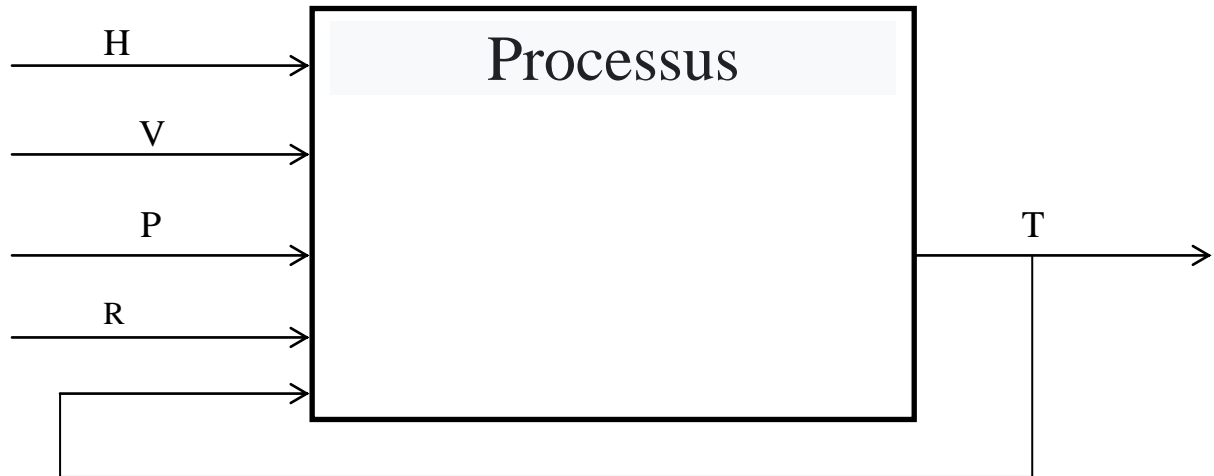


Figure III.20 : Schéma synoptique d'un processus de teste 3

M=5

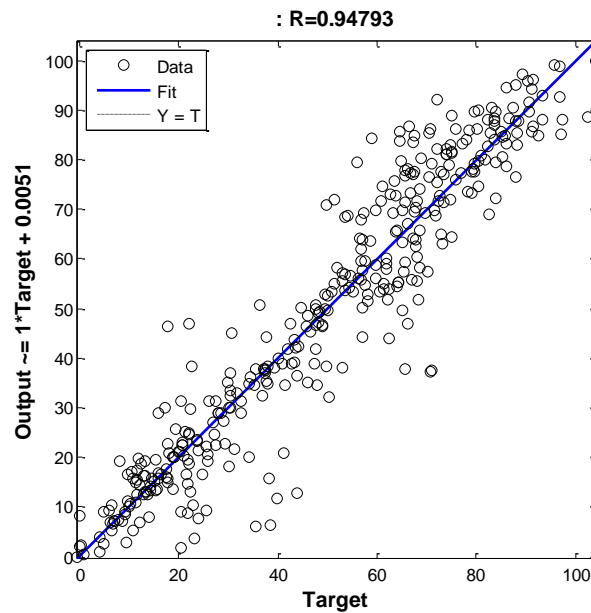


Figure III.21 : diagramme de Ligne de Régression linéaire simple de teste 3 degré 5

Chapitre III : Modélisation des données météorologiques par la méthode de régression polynomiale multivariée

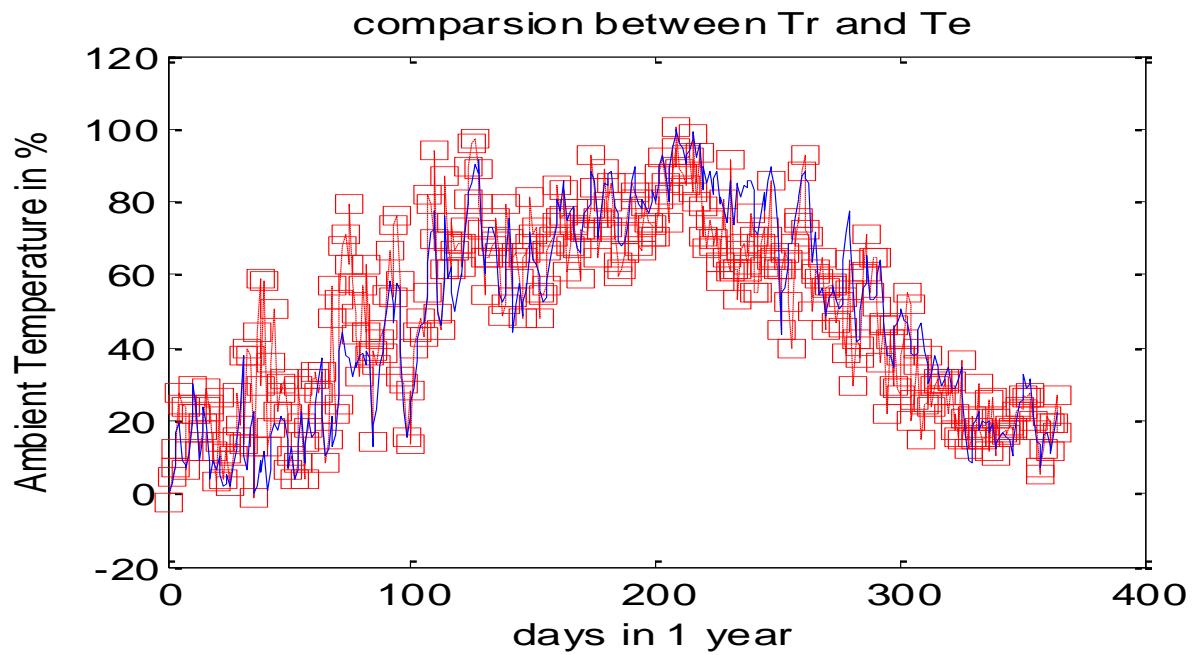
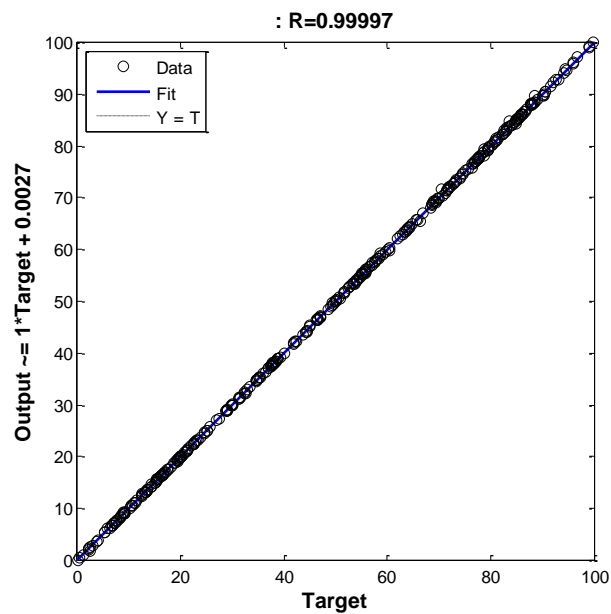


Figure III.22 : Diagramme de Comparaison entre Tr et Te de teste03 degré 5

M=7



Chapitre III : Modélisation des données météorologiques par la méthode de régression polynomiale multivariée

Figure III.23 : Diagramme de Ligne de Régression linéaire simple de teste 3 degré 7
comparision between Tr and Te

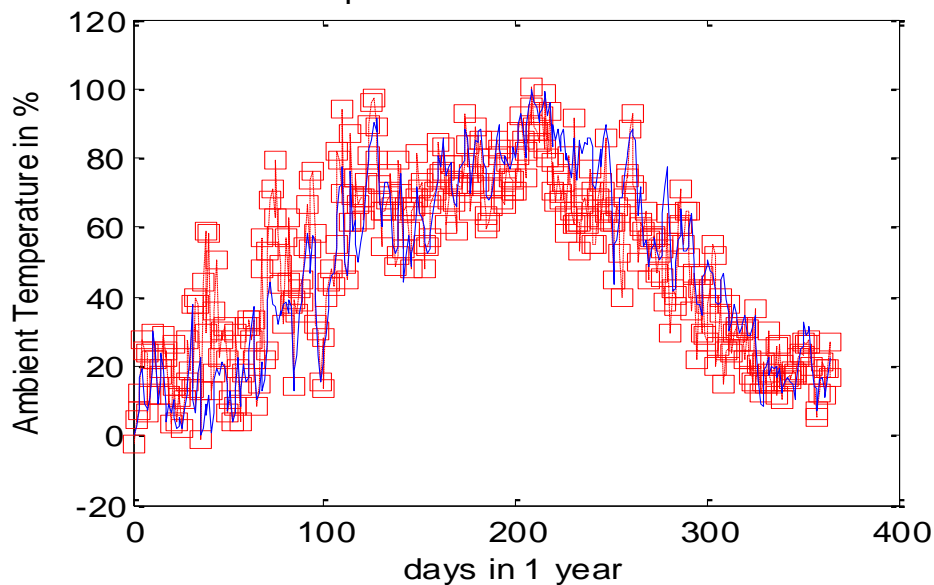


Figure III.24 : Diagramme de Comparaison entre Tr et Te de teste03 degré 7

En utilisant les sorties précédentes dans le troisième test, nous remarquons que les résultats obtenus étaient bien meilleurs que ceux du deuxième test. En effet, lors de l'utilisation d'un polynôme de degré sept uniquement, nous avons obtenu des résultats plus proches de la perfection. Cela indique que le modèle de degré sept a été capable de capturer les motifs et les tendances fondamentales des données avec une plus grande précision.

Le troisième test était remarquable car il s'est appuyé sur une analyse minutieuse des sorties précédentes et l'application d'un modèle plus complexe et détaillé. En utilisant un polynôme de degré sept, nous avons pu améliorer la précision des prédictions et réduire les erreurs. Ce modèle reflète mieux les relations non linéaires complexes, ce qui lui permet de fournir des estimations plus proches des valeurs réelles.

De plus, l'application d'un polynôme de degré sept a aidé à révéler les interactions subtiles entre les différentes variables. Cette haute précision dans la modélisation nous a permis de mieux comprendre les phénomènes étudiés et d'obtenir une performance de modèle supérieure par rapport aux tests précédents.

Chapitre III : Modélisation des données météorologiques par la méthode de régression polynomiale multivariée

Par conséquent, on peut dire que l'utilisation d'un modèle de degré sept n'était pas seulement une amélioration technique, mais une étape essentielle pour obtenir des résultats plus fiables et précis. Cela renforce l'importance de choisir le modèle approprié qui reflète pleinement les complexités inhérentes aux données, garantissant ainsi l'obtention de résultats efficaces et de haute qualité.

III.13. Conclusion :

En analysant les données à l'aide de la régression polynomiale multivariée, nous avons pu approfondir notre compréhension des relations complexes entre diverses variables en météorologie. Les résultats obtenus suggèrent que l'utilisation de la régression polynomiale multivariée est un outil très efficace pour prédire avec précision et efficacité les valeurs attendues des variables climatiques. Cette approche a démontré son efficacité non seulement dans le domaine météorologique, mais aussi dans des secteurs variés tels que l'industrie, les sciences de l'environnement et la médecine.

L'efficacité de cette méthode a été confirmée par les résultats obtenus à partir de simulations réalisées avec MATLAB. Les performances de la méthode de régression polynomiale ont été comparées aux valeurs réelles, montrant une grande précision dans les prévisions. Les modèles développés ont prouvé qu'ils pouvaient capturer les tendances et les variations des données climatiques avec une fidélité remarquable, surpassant souvent les autres méthodes de modélisation.

Toutefois, pour optimiser davantage cette méthode et élargir son champ d'application, des recherches supplémentaires sont nécessaires. Ces recherches visent à répondre aux besoins croissants d'analyse dans le domaine de la météorologie et des variables multiples. En continuant à perfectionner cette approche, nous pourrions améliorer notre capacité à prédire et à gérer les phénomènes complexes liés aux variables météorologiques, offrant ainsi des outils encore plus robustes pour la recherche et les applications pratiques .

CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GÉNÉRALE

L'utilisation de la méthode de régression polynomiale pour modéliser les données climatiques est un outil efficace pour analyser et anticiper des évolutions climatiques complexes. Dans le but de prédire les valeurs futures des variables climatiques, cette approche utilise des modèles mathématiques avancés qui s'appuient sur un vaste ensemble de données historiques. Les modèles de régression polynomiale, à la différence des modèles linéaires classiques, sont capables de gérer les relations non linéaires entre les variables climatiques, ce qui leur permet d'avoir une plus grande précision dans la représentation des phénomènes climatiques.

Les modèles de régression polynomiale ont la capacité de prendre en compte les changements saisonniers, les tendances à long terme et les interactions complexes entre diverses variables climatiques telles que la température, les précipitations, l'humidité et la pression atmosphérique. Il est essentiel d'avoir la capacité de modéliser les relations non linéaires afin de saisir les dynamiques climatiques, car de nombreux processus météorologiques et climatiques sont intrinsèquement non linéaires. Par exemple, il est possible d'avoir une meilleure compréhension de la corrélation entre la concentration de gaz à effet de serre et les températures mondiales ou de l'influence de l'ensoleillement sur les précipitations en utilisant des modèles polynomiaux.

Toutefois, l'utilisation de la régression polynomiale dans le domaine de la modélisation climatique pose des difficultés. Les mégadonnées requises pour alimenter ces modèles nécessitent des ressources considérables en termes de technologie et de personnel qualifié. La complexité des modèles eux-mêmes, qui requiert des méthodes de calcul et d'optimisation avancées, ajoute une difficulté supplémentaire. Malgré cela, la flexibilité offerte par les modèles de régression polynomiale permet de surmonter ces obstacles en fournissant des prévisions climatiques plus précises et fiables.

L'amélioration de la précision des prévisions climatiques est essentielle pour de nombreuses applications pratiques. Dans le domaine de la planification environnementale, des prévisions climatiques précises permettent d'élaborer des stratégies d'adaptation et de mitigation efficaces face aux impacts du changement climatique. Par exemple, la gestion des ressources en eau, la planification des infrastructures et la protection des écosystèmes bénéficient grandement de la capacité à prévoir les variations climatiques futures. De même, dans la gestion des ressources naturelles, des prévisions climatiques précises aident à optimiser

CONCLUSION GÉNÉRALE

l'exploitation des ressources agricoles, forestières et hydriques, contribuant ainsi à une utilisation plus durable de ces ressources.

En outre, la méthode de régression polynomiale dans les études climatiques améliore notre compréhension des facteurs influençant le climat. En identifiant les relations complexes entre différentes variables climatiques, ces modèles permettent de mieux comprendre les mécanismes sous-jacents des phénomènes climatiques et de leurs variations. Cette compréhension approfondie est essentielle pour développer des politiques et des mesures de gestion plus efficaces afin de s'adapter aux futurs changements climatiques.

En conclusion, la régression polynomiale représente une avancée significative dans la modélisation des données climatiques, offrant des outils robustes pour anticiper les variations climatiques. Malgré les défis liés à la collecte et au traitement des données et à la complexité des modèles, la flexibilité et la précision accrues de cette méthode en font un atout précieux pour la recherche climatique. Elle soutient des stratégies d'adaptation et de mitigation mieux informées et plus efficaces, contribuant ainsi à la résilience face aux changements climatiques.

Référence Bibliographique

Référence Bibliographique

[1] <http://uraer.cder.dz/>

[2] <https://www.voxco.com/fr/blog/regression-polynomiale-tout-ce-que-vous-devez-savoir/>

[3]

https://support.ptc.com/help/mathcad/r8.0/fr/PTC_Mathcad_Help/statistics_of_multivariate_polynomial_regression.html

[4] https://www.datafranca.org/wiki/R%C3%A9gression_polynomiale

[5] History of Home Weather Stations: <https://www.acurite.com/learn/history-ofhomeweather-stations>. Mise à jour Mai 2021.

[6] Hilab Mouaiz ;« Réalisation d'une station météorologique à base d'Arduino UNO», Mémoire de master, université de Biskra, 2018.

[7] Mahmoud Bacha Aissa; « Conception et réalisation d'une plateforme station météo connectée», Mémoire de Master, Université de Boumerdes, Algérie, 2017

[8] Vincent Luyet «Stations météo», Rapport, Février 2010.

[9] Ait Allouche Sonia, MAZARI Idir, Conception et réalisation d'un réseau de stations météorologiques à base de cartes Arduino, Mémoire de master, université Mouloud Mammeri DE Tizi- Ouzou, 2018.

[10] Fofou NourElhouda, Radi Nadjlaa, Réalisation d'une station météo connectée,mémoire de master,Université AboubakrBelkaïd– Tlemcen, 2019.

Référence Bibliographique

- [11] Foudil Zahra; « Réalisation d'un prototype d'une station météorologique dédiée aux applications des énergies renouvelables », Mémoire de Master, Université de Béchar, 2020.
- [12] ReguigBerra Imad eddine, ALLAM Yassine, Etude et réalisation d'une station météo connectée par wifi, mémoire de master, Université Mohamed Boudiaf M'SILA, 2016.
- [13] <http://www.slg-instruments.com/radiometre-pyranometre.php>
- [14] Habchi, F. (2013). Identification et commande des systèmes non linéaires par les techniques neuronales (Doctoral dissertation, Université abderrahmane mira béjaia).
- [15] Merzouka, N. (2018). Etude des performances des réseaux de neurones dynamiques à représenter des systèmes réel: une approche dans l'espace d'état (Doctoral dissertation).
- [16]]Hammami, S. (2009). Sur la stabilisation de systèmes dynamiques continus non linéaires exploitant les matrices de formes en flèche: application à la synchronisation de systèmes chaotiques (Doctoral dissertation, Ecole centrale de Lille).
- [17] Livre : Géron, A. (2019). Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow. O'Reilly Media
- [18] Article : Han, J., Pei, J., & Kamber, M. (2011). Data Mining: Concepts and Techniques. Elsevier.
- [19] Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications (MERRA), version 2

ANNEXE

Entreprise

U.R.A.E.R L'Unité de recherche sur les énergies renouvelables est située dans la zone scientifique de la périphérie de Ghardaïa ,à proximité du sud de L'Algérie en novembre 2002. Elle est affiliée au Centre de recherche appliquée aux énergies renouvelables. (CDER), selon son statut et comprend (URAER) (URAER) travaille au développement de technologies pour les petites centrales solaires, photovoltaïques ou thermodynamiques, ainsi qu'au perfectionnement des systèmes de génération photovoltaïque (modélisation, caractérisation, etc.) L'unité a débuté avec 12 chercheurs et compte aujourd'hui plus de 84 chercheurs. Elle est devenue un centre de recherche majeur et un espace permettant de renforcer les synergies et la simulation entre les chercheurs et les équipes de recherche en son sein, et de développer des partenariats aux niveaux national et international. [1]

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
 République Algérienne Démocratique et Populaire
 وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
 Ministère de L'enseignement Supérieur et de La recherche Scientifique



جامعة غرداية
 كلية العلوم والتكنولوجيا
 قسم الآلية والكهرباء وميكانيك

Université de Ghardaïa
 Faculté des Sciences et de la Technologie
 Département automatique et électromécanique

إذن بالطباعة (مذكرة ماستر)

بعد الاطلاع على التصحيحات المطلوبة على محتوى المذكرة المنجزة من طرف الطلبة التالية أسماؤهم:

1. الطالب (ة): بن قومار عبدالحق
2. الطالب (ة): شحم عبد الفتاح

تخصص: صيانة صناعية

نمنح نحن الأستاذ (ة):

الإمضاء	الصفة	الرتبة - الجامعة الأصلية	الاسم واللقب
	رئيس	جامعة غرداية MCB	صالح شريف
	مصحح (1)	جامعة غرداية MCB	جلولي الطاهر
	مصحح (2)	جامعة غرداية professeur	بلعور عبدالرحمان
	مؤطر	جامعة غرداية MAA	لعجال بومدين

الإذن بطباعة النسخة النهائية لمذكرة ماستر الموسومة بعنوان:

Modélisation des données météorologiques par la méthode regression polynomiale multivariée

إمضاء رئيس القسم


 الإلمى عبد اللطيف
 رئيس قسم الآلية والكهرباء وميكانيك