

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

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE
N° :



DOMAINE : SIENCE ET TECHNOLOGIE
FILIERE : ELECTRONIQUE
OPTION : INSTRUMENTATION

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par : DJELLAB DJOUHAINA

YOURMECHE RIM

Intitulé

**SYSTEME HYPRIDE POUR LA PREDICTION DE
LA VITESSE DU VENT BASE SUR L'ANALYSE
DISCRIMINANTE LINEAIRE (LDA) ET
PROCESSUS GAUSSIEN (GP)**

Soutenu devant le jury composé de :

Mr. Mohamed LADJAL	Université M' sila	Président
Mr. Hatem MEZAACHE	Université M' sila	Rapporteur
Mr. Mohamed DJERIOUI	Université M' sila	Examineur

Année universitaire : 2018 /2019

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي
خَلَقَ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ
وَالَّذِي يُضَوِّتُ لِلْجِبَالِ
شُكْرًا وَيَكْتُبُ فِيهَا
إِذَا شَاءَ وَمَنْ يَلْمِزِ
اللَّهَ فَإِنَّ اللَّهَ غَنِيٌّ
غَنِيٌّ غَنِيٌّ عَنِ الْعَالَمِينَ

REMERCIEMENT

*T*out d'abord nous remercions **ALLAH**, qui nous a donné la volonté et le courage pour achever ce modeste travail de fin d'étude.

*N*ous adressons Nos plus vifs remerciements à **nos parents** qui nous ont donné la lumière, qui nous ont guidés et encouragés pour accomplir ce modeste travail.

*N*ous adressons aussi nos plus vifs remerciements à notre promoteur **Hatem MEZAACHE** pour ses encouragements, son aide et ses conseils précieux et Aussi nous remercions **M^{me} Nahed ZEMOURI** pour son aide son soutien et ses conseils, nous lui souhaitons bonne chance.

*N*ous tenons aussi à remercier, **les membres du jury** qui ont acceptés de juger ce travail.

*N*ous adressons aussi nos sincères remerciements à **tous nos enseignants** qui nous ont orientés, assistés et aidés durant notre formation à **l'université de Mohamed Boudiaf M'sila** et particulièrement aux **enseignants du département d'Electronique**.

*E*n fin, Nous exprimons toute nos gratitudee remerciements à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, pour réaliser notre projet de fin d'étude.

Rim & Djouhaina

Dédicaces

*Aux êtres les plus chers à mon cœur, ma mère et mon père, qui
M'ont beaucoup soutenu durant mon cursus d'étude et à qui
Je serai éternellement reconnaissant, qui m'ont permis de
Devenir Ce que je suis aujourd'hui.*

Je dédie ce modeste travail A Mon mari Selmani Mohamed

A mes frères Bilal, Youcef

A tout ma famille

A mes amies

A tous les enseignants qui m'ont aidé

Enfin à tous ceux et celles qui m'ont encouragé et soutenu.

Yourmeche Rim

Dédicaces

Aux êtres les plus chers à mon cœur, ma mère et mon père, qui

M'ont beaucoup soutenu durant mon cursus d'étude et à qui

Je serai éternellement reconnaissant, qui m'ont permis de

Devenir Ce que je suis aujourd'hui.

Je dédie ce modeste travail A mon petite famille

A mes sœurs Zahai, Nadjela

A mes frères Akrem ,naser allah

A tout ma famille

A mes amies

A tous les enseignants qui m'ont aidé

Enfin à tous ceux et celles qui m'ont encouragé et soutenu.

Djellab Djouhaina

Sommaire

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des symboles et des abréviations

Introduction Générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I : Généralité sur l'énergie renouvelable

I.1.Introduction.....	4
I.2.Définition des énergies renouvelables.....	4
I.3. Différentes types de l'énergie Renouvelable.....	4
I.3.1. Energie hydraulique.....	5
I.3.2. Energie de la géothermie.....	6
I.3.3. L'énergie Biomasse.....	7
I.3.4. L'énergie solaire.....	8
I.3.5. L'énergie éolienne.....	8
I.2. l'énergie éolienne.....	9
I.2.1.Introduction.....	9
I.2.2. Définition de l'énergie éolienne.....	9
I.2.3.Historique de l'éolienne.....	11
I.2.4. Descriptif de l'éolienne.....	12
I.2.5. Les composants principale de l'éolienne.....	13
I.2.5.1. le mât (le tour).....	13
I.2.5.2. un rotor.....	14
I.2.5.3. Une nacelle.....	15
I.2.6. Types des turbines éoliennes.....	16

Sommaire

I.2.6.1.Éolienne à axe vertical.....	17
I.2.6.1.a. Avantages.....	17
I.2.6.1.b. Inconvénient.....	18
I.2.6.2. Éoliennes à axe horizontal.....	18
I.2.6.2.a. Avantages.....	19
I.2.6.2.b. Inconvénient.....	19
I.2.7.Principe et fonctionnement d'une éolienne.....	20
I.2.7.1.La chaîne de transmission énergétique.....	20
I.2.7.1.1La transformation de l'énergie par les pales.....	20
I.2.7.1.2.L'accélération du mouvement de rotation grâce au multiplicateur.....	21
I.2.7.1.3.La production d'électricité par le générateur.....	21
I.2.7.1.4.Le traitement de l'électricité par le convertisseur et le transformateur.....	21
I.2.8.Classification des turbines éoliennes.....	21
I.2.9.Avantages et inconvénients de l'énergie éolienne.....	22
I.2.9.1 .Les avantages d'énergie éolienne.....	22
I.2.9.2.Les inconvénients d'énergie éolienne.....	23
I.3. Origine de vent.....	23
I.3.1.La source de vent.....	23
I.3.2. Notions sur le vent.....	23
I.3.3. Répartition régionale de la vitesse du vent.....	24
I.3.4. Les conditions Pour définir les caractéristiques d'un site éolien.....	24
I.3.4.1. Influence de la hauteur.....	24
I.3.4.2. La densité de l'air et la vitesse du vent.....	25
I.3.5. Méthode de calcul la puissance fournie par l'éolienne.....	26
I.4. Conclusion.....	28

Sommaire

Chapitre II : Techniques de Réduction de la Dimension et de Régression

II.1. Introduction.....	30
II.2. C'est quoi la Réduction de la dimension.....	30
II.3. Méthode de réduction de dimension.....	30
II.4. Catégorisation de la réduction de dimension.....	31
a. Sélection d'attributs.....	31
b. Extraction d'attributs.....	31
II.5. L'analyse discriminante linéaire (LDA).....	32
II.5.1. Définition.....	32
II.5.2. Principe.....	33
II.5.3. Un historique sur le LDA.....	33
II.5.4. Discriminante linéaire de Fisher (ADL).....	34
a. La méthode décisionnelle.....	34
b. La méthode factorielle.....	34
II.5.5 Taux d'erreur.....	34
II.5.6 Les avantages et inconvénients.....	35
II.6. Définition de régression.....	35
II.6.1 Historique sur la régression.....	36
II.6.2 Principaux type de régression.....	36
a. La régression simple.....	37
b. La régression multiple.....	37
c. La régression par étapes.....	37
d. La régression à entrées forcées.....	37
e. La régression polynomiale.....	38

Sommaire

f. La régression logistique.....	38
II.6.3. Application de régression.....	38
II.7. Processus Gaussien (GP).....	38
II.7.1 Définition.....	39
II.7.2 Historique de processus gaussiens.....	39
II.7.3 Processus Gaussien pour Régression	40
II.8. Conclusion.....	42
Chapitre III : Résultats et Discussions	
III.1. Introduction.....	44
III.2 Présentation de la base de données.....	44
III.3. Caractéristiques des sites.....	44
III.4. Application de la technique GP et la technique LDA avec GP	45
III.4.1. Critère d'évaluation du système proposé.....	45
III.5. Discussion des résultats.....	46
III.5.1. Application de la technique GP.....	47
III.5.1.1. Les Résultats De Simulation Des Deux Sites En Utilisant Le Logiciel MATLAB.....	47
III.5.1.2. La prédiction par la méthode GP de Site Colorado.....	48
III.5.1.3. La comparaison entre les résultats de n pour le Site Colorado.....	50
III.5.1.4. La prédiction par la méthode GP de Site Connecticut.....	51
III.5.1.5. La comparaison entre les résultats de n pour le Site Connecticut.....	53
III.5.2. Application de la technique GP avec la technique LDA.....	53
III.5.2.1. Les Résultats De Simulation Des Deux Sites En Utilisant Le Logiciel MATLAB.....	53
III.6. Conclusion	62
Conclusion Générale.....	64
Référence Bibliographie	

Sommaire

Liste des figures

Chapitre I :

Généralité sur l'énergie renouvelable

Figure. I.1 : schéma de différentes énergies renouvelables.....	5
Figure. I.2 : schéma de principe d'une centrale gravitaire.....	5
Figure. I.3 : Géothermie haute énergie.....	6
Figure. I.4 : schéma de principe d'une usine biomasse.....	7
Figure. I.5 : Système solaire.....	8
Figure. I.6 : Les parcs éoliens.....	8
Figure.I.7 : Principaux organes du système de conversion éolien.....	10
Figure.I.8 :Conversion de l'énergie cinétique du vent.....	10
Figure.I.9 :Les formes d'éoliennes à travers l'histoire.....	11
Figure.I.10 :Schéma d'une éolienne de type aérogénérateur.....	12
Figure.I.11 : tour d'une éolienne.....	14
Figure.I.12 :Rotor (les pales) d'une turbine.....	14
Figure.I.13 : Constitution d'une nacelle.....	15
Figure.I.14 : technologie éolienne à axe vertical.....	17
Figure. I.15 : technologie éolienne à axe horizontale.....	19
Figure.I.16 : Conversion de l'énergie cinétique du vent.....	20
Figure.I.17 : Les régions ventées en Algérie.....	24
Figure.I.18 : Puissance énergétique récupérable à 50 m Algérie.....	26

Chapitre II :

Techniques de Réduction de la Dimension et de Régression

FigureII.1. a : Principe de la sélection des variables.....	31
FigureII.1. b : Principe de l'extraction des Caractéristiques.....	31
FigureII.2 : Projection par LDA avec séparation entre les classes.....	33

Liste des figures

Figure II.3 : Exemple pour Processus gaussien.....41

Chapitre III :

Résultats et Discussions

Figure III.1 : Courbe des valeurs réelles du Site Colorado.....47

Figure III.2 : Courbe valeurs réels et prédites de GP pour le Site Colorado.....47

Figure III. 3 : Courbe comparaison valeur réels et prédites de GP pour le Site Colorado
Pour n=2.....48

Figure III. 4 : Courbe comparaison valeur réels et prédites de GP pour le Site Colorado
Pour n=10.....49

Figure III. 5 : Courbe comparaison valeur réels et prédites de GP pour le Site Colorado
Pour n=15.....49

Figure III.6 : Courbe des valeurs réelles du Site Connecticut.....50

Figure III.7 : Courbe comparaison valeur réels et prédites de GP pour le Site Connecticut.....51

Figure III.8 : Courbe comparaison valeur réels et prédites de GP pour le Site Connecticut
Pour n=2.....52

Figure III.9 : Courbe comparaison valeur réels et prédites de GP pour le Site Connecticut
Pour n=10.....52

Figure III.10 : Courbe comparaison valeur réels et prédites de GP pour le Site Connecticut
Pour n=15.....53

Figure III.11 : Courbe des valeurs réelles du Site Colorado.....54

Figure III.12: Vitesse du vent réelle et prédite avec LDA et GP pour 44 colonnes.....55

Figure III.13 : Vitesse du vent réelle et prédite avec LDA et GP pour 47 colonnes.....55

Figure III.14 : Vitesse du vent réelle et prédite avec LDA et GP pour 48 colonnes.....56

Figure III.15 : Vitesse du vent réelle et prédite avec LDA et GP pour 49 colonnes.....56

Figure III.16 : Vitesse du vent réelle et prédite avec LDA et GP pour 50 colonnes.....57

Liste des figures

Figure III.17 : Courbe des valeurs réelles du Site Connecticut.....	58
Figure III.18: Vitesse du vent réelle et prédite avec LDA et GP pour 20 colonnes.....	59
Figure III.19: Vitesse du vent réelle et prédite avec LDA et GP pour 21 colonnes.....	59
Figure III.20 : Vitesse du vent réelle et prédite avec LDA et GP pour 22 colonnes.....	60
Figure III.21 : Vitesse du vent réelle et prédite avec LDA et GP pour 23 colonnes.....	60
Figure III.22: Vitesse du vent réelle et prédite avec LDA et GP pour 24 colonnes.....	61

Liste des tableaux

Chapitre I :

Généralité sur l'énergie renouvelable

Tableau I.1 : Classification des turbines éoliennes.....	21
Tableau I.2 : Exemple d'évolution du vent en fonction de la hauteur.....	25

Chapitre II :

Techniques de Réduction de la Dimension et de Régression

Tableau II.1 : Type de régression et modèles et la relation entre les variables.....	37
---	----

Chapitre III :

Résultats et Discussions

Tableau III.1 : Caractéristiques du site Colorado.....	44
Tableau III.2 : Caractéristiques du site Connecticut.....	44
Tableau III.3 : Résultats des valeurs de critères RMSE, MAPE, MABE et R^2 pour le Site Colorado.....	48
Tableau III.4 : Résultats des valeurs de critères RMSE, MAPE, MABE et R^2 pour le Site Connecticut.....	51
Tableau III.5 : Résultats des valeurs de critères RMSE, MAPE, MABE et R^2 pour le Site Colorado.....	54
Tableau III.6 : Résultats des valeurs de critères RMSE, MAPE, MABE et R^2 pour nombre de colonne le Site Connecticut.....	58

Liste des tableaux

Liste des symboles et des abréviations

Les symboles

Les symboles définis ci-dessous sont celles que nous utilisons le plus dans ce manuscrit :

V	La vitesse du vent
h	La hauteur de éolienne
P	La puissance d'éolienne
E	La puissance énergétique récupérable
m_{aire}	La masse d'air
ρ	La masse volumique
S	Le section d'éolienne
Y	Variable dépendante.
X	Variable indépendante.
a	Ordonnée à l'origine de la droite.
b	Pente de la droite.
N	Le nombre d'observation.
y_i	Les valeurs prédites pour la comparaison.
y_t	Les valeurs testes avec la méthode GP.
y_i	Les valeurs prédites pour la comparaison.
y_t	Les valeurs testes avec la méthode GP.
y'	Présente la valeur moyenne des valeurs prédites.

Liste des symboles et des abréviations

Les abréviations

INSEE	National institutes of statistiques and économiques studieuse
SCE	Système de Conversion Eolien
LDA	Linear Discriminant Analysis
GP	Processus Gaussien
ACP	L'Analyse en Composantes Principale
ACI	Analyse en Composantes Indépendantes
MDS	Le Positionnement Multidimensionnel
ADF	L'Analyse Discriminante de Fisher
KACP	La méthode à noyau de l'analyse Composantes Principales
KADF	La méthode à noyau de l'Analyse Discriminante de Fisher
LLE	Locally Linear Embedding
MAPE	L'erreur Absolue Moyenne en Pourcentage (The Mean AbsolutePercentage Error).
RMSE	L'erreur Quadratique Moyenne (The Root Mean Squared Error)
R²	Le Coefficient de Détermination
MABE	Le biais Moyen Absolue

Introduction Générale

Introduction Générale

Les énergies renouvelables sont des énergies propres inépuisables et ne dégagent pas les gaz à effet de serre. Parmi ces énergies, on cite l'énergie éolienne qui transforme cinétique du vent en énergie rotative. L'outil principal de transformation de cette énergie est l'aérogénérateur.

L'énergie éolienne est une forme indirecte de l'énergie solaire. L'absorption du rayonnement solaire dans l'atmosphère engendre des différences de température et de pression qui mettent les masses d'air en mouvement, et créent le vent.

Depuis plusieurs dizaines d'années, l'énergie éolienne connaît une croissance considérable dans le monde. Cependant, la production de cette énergie est dépendante de l'intensité et la vitesse du vent, fortement volatile, et est donc caractérisée par un haut degré d'incertitude.

C'est pour cela que la production de l'énergie éolienne est importante et qu'il est intéressant de pouvoir trouver des solutions afin de produire toujours d'énergie de manière plus propre et plus durable.

Cette méconnaissance de la production future d'énergie à tendance à rendre la gestion du réseau électrique plus difficile.

Pourquoi prédire la vitesse du vent ?

La prédiction de la vitesse du vent permet le contrôle et la gestion du réseau en connaissant la quantité d'énergie produite, la protection du système des grandes vitesses et la détermination de la possibilité de construire des centrales éoliennes dans un site en connaissant son potentiel.

L'objectif principal des systèmes de production d'énergie devrait être de répondre à tout moment à la demande d'énergie tout en minimisant les impacts environnementaux associés. Ceci nécessite de développer des formes propres d'énergie, tout en s'assurant de la cohérence et de la fiabilité de leur approvisionnement et de leur utilisation.

Pour cette raison nous proposons de développer un modèle de calcul basé sur la technique de l'Analyse Discriminante Linéaire (LDA) et la technique Processus Gaussien (GP) pour prédire la vitesse du vent.

Les chercheurs de l'énergie renouvelable on va utiliser plusieurs méthodes pour prédire la vitesse du vent, chaque chercheur à utiliser une méthode ou deux méthodes pour cette prédiction

Introduction Générale

comme l'étude faite par Sadkine Smail MmeAbdelli Radia etMr Rachedi Aghiles [1] et aussi l'étude faite par M'SEDDAOUI Mawloud et M'KARMAS Malik [2]

Organisation du Manuscrit :

Dans ce mémoire, nous proposons l'algorithme L'Analyse Discriminante Linéaire (LDA) pour la réduction de dimension et le Technique Processus Gaussien (GP) comme un outil de régression pour la prédiction de la vitesse du vent en se basant sur des séries temporelles de la vitesse.

Le travail présenté dans ce mémoire est constitué de la présente introduction, de trois chapitres et d'une conclusion générale.

Il est organisé comme suit :

- Chapitre I : dans ce chapitre nous exposons un aperçu sur la production générale de l'électricité, l'énergie renouvelable et la consommation d'énergie éolienne.
- Chapitre II : on présente les outils essentiels afin de comprendre la technique LDA et la technique GP.
- Chapitre III : présente le fruit de notre travail, dans ce chapitre on donne des rappels théoriques sur les séries temporelles, le système que nous avons proposé pour la prédiction de la vitesse du vent, à la suite nous présentons quelques résultats de simulation simulée en Matlab, et à la fin nous terminerons notre travail par une conclusion générale.

Chapitre I

Généralité sur l'énergie
renouvelable

I.1. Introduction :

Qu'est-ce qu'une énergie ? Une énergie désigne l'ensemble des matières primaires ou des phénomènes naturels utilisés pour la production d'énergie. Mais les énergies que l'on utilise actuellement, comme le carburant, sont néfastes pour l'environnement du fait des rejets de gaz à effet de serre comme le plus connu le CO₂. C'est pourquoi il est important d'utiliser des énergies renouvelables. Selon l'INSEE ; les énergies renouvelables incluent l'énergie d'origine solaire (éolienne, hydraulique, thermique, photovoltaïque, biomasse). [3]

Les énergies renouvelables n'engendrent pas de déchets ni d'émissions polluantes de manière directe. Elles sont issues de phénomènes naturels réguliers provoqués principalement par le Soleil, la Lune et la Terre. [3]

I.2. Définition des énergies renouvelables :

Les énergies renouvelables sont propres et inépuisables. Et vu que les autres sources d'énergie sont à coût élevé, plusieurs pays ont encouragé les chercheurs d'étudier et développer Des systèmes de conversion d'énergie renouvelables (énergie solaire, énergie éolienne, hydraulique, géothermique ...etc. Les énergies renouvelables s'imposent comme la solution d'avenir pour satisfaire de façon durable les besoins énergétiques mondiaux. [4]

I.3. Différentes types de l'énergie Renouvelable :

L'énergie renouvelable se forme a cinq type sont :

- Energie hydraulique.
- Energie géothermique.
- Energie biomasse.
- Energie solaire.
- Energie éolienne.

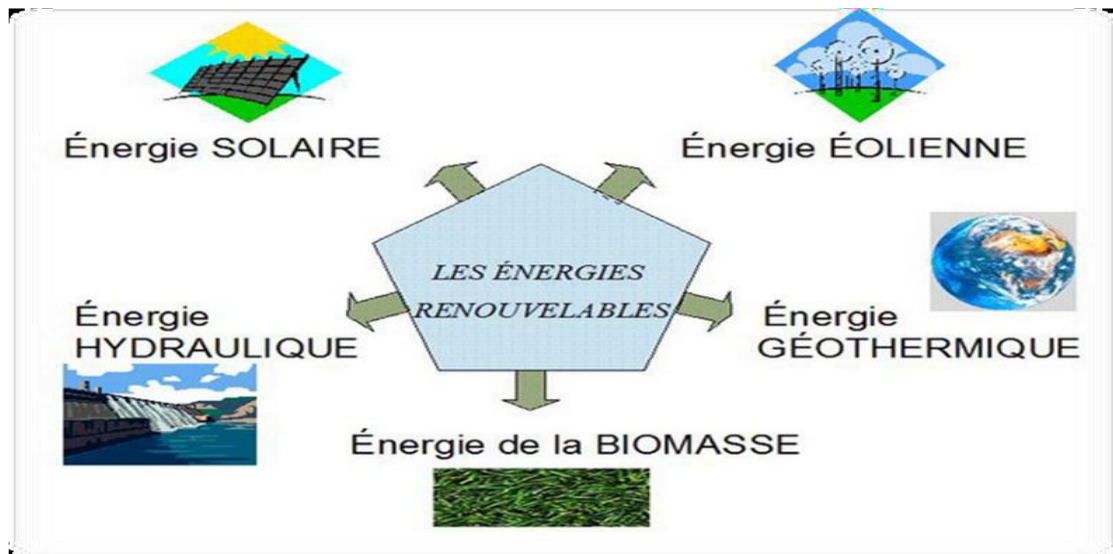


Figure. I.1 : schéma de différentes énergies renouvelables. [5]

I.3.1. Energie hydraulique : (ou hydrau-électricité) :

Cette énergie est produite par une chute d'eau à deux niveaux, l'un étant plus élevé que l'autre, le courant d'eau fait tourner les turbines dont l'énergie alimente les générateurs électriques.

[4]

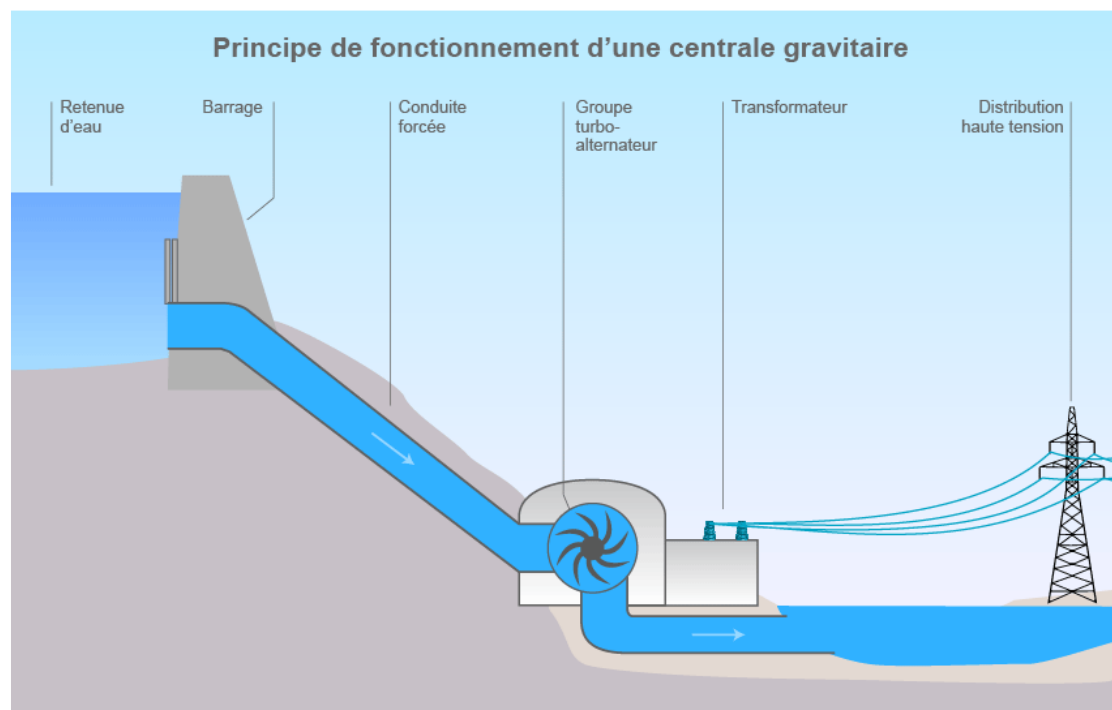


Figure. I.2 : schéma de principe d'une centrale gravitaire. [4]

I.3.2. Energie de la géothermie :

Une énergie produite grâce à la chaleur de la terre, elle est contenue à l'intérieur de réservoirs souterrains de vapeur d'eau chaude et des roches chaudes, est utilisée comme ressource générant de l'électricité, l'eau chaude ou la vapeur extraite des réservoirs géothermiques de la croûte de la terre, fait tourner les turbines électriques qui alimentent les générateurs pour produire de l'électricité.[4]

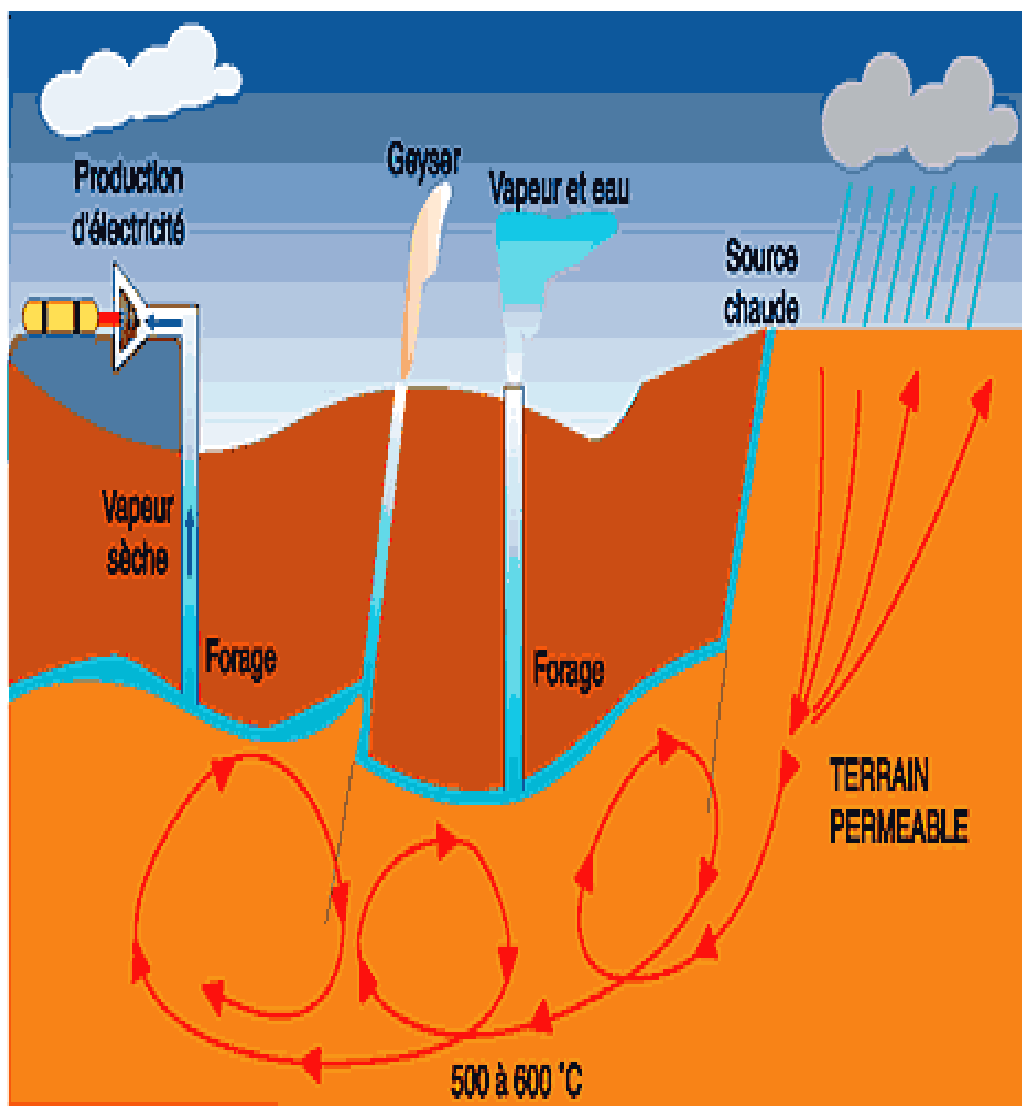
GÉOTHERMIE HAUTE ÉNERGIE

Figure. I.3 : Géothermie haute énergie. [4]

I.3.3. L'énergie Biomasse :

Cette Energie est produite grâce aux déchets et grâce à la combustion des matières organiques d'origine végétale, animale ou fongique, ou après méthanisation (biogaz), et aussi après de nouvelles transformations chimiques. [4]

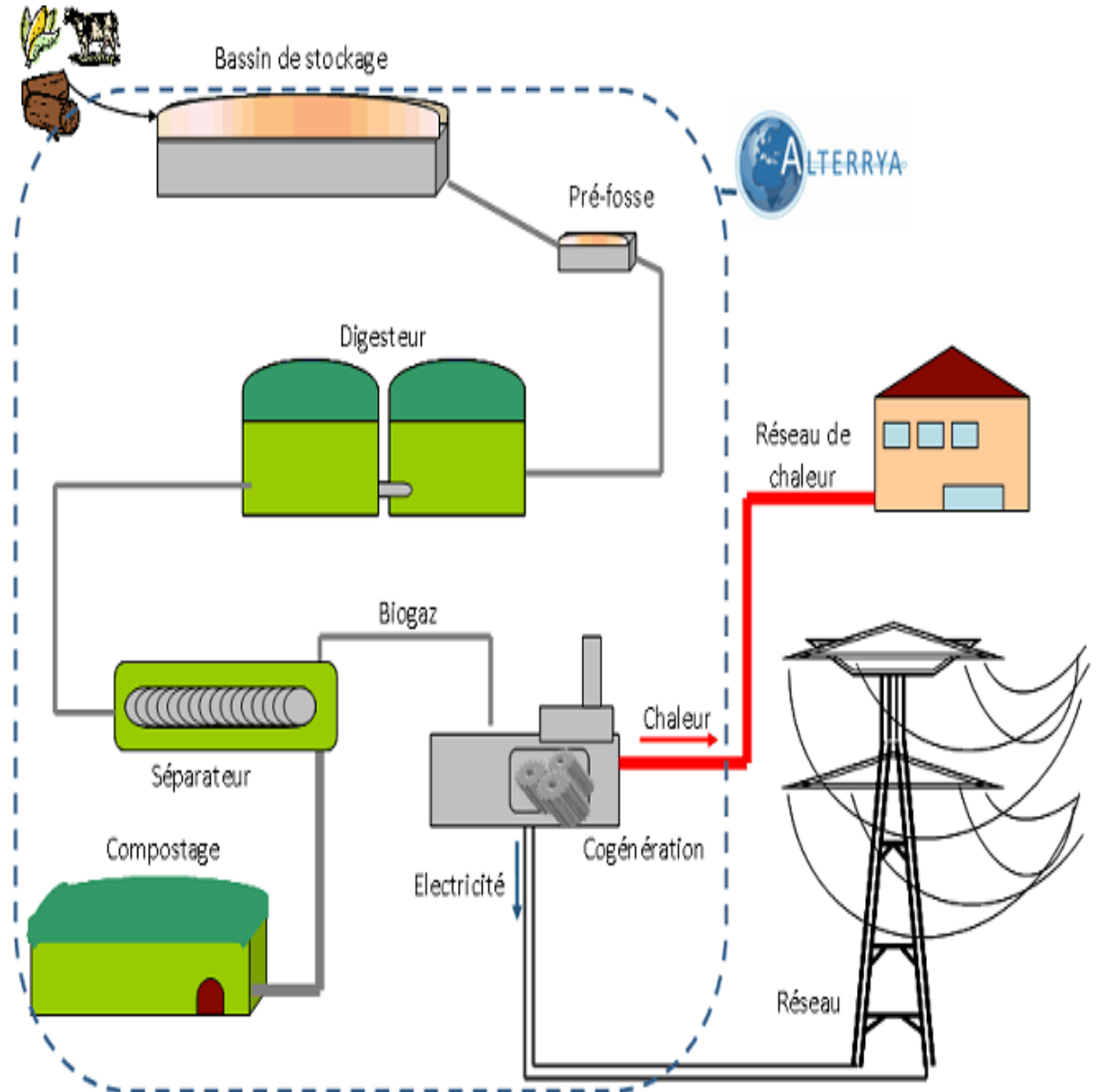


Figure. I.4 : schéma de principe d'une usine biomasse. [4]

I.3.4. L'énergie solaire :

L'énergie solaire est une source d'énergie qui dépend du soleil. Alors cette énergie permet de produire de l'électricité à partir de panneaux photovoltaïques ou des centrales solaires thermiques, grâce à la lumière du soleil captée par des panneaux solaires.

Alors on distingue deux types de l'énergie solaire : l'énergie à effet thermique, et à l'effet photovoltaïque. [4]

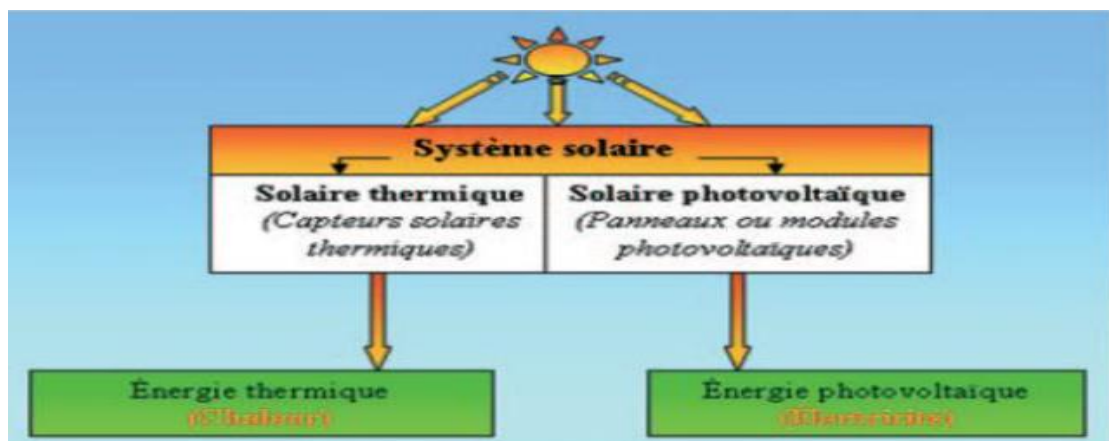


Figure. I.5 : Système solaire. [4]

I.3.5. L'énergie éolienne :

On utilise l'énergie éolienne depuis au moins deux mille ans. En Mésopotamie, en 1700 avant J.C environ, l'énergie éolienne était utilisée à des fins d'irrigation et pour moulinier le grain.

Les pompes éoliennes mécaniques étaient en grande partie utilisées au XIXe siècle pour fournir de l'énergie à des fins d'irrigation, de drainage, etc. et ont marqué le paysage de nombreux pays. [4]



Figure. I.6 : Les parcs éoliens. [4]

I.2. l'énergie éolienne :**I.2.1.Introduction :**

Depuis l'utilisation du moulin à vent, la technologie des capteurs éoliens n'a cessé d'évoluer. C'est au début des années quarante que de vrais prototypes d'éoliennes à pales profilées ont été utilisés avec succès pour générer de l'électricité. Plusieurs technologies sont utilisées pour capter l'énergie du vent (capteur à axe vertical ou à axe horizontal) et les structures des capteurs sont de plus en plus performantes. . [6]

Mécaniques de l'éolienne, l'efficacité de la conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique est très importante. Là encore, de nombreux dispositifs existent et, pour la plupart, ils utilisent des machines synchrones et asynchrones. Les stratégies de Machines et leurs éventuelles interfaces de connexion au réseau doivent permettre de capter un maximum d'énergie sur une plage de variation de vitesse de vent la plus large possible, Ceci dans le but d'améliorer la rentabilité des installations éoliennes. [6]

I.2.2. Définition de l'énergie éolienne :

L'énergie éolienne est une énergie "renouvelable" non dégradée, géographiquement diffuse, et surtout en corrélation saisonnière (l'énergie électrique est largement plus demandée en hiver et c'est souvent à cette période que la moyenne des vitesses des vents est la plus élevée).[7]

De plus, c'est une énergie qui ne produit aucun rejet atmosphérique ni déchet radioactif. Elle est toutefois Aléatoire dans le temps et son captage reste assez complexe, nécessitant des mâts et des pales de grandes dimensions (jusqu'à 60m pour des éoliennes de plusieurs mégawatts) dans des zones géographiquement dégagées pour éviter les phénomènes de turbulences. [7]

Le SCE (Système de Conversion Eolien) est constitué d'un générateur électrique, entraîné par une turbine éolienne à travers le multiplicateur, d'un système de commande, d'un convertisseur statique, d'un transformateur et enfin d'un réseau électrique. Selon la Fig. I.1. [7]

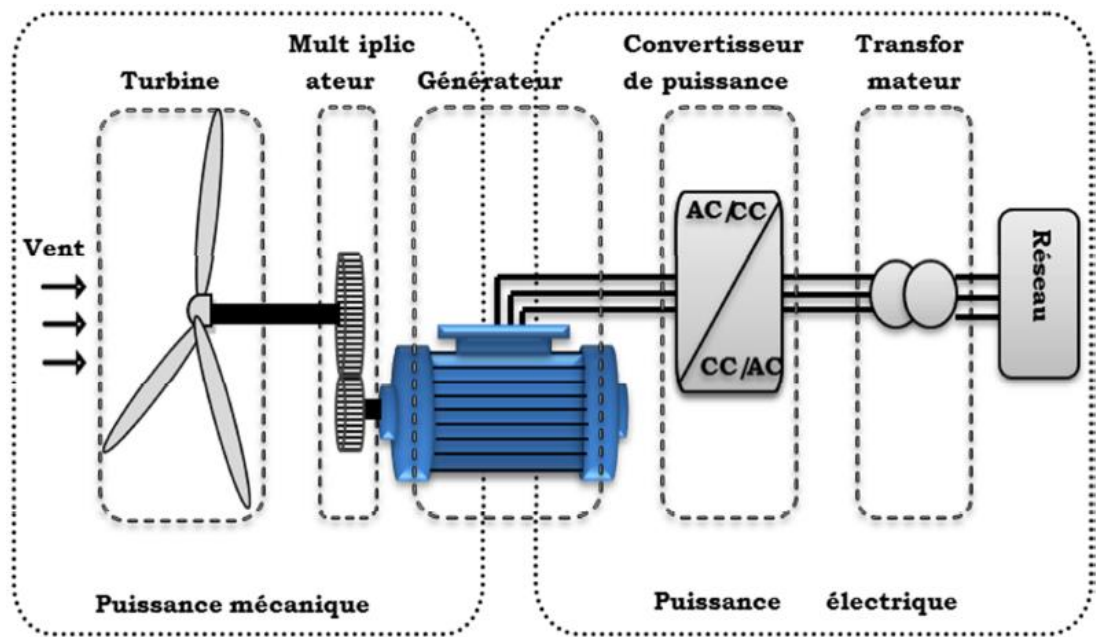


Figure. I.7 : Principaux organes du système de conversion éolien. [7]

De plus ; le soleil chauffe inégalement la terre, ce qui crée des zones de températures et des pressions atmosphériques différentes tout autour du globe. De ces différences de pression naissent des mouvements d'air, appelés **vent**. Cette énergie permet de fabriquer de l'électricité dans des éoliennes, appelées aussi aérogénérateur. [1] Selon la Fig. I.8 [6]

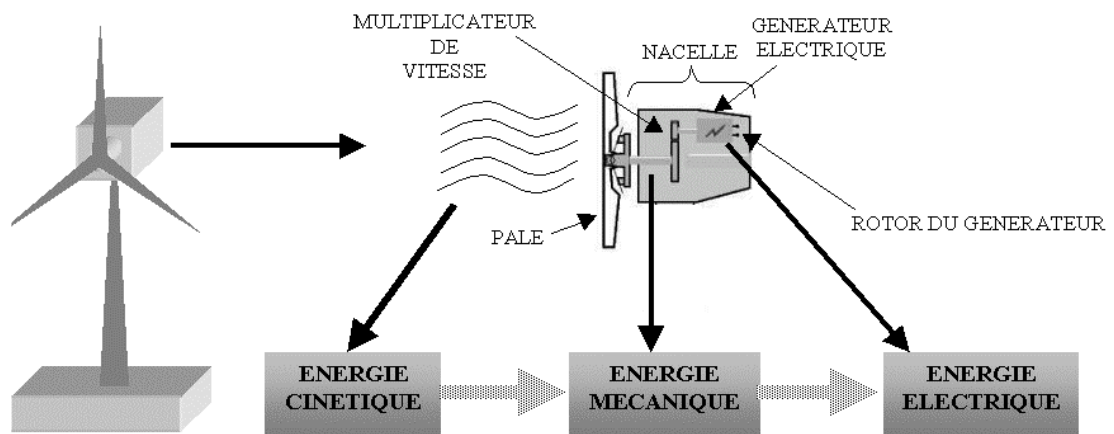


Figure.I.8 : Conversion de l'énergie cinétique du vent. [6]

I.2.3. Historique de l'éolienne :

L'humanité utilise le vent depuis la nuit des temps (bateau à voile, moulin à vents...) C'est certainement la forme d'énergie renouvelable qui connaît le plus fort développement les éoliennes ayant fait de gros progrès depuis une dizaine d'années (plus 55% en productivité, moins 50% en niveau de bruit). Une éolienne est une machine qui transforme l'énergie cinétique du vent (déplacement d'une masse d'air) en énergie mécanique ou électrique. Les éoliennes sont conçues de manière à produire un maximum de puissance pour des vents de forces moyennes fréquemment rencontrées. Elles atteignent leur puissance nominale pour une vitesse de vent de 50 km/h (14 m/s). La machine est alors stoppée afin de lui éviter de subir des charges trop importantes. Cette énergie offre deux grands avantages, puisqu'elle est totalement propre et renouvelable.

Quant à la premières éoliennes, il faut remonter jusqu'à 4000 années en arrière pour en trouver la trace, c'est sous le règne d'Hammourabi, roi de Babylone, qu'apparurent les premiers système d'irrigation entraînée par le vent et on utilisait déjà en perse les premiers moulin à vent à axe verticale pour moudre du grain, des moulins à vent semblables et extrêmement primitifs ont survécu en Afghanistan jusqu'à nos jours ,petit à petit cette technologie commença à faire son chemin vers toute l'Europe. [3]

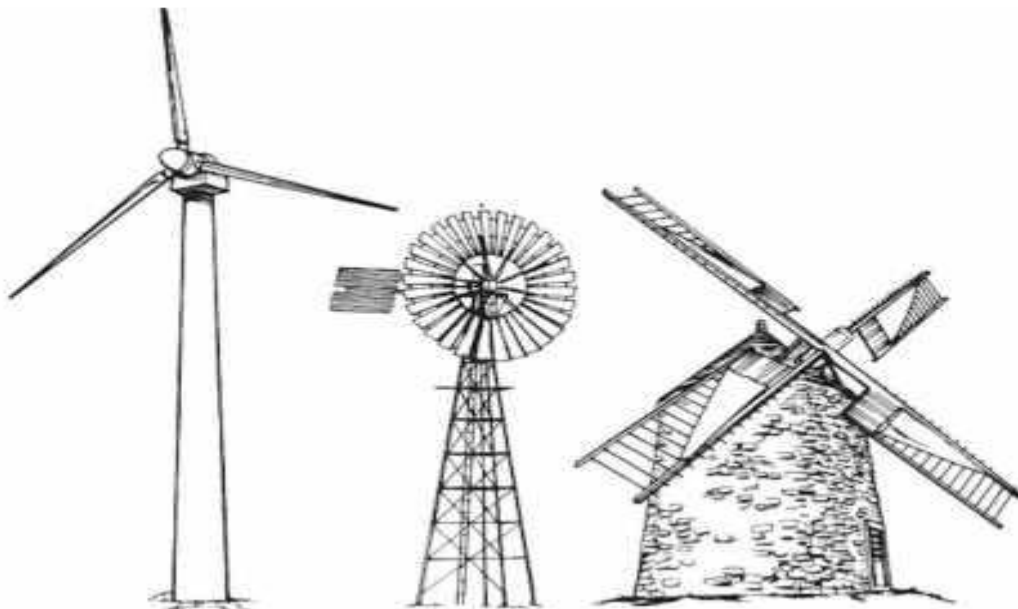


Figure.I.9 : Les formes d'éoliennes à travers l'histoire. [8]

I.2.4. Descriptif de l'éolienne :

L'éolienne, appelée également aérogénérateur, Permet de transformer l'énergie cinétique du vent en énergie électrique. L'hélice d'une éolienne entre en rotation par la force du vent et permet ainsi la production d'énergie mécanique ou électrique [8].

Pour convertir l'énergie éolienne en énergie électrique le générateur va utiliser le Phénomène d'induction. En effet ce dernier est composé de deux parties, une partie mobile le rotor et une partie fixe, le stator, permettant de créer un champ magnétique et de générer un courant électrique. L'éolienne est également équipée d'une girouette permettant l'orientation des pales en fonction de la direction du vent. Elle doit être également fixée solidement au sol. [8]

S'agissant du mât, il doit être dimensionné précisément en fonction de la machine, des fondations Plusieurs systèmes existent : haubané, treillis, autoporteur...etc. Pour qu'une éolienne produise...Quelques notions importantes doivent être prises avant l'installation. L'éolienne doit être adaptée au site et à ses besoins, Il faut vérifier le vent, on considère qu'un site est exploitable. [8]

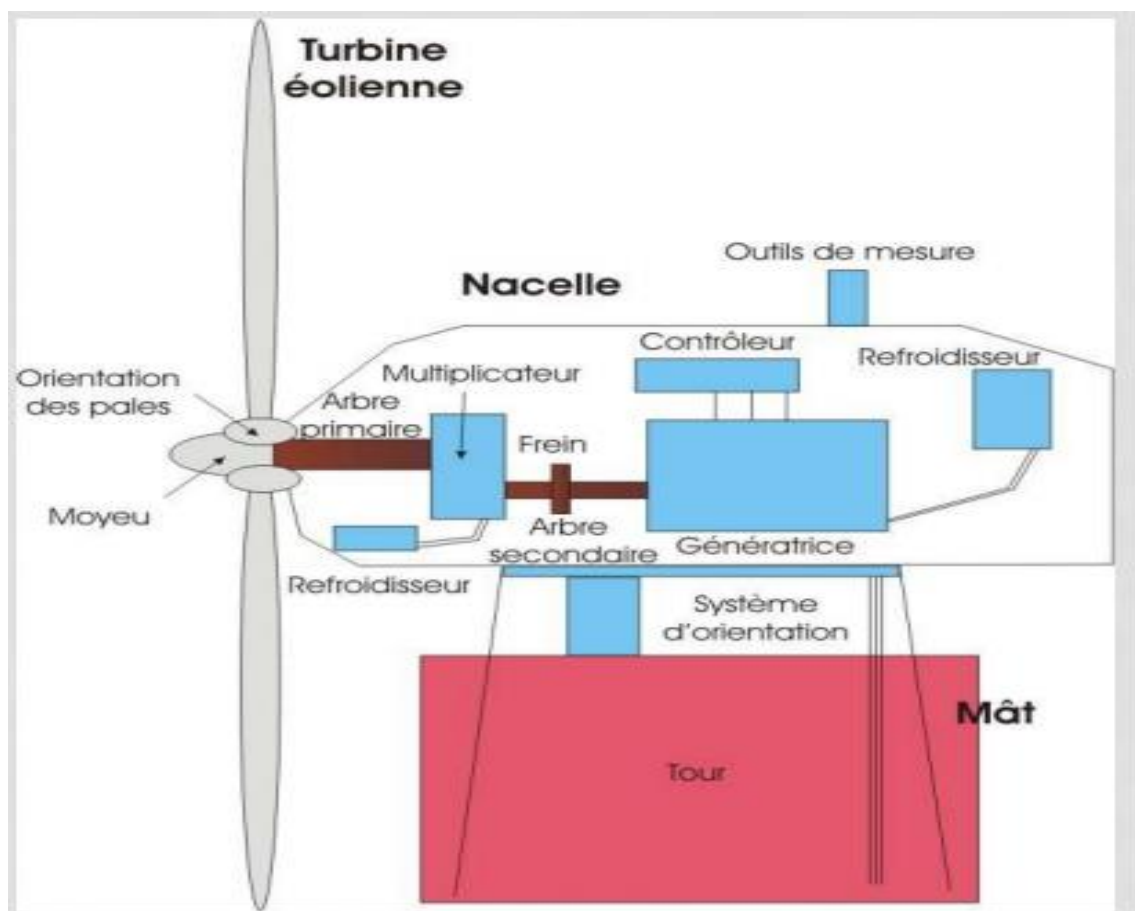


Figure.I.10 : Schéma d'une éolienne de type aérogénérateur. [3]

Ce potentiel conditionnera le choix d'une machine de puissance nominale adaptée. Un autre critère important reste l'évaluation de ses besoins en électricité au regard de ces consommations journalières et annuelles. Cette étape permettra également de réfléchir plus largement à maîtriser ses consommations électriques. [8]

Pratiquement, les éoliennes doivent résister à des tempêtes aussi violentes. Les principaux avantages de l'énergie éolienne sont l'autonomie en électricité, la possibilité de produire de jour comme de nuit et un impact environnemental réduit par des précautions simples vis à vis de la population et du paysage. L'énergie produite peut être soit stockée dans des batteries, soit injectée aux normes dans le réseau. Cette dernière solution étant économiquement et techniquement beaucoup plus pertinente [8].

I.2.5. Les composants principale de l'éolienne :

Il existe plusieurs configurations possibles d'aérogénérateurs qui peuvent avoir des différences importantes. Néanmoins, une éolienne "classique" est généralement constituée de :

I.2.5.1. le mât (le tour) : généralement en métal, supporte l'ensemble des équipements permettant de produire l'électricité (nacelle + rotor). Il est fixé sur une fondation implantée dans le sol, une lourde semelle en béton qui assure l'ancrage et la stabilité de l'éolienne. Le mât des éoliennes atteint aujourd'hui 80 m de haut pour les plus puissantes (exceptionnellement jusqu'à 100 m). [8]

Les éoliennes sont-elles si haut perchées. C'est parce que le vent souffle plus fort à quelques dizaines de mètres de hauteur, où il n'est pas perturbé par l'effet des obstacles : relief, arbres, maisons...Et la puissance fournie par une éolienne est proportionnelle au cube de la vitesse du vent. [8]



a) Tour tubulaire

b) tour en treillis

c) tour haubanée

Figure.I.11 : tour d'une éolienne. [3]

I.2.5.2. un rotor : composé de plusieurs pales (en général 3) et du nez de l'éolienne. Les pales sont aujourd'hui faites de matériaux composites à la fois légers et assurant une rigidité et une résistance suffisantes : polyester renforcé de fibre de verre et/ou fibre de carbone. [8]

Leur longueur atteinte actuellement entre 30 et 55 mètres, soit un diamètre du rotor compris entre 60 et 110 mètres. La puissance d'une éolienne est proportionnelle à la surface balayée par ses pales (un cercle), donc au carré de son diamètre rotor. [8]

**Figure.I.12** : Rotor (les pales) d'une turbine. [3]

Le rotor est relié à la nacelle par le moyeu, Elle transforme l'énergie cinétique du vent en Énergie mécanique. [3]

I.2.5.3. Une nacelle : est la salle des machine montée au sommet du mât, elle regroupe tous les éléments mécanique permettant de coupler le rotor éolien ou générateur électrique et abritant les composants mécaniques et pneumatiques et certains composants électroniques nécessaires au fonctionnement de la machine. [3]

Le transport de l'électricité produite dans la nacelle jusqu'au sol est assuré par des câbles électriques descendant à l'intérieur du mât de l'éolienne. [3]

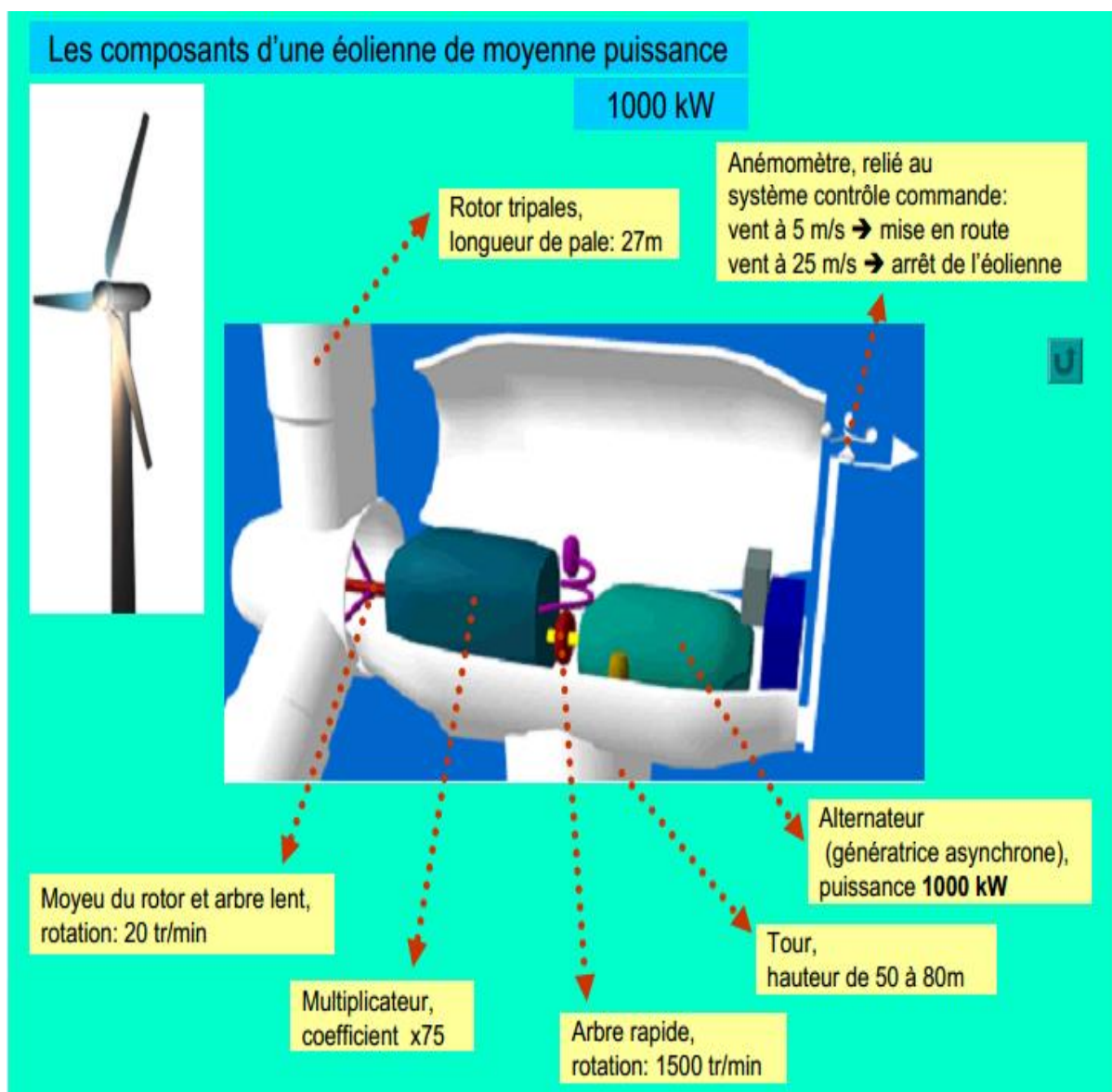


Figure.I.13 : Constitution d'une nacelle. [3]

Les différents composants d'une nacelle sont [8] :

- Le multiplicateur de vitesse : il sert à élever la vitesse de rotation entre l'arbre primaire et l'arbre secondaire qui entraîne la génératrice électrique.
- L'arbre secondaire comporte généralement un frein mécanique qui permet d'immobiliser le rotor au cours des opérations de maintenance et d'éviter l'emballement de la machine.
- La génératrice : c'est elle qui convertit l'énergie mécanique en énergie électrique.
- Un contrôleur électronique chargé de surveiller le fonctionnement de l'éolienne. Il s'agit en fait d'un ordinateur qui peut gérer le démarrage de la machine lorsque la vitesse du vent est suffisante (de l'ordre de 5 m/s), gérer le pas des pales, le freinage de la machine, l'orientation de l'ensemble « rotor plus nacelle » face au vent de manière à maximiser la récupération d'énergie. Pour mener à bien ces différentes tâches, le contrôleur utilise les données fournies par un anémomètre (vitesse du vent) et une girouette (direction du vent), habituellement situés à l'arrière de la nacelle. [8]

- Divers dispositifs de refroidissement (génératrice, multiplicateur) par ventilateurs, Radiateurs d'eau ou d'huile.

- Grâce à un système de supervision et contrôle d'une éolienne peut être arrêtée automatiquement et très rapidement en cas de nécessité. La sécurité du fonctionnement des éoliennes est ainsi assurée en continu.

- dans le cas des éoliennes produisant de l'électricité, un poste de livraison situé à

Proximité du parc éolien permet de relier ce parc au réseau électrique pour injecter

L'intégralité de l'énergie produite [8].

I.2.6. Types des turbines éoliennes :

Il existe deux principaux types d'éoliennes qui se différencient essentiellement dans leur organe capteur d'énergie à savoir l'aérogénérateur. On obtient une éolienne à axe vertical ou à axe

Horizontal. [7]

I.2.6.1.Éolienne à axe vertical :

Ils ont été les premières structures développées pour produire de l'électricité. De nombreuses variantes technologiques ont été testées dont seulement deux structures sont parvenues au stade de l'industrialisation, le rotor de Savonius et le rotor de Darrieux. [7]



a) Darrieux



b) Darrieux de type H



c) Savonius

Figure. I.14 : technologie éolienne à axe vertical. [7]

A nos jours, ce type d'éolienne est plutôt marginal et son utilisation est beaucoup moins répandue. Elles présentent des avantages et des inconvénients que nous pouvons citer comme suit. [7]

I.2.6.1.a. Avantages :

- La conception verticale offre l'avantage de mettre le multiplicateur, la génératrice et les Appareils de commande directement au sol.
- Son axe vertical possède une symétrie de révolution ce qui permet de fonctionner quel que soit la direction du vent sans avoir à orienter le rotor.
- Sa conception est simple, robuste et nécessite peu d'entretien. [7]

I.2.6.1.b. Inconvénient :

- Elles sont moins performantes que celles à axe horizontal.
- La conception verticale de ce type d'éolienne impose qu'elle fonctionne avec un vent Proche du sol, donc moins fort car freiné par le relief.
- Leur implantation au sol exige l'utilisation des tirants qui doivent passer au-dessus des Pales, donc occupe une surface plus importante que l'éolienne à tour. [7]

I.2.6.2. Eoliennes à axe horizontal :

Ce sont les éoliennes actuellement les plus répandues sans doute à cause de leurs avantages

Remarquables, elles comportent généralement des hélices à deux ou trois pales face ou sous le Vent. [7]

Les différentes technologies d'éolienne à axe horizontal :

- Moulin américain.
- Voilure bipale.
- Voilure tripale. [7]



a) Moulin American

b) Voilure bipale

c) Voilure tripale

Figure. I.15 : technologie éolienne à axe horizontale. [7]

I.2.6.2.a. Avantages :

- Une très faible emprise au sol par rapport aux éoliennes à axe vertical.
- Cette structure capte le vent en hauteur, donc plus fort et plus régulier qu'au voisinage du Sol.
- Le générateur et les appareils de commande sont dans la nacelle au sommet de la tour. [7]

I.2.6.2.b. Inconvénient :

- Coût de construction très élevé.
- L'appareillage se trouve au sommet de la tour ce qui gêne l'intervention en cas d'incident. [7]

Malgré ses inconvénients, cette structure est la plus utilisée de nos jours. Cependant, les

Structures à axe vertical son encore utilisé pour la production d'électricité dans les zones isolés.

Dans le reste de notre étude nous intéressons à la structure la plus répandue et la plus Efficace à savoir celle à axe horizontal et à trois pales. [7]

I.2.7.Principe et fonctionnement d'une éolienne :

Source d'énergie renouvelable et inépuisable, une centrale éolienne produit de l'électricité grâce à la force du vent, les centrales éoliennes peuvent être installées en terre (le Parc terrestre) ou en mer à plusieurs kilomètres au large des côtes. [9]

L'aérogénérateur ou l'éolienne est un dispositif qui transforme une partie de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique (au niveau de la turbine) puis en énergie électrique par l'intermédiaire d'une génératrice qui sera transmise au réseau électrique, ou L'aérogénérateur utilise l'énergie cinétique du vent pour entraîner l'arbre de son rotor : cette énergie cinétique est convertie en énergie mécanique qui est elle-même transformée en énergie électrique par une génératrice électromagnétique solidaire au rotor. L'électricité peut être envoyée dans le réseau de distribution, stockée dans des accumulateurs ou être utilisée par des charges isolées. [9]

La fabrication d'électricité par une éolienne est réalisée par la transformation de l'énergie cinétique du vent en énergie électrique. [9]

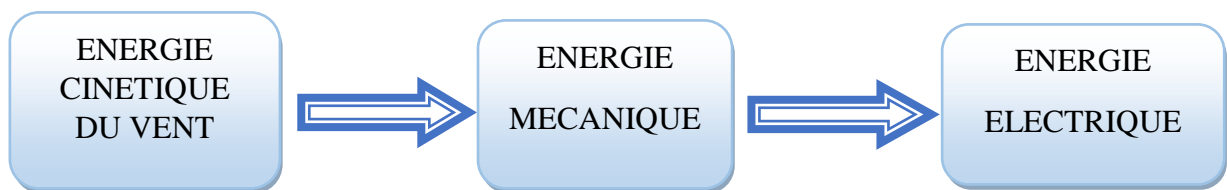


Figure. I.16 : Conversion de l'énergie cinétique du vent. [7]

Le vent étant une ressource non maîtrisable, il est difficile d'assurer une transmission régulière d'énergie. Cette transformation se fait au cours de différentes étapes, qui font appel à des technologies très diverses. [9]

I.2.7.1.La chaîne de transmission énergétique :

Une éolienne transforme l'énergie du vent en énergie électrique. Cette transformation se fait en plusieurs étapes : [10]

I.2.7.1.1.La transformation de l'énergie par les pales :

Les pales fonctionnent sur le principe d'une aile d'avion : la différence de pression entre les deux faces de la pale crée une force aérodynamique, mettent en mouvement le rotor par la transformation de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique. [10]

I.2.7.1.2.L'accélération du mouvement de rotation grâce au multiplicateur :

Les pales tournent à une vitesse relativement lente, de l'ordre de 5 à 15 tours par minute, d'autant plus lente que l'éolienne est grande. La plupart des générateurs ont besoin de tourner à très grande vitesse (de 1000 à 2000 tours par minute) pour produire de l'électricité. C'est pourquoi le mouvement lent du rotor est accéléré par un multiplicateur. Certains types d'éoliennes n'en sont pas équipés, leur générateur est alors beaucoup plus gros et beaucoup plus lourd. [10]

I.2.7.1.3.La production d'électricité par le générateur :

L'énergie mécanique transmise par le multiplicateur est transformée en énergie électrique par le générateur. Le rotor du générateur tourne à grande vitesse et produit de l'électricité à une tension d'environ 690 Volts. [10]

I.2.7.1.4.Le traitement de l'électricité par le convertisseur et le transformateur :

Cette électricité ne peut pas être utilisée directement ; elle est traitée grâce à un convertisseur, puis sa tension est élevée à 20000 Volts par un transformateur. L'électricité est alors acheminée à travers un câble enterré jusqu'à un poste de transformation, pour être injectée sur le réseau électrique, puis acheminée aux consommateurs les plus proches. [10]

I.2.8.Classification des turbines éoliennes :

Les solutions techniques permettant de recueillir l'énergie du vent sont très variées. Le Tableau.

Le tableau suivant représente une classification des turbines éoliennes : [8]

Echelle	Diamètre de l'échelle	Puissance de livre
Petite	Moins de 12m	Moins de 40 KW
Moyenne	12m à 45 m	De 40 KW à 1 MW
Grande	46 m et plus	1 MW et plus

Tableau I.1 : Classification des turbines éoliennes. [8]

Et donc pour choisir les raisons on va deux choses :

- Une grande éolienne.
- Une éolienne plus petite.

I.2.9. Avantages et inconvénients de l'énergie éolienne :

L'énergie éolienne a des avantages propres permettant sa croissance et son évolution entre les autres sources d'énergie, ce qui va lui donner un rôle important dans l'avenir à condition

D'éviter L'impact créé par ses inconvénients cités ci-après. [7]

I.2.9.1. Les avantages d'énergie éolienne :

L'énergie éolienne peut toutefois proposer une alternative intéressante et renouvelable. Elle s'inscrit parfaitement dans l'effort global de réductions des émissions de CO₂.

L'énergie éolienne est avant tout une énergie qui respecte l'environnement : [7]

- L'énergie éolienne, propre, fiable, économique, et écologique, c'est une énergie qui Respecte l'environnement.
- L'énergie éolienne est une énergie renouvelable propre, gratuit, et inépuisable.
- Chaque mégawatheure d'électricité produit par l'énergie éolienne aide à réduire de 0,8 à 0,9 tonne les émissions de CO₂ rejetées chaque année par la production

D'électricité d'origine thermique. [7]

- Parmi toutes les sources de production d'électricité, celle d'origine éolienne subit de Très loin le plus fort taux de croissance.
- L'énergie éolienne n'est pas non plus une énergie à risque comme l'énergie nucléaire Et ne produit pas de déchets toxiques ou radioactifs.

- Les parcs éoliens se démontent très facilement et ne laissent pas de trace. [7]
- C'est une source d'énergie locale qui répond aux besoins locaux en énergie.
- La durée de vie des éoliennes modernes est maintenant de 20 à 25 ans, ce qui est

Comparable à de nombreuses autres technologies de production d'énergie conventionnelle [7].

I.2.9.2. Les inconvénients d'énergie éolienne :

L'énergie éolienne possède aussi des désavantages qu'il faut citer :

- L'impact visuel, cela reste néanmoins un thème subjectif. [7]
- La source d'énergie éolienne étant stochastique, la puissance électrique produite par les Aérogénérateurs n'est pas constante. [7]
- La qualité de la puissance produite n'est donc pas Toujours très bonne. [7]
- La qualité de la puissance électrique : la source d'énergie éolienne étant stochastique, la Puissance électrique produite par les aérogénérateurs n'est pas constante. [7]

I.3. Origine de vent :**I.3.1. La source de vent :**

Entre les pôles et l'équateur, le Soleil réchauffe le globe terrestre de manière fort inégale. Les écarts de température qui en résultent provoquent des différences de densité des masses d'air qui se traduisent par des variations de pression atmosphérique. Dès lors se crée un vaste mouvement des masses d'air des zones à haute pression vers les zones à basse pression. [3]

C'est ce mouvement qui constitue le phénomène général des vents à la surface de la Planète. Mais la façon dont les vents s'orientent localement aux quatre coins de la planète obéit encore à d'autres lois très complexes de la dynamique des fluides, aux forces physiques résultant de la rotation de la Terre (force de "Coriolis"), à la présence des océans et des continents et de leurs reliefs respectifs. Ceci explique la très grande variété des vents dominants qui caractérisent les diverses régions et climats du globe, selon les latitudes et longitudes. [3]

I.3.2. Notions sur le vent :

Le vent est causée par le déplacement de la masse d'air qui est du indirectement à l'ensoleillement de la terre .par le réchauffement de certaines zones de la planète et le refroidissement d'autre parties ,une différence de pression est créée et les masse d'air sont en perpétuel déplacement .c'est pourquoi le vent est une grandeur stochastique , intermittente qui dépend d'un ensemble de facteurs tels que la situation géographique ,l'altitude ,la température et la hauteur de captage . [3]

Le vent est donc une masse d'air en mouvement qui transforme l'énergie thermique que cette masse a retiré du rayonnement solaire en énergie cinétique. Deux paramètres essentiels caractérisent donc le vent :

- Le premier, déterminant quant à la quantité d'énergie qu'il est susceptible de fournir, c'est sa vitesse. [3]
- le second, c'est la direction de son déplacement. [3]

I.3.3. Répartition régionale de la vitesse du vent :

Pour implanter une éolienne il faut choisir un site où la vitesse du vent fournirait l'énergie nécessaire ; nous devons donc faire des mesures de la vitesse du vent dans plusieurs sites. La (Fig.III.1) montre un exemple des régions ventées en Algérie d'après les données satellitaires du Laboratoire d'« Energie Eolienne ». [3]

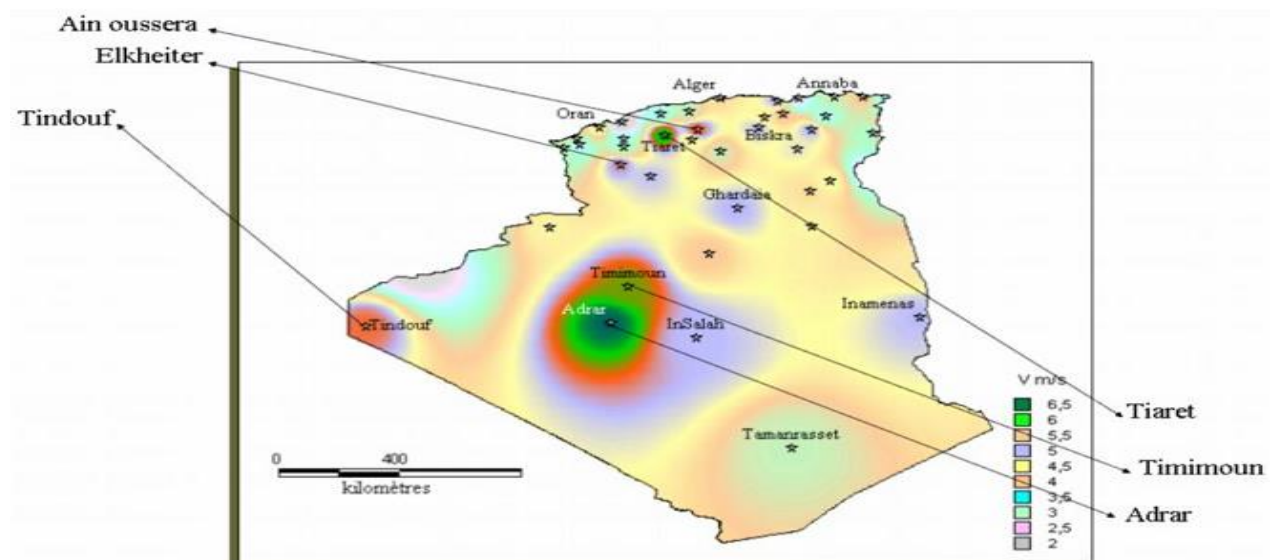


Figure. I.17 : Les régions ventées en Algérie. [3]

I.3.4. Les conditions Pour définir les caractéristiques d'un site éolien :

I.3.4.1. Influence de la hauteur :

Pour définir les caractéristiques d'un site éolien, il est impératif de connaître la hauteur sur laquelle les mesures sont prises et ensuite adapter les résultats à la hauteur de mat de l'éolienne. En effet, la vitesse du vent V augmente selon la hauteur h . [3]

Le tableau ci-dessous vent orographique » (vent existant au niveau d'une région indépendamment des effets de rugosité). [3]

Donne un exemple de l'évolution du vent en fonction de la hauteur dans une région ventée par un « vent orographique » (vent existant au niveau d'une région indépendamment des effets de rugosité). [3]

Hauteur	Vitesse moyen estimée
90 m (vent orographique)	6,8m/s
80m	6,5m/s
70m	6,3m/s
60m	6,0m/s
50m	5,7m/s
40m	5,3m/s
30m	4,9m/s
20m	4,3m/s
10m	3,5m/s

Tableau I.2 : exemple d'évolution du vent en fonction de la hauteur. [3]

I.3.4.2. La densité de l'air et la vitesse du vent :

La capacité de production d'une éolienne se caractérise par sa courbe de puissance. Celle-ci fournit sa capacité de production (puissance en Watt) en fonction de sa vitesse de vent moyenne au niveau du moyeu (Fig.I.18). Cette courbe de puissance dépend de la température moyenne annuelle du site, de l'altitude du site : la condition standard dans lesquelles elle est fournie avec une température moyenne de 15°C et une altitude de 0 m au-dessus de la mer. Dès lors l'énergie produite est l'intégration sur le temps de la courbe de puissance de l'éolienne. Cela s'exprime en fonction de la courbe de puissance P d'une éolienne et de la distribution V de vitesse par : [3]

$$E = P(V(t))dt \quad \text{en KW/an} \quad (1.1)$$

L'atlas de la puissance énergétique récupérable à 50 m en Algérie est donné dans la figure ci-dessous : [3]

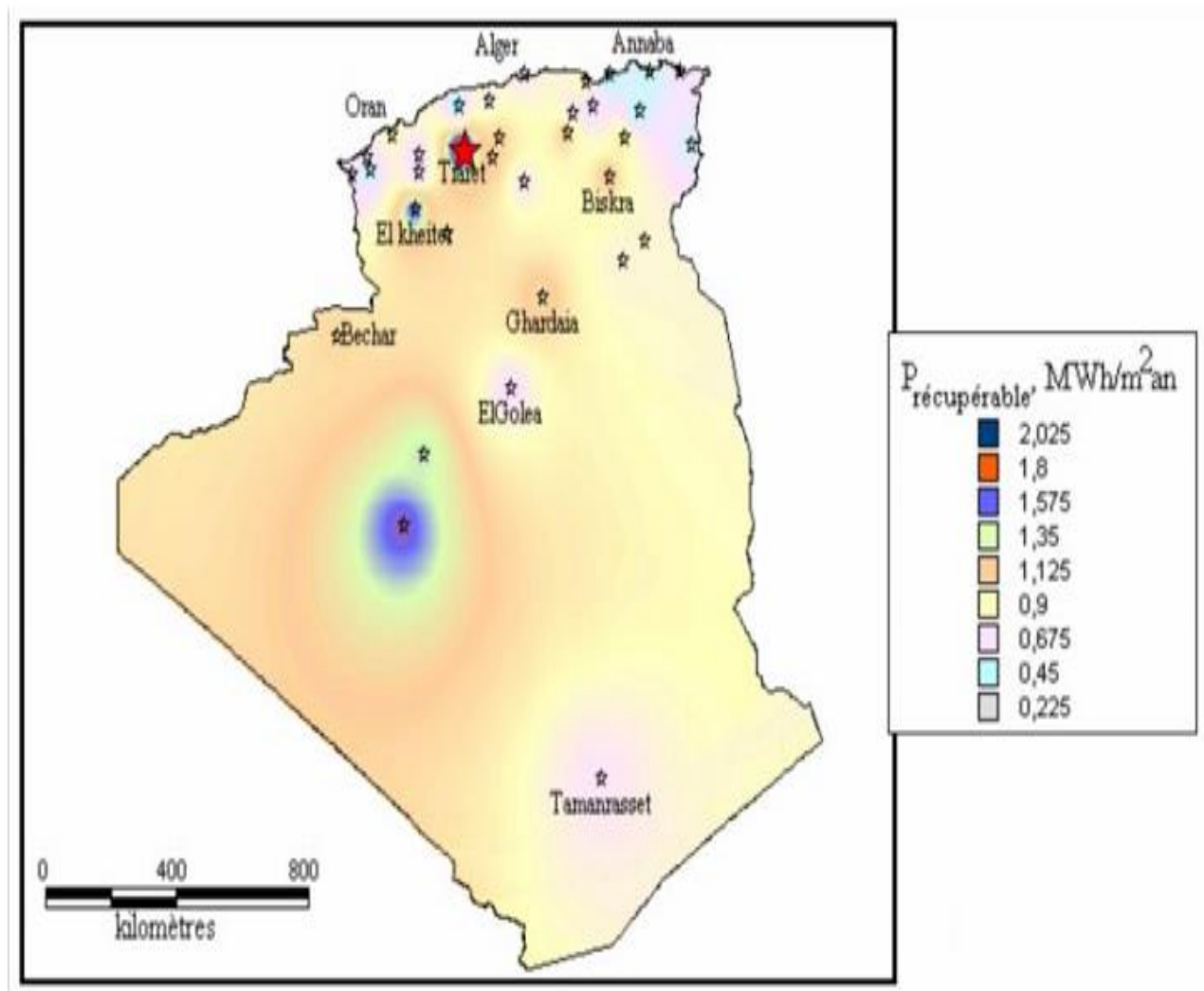


Figure.I.18 : Puissance énergétique récupérable à 50 m Algérie. [3]

I.3.5. Méthode de calcul la puissance fournie par l'éolienne :

La puissance fournie par l'éolienne est l'énergie cinétique du vent récupérée par seconde au travers de sa surface. La formule ci-dessous permet d'évaluer cette puissance : [11]

$$Puissance = 0.5 * m_{air} * V^2 = 0.5 * \rho * S * V^3 \quad (1.2)$$

Dans cette équation, V est la vitesse du vent (m/s) et m_{aire} représente la masse d'air qui passe au travers des pales de l'éolienne par seconde (kg/s). Cette équation correspond donc à la récupération de l'énergie cinétique du vent de vitesse V (m/s) et de masse volumique ρ (kg/m³), passant au travers d'une éolienne de section S (m²). [11]

La vitesse du vent augmente avec la hauteur par rapport au sol. Le profil de vitesse en fonction de la hauteur varie selon la nature du sol, c'est-à-dire sa rugosité, ou sa capacité à freiner l'écoulement du fluide. [11]

Plus le vent est capturé à une hauteur élevée, plus il possède une vitesse importante, moins influencée par la surface du sol.

La puissance du vent telle que calculée ci-dessus doit cependant être minorée par plusieurs facteurs, pour tenir compte des rendements propres aux trois étapes de la conversion de l'énergie cinétique en électricité, énoncées plus haut. [11]

- Le rendement aérodynamique du rotor (conversion de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique). [11]
- Le rendement d'accouplement mécanique de la transmission (transmission de l'énergie mécanique au générateur). [11]
- Le rendement électrique du générateur (conversion de l'énergie mécanique en Électricité). [11]

I.4. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présentés les différents types d'énergies renouvelables, une description de l'énergie éolienne et leur principe de fonctionnement d'une manière générale ainsi que les différentes structures ; les exemples d'architectures d'éoliennes (à axe horizontal, vertical) un rappel des notions élémentaires nécessaires à la compréhension de la chaîne de conversion de l'énergie cinétique du vent en énergie électrique.

De plus ce chapitre présente quelque notion de l'origine de vent et les méthodes de calcul de puissance fournie par une éolienne.

Chapitre II

Techniques de Réduction de la
Dimension et de Régression

II.1.Introduction :

Ce deuxième chapitre est composé de trois parties en premier lieu nous avons donné une présentation et l'explication de la méthode l'Analyse Discriminante Linéaire (LDA), par la suite on va donner les points essentielles et de base pour la technique de régression et dans la dernière partie nous donnons une bref explication sur le Processus Gaussien (PG) qui est utilisé comme un outil de régression et à la fin on terminera par une conclusion

II.2. C'est quoi la Réduction de la dimension :

Les techniques linéaires de réduction de dimension permettent de transformer les données originales dans un espace de dimension plus réduite de telle manière que la nouvelle représentation de chaque donnée soit une combinaison linéaire des données originales.

$$Y_i = w_{1,i} * x_1 + w_{2,i} * x_2 + \dots + w_{d,i} * x_d (2.1)$$

$$Y = W * X (2.2)$$

Où W est la matrice de transformation linéaire de dimension $p \times d$.

La dimension du nouvel espace de représentation des données peut être choisie à posteriori. [12]

La réduction de dimension a pour objectif de :

- Produire des espaces de représentation de données de faible dimension tout en préservant la structure du voisinage de la variété initiale.
- Faciliter la visualisation et la compréhension, en identifiant les facteurs pertinents.
- Réduire le temps d'apprentissage.
- Réduire l'espace nécessaire de stockage des données.

II.3. Méthode de réduction de dimension :

Les méthodes de réduction de dimension sont largement utilisées dans de nombreuses

Applications comme la reconnaissance des formes, l'analyse des données et dans les machines d'apprentissage. Des approches linéaires de réduction de dimension peuvent être utilisées pour l'analyse des certaines variétés de type linéaire. [12]

Parmi ces méthodes on peut citer l'Analyse en Composantes Principales (ACP), le Positionnement Multidimensionnel (MDS), l'Analyse Discriminante de Fisher (ADF), ainsi que d'autres. [12]

Dans le domaine de traitement et d'analyse de données, les variétés non linéaires constituent la majorité des problèmes à traiter. L'aspect non linéaire constitue un obstacle limitant les capacités des méthodes linéaires. Pour lutter contre le problème du non linéarité des variétés, des extensions non linéaires des techniques citées au-dessus ont été proposées, telles que la méthode à noyau de l'analyse Composantes Principales (KACP), ainsi que La méthode à noyau de l'Analyse Discriminante de Fisher (KADF). [12]

En plus, plusieurs méthodes non linéaires ont été proposées pour résoudre le problème de la réduction de dimension dans le cas des variétés non linéaires telles qu'ISOMAP, LLE. [12]

II.4. Catégorisation de la réduction de dimension :

Les techniques de réduction de dimension sont divisées en deux catégories :

- a) **Sélection d'attributs** : C'est une sélection des variables significatives et pertinentes des données et une élimination des variables moins significatives, qui n'agissent pas sur la topologie de l'espace de données, Figure (II.1.a). [12]

Cette méthode est efficace s'il y a des dimensions qui apportent peu d'informations sur le problème ou si les variables sont fortement corrélées. La complexité de cette méthode apparaît si toutes les variables ont même degré de signification. [12]

- b) **Extraction d'attributs** : C'est une extraction des variables par transformation de l'espace original de données en un espace plus réduit, Figure (II.1.b). [12]

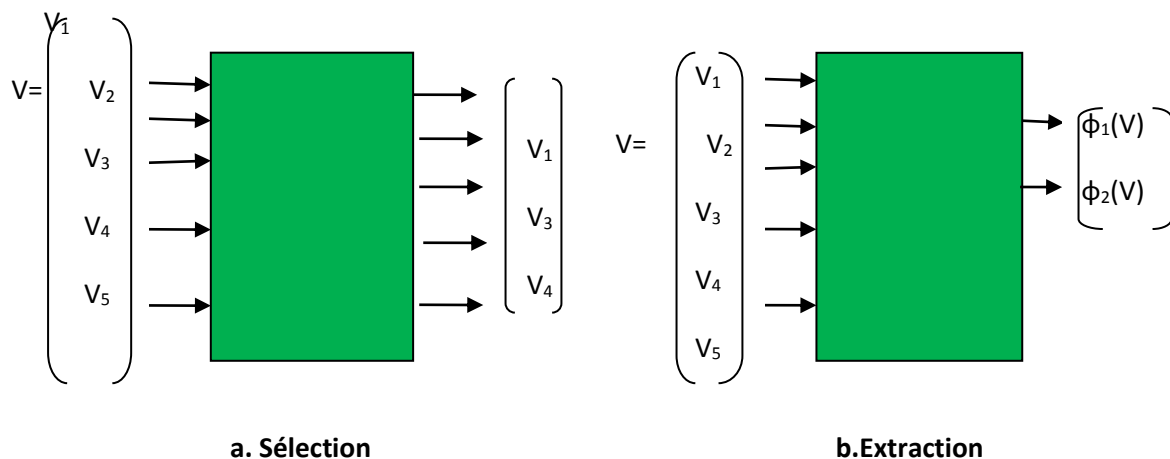


Figure II.1. a : Principe de la sélection des variables. **b** : Principe de l'extraction des Caractéristiques. [12]

La différence majeure entre les deux types de réduction réside dans le fait que le premier type n'utilise pas toutes les variables de données ; Au contraire, elles sont toutes utilisées dans le second type.

Dans ce chapitre, nous focalisons sur la technique de réduction de dimension LDA. Le changement d'espace de représentation de données est la base de différentes techniques de réduction de dimension.

Avec cette méthode, un nouvel ensemble de données à faible dimension est construit à travers les vecteurs d'origine dans l'espace initial plus dimensionnel. Donc il s'agit d'une transformation linéaire ou non linéaire des variables initiales, étiquetées ou non, d'un espace assez dimensionnel vers un autre espace moins dimensionnel. [12]

II.5. L'analyse discriminante linéaire (LDA) :

II.5.1. Définition :

LDA est une méthode d'analyse numérique qui permet de chercher la combinaison linéaire des variables qui représentent au mieux les données, elle est très utilisée dans le domaine de la reconnaissance des formes à savoir la reconnaissance de visage. Elle permet de maximiser l'éparpillement inter-classes (the between-class scatter) et de réduire l'éparpillement intra-classes (the within-class scatter).

Contrairement à l'algorithme PCA, l'algorithme **LDA** effectue une véritable de séparation de classes. [14]. L'Analyse Discriminante Linéaire(LDA) est utilisée pour trouver la combinaison linéaire des caractéristiques qui séparent le mieux les classes d'objet ou d'événement. [13]

Les combinaisons résultantes peuvent être employées comme classificateur linéaire, ou généralement dans la réduction de caractéristiques avant la classification postérieure. [13]

LDA est étroitement lié à l'ACP, du fait que tous les deux recherchent les combinaisons linéaires des variables qui représentent au mieux les données. Elle essaie explicitement de modéliser la différence entre les classes de données contrairement à l'ACP qui ne tient pas compte des différences entre les classes. [13]

LDA est une technique qui cherche les directions qui sont efficaces pour la discrimination entre les données. [13]

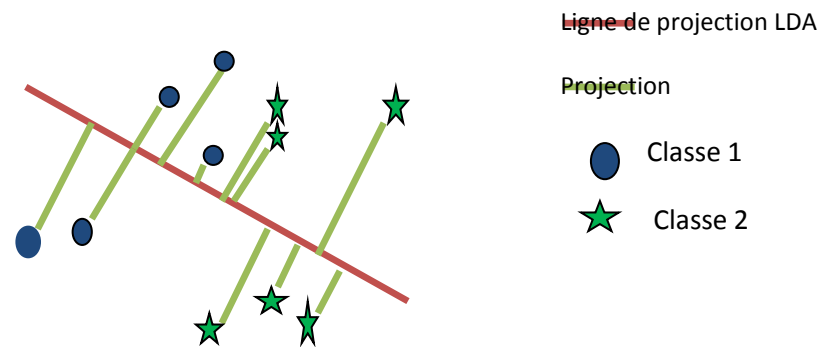


Figure II.2 : Projection par LDA avec séparation entre les classes. [13]

II.5.2. Principe :

L'idée est de trouver une projection des échantillons, sur une droite qui sépare le mieux possible les classes. Le critère de séparation est exprimé par la maximisation du rapport des variances inter classes et intra classes dans cette projection. Autrement dit, la distribution de données d'une même classe devrait être compacte, ce qui reviendrait à minimiser la dispersion autour de la moyenne, ainsi qu'à la maximiser entre les classes. [19]

II.5.3. Un historique sur le LDA :

L'analyse discriminante linéaire (**LDA**, Fisher, 1936, aussi Mclachlan, 2004) cherche, pour un problème de classification binaire, la projection linéaire unidimensionnelle qui sépare le mieux les deux classes. L'algorithme peut être adapté pour un problème de classification à c classes de manière à obtenir une projection dans un espace à $c - 1$ dimensions (Bishop, 2006). Comme dans la **KPCA** (section 3.2.1), la **LDA** peut aussi être transformée en un algorithme non linéaire en utilisant l'astuce du noyau (Baudat and Anouar, 2000). Sugiyama (2007) propose également une variante de **LDA** inspirée des **LPP** qui (i) permet de mieux gérer le cas où les classes sont multimodales, et (ii) autorise une projection des données dans un nombre arbitraire de dimensions (non limité par le nombre de classes c). [20]

De ce fait, l'Analyse Discriminante Linéaire (**LDA** en anglais) est apparue (Fisher 1936), cette technique essaye de trouver la projection (la combinaison linéaire des variables explicatives observées sur les individus) qui maximise les variations interclasses et minimise les variations intra classe, donc c'est séparé les classes entre elles et regrouper les individus de la même classe, ce qui nous garantit une meilleure discrimination. [20]

II.5.4. Discriminante linéaire de Fisher (ADF) :

L'analyse discriminante des données a deux formes :

a. La méthode décisionnelle : C'est une interprétation bayésienne qui permet de construire un classificateur bayésien dans des conditions particulières pour les données. C'est une analyse discriminante décisionnelle, linéaire ou quadratique. Elle tend à affecter des nouveaux dévidés décrits par des variables explicatives à des classes prédéfinies. Il s'agit d'une approche paramétrique. [12]

b. La méthode factorielle : Cette méthode tend à chercher parmi tous les axes des composantes principales trouvés par la méthode ACP ceux qui peuvent mieux discriminer les classes des données. On l'appelle Analyse Discriminante Factorielle ou Analyse Discriminante Linéaire de Fisher. Dans la thèse, on va se focaliser sur cette méthode

Factorielle. [12]

En résumé, la technique ADL est étroitement liée à ACP, toutes les deux recherchent des combinaisons linéaires des variables. En outre, ADL essaye de réaliser une meilleure séparation des classes après projection et ACP, quant à lui, ne tient pas compte des différences entre les classes. [12]

II.5.5. Taux d'erreur :

Le taux d'erreur ou taux de mauvais classement est tout simplement le nombre de mauvais classement, lorsque la prédiction ne coïncide pas avec la vraie valeur, rapporté à l'effectif du fichier de données. [8]

Le taux d'erreur a de séduisant qu'il est d'interprétation aisée, il s'agit d'un estimateur de la Probabilité de se tromper si l'on applique la fonction de classement dans la population. [8]

Le taux d'erreur mesurée sur les données qui ont servi à construire la fonction de classement. [8]

Tout simplement parce que les données sont juges et parties dans ce schéma. La bonne procédure serait de construire la fonction de classement sur une fraction des données, dites d'apprentissage ; puis de l'évaluer sur une autre fraction de données, dite de test. Le taux d'erreur en test ainsi mesuré est un indicateur digne de foi. [8]

Le taux d'erreur permet d'évaluer et de comparer des méthodes, quelles que soient leurs hypothèses sous-jacentes. Dans le cas de l'analyse discriminante linéaire, nous pouvons exploiter le modèle probabiliste pour réaliser des tests hypothèses. [8]

II.5.6. Les avantages et inconvénients :

Parmi les avantages engendrés par une utilisation de la méthode LDA, nous citons les points suivants :

- LDA maximise l'éparpillement inter-classes.
- Réduit l'éparpillement intra-classes.
- La méthode de Fisher faces résout le problème de la robustesse face aux variations de pose, et d'expressions faciales. [8]

Malgré ces avantages, dans la littérature un ensemble de points négatives existe encore comme :

- Couteuse en temps de calcul.
- Couteuse en espace mémoire.
- Rend de mauvais résultats quand le nombre d'images d'apprentissage est grand. [8]

II.6. Définition de régression :

La régression est un ensemble des méthodes employée pour décrire la liaison entre des variables. Les outils statistiques utilisés en analyse de régression permettent d'établir un modèle mathématique de la relation entre les variables et de quantifier l'incertitude associée à la relation qui en résulte. L'objectif le plus fréquent et le plus général est de prédire la valeur d'une certaine variable dite dépendante, connaissant la valeur d'une Variable qui lui est associée, et que nomme généralement variable indépendante ou explicative. [15]

L'équation de la liaison entre deux variables peut prendre des formes diverses. La fonction sera linéaire ou parabolique, hyperbolique, exponentielle,... etc. De tous les modèles possibles, le modèle linéaire est le plus utilisé. D'une part parce qu'il est simple et qu'il constitue très souvent une approximation satisfaisante de la relation qui existe entre les variable et, D'autre part parce qu'il est souvent possible de ramener une relation non-linéaire à une relation linéaire par transformation des variables. [15]

Si la relation entre les variables semble linéaire et que d'autre part elle met en relation deux seules variables, la régression sera dite linéaire simple. L'équation générale est

$$Y = a + bx \quad (2.3)$$

Avec :

- y : Variable dépendante.
- x : Variable indépendante.
- a : Ordonnée à l'origine de la droite.
- b : Pente de la droite.

II.6.1 Historique sur la régression :

Ruđer Josip Bošković est le premier scientifique à calculer les coefficients de régression linéaire, en 1755-1757, quand il entreprit de mesurer la longueur de cinq méridiens terrestres en minimisant la somme des valeurs absolues. Pierre-Simon de Laplace utilise cette méthode pour mesurer les méridiens dans « Sur les degrés mesurés des méridiens et sur les longueurs observées sur pendule » en 1789. La première utilisation de la méthode des moindres carrés est attribuée à Adrien-Marie Legendre en 1805 ou à Carl Friedrich Gauss qui dit l'avoir utilisée à partir de 1795. [8]

Carl Friedrich Gauss démontre, en 1821, le théorème connu aujourd'hui sous le nom de théorème de Gauss-Markov qui exprime sous certaines conditions la qualité des estimateurs, Andrei Markov le redécouvre en 1900. [8]

C'est à Francis Galton qu'est accordée la paternité de l'expression « régression linéaire » en 1886. Dans son article, Galton exprime la taille des fils en fonction de la taille des pères. Il constate un phénomène de « régression vers la moyenne ». [8]

Plus tard la colinéarité des variables explicatives est devenue un sujet de recherche important. En 1970, Arthur E. Hoerl et Robert W. Kennard proposent la régression pseudo-orthogonale (Ridge Régression), une des méthodes d'estimation conçues pour pallier la présence de colinéarité de certaines variables explicatives en imposant des contraintes sur les coefficients.[8]

II.6.2 Principaux type de régression :

Le but principal de la régression est de prédire ou d'expliquer une variable dépendante à partir d'une ou de plusieurs variables indépendantes. Examinons sommairement chaque type de régression et les conditions de leur application. Le tableau II.1 présente les différents types de régression et la relation pour chacun de ces types. [16]

Régression simple	$(A \rightarrow X)$
Régression multiple	$(A+B+C \rightarrow X)$
Régression par étape	$(A \rightarrow X, A+C \rightarrow X, A+B+C \rightarrow X)$
Régression par entrée forcée	$(A+D \rightarrow X)$
Régression polynomiale	$(A+A^2+A^3 \rightarrow X)$
Régression logistique	$(A+B+C \rightarrow O \text{ ou } N)$
Corrélation canonique	$(A+C+B \rightarrow X+Y+Z)$

Tableau II.1 : Type de régression et modèles et la relation entre les variables. [16]

a. La régression simple :

Établit la relation entre deux variables. Généralement, ce sont des variables continues (sauf pour la régression logistique, la variable dépendante sera toujours Une variable continue quand on utilisera la régression). [16]

b. La régression multiple :

Applique le même modèle que la régression simple, mais elle permet en plus d'établir la relation entre plusieurs variables indépendantes et une variable dépendante. [16]

c. La régression par étapes :

Consiste, dans une première étape, à choisir parmi les variables indépendantes la meilleure variable pour prédire la variable dépendante, puis dans une seconde étape, à choisir la deuxième meilleure variable pronostique et ce, en tenant compte de la première. Le processus se répète jusqu'à ce qu'on trouve des variables ayant une relation significative avec la variable dépendante. [16]

d. La régression à entrées forcées :

Est très semblable à la régression par étapes, mais elle permet de forcer l'entrée d'une variable en premier et ce, quel que soit son niveau de signification. Cette technique est utile lorsqu'on a une variable indépendante principale assignée par le cadre théorique. [16]

e. La régression polynomiale :

Vise à analyser si la relation entre deux variables est linéaire ou si la relation est de type exponentiel : quadratique, cubique, quartique ou autre. Par exemple, j'ai observé que pour la relation entre les notes au secondaire et au collégial, la relation est quadratique, c'est à - dire qu'en mettant la note du secondaire au carré, ce score explique mieux la relation entre le secondaire et le collégial : si un élève est fort au secondaire, il le sera encore plus au collégial. [16]

f. La régression logistique :

Est assez différente des autres types de régression. Dans ce cas, on a une variable dépendante non continue. Elle est donc nominale ou ordinale. Elle peut être dichotomique ou dichotomique, ou même posséder quatre niveaux et plus. [16]

II.6.3 Application de régression :

Comme les autres modèles de régression, le modèle de régression linéaire est aussi bien utilisé pour chercher à prédire un phénomène que pour chercher à l'expliquer. [8]

Après avoir estimé un modèle de régression linéaire, on peut prédire quel serait le niveau de pour des valeurs particulières de. Il permet également d'estimer l'effet d'une ou plusieurs variables sur une autre en contrôlant par un ensemble de facteurs. Par exemple, dans le domaine des sciences de l'éducation, on peut évaluer l'effet de la taille des classes sur les performances scolaires des enfants en contrôlant par la catégorie socio-professionnelle des parents ou par l'emplacement géographique de l'établissement. [8]

Sous certaines hypothèses restrictives, cet effet peut être considéré comme un effet causal. [8]

En apprentissage statistique, la méthode de régression linéaire est considérée comme une méthode d'apprentissage supervisé utilisée pour prédire une variable quantitative.

Dans cette perspective, on entraîne généralement le modèle sur un échantillon d'apprentissage et on teste ensuite les performances prédictives du modèle sur un échantillon de test. [8]

II.7. Processus Gaussien (GP) :

Les processus Gaussiens sont prisent comme une distribution de probabilité sur un espace de fonctions pour des fins d'apprentissages supervisés. L'utilisation des processus Gaussiens permet d'atteindre des performances équivalentes à celles de l'état de l'art en matière d'apprentissage de modèles non-linéaires. Le fait d'utiliser les processus Gaussiens comme méthode d'apprentissage non-paramétrique permet une grande flexibilité lors de la modélisation des données d'entraînement. En

contrepartie, la complexité $O(n^3)$ qu'impliquent les calculs matriciels sous-tendant une telle méthode les rend impraticable pour des problèmes de grande taille. Bien que les processus Gaussiens soient applicables autant pour la classification que pour la régression, seule la partie portant sur la régression est couverte dans ce chapitre. [21]

Les processus gaussiens GP ont été utilisés avec succès pour la régression et la classification des tâches. Les modèles GP standard utilisent une covariance stationnaire, dans laquelle la covariance entre deux points quelconques est une fonction de la distance euclidienne. Cependant, les généralistes stationnaires ne parviennent pas à s'adapter au lissage variable de la fonction d'intérêt. [17]

Ceci est particulièrement important dans données géophysiques et autres, dans lesquelles la connaissance du domaine suggère que la fonction peut varier plus rapidement dans certaines parties de l'espace d'entrée que dans d'autres. [17]

II.7.1.Définition :

Un processus stochastique $(X_t)_{t \in T}$ (où T est un ensemble arbitraire) est dit gaussien si et seulement si tout vecteur aléatoire fini $(X_{t_1}, \dots, X_{t_n})$ extrait de X (càd $t_1, \dots, t_n \in T$) est un vecteur gaussien.

Nous savons que la loi d'un vecteur aléatoire gaussien est caractérisée par sa moyenne et sa matrice de covariance. [18]

II.7.2.Historique de processus gaussiens :

Contrairement à ce que l'on pourrait imaginer, l'étude des processus Gaussiens en contexte de régression n'est pas récente. En 1880, l'astronome T.N. Thiele les utilisait pour faire l'analyse de séries temporelles [Lauritzen, 1981]. Dans les années 1940, Wiener et Kolmogorov ont indépendamment introduit des méthodes de prédiction de trajectoire utilisant des filtres de bruits Gaussiens [Kolmogoroff, 1941 ; Wiener, 1949]. Plus récemment, une approche issue du domaine de la géostatistique, appelée Kriging, a été proposée par Matheron [1963]. Cette approche est similaire à la régression par processus Gaussien traitée dans ce chapitre. Au cours des décennies suivantes, la méthode en question a considérablement évolué au sein de la géostatistique et de la météorologie, mais en ignorant en grande partie l'interprétation probabiliste du modèle [Cressie, 1993]. [21]

C'est dans le domaine des statistiques qu'est apparue une formulation générale applicable aux problèmes de régression [O'Hagan, 1978]. En ce qui concerne le domaine de l'apprentissage automatique, l'utilisation des processus Gaussiens fût initialement décrite par Williams et Rasmussen [Williams et Rasmussen, 1996]. L'introduction s'est faite à une époque où les réseaux de neurones

artificiels étaient en vogue dans le domaine. L'inspiration de Williams et Rasmussen est essentiellement venue suite au résultat qu'un processus Gaussien est équivalent à un traitement Bayésien d'une certaine classe de réseaux de neurones lorsque le réseau devient infiniment grand [Neal, 1996]. Plus récemment, des relations ont été démontrées entre les processus Gaussiens et certaines méthodes telles que les Machines à Vecteur de Support, les splines, les Machines à Vecteur d'Importance ainsi qu'avec la théorie de la régularisation. [21]

II.7.3. Processus Gaussien pour Régression :

Considérons un ensemble d'entrées fini $X = \{x_1, \dots, x_m\}$. Dans la régression de processus gaussienne, nous supposons que pour tout ensemble de ce type, il existe une matrice de covariance K avec les éléments $K_{ij} = k(X_i, X_j)$. Nous supposons que pour chaque entrée x il y a une sortie correspondante $y(x)$, et que ces sorties sont générées par:

$$y(x) = t(x) + \varepsilon \quad (2.10)$$

Où $t(x)$ et ε sont tous les deux des variables aléatoires normales, avec

$$\varepsilon \sim N(0, \sigma^2) \quad \text{et} \quad t = (t(x_1), \dots, t(x_m))^T \sim N(0, K) \quad \varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$$

Nous pouvons utiliser le théorème de Bayes pour déterminer la distribution de la sortie $y(x)$ à une (nouvelle) entrée x . Conditionnée sur les données (X, y) , la sortie $y(x)$ est normalement distribuée. Il s'ensuit que la moyenne de cette distribution est l'estimation de la probabilité a posteriori maximale de y .

Nous sommes intéressés à estimer cette moyenne, ainsi que la variance. Il est possible de donner une représentation paramétrique équivalente de y qui soit plus pratique pour nos besoins. On peut supposer que le vecteur $Y = (y(x_1), \dots, y(x_m))^T$ des sorties est généré par :

$$y = K\alpha + \varepsilon \quad (2.11)$$

Où $\alpha \sim N(0, K^{-1})$ et $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2 1)$. Par conséquent, la probabilité postérieure $p(\alpha : y, X)$ sur les variables latentes α est proportionnelle à :

$$\exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2} \|y - K\alpha\|^2\right) \exp\left(-\frac{1}{2} \alpha^T K \alpha\right) \quad (2.12)$$

Et l'espérance conditionnelle de $y(x)$ pour un (nouvel) emplacement X est $E[y(x) : y, X] = k^T \alpha_{\text{opt}}$

où k^T désigne le vecteur $(k(x_1, x), \dots, k(x_m, x))$ et α_{opt} est la valeur de α qui maximise (2.13).

Ainsi, il suffit de calculer α_{opt} avant que des prédictions soient nécessaires. Le problème du choix de l'estimation MAP de α est équivalent au problème de la minimisation du log-postérieur négatif,

$$\begin{aligned} & \text{minimize} \left[-y^T K \alpha + \frac{1}{2} \alpha^T (\sigma^2 K + K^T K) \alpha \right] \quad (2.13) \\ & \alpha \in \mathbb{R}^m \end{aligned}$$

En ignorant les termes constants et en redimensionnant par (2.11). Il est facile de montrer que la moyenne de la distribution conditionnelle de $y(x)$ est $K^T(K + \sigma^2 1)^{-1}y$ et que sa variance est $k(x, x) + \sigma^2 - k^T(K + \sigma^2 1)^{-1}k$. Comme exemple voir la référence [24]

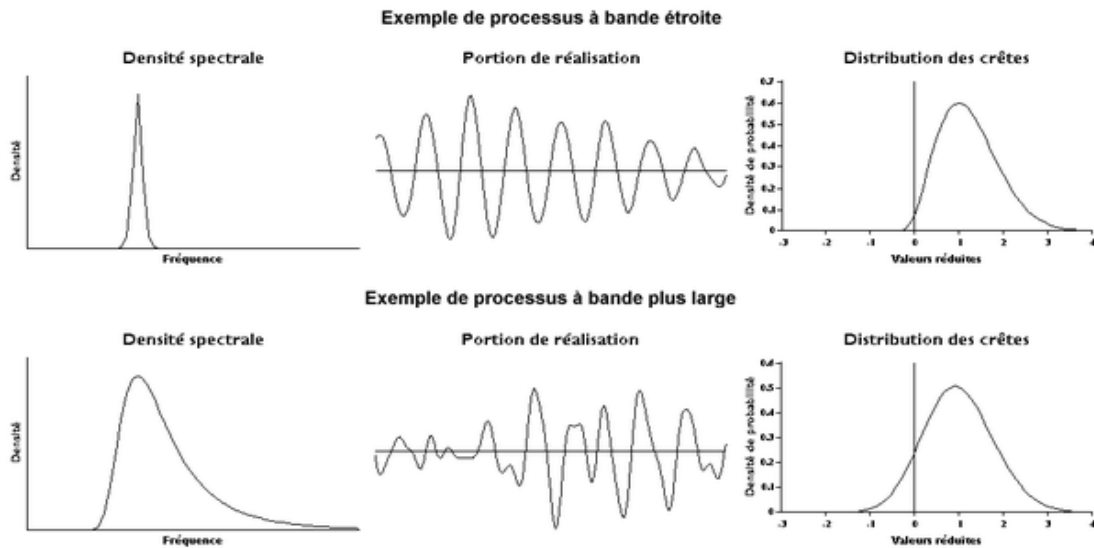


Figure II.3 : Exemple pour Processus gaussien.

II.8. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons essayé de donner en bref une description sur la technique de réduction de la dimension, ensuite nous avons présenté la méthode que nous allons utiliser qui est l'Analyse Discriminante Linéaire(LDA) en suite nous avons expliquées les notions fondements, historique, et son utilisation avec une exposition de quelques avantages et inconvénients de cette méthode.

Ainsi que, nous avons parlé de la technique de régression et d'autre part nous avons présenté la méthode de Processus Gaussienne (GP) que nous l'avons utilisé comme un outil de régression afin de prédire la valeur future de la vitesse du vent.

Chapitr III

Résultats et Discussions

III.1.Introduction :

Au cours de ce chapitre, qui est le fruit de notre travail on s'intéresse aux résultats de simulation obtenus à l'aide du logiciel MATLAB sur les bases de données que nous avons. Nous illustrons l'intérêt de la technique que nous avons proposés pour la prédiction du vent.

Les travaux de ce mémoire consistent à étudier les méthodes de la prédiction de la vitesse du vent, en utilisant la technique de réduction de la dimension LDA (Analyse Discriminante Linéaire) et la technique de Prédiction GP (Processus Gaussien), et pour évaluer notre technique proposée nous avons choisi comme critères: la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne (RMSE), moyenne de pourcentage absolue (MAPE), le Biais moyen absolue (MABE) et le Coefficient de détermination (R^2).

III.2 Présentation de la base de données :

Pour faire la prédiction de la vitesse du vent Nous avons pris deux bases de données pour deux sites au Etats-Unis à partir du site web du laboratoire national des énergies renouvelables d'Etats-Unis « NREL » (National Renewable Energy Laboratory).

III.3. Caractéristiques des sites :

Le premier site se situe dans l'état de Colorado (est un état de l'Ouest des Etats- Unis), les Coordonnées du site sont ($41^{\circ} 6' ''$ N, $72^{\circ} ''$ W).

Le deuxième site se situe dans l'état de Connecticut (est un état du Nord-est des États Unis), les coordonnées du site sont ($39^{\circ} ''$ N, $105^{\circ} ''$ W).

Les tableaux III.1 et III.2 présentent les **coordonnées géographiques** de chaque site nombres d'exemple pour chaque série temporelle dans l'année 2006.

Site	Latitude	Longitude	Altitude	Nombre d'Exemple
Colorado	37.39	-102.52	1299	52000

Tableau III.1 : Caractéristiques du site Colorado.

Site	Latitude	Longitude	Altitude	Nombre d'Exemple
Connecticut	42.03	-73.46	562	52000

Tableau III.2 : Caractéristiques du site Connecticut.

III.4. Application de la technique GP et la technique LDA avec GP :

Il existe plusieurs types de régression, dont chacun a des avantages et des inconvénients. pour notre cas nous avons choisi la méthode Processus Gaussien(GP). et par la suite on va utiliser une méthode de la réduction de dimension qui est L'Analyse Discriminante Linéaire (LDA) cette pour minimiser notre dimension ou limité des variables d'entrées.

III.4.1. Critère d'évaluation du système proposé

Pour évaluer notre système de prédiction de la vitesse du vent nous avons choisis les erreurs suivantes. (RMSE), (MAPE) et (MABE) et le coefficient de corrélation (R^2).

Racine Carrée de l'Erreur Quadratique Moyenne RMSE :

L'erreur quadratique moyenne RMSE est utilisée pour comparer la déviation actuelle entre les valeurs prédits et les valeurs mesurées. Elle est donnée par l'équation suivante : [23]

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (y_i - y_t)^2} \quad (3.1)$$

Avec :

N : Le nombre d'observation.

y_i : Les valeurs prédites pour la comparaison.

y_t : Les valeurs testées avec la méthode GP.

L'erreur systématique absolue moyenne MABE :

L'erreur systématique absolue moyenne MABE présente la valeur moyenne des valeurs Absolues des erreurs relatives, il est donné par l'équation suivante :

$$MABE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N |y_i - y_t| \quad (3.2)$$

Avec :

On : y_i , y_t et N sont définis dans l'équation précédente.[23]

Erreur Relative Moyenne Pourcentage MPAE :

Cette erreur est une quantité souvent utilisée pour mesurer l'écart des prédictions et des mesures. Sa formule est donnée par : [8]

$$\text{MAPE} = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \left| \frac{y_i - y_t}{y_i} \right| \times 100 \quad (3.3)$$

Coefficient De Détermination (R²) :

Est un indicateur qui permet de juger la qualité de régression linéaire, simple ou multiple. D'une valeur comprise entre 0 et 1, il mesure l'adéquation entre le modèle et les données observées (Réelles).

Dans le cadre d'une régression linéaire simple, c'est la carré du coefficient de corrélation. La covariance se définit comme la part de variance exprimée par rapport à la variance totale, autrement dit par [1-(somme des carrés des résidus /variance totale)] est donnée par équation

Suivant :[23]

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^N (y_i - y_t)^2}{\sum_{t=1}^N (y_i - y')^2} \quad (3.4)$$

Avec :

N : Le nombre d'observation.

y_i : Les valeurs prédites pour la comparaison.

y_t : Les valeurs testées avec la méthode GP.

y' : Présente la valeur moyenne des valeurs prédites.

III.5.Discussion des résultats :

Dans le cadre de ce travail en va utiliser deux techniques qui sont: le Processus Gaussiens(GP) et L'Analyse Discriminant Linéaire (LDA) ces deux techniques sont appliquées pour construire un système de prédiction de la vitesse du vent.

Notre simulation est basée sur l'utilisation de MATLAB , au début de notre travail en va utiliser le Processus Gaussiens(GP) seul comme un prédicteur, par la suite en va utiliser L'Analyse Discriminant Linéaire (LDA) comme un réducteur de dimension avec le Processus Gaussiens(GP).

III.5.1. Application de la technique GP :

III.5.1.1. Les Résultats De Simulation Des Deux Sites En Utilisant Le Logiciel Matlab:

Les Figures III.1 et III.2 présentent les valeurs réelles et les valeurs réelles et prédites avec le Processus Gaussiens (GP) pour le Site Colorado.

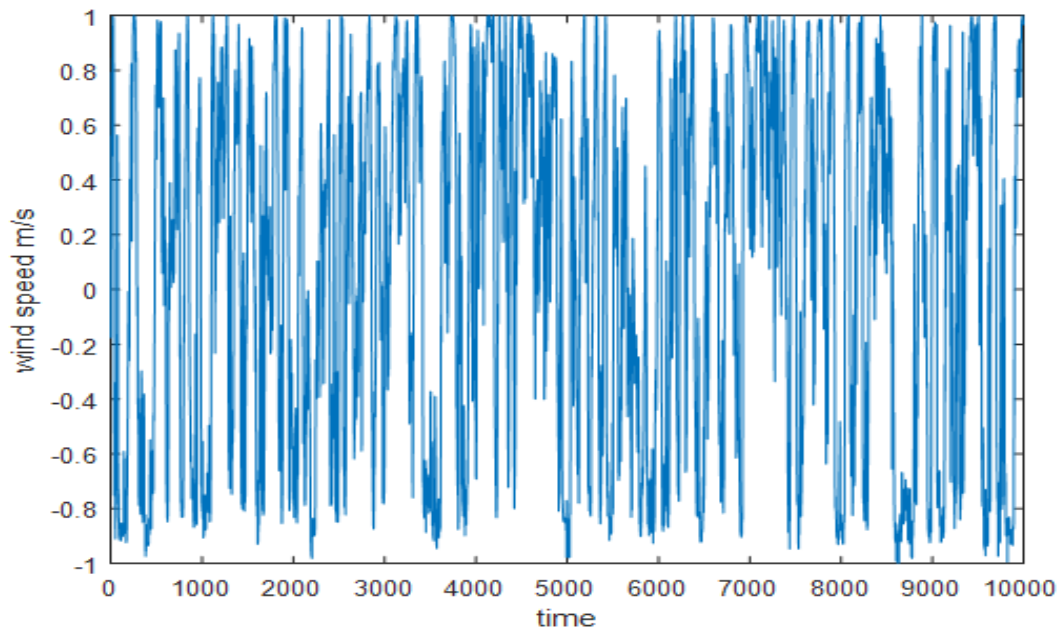


Figure III.1 : Courbe des valeurs réelles du Site Colorado.

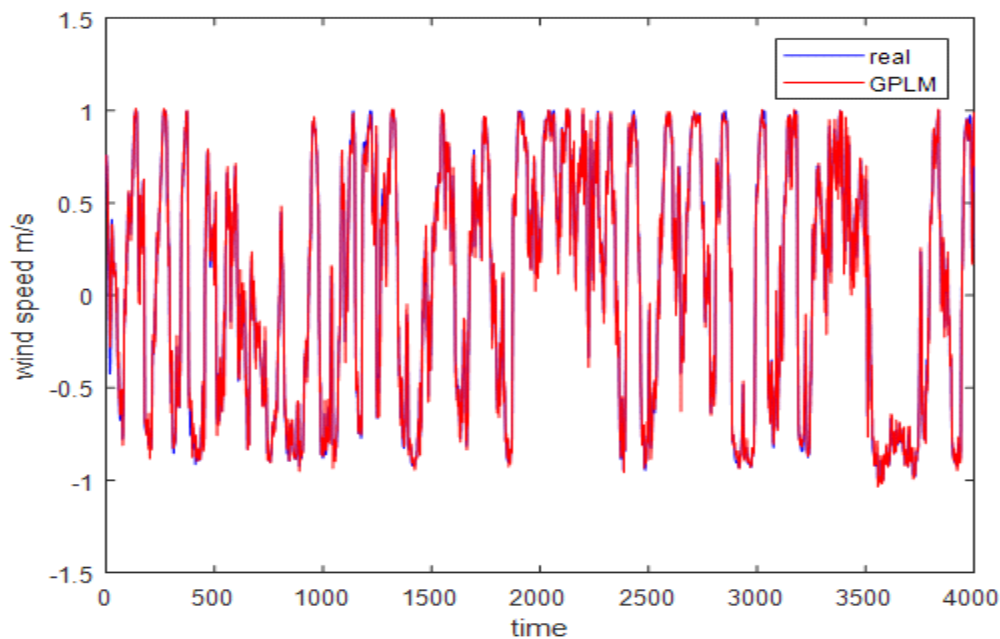


Figure III.2 : Courbe valeurs réels et prédites de GP pour le Site Colorado.

III.5.1.2. La prédiction par la méthode GP :

Dans le tableau III.2, nous avons fait varier le nombre d'itération n pour Calculer les valeurs des critères (RMSE, MAPE, MABE et R^2) que nous avons choisis pour faire avoir son influence sur notre système de prédiction que nous avons proposé et pour prendre les Meilleurs résultats pour le modèle GP pour le site Colorado.

Nombre d'itération	RMSE	MAPE	MABE	R^2
n=5	14.8398	21.6471	9.2208	98.9230
n=10	14.7559	19.2005	9.1545	98.9381
n=15	14.6526	18.1564	9.0620	98.9521

Tableau III.3 : Résultats des valeurs de critères RMSE, MAPE, MABE et R^2 pour le Site Colorado.

- Pour n=5

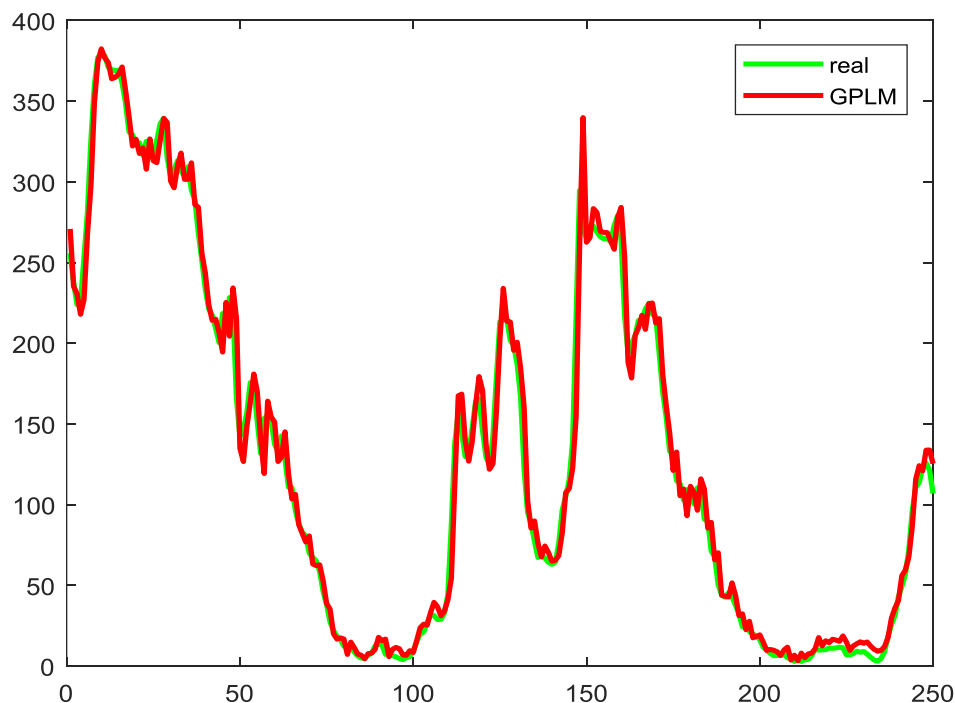


Figure III. 3 : Courbe comparaison valeur réels et prédites de GP pour le Site Colorado pour n=5

- Pour $n=10$

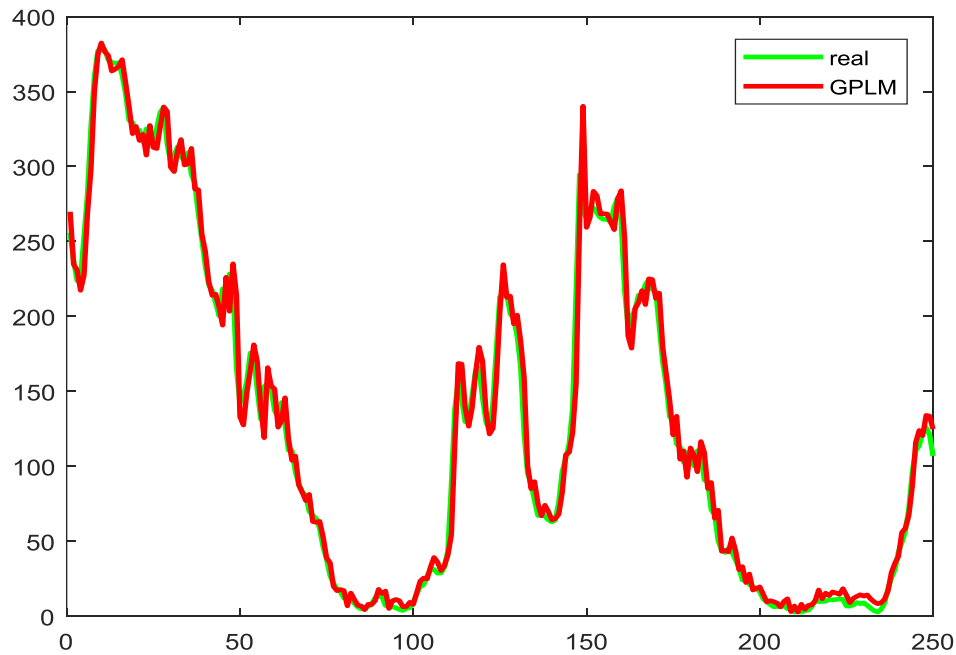


Figure III. 4 : Courbe comparaison valeur réels et prédites de GP pour le Site Colorado pour $n=10$

- Pour $n=15$

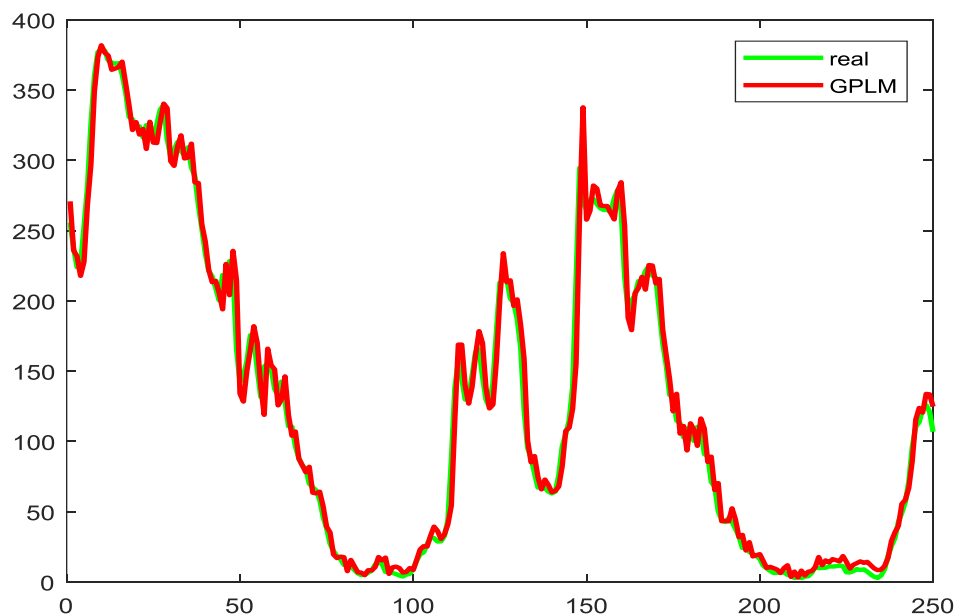


Figure III. 5 : Courbe comparaison valeur réels et prédites de GP pour le Site Colorado pour $n=15$.

III.5.1.3. La comparaison entre les résultats de n pour le Site Colorado :

D'après les résultats présentés dans le Tableau III.3 et les courbes des figures III. 3, III.4 et III.5 Nous remarquons que l'augmentation de nombre d'itération n donne des bons résultats pour les critères que nous avons choisis pour évaluer notre système que nous avons proposé.

Les Figures III.6 et III.7 présentent les valeurs réelles et les valeurs réels et prédites avec le Processus Gaussiens(GP) pour le Site Connecticut.

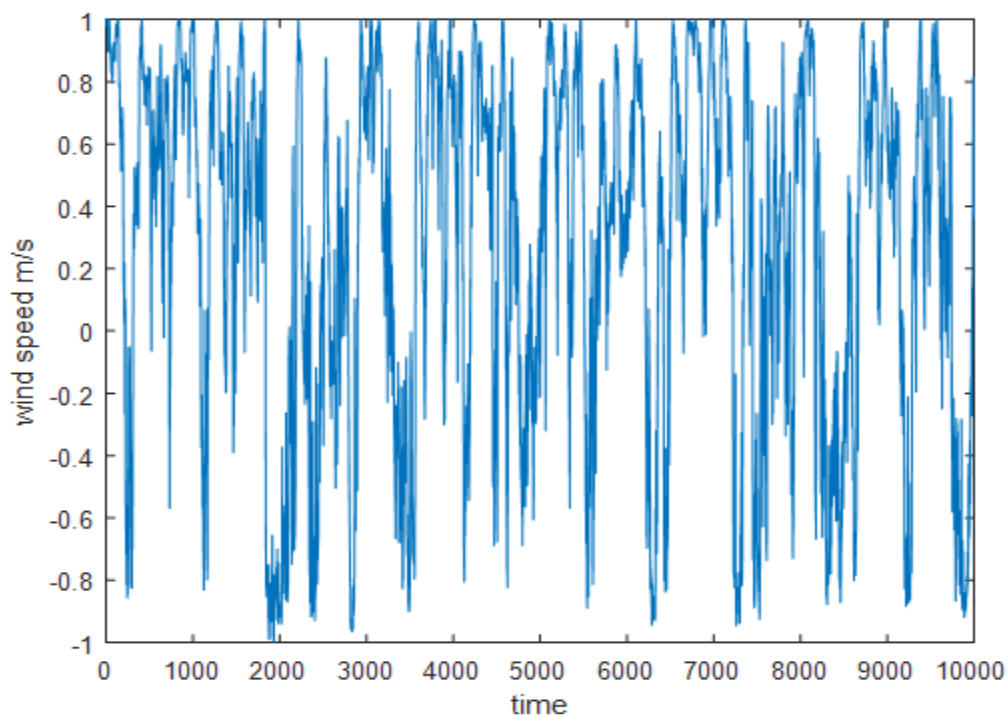


Figure III.6 : Courbe des valeurs réelles du Site Connecticut.

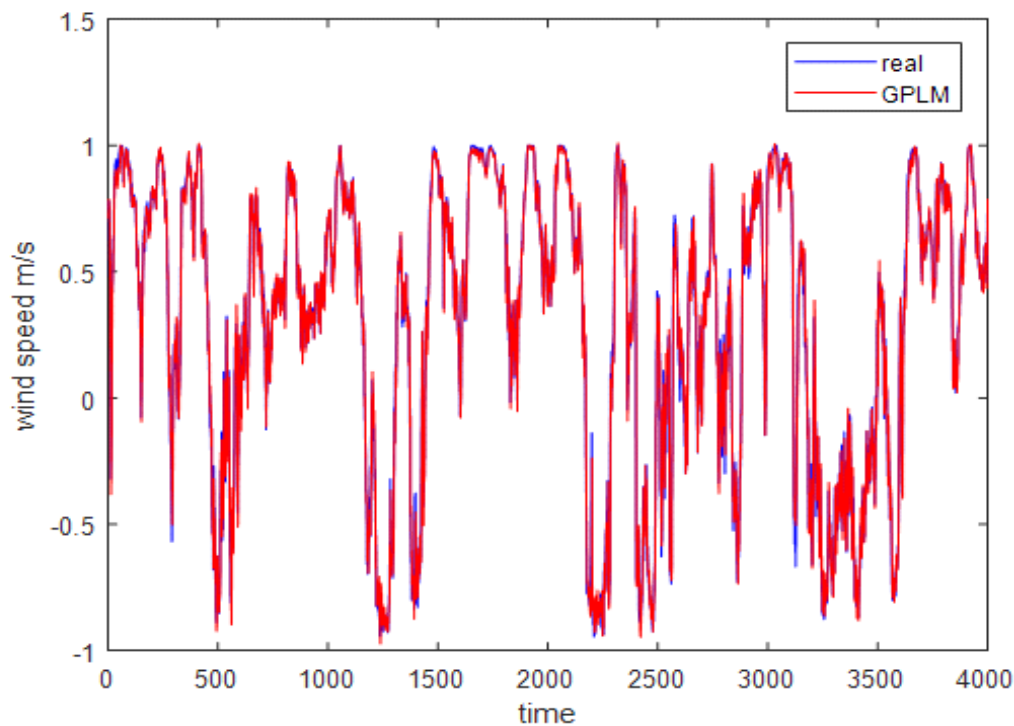


Figure III.7 : Courbe comparaison valeur réels et prédites de GP pour le Site Connecticut.

III.5.1.4 : La prédiction par la méthode GP :

Dans le tableau III.3, nous avons fait varié le nombre d'itération n pour Calculer les valeurs des critères (RMSE, MAPE, MABE et R^2) que nous avons choisis pour faire avoir son influence sur notre système de prédiction que nous avons proposé et pour prendre les Meilleurs résultats pour le modèle GP pour le Site Connecticut.

Nombre d'itération	RMSE	MAPE	MABE	R^2
n=5	4.9761	13.5844	3.5026	96.6727
n=10	4.2152	5.1522	2.9002	97.6341
n=15	4.2096	4.1484	2.8799	97.6444

Tableau III.4 : Résultats des valeurs de critères RMSE, MAPE, MABE et R^2 pour le Site Connecticut.

- Pour $n=5$

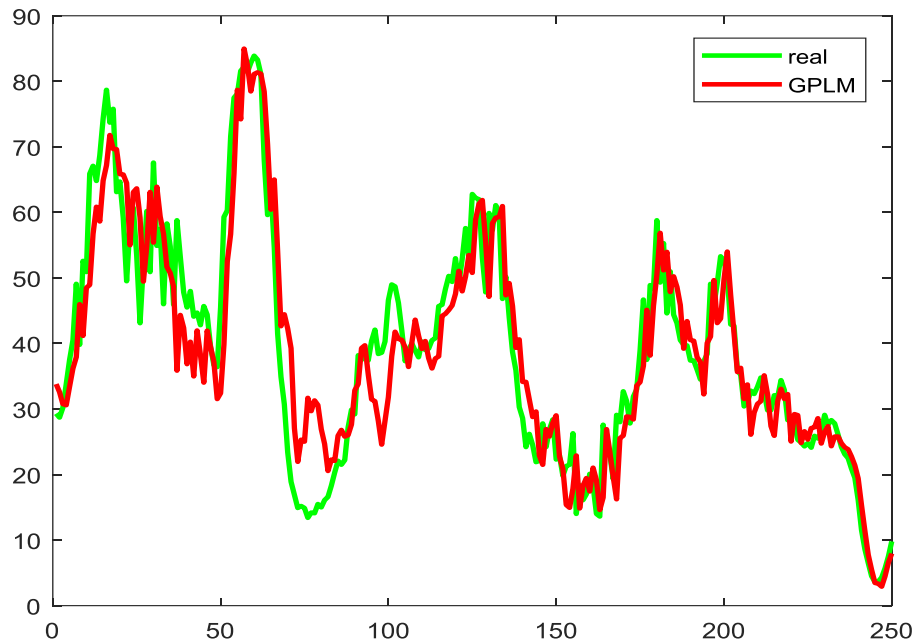


Figure III.8 : Courbe comparaison valeur réels et prédites de GP pour le Site Connecticut pour $n=5$

- Pour $n=10$

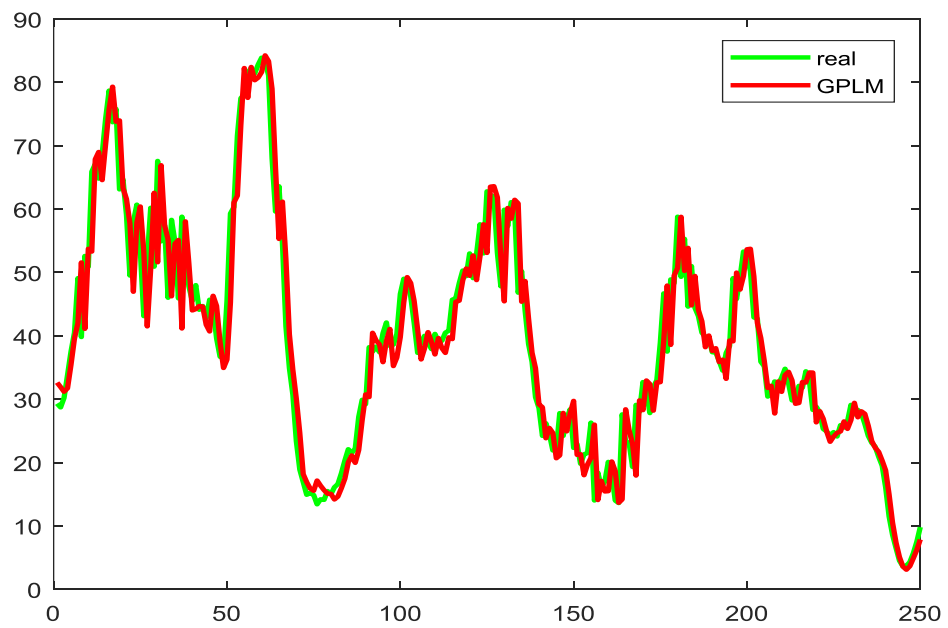


Figure III.9 : Courbe comparaison valeur réels et prédites de GP pour le Site Connecticut pour $n=10$

- Pour $n=15$

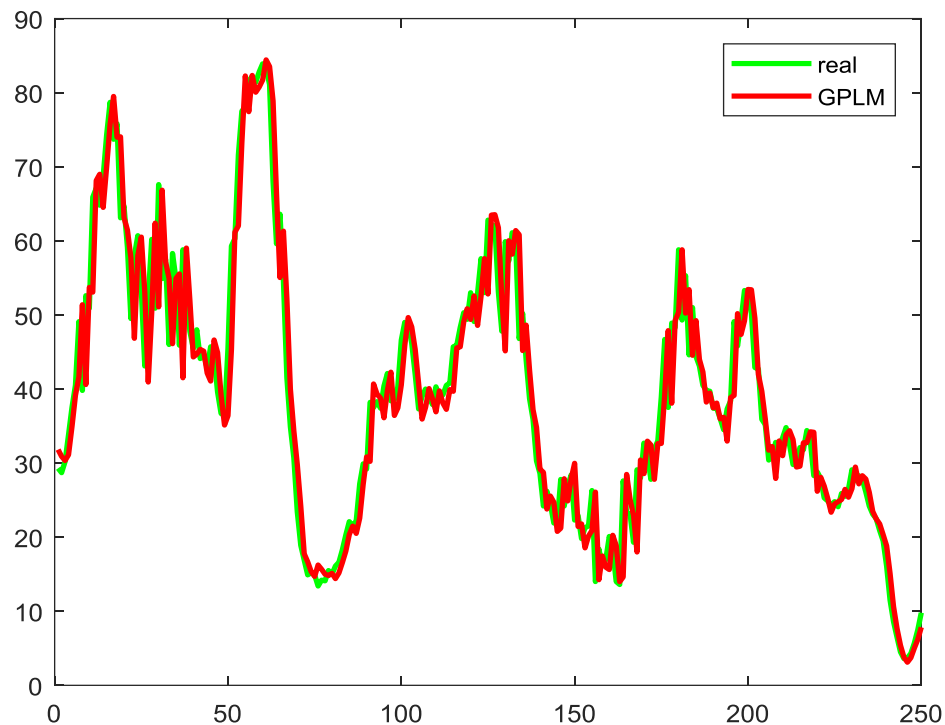


Figure III.10 : Courbe comparaison valeur réels et prédites de GP pour le Site Connecticut pour $n=15$

III.5.1.5 : La comparaison entre les résultats de n pour le Site Connecticut :

D'après les résultats présentés dans le Tableau III.4 et les courbes des figures III. 8, III.9 et III.10 Nous remarquons que l'augmentation de nombre d'itération n donne des bons résultats pour les critères que nous avons choisis pour évaluer notre système que nous avons proposé.

III.5.2. Application de la technique GP avec la technique LDA :

III.5.2.1. Les Résultats De Simulation Des Deux Sites En Utilisant Le Logiciel Matlab:

Les tableaux III.5, III.6 et les figures III.12, III.13, III.14 III.15, III.16, III.18, III.19, III.20, III.21 et III.22 présentent les résultats de simulation de notre système que nous avons proposé pour la prédiction de la vitesse du vent qui est basé sur le LDA et GP pour les deux sites Colorado et Connecticut.

➤ Site Colorado

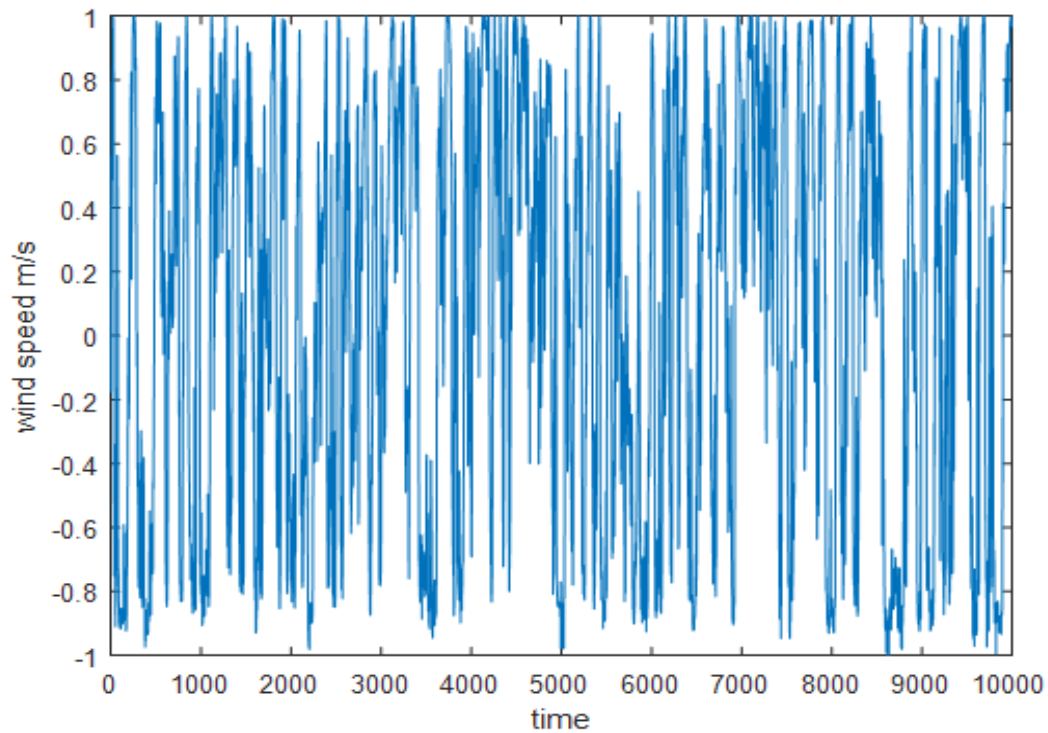


Figure III.11 : Courbe des valeurs réelles du Site Colorado.

On choisi 5 valeur :

Nombre de colonne	RMSE	MAPE	MABE	R ²
44	66.5620	234.4840	42.2122	78.3650
47	40.9604	81.8043	24.7790	91.8068
48	27.9707	37.7903	16.8647	96.1794
49	10.2124	16.1118	6.6022	99.4909
50	14.6526	18.1564	9.0620	98.9521

Tableau III.5 : Résultats des valeurs de critères RMSE, MAPE, MABE et R² pour le Site Colorado.

➤ **Figures de Simulation pour le site Colorado.**

➤ Pour 44 colonnes

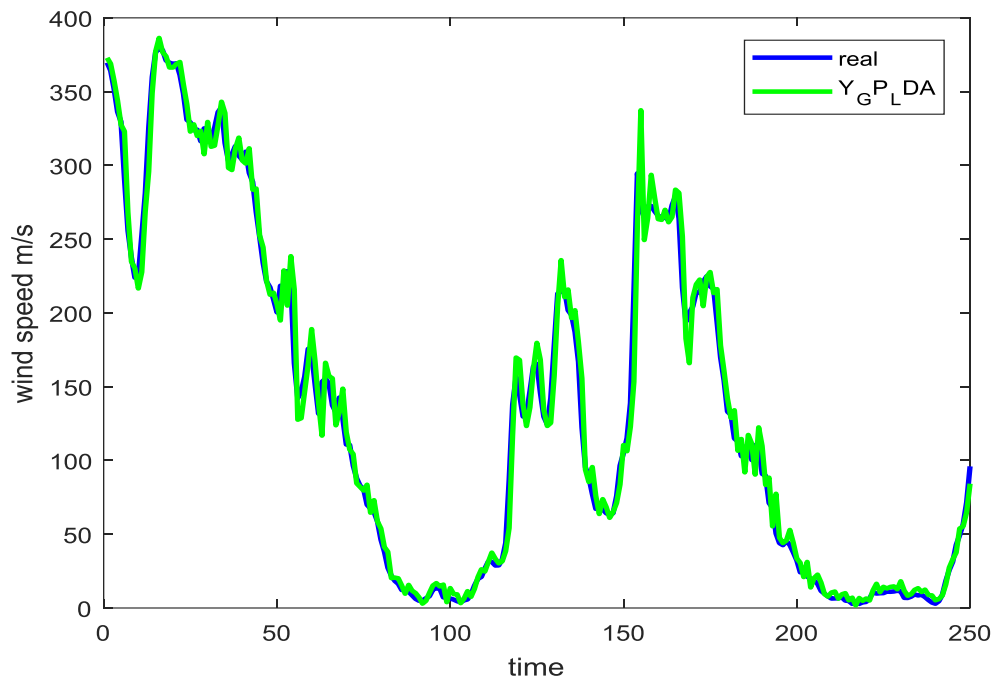


Figure III.12: Vitesse du vent réelle et prédite avec LDA et GP pour 44 colonnes.

• Pour 47 colonnes

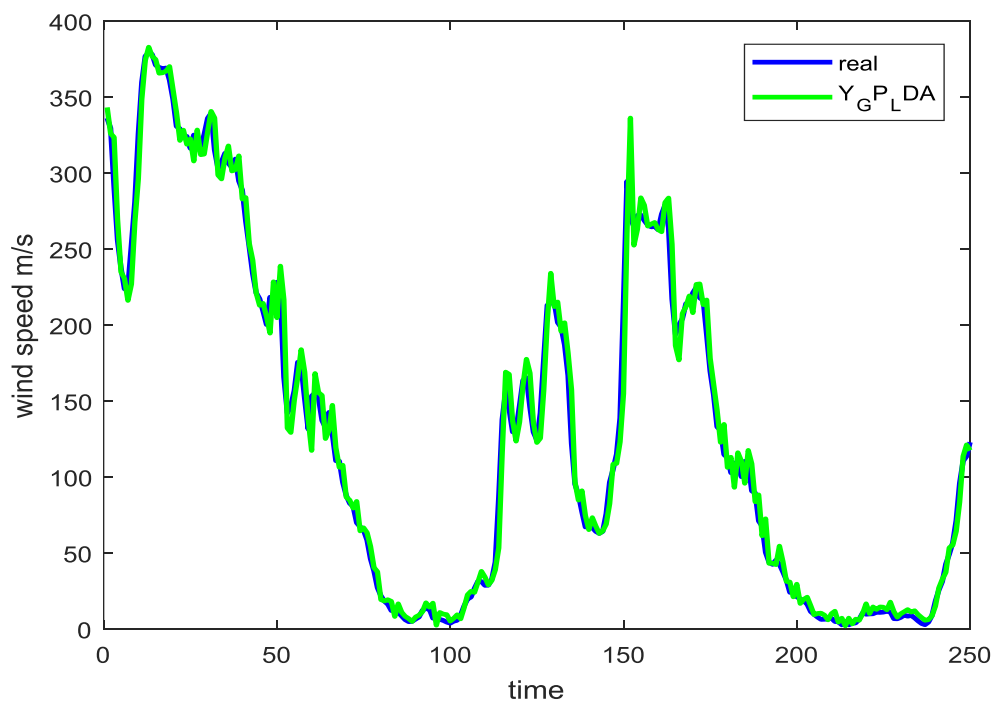


Figure III.13 : Vitesse du vent réelle et prédite avec LDA et GP pour 47 colonnes.

- Pour 48 colonnes

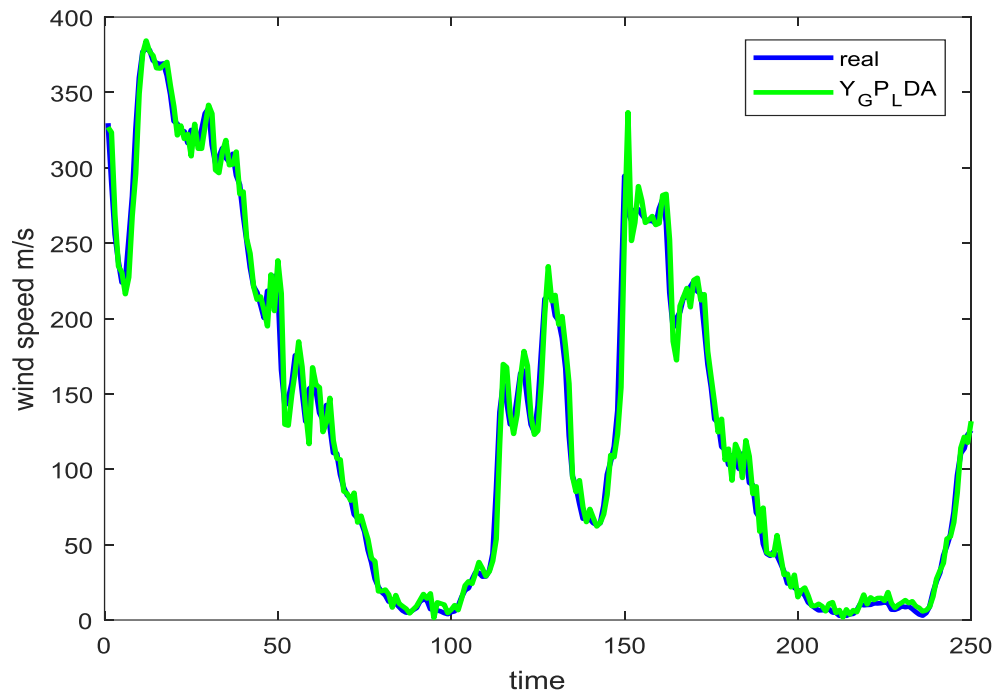


Figure III.14 : Vitesse du vent réelle et prédite avec LDA et GP pour 48 colonnes.

- Pour 49 colonnes

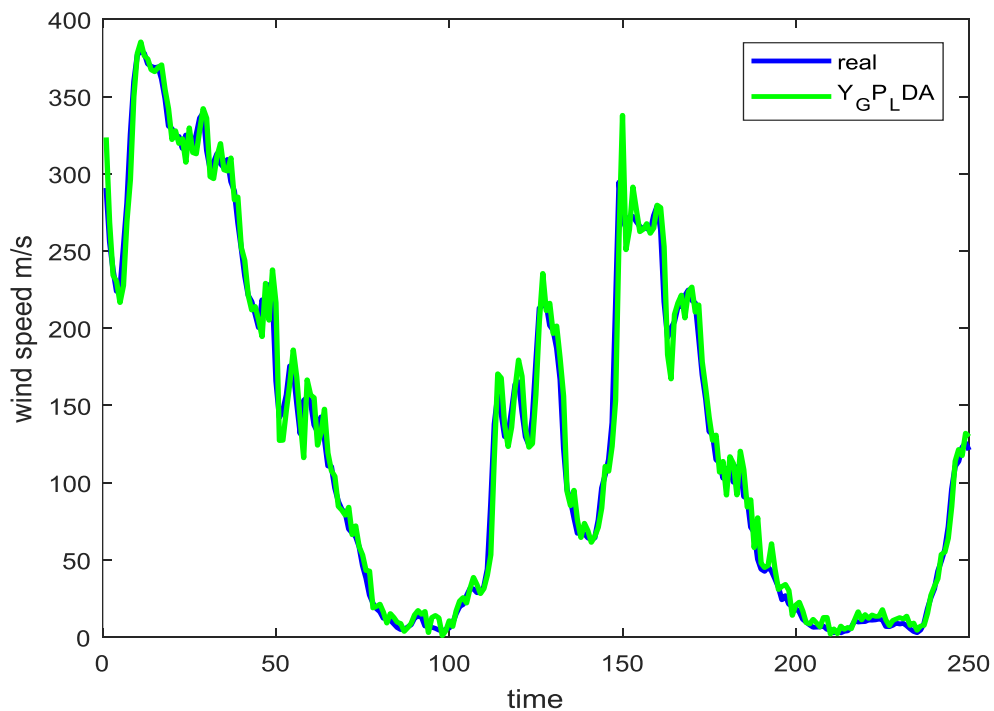


Figure III.15 : Vitesse du vent réelle et prédite avec LDA et GP pour 49 colonnes.

- Pour 50 colonnes

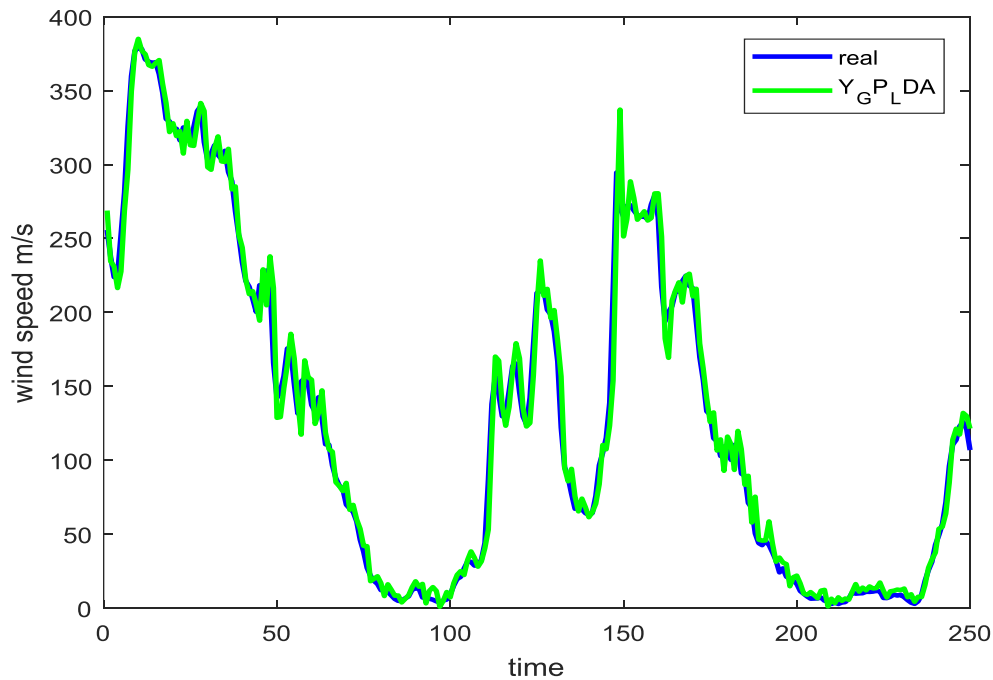


Figure III.16 : Vitesse du vent réelle et prédite avec LDA et GP pour 50 colonnes.

D'après les résultats présentés dans le Tableau III.5 et les courbes de simulation on distingue que les bons résultats sont pour un nombre de colonne qui vaut 49 colonnes pour le site Colorado.

➤ Site Connecticut:

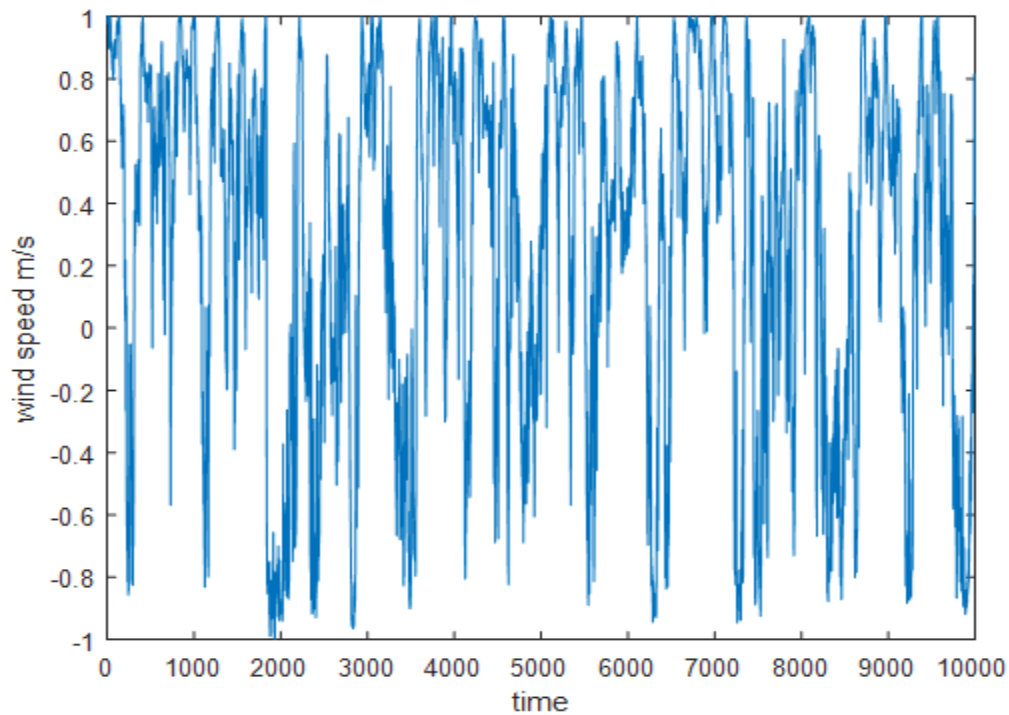


Figure III.17 : Courbe des valeurs réelles du Site Connecticut.

Nombre de colonne	RMSE	MAPE	MABE	R ²
44	9.6175	26.7094	6.7454	87.7016
47	6.0154	8.7825	4.2866	95.1888
48	4.5756	5.3841	3.2145	97.2165
49	1.0383	2.5662	0.7849	99.8570
50	4.2096	4.1484	2.8799	97.6444

Tableau III.6 : Résultats des valeurs de critères RMSE, MAPE, MABE et R² pour nombre de colonne le Site Connecticut.

➤ **Figures de Simulation pour le site Connecticut.**

- Pour 44 colonnes

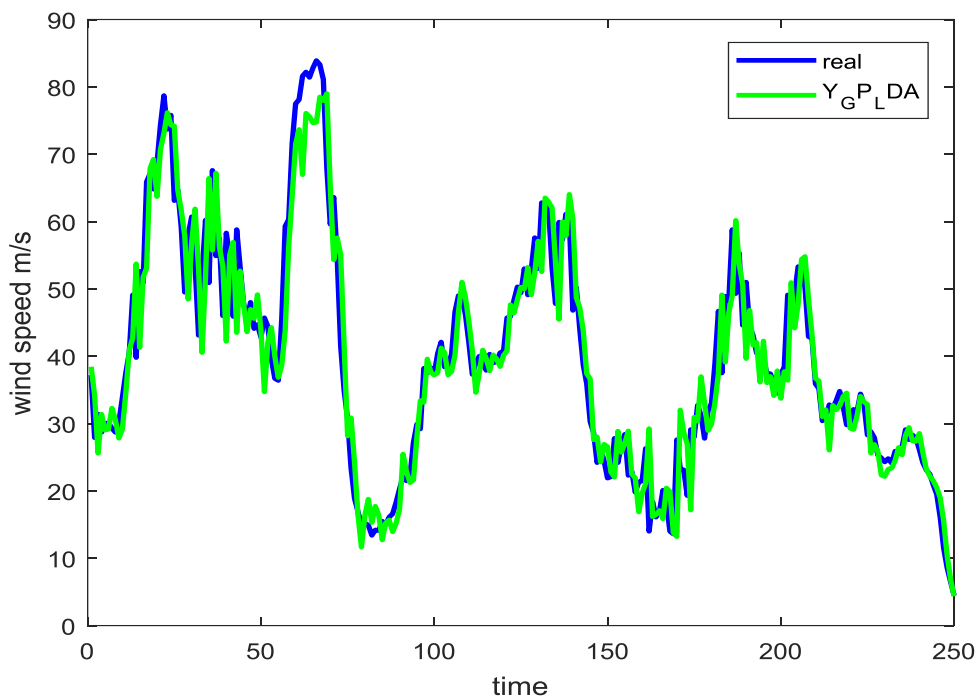


Figure III.18: Vitesse du vent réelle et prédite avec LDA et GP pour 44 colonnes.

- Pour 47 colonnes

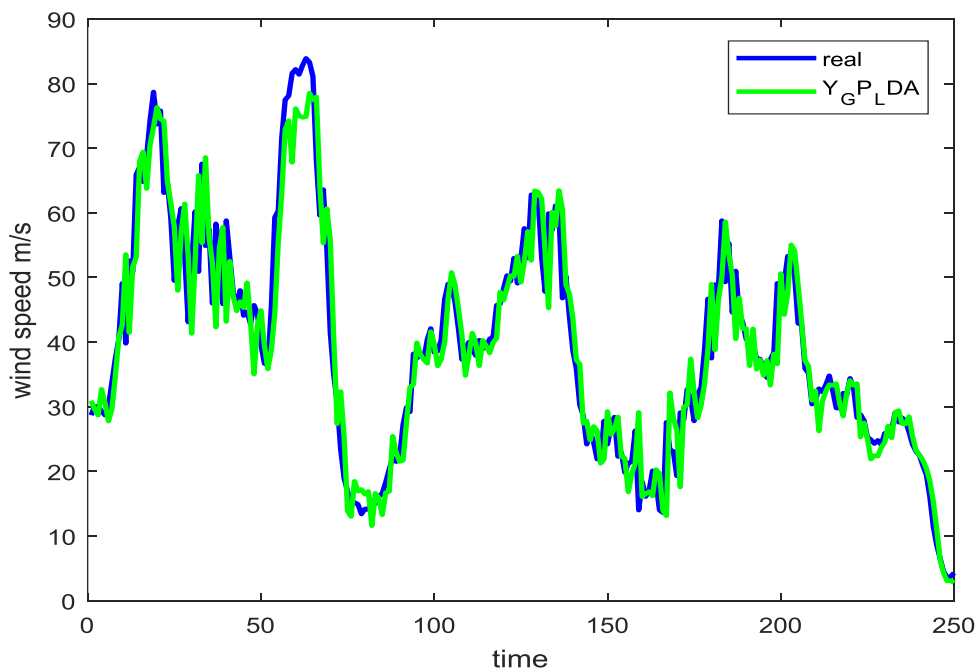


Figure III.19: Vitesse du vent réelle et prédite avec LDA et GP pour 47 colonnes.

- Pour 48 colonnes

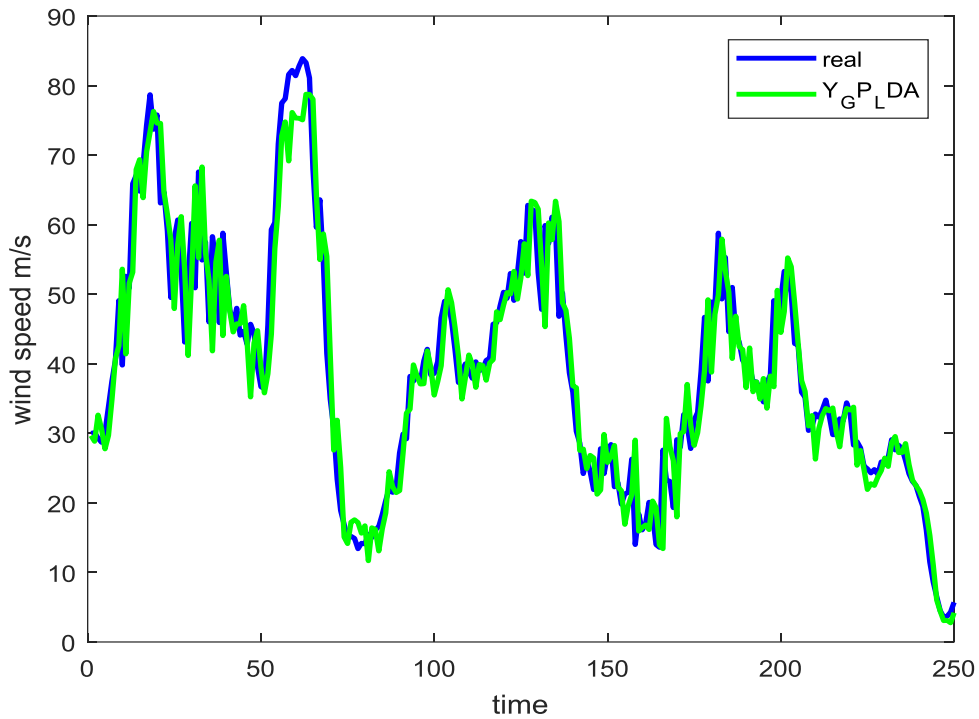


Figure III.20 : Vitesse du vent réelle et prédite avec LDA et GP pour 48 colonnes.

- Pour 49 colonnes

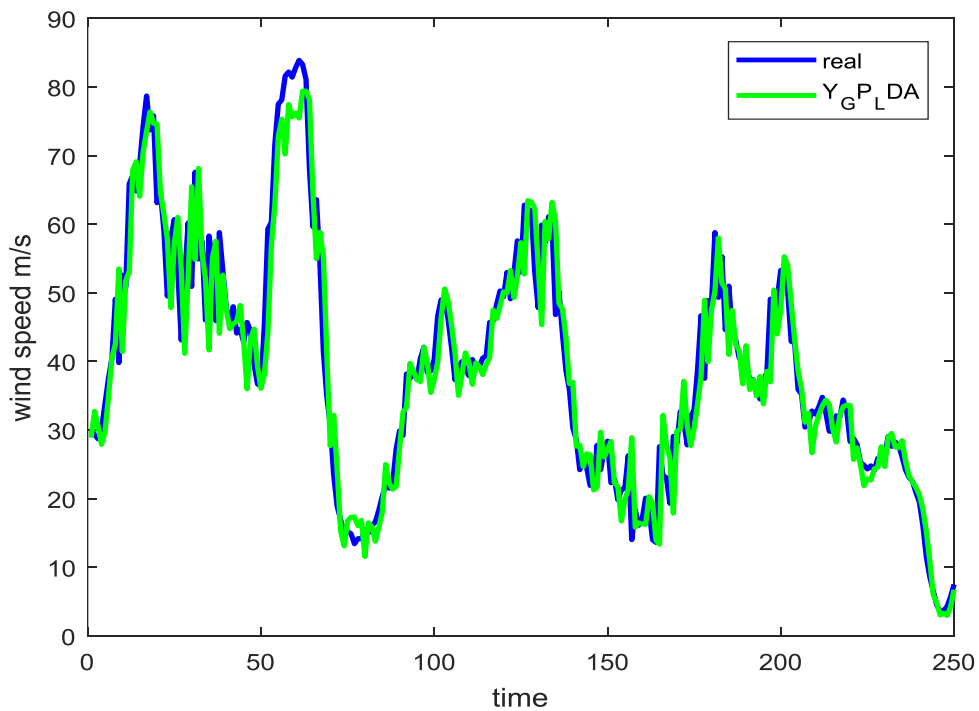


Figure III.21 : Vitesse du vent réelle et prédite avec LDA et GP pour 49 colonnes.

- Pour 50 colonnes

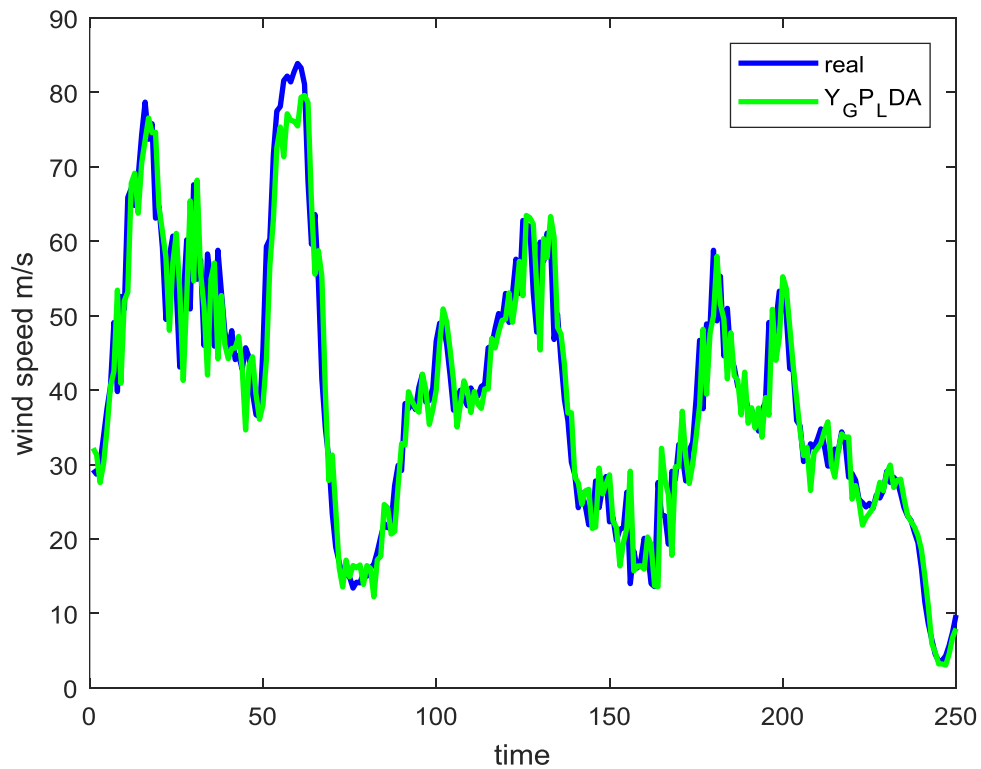


Figure III.22: Vitesse du vent réelle et prédite avec LDA et GP pour 50 colonnes.

D'après les résultats présentés dans le Tableau III.6 et les courbes de simulation on distingue que les bons résultats sont pour un nombre de colonne qui vaut 49 colonnes pour le site Connecticut .

III.6. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons tenté d'établir une synthèse globale sur le travail qui a été réalisé dans ce mémoire. On a vu et discuté les résultats obtenus pour la prédiction de la vitesse du vent, où en a proposé une technique basé sur la réduction de la dimension avec LDA et aussi la technique de Processus Gaussiens GP pour la prédiction.

En général, l'application de ces techniques nous a permis d'améliorer les critères de Performance et la qualité de prédiction par rapport à l'utilisation de la base complète.

Dans la première partie, nous avons utilisé la technique GP seul pour l'obtention des valeurs des critères d'erreurs « RMSE, MAPE, MABE et R^2 » sur la base complète avec une comparaison entre la courbe réelle et prédite pour les deux sites étudiés.

En deuxième partie, on a utilisé la technique LDA avec la technique GP pour la base des données complète et avec les critères d'erreurs « RMSE, MAPE, MABE et R^2 » et on a fait une comparaison entre la courbe réelle et la courbe prédite pour les deux sites étudiés.

On conclure la prédiction de l'application des deux techniques GP avec LDA a donnée de bon résultats pour prédire la vitesse du vent.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

L'objectif principal consistait à développer un modèle de calcul basé sur la technique de LDA et la technique GP en « MATLAB » pour prédire la vitesse du vent pour deux sites.

Nous avons montré lors de cette étude, les performances de la méthode de prédiction par les deux techniques Processus Gaussien (GP) et la technique Analyse Discriminante Linéaire (LDA) avec Processus Gaussien (GP) pour prédire la vitesse du vent.

Les résultats obtenus par l'ensemble des modèles sont satisfaisants ; les taux d'apprentissage fournis par LDA avec GP sont les plus meilleurs mais le contraire des résultats fournis par GP seul

Cause les erreurs de l'application de modèle LDA avec GP meilleurs que l'erreur de l'application de modèle GP seul.

D'une manière générale, l'utilisation de ces méthodes nous permet d'obtenir des valeurs futures bien précises concernant la vitesse du vent et par conséquent une meilleur prédiction de la valeur de la vitesse du vent.

Perspective et Futures Travaux :

Les principaux objectifs à atteindre dans une perspective à court terme de notre étude seront :

1. Prédire la vitesse du vent en utilisant d'autres méthodes d'intelligence artificielle (méthode à noyaux,...etc.).
2. Etendre cette études à la prédiction d'autres paramètres météorologiques, ou bien des séries appartenant à d'autres domaines (finance, commerce, biomédicale,...etc.).

Références Bibliographique

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] : Mr Sadkine Smail MmeAbdelli Radia etMr Rachedi Aghiles, Etude d'un système éolien connecté au réseau, basé sur une GAS auto-excitée ,mémoire, Université Abderrahmane Mira de Bejaia Faculté des Sciences et technologies Département d'Electrotechnique, le 2016/2017.

[2] : M'SEDDAOUI Mawloud et M'KARMAS Malik, Distribution des vents en Algérie et présentation d'une éolienne moyenne puissance (constitution et fonctionnement), mémoire, Université DjillaliLiabes de Sidi Bel Abbes Faculté de Technologie Département d'électronique, Le 2012/2013.

[3] : SEDDAOUI Mawloud & KARMAS Malik, Distribution des vents en Algérie et présentation d'une éolienne moyenne puissance (constitution et fonctionnement), mémoire, Université DjillaiLiabes de Sidi Bel Abbes Faculté Technologie, Le 2012/2013.

[4] : Khalfa Lotfi Université Badji Mokhtar Annaban, Etude et Simulation d'une éolienne à base d'une Machine Asynchrone Doublement Alimentée, mémoire, Le juin 2017.

[5] : Sadi Mohamed,,L'impact Des Energies Renouvelables Sur Le Réseau Electrique Ouest Algérien 220 KV, Université de Taher Moulay de Saida, Le 2013/2014.

[6] : Frédéric POITIERS, ETUDE ET COMMANDE DE GENERATRICES ASYNCHRONES POUR L'UTILISATION DE L'ENERGIE EOLIENNE

-Machine asynchrone à cage autonome

-Machine asynchrone à double alimentation reliée au réseau

Université de Nantes école doctorale sciences et technologies Le 19/12/2003.

[7] : LATRECHE Mohammed Tahar, Commande Floue de la Machine Synchrone à Aimant Permanent (MSAP) utilisée dans un système éolien, Université Ferhat Abbas de setif UFAS-ALGERIE département d'électronique Mémoire de Magister, Le24/06/2012.

[8] : BELHOU Asma, LDA ET RNA POUR LA PREDECTION DE LA VITESSE DU VENT, Université Mohamed Boudiaf – M'sila, Le 2016/2017

[9] : Livre « Guide des énergie vertes pour la maison ». Copyright 2007 Ooxygen

[10] : Syndicat des énergies renouvelables France énergie éolienne, dernière révision du document juin 2011.www.enr.fr-www.fee.asso.fr

- [11] : SOLEN : Solutions for Low Energy Neighbourhoods Financé par la Wallonie, DGO4, M Penders, AF Marique et Prof. S Reiter Chemin des Chevreuils, 1 B52/34000 Liège Afmarique [at] ulg.ac.be +32 4 366 93 67, Programme mobilisateur érable Janvier 2014.
- [12] : Hijazi Hala, Proposition d'une méthode spectrale combinée LDA et LLE pour la réduction non-linéaire de dimension Application à la segmentation d'images couleurs, mémoire, L'Université du Littoral-Côte d'Opale (ULCO) et L'Ecole Doctorale des Sciences et Technologie (Université Libanaise), Le 19/12/2013.
- [13] : Amira Chiheb , Reconnaissance de visages par Analyse Discriminante Linéaire(LDA) ,mémoire , Université du 8 mai 45 de Guelma Algérie - Licence en informatique, Le 2003.
- [14] : BEN TOUMI Adel et BENBOUZID Abdelhak, Reconnaissance de visage par méthode hybride PCA2D ADL2D, mémoire, Université Mohamed Khider Biskra Faculté des sciences et de la Technologie Département de Génie Electrique, Le 2009/2010.
- [15] : carole Lachapelle B.Sp. Géographie, L'Institut national de la recherche scientifique INRS-Eau comme exigence partielle de la Maîtrise en Sciences (Eau), mémoire ,Université du Québec Mémoire présenté à l'institut national de la recherche scientifique INRS –Eau.
- [16] : François Lanier, professeur et chercheur cégep de sainte –Foy, Copie de conservation disponible sur le serveur du centre de documentation collégiale (CDC) URL=<http://www.cdc.qc.ca/actes-ARC/1993/Lasnier-actes-ARC-1993>.
- [17] : Christopher J. Paciorek and Mark J. Schervish , Nonstationary Covariance Functions for Gaussian Process Regression Department of StatisticsCarnegie Mellon, mémoire, University-Pittsburgh, PA 15213.
- [18] : BELHOUT Ali , BOUHADJAR Ali ,Équation démentielle stochastique et Application, mémoire, UNIVERSITÉ DE M.HAMED BOUGUERRA FACULTÉ DES SIENCES DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES, Filière : Mathématiques , Le 01/ 07 /2017.
- [19] : DJEDI Sara Etude comparative de PCA et KPCA associées au SVM en biométrie, mémoire, Université Mohamed Khider Biskra Faculté des Sciences et de la Technologie Département de Génie Electrique, Le 2011 / 2012.
- [20] : Bounneche Meriem Dorsaf, Réduction de données pour le traitement d'images, mémoire, UNIVERSITE MENTOURI CONSTANTINE FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE Option Contrôle, Le 2009.

[21] : Apprentissage par Renforcement Bayésien de processus décisionnels de Markov partiellement observables : une approche basée sur les processus Gaussiens.

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval dans le cadre du programme de maîtrise en informatique pour l'obtention du grade de Maître ès sciences (M.Sc.)

Faculté des sciences et de génie UNIVERSITÉ LAVAL QUÉBEC, Le 2010.

[22] : Electricity Demand Forecasting using Gaussian Processes Manuel Blum and Martin Riedmiller University of Freiburg, Department of Computer Science Georges-Koehler Allee 07979110 Freiburg, Germany

[23] : DRISSI Kenza, Prédiction des Radiations Solaires Application à la Région de M'sila,

Mémoire, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA, Le : /31/ 05/2017.

[24] : M. Gibbs and D .J .C . Mackay. Efficient implementation of Gaussian processes. Technical report, Cavendish Laboratory, Cambridge, UK, 1997.

Résumé

Actuellement l'énergie éolienne est l'énergie renouvelable la plus importante source dans le monde, elle est devenue de plus en plus utilisable. Cette énergie est caractérisée par sa discontinuité qui est causée par sa nature. Cette discontinuité affecte considérablement sur le réseau électrique.

Pour une bonne exploitation de l'énergie éolienne et aussi pour la bonne gestion de l'énergie électrique du réseau électrique, alors la prédiction de la vitesse du vent est devenue très importante. Les valeurs prédites du vent peuvent être utilisées dans des différentes applications, telles que la conception des parcs éoliens, estimation du potentiel énergétique éolien,...etc.

De nombreux modèles de prédiction des séries temporelle existent dans la littérature. Les plus utilisés sont la moyenne mobile intégrée autorégressive (ARIMA), les réseaux de neurones artificiels (ANN) et les machines à vecteurs de support (SVM). Dans ce travail on va proposer une nouvelle méthode de l'apprentissage automatique qui est basé sur une méthode de combinaison (Hybride) entre Analyse Discriminante Linéaire (LDA) et Processus Gaussien (GP) pour obtenir des valeurs futures de la vitesse du vent avec une meilleure précision de prédiction.

Mots clés : Analyse Discriminante Linéaire, Processus Gaussien, Apprentissage Automatique, Série Temporelles, Prédiction, Vitesse du Vent.

Abstract

Currently wind energy is the world's largest source of renewable energy and has become more and more usable. This energy is characterized by its discontinuity which is caused by its nature. This discontinuity significantly affects the power grid.

For a good exploitation of the wind energy and also for the good management of the electrical energy of the electrical network, then the prediction of the speed of the wind has become very important. The predicted wind values can be used in different applications, such as the design of wind farms, estimation of wind power potential, etc.

Many models of time series prediction exist in the literature. The most commonly used are ARIMA, Artificial Neural Networks (ANN) and SVMs. In this work we will propose a new method of machine learning that is based on a combination method (Hybrid) between Linear Discriminate Analysis (LDA) and Gaussian Process (GP) to obtain future values of wind speed with a better prediction accuracy.

Key words: Linear Discriminate Analysis, Gaussian Process, Automatic Learning, Time Series, Prediction, Wind Speed.

ملخص

تعد طاقة الرياح في الوقت الحالي أكبر مصدر للطاقة المتجددة في العالم وأصبحت قابلة للاستخدام أكثر فأكثر. تتميز هذه الطاقة بانقطاعها عن الطبيعة. يؤثر هذا التوقف بشكل كبير على شبكة الطاقة.

للاستغلال الجيد لطاقة الرياح وأيضاً من أجل الإدارة الجيدة للطاقة الكهربائية للشبكة الكهربائية، أصبح التنبؤ بسرعة الرياح مهماً جداً. يمكن استخدام قيم الرياح المتوقعة في تطبيقات مختلفة، مثل تصميم مزارع الرياح، تقدير إمكانات طاقة الرياح، الخ.

توجد العديد من نماذج التنبؤ بالسلسلة الزمنية في الأدب. الأكثر استخداماً هي الشبكات العصبية الاصطناعية وفي هذا العمل، سنقترح طريقة جديدة للتعلم الآلي تعتمد على طريقة الجمع بين التحليل الخطي للتمييز والعملية الغوسية للحصول على قيم مستقبلية لسرعة الرياح باستخدام دقة التنبؤ أفضل.

الكلمات المفتاحية: التحليل التمييزي الخطي، العملية الغوسية، التعلم التلقائي، السلسلة الزمنية، التنبؤ بسرعة الرياح.