



Mémoire de Fin d'Étude

Présenté à

L'Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued

Faculté de Technologie

Département de Génie Electrique

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

En Réseaux électriques

Présenté par

GUENFOUD Mohammed

Thème:

**L'IMPACT DE LA POLLUTION DESERTIQUE SUR
L'ISOLATEUR ELECTRIQUE EN REGION SUD
EN ALGERIE**

Soutenu le 25/05/2016. Devant le jury composé de :

Mr. Mida Driss

Maitre de conférences Président

Mr. Guia Talal

Maitre de conférences Rapporteur

Mr. Khechekhouché Ali

Maitre de conférences Examinateur

Année Universitaire 2015/2016

Remerciements

*En premier lieu, je remercie **DIEU** tout puissant, qui m' a donné le courage, la force et la volonté pour réaliser ce modeste travail.*

*Ce travail a été réalisé ,sous la direction scientifique de Monsieur **GUIA TALAL** Maître assistant à l'université d'EL OUED , que je tiens à le remercier beaucoup pour tout ce qu'il a sacrifié pour moi, pour sa disponibilité, pour ses conseils, son suivi constant, et surtout ses qualités humaines.*

Je tiens à remercier aussi les Maîtres : Tir Zoheir , Chems Ali et Mida Driss pour leurs conseils et leurs collaborations .

*Mes remerciements vont également aux agents de l'Office National de la Météorologie (**ONM**) de Touggourt et aux agents de **GRTE** Hassi Messaoud pour leur appréciable aide.*

Enfin, je remercie tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Dédicaces

Chaleureusement je dédie ce modeste travail:
A la lumière de ma vie, mes chers parents en
témoignage de leur amour et de leur sacrifices
sans limites, je leurs souhaite une bonne santé,
que Dieu me les garde.

A ma chère femme et sa généreuse famille

A mes frères et mes sœurs.

A toute la famille GUENFOUD et BOUGHDIRI

Mohammed

ملخص

هذا العمل يخص دراسة أثر التلوث و العوامل المناخية على عدد الحوادث الواقعة على الخطوط الكهربائية ذات الضغط العالي . سنركز في هذا البحث على المنطقة الكهربائية لتقورت .
نبدأ بتشخيص المنطقة خاصة مصادر التلوث المتنوعة الموجودة هناك , بالإضافة إلى العوامل المناخية التي تميزها .
اعتمادا على نتائج هذا التشخيص بالإضافة إلى تحليل إحصائيات الحوادث الواقعة على الشبكة الكهربائية , سنقوم بدراسة تأثير الترسبات الملوثة و العوامل الجوية على عدد و توزيع الحوادث . هذا يمكننا من اقتراح حلول لمواجهة هذا المشكل .
كلمات مفتاحية : التوتر العالي , التلوث , العازل , الحوادث , العوامل المناخية , شدة التلوث .

RESUME

Notre travail concerne l'étude de l'impact de la pollution et des paramètres climatiques sur le nombre d'incidents survenus sur les lignes électriques. Nous nous intéressons à la région électrique de Touggourt.

Nous commençons d'abord par l'identification de la région en s'intéressant en particulier aux différentes sources de pollution qui existent dans cette région ainsi qu'aux conditions climatiques qui les caractérise. En se basant sur les résultats de cette identification ainsi qu'aux traitements statistiques des incidents ayant eu lieu sur le réseau électrique, nous étudions l'impact des dépôts polluants et des facteurs climatiques sur le nombre et la répartition des incidents. Ceci nous permet de proposer des solutions convenables pour y faire face.

Mots clés : Haute Tension, Pollution, Isolateur, Incidents, paramètres météorologiques, sévérité de pollution.

ABSTRACT

Our work relates to the study of the impact of pollution and the climatic parameters on the number of incidents which have occurred on the electric lines. We are interested in the electric region of Touggourt.

We start initially with the identification of this region while being focused in the various sources of pollution which exist in this region as on the climatic conditions which characterize them. By basing ourselves on the results of this identification, in addition to the statistical processing of the incidents having taken place on the electrical system, we study the impact of the polluting deposits and the climatic factors on the number and the distribution of the incidents. This allows us to propose suitable solutions to face it.

Key words: High Voltage, Pollution, Insulator, Incidents, climatic parameters, severity of pollution

Sommaire

Introduction Générale

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

Chapitre I

Identification de la région électrique Sud Est

I.1. Introduction	3
I.2 . Le Réseau de Transport D'Energie Electrique En Algérie.....	3
I.2.1.Description du réseau électrique de la région de Touggourt et Hassi Messaoud :.....	6
I.3. Les Sources de pollution :	
I.3.1 Les Sources de pollution naturelle	6
I.3.2 Les Sources de pollution industrielle	7
I.3.3 Sources de pollution Mixte	9
I.3.4 Situation des lignes 400 kV et 220 kV par rapport aux sources de. Pollution	9
I.4. La Climatologie de la région électrique de Touggourt:	
I.4.1 L'humidité	10
I.4.2 Les Précipitations pluviales	12
I.4.3 La Température	14
I.4.4 Le vent	17
I.4.5 L'Insolation.....	18
I.4.6 L'évaporation.....	21
I.5. Conclusion	23

Chapitre II

Les Isolateurs du Réseaux Electriques

II.1.Introduction	24
II.2. Généralités.....	24
II.2.1. Définitions.....	24
II.3.LES ISOLATEURS DU RESEAUX ELECTRIQUES :	
II.3.1. Définition	25
II.3.2. Fonctionnement et constitution d'un isolateur	25
II.3.2.1 Isolants	26
II.3.2.2 Pièces métalliques de liaison	27
II.3.3. Principaux types d'isolateurs :	
II.3.3.1. Isolateurs de type rigide	28
II.3.3.2. Isolateurs à capot et tige.....	29
II.3.3.3.Chaîne d'isolateurs	32
II.3.3.4. Isolateurs à Long fût	33
II.3.4. Choix des isolateurs	34

II.4. LE PHENOMENE DE LA POLLUTION DES ISOLATEURS :	
II.4.1. Types de pollution	35
II.4.2. Formation et répartition des couches polluantes	35
II.4.3. Conséquences de la pollution	35
II.4.4. La sévérité de pollution.....	36
II.4.5. Classifications de types de pollution.....	36
II.4.6. Techniques de lutte contre la pollution	37
II.4.6.1. Allongement de la ligne de fuite	37
II.4.6.2. Isolateurs plats (Aérodynamique).....	37
II.4.6.3. Graissage périodique	38
II.4.6.4. Revêtement silicones	38
II.4.6.5. Isolateurs composites	38
II.4.6.6. Nettoyage des isolateurs	38
II.5. Conclusion	39

Chapitre III

Analyse des statistiques des incidents dans la région électrique Sud Est

III.1. Introduction	40
III.2. REGION ELECTRIQUE DE HASSI MESSAOUD :	
III.2.1 Nombres Total d'incidents par année sur la période 2005-2015	41
III.2.2. Répartition saisonnière des incidents.....	42
III.2.3. Répartition des incidents par type de défaut	43
III.2.4. Répartition horaire des incidents pour chaque saison.....	44
III.2.5. Taux des incidents par mois de la période (2005-2015)	45
III.2.6. Répartition des incidents mensuelles, saisonnières et horaire pour chaque année :.....	46
III.2.7. Analyse des résultats	58
III.3. Influence des facteurs climatiques sur les isolateurs pollués.....	59
III.4. Conclusion	60

Conclusion Générale

Conclusion générale.....	61
--------------------------	----

Bibliographie

Bibliographie.....	62
--------------------	----

Annexes

Annexe I

Données climatologiques de la région de Touggourt.....	64
--	----

Annexe II

Statistiques des Incidents de la région électrique Sud Est.....	74
---	----

Liste des Figures

Chapitre I Identification de la région électrique Sud Est

Figure.I.1 : Les cinq (05) régions électriques du réseau de transport d'énergie Électrique en Algérie	5
Figure.I.2 : Répartition mensuelle de la moyenne de dix ans de l'humidité à Touggourt.....	10
Figure.I.3 : Répartition moyenne mensuelle de l'humidité par année.....	11
Figure.I.4 : Répartition mensuelle de la moyenne de dix ans de la précipitation à Touggourt	12
Figure.I.5 : Répartition moyenne mensuelle de la précipitation par année	14
Figure.I.6 : Répartition mensuelle de la moyenne de dix ans de la température	15
Figure.I.7 : Répartition moyenne mensuelle de la température par année	16
Figure.I.8 : Répartition mensuelle de la moyenne de dix ans de la vitesse du vent.....	17
Figure.I.9 : Répartition moyenne mensuelle de la vitesse du vent par année	18
Figure.I.10 : Répartition mensuelle de la moyenne de dix ans de l'insolation	19
Figure.I.11 : Répartition moyenne mensuelle de l'insolation par année	20
Figure. I.12 : Répartition mensuelle de la moyenne de dix ans de l'évaporation.....	21
Figure. I.13 : Répartition moyenne mensuelle de l'évaporation par année.....	22

Chapitre II Les Isolateurs du Réseaux Electriques

Figure II.1. Isolateur de haute tension type capot et tige.....	26
Figure II.2 (a,b) : Vue en coupe des deux types d'isolateur.....	28
Figure II.3 Vue en coupe d'un isolateur rigide en verre.....	29
Figure II.4: Isolateur à capot et tige.....	29
Figure II.4.a : Isolateur à capot et tige de profil standard.....	30
Figure II.4.b : Isolateur à capot et tige de profil antibrouillard (forme A).....	30
Figure II.4.c : Isolateur à capot et tige de profil antibrouillard (forme B).....	30
Figure II.4.d : Un isolateur à capot et tige de profil plat (Aérodynamique).....	31
Figure II.4.e : Isolateur à capot et tige de profil sphérique.....	31
Figure II.5 : Chaîne d'isolateurs: assemblage à rotule.....	32
Figure II.6 : Isolateurs à long fût.....	33

Chapitre III

Analyse des statistiques des incidents dans la région électrique Sud Est

Figure III.1: Nombre d'incidents par année pour la région.....	41
Figure III.2 : Répartition des incidents par année pour chaque niveau de tension.....	42
Figure III.3 : Répartition des incidents par saison.....	43
Figure III.4 : Répartition des incidents par types de défauts.....	43
Figure III.5 : Répartition annuelle des incidents par types de défauts.....	44
Figure III.6 : Répartition horaire des incidents pour chaque saison	44
Figure III.7 : Taux des incidents par mois de la période (2005-2015).....	45
Figure III.8 : Répartition des incidents par mois et par niveau de tension en 2005.....	46
Figure III.9 : Répartition des incidents par saison en 2005.....	46
Figure III.10 : Répartition horaire des incidents par saison en 2005.....	47
Figure III.11 : Répartition des incidents par mois et par niveau de tension en 2006.....	47
Figure III.12 : Répartition des incidents par saison en 2006.....	47
Figure III.13 : Répartition horaire des incidents par saison en 2006.....	48
Figure III.14 : Répartition des incidents par mois et par niveau de tension en 2007.....	48
Figure III.15 : Répartition des incidents par saison en 2007.....	49
Figure III.16 : Répartition horaire des incidents par saison en 2007.....	49
Figure III.17 : Répartition des incidents par mois et par niveau de tension en 2009.....	50
Figure III.18 : Répartition des incidents par saison en 2009.....	50
Figure III.19 : Répartition horaire des incidents par saison en 2009.....	50
Figure III.20 : Répartition des incidents par mois et par niveau de tension en 2010.....	51
Figure III.21 : Répartition des incidents par saison en 2010.....	51
Figure III.22 : Répartition horaire des incidents par saison en 2010.....	52
Figure III.23 : Répartition des incidents par mois et par niveau de tension en 2011.....	52
Figure III.24 : Répartition des incidents par saison en 2011.....	52
Figure III.25 : Répartition horaire des incidents par saison en 2011.....	53
Figure III.26 : Répartition des incidents par mois et par niveau de tension en 2012.....	53
Figure III.27 : Répartition des incidents par saison en 2012.....	54
Figure III.28 : Répartition horaire des incidents par saison en 2012.....	54
Figure III.29 : Répartition des incidents par mois et par niveau de tension en 2013.....	55
Figure III.30 : Répartition des incidents par saison en 2013.....	55
Figure III.31 : Répartition horaire des incidents par saison en 2013.....	56
Figure III.32 : Répartition des incidents par mois et par niveau de tension en 2014.....	56

Liste des Figures

Figure III.33 : Répartition des incidents par saison en 2014.....	56
Figure III.34 : Répartition horaire des incidents par saison en 2014.....	57
Figure III.35 : Répartition des incidents par mois et par niveau de tension en 2015.....	57
Figure III.36 : Répartition des incidents par saison en 2015.....	58
Figure III.37 : Répartition horaire des incidents par saison en 2015.....	58

Liste des Tableaux

Chapitre I

Identification de la région électrique Sud Est

Tableau I.1: Les cinq (05) régions électriques du réseau de transport d'énergie Électrique en Algérie	4
Tableau I.2: Les différentes tensions et lignes de la région	6
Tableau I.3: les coordonnées (X,Y) des usines de briqueterie de la région de Touggourt.....	8
Tableau I.4: les coordonnées (X,Y) des concasseurs de la région de Touggourt	8
Tableau I.5 : Situation des lignes 400 kV et 220 kV par rapport aux sources de Pollution	9
Tableau I.6: L'humidité moyenne de la région de Touggourt.....	9
Tableau I.7: La précipitation moyenne de la région de Touggourt.....	12
Tableau I.8: La température moyenne mensuelle de la région de Touggourt.....	14
Tableau I.9: La vitesse du vent moyenne mensuelle de la région de Touggourt.....	17
Tableau I.10: L'insolation moyenne mensuelle de la région de Touggourt de dix ans.....	19
Tableau I.11: L'évaporation moyenne mensuelle de la région de Touggourt de dix ans.....	21

Chapitre II

Les Isolateurs du Réseaux Electriques

Tableau II.1 : Classement de degré de pollution selon CEI 60 81-5.....	37
---	----

Introduction Générale

Introduction générale :

Les lignes électriques aériennes constituent et demeurent, à ce jour, l'un des moyens le plus utilisé et le plus économique pour transporter et distribuer l'énergie électrique aux usagers.

Parmi les préoccupations des exploitants de production et de transport de l'énergie électrique (exemple de **SONELGAZ «Société Nationale d'Electricité et de Gaz»**), il y a la fiabilité et la continuité de service durant toute l'année. Pour cela, il faut minimiser au maximum les coupures d'électricité. Une partie importante de ces coupures est due aux incidents survenus sur les lignes de transport d'électricité en haute tension (400kV 220 kV et 60 kV). Nous citons par exemple :

- L'effondrement d'un pylône ou la rupture d'un câble.
- La foudre.
- Un arrêt brusque de la production dans une centrale électrique
- Les contournements des isolateurs des lignes de transport de haute tension.

L'une des principales causes qui mènent au contournement des isolateurs des lignes de haute tension, la **pollution** des surfaces de ces derniers.

Le **GRTE « Gestionnaire Réseau Transport d'Electricité – Filiale SONELGAZ »** dont le réseau est exposé à une pollution dominante de différents types (marine : brouillard salin , industrielle : fumées et désertique : sable), souffre, à l'instar de plusieurs gestionnaires des réseaux électriques dans le monde, du phénomène de la pollution des isolateurs et subit les incidences techniques et financières dues à ce fléau.

La rigidité diélectrique des isolateurs est élevée si leurs surfaces sont propres et sèches, cette rigidité diminue si la surface est polluée. L'humidification de ces dépôts polluants engendre, dès la mise sous tension, la naissance d'un faible courant de fuite. Ce dernier circule le long des zones de résistivités différentes et modifie la répartition du potentiel entre les électrodes. La décharge électrique peut s'amorcer, si le champ électrique local atteint un certain seuil. Sous certaines conditions, cette décharge peut s'allonger sur la surface de l'isolateur menant au court-circuit de l'électrode haute tension et la masse; c'est le phénomène de contournement, dont les conséquences vont de la détérioration de la surface de l'isolateur à la mise hors service de la ligne haute tension. Une des caractéristiques principales d'un isolateur haute tension sera donc sa tenue au contournement en fonction de l'environnement dans lequel il est placé [1].

Devant ce phénomène contraignant pour le transport de l'énergie électrique et afin d'y faire face et minimiser au maximum les incidents dus à la pollution, plusieurs travaux de recherche ont été entrepris et continuent à l'être à ce jour à travers un grand nombre de laboratoires de recherche aussi bien à l'échelle nationale[1-2] qu'internationale [3-4] . Pour cela, la SONELGAZ a décidé

d'entreprendre, en étroite collaboration avec des chercheurs nationaux , un travail de recherche portant sur le phénomène de la pollution des isolateurs de haute tension en Algérie [2-5-6-7], dont notre travail constitue en fait une partie .

L'objectif principal de notre travail est l'étude de l'impact de la pollution désertique sur le comportement des isolateurs en région sud d'Algérie et l'influence du climat sur l'apparition des incidents dans les lignes HT des régions électriques de Sud.

La région qui a fait l'objet de notre étude est celle de Hassi Messaoud et Touggourt , situées au Sud Est Algérien.

Afin de déterminer l'impact de la pollution et le climat sur le comportement des isolateurs haute tension, ainsi que la sévérité des sites du point de vue de la pollution, l'étude a été divisée en trois chapitres:

Le premier chapitre , nous décrivons le réseau de transport d'énergie électrique en Algérie et plus particulièrement dans la région , les sources de pollution les plus importantes auxquelles les lignes sont exposées et enfin, les caractéristiques climatiques de la région (pluviométrie, température, humidité...etc.).

Dans le deuxième chapitre nous présentons des généralités traitant les isolateurs de haute tension, leurs caractéristiques, leurs différents types ainsi que les matériaux utilisés dans leur fabrication. Ce chapitre traite aussi le phénomène de la pollution en générale et ses conséquences néfastes sur le comportement des isolateurs.

Une étude des statistiques des incidents survenus sur le réseau de transport d'énergie électrique en haute tension (220 kV et 60 kV) de la régions , dus au problème de la pollution des isolateurs , est présentée dans le dernier chapitre.

Enfin, une conclusion générale termine notre travail.

Chapitre I

Identification de la région électrique Sud Est

I.1. INTRODUCTION

Dans cette partie, nous décrivons le réseau de transport d'énergie électrique en Algérie et plus particulièrement dans la région électrique du Sud Est d'Alger (Hassi Messaoud-Touggourt). Les sources de pollution les plus importantes qui peuvent nuire au bon fonctionnement des isolateurs dans la région électrique. Enfin, les caractéristiques climatiques.

En premier, nous allons commencer par une identification du réseau électrique dans la région, cet identification est faite par une description détaillée des lignes du réseau (niveau de tension de service, longueur de ligne, types d'isolateurs utilisés, pylône,...).

En suite, nous passons à l'identification des sources de pollution les plus importantes, qui pourraient être les cause des incidents dans la région, sources de pollution **naturelle** (sels marins, des poussières du sol, du sable véhiculé par le vent ...), ou **industrielle** (les zones industrielles, les briqueteries, les carrières (concasseurs), les centrales électriques, les cimenteries, fumées évacuées des usines industrielles...), et d'autre sources (les décharges publiques, le trafic d'automobile, ...) ainsi que la localisation des lignes 400 kV et 220 kV par rapport aux sources de pollution dans la région.

En fin, nous terminons ce chapitre par une étude climatologique de la région, cet étude se base sur les paramètres qui peuvent influencer sur le comportement des isolateurs. Parmi ces paramètres : **pluviométrie, vent, humidité, température,**

I.2. LE RESEAU DE TRANSPORT D'ENERGIE ELECTRIQUE EN ALGERIE :

Le rôle des réseaux de transport d'énergie électrique est d'assurer la liaison entre les grands centres de production et les grandes zones de consommation.

Le réseau de transport d'énergie électrique en Algérie est divisé en cinq (05) régions électriques [8], Géré par la **GRTE (Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité- Filiale SONELGAZ)**, Chaque région contient plusieurs villes comme il est indiqué dans le **[Tableau I.1] et [Fig. I.1]**. Le réseau est constitué de plus de 99% des lignes aériennes. Les niveaux de tension de service utilisés de ces lignes aériennes sont de 400kV, 220 kV et 60 kV avec la présence de quelques lignes en 90 kV et 150 kV.

Région	Villes
HassiMessaoud (Sud)	El Oued-Ouargla-Ghardaia-Laghouat- Adrar.
Setif (Est)	Bejaia-Jijel-Setif-Mila-B.Bou arreridj- Msila- Batna-Biskra.
Annaba (Est)	Skikda-Annaba-O.Bouaghi-Guelma-Khenchela-Tebessa-Souk Ahras.
Alger(Centre)	Alger-Médéa-Blida-Boumerdes-Bouira-Tiziouzou-Djelfa-Chlef-Khemis Miliana.
Oran (Ouest)	Oran-Relizene-Moustaganem-Mascara-A.Témouchent-S.Belabes-Tlemcen-Saida-Tiaret

Tableau.I.1 : Les cinq (05) régions électriques du réseau de transport d'énergie Électrique en Algérie

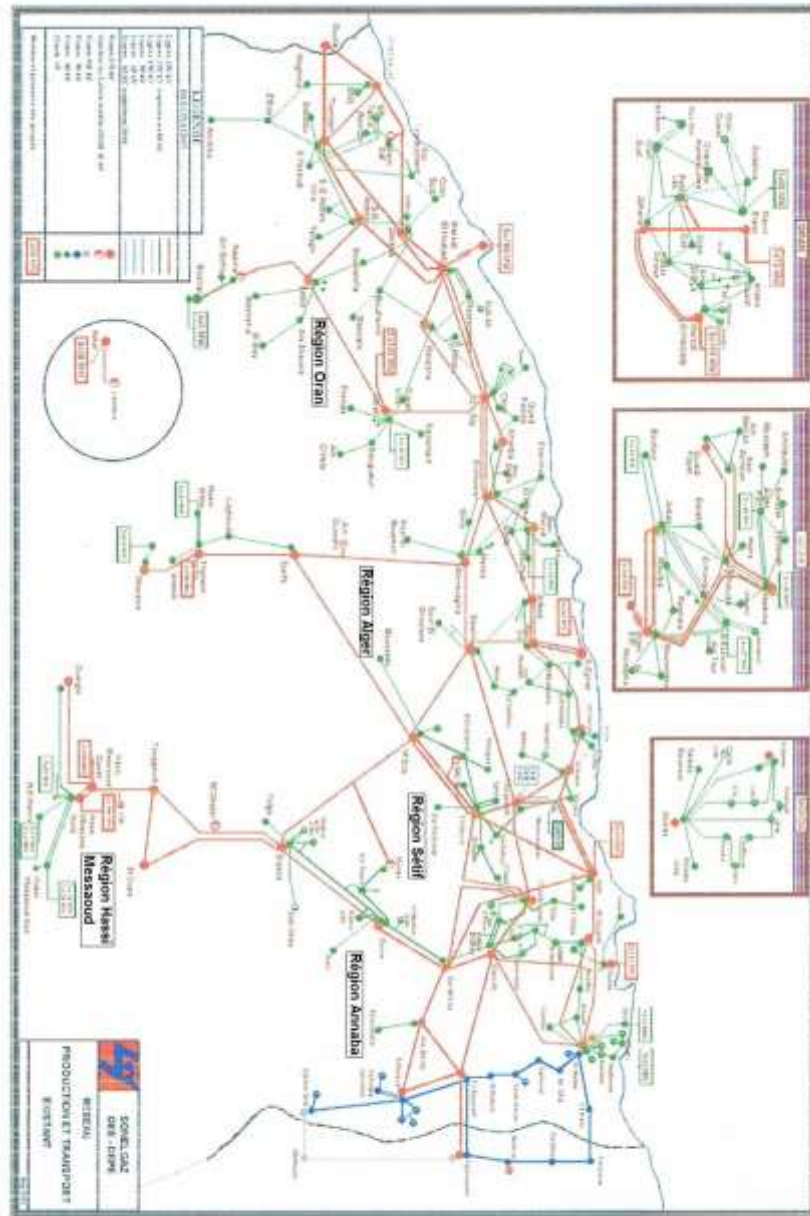


Figure I.1 : Les cinq (05) régions électriques du réseau de transport d'énergie Électrique en Algérie

I.2.1. Description du réseau électrique de la région de Touggourt et Hassi Messaoud :

Le réseau électrique de la région de Hassi Messaoud a de différentes catégories de tension qui traverse plusieurs zones [9] :

Catégorie de tension	Lignes	Longueur
Ligne 400 kV	- Hassi Messaoud-Hassi Rmel.	370 km
	- Hassi Messaoud-Biskra	410 km
Ligne 220 kV	- Hassi Messaoud-Touggourt	180 km
	- Hassi Messaoud-Amiria (El Oued)	300 km
	- Ouargla –Ghardaia	180 km
	- Hassi Messaoud-Ouargla	90 km
	- Touggourt-El Oued	90 Km
Ligne 60 kV	- Hassi Messaoud - Ouargla	90 Km

Tableau.I.2 : Les différentes tensions et lignes de la région

I.3. Les Sources de pollution :

Les sources de pollution les plus importantes qui peuvent influencer sur l'état de l'environnement, séparément ou simultanément dans la région électrique sont classées :

- Source de Pollution Naturelle.
- Source de Pollution Industrielle.
- Source de Pollution Mixte.

I.3.1 Les Sources de pollution Naturelle :

Cette source de pollution peut être marine, désertique, ou autre provenant des dépôts de poussières véhiculées par les vents.

a)- Pollution Marine :

Dans les installations en bordure de mer, les embruns portés par le vent déposent progressivement sur les isolateurs une couche de sel qui, à plus ou moins longue échéance, recouvre toute la surface de l'isolateur y compris les parties les mieux protégées. Cette couche de sel, humidifiée par les embruns eux même, ou par

un brouillard ou simplement par condensation, devient conductrice. Un courant de fuite s'établit alors à travers la couche superficielle et des arcs électriques peuvent prendre naissance dans certaines conditions, et se développer jusqu'à provoquer le Contournement total de l'isolateur [10-11].

b)- Pollution désertique :

Dans les régions désertiques, les fréquentes tempêtes de sables déposent progressivement sur les surfaces des isolateurs une couche de pollution contenant des sels. Une fois humidifiée, cette couche devient beaucoup plus conductrice. Un courant de fuite apparaît brusquement accompagné d'arcs partiels, dont la propagation à la surface de l'isolateur peut aussi conduire à un contournement total de l'isolateur [11-12].

c)- Autre source de pollution naturelle :

La pluie est un phénomène naturel propice à l'humidification des isolateurs par Excellence. Lorsqu'elle est intense, elle est susceptible de provoquer la désagrégation des dépôts solides. Cependant, cet auto lavage, favorable à l'amélioration des qualités Diélectriques des isolateurs, est contrarié par le phénomène de ruissellement.

En présence d'une pluie violente, un film continu d'eau peut s'établir d'une extrémité à l'autre de la chaîne ou de colonne isolante [3-7-11]. Comme l'eau n'est jamais Parfaitement isolante, ce phénomène peut entraîner le contournement de la chaîne d'isolateur ; c'est le contournement sous pluie.

I.3.2 Les Sources de pollution industrielle :

Ce type de pollution est fréquent dans les zones industrielles surtout à proximité des usines, entreprises de production éjectant des fumées (raffinerie, cimenterie, ...)

Par ailleurs les gaz d'échappements (centrale thermiques) et les engrais utilisés en agriculture contribuent aussi aux dépôts observés à la surface des isolateurs [10-12].

En présence d'une humidité intense, le sel contenu dans ces polluants baisse considérablement la résistivité superficielle des isolateurs et le contournement peut Parfois avoir lieu.

a)- Usine de briqueterie :

La région électrique de **Tougourt** est à proximité des usines de briqueterie, qui représentent des sources de pollution importantes, les rejets des gaz de combustion émanant des fours fonctionnant au gaz naturel avec les rejets des poussières dans l'atmosphère peuvent affecter les isolateurs.

Le nombre des usines de briqueterie à Tougourt est de 28 usines situées pratiquement le long de la route nationale RN N° 03 , dont les coordonnées (X,Y)

sont indiquées dans le Tableau I.3

N°	Usine	32S X	Y
1	Lotfi Rachedi	0226588	3682121
2	Nouhoud	0226620	3681983
3	Sarl Khadija	0226664	3681719
4	En Projet	0226705	3681345
5	En projet	0226580	3677687
6	En projet	0226470	3677322
7	Megarine	0226085	3674992
8	SakhriLazher	0226153	3674259

N°	Usine	32S X	Y
9	Hadja mama	0226155	3674055
10	SHN	0223441	3661980
11	SHN	0227775	3662418
12	Nejemi	0220949	3660279
13	En projet	0220762	3660143
14	Barached M.	0220689	3660093
15	Sarl BGO	0220382	3659865
16	En projet	0220561	3660221

N°	Usine	31S X	Y
17	STB	0779568	3658801
18	SPMC	0779481	3658651
19	Zlachi	0774922	3653014
20	Jdrai	0774577	3652500
21	Jabri	0774496	3652372
22	Salah SAT	0774142	3647780

N°	Usine	31S X	Y
23	Waguis	0774030	3646457
24	Benamar	0774138	3645787
25	Tarfaoui	0774177	3645649
26	Bendouma	0773787	3644490
27	Sarl Big Rod	0773492	3644352
28	En projet	0773175	3643806

Tableau I.3 : les coordonnées (X,Y) des usines de briqueterie de la région de Touggourt

b)- Carrières de gravier (Concasseurs):

La région électrique de **Hassi Messaoud** est à proximité des carrières, qui représentent aussi des sources de pollution importantes, avec les rejets des poussières dans l'atmosphère, ces derniers seront véhiculées par le vent et seront déposées sur les isolateurs .

Le nombre des carrières à Hassi Messaoud est de 14 carrières, dont les coordonnées (X,Y) sont indiquées dans le Tableau I.4.

N°	Carrière	31S X	Y
1	Zalachi	0773188	3559474
2	Satrech	0775977	3554871
3	Ben Brahim	0776025	3552046
4	Lalla	0774580	3549985
5	ESG Brahim	0774821	3549366
6	Ammari	0775756	3549228
7	ElWasl	0774808	3548749

N°	Carrière	31S X	Y
8	Hanka	0775639	3547640
9	Amouri	0775424	3545289
10	GCB	0777765	3541829
11	Sarl Satrech	0770541	3528630
12	Esgbenbrahim	0768102	3529315
13	Kadri	0767279	3529574
14	ETTR	0765905	3530964

Tableau I.4 : les coordonnées (X,Y) des concasseurs de la région de Touggourt

c)- Les centrales électriques :

Les centrales électriques à Hassi Messaoud sont des centrales thermiques dont la source d'énergie est la combustion du gaz naturel qui conduit à des rejets des gaz [(CO) : monoxyde de carbone].

d)- Les décharges publiques :

Les décharges publiques sont de véritables sources de pollution, les fumées dégagées des incendies contiennent pas mal de gaz polluants.

Des lignes électriques haute tension à **Touggourt** sont à proximité d'une zone de décharge publique.

e) - Le trafic routier :

Dans les grandes agglomérations urbaines, la pollution de l'atmosphère provient en majeure partie des activités de transports. Cette pollution est provoquée principalement par la combustion de combustibles fossiles (en particulier de pétrole sous forme d'essence et de diesel).

I.3.3 Sources de pollution Mixte :

Ce type de pollution résulte de la combinaison entre les différents types de pollutions, comme par exemple les pollutions marine et industrielle lorsque les installations électriques sont situées en bord de mer [10-11].

I.3.4 Situation des lignes 400 kV et 220 kV par rapport aux sources de Pollution :

La situation des lignes par rapport aux sources de pollution est représentée comme suit :

Lignes	Longueur	Sources et distances par rapport aux sources de pollution
400 kV Hassi Messaoud -Biskra	410 km	• Les carrières de gravier est de 1.5 km de la ligne. • A proximité de la route Nationale RN °3. • Les torches . • Zone désertique (dune de sable).
220 kV Hassi Messaoud-Ouargla	90 km	• Les carrières de gravier est de 2 km de la ligne. • A proximité de la route Nationale RN °49. • Zone désertique (dune de sable).
220 kV Hassi Messaoud - Touggourt	180 km	• Les carrières de gravier est de 1.5 km de la ligne. • A proximité de la route Nationale RN °3. • Les usines de briqueteries est de 1 km. • Zone désertique (dune de sable).
220 kV Hassi Messaoud –El	300 km	• Les carrières de gravier est de 2 km de la ligne. • A proximité de la route Nationale RN°3et RN°16.

Amiria El Oued		• Les carrières de gyps est de 1km. • Zone désertique (dune de sable).
220 kV Touggourt – El Oued	300 km	• Les carrières de gravier est de 2 km de la ligne. • A proximité de la route Nationale RN°3et RN°16. • Les carrières de gyps est de 1km. • Zone désertique (dune de sable).

Tableau I.5 : Situation des lignes 400 kV et 220 kV par rapport aux sources de Pollution

I.4. La Climatologie de la région électrique de Touggourt [13]:

I.4.1. L'humidité :

L'humidité est un état de climat qui représente le pourcentage de l'eau existant dans l'atmosphère.

L'humidité moyenne de la région représentée dans le tableau ci-dessous [Tableau I.5.] ,[Fig.I.2] ,où on remarque un minimum enregistré pendant le mois de juillet avec une valeur de l'ordre de 29.4 % et un maximum enregistré pendant le mois de décembre avec une valeur de 64.4 %. L'humidité relative est de 60.90 % en hiver et de 31.50 % en été dont la valeur moyenne annuelle est de 45.90%.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Moyenne
Humidité (%) àTouggourt	63,7	54,6	47,1	41,7	36,3	32,4	29,4	32,8	43,2	49,0	56,2	64,4	45,9

Tableau I.6 : L'humidité moyenne de la région de Touggourt

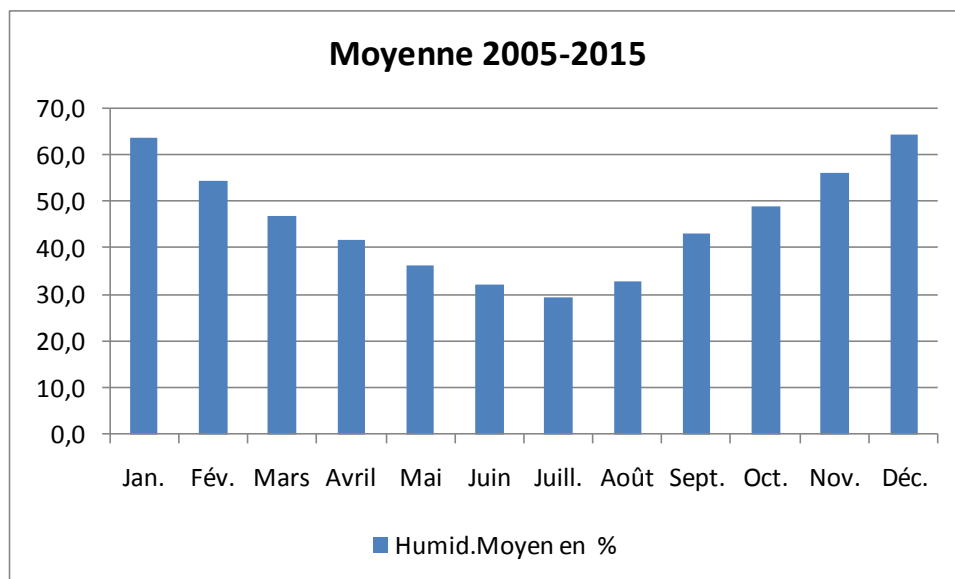
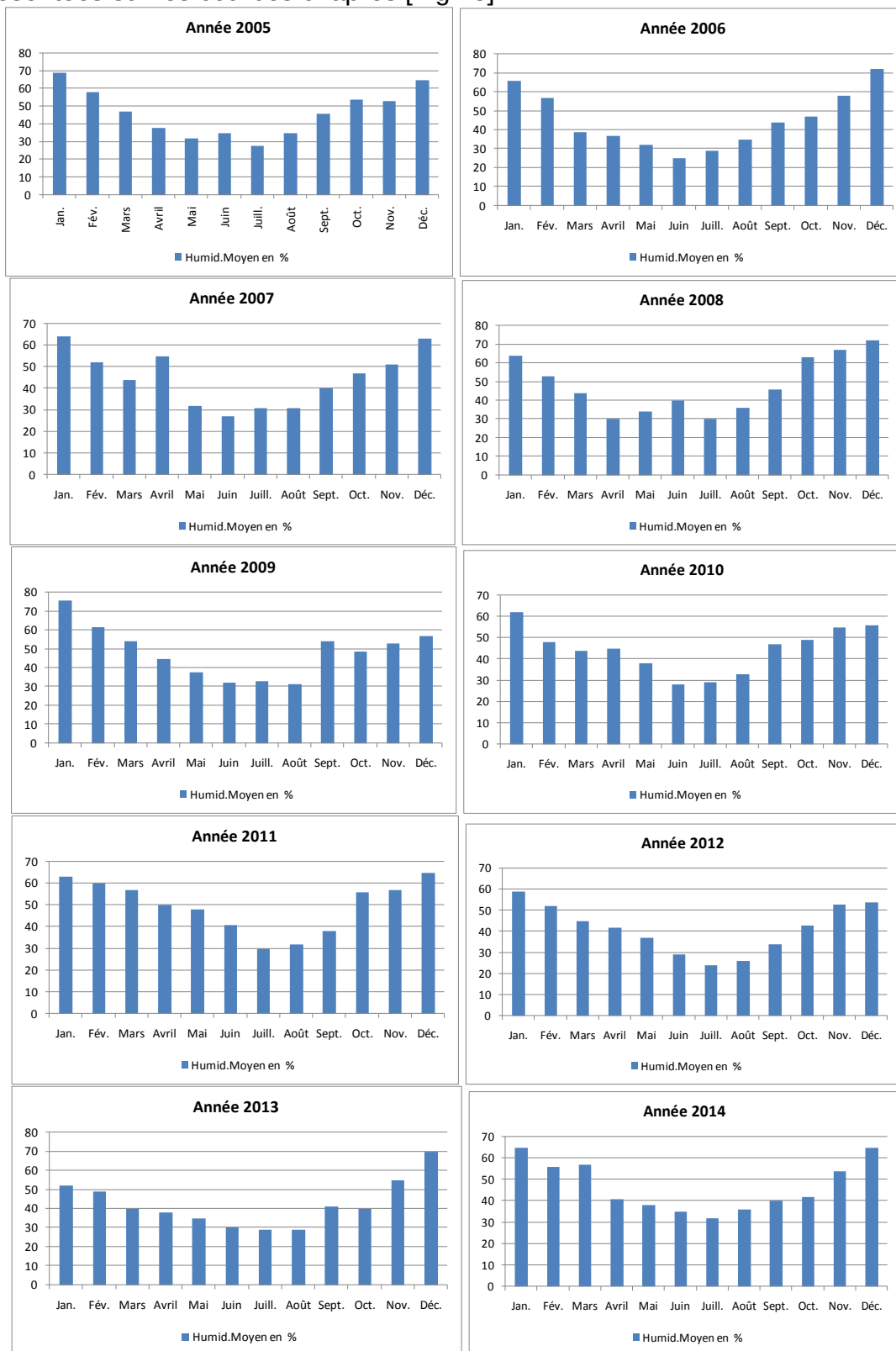


Figure I.2. : Répartition mensuelle de la moyenne de dix ans de l'humidité à Touggourt

L'humidité mensuelles des dix ans (2005-2015) à Touggourt sont représentées sur les courbes ci-après [Fig I.3].



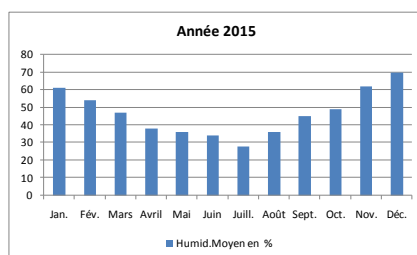


Figure I.3 : Répartition moyenne mensuelle de l'humidité par année

I.4.2. Les Précipitations pluviales :

Les fortes pluies permettent, en général de nettoyer les surfaces polluées des isolateurs, par contre leur rareté dans cette région explique entre autres l'existence du phénomène de contournement.

La hauteur moyenne mensuelle des précipitations entre l'année 2005 et 2015 est de 3,6 mm à Touggourt, elle atteint un maximum de 7,80 mm au mois d'Avril et un minimum de 0,10 mm au mois de Juillet [Tableau I.6], [Fig.I.4].

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Moyenne
Précipitation Moyenne Mensuelle (2005-2015 à Touggourt)	6,4	4,8	3,2	7,8	0,9	0,6	0,1	3,8	4,4	4,9	2,1	4,1	3,6

Tableau I.7: La précipitation moyenne de la région de Touggourt

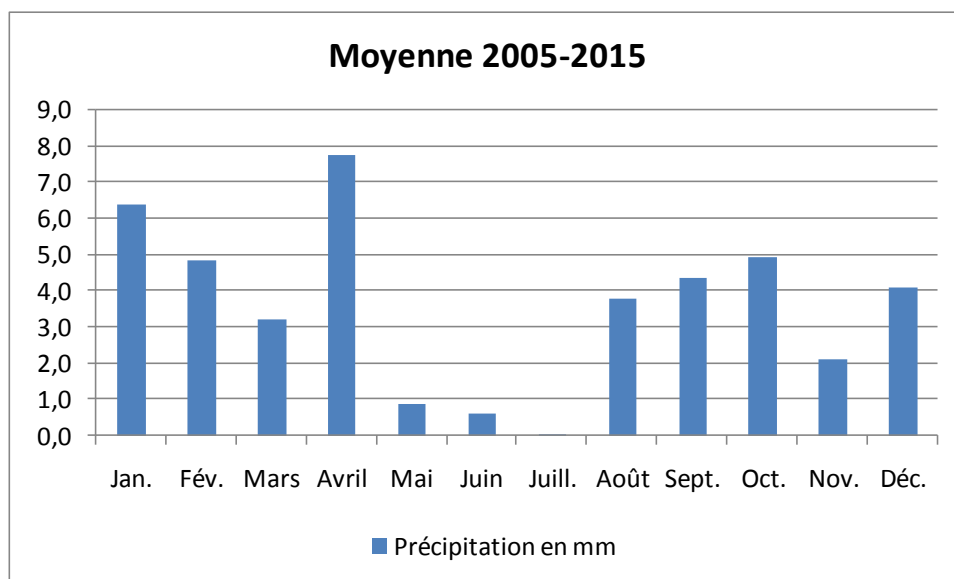
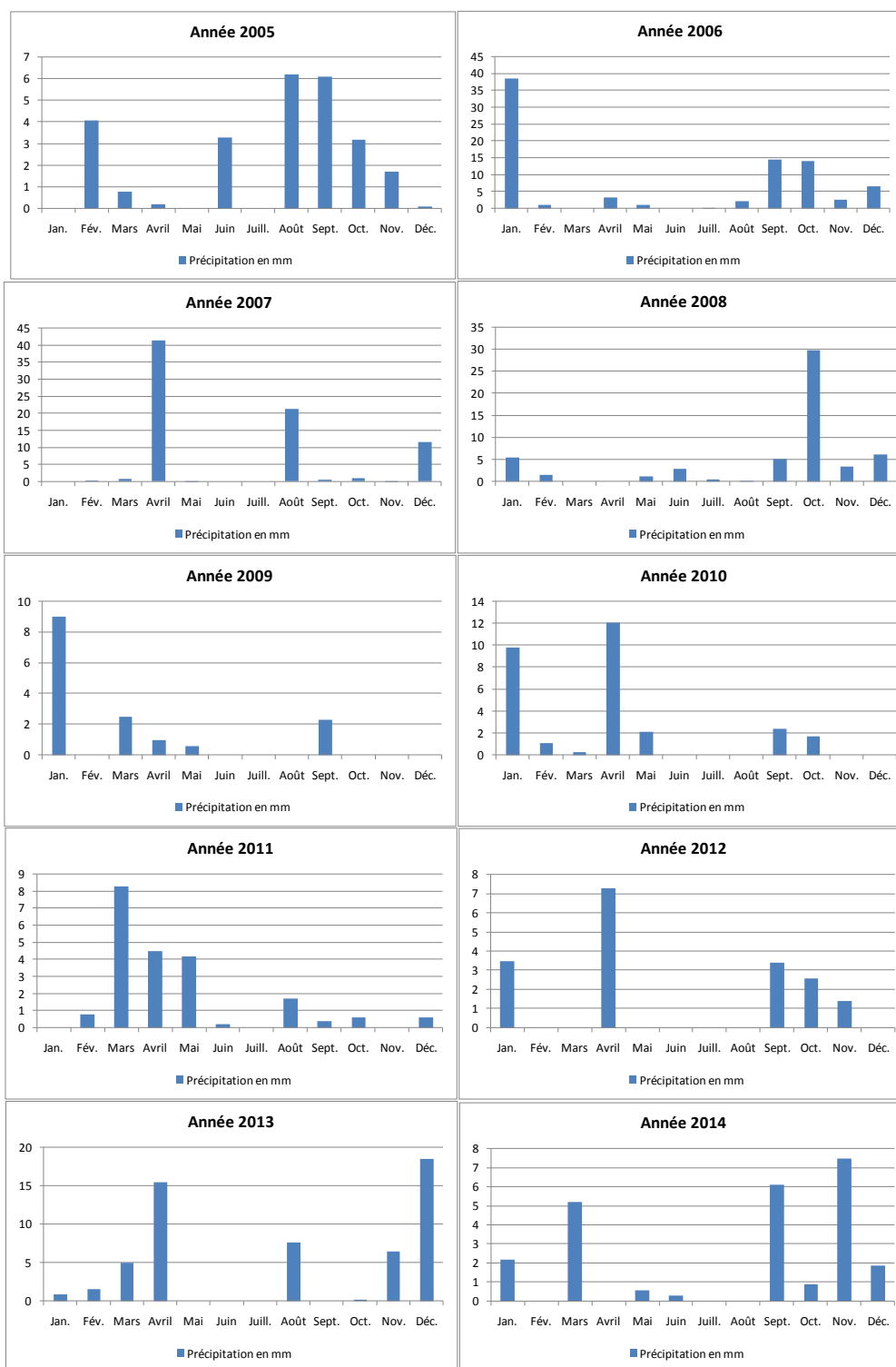


Figure I.4 : Répartition mensuelle de la moyenne de dix ans de la précipitation à Touggourt

Les précipitations mensuelles des dix ans (2005-2015) à Touggourt sont représentées sur les courbes ci-après [Fig I.5].



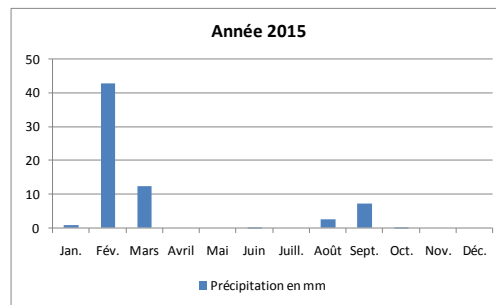


Figure I.5 : Répartition moyenne mensuelle de la précipitation par année

En général, nous constatons une rareté des pluies dans cette région qui favorise le phénomène de contournement des isolateurs.

I.4.3. La Température :

La Température joue un rôle très important dans le comportement des isolateurs. Contrairement à une température élevée qui favorise le séchage des couches polluantes, augmentant ainsi leur résistance superficielle, une température basse favorise l'humidification des couches polluantes et par conséquent le contournement des chaînes isolateurs.

Dans la région Le mois le plus froid est le mois de janvier avec une température moyenne mensuelle de 11.30°C, juillet est le mois le plus chaud avec une température moyenne mensuelle de 34.60°C . [Tableau I.7] , [Fig.I.6].

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Température Maximale (C°)	17,48	19,30	24,09	28,88	33,75	38,53	42,08	41,06	35,84	30,48	23,33	18,18
Température Moyenne (C°)	11,30	12,81	17,28	21,88	26,53	31,21	34,60	33,79	29,41	23,75	16,72	11,95
Température Minimale (C°)	5,08	6,34	10,52	14,89	19,25	23,85	27,15	26,58	23,01	16,99	10,15	5,66

Tableau I.8 : La température moyenne mensuelle de la région de Touggourt

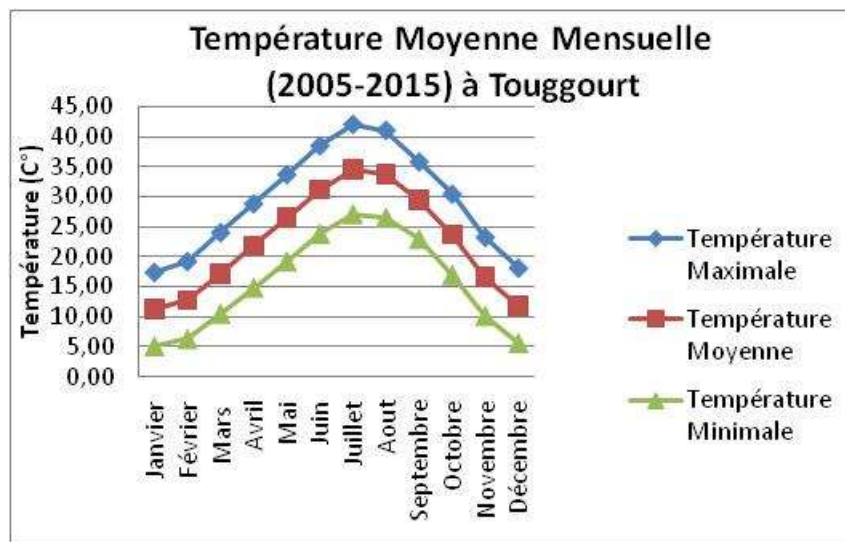
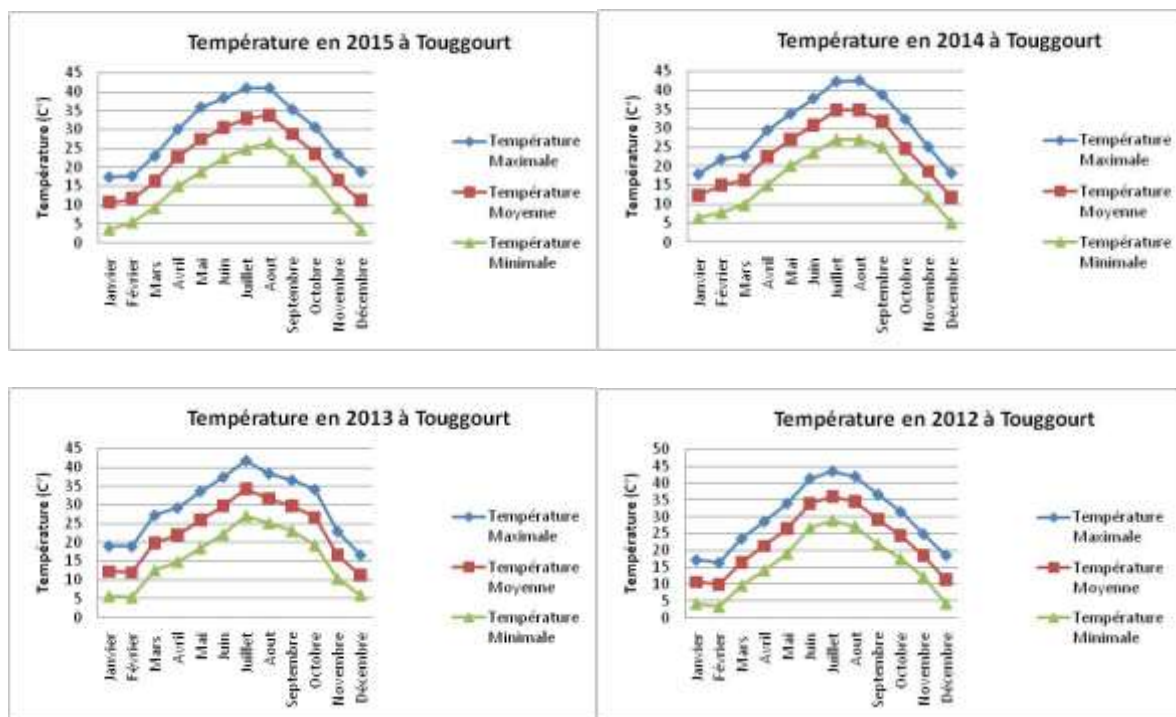


Figure I.6 : Répartition mensuelle de la moyenne de dix ans de la température

Les températures mensuelles des dix ans (2005-2015) à Touggourt sont représentées sur les courbes ci-après [Fig.I.7].



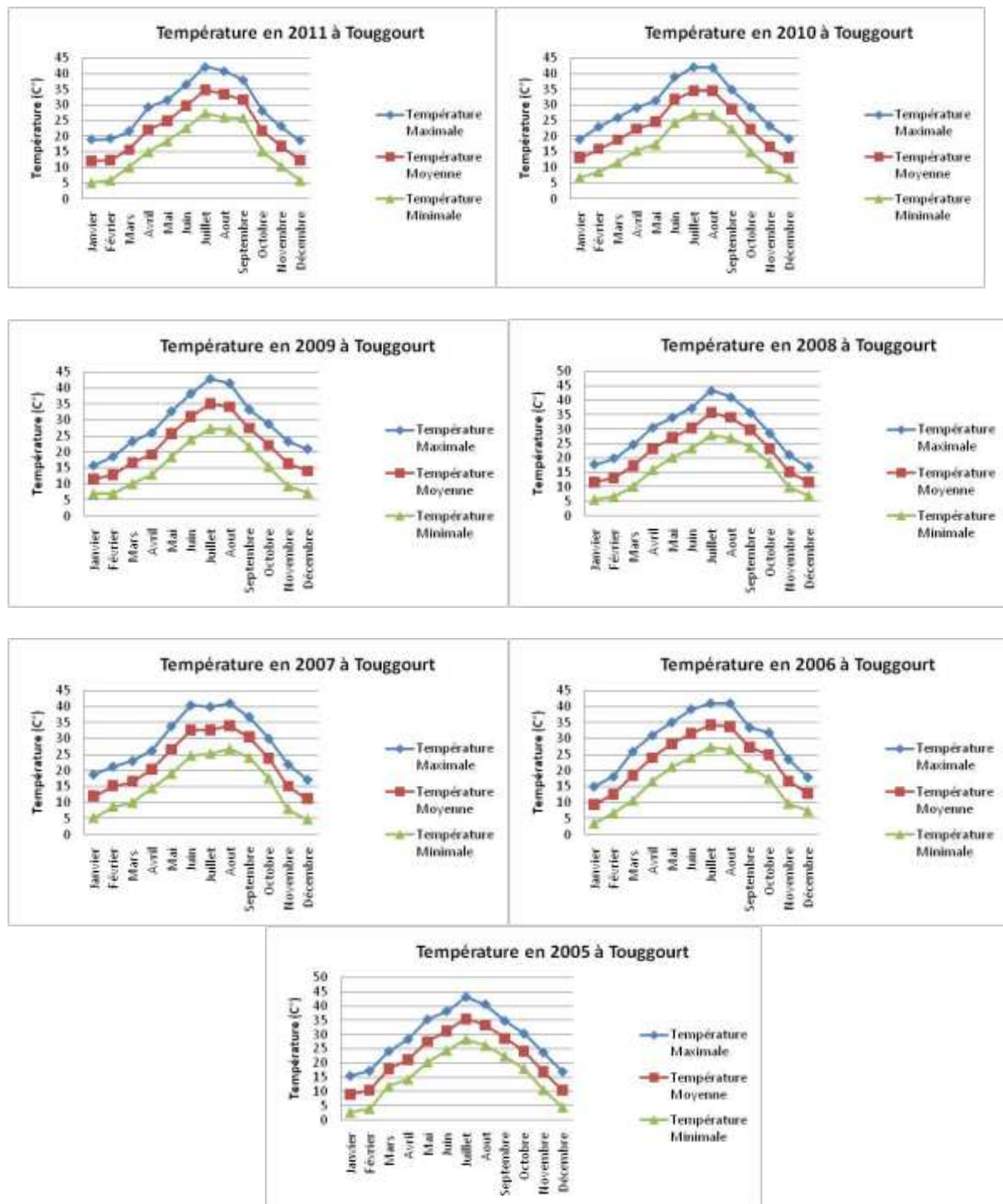


Figure I.7 : Répartition moyenne mensuelle de la température par année

Nous voyons donc que les températures subissent de fortes variations dans la région.

Il faut noter que dans la région, le refroidissement qui se produit pendant la nuit, l'humidité augmente considérablement pendant les premières heures du matin, qui donne naissance à la rosée.

I.4.4. Le vent :

Les vents sont fréquents, les plus violents se situent au printemps. La direction dominante est Nord-Est, à l'exception des mois d'hivers dont la direction est Sud Ouest.

Le sirocco (Chihili) présente le vent caractérisant la saison d'été souffle fréquemment dans la région, prenant un sens Sud-Nord et jeter des courants d'air chaud parfois avoisiner des vagues de sables. Il faut aussi parler des vents de sables qui ont leurs saisons de prédilection entre février et avril (durant le printemps). Mais heureusement, les véritables tempêtes restent très rares.

Dans la région, les vents ont une moyenne de 29 m/s et une moyenne maximale de 37 m/s, les statistiques notent 65 vents de vitesse supérieure à 20 m/s, une moyenne de 18 jours de tempêtes de sable par an. Ce genre de vents violents est l'origine de la propagation de la pollution. [Tableau I.8], [Fig.I.8].

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Moyenne
Vent Moy.1/10m/s	2,4	3,0	3,5	3,6	3,7	3,5	3,0	2,9	2,8	2,6	2,3	1,9	2,9

Tableau I.9 : La vitesse du vent moyenne mensuelle de la région de Touggourt

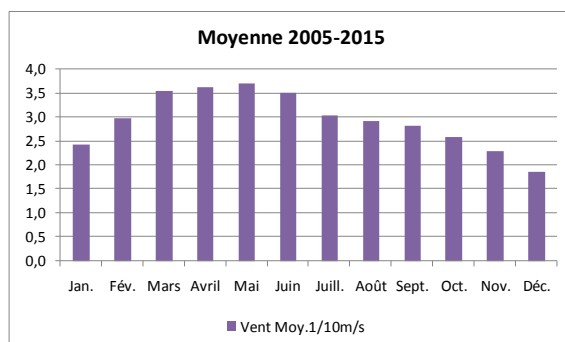
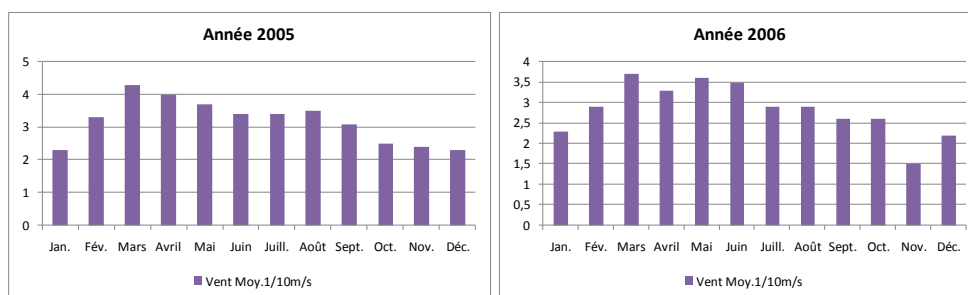


Figure I.8 : Répartition mensuelle de la moyenne de dix ans de la vitesse du vent

La vitesse du vent mensuelles des dix ans (2005-2015) à Touggourt est représentée sur les courbes ci-après [Fig.I.9].



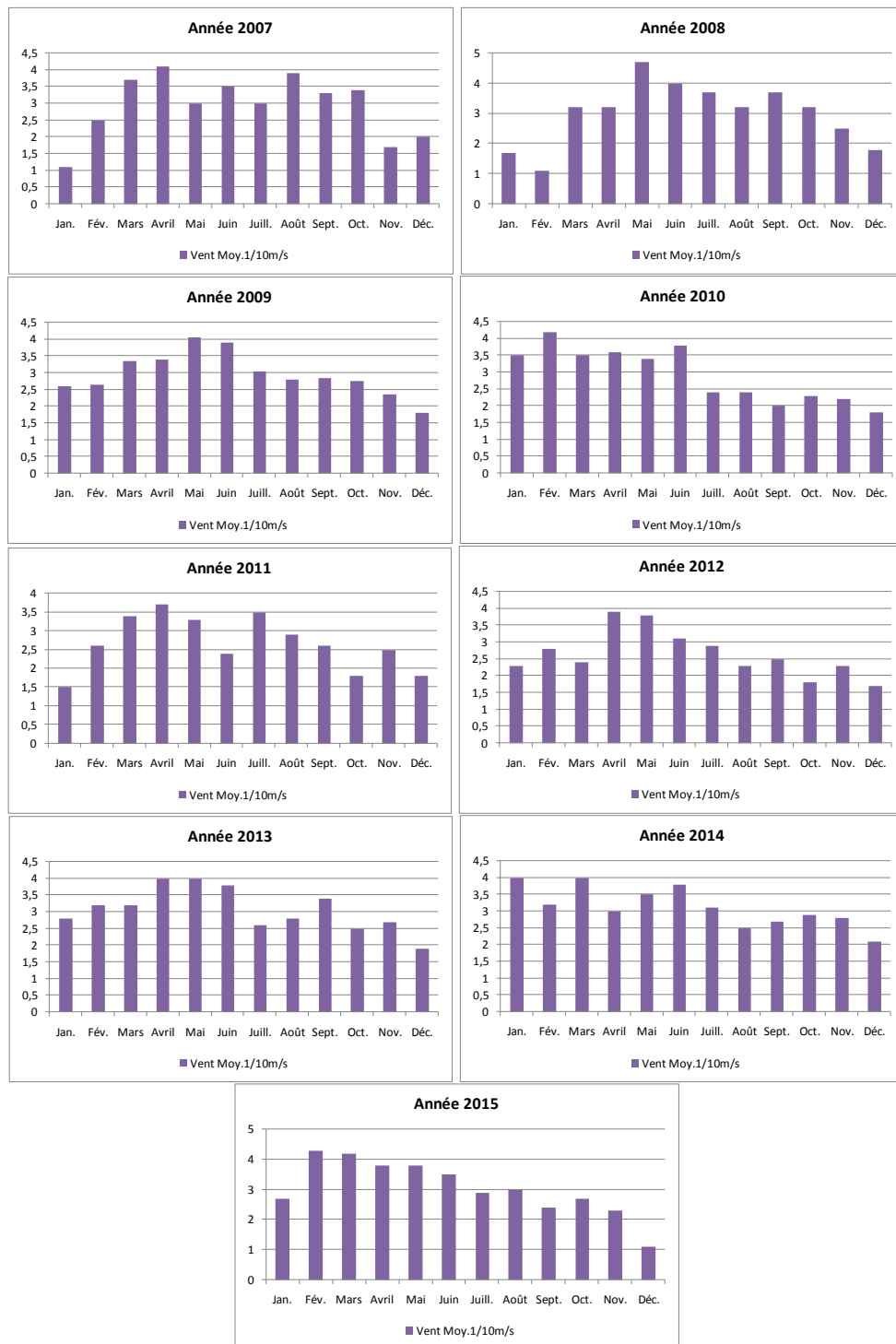


Figure I.9 : Répartition moyenne mensuelle de la vitesse du vent par année

I.4.5. L'Insolation :

Au Sahara Algérien, la nébulosité étant faible, la durée d'insolation est très importante. Celle-ci est beaucoup accentuée en été, elle est maximale dans les régions centrales et généralement est plus élevée au Sahara orientale qu'au Sahara occidentale.

Dans la région La brillance du soleil est maximum au cours du mois de juillet avec une moyenne de 359,90 heures, et le minimum est enregistré pendant le mois de décembre avec une moyenne de 238,70 heures.

Le rayonnement solaire est excessif (le moyen annuel est de 3414 h/ans) ce qui traduit par un pouvoir évaporant élevé. [Tableau I.9] , [Fig.I.10]

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Moyenne
Insolation en H	249,0	237,6	270,2	284,2	328,5	312,2	359,6	335,9	271,7	270,7	255,3	238,7	284,5

Tableau I.10 : L'insolation moyenne mensuelle de la région de Touggourt de dix ans

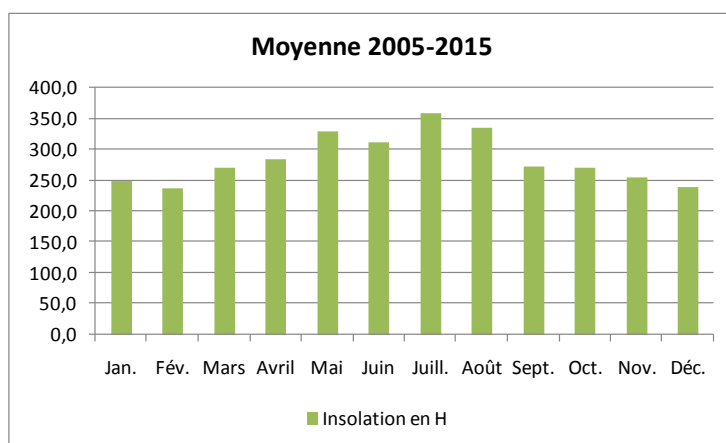
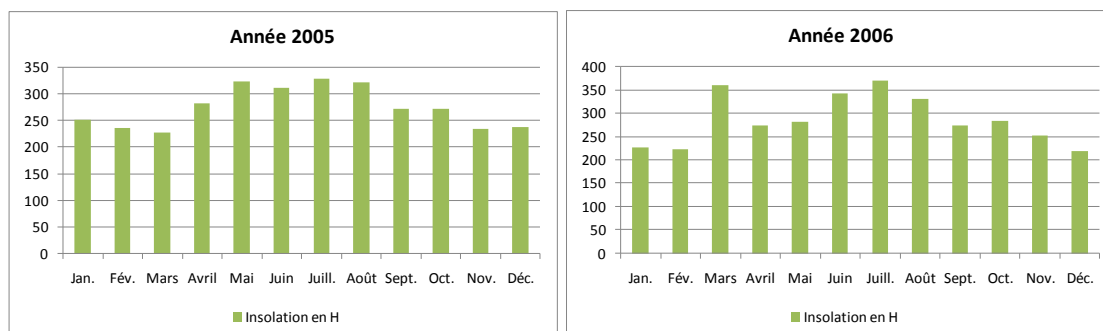


Figure I.10 : Répartition mensuelle de la moyenne de dix ans de l'insolation

L'insolation mensuelle des dix ans (2005-2015) à Touggourt est représentée sur les courbes ci-après [Fig.I.11].



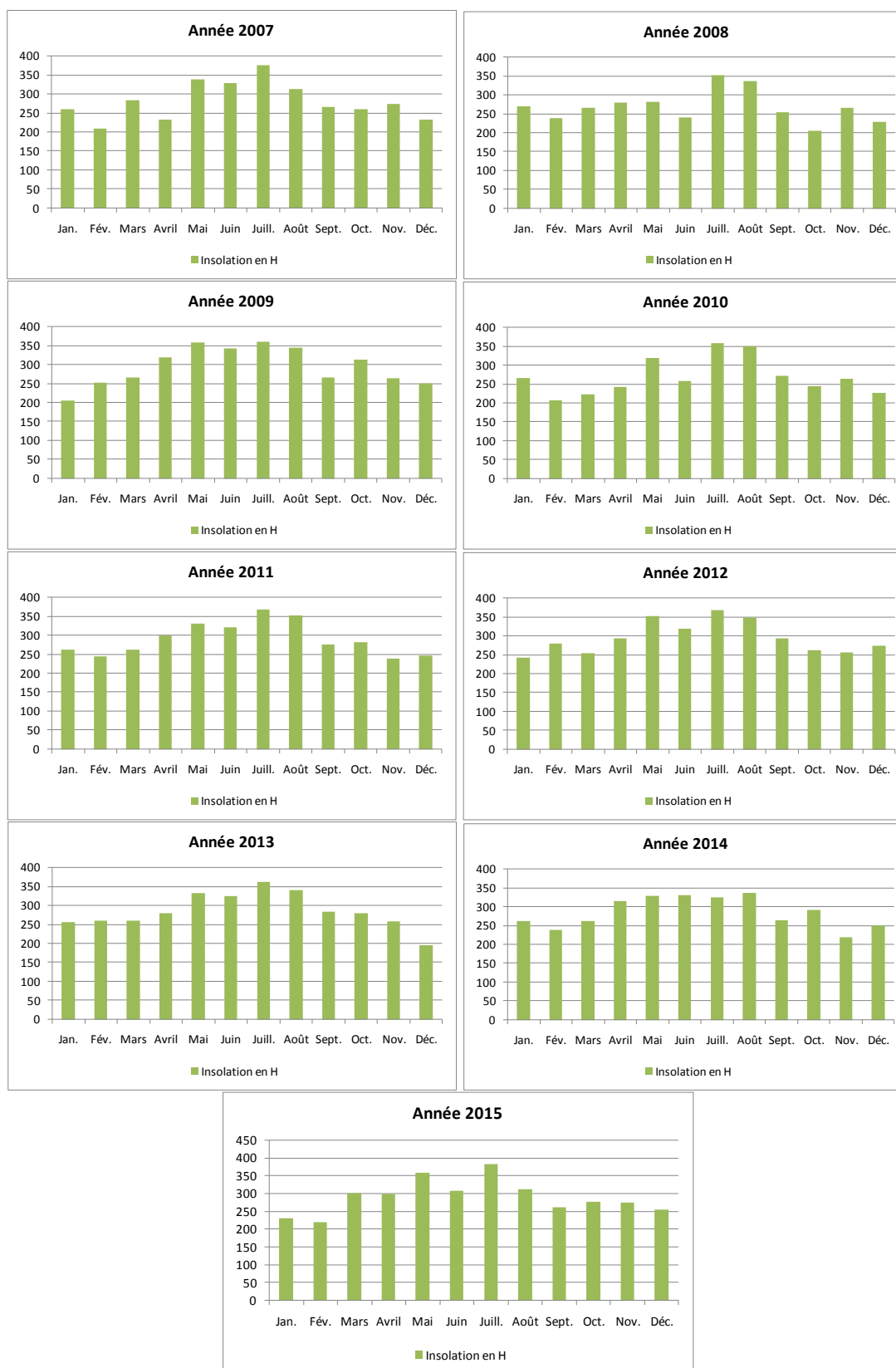


Figure I.11 : Répartition moyenne mensuelle de l'insolation par année

I.4.6. L'évaporation :

L'évaporation augmente avec la température. A Touggourt l'évaporation est très intense, elle est une moyenne de 69,93 mm/an.

Dans la région de Touggourt , l'évaporation est maximum au cours du mois de juillet avec une moyenne de 325.30 mm, et le minimum est enregistré pendant le mois de décembre avec une moyenne de 76.0 mm, elle est une moyenne annuelle de 187,20 mm. [Tableau I.10] , [Fig.I.12]

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Moyenne
Evaporation en mm	83,3	112,3	151,4	199,2	228,5	286,8	325,3	281,0	211,5	167,1	124,6	76,0	187.2

Tableau I.11: L'évaporation moyenne mensuelle de la région de Touggourt de dix ans

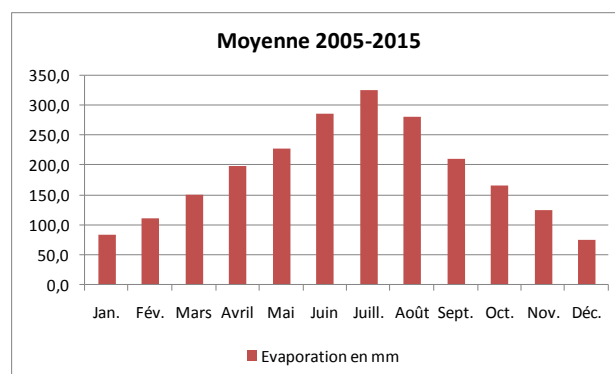
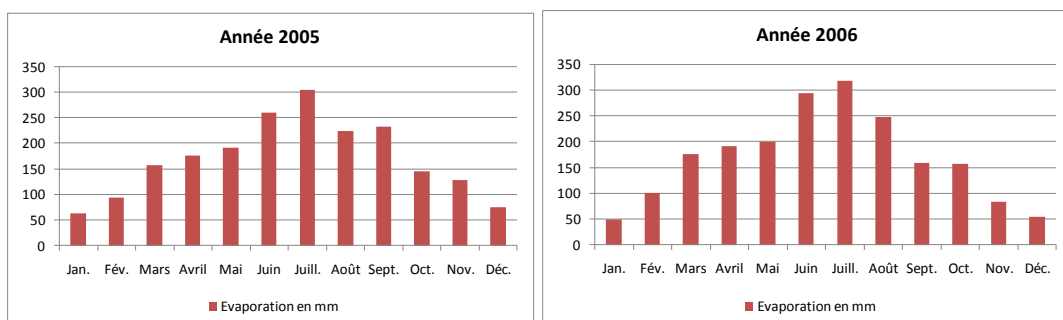


Figure I.12 : Répartition mensuelle de la moyenne de dix ans de l'évaporation

L'évaporation mensuelle des dix ans (2005-2015) à Touggourt est représentée sur les courbes ci-après [Fig.I.13].



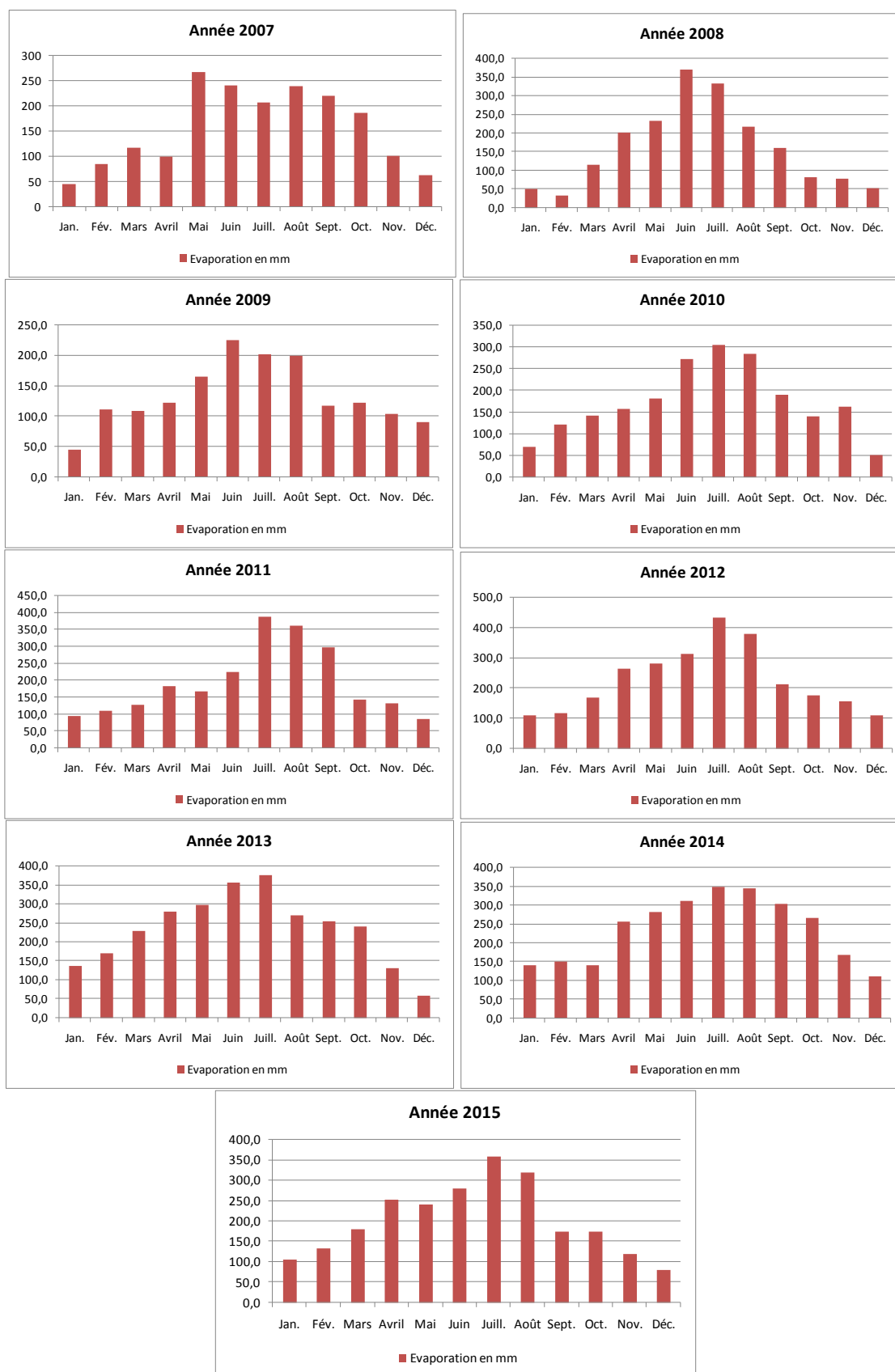


Figure I.13 : Répartition moyenne mensuelle de l'évaporation par année

I.5.Conclusion :

Le réseau électrique Algérien dans la région électrique de Touggourt est exposé à plusieurs sources de pollution de différentes natures, et qui varient d'une source à une autre.

La pollution industrielle est très importante car la région électrique est à proximité des usines (Briqueterie, carrière ou concasseur etc..) , l'analyse a montré que les substances les plus importantes sont des rejets des gaz et des poussières . Ces rejets n'affectent pas l'air seulement mais tout l'environnement, l'importance de la source de pollution dépend de la quantité des rejets dégagés par celle-ci.

La pollution naturelle dans la région est fréquente par des tempêtes de sables qui déposent progressivement sur les surfaces des isolateurs une couche de pollution contenant des sels, ces derniers changent le comportement des isolateurs.

L'influence des sources de pollution dans une région sur une ligne ou plusieurs lignes dépend des conditions climatiques qui varient d'un site à un autre.

Les facteurs climatiques tels que la pluviométrie, l'humidité, le vent, la température, la rosée, varient d'une année à une, et d'un site à un autre. Cette variation peut être utilisée pour l'interprétation d'apparition des incidents due à la pollution dans le réseau électrique.

Chapitre II

Les Isolateurs du Réseaux Electriques

II.1. INTRODUCTION :

Le transport de l'énergie électrique nécessite, pour des raisons techniques et économiques l'utilisation d'un réseau électrique de tensions élevées (lignes HT et THT). Ceci requiert une conception et réalisation de produits, appareils et systèmes aptes à générer et supporter des champs électriques intenses : leur dimensionnement doit par conséquent être soigneusement étudié.

Dans le cas des lignes de transport d'énergie, les isolateurs séparent les pièces sous tensions, par des distances adaptées assurant une bonne rigidité du système. Cependant, la pollution de ces derniers a pour effet de réduire la rigidité des isolateurs, ce qui fausse le dimensionnement, et peut conduire à un contournement.

Dans cette partie, nous rappellerons quelques définitions spécifiques à ce domaine, puis présenterons les différents types d'isolations dans les réseaux électriques. Nous nous intéresserons, en particulier, aux isolateurs haute tension, ainsi qu'à leur constitution et fonctionnement.

II.2. GENERALITES :

II.2.1. Définitions :

- On appelle « **isolement** » d'un ouvrage ou d'un appareil électrique, son aptitude à supporter la tension, ou plus généralement, les contraintes électriques qui lui sont appliquées.
- On appelle « **isolation** » l'élément matériel ou l'ensemble des dispositifs constructifs qui assurent cet isolement.
- On appelle « **Décharge disruptive** » : Phénomène associé à une défaillance de l'isolation sous l'effet de la contrainte électrique, avec chute de la tension et passage d'un courant (une décharge disruptive dans un diélectrique solide entraîne une perte permanente de la rigidité diélectrique) [14].

Dans la pratique on distingue plusieurs types de rupture diélectrique [3]:

- a. **L'amorçage** : Lorsque la disruption a lieu dans un gaz séparant deux électrodes métalliques (éclateur à tige) .
 - b. **Le contournement**: Représenté par une décharge disruptive le long de la surface de séparation séparant un diélectrique solide et un gaz .
 - c. **Le claquage**: Lorsque la rupture diélectrique s'est produite dans la masse d'un isolant solide, liquide ou composite (huile, papier dans l'huile, polythène ...), ce terme est quelque fois utilisé dans le langage courant dans le cas de l'air.
- **Tension de tenue** : C'est le niveau de tension le plus haut, que peut supporter une isolation sans provoquer de décharge disruptive ou contournement dans le cas des isolateurs [15] .

- **Courant de fuite** : C'est un courant de faible amplitude circulant à travers la couche polluante humectée le long de la surface isolante. Il est de type électrolytique et peut être un courant résistif pour une isolation totalement polluée ou un courant capacitif dans le cas d'une isolation parfaitement propre.[2].
- **Courant de fuite critique** : C'est le courant minimal nécessaire pour provoquer un contournement par pollution sur un isolateur à une tension donnée .Il est dépend sous une tension donnée à la ligne de fuite, c'est-à-dire la contrainte spécifique exprimée en kV/cm .[3].
- **Ligne de fuite** : La plus courte distance ou sommes des plus courtes distances suivant les contours des surfaces extérieures des parties isolantes entre les parties qui sont normalement soumises à la tension de service [14].
- **Conductance superficielle** : La conductance superficielle est le rapport du courant de fuite (à fréquence industrielle) circulant à la surface de l'isolateur sur la tension appliquée. Elle caractérise l'état global de la surface isolante[16]
- **Tension de contournement** : La tension de contournement est le niveau de tension le plus bas à partir duquel tous les arcs joignent les deux électrodes. Elle dépend [1]:
 - a)- de la résistivité volumique moyenne de la pollution.
 - b)- de la répartition de la couche de pollution.
 - c)- du profil et des dimensions de l'isolateur.
- **Contrainte de contournement** : La contrainte de contournement d'isolateur est le rapport de la tension de contournement à la longueur totale de l'isolateur [1].

II.3. LES ISOLATEURS DU RESEAUX ELECTRIQUES :

Les isolateurs entrent pour un faible pourcentage dans le prix d'une ligne aérienne, mais ils sont un élément essentiel. Leur rôle est de relier les conducteurs sous tension aux supports et d'assurer l'isolement électrique entre ces deux parties constitutives de la ligne [14].

II.3.1. Définition :

L'isolateur est un matériau isolant solide qui présente une très grande résistance au passage du courant et dont la conductivité est pratiquement nulle. Il est utilisé pour isoler les conducteurs ou les pièces sous tension afin d'empêcher les court circulations, les pertes de courant et les charges d'électrocution [17-18].

II.3.2. Fonctionnement et constitution d'un isolateur [10]:

Les isolateurs sont des composants indispensables au transport et à la distribution de l'énergie électrique. Leur fonction est de réaliser une liaison mécanique entre des conducteurs portés à des potentiels différents accrochés aux

pylônes des lignes aériennes, ils maintiennent les conducteurs dans la position spécifiée (*isolateurs d'alignement et d'ancrage*), ils permettent de raccorder les matériels électriques au réseau (*traversées de transformateur, extrémités de câbles*), ils constituent, également, l'enveloppe de certains appareils (*disjoncteurs, parafoudres, réducteurs de mesure*).

Les isolateurs sont conçus et dimensionnés pour résister aux contraintes prévisibles introduites par l'environnement.

Un isolateur est constitué en général de deux parties : une partie isolante et des pièces métalliques de liaison, scellées sur cette partie isolante.

L'isolateur de haute tension est formé par un isolant auquel sont fixés deux pièces métalliques M1 et M2 tel que **M1** se fixe au pylône et **M2** porte le conducteur. Il a un double rôle:

- Un rôle mécanique : porte le conducteur.
- Un rôle électrique : isole le conducteur par rapport au pylône.

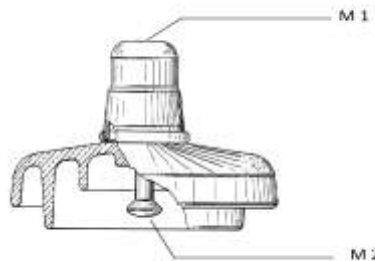


Figure II.1. Isolateur de haute tension type capot et tige.

II.3.2.1 Isolants :

On trouve plusieurs isolants solides qui peuvent être utilisés pour la fabrication des isolateurs de haute tension comme le verre, la céramique et la porcelaine. Mais durant ces dernières années, la porcelaine est de plus en plus abandonnée à cause de deux inconvénients principaux qui sont : le poids lourd des isolateurs et la difficulté de détection des amorçages [19-20].

- Céramiques :

Le développement et la fabrication des céramiques datent depuis longtemps à cause de leurs performances. Pour les isolateurs qui vont être utilisés dans des lieux où il y a des contraintes mécaniques très importantes, on utilise de préférence des céramiques à grains très fins. Souvent on trouve les céramiques dans les postes: isolateurs supports, couverture isolante des sectionneurs, des disjoncteurs, des transformateurs de potentiel, des bornes de traversées des transformateurs de puissance.

- Verre :

En Algérie, les isolateurs utilisés dans les lignes de moyenne et haute tension sont en verre. Parmi les avantages que présentent le verre, le bas prix et l'observation des défauts sont très facile. On trouve deux types de verre pour la fabrication des isolateurs : le verre trempé et le verre recuit.

Le **verre trempé** est obtenu par réchauffage de l'isolant retiré du moule à une température d'environ 700 °C, puis refroidi par des jets d'air sous pression. Le verre trempé présente une contrainte mécanique en traction environ 5 à 6 fois plus grande que celle du verre recuit et peut supporter des variations brusques de température pouvant atteindre 100 °C.

Le **verre recuit** a surtout été utilisé pour faire des isolateurs rigides, mais on s'est aperçu que les isolateurs un peu épais ne résistaient pas aux variations brusques de température. De plus, le verre recuit ne supporte que des tensions mécaniques relativement faibles, ce qui interdit son emploi pour les isolateurs de suspension.

- Matériaux synthétiques :

Les isolateurs en matériaux synthétiques sont composés d'un centre en fibres de verre imprégnées d'une résine et d'un revêtement à ailettes de type élastomère. Leur avantage est qu'ils sont légers et présentent une grande résistance mécanique . Ils ont de bonnes propriétés hydrophobes et peuvent être utilisés dans des conditions de pollution très sévères. L'inconvénient de ces isolateurs est le vieillissement sous l'effet des différentes contraintes auxquelles ils sont soumis (électriques, mécaniques, atmosphériques...).

II.3.2.2 Pièces métalliques de liaison :

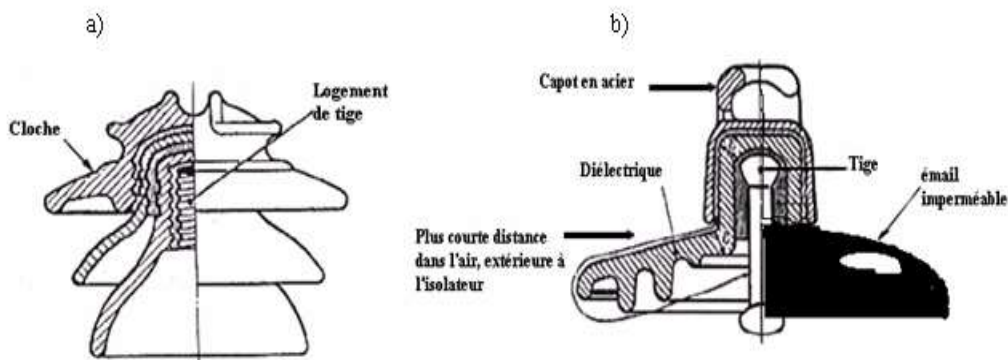
Les parties isolantes constitutives de l'isolateur sont reliées entre elles ou au support par des pièces métalliques (figure II.2), réalisées par des différents métaux qui doivent répondre aux contraintes mécaniques et thermiques appliquées à l'isolateur au cours de son exploitation.

Les principaux **métaux ou alliages** utilisés sont :

- **Les fontes malléables**, permettant de réaliser des pièces minces et de forme compliquée, par exemple les capots d'isolateurs.
- **Les aciers au carbone**, employés pour la réalisation des pièces forgées, en particulier les tiges d'isolateurs.
- **Les alliages d'aluminium** et les **alliages de cuivre** et de **bronze d'aluminium**, permettant de fabriquer certains capots.
- **Les alliages de zinc** qui, compte tenu de leur température de fusion, permettent de couler directement les capots sur les diélectriques des isolateurs de faible résistance mécanique.

La liaison entre pièces métalliques et partie isolante est réalisée à l'aide d'un **scellement** qui peut être fait au mortier de ciment Portland ou alumineux. Des alliages de plomb-antimoine, des mélanges de soufre et de poudre céramique sont également utilisés.

De la qualité du scellement et des différents assemblages dépendent, en grande partie, la sécurité d'exploitation et la durée de vie de l'isolateur.



a .Vue en coupe d'un isolateur rigide

b .Vue en coupe d'un élément d'isolateur à chaîne

Figure II.2 (a,b) : Vue en coupe des deux types d'isolateur [3].

II.3.3. Principaux types d'isolateurs [20] :

II.3.3.1. Isolateurs de type rigide :

Un isolateur rigide (figure II.3) est relié au support par une ferrure fixe. Tous les isolateurs rigides normalisés sont livrés avec une douille scellée de telle façon qu'ils puissent être vissés directement sur les ferrures correspondantes. La céramique et le verre sont les deux matériaux utilisés pour les isolateurs rigides.

Ce type d'isolateurs est utilisé pour les lignes aériennes qui ne dépassent pas le niveau de tension de 60 kV.



Figure II.3 Vue en coupe d'un isolateur rigide en verre

II.3.3.2. Isolateurs à capot et tige:

L'isolateur à capot et tige (figure II.4) est constitué d'un bloc isolant portant à sa partie supérieure un capot scellé en fonte malléable et à l'intérieur une tige en acier, avec cannelures et dont la tête conique est également scellée dans le verre ou la porcelaine. L'extrémité inférieure de cette tige est arrondie et a les dimensions voulues pour pénétrer dans le capot de l'élément suivant, et y être maintenue par une goupille. L'assemblage consiste à effectuer un scellement du capot et du diélectrique par du ciment, puis celui de la tige et du diélectrique.

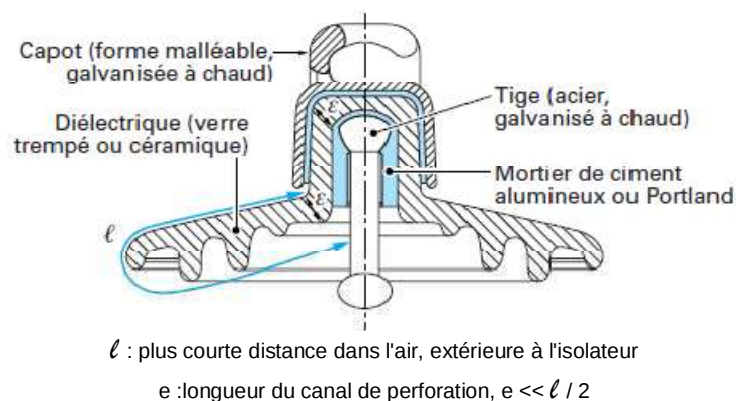


Figure II.4: Isolateur à capot et tige

Il existe plusieurs profils d'isolateurs à capot et tige, et ceci pour un meilleur fonctionnement selon les contraintes naturelles du site :

a-Profil standard : La forme et les dimensions sont en accord avec la normalisation Internationale (CEI 305 1978), à cause de leur planéité, les rainures internes bien espacées et la longueur de la ligne de fuite supérieure à la demande standard. Ce type est très utilisé dans les endroits à pollution moyenne.



Figure II.4.a : Isolateur à capot et tige de profil standard.

b-Profil antibrouillard (forme A) : Son diamètre est plus grand que celui du profil standard .Il est muni de deux ou trois rainures à grande profondeur. Le profil et les grands espacements des rainures permettent un auto-lavage par l'action de vent et de la pluie. Cette conception permet également un lavage manuel facile si c'est nécessaire.



Figure II.4.b : Isolateur à capot et tige de profil antibrouillard (forme A)

c-Profil antibrouillard (forme B) : Dans cette conception, l'épaisseur de la rainure extérieure agit comme une barrière contre l'action du brouillard et de dépôt des sels minéraux sur la surface de l'isolateur, empêchant alors la formation d'un électrolyte conducteur sur la surface.

Ce type d'isolateur est efficace dans les zones côtières.



Figure II.4.c : Isolateur à capot et tige de profil antibrouillard (forme B)

d-Profil plat (Aérodynamique) : L'élimination complète des rainures internes réduit l'accumulation des agents polluants sur la surface basse, grâce au courant d'air, cette conception est particulièrement efficace dans les zones désertiques où l'auto lavage est peu fréquent par la pluie. Ce type d'isolateurs est plus utilisé dans la région électrique de Touggourt, Hassi Messaoud, Ouargla et El Oued.



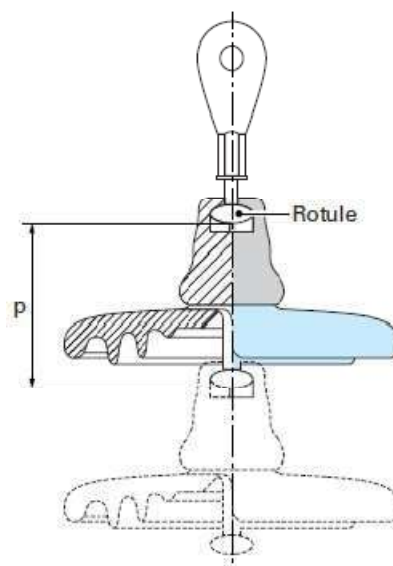
Figure II.4.d : Un isolateur à capot et tige de profil plat (Aérodynamique)

e-Profil sphérique : La forme sphérique d'une longueur de fuite importante avec absence des rainures internes permet un lavage manuel facile et efficace.



Figure II.4.e : Isolateur à capot et tige de profil sphérique.

II.3.3.3. Chaîne d'isolateurs : Une chaîne d'isolateurs (figure II.5) est constituée de plusieurs éléments de type capot et tige ou autres. Ces éléments sont soumis principalement à des efforts de traction. Ils sont généralement utilisés en suspension et forment des chaînes d'isolateurs soit verticales (alignement), soit horizontale (ancrage).



p : pas nominal

Figure II.5 : Chaîne d'isolateurs: assemblage à rotule

II.3.3.4. Isolateurs à Long fût:

Ce type peut être soit:

a)- Constitué d'un cylindre plein en céramique, ou en porcelaine, muni d'ailettes (Fig II.6), avec une pièce métallique de liaison à chaque extrémité. Celle-ci peut être enveloppante en forme de capot scellé autour des extrémités tronconiques prévues sur le cylindre, ou bien en forme de tige scellée dans une cavité prévue à cet effet. De tels isolateurs peuvent être utilisés unitairement ou en série de plusieurs éléments en fonction de leur longueur et du niveau d'isolement requis .

b)- Constitué d'un matériau synthétique dont la caractéristique principal est la bonne tenue à la pollution, le faible encombrement, la résistance au vandalisme et la légèreté, en particulier lorsqu'on les compare aux chaînes d'isolateurs pour les lignes de tension électrique élevée Ce type d'isolateurs est appelé composite, il est constitué de trois parties selon le rôle :

- Un noyau en fibre de verre, imprégnées de résine, capable d'assurer l'isolement et de supporter les efforts mécaniques générés par les conducteurs.

- Un revêtement en élastomère en EPDM (Ethylène Propylène Diène Monomère), vulcanisés à chaud qui donne le profil et précise la ligne de fuite tout en protégeant le noyau contre toute attaque des agents extérieurs en assurant l'étanchéité au raccordement avec les pièces métalliques d'extrémités. Son profil à ailettes alternées permet d'accroître la tenue sous pollution.



Figure II.6 Isolateurs à long fût

II.3.4. Choix des isolateurs [20] :

Bien que le prix de pose des isolateurs dans une ligne aérienne ne représente qu'un prix modeste par rapport aux prix de pose de la ligne, ce sont des éléments essentiels qui assurent la sécurité d'exploitation.

Les isolateurs les mieux adaptés à un environnement donné sont ceux qui retiennent le taux de dépôts polluants le moins élevé c'est-à-dire les isolateurs qui possèdent les meilleures propriétés d'auto nettoyage. Ainsi, la forme et le profil des isolateurs apparaissent désormais comme un critère de choix pour la sélection des isolateurs sous pollution.

L'isolateur est soumis à plusieurs contraintes électriques et mécaniques bien définies selon les caractéristiques intrinsèques de la ligne et qui peuvent devenir très élevées pour des conditions d'ambiance particulière.

C'est d'ailleurs la connaissance de la sévérité de la pollution et des contraintes accidentelles qui permet de choisir le matériel le plus adapté.

On choisit les isolateurs :

- En fonction de la tension de service de la ligne.
- En fonction des efforts mécaniques auxquels ils sont soumis (poids des conducteurs et du givre action du vent, tension mécanique des conducteurs éventuellement) .
- En ce qui concerne leur nature (rigides ou suspendus), en fonction du prix de revient de la ligne et de son importance.
- En fonction de la sévérité de pollution du site.

Les études effectuées [9] montrent que le facteur prédominant pour la tenue sous pollution est la ligne de fuite L_f de l'isolateur. Les isolateurs le plus couramment utilisés ont un rapport : $2 < L_f/p < 2,5$ avec p : pas.

II.4. LE PHENOMENE DE LA POLLUTION DES ISOLATEURS :

La pollution des isolateurs est l'une des contraintes les plus importantes, dont il faut tenir compte dans l'exploitation des lignes de haute tension.

En effet la pollution qui recouvre les surfaces isolantes diminue considérablement la tension de tenue des isolateurs, et conduit dans des cas critiques au contournement des isolateurs, ce qui constitue la situation la plus grave, provoquant la mise hors service de la ligne.

Pour obtenir un dimensionnement convenable de l'isolation, il est nécessaire de connaître les mécanismes conduisant au contournement des isolateurs.

II.4.1.Types de pollution :

Les principales sources de pollution de l'atmosphère sont naturelles, industrielles ou mixte (combinées).

La pollution naturelle provient des dépôts de sels marins, des poussières du sol (notamment lors de chantiers importants) , du sable véhiculé par le vent .

Dans la région de Touggourt la pollution est due surtout aux tempêtes de sable , elle peut affecter d'importants tronçons du réseau .

Aussi la pollution de la région est due à la pollution industrielle qui provient des fumées évacuées des usines industrielles (centrales électriques , briqueteries , carrières de gravier (concasseur), gaz brûlés sortant des torches...etc).

La pollution mixte englobe les deux sources de pollutions citées précédemment.

II.4.2. Formation et répartition des couches polluantes :

L'écoulement d'air dans l'environnement transporte les particules de la poussière dans les régions désertiques ou les sels au niveau des régions en bord de la mer, cela en présence des isolateurs, engendre la formation d'une couche polluante de poussière et/ou de sel . Ses particules se déposent sur la surface de l'isolateur, la répartition de la couche de pollution dépend de plusieurs facteurs: forme de l'isolateur utilisé dans l'isolement, hauteur et la disposition (horizontale ou verticale) des chaînes d'isolateurs par rapport au sol et du niveau de tension appliquée, et par conséquent, l'interaction de ces facteurs rend la répartition de la couche polluante non uniforme sur la surface de l'isolateur ,cette non uniformité augmente par l'augmentation de la longueur de la chaîne d'isolateurs .

II.4.3. Conséquences de la pollution :

Les couches polluantes qui s'accumulent à la surface des isolateurs provoquent une conductivité électrique superficielle . Celle-ci modifie la répartition du potentiel le long de la ligne de fuite. Suivant les conditions atmosphériques (pluie fine, brouillard,...), la tension de rupture diélectrique de l'air peut être atteinte entre deux points de la surface isolante entraînant l'amorçage d'un arc électrique qui court-circuite une partie de la ligne de fuite.

Trois cas peuvent se présenter selon les contraintes auxquelles est soumis l'isolateur [14]:

- Arc non localisé :

L'arc électrique s'éteint rapidement, puis se réamorce aléatoirement à un autre endroit et ainsi de suite. Il y a apparition d'un courant de fuite intermittent entraînant une perte d'énergie relativement faible et généralement supportable par l'installation.

- Arc fixe :

L'arc électrique se fixe à la surface, soit en s'y maintenant (courant continu), soit en se réamorçant au même endroit (courant alternatif). Cet arc peut entraîner, par effet thermique, une dégradation du support isolant nécessitant le remplacement de l'élément défaillant.

- Court-circuit

Dans ce cas, l'arc électrique atteint l'électrode opposée. Ainsi, la formation d'un pont conducteur sur la surface isolante polluée favorise le passage d'un fort courant, ce cas engendre la rupture totale de l'isolation.

II.4.4. La sévérité de pollution :

Le choix des isolateurs à installer dans un site ne peut se faire que si la sévérité de pollution de ce site est connue. En effet, la mesure de cette sévérité est indispensable afin de dimensionner convenablement les isolateurs du réseau pour assurer un service continu et sans défaillance dans un site donné [3].

La sévérité est caractérisée par le degré de précipitation des dépôts polluants et leur conductivité [11]. L'évaluation de la sévérité de pollution est basée généralement, soit sur la détermination expérimentale de la conductance superficielle de la couche polluante, soit sur le signal du courant de fuite (forme, amplitude, nombre de pics et déphasage par rapport à la tension appliquée).

Le niveau de sévérité de la pollution est déterminé à partir de la salinité équivalente, en d'autre terme l'ESDD (Equivalent Salt Deposit Density) dont la méthode de détermination est expliquée dans les sections suivantes. Selon cette salinité, la sévérité de pollution est répartie en quatre classes .

II.4.5. Classifications de types de pollution :

La composition de la pollution est variable suivant les sources de contamination et les conditions auxquels sont soumis les isolateurs. La norme CET 815 donne le classement de la pollution suivant son origine (Tableau II.1). Essentiellement, les types de pollution qui existent sont: la pollution naturelle, la pollution industrielle et la pollution mixte.

Faible (2.5 g/l)	▪ Zones sans industries et avec faible densité d'habitations équipées l'installation de chauffage. ▪ Zones avec faible densité d'industries ou d'habitations mais soumise fréquemment aux vents et/ou pluies. ▪ Régions agricoles. ▪ Régions montagneuses.
------------------	---

Moyenne (10 g/l)	▪ Zones avec industries ne produisant pas de fumées particulièrement polluantes et/ou avec une densité moyenne d'habitation équipée d'installation de chauffage. ▪ Zones à forte densité d'habitation et/ou d'industries mais soumises fréquemment à des chutes de pluies. ▪ Zones exposées aux vents de mer, mais trop proches de la cote.
Forte (80 g/l).	▪ Zones avec forte densité d'industries et banlieues de grandes villes avec forte densité d'installation de chauffage polluantes. ▪ Zones situées près de la mer, ou en tout cas exposées à des vents relativement forts venant de la mer.
Très forte (160 g/l).	▪ Zones généralement peu étendues, soumises à des fumées industrielles produisant des poussières conductrices. ▪ Zones généralement peu étendues, très proches de la cote et exposées aux embruns ou au vent fort et polluant venant de la mer. ▪ Zones désertiques caractérisées par de longues périodes sans pluie, exposées aux vents forts transportant de sable et du sel soumis à une condensation régulière.

Tableau II.1 Classement de degré de pollution selon CEI 60 81-5 .

II.4.6. Techniques de lutte contre la pollution :

Plusieurs moyens sont utilisés afin de protéger les lignes contre les incidents lorsqu' ils sont en service .Ces moyens de lutte doivent tenir compte des données propres au site considéré et du changement possible de la sévérité de pollution dû à de nouveaux facteurs (apparition d'une nouvelle usine à proximité d'un poste, ...). Parmi les méthodes les plus utilisées [3-11-14]:

II.4.6.1. Allongement de la ligne de fuite :

Elle permet d'adapter le dimensionnement aux nouvelles conditions de pollution. Deux techniques sont employées :

- Le changement de type d'isolateurs (pour allonger la ligne de fuite) c'est une opération très coûteuse et souvent impossible à réaliser en poste.
- L'utilisation de prolongateurs de ligne de fuite en matériaux polymères, qui sont collés sur la surface des isolateurs existants.

II.4.6.2. Isolateurs plats (Aérodynamique):

L'utilisation d'isolateurs plats (figure II.4.d) conduit à diminuer la ligne de fuite. En effet, ces isolateurs sans nervures ont la propriété d'accumuler moins de pollution que les isolateurs traditionnels et s'auto-nettoient très bien sous l'effet du vent. Ils sont principalement utilisés dans les régions désertiques où la principale source d'humidification est la condensation, soumis à des tempêtes de sable.

II.4.6.3. Graissage périodique :

Grâce à ces propriétés hydrophobes, le graissage protège temporairement les isolateurs. La longévité du graissage dépend de l'environnement et de la qualité intrinsèque du produit.

Elle est généralement comprise entre un et quatre ans. En plus du coup de l'opération, cette méthode est appliquée uniquement pour les isolateurs de postes qui nécessite une interruption de service, ce qui représente un inconvénient majeur.

II.4.6.4. Revêtement silicones :

Il consiste à appliquer, par pulvérisation ou au pinceau, un caoutchouc silicone qui se vulcanise à température ambiante à la surface des isolateurs .Il protège et améliore leur tenue sous pollution .Par contre, sa longévité est nettement supérieure à celle du graissage.

II.4.6.5. Isolateurs composites :

Ils ont de bonnes propriétés hydrophobes et peuvent être utilisés dans des conditions de pollution très sévères. Cependant, ces isolateurs, revêtus d'un polymère voient leurs caractéristiques changer au cours du temps ; ils peuvent vieillir sous l'effet des différentes contraintes (électriques et climatiques) auxquelles ils sont soumis en service.

II.4.6.6. Nettoyage des isolateurs :

Il existe trois types [17]:

- Le nettoyage manuel (essuyage à sec de l'isolateur) ou le lavage hors tension, peuvent être utilisés de façon périodique, en particulier dans les postes, nécessitant des interruptions de service assez longue.
- Le lavage sous tension qui permet d'éviter les coupures à l'aide d'installations fixes ou mobiles. Dans ce cas, il est effectué selon des règles strictes concernant la qualité de l'eau de lavage, le processus de lavage et les distances de sécurité à respecter, pour éliminer tout risque de contournement pendant le lavage.
- Le nettoyage à l'aide d'un abrasif pulvérisé sous pression. C'est une technique utilisée dans certains pays (Amérique du nord, en particulier). Cette méthode permet le nettoyage pour des agents polluants très adhérents (ciment) et peut être utilisée pour dégraisser les isolateurs.

II.5. Conclusion :

Les isolateurs entrent pour un pourcentage très modeste dans le prix d'une ligne aérienne moyenne tension. Cependant, ils sont des éléments essentiels dont dépendent la sécurité d'exploitation, la qualité et la continuité de service.

Avant toute réalisation de n'importe quel ouvrage de haute tension, une étude de détermination du degré de pollution du site concerné doit être nécessairement faite, afin de permettre le bon dimensionnement et le bon choix de l'isolation à utiliser. En effet, il est recommandé que cette étude de détermination du degré de pollution soit par une expérimentation aussi longue que possible, par ce que la sévérité de la pollution d'un site peut changer. L'apparition d'une nouvelle usine à proximité d'un poste ou d'une ligne, la construction d'un ouvrage routier voisin ou tout simplement, un événement météorologique exceptionnel peuvent augmenter, durablement ou temporairement, la pollution du site, alors qu'un poste ou une ligne y sont déjà en exploitation. Le dimensionnement initialement correct des isolateurs peut alors devenir insuffisant et il faut pouvoir protéger les installations existantes contre les nouvelles sources de pollution éventuelles.

Chapitre III

Analyse des statistiques des incidents dans la région électrique Sud Est

III.1. Introduction :

La résolution des problèmes dus à la pollution des isolateurs de haute tension peut s'effectuer à l'aide d'un traitement des incidents provoqués par cette pollution. Une analyse détaillée concernant les incidents survenus sur les lignes de transport d'énergie électrique nous permet d'identifier les sources et les causes principales de leur apparition, ainsi que les années critiques, la période la plus difficile de l'année et même la période de la journée où le nombre d'incidents est le plus élevé. Elle permet aussi de localiser les zones fortement polluées et les lignes les plus affectées par la pollution pour évaluer le degré de sévérité de la pollution du site.

L'évaluation de la sévérité de pollution des sites est souvent essentielle pour connaître le comportement diélectrique et la fiabilité des lignes . La surveillance de la pollution est donc devenue de plus en plus importante. Elle est nécessaire pour la conception et le choix d'un mode d'isolation adéquat (type d'isolateurs, nombre, matériaux...), la définition des procédures de maintenance adaptées ou encore pour prévoir des parades efficaces aux problèmes de contournement sous pollution.

Ce travail est réalisé en collaboration avec le GRTE de SONELGAZ. En effet, ils ont mis à notre disposition, les différentes données concernant les incidents survenus sur les lignes de 220 kV et 60 kV de la région électrique étudiée (Région de Hassi Messaoud), les informations sur ces lignes (longueur, isolateurs...), ainsi que les données climatologiques correspondantes [13].

Dans cette partie de notre travail, nous nous sommes intéressés au traitement des incidents de types DR (Déclenchement – Ré enclenchement)et DRD (Déclenchement – Ré enclenchement - Déclenchement) durant la période 2005-2015, tous les incidents que nous étudions sont supposés dus aux phénomènes de pollution. Le traitement de ces incidents a abouti à la détermination des taux annuels d'incidents, leur distribution journalière, mensuelle, saisonnière et annuelle [21].

Nous traitons en premier les statistiques des incidents pour la région du point de vue répartition d'incidents par année, par saison, et par type de défaut sur la période étudiée [5]. Nous donnons ensuite, les densités d'incidents par ligne pour chaque niveau de tension (220 kV et 60 kV), en précisant les lignes les plus affectées. Après cela, les répartitions journalières (par plage horaire) sont données pour chaque saison de l'année.

La deuxième partie de ce chapitre est consacrée au traitement des incidents de chaque année séparément, en donnant les répartitions mensuelle et saisonnière d'incidents pour déterminer les années critiques et plus précisément, le mois et même l'horaire où il y a eu le plus d'incidents pour faire une corrélation avec les données climatologiques dans le chapitre suivant.

III.2. REGION ELECTRIQUE DE HASSI MESSAOUD :

III.2.1 Nombres Total d'incidents par année sur la période 2005-2015

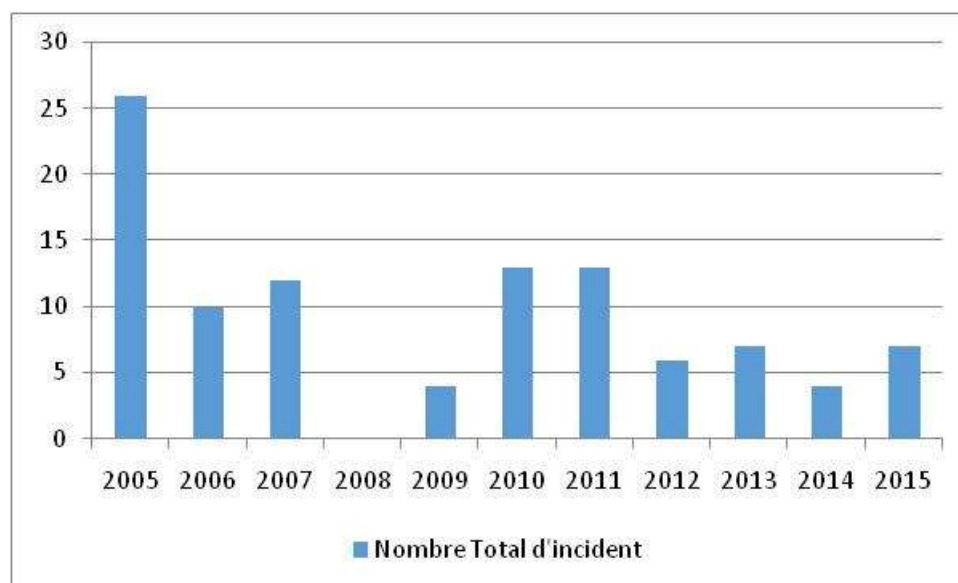


Figure III.1: Nombre d'incidents par année pour la région.

La figure III.1 représente le nombre total d'incidents survenus sur le réseau électrique HT) de la région entre 2005 et 2015, ce nombre atteint 102 incidents. On remarque que l'année 2005 représente une année critique pour cette région dont le nombre d'incident est de 26 soit un taux de 25% , par contre l'année 2008 représente une année saine ou aucun incident n' a été enregistré (0 incident) . Pour les années 2006 et 2007 totalise un nombre d'incident de 24 soit un taux de 24%, l'année 2009 , 2010 , et 2011 totalise un nombre d'incident de 30 soit un taux de 30 % et pour les années 2012 à 2015 , le nombre total des incidents est de 24 incidents soit un taux de 24 % .

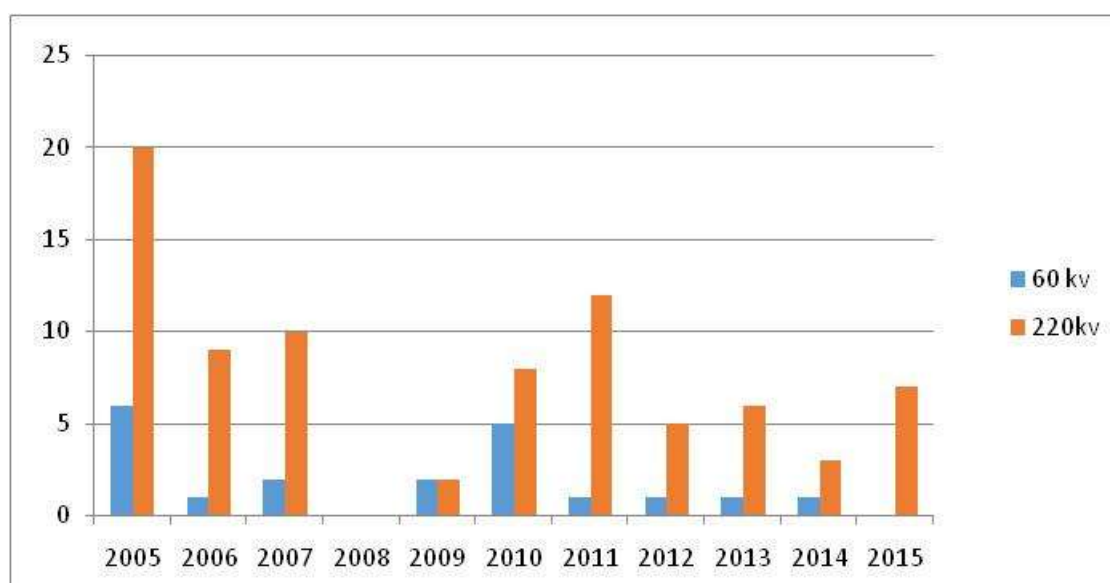


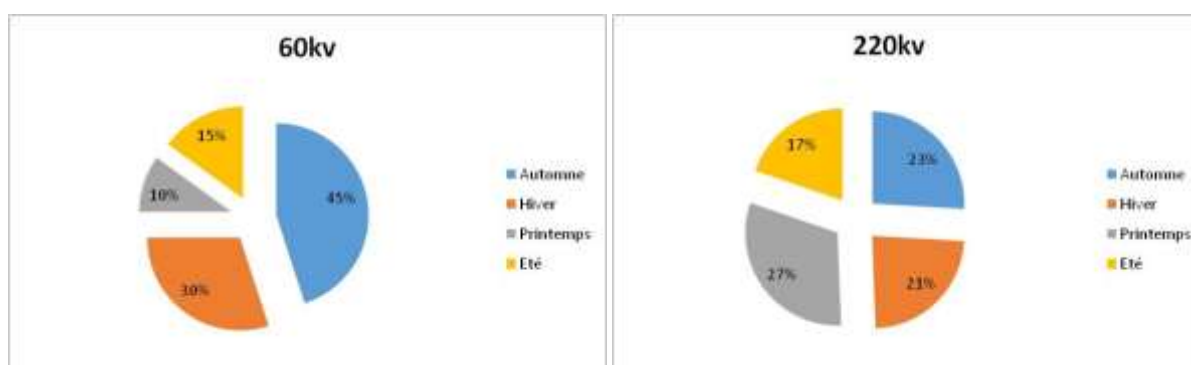
Figure III.2 : Répartition des incidents par année pour chaque niveau de tension.

La figure III.2 représente la répartition des incidents enregistrés pour chaque niveau de tension (220 kV et 60 kV) entre 2005 et 2015. Les incidents sont répartis comme suit : **82** incidents sur les lignes de 220 kV, ce qui représente 80% du nombre total, et **20** incidents sur les lignes de 60 kV (20 %). En première lecture, le nombre d'incidents sur les lignes 220 kV paraît plus élevé que sur les lignes 60 kV pour toutes les années du 2005 au 2015 excepté les années 2008 et 2009.

III.2.2. Répartition saisonnière des incidents :

La figure III.3 montre que le plus grand pourcentage des incidents est obtenu en Automne de 2005 qui est une année critique et ce pour les deux niveaux de tension. Ceci est dû, selon les données météorologiques, à la précipitation qui caractérise cette saison.

Le minimum d'incidents est enregistré pendant l'été à cause des faibles valeurs de l'humidité qui est un facteur favorisant le contournement des isolateurs.



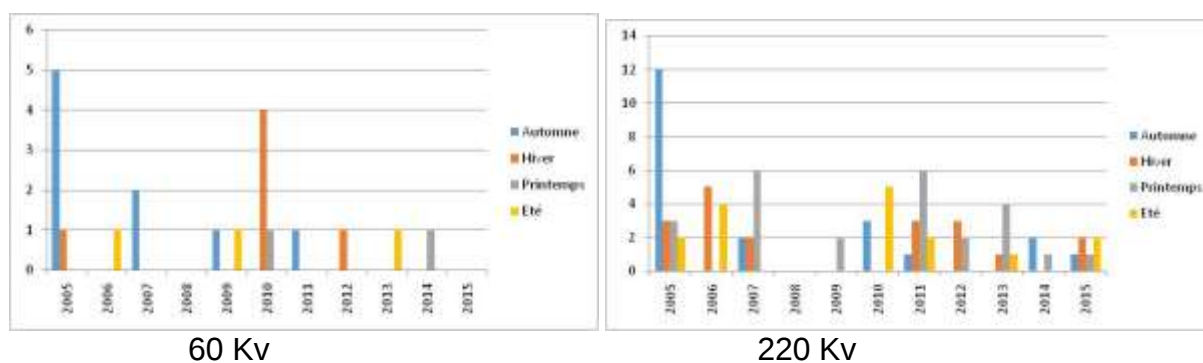


Figure III.3 Répartition des incidents par saison.

III.2.3. Répartition des incidents par type de défaut :

La figure III.4 montre que les défauts déclenchement – ré enclenchement (DR) sont les plus fréquents (74%), puis viennent les incidents de type DRD (26 %) .

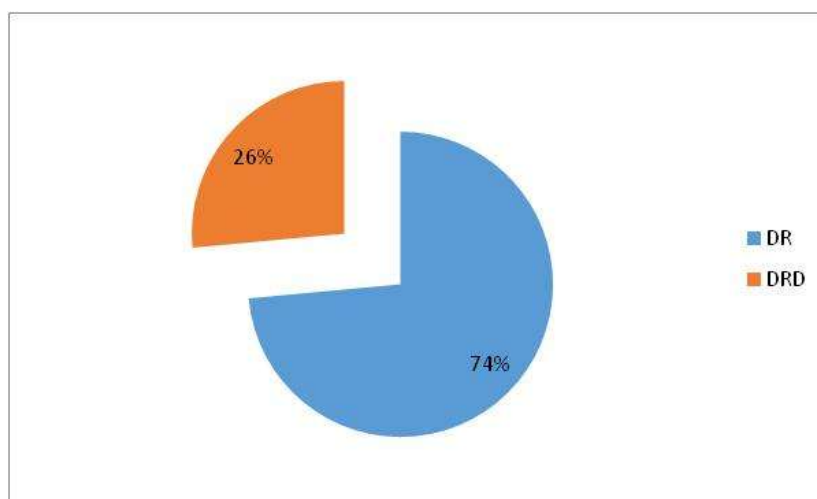


Figure III.4 : Répartition des incidents par types de défauts.

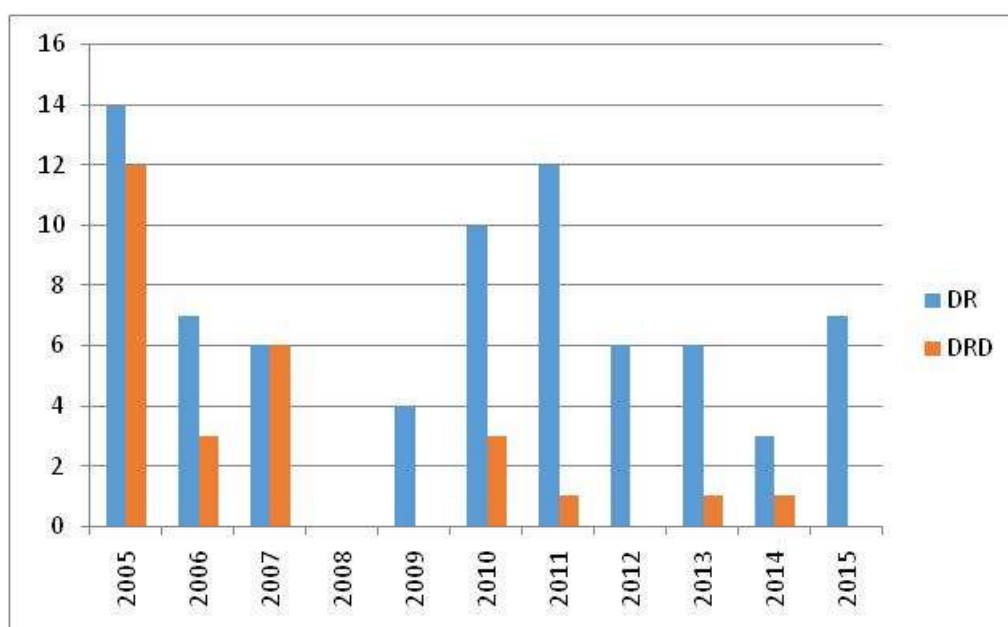


Figure III.5 : Répartition annuelle des incidents par types de défauts

Nous remarquons sur la figure III.5 que le nombre d'incident de type DR et DRD a pris sa valeur maximum en 2005 . nous remarquons aussi que le nombre d'incident de type DRD a diminué à partir de l'année 2008 .

III.2.4. Répartition horaire des incidents pour chaque saison :

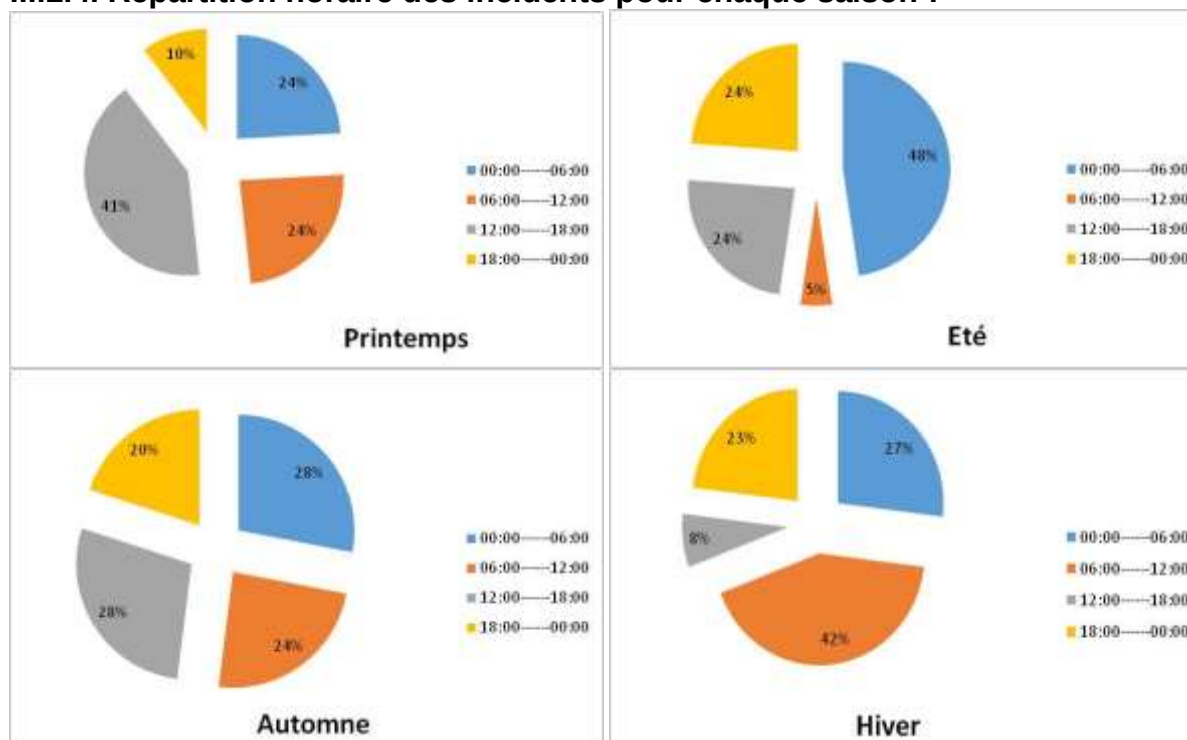


Figure III.6 : Répartition horaire des incidents pour chaque saison

La répartition horaire des incidents (figure III.6) montre que le plus grand nombre d'incidents a eu lieu entre (00 :00 - 06 :00) du matin en été qui est dû aux phénomènes d'évaporation, et entre (12 :00 – 18 :00) en printemps qui est lié aux vents , pour l'hiver , un grand nombre d'incidents est observé entre (06 :00-12 :00) qui est dû à l'humidité .

Pour l'automne , le grand nombre d'incidents est obtenu entre (00 :00-06 :00) et (12 :00-18 :00) à cause la différence de température entre le jour et la nuit .

III.2.5. Taux des incidents par mois de la période (2005-2015) :

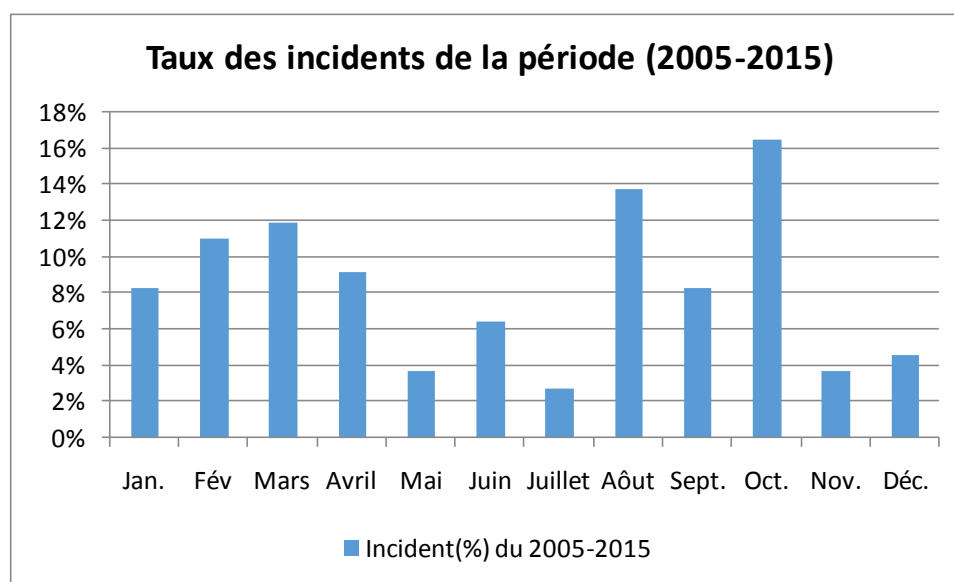


Figure III.7 : Taux des incidents par mois de la période (2005-2015)

La figure III.7 , montre que le taux d'incident élevé est enregistré dans les mois , Octobre (17%) , Août (14%) et Mars (12%) , les taux des autres mois sont relativement faible.

III.2.6. Répartition des incidents mensuelles, saisonnières et horaire pour chaque année :

1)- Année 2005 :

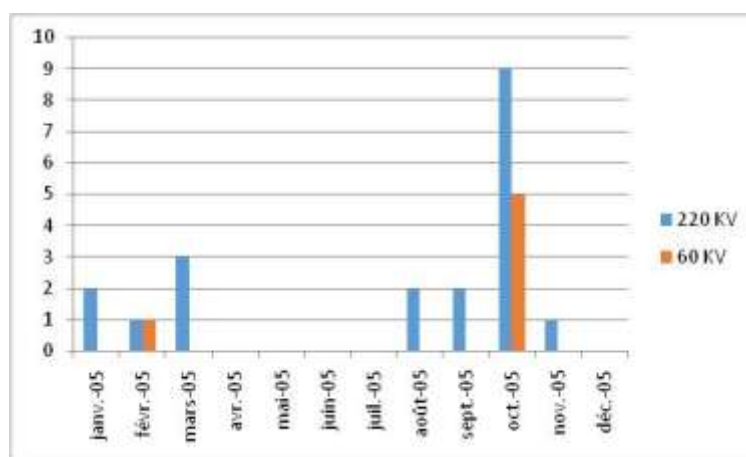


Figure III.8 : Répartition des incidents par mois et par niveau de tension en 2005

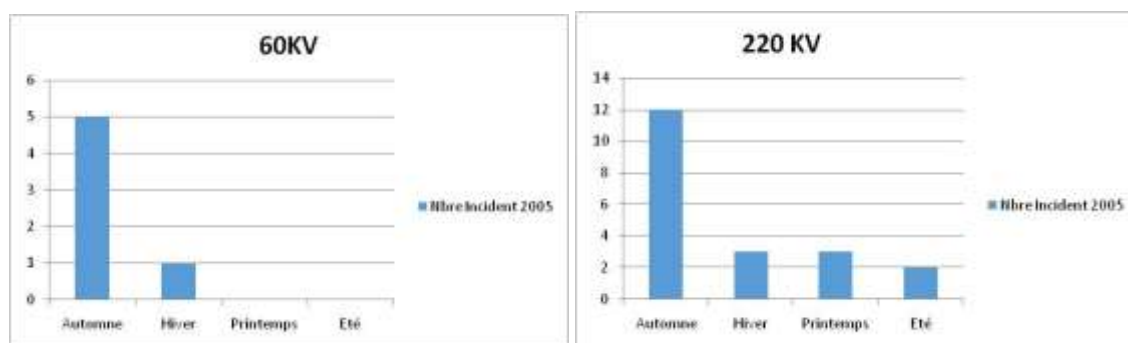
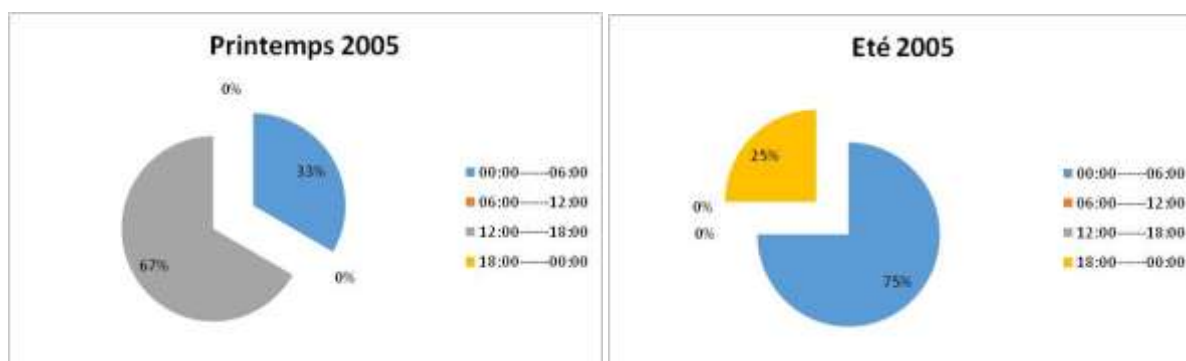


Figure III.9 : Répartition des incidents par saison en 2005



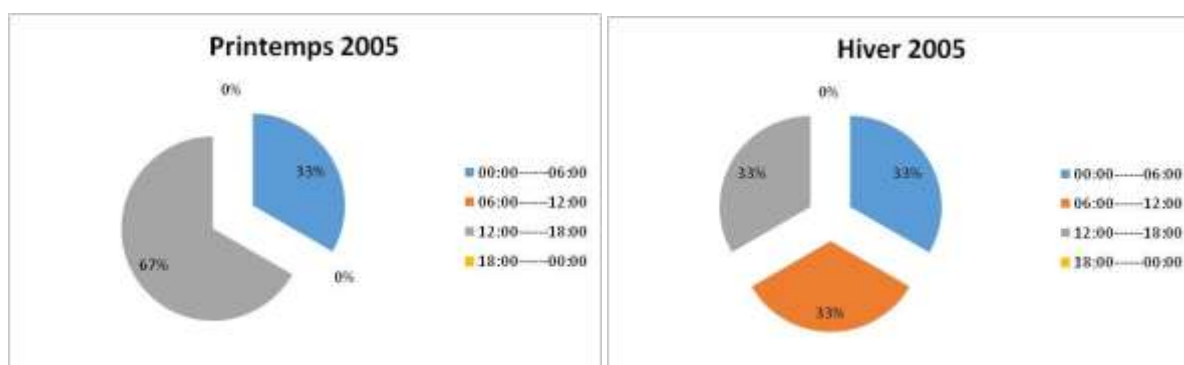


Figure III.10 : Répartition horaire des incidents par saison en 2005

2)- Année 2006 :

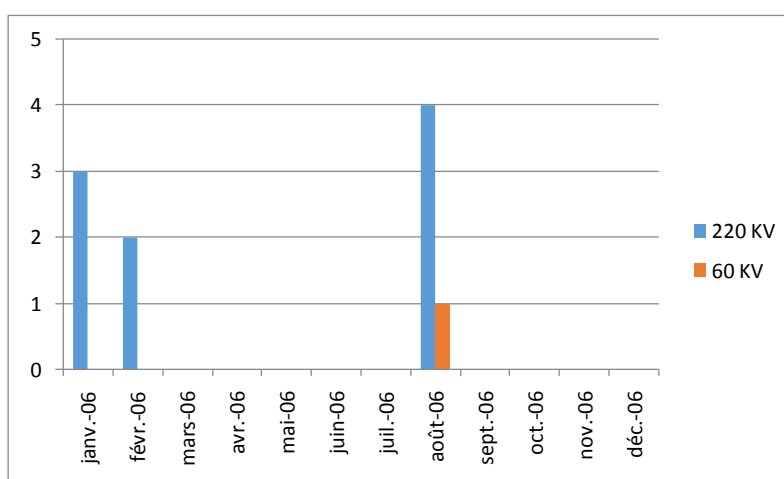


Figure III.11 : Répartition des incidents par mois et par niveau de tension en 2006

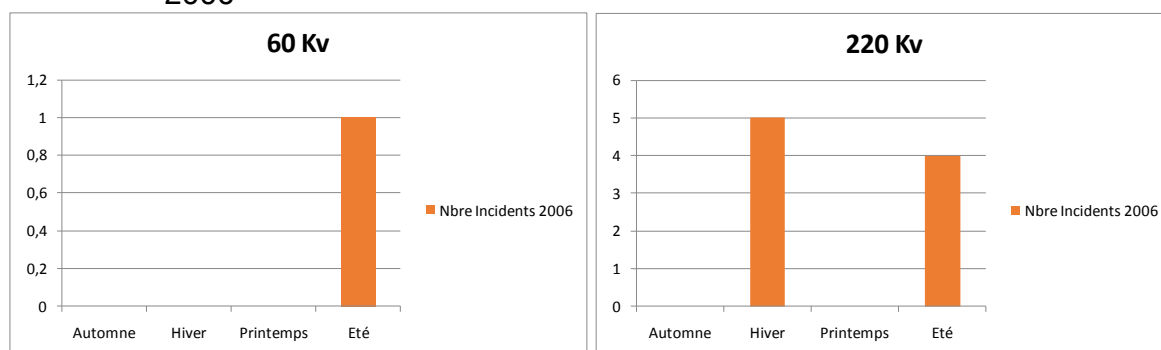


Figure III.12 : Répartition des incidents par saison en 2006

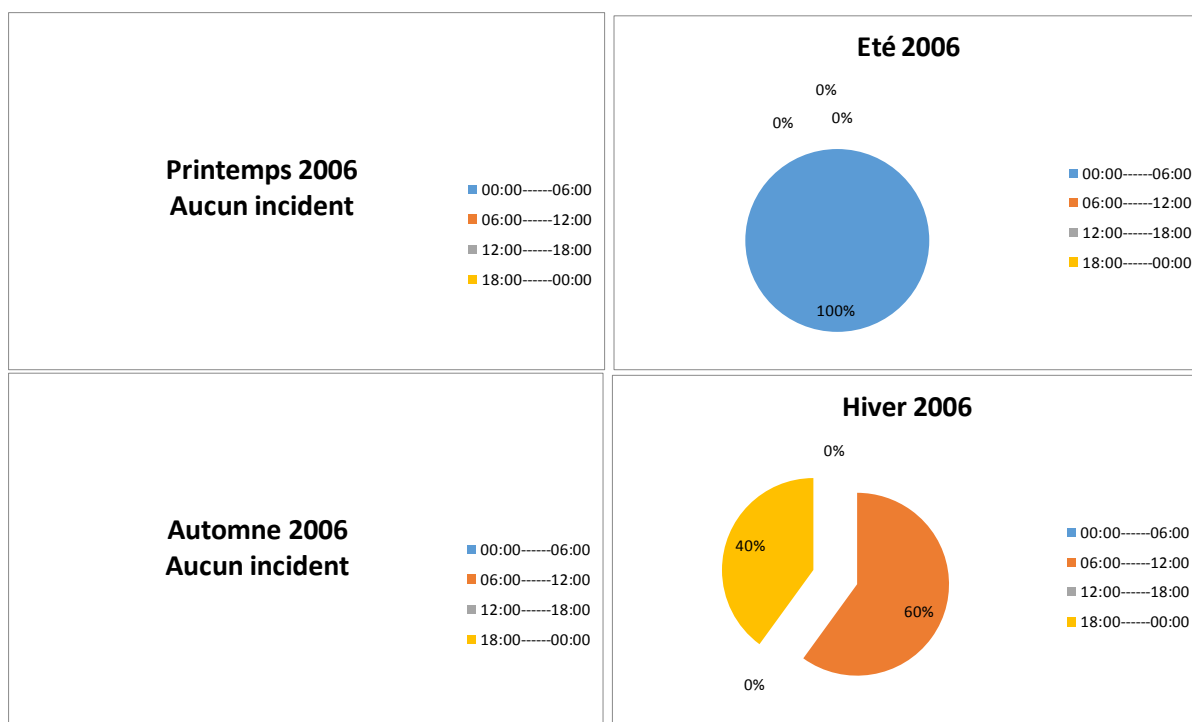


Figure III.13: Répartition horaire des incidents par saison en 2006

3)- Année 2007 :

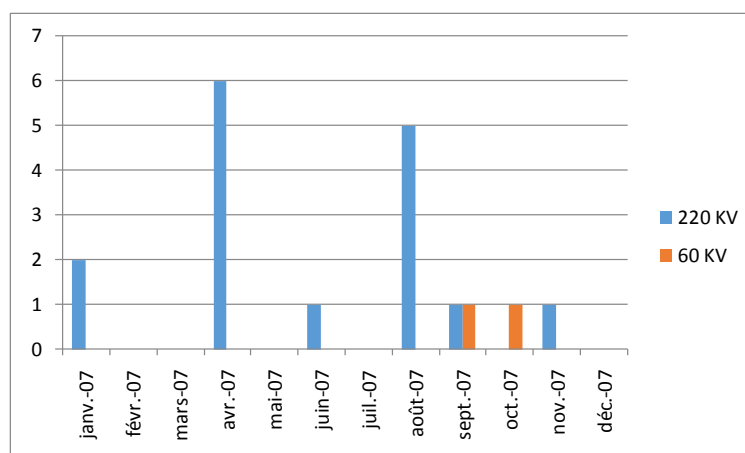


Figure III.14 : Répartition des incidents par mois et par niveau de tension en 2007

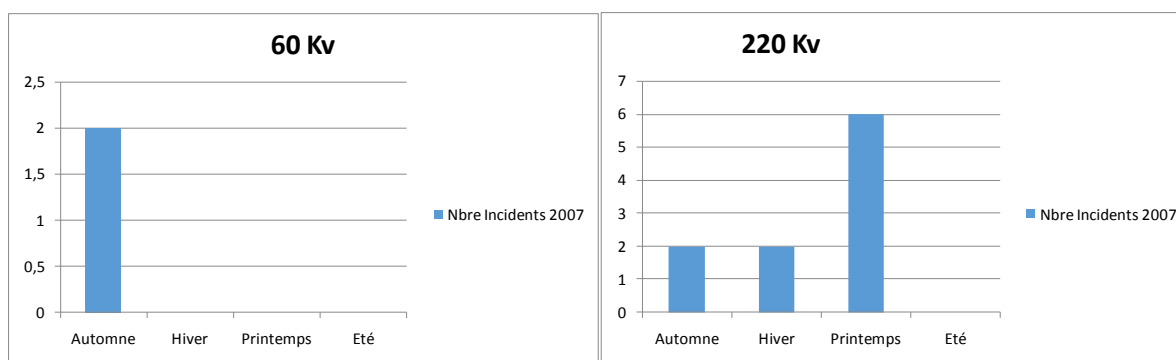


Figure III.15 : Répartition des incidents par saison en 2007

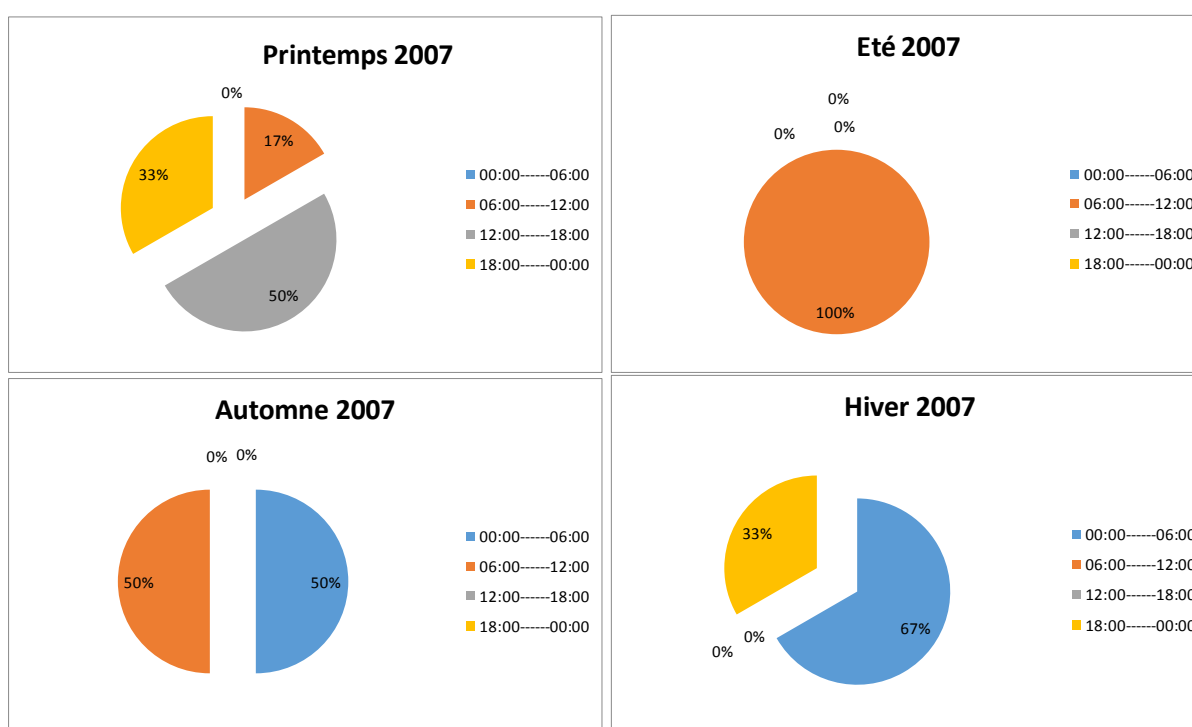


Figure III.16: Répartition horaire des incidents par saison en 2007

4)- Année 2008 : **Aucun incident n' a été enregistré (année saine)**

5)- Année 2009 :

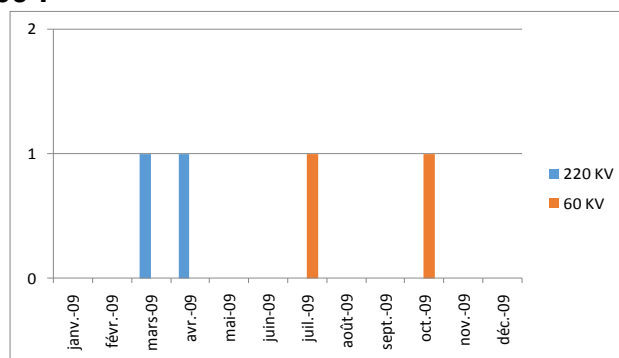


Figure III.17 : Répartition des incidents par mois et par niveau de tension en 2009

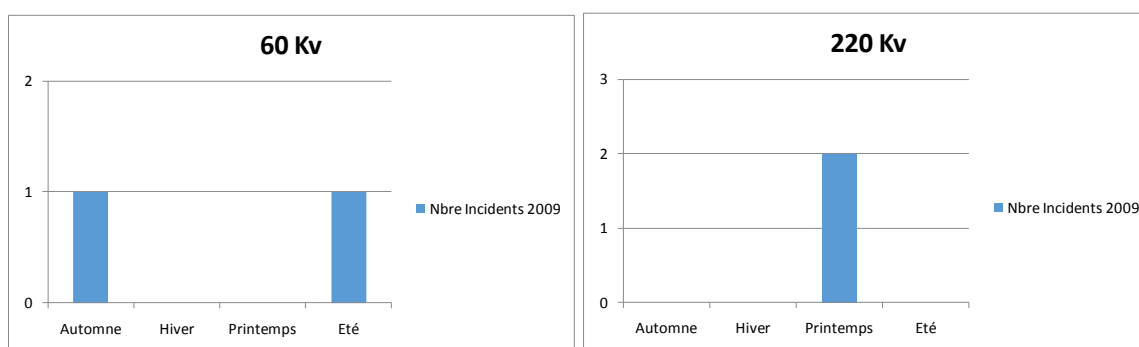


Figure III.18 : Répartition des incidents par saison en 2009

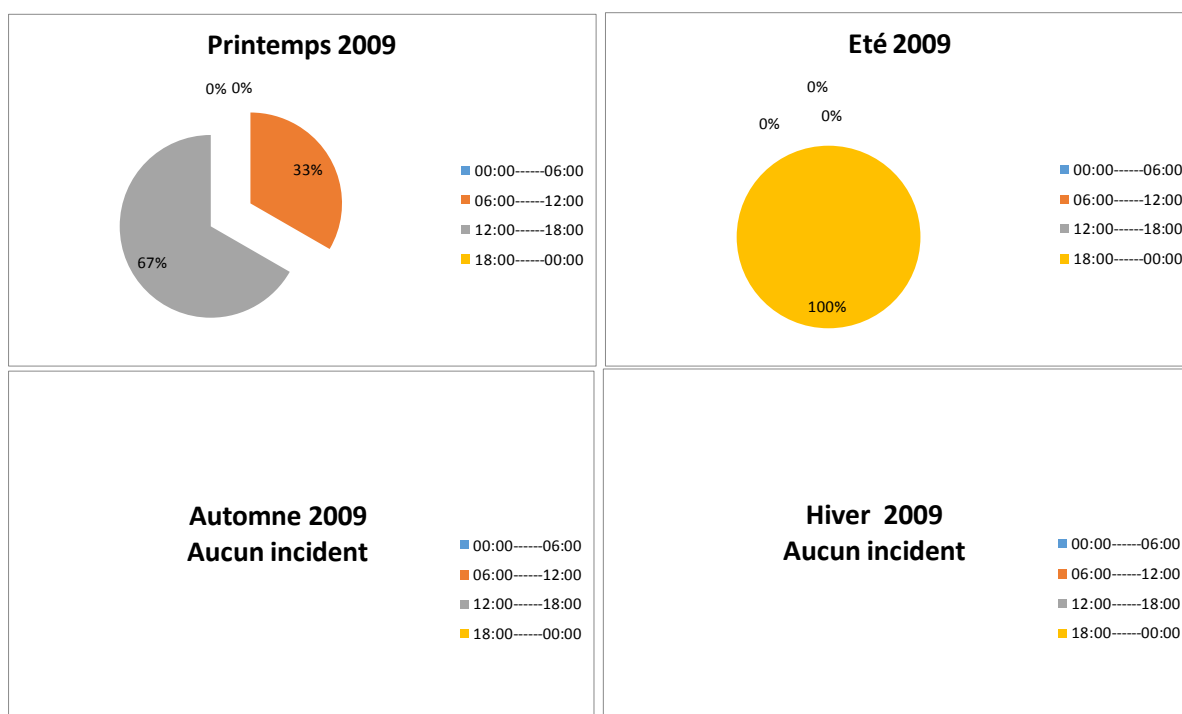


Figure III.19: Répartition horaire des incidents par saison en 2009

6)- Année 2010 :

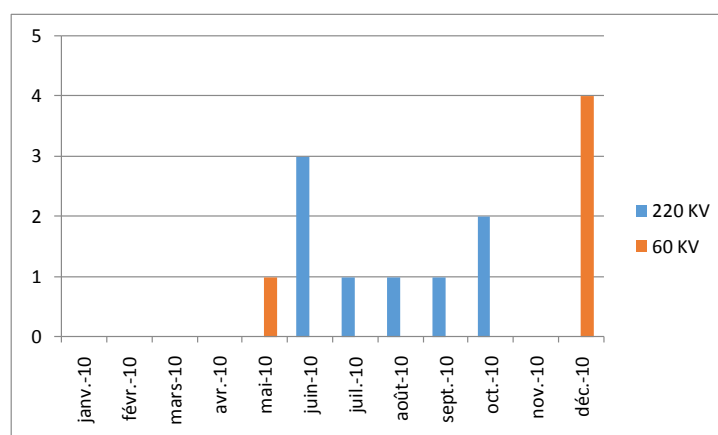


Figure III.20 : Répartition des incidents par mois et par niveau de tension en 2010

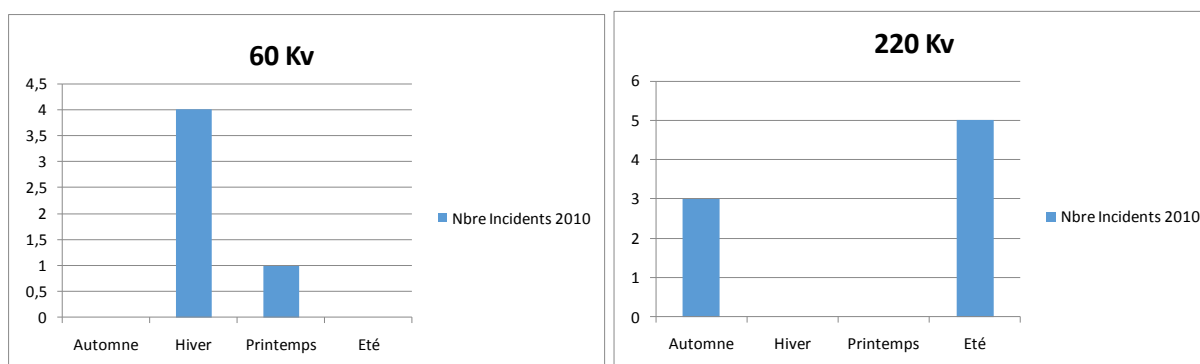
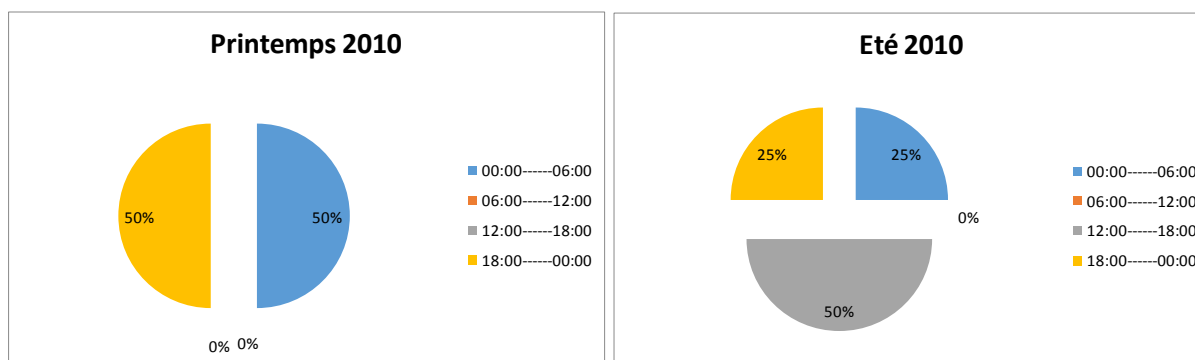


Figure III.21 : Répartition des incidents par saison en 2010



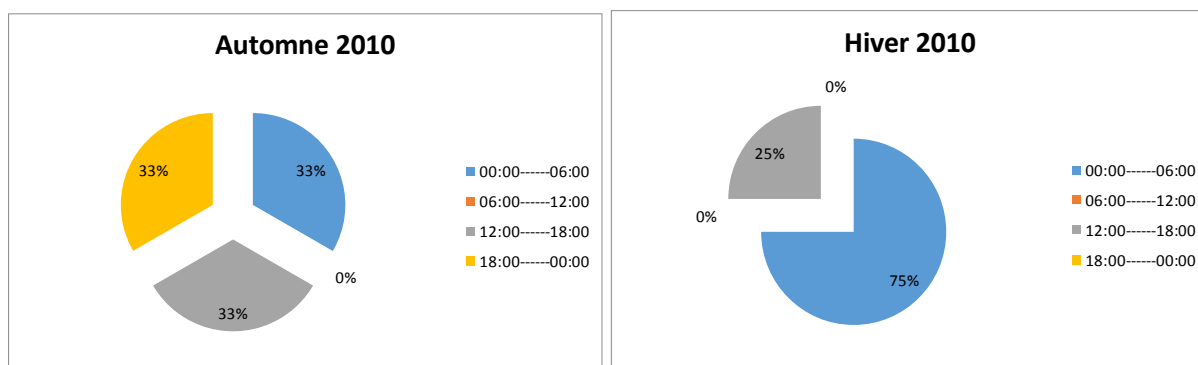


Figure III.22: Répartition horaire des incidents par saison en 2010

7)- Année 2011 :

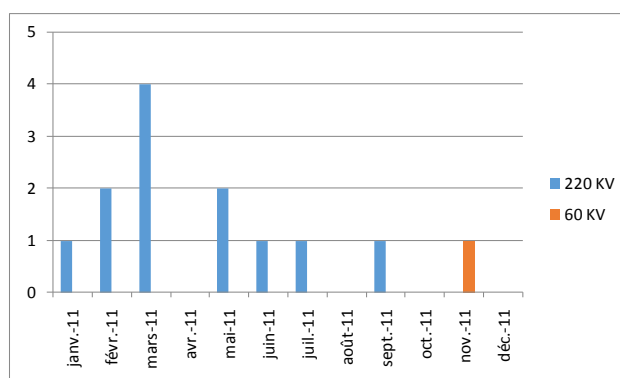


Figure III.23 : Répartition des incidents par mois et par niveau de tension en 2011

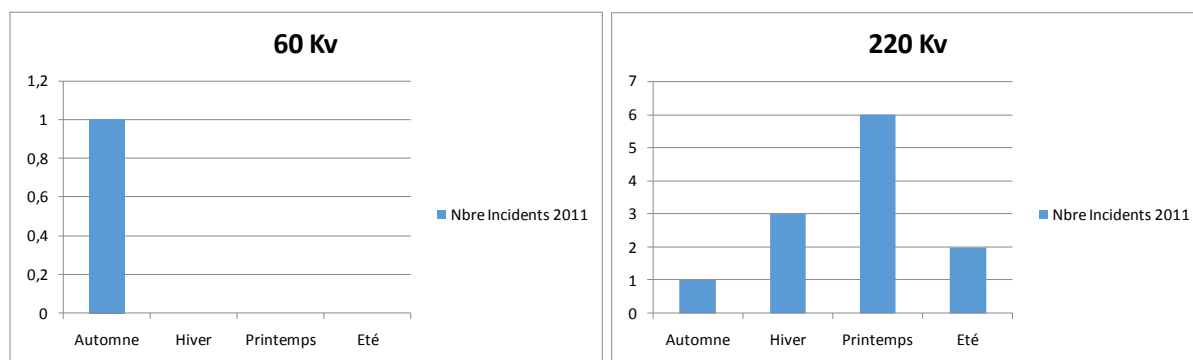


Figure III.24 : Répartition des incidents par saison en 2011

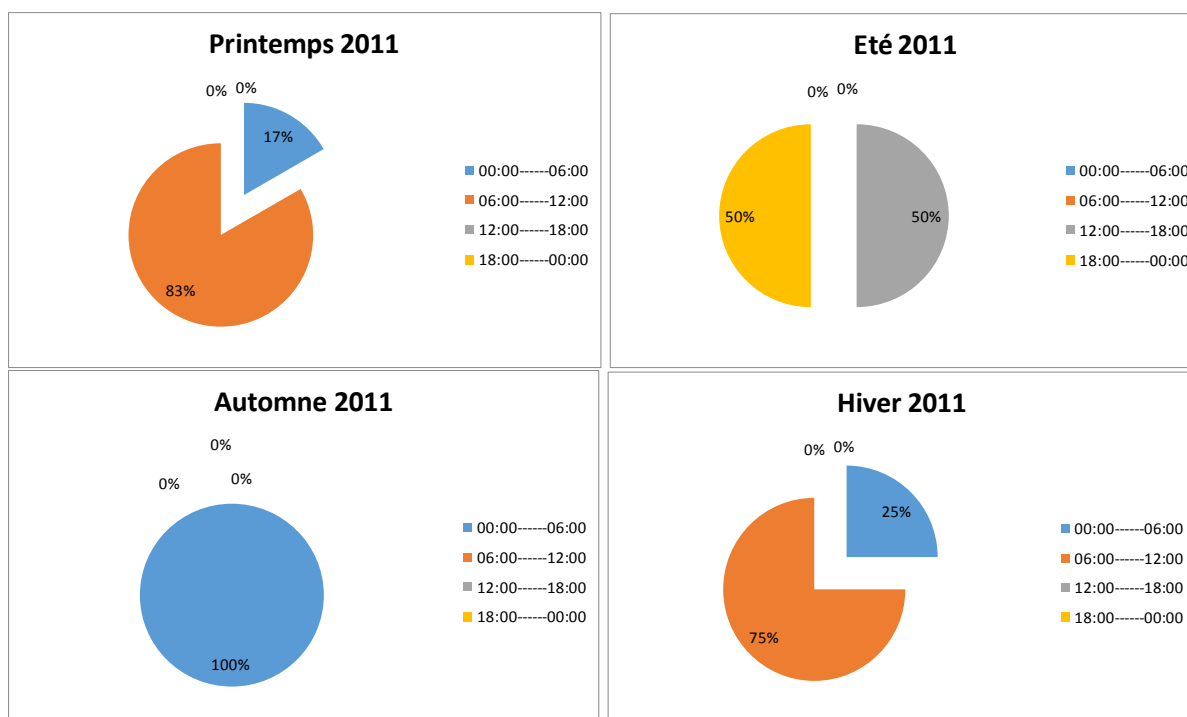


Figure III.25: Répartition horaire des incidents par saison en 2011

8)- Année 2012 :

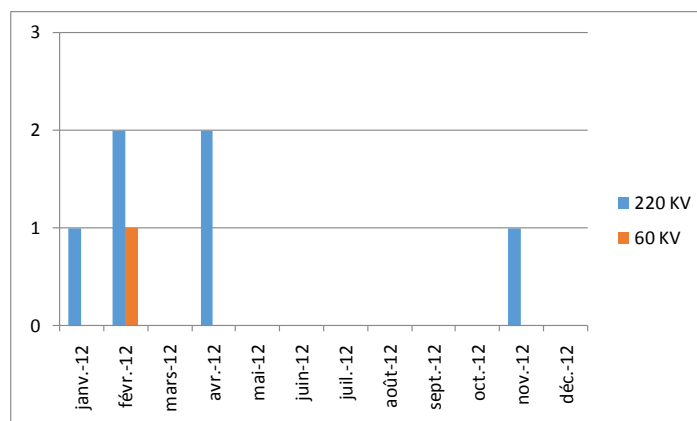


Figure III.26 : Répartition des incidents par mois et par niveau de tension en 2012

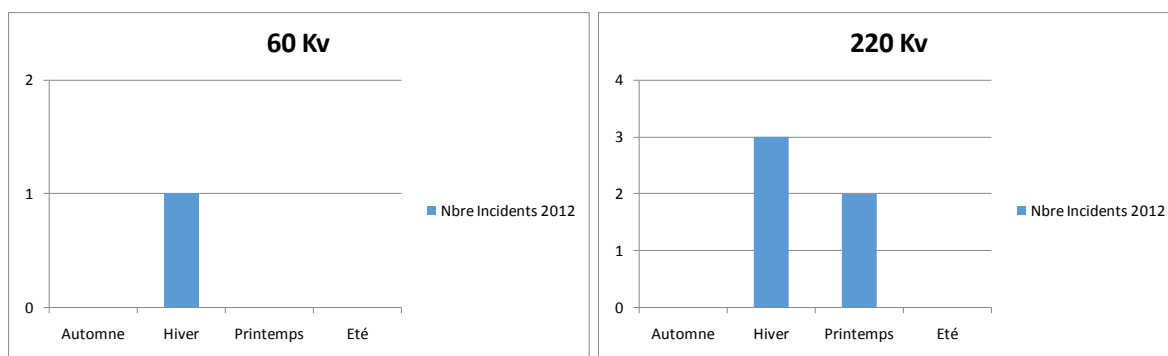


Figure III.27 : Répartition des incidents par saison en 2012

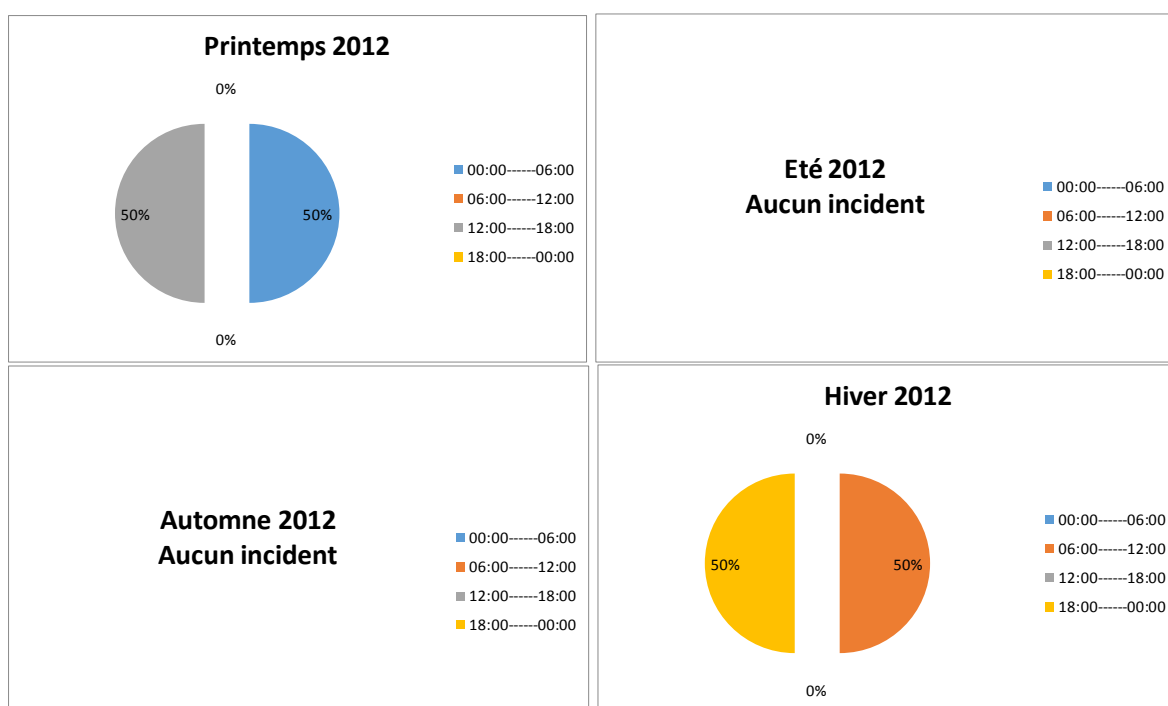


Figure III.28: Répartition horaire des incidents par saison en 2012

9)- Année 2013 :

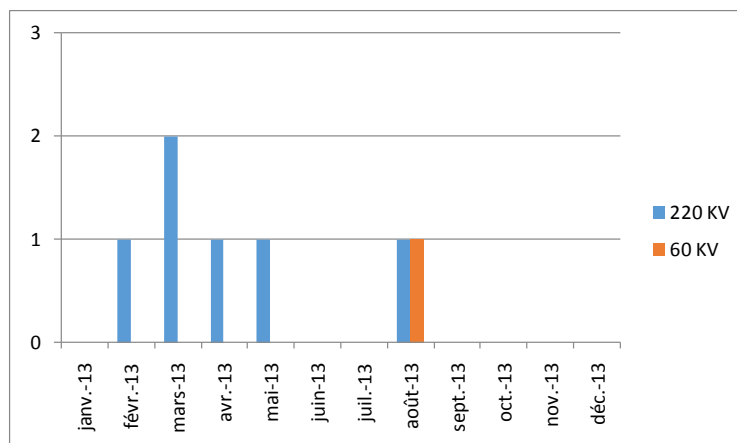


Figure III.29: Répartition des incidents par mois et par niveau de tension en 2013

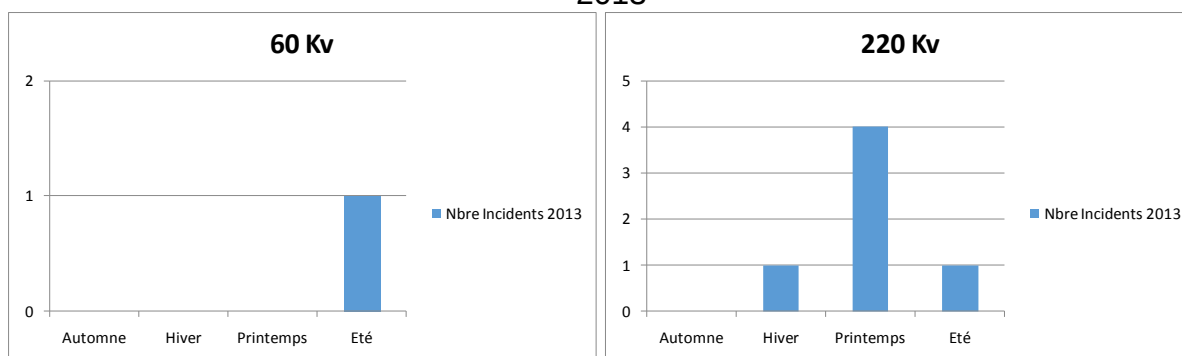
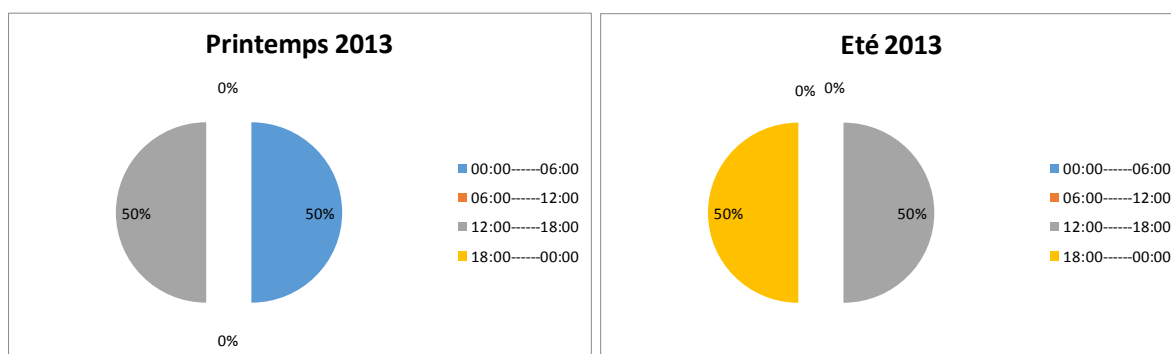


Figure III.30 : Répartition des incidents par saison en 2013



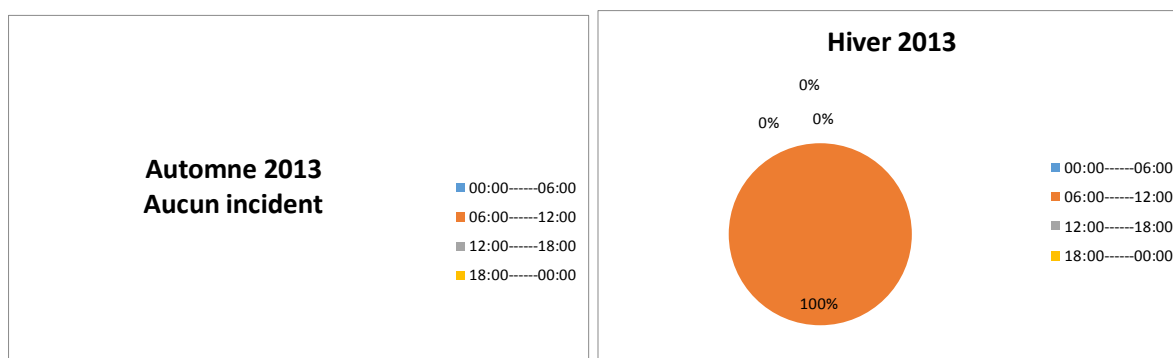


Figure III.31: Répartition horaire des incidents par saison en 2013

10)- Année 2014 :

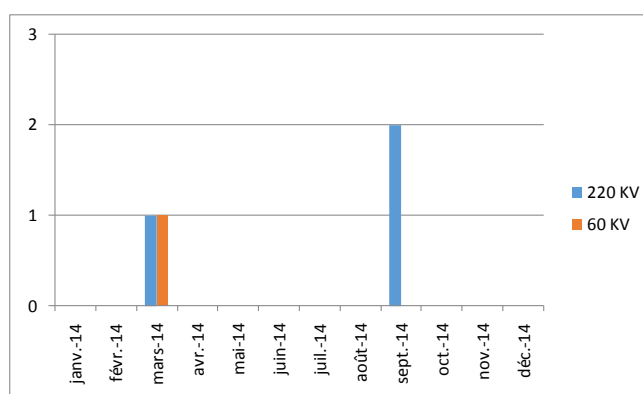


Figure III.32 : Répartition des incidents par mois et par niveau de tension en 2014

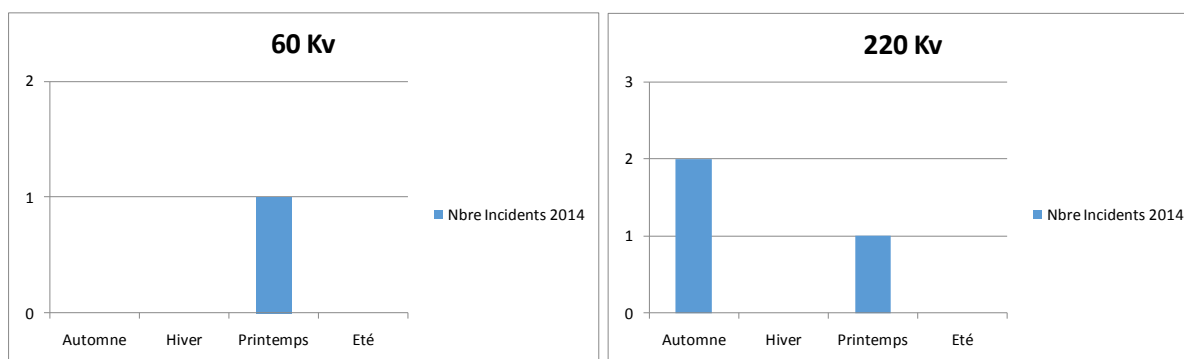


Figure III.33 : Répartition des incidents par saison en 2014

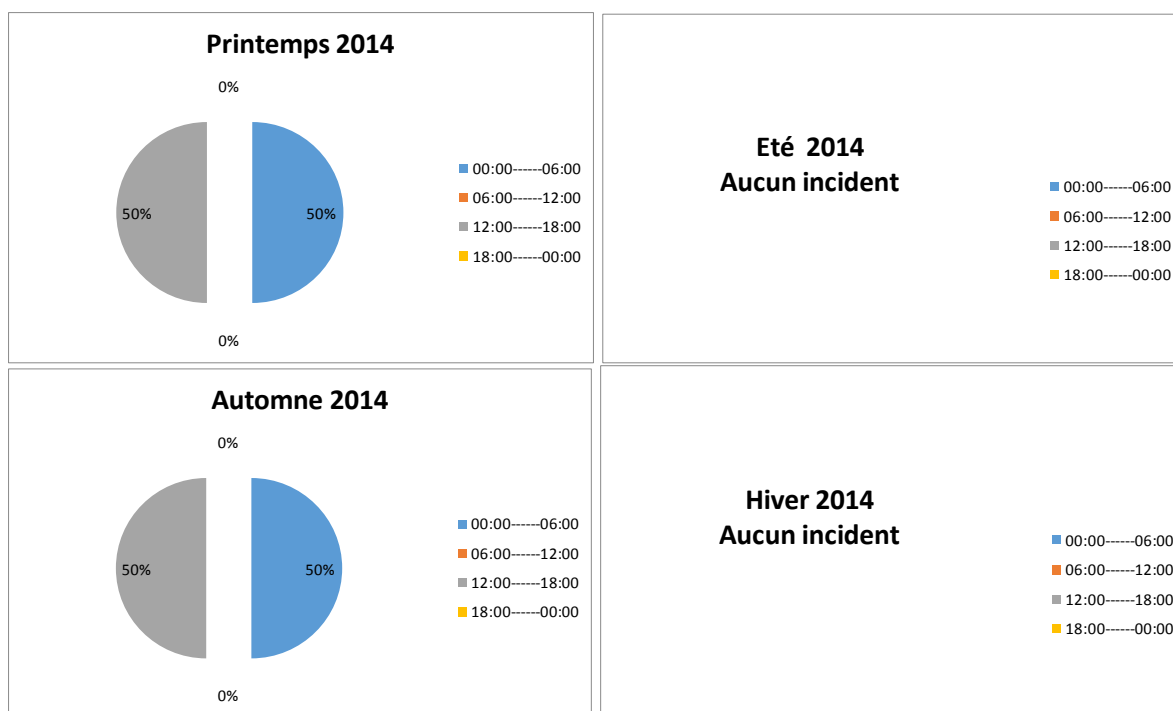


Figure III.34: Répartition horaire des incidents par saison en 2014

11)- Année 2015 :

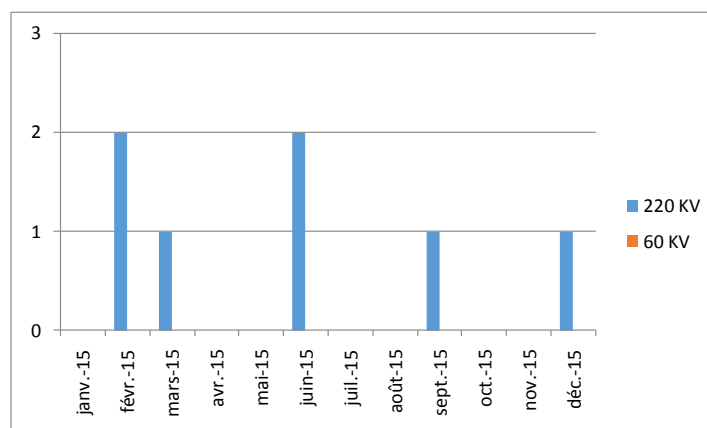


Figure III.35 : Répartition des incidents par mois et par niveau de tension en 2015

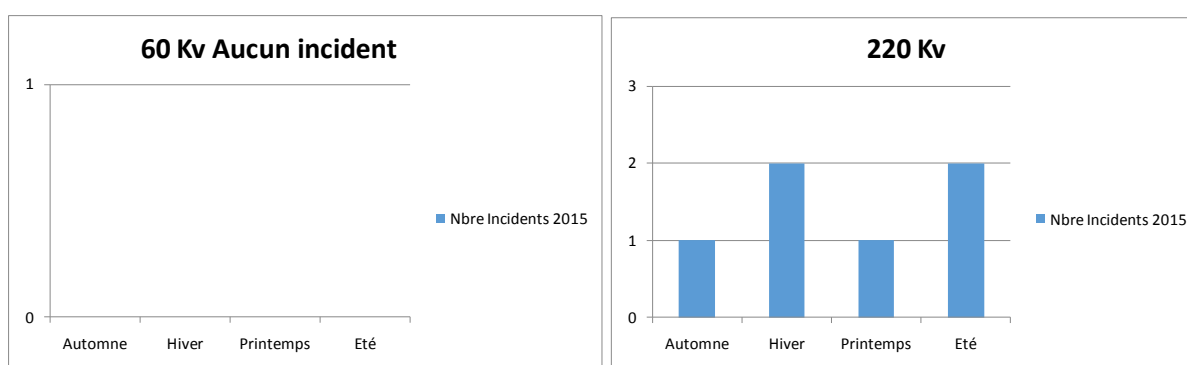


Figure III.36 : Répartition des incidents par saison en 2015

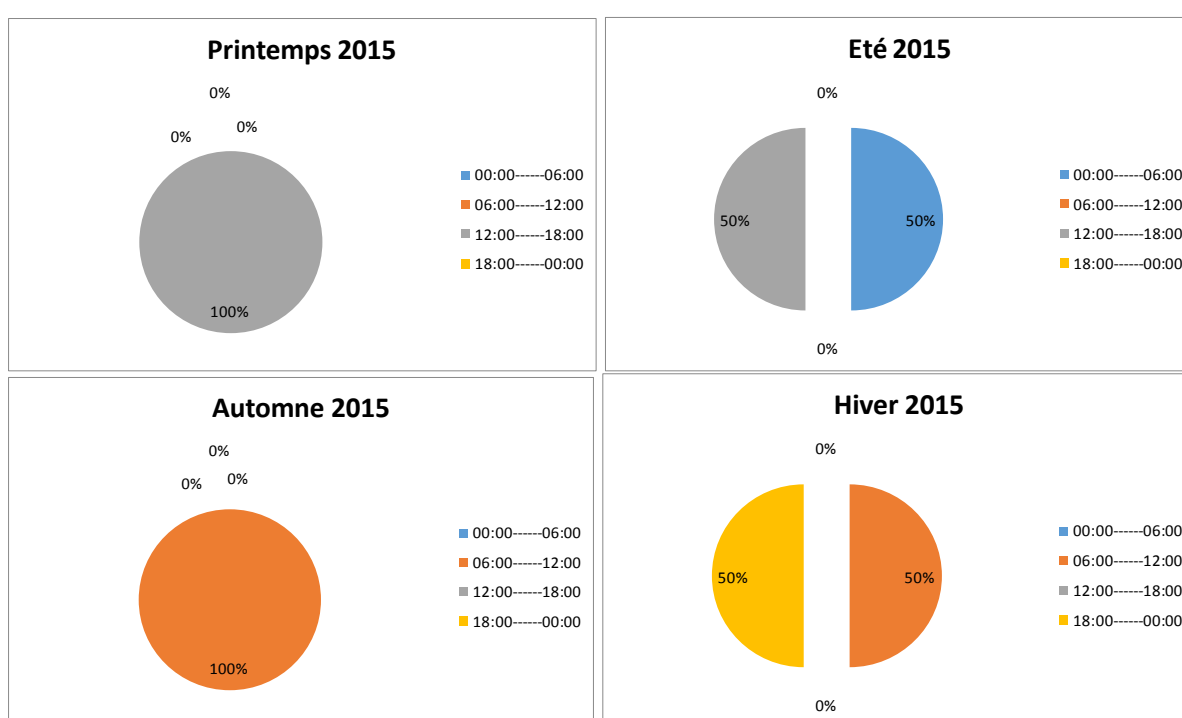


Figure III.37: Répartition horaire des incidents par saison en 2015

III.2.7 Analyse des Résultats :

Le traitement des statistiques des incidents sur les réseaux 220 kV et 60 kV de la région électrique , pendant la période 2005-2015 a abouti aux résultats suivants :

- ✓ **80%** des incidents sont survenus sur le réseau **220kV** et 20% sur le réseau **60kV** .
- ✓ **74%** des incidents sont dus au défaut **DR** et 26% dus au défaut **DRD** .
- ✓ **45%** des incidents sont enregistrés pendant l'Automne pour les réseaux de 60 Kv.
- ✓ **27%** des incidents sont enregistrés pendant le printemps pour les réseaux de 220 Kv.

- ✓ Durant les mois :Octobre, on a enregistré 17% des incidents .
Août , on enregistré 14 % des incidents.
Mars , on enregistré 12 % des incidents.

III.3. Influence des facteurs climatiques sur les isolateurs pollués :

La tenue électrique d'isolateurs dépend de plusieurs facteurs météorologiques et parmi eux on distingue:

a. le Vent

Le vent joue un double rôle. Il assure d'une part le transport et la distribution des Dépôts polluants formés sur les surfaces des isolateurs électriques, d'autre part il peut se comporter comme agent d'auto-nettoyage lorsque sa vitesse est élevée .

b. la Pluie

Les fortes pluies permettent en général le nettoyage des surfaces polluées des Isolateurs, ce pendant, les fines pluies peuvent mouiller les surfaces polluées, ce qui augmente le risque de contournement.

c. l'Humidité

L'humidification est considérée comme un obstacle car elle influe négativement sur la tenue électrique des isolateurs puisqu'elle accroît la conductivité électrique des agents polluants déposés à leur surface et entraîne par conséquent la diminution de leur tenue

d. la Température

Contrairement à l'humidité, l'élévation de la température favorise l'assèchement des dépôts polluants, ce qui fait augmenter leur résistivité et par conséquent la tenue des isolateurs contaminés devient plus importante. Cependant, la différence de température entre le jour et la nuit peut provoquer le phénomène de condensation et l'humidification de la couche de pollution.

III.4. Conclusion :

Le phénomène de pollution est responsable d'un grand pourcentage des incidents dans le réseau de transport d'énergie électrique. Il est donc indispensable d'en tenir compte durant l'étude de n'importe quel projet de dimensionnement des isolateurs pour les lignes électriques aériennes.

D'après les analyses des incidents, nous constatons que la plupart des incidents dans la région est survenue dans les mois Mars , Août et , octobre où l'apparition des tempêtes de sable, et aussi les faibles précipitations qui favorisent l'humidification des isolateurs et provoquent des incidents .

Conclusion Générale

CONCLUSION GENERALE :

Cette étude qui porte sur le phénomène de la pollution des isolateurs de haute tension dans la région électrique de Touggourt nous a permis de mieux comprendre la procédure qu'il faut suivre pour bien dimensionner l'isolation des lignes de transport de l'énergie électrique de haute tension.

Pour établir le lien entre les paramètres climatiques et le nombre d'incidents dans les lignes aériennes nous avons d'abord effectué une analyse détaillée de ces incidents (par mois, par année, par plage horaire). En suite nous avons étudié l'influence des paramètres climatiques sur l'apparition des incidents dans la région. Enfin, en se basant sur un certain nombre de paramètres tels que l'humidité, les précipitations pluviales, les différentes sources de pollution notamment les usines de briqueterie , nous avons noté ce qui suit :

- La plupart des incidents sont survenue dans les mois de Mars, Aout et octobre) où le phénomène d'auto nettoyage des isolateurs est presque inexistant, et les températures sont relativement importantes, ce qui favorise l'accumulation des dépôts polluants sur les isolateurs.
- Dans notre région, l'absence des pluies favorise le contournement des isolateurs.
- Le phénomène d'auto-nettoyage, par les forts vents périodiques et fréquents en automne et en printemps, garde les isolateurs dans un état propre et les incidents sont moindres.
- L'effet de l'humidité et très important en de présence des sources de pollution, l'humidité favorise l'apparition d'un grand nombre d'incidents.

Des solutions sont possibles pour faire face à ces phénomènes de pollution des isolateurs de haute tension. Parmi ces solutions, nous trouvons :

- Un lavage des isolateurs périodique de chaque année est préconisé afin de réduire considérablement le nombre d'incidents. Le coût technique et économique de ce lavage (cas de l'entretien en hors tension) nous oblige à chercher la période optimal pour ce lavage.
- Il faut organiser des plans d'interventions rapides et exceptionnels de lavage et d'entretien des isolateurs en cas d'année critique.
- Il est important de faire le bon choix du profil (forme) de l'isolateur utilisé en fonction de la nature de source de la pollution en prenant en considération les caractéristiques climatiques du site. Par exemple, il est recommandé d'utiliser un profil antipollution (ligne de fuite grande) dans les sites exposés aux pollutions.

Enfin , cet étude de statistique peut être comme données pour des études expérimentales et des essais de simulations et ce pour plus d'étude approfondie.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] A.BOUBAKEUR, « Pollution des isolateurs, test in situ », Département de Génie Electrique, Laboratoire de Haute Tension, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, Algérie 2007
- [2] M.TEGUAR, « Etude Mathématique des Mécanismes de Développement des Décharges Electriques sur des Isolateurs Installés en Régions Polluées », Thèse de Magister, Département de Génie Electrique, Laboratoire de Haute Tension, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, Algérie, Juillet 1993
- [3] M.TEGUAR, A.BOUBAKEUR, « Pollution des Isolateurs de Haute Tension ». Département de Génie Electrique, Laboratoire de Haute Tension, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, Algérie, janvier 2004
- [4] M. HAMMOUDI, « Projet Carte Pollution Electrique Région Ouest », Thèse de Magister, Département de Génie Electrique, Laboratoire de Haute Tension, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, 2009.
- [5] « Les statistiques des incidents sur le réseau de transport de l'énergie électrique de l'Algérie », banque des données du GRTE, fichier Excel.
- [6] N. Khairoun, E. Abderrahmane, D. Zellouta "Essais sur isolateurs pollues et modélisation" Mémoire du projet de fin d'études laboratoire de haute tension, école nationale polytechnique d'Alger. Juin 2007/2008
- [7] S. Tounsi, F. Chikh "Influence du Sol sur le Comportement d'un Modèle d'Isolateur sous Tension" Mémoire du projet de fin d'études laboratoire de haute tension, école nationale polytechnique d'Alger. Juin 2008 .
- [8] La Carte de réseau de transport d'électricité (220 kV), Région Electrique du Centre Algérien, GRTE (Gestion des Réseaux de Transport d'Electricité).
- [9] Fichier détails des lignes du réseau de transport d'électricité, Gestion des Réseaux de Transport d'Electricité (GRTE).
- [10] X. DUCOURET, «Lignes aériennes : matériels», Technique de l'Ingénieur, Papier No. D 2870.
- [11] CEI, publication 60815, « Guide pour le choix des isolateurs sous pollution », édition 1986.
- [12] A.MEKHALDI, « Modèle de Contournement d'Isolateurs Polluées dans les Conditions Désertiques du Sahara Algérien », Thèse de Magister, Département de Génie Electrique, Laboratoire de Haute Tension, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, Algérie, Juin 1990

- [13] « Données climatologiques », Office National de Météorologique de Touggourt.
- [14] A. MEKHALDI, « Etude des paramètres de conduction et de décharge électrique sur des surfaces isolateurs pollués sous tension alternative 50hz ». Thèse de doctorat d'état, département d'électrotechnique de l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, 1999.
- [15] M.TEGUAR, « Modélisations d'isolateurs pollues soumis à divers paramètres électro géométriques », Thèse de doctorat, Département de Génie Electrique, Laboratoire de Haute Tension, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, Algérie, Avril 2003
- [16] D.NAMANE, « Effet de Discontinuité de la Couche de Pollution sur le Comportement d'Isolateurs Haute Tension, sous la Fréquence 50 Hz », Thèse de Magister, Département de Génie Electrique, Laboratoire de Haute Tension, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, Février 1998
- [17] S. SMAIL, « Projet Carte Pollution Electrique Région Ouest », Thèse de Magister, Département de Génie Electrique, Laboratoire de Haute Tension, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, 2009.
- [18] Z. Sahli, " Etude de la Non Uniformité de la Pollution sur les Caractéristiques de Contournement des isolateurs Réels sous Tension Continue", Thèse de Magister, Département d'électrotechnique, Université Abederrahmane Mira de Bédjaia.
- [19] M. Ben alia « modélisation d'un isolateur naturellement pollue sous tension impulsionnelle utilisant des circuits électriques Equivalents » mémoire de magister en génie électrique 2008, laboratoire de haute tension, école nationale polytechnique d'Alger.
- [20] S .ZERAOULIA, « Impact de la Pollution sur le comportement des isolateurs de Haute Tension région du Centre d'Alger », Thèse de Magister, Département de Génie Electrique, Laboratoire de Haute Tension, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, 2007
- [21] B. HAMMOUM, Ahmed KERBOUCHE, « Etude du phénomène de pollution des isolateurs de haute tension dans la région électrique du Centre Algérien », Projet de Fin d'Etudes, Département de Génie Electrique de l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, 2007

Annexes

1/- Tableaux des Températures de la région de Touggourt par année et par mois :

Année 2005 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Moyen Tmax (C°)	15,0	17,2	24,4	28,3	35,4	38,2	43,4	40,6	34,8	30,4	23,7	16,9
Moyen Tmin(C°)	2,0	3,6	11,4	14,0	19,9	24,1	35,8	25,9	22,1	17,5	10,3	4,1
Temp.Moyen(C°)	8,5	10,4	17,9	21,2	27,7	31,2	39,6	33,3	28,5	24,0	17,0	10,5

Année 2006 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Moyen Tmax (C°)	14,9	18,3	26,1	31,1	35,5	39,2	41,0	40,9	33,5	31,8	23,6	17,9
Moyen Tmin(C°)	3,3	6,6	10,5	16,3	21,1	24,1	27,1	26,3	20,3	17,9	9,6	7,1
Temp.Moyen(C°)	9,1	12,5	18,3	23,7	28,3	31,7	34,1	33,6	26,9	24,9	16,6	12,5

Année 2007 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Moyen Tmax (C°)	18,8	21,4	23,1	26,3	33,8	40,5	39,9	41,0	36,9	30,1	22,1	17,2
Moyen Tmin(C°)	4,5	8,3	9,5	14,3	18,9	24,7	25,2	26,8	23,8	17,8	7,8	4,4
Temp.Moyen(C°)	11,7	14,9	16,3	20,3	26,4	32,6	32,6	33,9	30,4	24,0	15,0	10,8

Année 2008 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Moyen Tmax (C°)	17,9	19,8	24,7	30,5	34,1	36,5	43,3	41,3	36,4	28,6	21,2	16,8
Moyen Tmin(C°)	5,2	6,2	10,1	16,0	20,1	22,4	28,0	26,8	23,6	17,8	9,4	5,4
Temp.Moyen(C°)	11,6	13,0	17,4	23,3	27,1	29,5	35,7	34,1	30,0	23,2	15,3	11,1

Année 2009 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Moyen Tmax (C°)	16,5	18,6	23,2	25,9	32,7	38,6	42,8	41,3	33,3	28,7	23,2	20,9
Moyen Tmin(C°)	6,9	6,7	10,1	12,4	18,3	23,7	27,3	26,9	21,5	15,2	9,2	7,3
Temp.Moyen(C°)	11,7	12,7	16,7	19,2	25,5	31,2	35,1	34,1	27,4	22,0	16,2	14,1

Année 2010 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Moyen Tmax (C°)	19,1	23,1	26,1	29,5	31,4	38,9	42,0	41,8	35,0	29,0	23,4	19,3
Moyen Tmin(C°)	6,7	8,4	11,3	15,6	17,5	24,4	27,1	26,9	22,1	15,7	9,5	6,2
Temp.Moyen(C°)	12,9	15,8	18,7	22,6	24,5	31,7	34,6	34,4	28,6	22,4	16,5	12,8

Année 2011 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Moyen Tmax (C°)	18,9	19,1	22,1	29,6	31,6	36,7	42,2	41,0	38,0	28,1	23,1	18,7
Moyen Tmin(C°)	4,3	5,3	9,7	14,9	18,2	22,6	27,4	26,0	24,6	15,1	10,1	5,5
Temp.Moyen(C°)	11,6	12,2	15,9	22,3	24,9	29,7	34,8	33,5	31,3	21,6	16,6	12,1

Année 2012 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Moyen Tmax (C°)	17,2	16,4	23,6	28,6	33,9	41,5	43,5	42,1	36,5	31,6	25,0	18,6
Moyen Tmin(C°)	3,7	3,0	9,5	14,0	19,4	26,6	28,9	27,1	21,8	17,4	11,8	12,4
Temp.Moyen(C°)	10,5	9,7	16,6	21,3	26,7	34,1	36,2	34,6	29,2	24,5	18,4	15,5

Année 2013 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Moyen Tmax (C°)	19,0	19,4	26,4	29,5	33,6	37,4	41,8	39,2	36,6	34,1	22,7	16,6
Moyen Tmin(C°)	5,1	5,2	11,9	15,2	18,3	22,7	27,0	25,0	23,0	19,2	10,1	5,7
Temp.Moyen(C°)	12,1	12,3	19,2	22,4	26,0	30,1	34,4	32,1	29,8	26,7	16,4	11,2

Année 2014 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Moyen Tmax (C°)	18,4	21,8	22,7	30,3	33,8	37,8	42,3	42,6	38,8	32,4	25,1	18,4
Moyen Tmin(C°)	6,1	7,7	9,7	14,9	20,1	23,4	27,0	27,0	25,0	16,9	11,8	4,9
Temp.Moyen(C°)	12,3	14,8	16,2	22,6	27,0	30,6	34,7	34,8	31,9	24,7	18,5	11,7

Année 2015 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Moyen Tmax (C°)	17,5	17,6	23,1	29,8	35,8	38,3	41,0	40,9	36,5	30,6	23,6	18,9
Moyen Tmin(C°)	3,2	5,3	8,8	15,0	19,3	22,8	24,8	26,7	22,0	16,3	9,1	3,0
Temp.Moyen(C°)	10,4	11,5	16,0	22,4	27,6	30,6	32,9	33,8	29,3	23,5	16,4	11,0

Moyenne des années 2005-2015 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Moyen Tmax (C°)	17,6	19,3	24,1	29,0	33,8	38,5	42,1	41,2	36,0	30,5	23,3	18,2
Moyen Tmin(C°)	4,6	6,0	10,2	14,8	19,2	23,8	27,8	26,5	22,7	17,0	9,9	6,0
Temp.Moyen(C°)	11,1	12,7	17,2	21,9	26,5	31,1	34,9	33,8	29,4	23,7	16,6	12,1

2/- Tableaux de l'humidité de la région de Touggourt par année et par mois :

Année 2005 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Humidité Moyen.(%)	69	58	47	38	32	35	28	35	46	54	53	65

Année 2006 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Humidité Moyen.(%)	66	57	39	37	32	25	29	35	44	47	58	72

Année 2007 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Humidité Moyen.(%)	64	52	44	55	32	27	31	31	40	47	51	63

Année 2008 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Humidité Moyen.(%)	64	53	44	30	34	40	30	36	46	63	67	72

Année 2009 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Humidité Moyen.(%)	76	62	54	45	38	32	33	32	54	49	53	57

Année 2010 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Humidité Moyen.(%)	62	48	44	45	38	28	29	33	47	49	55	56

Année 2011 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Humidité Moyen.(%)	63	60	57	50	48	41	30	32	38	56	57	65

Année 2012 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Humidité Moyen.(%)	59	52	45	42	37	29	24	26	33,9	43	53	54

Année 2013 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Humidité Moyen.(%)	52	49	40	38	35	30	29	29	41	40	55	70

Année 2014 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Humidité Moyen.(%)	65	56	57	41	38	35	32	36	40	42	54	65

Année 2015 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Humidité Moyen.(%)	61	54	47	38	36	34	28	36	45	49	62	70

Moyenne des années 2005-2015 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Humidité Moyen.(%)	63,7	54,6	47,1	41,7	36,3	32,4	29,4	32,8	43,2	49,0	56,2	64,4

3/- Tableaux de l'insolation de la région de Touggourt par année et par mois :

Année 2005 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Insolation en H	253	237	229	283	325	313	330	322	272	272	235	239

Année 2006 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Insolation en H	228	224	360	274	282	344	370	332	275	285	253	220

Année 2007 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Insolation en H	260	210	285	234	340	329	376	313	267	261	275	234

Année 2008 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Insolation en H	271	239	266	280	283	241	352	337	254	205	267	229

Année 2009 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Insolation en H	205	253	266	320	358	344	361	346	267	313	264	251

Année 2010 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Insolation en H	266	207	224	243	320	258	359	351	273	245	264	228

Année 2011 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Insolation en H	263	245	263	300	331	321	369	352	276	283	240	247

Année 2012 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Insolation en H	243	280	254	295	352	319	368	350	294	263	256	275

Année 2013 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Insolation en H	256	260	260	281	333	325	362	341	284	280	259	197

Année 2014 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Insolation en H	262	239	262	315	329	331	326	338	264	292	220	251

Année 2015 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Insolation en H	233	220	303	301	360	309	383	313	263	279	275	255

Moyenne des années 2005-2015 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Insolation en H	249	238	270	284	328	312	360	336	272	271	255	239

4/- Tableaux de l'évaporation de la région de Touggourt par année et par mois :

Année 2005 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Evaporation en mm	64	95	158	177	192	261	305	224	234	146	129	76

Année 2006 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Evaporation en mm	49	102	176	192	201	295	319	248	160	158	84	55

Année 2007 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Evaporation en mm	45	85	118	100	267	241	208	240	220	187	102	63

Année 2008 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Evaporation en mm	52	34	115	203	234	371	333	217	161	82	78	52

Année 2009 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Evaporation en mm	45	112	109	123	166	226	202	200	118	122	104	91

Année 2010 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Evaporation en mm	70	122	142	158	182	273	305	285	190	141	164	52

Année 2011 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Evaporation en mm	96	110	128	184	167	225	388	361	297	144	132	87

Année 2012 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Evaporation en mm	111	118	169	265	282	314	434	380	214	176	157	110

Année 2013 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Evaporation en mm	138	172	229	281	299	356	377	271	254	242	131	58

Année 2014 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Evaporation en mm	141	151	141	256	283	312	349	345	304	267	169	111

Année 2015 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Evaporation en mm	106	134	180	253	241	281	359	320	175	174	120	80

Moyenne des années 2005-2015 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Evaporation en mm	83	112	151	199	229	287	325	281	212	167	125	76

5/- Tableaux de la vitesse du vent de la région de Touggourt par année et par mois :

Année 2005 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Vent Moy.1/10m/s	2,3	3,3	4,3	4	3,7	3,4	3,4	3,5	3,1	2,5	2,4	2,3

Année 2006 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Vent Moy.1/10m/s	2,3	2,9	3,7	3,3	3,6	3,5	2,9	2,9	2,6	2,6	1,5	2,2

Année 2007 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Vent Moy.1/10m/s	1,1	2,5	3,7	4,1	3	3,5	3	3,9	3,3	3,4	1,7	2

Année 2008 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Vent Moy.1/10m/s	1,7	1,1	3,2	3,2	4,7	4,0	3,7	3,2	3,7	3,2	2,5	1,8

Année 2009 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Vent Moy.1/10m/s	2,6	2,7	3,4	3,4	4,1	3,9	3,1	2,8	2,9	2,8	2,4	1,8

Année 2010 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Vent Moy.1/10m/s	3,5	4,2	3,5	3,6	3,4	3,8	2,4	2,4	2,0	2,3	2,2	1,8

Année 2011 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Vent Moy.1/10m/s	1,5	2,6	3,4	3,7	3,3	2,4	3,5	2,9	2,6	1,8	2,5	1,8

Année 2012 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Vent Moy.1/10m/s	2,3	2,8	2,4	3,9	3,8	3,1	2,9	2,3	2,5	1,8	2,3	1,7

Année 2013 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Vent Moy.1/10m/s	2,8	3,2	3,2	4,0	4,0	3,8	2,6	2,8	3,4	2,5	2,7	1,9

Année 2014 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Vent Moy.1/10m/s	4,0	3,2	4,0	3,0	3,5	3,8	3,1	2,5	2,7	2,9	2,8	2,1

Année 2015 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Vent Moy.1/10m/s	2,7	4,3	4,2	3,8	3,8	3,5	2,9	3,0	2,4	2,7	2,3	1,1

Moyenne des années 2005-2015 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Vent Moy.1/10m/s	2,4	3,0	3,5	3,6	3,7	3,5	3,0	2,9	2,8	2,6	2,3	1,9

5/- Tableaux de la vitesse du vent de la région de Touggourt par année et par mois :

Année 2005 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Précipitation en mm	0	4,1	0,8	0,2	0	3,3	0	6,2	6,1	3,2	1,7	0,1

Année 2006 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Précipitation en mm	38,7	1,1	0	3,2	1,1	0	0,2	2,2	14,5	14	2,7	6,6

Année 2007 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Précipitation en mm	0	0,3	0,8	42	0,2	0	0	21	0,5	0,9	0,1	12

Année 2008 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Précipitation en mm	5,4	1,4	0,0	0,0	1,1	2,9	0,5	0,1	5,0	29,8	3,4	6,1

Année 2009 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Précipitation en mm	9,0	0,0	2,5	1,0	0,6	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,0

Année 2010 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Précipitation en mm	9,8	1,1	0,3	12,1	2,1	0,0	0,0	0,0	2,4	1,7	0,0	0,0

Année 2011 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Précipitation en mm	0,0	0,8	8,3	4,5	4,2	0,2	0,0	1,7	0,4	0,6	0,0	0,6

Année 2012 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Précipitation en mm	3,5	0,0	0,0	7,3	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	2,6	1,4	0,0

Année 2013 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Précipitation en mm	0,9	1,6	5,0	15,5	0,0	0,0	0,0	7,6	0,0	0,2	6,5	18,5

Année 2014 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Précipitation en mm	2,2	0,0	5,2	0,0	0,6	0,3	0,0	0,0	6,1	0,9	7,5	1,9

Année 2015 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Précipitation en mm	0,9	42,9	12,4	0,0	0,0	0,1	0,0	2,6	7,3	0,1	0,0	0,0

Moyenne des années 2005-2015 :

Paramètre	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Précipitation en mm	6,4	4,8	3,2	7,8	0,9	0,6	0,1	3,8	4,4	4,9	2,1	4,1

Tableau 1 : Nombre d'incident par année et par type de défaut :

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Total
DR	14	7	6	0	4	10	12	6	6	3	7	75
DRD	12	3	6	0	0	3	1	0	1	1	0	27
Nombre Total d'incident	26	10	12	0	4	13	13	6	7	4	7	102
Nombre d'incident (%)	25%	10%	12%	0%	4%	13%	13%	6%	7%	4%	7%	

Tableau 2 : Nombre d'incident par année et par niveau de tension :

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
60 kv	6	1	2	0	2	5	1	1	1	1	0
220kv	20	9	10	0	2	8	12	5	6	3	7

Tableau 3 : Nombre d'incident par année et par saison pour 220 Kv :

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Automne	12	0	2	0	0	3	1	0	0	2	1
Hiver	3	5	2	0	0	0	3	3	1	0	2
Printemps	3	0	6	0	2	0	6	2	4	1	1
Eté	2	4	0	0	0	5	2	0	1	0	2

Tableau 4 : Nombre d'incident par année et par saison pour 60 Kv :

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Automne	5	0	2	0	1	0	1	0	0	0	0
Hiver	1	0	0	0	0	4	0	1	0	0	0
Printemps	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
Eté	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0

Tableau 5 : Taux des incidents par mois de la période 2005-2015 :

Année	Jan.	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aôut	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Incident(%) du 2005-2015	8%	11%	12%	9%	4%	6%	3%	14%	8%	17%	4%	5%

Tableau 6 : Nombre des incidents par mois de la période 2005-2015 :

Année	Jan.	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aôut	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
2005	2	2	3	0	0	0	0	2	2	14	1	0
2006	3	2	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0
2007	2	0	0	6	0	1	0	5	2	1	1	0
2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0
2010	0	0	0	0	1	3	1	1	1	2	0	4
2011	1	2	4	0	2	1	1	0	1	0	1	0
2012	1	3	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0
2013	0	1	2	1	1	0	0	2	0	0	0	0
2014	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0
2015	0	2	1	0	0	2	0	0	1	0	0	1
Total	9	12	13	10	4	7	3	15	9	18	4	5

Tableau 7 : Nombre et taux des incidents par horaire et par saison (Année 2005) :

	Automne		Hiver		Printemps		Eté	
Horaire	Nbre	Taux	Nbre	Taux	Nbre	Taux	Nbre	Taux
00:00-----06:00	3	19%	1	33%	1	33%	3	75%
06:00-----12:00	4	25%	1	33%	0	0%	0	0%
12:00-----18:00	5	31%	1	33%	2	67%	0	0%
18:00-----00:00	4	25%	0	0%	0	0%	1	25%

Tableau 8 : Nombre et taux des incidents par horaire et par saison (Année 2006) :

	Automne		Hiver		Printemps		Eté	
Horaire	Nbre	Taux	Nbre	Taux	Nbre	Taux	Nbre	Taux
00:00-----06:00	0	0%	0	0%	0	0%	5	100%
06:00-----12:00	0	0%	3	60%	0	0%	0	0%
12:00-----18:00	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
18:00-----00:00	0	0%	2	40%	0	0%	0	0%

Tableau 9 : Nombre et taux des incidents par horaire et par saison (Année 2007) :

	Automne		Hiver		Printemps		Eté	
Horaire	Nbre	Taux	Nbre	Taux	Nbre	Taux	Nbre	Taux
00:00-----06:00	1	50%	2	67%	0	0%	0	0%
06:00-----12:00	1	50%	0	0%	1	17%	1	100%
12:00-----18:00	0	0%	0	0%	3	50%	0	0%
18:00-----00:00	0	0%	1	33%	2	33%	0	0%

Tableau 10 : Nombre et taux des incidents par horaire et par saison (Année 2008) :

	Automne		Hiver		Printemps		Eté	
Horaire	Nbre	Taux	Nbre	Taux	Nbre	Taux	Nbre	Taux
00:00-----06:00	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
06:00-----12:00	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
12:00-----18:00	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
18:00-----00:00	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%

Tableau 11 : Nombre et taux des incidents par horaire et par saison (Année 2009) :

	Automne		Hiver		Printemps		Eté	
Horaire	Nbre	Taux	Nbre	Taux	Nbre	Taux	Nbre	Taux
00:00-----06:00	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
06:00-----12:00	0	0%	0	0%	1	33%	0	0%
12:00-----18:00	0	0%	0	0%	2	67%	0	0%
18:00-----00:00	0	0%	0	0%	0	0%	1	100%

Tableau 12 : Nombre et taux des incidents par horaire et par saison (Année 2010) :

	Automne		Hiver		Printemps		Eté	
Horaire	Nbre	Taux	Nbre	Taux	Nbre	Taux	Nbre	Taux
00:00-----06:00	1	33%	3	75%	1	50%	1	25%
06:00-----12:00	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
12:00-----18:00	1	33%	1	25%	0	0%	2	50%
18:00-----00:00	1	33%	0	0%	1	50%	1	25%

Tableau 13 : Nombre et taux des incidents par horaire et par saison (Année 2011) :

	Automne		Hiver		Printemps		Eté	
Horaire	Nbre	Taux	Nbre	Taux	Nbre	Taux	Nbre	Taux
00:00-----06:00	1	33%	1	25%	1	25%	0	0%
06:00-----12:00	0	0%	3	75%	5	125%	0	0%
12:00-----18:00	0	0%	0	0%	0	0%	1	50%
18:00-----00:00	0	0%	0	0%	0	0%	1	50%

Tableau 14 : Nombre et taux des incidents par horaire et par saison (Année 2012) :

	Automne		Hiver		Printemps		Eté	
Horaire	Nbre	Taux	Nbre	Taux	Nbre	Taux	Nbre	Taux
00:00-----06:00	0	0%	0	0%	1	50%	0	0%
06:00-----12:00	0	0%	2	50%	0	0%	0	0%
12:00-----18:00	0	0%	0	0%	1	50%	0	0%
18:00-----00:00	0	0%	2	50%	0	0%	0	0%

Tableau 15 : Nombre et taux des incidents par horaire et par saison (Année 2013) :

	Automne		Hiver		Printemps		Eté	
Horaire	Nbre	Taux	Nbre	Taux	Nbre	Taux	Nbre	Taux
00:00-----06:00	0	0%	0	0%	2	50%	0	0%
06:00-----12:00	0	0%	1	100%	0	0%	0	0%
12:00-----18:00	0	0%	0	0%	2	50%	1	50%
18:00-----00:00	0	0%	0	0%	0	0%	1	50%

Tableau 16 : Nombre et taux des incidents par horaire et par saison (Année 2014) :

	Automne		Hiver		Printemps		Eté	
Horaire	Nbre	Taux	Nbre	Taux	Nbre	Taux	Nbre	Taux
00:00-----06:00	1	50%	0	0%	1	50%	0	0%
06:00-----12:00	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
12:00-----18:00	1	50%	0	0%	1	50%	0	0%
18:00-----00:00	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%

Tableau 17 : Nombre et taux des incidents par horaire et par saison (Année 2015) :

	Automne		Hiver		Printemps		Eté	
Horaire	Nbre	Taux	Nbre	Taux	Nbre	Taux	Nbre	Taux
00:00-----06:00	0	0%	0	0%	0	0%	1	50%
06:00-----12:00	1	100%	1	50%	0	0%	0	0%
12:00-----18:00	0	0%	0	0%	1	100%	1	50%
18:00-----00:00	0	0%	1	50%	0	0%	0	0%

Tableau 18 : La moyenne des nombres et des taux des incidents par horaire et par saison (Année 2005-2015) :

	Automne		Hiver		Printemps		Eté	
Horaire	Nbre	Taux	Nbre	Taux	Nbre	Taux	Nbre	Taux
00:00-----06:00	7	28%	7	27%	7	24%	10	48%
06:00-----12:00	6	24%	11	42%	7	24%	1	5%
12:00-----18:00	7	28%	2	8%	12	41%	5	24%
18:00-----00:00	5	20%	6	23%	3	10%	5	24%