



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Polytechnique – Département de Génie Chimique
Laboratoire de Valorisation des Energies Fossiles



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

10X

Mémoire Pour l'Obtention du Diplôme De
POST – GRADUATION SPECIALISEE
« Economie de l'Energie, Maîtrise et Applications »

Thème

**PROJET CARTE POLLUTION ELECTRIQUE
REGION OUEST**

Proposé et dirigé par :
Prof. Abdelouahab MEKHALDI

Présentés par :
Melle Samira SMAIL Ingénieur d'Etude (OS)
Mr. Mohamed HAMMOUDI Ingénieur d'Etude (OS)

Soutenu le 02 Février 2010 devant la commission d'examen composée de :

Prof. El Hadi BENYOUSSEF
Prof. Abdelouahab MEKHALDI
Dr. Lezhari NEZLI

Président
Rapporteur
Examineur

Mr : Abdelaali BADACHE PDG de l'OS. Spa

Invité

PGS0210

Année Universitaire 2009 - 2010

Résumé

Les lignes aériennes du réseau électrique algérien sont le siège d'incidents fréquents, particulièrement dans les zones exposées à la pollution. La rupture diélectrique des isolateurs (amorçage, contournement, perforations des isolateurs) en est l'une des principales conséquences. Parmi les questions les plus importantes auxquelles se trouve confronté actuellement, le Gestionnaire de Transport d'Electricité est la manière d'évaluer l'état des lignes existantes de manière à définir les options de remise à neuf, l'extension de la durée de vie, leur amélioration et leur perfectionnement. Ces mêmes questions se posent pour la planification et le développement des réseaux futurs.

Notre travail concerne L'étude du phénomène de la pollution des isolateurs sur les lignes THT & HT au niveau de la région électrique ouest, et en particulier au niveau du site pilote de « Marsat El Hadjaj », qui est considéré comme la zone la plus polluée au niveau national. Nous commençons d'abord par l'identification de cette région en s'intéressant en particulier aux différentes sources de pollution existantes, ainsi qu'aux conditions climatiques la caractérisant. En se basant sur les résultats de cette identification ainsi que sur les traitements statistiques des incidents ayant eu lieu sur ces lignes, plusieurs méthodes de localisation des zones de pollution par degré de sévérité sont proposées.

Mots clés : pollution – isolateur – analyse – incidents – zone polluée – rupture diélectrique – amorçage – perforation – contournement – réseau électrique – planification – développement – site pilote – degré de sévérité.

Abstract

Electrical lines of Algeria grid are the seat of recurrent incidents, particularly in polluted areas. The dielectric breakdown of insulators (Boot, bypass, perforations insulators) is one of the main consequences. Among the most important questions which the manager of electric transmission, is currently facing is how to assess the situation of existing lines to define options to restore them, to improve their efficiency. These same issues are also valid for planning and development of future networks.

This study is based on the phenomenon of pollution on insulators THT & HT lines at the western region of Algeria, especially at the pilot site of "Marsat El Hadjaj", which is considered the most national polluted area. We begin, first of all, by identifying the region focusing on various sources of pollution that exist in this region and the climatic conditions witch characterizes it. Based on the results of this identification and the statistical treatment of the incidents taking place on these lines, several methods to locate polluted areas by severity are proposed.

Keywords : pollution - insulator - Analysis - Incidents - polluted area - dielectric breakdown - Boot - hole - workaround - grid - planning - development - pilot site - the degree of severity.

ملخص

خطوط الشبكة الكهربائية الجزائرية هي عناصر دائما تشهد حوادث متكررة ، وخاصة في المناطق المعرضة للتلوث. انهيار عازل للعوازل مثل (التمهيد، الالتفافية، تقوب العوازل) هي واحدة من النتائج الرئيسية. من بين أهم المسائل التي تواجه حاليا الشركة الجزائرية لتسيير شبكة النقل الكهربائي هو كيفية تقييم حالة الخطوط الكهربائية الحالية وذلك لتحديد الخيارات المتاحة لتجديد وتمديد عمرها، وتحسينها وتطويرها. نفس التساؤلات تطرح بالنسبة إلى ميادين تخطيط وتطوير الشبكات المستقبلية.

يتعلق عملنا بدراسة ظاهرة تلوث العوازل على الخطوط الكهربائية ذات التوتر العالي في المنطقة الكهربائية للغرب الجزائري ، وخاصة في الموقع التجريبي ل "مرسى الحجاج" ، التي تعتبر من أكثر المناطق تلوثا على الصعيد الوطني.

نبدأ أولا بتحديد المنطقة مع إعطاء أهمية خاصة لمختلف مصادر التلوث التي توجد في هذه المنطقة فضلا عن الظروف المناخية التي تميزها. استنادا إلى نتائج هذا التحديد والمعالجة الإحصائية للحوادث التي وقعت على هذه الخطوط، عدة طرق مقترحة لتحديد وإيجاد المناطق الملوثة بطريقة قياس درجة شدة التلوث.

الكلمات الرئيسية : التلوث - عازل - التحليل - الحوادث - المنطقة الملوثة - انهيار العزل الكهربائي - التمهيد - تقب - الالتفافية - الشبكة الكهربائية - التخطيط - التنمية - موقع تجريبي - درجة شدة التلوث.

Remerciements

Au nom du DIEU clément et miséricordieux

Louange à Dieu souverain de l'univers qui a permis à ce travail de voir le jour.

Cette thèse n'aurait pu voir le jour sans le soutien scientifique de nombreuses personnes, auxquelles je tiens ici à exprimer ma gratitude.

Un travail de thèse, qui doit mettre en évidence les apports originaux de son auteur, requiert entre autres une orientation lucide, critique et expérimentée, comment remercier le professeur A. MEKHALDI, qui a su conduire ce travail avec rigueur et dévouement, en toute situation ? Pour tout cela, un grand merci à toi Prof. A. MEKHALDI

Mes reconnaissances vont aussi à messieurs les membres du jury, pour l'honneur qu'ils auront fait en acceptant de juger ce travail, en portant un regard critique et pertinent, nécessaire à tout travail scientifique.

Je tiens aussi à exprimer mes remerciements à Mr. Le président directeur général de l'Opérateur du système électrique A. BADACHE, et à tous ceux qui ont contribué de près et de loin avec leur collaboration, leur support moral et financier pour la réalisation de ce travail.

Je désire également remercier Monsieur M. OUSSADI, Monsieur M. HACHED ET Melle N. TENZER, cadres à l'Opérateur du Système Electrique (OS), et Madame S. ZERAOULIA, cadre au Centre de Recherche et de Développement de l'Electricité et du Gaz (CREDEG), de m'avoir aidé et encouragé.

HAMMOUDI Mohamed

Je ne peux terminer ces remerciements sans mentionner mes proches, à qui je dédie ce travail et dont l'amour et le soutien m'ont été plus que bénéfiques. A mes parents d'abord, qui m'ont aidé tout au long de mon parcours. A ma fille, à ma femme, à tout ce monde là, je dirai merci et encore merci.

Je ne saurais oublier mes collègues de la promotion **Post – Graduation Spécialisée Economie de L'énergie - Session 2009** et à l'ensemble des professeurs et chercheurs qui ont contribués de près où de loin à cette formation, à qui je n'ai pas l'habitude d'exprimer ma gratitude ; par ces quelques lignes je souhaite leur dire à quel point leur présence est essentielle à mon bonheur...scientifique.

HAMMOUDI Mohamed

DÉDICACES



A tous Ceux et Celles qui de près ou de loin, m'ont aidée à surmonter les difficultés, pour arriver là où j'en suis

Je voudrai leur exprimer toute ma gratitude en leur dédiant ce modeste travail.

*A mes parents pour leur inépuisable soutien
Merci ...*

A ma femme et ma fille pour toute la bonne humeur et la joie qu'ils apportent



HAMMOUDI Mohamed

Remerciements

« La reconnaissance est la mémoire du cœur »

[Hans Christian Andersen]

En témoignage de reconnaissance et de gratitude, je veux exprimer mes remerciements à Mr A. MEKHALDI Notre promoteur pour sa contribution et le temps qu'il nous a consacré ainsi que pour sa collaboration idéale du début jusqu'à la fin de notre travail.

J'exprime une profonde gratitude à mon entreprise Opérateur du Système Electrique / SONELGAZ qui m'a donné la possibilité d'entreprendre cette formation.

Aussi, j'exprime ma haute considération à l'égard de Mr A. BADACHE, Président Directeur Général de l'Opérateur du Système Electrique, pour son aide et son soutien.

Je ne peux oublier de rendre un vif hommage aux professeurs, enseignants et tous les intervenants pour l'effort et la patience dont ils ont fait preuve tout au long de notre formation ainsi qu'à la richesse du transfert du savoir faire.

Mes remerciements les plus sincères vont aussi à l'égard de Mme S. ZEROVALIA pour son aide et la mise à notre disposition de toutes les données qui nous ont été d'une grande utilité.

Je tiens à remercier tout particulièrement Mr M. OUSSADI pour son aide, ses conseils et ses orientations pour accomplir notre travail.

J'exprime ma gratitude à l'encontre des membres du jury pour l'honneur qu'ils nous ont accordé en acceptant de juger et d'évaluer ce travail.

Enfin je n'oublie pas de rendre un hommage à mes parents et toute ma famille, ainsi qu'à toute personne qui a contribué de près ou de loin pour faire aboutir ce modeste travail.

Mlle Samira SMAIL

Dédicaces

*« Ce n'est pas tant l'intervention de nos amis
qui nous aide mais le fait de savoir que nous
pourrons toujours compter sur eux ».*

[Épicure]

A mes parents

A toute ma famille

A mes amis(es).

Mlle Samira SMAIL

Table des matières

NOMENCLATURE & ABREVIATIONS

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE.....1-4

**CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES PHENOMENES DE LA POLLUTION DES
ISOLATEURS A HAUTE TENSION**

I. GENERALITES SUR LES ISOLATEURS.....	5
I.1 Définition.....	5
I.2 Partie Isolante.....	6
I.3 Principaux Types d'Isolateurs.....	6
I.4 Les pièces métalliques de liaison.....	8
I.5 Classification des Isolateurs.....	9
I.5.1 Classe A.....	9
I.5.2 Classe B.....	9
I.6 Choix des Isolateurs.....	10
I.7 Vieillessement.....	11
II. PHENOMENES DE LA POLLUTION DES ISOLATEURS A HAUTE TENSION.....	12
II.1 Pollution des Isolateurs.....	12
II.1.1 Formation et répartition de la couche de pollution sur les surfaces isolantes.....	12
II.1.2 Types de Pollution.....	13
a) La pollution naturelle.....	13
a.1) La pollution marine.....	13
a.2) Pollution désertique.....	13
a.3) Autres types de pollution naturelle.....	13
b) La pollution industrielle.....	14
c) La pollution mixte.....	14
II.2 Conséquences de la Pollution.....	15
II.2.1 Arc non localisé.....	15
II.2.2 Arc fixe.....	15
II.2.3 Contournement des isolateurs pollués.....	15
II.3 Sévérité de Pollution d'un site	16
II.3.1 Classification des sites pollués.....	17
II.3.2 Hypothèses de pollution des isolateurs.....	18
II.4 Techniques de lutte contre la pollution.....	18
II.4.1 Allongement de la ligne de fuite.....	19
II.4.2 Changement de forme des isolateurs - Isolateurs plats.....	19
II.4.3 Graissage périodique.....	19
II.4.4 Revêtements silicones.....	20
II.4.5 Les isolateurs composites.....	20
II.4.6 Nettoyage des isolateurs.....	20
III. CONCLUSION.....	21

CHAPITRE II: IDENTIFICATION DE LA REGION D'ORAN

I. INTRODUCTION.....	22
II. DESCRIPTION DU RESEAU DE LA REG REGION D'ORAN.....	22
II.1 Consistance physique du réseau haute tension de la région d'Oran.....	23
II.2 Sources de pollution.....	24
II.2.1 Pollution naturelle.....	24
a) Pollution marine.....	24
b) Pollution désertique.....	25
II.2.2 Pollution industrielle.....	25
II.2.3 Pollution mixte.....	25
II.3 Sources de pollution dans la région d'Oran.....	26
II.3.1 Pollution industrielle.....	26
a) Les cimenteries.....	26
b) Les zones industrielles.....	27
c) Les centrales électriques.....	28
d) Le trafic routier.....	29
e) Les décharges publiques	30
II.3.2 Pollution naturelle.....	30
a) La mer.....	30
b) Les zones humides.....	30
c) Le désert	30
II.4 Climatologie	31
II.4.1 Températures.....	31
II.4.2 Humidité relative de l'air.....	35
II.4.3 Précipitations.....	39
II.4.4 Orages.....	40
II.4.5 La gelée blanche.....	40
II.4.6 Le brouillard.....	40
II.4.7 La rosée.....	40
II.4.8 Les vents.....	40
II.4.9 Sirocco.....	41
III. CONCLUSION.....	41

CHAPITRE III : ANALYSE DES INCIDENTS DE LA REGION ELECTRIQUE OUEST & CAS DU SITE PILOTE DE « MARSAT EL HADJAJ »

I. INTRODUCTION.....	42
II. ANALYSE DES INCIDENTS SUR LA PERIODE 1990 – 2008.....	43
II.1 Statistiques des incidents.....	44
II.1.1 Répartition des incidents par type de défaut.....	44
II.1.2 Répartition des densités moyennes d'incidents.....	45
II.2 Analyse des incidents.....	46

II.2.1 Paramètres climatiques et météorologiques.....	46
II.2.2 Répartition des incidents pour l'année 1998.....	47
a) Répartition des incidents par saison.....	47
b) Répartition des incidents par mois.....	47
c) Répartition horaire des incidents pour chaque saison.....	48
II.2.3 Répartition des incidents pour l'année 2003.....	48
a) Répartition des incidents par saison.....	48
b) Répartition des incidents par mois.....	49
c) Répartition horaire des incidents pour chaque saison.....	49
II.2.4 Nombre d'incidents dus à la pollution.....	50
II.3 Analyse des résultats.....	51
II.4 Localisation de la zone la plus polluée.....	52
III. ETUDE DU PHENOMENE DE LA POLLUTION DES ISOLATEURS AU SITE PILOTE DE « MARSAT EL HAJAJ ».....	54
III.1 Identification électrique de la zone de Marsat.....	54
III.1.1 Situation géographique.....	54
III.1.2 Localisation industrielle.....	54
III.1.3 Localisation du réseau.....	54
III.2 Conditions climatiques.....	54
III.2.1 Humidité relative de l'air.....	54
III.2.2 Température.....	55
III.2.3 Précipitations pluviales	55
III.2.4 Brouillard.....	55
III.2.5 Rosée.....	55
III.2.6 Orage.....	55
III.2.7 Vent.....	56
III.2.8 Sirocco.....	56
III.3 Analyse statistique des incidents.....	56
III.4 Sources polluantes.....	57
III.4.1 Pollution naturelle.....	57
III.4.2 Pollution industrielle.....	57
III.5 Propriétés chimiques de l'agent polluant.....	57
III.5.1 Analyse spectrale.....	57
III.5.2 Epaisseur et granulométrie de la couche polluante.....	58
III.6 Mécanisme de contournement des isolateurs sous pollution.....	58
III.7 Méthodes adoptées par le GRTE pour l'étude de la pollution des isolateurs au site de Marsat.....	58
III.7.1 Conception & Orientation de la Station d'essais.....	58
III.7.2 Évaluation du degré de sévérité de la pollution du site de Marsat.....	59
III.7.3 Résultats des mesures de la pollution.....	59
a) Résultats des campagnes de mesures de l'ESDD & du NSDD.....	60
b) Résultats des analyses chimiques de la solution de pollution ; méthode Spectrométrique.....	60
III.7.4 Impact des paramètres météorologiques et climatiques sur l'ESDD & NSDD.....	63
III.7.5 Classe et Niveau de pollution du site de Marsat.....	63

III.7.6 Propriétés d'Auto nettoyage des isolateurs.....	64
a) Procédure pour l'évaluation des propriétés d'auto nettoyage des isolateurs.....	64
III.7.7 Classement et choix optimum des isolateurs pour le site de Marsat El Hadjaj....	65
a) Analyse et interprétation des résultats de mesures de l'ESDD, du NSDD et de la classe d'Hydrophobicité.....	66
a.1) Cas des isolateurs céramiques (verres et porcelaines).....	66
a.2) Cas des isolateurs non céramiques (composites).....	67
b) Procédure pour le classement par ordre de mérite des isolateurs selon les méthodes de l'ESDD & NSDD max.....	68
c) Procédure pour le classement global des isolateurs (méthodes de l'ESDD, NSDD max. et coefficient d'auto nettoyage K).....	69
d) Procédure pour le choix du profil géométrique optimum des isolateurs les plus adaptés à la région d'Oran.....	70
III.8 Remèdes adoptés par le GRTE contre les amorçages dus à la pollution.....	73
IV. CONCLUSION.....	73
CONCLUSION GENERALE.....	77-80
ANNEXES.....	1-43
ANNEXE 1.....	1-13
ANNEXE 2.....	14-15
ANNEXE 3.....	16-21
ANNEXE 4.....	22
ANNEXE 5.....	23-24
ANNEXE 6.....	25-26
ANNEXE 7.....	27
ANNEXE 8.....	28-36
ANNEXE 9.....	37-38
ANNEXE 10.....	38
ANNEXE 11.....	39
ANNEXE 12.....	40-43
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	

Nomenclature & Abréviations

GRTE	Gestionnaire Réseau Transport d'Electricité – Filiale SONELGAZ
OS	Opérateur du Système Electrique – Filiale SONELGAZ
CREDEG	Centre de Recherche Et de Développement d'Electricité et du Gaz
CIGRE	Conseil International des Grands Réseaux Electriques
SIS	STEG International Services
STEG	Société Tunisienne d'Electricité et Gaz
CEI	Commission Electrotechnique Internationale
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ENP	Ecole Nationale Polytechnique d'Alger
USTHB	Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene
EPDM	Éthylène Propylène Diène Monomère
EPR	Éthylène Propylène Rubber
PDMS	Poly (diméthylsiloxane)
ESDD	Equivalent salt deposit density
NSDD	Non-soluble deposit density
SDD	Densité du dépôt de sel
THT/HT	Très Haute tension/Haute tension
HT/MT	Haute tension/Moyenne tension
DR	Déclenchement - Réenclenchement
DRD	Déclenchement - Réenclenchement - Déclenchement
TV	Turbine Vapeur
TG	Turbine Gaz
kV	Kilo Volts
A	Ampère
Y_e	Conductivité de la surface
L	Longueur de la chaîne d'isolateur
L_f	Longueur de la ligne de fuite minimale
L_{fs}	Longueur de fuite spécifique
k	Coefficient qui dépend du diamètre moyen du support isolant
Sa	Salinité
W_f	Poids du filtre contenant le polluant séché
W_i	Poids du filtre séché
K	Coefficient d'auto nettoyage
ppm	Partie par million
MHP	Marsat El Hadjaj poste

INTRODUCTION GENERALE

Les lignes électriques aériennes constituent et demeurent, à ce jour, l'un des moyens le plus utilisé et le plus économique pour Transporter & Distribuer l'énergie électrique aux usagers. Cependant, ces lignes sont le siège de ruptures diélectriques et d'incidents fréquents, plus particulièrement, sur les lignes aériennes implantées dans les zones polluées.

Le **GRTE**, dont le réseau est exposé à une pollution dominante de type « Marine, Pétrochimique, Industrielle et Désertique », 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 fiabilité de ces Réseaux de Transport de l'énergie électrique passe aussi, par des chaînes d'isolateurs dont la fonction est d'assurer l'isolement des lignes électriques aériennes et des postes HT. [1]

Deux techniques d'isolement externe sont utilisées dans le monde (Annexe 1) :

- **La Technique « CERAMIQUE »** : Appelée aussi technique traditionnelle, utilisant respectivement, depuis plus d'un siècle, les isolateurs en verre recuit, les isolateurs en porcelaine et les isolateurs en verre trempé...
- **La Technique « NON CERAMIQUE »** : Nouvelle technique utilisant, depuis les années 80, une grande diversité d'isolateurs composites, tels que le Téflon, l'Epoxy, l'EPDM (éthylène, propylène, diène, monomère), l'EPR (Ethylène Propylène Rubber), et le Silicone (avec ses deux formes RTV & HTV)...

La SONELGAZ utilise pour ses lignes THT et HT (400, 220 et 60 kV) les isolateurs en verre type capot et tige à rotule et logement de rotule conformes aux publications CEI 60120 et aux normes EN 60305 et 61466-1. Le verre doit présenter une tenue résiduelle à 70 % de la charge de rupture nominale conformément à la CEI 60797. Dans les régions polluées SONELGAZ a recours aux isolateurs type composite.

Ces éléments de chaînes d'isolateurs, considérés, à juste titre, comme le maillon faible des lignes électriques aériennes et des postes en milieu pollué, sont à l'origine de plus de 70 % des incidents sur les réseaux de Transport et de Distribution, alors qu'ils ne représentent qu'une faible proportion, estimée à moins de 10 %, du coût kilométrique d'une ligne électrique aérienne HT.

L'Application, par plusieurs entreprises de transport et de distribution de l'électricité dans le monde, du nouveau concept « **Life Cycle Cost** » (**coût du cycle de vie**), a largement

démonstré, que ces isolateurs peuvent aussi représenter jusqu'à 60 % du coût total d'exploitation et de maintenance des réseaux électriques MT & HT.

Plusieurs travaux sur la pollution des isolateurs, publiés et validés à l'échelle internationale par des chercheurs, des membres experts du Conseil International des grands réseaux électriques « Cigré », et de l'IEEE soulignent, encore et à ce jour, l'actualité et la complexité de ce phénomène « aléatoire » bien connu mais, insuffisamment maîtrisé.

Les résultats de ces travaux, (**cités en références par plusieurs revues internationales spécialisées [INMR de Mai & Juillet 1998...] et par les Brochures Techniques du « Cigré » [BT N°158. Juin 2000 & BT N°361. Juin 2008]**), démontrent, en substance, que le choix et le dimensionnement des isolateurs sous pollution, naguère basé essentiellement sur le **concept de la longueur de la ligne spécifique (mm/kV.Φ.Φ)**, est une condition nécessaire mais **peu suffisante** pour assurer sans défaillance la fonction isolement des lignes électriques aériennes en milieu pollué. [2, 3, 4]

Idem, pour la procédure d'essais d'acceptation des isolateurs sous pollution artificielle. La CEI préconise de polluer uniformément toute la surface des isolateurs (méthode de la couche solide), alors que cette recommandation est très peu représentative des conditions naturelles de service particulièrement dans notre pays ; d'où les actions de révision, en cours, de plusieurs normes et publications de la CEI. [2, 3, 4]

Le dimensionnement géométrique (forme, profil, pas, diamètre des isolateurs...), y compris le coefficient d'auto nettoyage des isolateurs se présentent, aujourd'hui, surtout pour les pays de la rive sud de la méditerranée, dominés par la pollution du type « **solide** », comme des critères complémentaires mais, déterminants pour le choix optimum et approprié des isolateurs en milieu pollué.

Compte tenu des connaissances actuelles acquises et du retour d'information et d'expériences dans le monde, le **dimensionnement convenable de l'isolement externe**, des lignes électriques aériennes et des postes, sur un site donné, en premier, et **l'optimisation des opérations de lavage des isolateurs ainsi que du programme de maintenance** ensuite, passent par **une procédure et une méthodologie**, aujourd'hui validée à l'échelle internationale, dont voici les axes principaux : [5, 6]

- **L'identification des sources de la pollution du site et l'analyse quantitative et qualitative des dépôts sur la surface des isolateurs,**

- L'évaluation et l'actualisation du degré de sévérité de la pollution du site,
- Le suivi des prévisions météorologiques avec une référence particulière aux contraintes climatiques exceptionnelles (tempêtes, neige, foudres...etc.),
- L'enregistrement et la constitution d'une base de données des paramètres météorologiques, particulièrement les vents dominants (vitesse et directions), L'humidité, la température...etc.,
- L'identification des sources des agents humidificateurs, considérés comme les principaux éléments catalyseurs du mécanisme de contournement des isolateurs,
- Les critères de choix des isolateurs sous pollution avec une référence particulière à la technique de production, au profil géométrique, aux propriétés d'auto nettoyage et enfin au coût du cycle de vie, ou à défaut, au coût du cycle partiel d'exploitation des Isolateurs.

Pour l'application de cette procédure, fruit de plusieurs années d'études, de recherches et d'investigations dans le monde, le GRTE a signé, le **15 janvier 2007**, avec son homologue Tunisien, « STEG International Services » (SIS), un contrat d'assistance technique, d'un an, pour l'étude du phénomène de la pollution des isolateurs sur les lignes HT & THT au site pilote de Marsat El Hadjaj (Nord Ouest Algérien, à 50 km d'Oran).

Dans un pays comme l'Algérie, La pollution des isolateurs THT/HT est beaucoup plus ressentie dans les régions côtières fortement industrialisées dont la surface représente à peine 1,7 % de la superficie totale du pays, et où réside la grande majorité de la population, que celles-ci ont été implantées. En effet, la plupart des industries polluantes se retrouvent autour des capitales régionales Alger, Oran, Constantine et Annaba.

Le site de **MARSAT**, qui est considéré comme la région la plus polluée au niveau national du fait qu'elle est proche des torches de la zone pétrochimique d'Arzew, est un cas bien particulier qui nécessite une grande attention afin de prendre connaissance des phénomènes de pollution et permettre l'utilisation des moyens antipollution. [7]

L'objectif principal du présent travail est la contribution à l'étude du phénomène de pollution des isolateurs, des lignes HT de la **Région Electrique Ouest**, caractérisée par un climat méditerranéen pour les régions côtières, tellien à l'intérieur du pays et désertique au sud de la région.

Afin de déterminer l'impact de la pollution 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 principaux :

Le chapitre I présente quelques notions fondamentales sur les isolateurs, leurs caractéristiques, leurs différents types ainsi que les matériaux utilisés pour leur fabrication. La deuxième partie de ce chapitre est consacrée aux phénomènes de la pollution des isolateurs à haute tension et ses conséquences néfastes sur le comportement des isolateurs.

Le chapitre II porte sur l'identification de la région Ouest. Celle-ci concerne la localisation des ouvrages Sonelgaz par rapport aux différentes sources de pollution ainsi que l'étude des conditions météorologiques prévalant dans la région.

Le chapitre III est consacré, en premier lieu, au traitement statistique et à l'analyse des incidents dus à la pollution, survenus sur le réseau de transport d'électricité de haute tension (220 kV) de la région électrique Ouest. Le traitement de ces incidents a abouti à la détermination des taux annuels d'incidents, leur distribution journalière, saisonnière et annuelle. Les zones les plus polluées ont été identifiées par des méthodes basées sur les statistiques des incidents.

La deuxième partie de ce chapitre porte sur l'étude du phénomène de la pollution des isolateurs sur les lignes HT & THT au niveau du site pilote de « Marsat El Hadjaj ». Cette étude est le fruit d'une collaboration entre le GRTE et SIS, sanctionnée par un rapport établie en janvier 2009 [5].

Enfin, on termine par une conclusion générale ainsi que des recommandations pour des travaux futurs.

CHAPITRE I :

Généralités sur les Phénomènes de la pollution des Isolateurs à haute tension

I. GENERALITES SUR LES ISOLATEURS :

Un **isolant** est un matériau qui limite les échanges d'énergie entre deux systèmes. On distingue : les isolants **électriques**, les isolants **thermiques**, les isolants **phoniques**, les isolants **mécaniques**.

En électricité comme en électronique, un **isolant**, aussi appelé **matériau diélectrique**, est une partie d'un composant ou un organe ayant pour fonction d'interdire le passage de tout courant électrique entre deux parties conductrices. Un isolant possède peu de charges libres, elles y sont piégées, contrairement à un matériau conducteur où les charges sont nombreuses et libres de se déplacer sous l'action d'un champ électromagnétique [4 ; 8].

Il ne faut pas confondre **isolant** qui désigne la propriété d'un matériau de ne pas conduire l'électricité ou qui caractérise ce même matériau, et **isolateur** qui désigne un composant électrotechnique fait de matériau isolant.

I.1 Définition :

Un **isolateur** est un composant électrotechnique solide présentant une très grande impédance au passage du courant électrique et dont la conductibilité est pratiquement nulle. Il sert à retenir mécaniquement les conducteurs aux supports (pylônes), et à assurer l'isolement électrique entre ces deux éléments. On trouve des isolateurs en particulier sur les lignes à haute tension, mais aussi sur les lignes télégraphiques ou dans les postes électriques [4 ; 8].

Il est constitué de deux parties : une **partie isolante** et des **pièces métalliques scellées** sur cette partie isolante. Le scellement, généralement du mortier de ciment, assure la liaison mécanique des parties isolantes entre elles ou aux pièces métalliques.

On distingue deux principaux types d'isolateurs : les isolateurs **rigides** et les **éléments de chaîne**, le nombre des isolateurs utilisés en chaînes, dépend de la tension de service de la ligne (tableau I.1).

Tension de la ligne en kV	Nombre d'isolateurs par phase
400	35
220	16 à 18
150	14
90	9
60	6 à 7

Tableau I.1 : Nombre d'isolateurs en fonction de la tension de la ligne.

I.2 Partie isolante :

Historiquement les isolateurs étaient réalisés en verre (recuit ou trempé), ou céramique (dérivés de stéatite par exemple), on en trouve maintenant en matériau synthétique.

Les isolateurs verre ou céramique des lignes à haute tension ont en général la forme d'une assiette. On les associe entre eux pour former des chaînes d'isolateurs. On trouve aussi des isolateurs sous forme de colonne, avec toujours un profil en ailettes pour allonger la **ligne de fuite**, c'est à dire la distance aux bornes de l'isolateur, mesurée en suivant le profil de l'isolateur.

Depuis la fin du XXe siècle, les matériaux composites sont de plus en plus utilisés pour fabriquer des isolateurs : en réalisant un axe central en fibre de verre et en surmoulant par dessus une matière **silicone** ou **EPDM** (Éthylène Propylène Diène Monomère) (Annexe 1). Les isolateurs composites (figure I.1) sont plus légers, en général moins cher et, présentent une excellente hydrophobicité. Ils sont en particuliers prisés pour les zones fortement polluées et dans les zones urbaines où ils résistent mieux au vandalisme [6 ; 9].

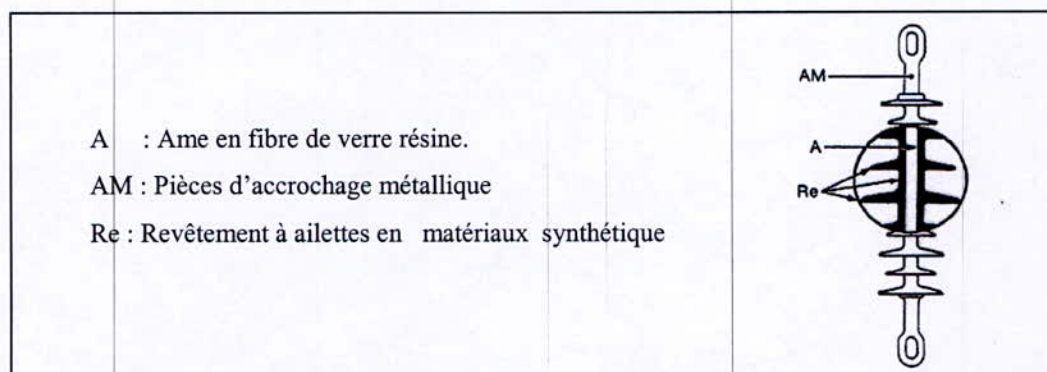


Figure I.1 : Isolateur composite.

I.3 Principaux types d'isolateurs [6 ; 9] :

L'**isolateur rigide** (figure I.2) est relié au support par une **ferrure** qui, très souvent, est une **tige**. Le conducteur est fixé directement à l'isolateur à l'aide d'un **fil d'attache**. Les isolateurs rigides à tige comportent une ou plusieurs **cloches** assemblées de façon permanente. Il existe également des **isolateurs rigides à socle** constitués d'une ou de plusieurs pièces en céramique ou en matériau synthétique, assemblées de façon permanente sur un socle métallique. Les **isolateurs à tige** sont utilisés, en position verticale, horizontale ou oblique, pour les lignes de distribution, de même que pour les lignes télégraphiques et téléphoniques. Ainsi, les **poulies** (que l'on nomme à tort **isolateurs-bobines**) sont généralement montées en position horizontale.

L'**élément de chaîne** est relié à d'autres éléments, à la pince de suspension du conducteur ou au support de façon flexible, par un assemblage à **rotule et logement de rotule** (ball and socket) ou à **chape et tenon**. Il existe deux types principaux d'isolateurs suspendus :

Les **isolateurs à capot et tige** (figure I.2) et les **isolateurs à long fût** (figure I.2). Dans le cas des isolateurs à capot et tige, chaque élément est constitué d'un **capot**, d'une partie isolante en forme de **jupe** et d'une **tige**. On peut trouver plusieurs profils d'isolateurs capot et tige et ceci pour un meilleur fonctionnement (Annexe 1).

L'isolateur à long fût est constitué d'un bâton cylindrique en céramique, muni d'**ailettes**, à chaque extrémité duquel est fixée une pièce métallique de liaison. Les isolateurs suspendus sont utilisés pour les lignes de transport.

Un ensemble de plusieurs éléments de chaîne forme une **chaîne d'isolateurs**. Les chaînes verticales ou obliques suspendent les conducteurs aux **pylônes d'alignement** ; on les appelle **chaînes de suspension** ou **chaînes d'alignement** (figure I.2). Une chaîne de suspension peut être **simple**, **double**, **en A** ou **en V**. Les chaînes horizontales relient les conducteurs aux pylônes d'ancrage ; on les appelle **chaînes d'ancrage** (figure I.2). Une chaîne d'ancrage peut être **simple** ou **double**.

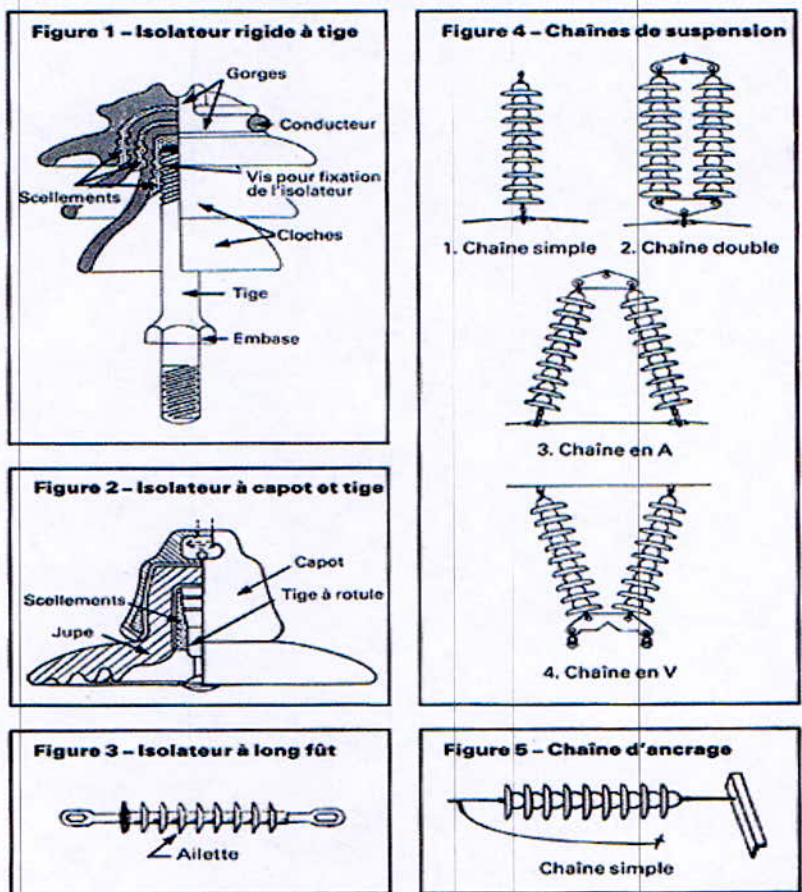


Figure I.2 : Principaux Types d'Isolateurs.

I.4 Les pièces métalliques de liaison [6 ; 9] :

Les isolateurs sont munis de différents accessoires tels que les dispositifs de fixation des isolateurs aux pylônes, les pinces, les pièces de garde et contrepoids. Ces pièces sont réalisées par des métaux qui doivent répondre aux contraintes mécaniques et thermiques appliquées à l'isolateur au cours de son exploitation.

On trouve d'abord, dans une chaîne de suspension simple constituée d'isolateurs à capot et tige, les organes de liaison entre les isolateurs et la charpente du pylône. Ils comprennent deux éléments : l'**étrier de fixation** (figure I.3), qui peut être remplacé par une **chape**, et la **rotule à œil** qui, elle, fait la liaison entre l'étrier et le premier isolateur. À la suite du dernier isolateur, on trouve la **pince de suspension** ou **pince d'alignement** (figure I.3). Cette pièce, destinée à supporter un conducteur, comporte essentiellement une gouttière métallique plus ou moins évasée et s'accroche au moyen d'accessoires de fixation sous la chaîne d'isolateurs. On trouve enfin les pièces de garde qui ont pour rôle principal d'éloigner l'arc de contournement de la chaîne. Ces pièces de garde comprennent les **cornes de garde** (figure I.3) et les **anneaux de garde** ou **anneaux pare-effluve(s)** (figure I.3), dont l'usage est plutôt limité aux lignes à très haute tension.

Dans le cas des chaînes doubles, on place un **palonnier** (figure I.3) entre les pylônes et les files d'isolateurs ou entre les files d'isolateurs et les conducteurs. Le palonnier est une pièce métallique, généralement de forme triangulaire, permettant d'attacher plusieurs files d'isolateurs ou plusieurs conducteurs en un seul point de fixation. La disposition des pièces de garde est la même que sur les chaînes simples.

Dans le cas des chaînes d'ancrage (simple ou double), on utilise une **pince d'ancrage** pour supporter le conducteur. Il s'agit d'un dispositif destiné à soutenir la tension mécanique du conducteur.

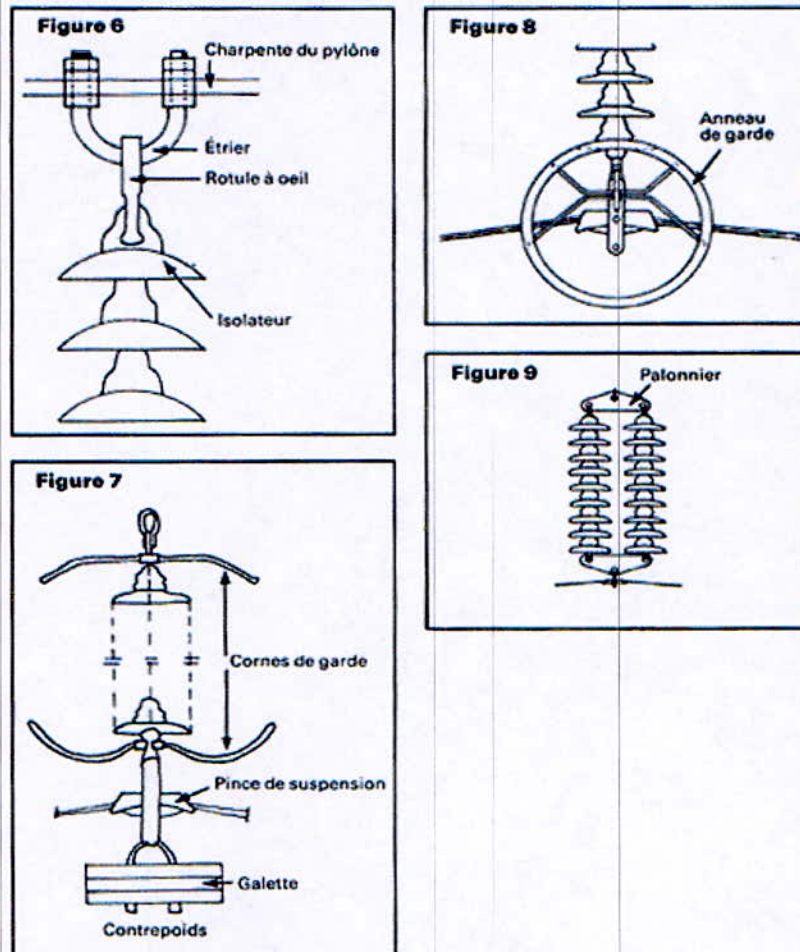


Figure I.3 : Les pièces métalliques de liaison.

Un autre accessoire, le **contrepoids** (figure I.3), est une masse constituée d'un ou de plusieurs éléments ayant la forme de **galettes** et servant à diminuer le soulèvement de la chaîne de suspension et, par conséquent, à limiter l'amplitude du balancement.

I.5 Classification des isolateurs [6 ; 10] :

I.5.1 CLASSE A :

Elle comprend tous les isolateurs de chaînes pour lesquels la plus courte longueur du canal de perforation à travers la matière isolante solide est au moins égale à la moitié de la distance d'arc. Un isolateur à long fût avec des pièces métalliques extérieures est un exemple d'isolateur de classe A.

I.5.2 CLASSE B :

Elle comprend tous les isolateurs ou éléments de chaînes pour lesquels la plus courte longueur du canal de perforation à travers la matière isolante est inférieure à la moitié de la distance d'arc. Un isolateur à capot et à tige est un exemple d'isolateur de classe B.

I.6 Choix des isolateurs :

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 : la qualité et la continuité de service.

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.

Même bien choisi, une isolation n'est pas à l'abri d'un incident. La sévérité de la pollution d'un site peut changer : le dimensionnement initialement correct des isolateurs peut alors être insuffisant pour pouvoir protéger les installations existantes contre les nouvelles sources de pollution éventuelles.

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 des contraintes accidentelles qui permet de choisir le matériel le plus adapté (figure I.4).

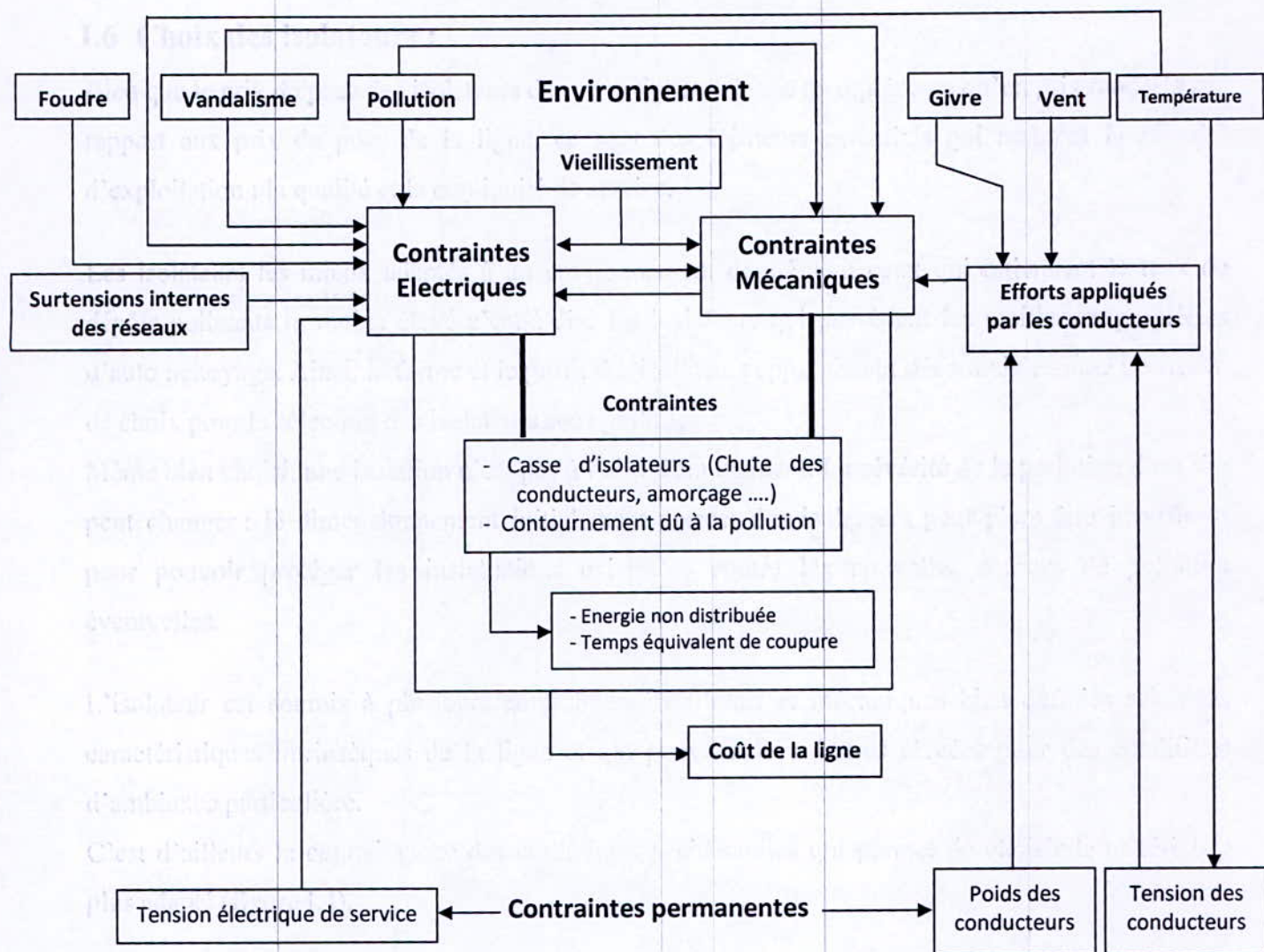


Figure I.4 : Conditions d'environnement sur les isolateurs en exploitation.

I.7 Vieillesse :

Deux phénomènes entraînent le vieillissement des isolateurs et conduisent à deux phénomènes différents ; la **perforation** de l'isolateur par un arc électrique dans son volume et le **contournement** de l'isolateur à sa surface par un arc électrique :

- Pour la **perforation**, des décharges partielles (Annexe 1) se produisent au voisinage des imperfections des isolateurs (vide, inclusion, inhomogénéité), et vont progressivement ronger l'isolateur, jusqu'à l'apparition d'une décharge complète détruisant par explosion l'isolateur (décharge intrinsèque-perforation).
- Quant au **contournement** (Annexe 1), il faut distinguer deux cas :

- le premier est dû à une surtension (foudre par exp.) qui provoquera une décharge électrique à la surface de l'isolateur suivant les mécanismes classiques des décharges (streamer/leader).
- le second cas correspond à la pollution atmosphérique. Ce type de contournement est la conséquence de la combinaison de plusieurs paramètres (Annexe 2.1).

II. PHENOMENES DE LA POLLUTION DES ISOLATEURS A HAUTE TENSION :

Il a été montré que le comportement des isolateurs sous pollution peut être décomposé en quatre grandes étapes : dépôt d'une couche de pollution sur la surface de l'isolateur, humidification progressive de la couche de pollution, développement de zones sèches et apparition d'arcs partiels et enfin extension des arcs partiels si les conditions sont favorables jusqu'à court-circuiter l'isolateur.

La pollution est classifiée et peut être décomposée suivant sa nature et sa sévérité en pollution industrielle, marine, désertique (milieux poussiéreux quasi-désertique). Le givre est lui aussi source de pollution pour les isolateurs. Il est possible de quantifier le degré de pollution en procédant à des méthodes de mesure spécifiques (ESDD, conductance superficielle, courant de fuite). Ces méthodes de mesure de la sévérité de la pollution sont liées directement ou indirectement aux étapes du développement du contournement.

Des essais sous pollution artificielles sont effectués en laboratoire et l'association des résultats des mesures de pollution permet de représenter les conditions de pollution naturelle. Ces essais en laboratoire permettent de déterminer le profil des isolateurs et la longueur de la chaîne qui représente les meilleures performances dans les conditions de pollution du site étudié. La forme de l'isolateur est généralement conçue pour obtenir une ligne de fuite maximale entre les deux conducteurs, d'où son profil caractéristique en forme de « vagues » dites nervures. Il peut également être recouvert de graisse ou lavé régulièrement.

II.1 Pollution des isolateurs :

II.1.1 Formation et répartition de la couche de pollution sur les surfaces isolantes :

L'interaction entre l'écoulement d'un air transportant de la poussière et l'obstacle que constituent les isolateurs engendre en présence de l'humidité la formation d'une couche de poussière sur la surface de ces isolateurs. La répartition de cette couche de pollution dépend du profil de ces isolateurs de la hauteur et de la disposition (verticale, horizontale ou inclinée) des chaînes

d'isolateurs par rapport au sol et du niveau de la tension qui leur est appliquée. En général, la couche de pollution se concentre sur les éléments de la chaîne d'isolateurs situés du côté du conducteur de haute tension et dans les parties les mieux protégées contre les facteurs d'auto-nettoyage (vent fort, forte pluie). Par conséquent, la répartition de la pollution le long des chaînes d'isolateurs n'est pas uniforme. Cette non uniformité devient plus accentuée lorsque la longueur des chaînes augmente. La densité de ces dépôts polluants augmente lorsque la tension appliquée aux conducteurs augmente [9].

II.1.2 Types de Pollution :

Les principales sources de pollution qui peuvent être rencontrées sont la pollution naturelle, la pollution industrielle et la pollution mixte [8 ; 11 ; 12].

a) La pollution naturelle :

Ce type de pollution peut être constitué par :

- La pollution naturelle d'origine marine.
- Les autres pollutions naturelles provenant des dépôts de poussières naturelles, de sable véhiculé par les vents en régions désertiques, pluie,... etc.

a.1) La pollution marine :

Dans les ouvrages installés 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.

a.2) Pollution désertique :

En régions désertiques, les fréquentes tempêtes de sable déposent progressivement sur les isolateurs une couche de pollution contenant des sels. 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 ce dernier.

a.3) Autres types 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 de la qualité diélectrique 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 de la colonne isolante. Comme l'eau n'est pas parfaitement isolante, ce phénomène peut entraîner le contournement de la chaîne d'isolateurs. C'est le contournement sous pluie.

Il est généralement admis que la pollution est plus contraignante que la pluie, dans la mesure où la résistivité des couches polluantes est bien inférieure à celle-ci.

b) La pollution industrielle :

La pollution industrielle provient des fumées évacuées à proximité de raffineries (torchères pétrolières), de cimenteries de complexes sidérurgiques, chimiques ou même aux abords des centrales thermiques. Pour les régions exemptes de fumées, cette pollution peut être d'origine domestique (appareils de chauffage polluants des habitations, véhicules automobiles ou agricoles).

Les isolateurs se recouvrent de poussières faiblement conductrices mais très hygroscopiques car elles ont tendance à absorber l'humidité de l'air. Dans les conditions de forte humidité (brouillard, pluie, condensation matinale, ...), la dissolution des sels contenus dans cette poussière provoque la formation d'une couche électrolytique. Les gaz présents dans les fumées absorbées par la couche liquide augmentent la conductivité superficielle. Comme dans le cas de la pollution marine, un courant de fuite circule alors dans la couche superficielle et le contournement peut parfois survenir.

c) La pollution mixte :

Les pollutions mixtes résultent de la combinaison d'une ou de plusieurs pollutions précitées. C'est la forme de pollution la plus sévère pour l'exploitation des ouvrages électriques [11 ; 12].

Par conséquent, quelle que soit la source de pollution, on observe la formation d'une couche électrolytique due à l'humidification d'un dépôt solide accumulé progressivement à la surface des isolateurs.

Il est important de remarquer que par suite du lavage périodique des dépôts de poussières, on atteint après une période d'exploitation plus ou moins longue une « pollution limite » propre à chaque site qui dépend entre autres de l'intensité de la pollution atmosphérique, de l'adhérence des poussières, de la fréquence de la pluie...etc.

La nature et les caractéristiques des agents contaminants sont très variées. Généralement, ils ne provoquent pas de dégradation de la rigidité diélectrique lorsqu'ils sont secs. Cependant, l'humidification d'un dépôt solide accumulé progressivement à la surface des isolateurs, quelle que soit sa nature provoque la formation d'une couche électrolytique caractéristique du phénomène de pollution.

II.2 Conséquences de la pollution :

Les couches polluantes qui s'accumulent à la surface des isolateurs engendrent une conductivité électrique superficielle. Celle-ci modifie la répartition du potentiel le long de la ligne de fuite. Selon 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 de l'isolateur [5 ; 6 ; 9].

Trois cas peuvent se présenter selon les contraintes auxquelles l'isolateur est soumis.

II.2.1 Arc non localisé :

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

II.2.2 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 de l'élément défaillant.

II.2.3 Contournement des isolateurs pollués :

Le contournement d'un isolateur pollué (Annexe 2.1) est en général précédé de l'apparition brutale d'un courant de fuite accompagné de la formation d'une bande sèche et d'arcs partiels. Un arc peut se propager en surface jusqu'au contournement de l'isolateur [9 ; 12].

Sous une atmosphère humide et pour une tension de quelques kilovolts appliquée entre les électrodes, les principales étapes engendrant le contournement sont les suivantes (Annexe 2.2) :

- L'humidification (pluie, brouillard ou rosée) associée à un dépôt polluant crée une couche conductrice à la surface de l'isolateur.
- L'échauffement par effet joule dû au courant de fuite conduit à cause de différences de densité de courant d'un point à un autre l'apparition d'une zone sèche.
- Une partie importante de la tension appliquée se trouve reportée sur une bande sèche engendrant ainsi, si le champ qui en résulte est suffisant, le claquage diélectrique et l'établissement d'une décharge électrique.
- Selon les conditions électriques qui se trouvent alors réunies, cette décharge va se développer jusqu'au contournement final ou s'éteindre au bout d'un certain temps.

Sous tension continue, le processus global est relativement facile à décomposer. Une fois la décharge amorcée et si les conditions électriques le permettent, elle va se développer rapidement

jusqu'au contournement. Dans le cas contraire, la zone sèche va tendre à s'élargir jusqu'à ce que la tension appliquée ne puisse plus maintenir la décharge, qui va s'éteindre.

Sous tension alternative, le problème est plus complexe du fait des passages par zéro de l'onde de courant et pendant lesquels la décharge s'éteint. Les temps au contournement sont très variables (de quelques microsecondes à la fraction de seconde) selon les conditions électriques. Lorsque ce temps est élevé, le passage par zéro peut intervenir avant que le contournement total ne soit atteint, il faut alors que la tension appliquée soit capable de réamorcer la décharge à l'alternance suivante.

A chaque alternance, la forte densité de courant dans la couche au voisinage de la décharge, si elle est amorcée, provoque une vaporisation très rapide de l'électrolyte. Cependant, cette décharge emprunte tout ou une partie du trajet précédemment ionisé et se développe vers l'électrode opposée en balayant une zone qu'elle assèche progressivement. Deux cas sont alors à considérer suivant le type de pulvérisation utilisé lors des essais.

Si la pulvérisation est arrêtée peu après l'application de la tension lorsque l'arc aura atteint une certaine longueur et que la zone balayée sera rapidement sèche, le phénomène s'arrêtera aucun courant ne circule alors dans le circuit.

Par contre pour une pulvérisation continue, un régime permanent s'établit caractérisé par des arcs radiaux tournant autour de l'électrode mise à la haute tension en balayant une zone bien délimitée. Si à partir de ce régime, la tension est augmentée, les arcs s'allongent et la zone balayée s'étend puis se stabilise. En augmentant ainsi progressivement la tension par paliers, on atteint un état critique au-delà duquel toute nouvelle augmentation de tension provoque immédiatement le contournement total par développement d'un arc radial.

Par conséquent, le développement de l'arc électrique est essentiellement un phénomène thermique. Le problème fondamental est celui du mécanisme qui, sous tension continue, détermine l'élongation de la décharge électrique une fois qu'elle a été amorcée.

II.3 Sévérité de pollution d'un site :

Le dimensionnement de l'isolation externe vis-à-vis de la pollution pose un certain nombre de problèmes spécifiques. L'un des plus fondamentaux est la détermination de la sévérité de la pollution là où l'isolation doit être mise en service. Elle est généralement mesurée par différentes méthodes.

- Il y a la méthode de **salinité équivalente** qui consiste à mesurer la conductivité de la solution obtenue par la dissolution des agents polluants dans de l'eau distillée.

- Il y a aussi la détermination au laboratoire du **courant de fuite** d'un isolateur pollué artificiellement. Les essais de laboratoire sont valables dans la mesure où les conditions d'essais conduisent aux mêmes valeurs de courant de fuite observées sur site.

La mesure de la sévérité de la pollution d'un site est importante lors du choix des isolateurs à installer dans ce site [12].

II.3.1 Classification des sites pollués :

Le niveau de pollution est déterminé à partir des critères d'évaluation donnés par les normes CEI 71-2 de 1996, CEI 60815 de 1986 et CEI 60270:2000 regroupés par le (tableau II.1) [13] :

Niveaux de pollution	Exemples d'environnements caractéristiques	Salinité équivalente g/l (3)
I-Faible	<ul style="list-style-type: none"> - Zones sans industrie et à faible densité d'habitations équipées d'installations de chauffage - Zones à faible densité d'industries ou d'habitations mais soumises fréquemment aux vents et/ou pluies - Régions agricoles (1) - Régions montagneuses <p>Toutes ces zones doivent être situées à des distances d'au moins 10 à 20 Km de la mer et ne doivent pas être exposées aux vents venant directement de la mer (2)</p>	2.5
II-Moyen	<ul style="list-style-type: none"> - Zones avec industries ne produisant pas de fumées particulièrement polluantes et/ou ayant une densité moyenne d'habitations équipées d'installations de chauffage - Zones à forte densité d'industries et/ou d'habitations mais soumises fréquemment aux vents et/ou à des chutes de pluies - Zones exposées au vent de mer, mais pas trop proche de la côte (Distantes d'au moins quelques kilomètres) (2) 	10
III-Fort	<ul style="list-style-type: none"> - Zones avec forte densité d'industries et banlieues de grandes villes à forte densité d'installations de chauffage polluantes - Zones situées près de la mer ou exposées à des vents relativement forts devant la mer 	80
IV-Très fort	<ul style="list-style-type: none"> - Zones généralement peu étendues, soumises à des poussières conductrices et à des fumées industrielles produisant des dépôts conducteurs particulièrement épais - Zones généralement peu étendues très proche de la côte et exposées aux embruns ou aux vents très forts polluants venant de la mer (2) - Zones désertiques caractérisées par de longues périodes sans pluies exposées aux vents forts transportant du sable et du sel et soumises à une condensation régulière 	160

Tableau II. 1 : Classification de la pollution.

- (1) L'utilisation d'engrais par pulvérisation ou le brûlage de terres moissonnées conduisent à un niveau de pollution plus élevé à cause de la dispersion par le vent.
- (2) Les distances au rivage dépendent de la topographie de la zone côtière et des conditions extrêmes de vents.
- (3) La salinité est donnée seulement à titre indicatif.

II.3.2 Hypothèses de pollution des isolateurs :

La tenue de pollution d'un isolateur caractérise la possibilité qu'il a de tenir, en milieu pollué, les contraintes électriques qui apparaissent sur réseau.

On caractérise la pollution d'un site par sa ligne de fuite unitaire minimale théorique (Exprimée en cm/kV). Quatre classes de pollution sont définies. A chaque classe de pollution correspond une ligne de fuite unitaire et une ligne de fuite d'ensemble qui dépend de la tension nominale du réseau.

La longueur de la ligne de fuite minimale L_f obtenue en faisant le produit $L_f = k \times L$.

L (cm) dépend à la fois de la tension du réseau et de la classe de pollution. Le tableau suivant précise ces valeurs [13].

Tension composée nominale du réseau (kV)		60	80	220	400
Tension composée la plus élevée du réseau (kV)		72.5	100	245	420
Classe de pollution	L_f (cm/kV)	L (cm)			
1	1.6	116	160	392	672
2	2.0	145	200	490	840
3	2.5	181	250	613	1050
4	3.1	225	310	760	1302

Tableau II.2 : Longueur de la ligne de fuite.

k est un coefficient qui dépend du diamètre moyen du support isolant.

Diamètre (cm)	<30	>30 et <50	>50
k	1	1.1	1.2

II.4 Techniques de lutte contre la pollution :

Même bien choisie, une isolation n'est jamais à l'abri d'un incident, dans les atmosphères industrielles ou marines, la sévérité de la pollution d'un site peut changer, et les isolateurs peuvent

recevoir un dépôt plus ou moins conducteur, qui peut provoquer un contournement électrique [6]. Il y a plusieurs façons de réduire ce risque (Annexe 2.3) :

II.4.1 Allongement de la ligne de fuite :

Cette méthode consiste à allonger la « ligne de fuite » des isolateurs, c'est-à-dire le chemin qui mène d'une électrode à l'autre sans décoller de la porcelaine, par un dessin judicieux du profil (figure II.1) ; elle permet d'adapter le dimensionnement aux nouvelles conditions de pollution.

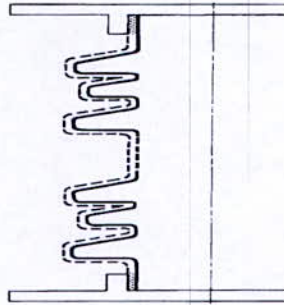


Figure II.1 : Profil d'un isolateur anti-pollution en pointillé : la ligne de fuite.

Deux techniques sont utilisées :

- Le changement de type d'isolateurs (pour rallonger 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 [9].

II.4.2 Changement de forme des isolateurs - Isolateurs plats :

Tandis que les deux précédentes méthodes conduisent à allonger la ligne de fuite des isolateurs, l'utilisation d'isolateurs plats conduit à la diminuer. 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 [6]. Ils sont utilisés dans les pays désertiques soumis à des tempêtes de sable où la principale source d'humidification est la condensation. C'est le cas des régions sahariennes.

II.4.3 Graissage périodique :

Par mesure économique, seule les isolateurs de postes sont concernés par le graissage périodique. On utilise des graisses silicones et on parle alors de « Siliconnage » des isolateurs. Grâce à ses propriétés hydrophobes, la graisse protège temporairement les isolateurs [9]. La longévité du graissage dépend à la fois de l'environnement (pollution, conditions climatiques) et de la qualité intrinsèque du produit. Elle est généralement comprise entre 1 et 4 ans. Le graissage est largement

utilisé dans le monde, mais l'opération de nettoyage puis de regraissage est pénible, longue et coûteuse. Elle nécessite par ailleurs une interruption de service.

II.4.4 Revêtements silicones :

Cette méthode consiste à appliquer par pulvérisation ou au pinceau un caoutchouc siliconé qui se vulcanise à température ambiante à la surface des isolateurs. Comme pour la graisse, grâce à ses propriétés hydrophobes, ce revêtement protège les isolateurs et améliore leur tenue sous pollution. La longévité est en général nettement supérieure à celle des graisses. Dans certains postes de compagnies Américaines, des revêtements ont été appliqués pendant plus de dix ans. Cette technique est relativement ancienne et tend aujourd'hui à se développer grâce à la mise sur le marché de produits plus performants.

II.4.5 Les isolateurs composites :

Les isolateurs composites sont apparus au début des années 70. Ils sont constitués d'un noyau en fibres de verre imprégnées d'une résine et d'un revêtement à ailettes de type élastomère. Ces isolateurs présentent entre autre l'avantage d'une grande légèreté alliée à une grande résistance mécanique que lui confère le noyau. Ils ont de bonnes propriétés hydrophobes et peuvent être utilisés dans des conditions de pollution très sévère.

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 Nettoyage des isolateurs :

Le nettoyage manuel (essuyage à sec de l'isolateur) ou le lavage périodique hors tension sont fréquemment utilisés à travers le monde et en particulier dans les postes. Comme ces méthodes sont pratiquées hors tension, les interruptions de service, parfois assez longues, qu'elles entraînent posent des problèmes majeurs. Aussi, on tend à en limiter autant que possible l'usage.

Un lavage sous tension des isolateurs permet d'éviter ces coupures. Dans son principe, ce type de lavage permet de « garder propre » l'isolateur c'est-à-dire que la fréquence de lavage est déterminée de façon à éviter l'accumulation des dépôts polluants à la surface des isolateurs. Le lavage sous tension est réalisé à l'aide d'installations fixes ou mobiles. Dans les deux 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 et ce afin d'éliminer tout risque de contournement durant le lavage.

- Le nettoyage des isolateurs à l'aide d'un abrasif pulvérisé sous pression est une technique utilisée dans certains pays (Amérique du Nord en particulier). Cette technique permet le

nettoyage d'isolateurs recouverts de pollution très adhérente (ciment par exemple) et peut être utilisée pour dégraisser les isolateurs [9].

- Malgré la relative simplicité de ces dispositifs, le lavage sous tension de la totalité d'un poste reste une opération coûteuse. Il importe de réaliser ce lavage au moment le plus approprié.

III. CONCLUSION :

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, le choix du matériau et le profil géométrique des isolateurs priment sur plusieurs autres critères de sélection d'isolateurs (tel que la longueur de la ligne de fuite spécifique par exemple...).

- Compte tenu du fait que nos cahiers des charges ainsi que nos essais de réception de matériels, particulièrement les Isolateurs, et les Parafoudres... se réfèrent aux normes et aux publications de la Commission Electrotechnique Internationale (CEI),
- Compte tenu du constat que ces publications et ces normes ne considèrent pas d'une manière satisfaisante les conditions environnementales des pays d'Afrique du Nord et similaires, dominés par une pollution marine et désertique combinée,

La détermination du degré de pollution par une expérimentation aussi longue que possible, est recommandée pour les sites à pollution forte ou même très forte.

Avant de commencer toute étude, il est impératif de se pencher sur la situation dite « Avant projet ». Pour le cas présent : « Projet carte pollution électrique : région Ouest », il y a lieu de procéder à :

- Analyse des incidents sur le réseau HT & THT (la fiabilité et la précision des informations sur les causes présumées des incidents sont déterminantes...), pour l'établissement d'un bon diagnostic du réseau,
- Identification des causes principales des incidents (recherche de corrélation entre les paramètres climatiques et les causes des défauts, heure d'apparition...),
- Interprétation des résultats d'analyses & établissement d'un diagnostic du réseau...

CHAPITRE II :

Identification de la région d'Oran

I. INTRODUCTION :

Pour étudier le comportement des isolateurs de la région d'Oran il est indispensable de décrire le réseau haute tension de la région ainsi que quelques caractéristiques principales sur les conditions climatiques concernant cette région et les sources de pollution.

Le réseau haute tension en Algérie est géré par 05 régions (figure II.1) :

- Région d'Oran ;
- Région d'Alger ;
- Région de Sétif ;
- Région d'Annaba ;
- Région de Hassi Messaoud.

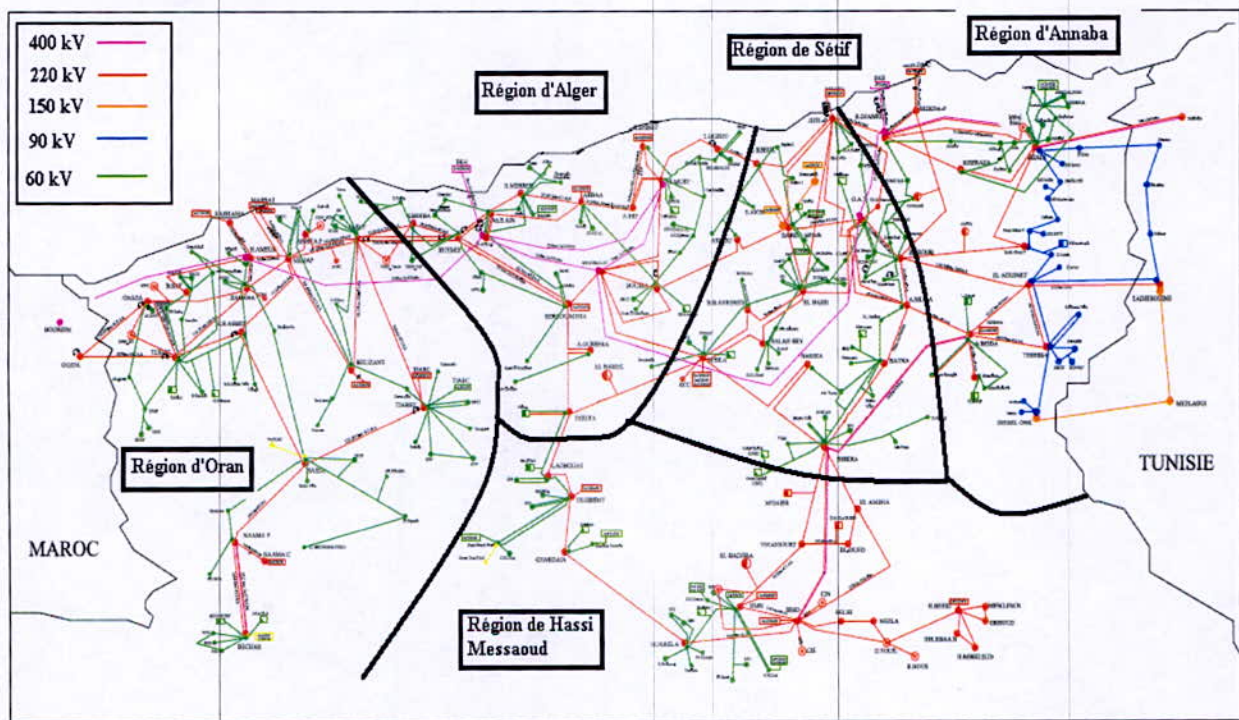


Figure II.1 : Organisation territoriale du réseau de transport [14].

II. DESCRIPTION DU RESEAU DE LA REGION D'ORAN :

La région électrique d'Oran est la région Ouest du réseau interconnecté national d'Algérie, elle est délimitée à l'ouest par les frontières marocaines, au nord par la mer méditerranée, à l'est par la région électrique d'Alger et au sud par le Sahara d'Algérie.

Elle comporte les wilayas suivantes : Ghazaouet, Tlemcen, Oran, Relizane, Mostaganem, Sidi Bel Abbas, Aïn Timouchent, Tiaret, Tissemsilt, El Bayadh, Saida, Nâama et Bechar.

II.1 Consistance physique du réseau haute tension de la région d'Oran :

La consistance du réseau électrique de la région d'Oran au 30/09/2009 est donnée par le tableau ci-dessous :

Désignation	Unité	Réalisation Au 30/09/2009
LONGUEUR RESEAU HAUTE TENSION		
ligne 400 KV	km	240,00
ligne 220 KV		2788,05*
ligne 60 KV		2724,83
ligne 30 et 10 KV		36504
Câble 220 KV		0,93
Câble 60 KV		33,90
TOTAL LONGUEUR RESEAU	km	42291,71
POSTES DE TRANSFORMATION : 42291,71		
THT/THT	U	1
THT/HT		2
THT/HT/MT		12
HT/MT		33
HT/MT/MT		6
CM		10
INJECTEUR THT/HT		1
N^{bre} TOTAL DE POSTES	U	65
TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE, INJECTEURS ET CM	U	139
CAPACITE DE TRANSFORMATION	MVA	6921
CLIENTS HT	U	23

* Dont 528 km en technique 400kV exploité en 220kV

Tableau II.1 : Consistance physique du réseau électrique de la Région d'Oran [15].

Le **tableau II.1**, montre que les longueurs des lignes haute tension les plus importantes sont celles dont le voltage est de 220 kV et 60 kV avec des longueurs de 2778 km et 2725 km respectivement. La **figure II.2**, donne les lignes et les postes 400-200 et 60 kV de la région d'Oran :

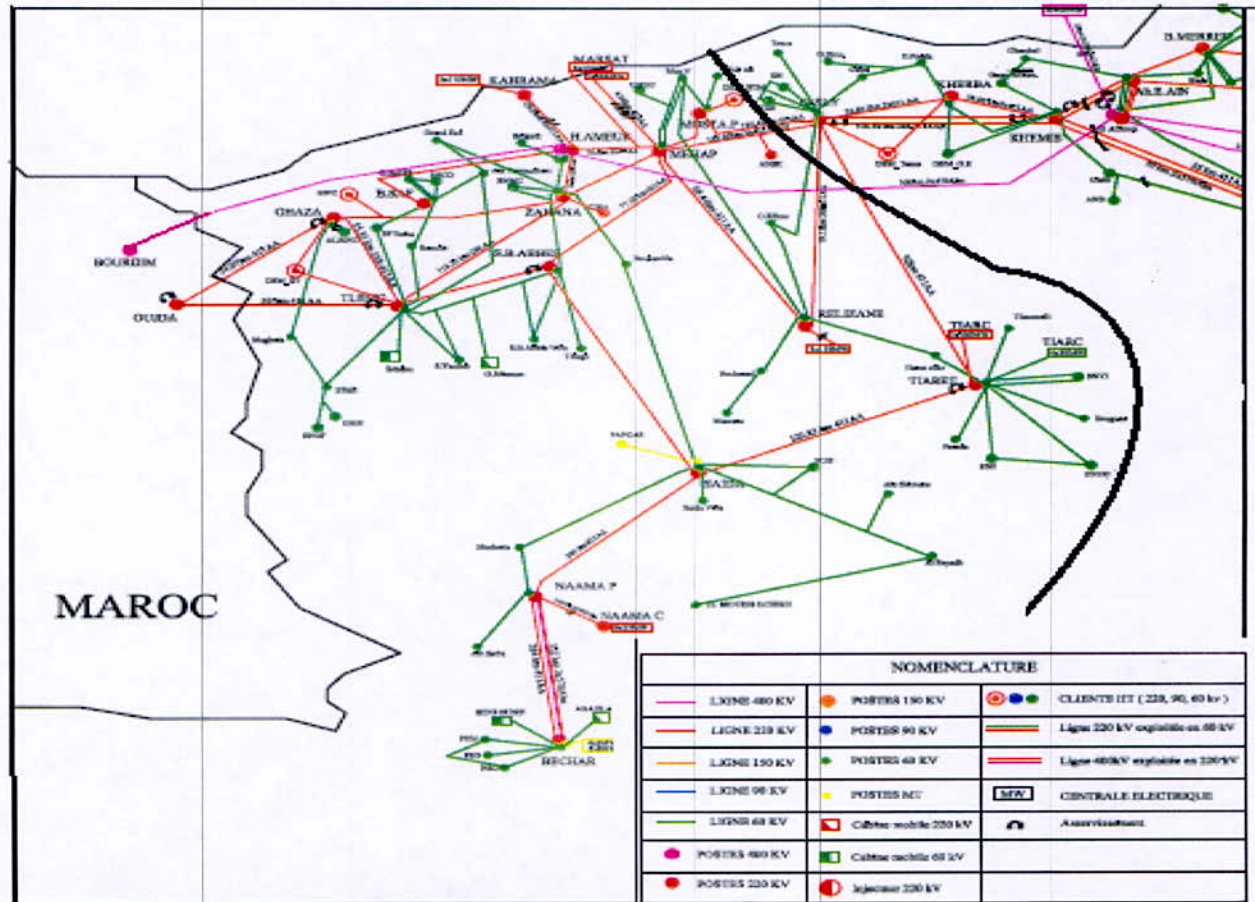


Figure II.2 : Réseau 440 – 220 - 60 kV de la région d'Oran [14].

II.2 Sources de pollution :

Les divers types de pollution atmosphérique les plus fréquemment observés peuvent être regroupés selon leurs origines et classés comme suit :

II.2.1 Pollution naturelle :

La pollution naturelle provient :

- Des sels marins dans les régions côtières.
- Des poussières du sol (notamment lors de chantiers importants).
- Des sables véhiculés par le vent en régions désertiques.

a) Pollution marine :

Les installations situées en bord de mer sont exposées aux embruns portés par le vent et qui se déposent progressivement sur les isolateurs, formant une couche de pollution de sel qui devient

conductrice lorsqu'elle est humidifiée par le brouillard ou simplement par condensation. Un courant de fuite s'établit alors à travers la couche superficielle et des arcs électriques peuvent prendre naissance.

b) Pollution désertique :

La pollution désertique est caractérisée surtout par les dépôts de sable se formant à la surface des isolateurs après les vents de sable. Une fois humidifiés, ces dépôts deviennent plus ou moins conducteurs (en fonction des concentrations en sels solubles qu'ils contiennent) et engendrent la circulation d'un courant de fuite qui apparaît brusquement et qui est suivi par l'apparition d'arcs partiels qui peuvent conduire au contournement total de l'isolateur.

II.2.2 Pollution industrielle :

Au voisinage de certaines zones industrielles, la pollution est engendrée par l'évacuation des fumées des usines (raffinerie, cimenterie, minerais... etc.). La présence d'éléments conducteurs dans les couches, et/ou la dissolution des sels qu'elles contiennent engendrent la circulation d'un courant de fuite plus ou moins fort selon les concentrations des agents polluants.

Les usines ne sont pas les seules responsables de ce genre de pollution ; les gaz d'échappement des véhicules et les engrais utilisés en agriculture contribuent aussi aux dépôts observés à la surface des isolateurs.

II.2.3 Pollution mixte :

Ce type de pollution est en fait le plus fréquent et le plus sévère pour l'exploitation des ouvrages électriques. La pollution mixte résulte de la combinaison entre les différents types de pollution, comme par exemple les pollutions marine et industrielle lorsque des installations industrielles sont situées en bord de mer.

Les conditions climatiques jouent un rôle dans l'émission des polluants. Les climats froids vont avoir pour conséquence des consommations énergétiques importantes en rapport avec les chauffages domestiques et sont, de ce fait, responsables des pollutions de nature acido-particulaire. Les climats chauds, au contraire vont entraîner la transformation de polluants primaires principalement émis par des sources mobiles (oxydants tels que NO, NO₂ ou aldéhydes). Ceux-ci, sous l'action des ultraviolets, vont se transformer en d'autres composés oxydants secondaires tels que l'ozone. De ce fait, ce type de pollution sera plus particulièrement susceptible de se rencontrer dans les pays du sud en raison d'un ensoleillement plus important.

Les dépôts qui recouvrent les surfaces isolantes peuvent engendrer une diminution considérable de la tension de tenue des isolateurs. La connaissance du degré de pollution est une condition préalable et indispensable pour connaître le niveau de l'isolement en vue de dimensionner convenablement l'isolation. Les principales sources de pollution qui peuvent être rencontrées dans la Région électrique d'Oran sont naturelles (mer, désert et zones humides), industrielles (Centrales cimenteries, Zones industrielles), ou mixte.

II.3 Sources de pollution dans la région d'Oran :

II.3.1 Pollution industrielle :

La pollution industrielle inclut des substances de nature gazeuse : monoxyde de carbone (CO), dioxyde de carbone (CO₂), dioxyde de soufre (SO₂), oxydants primaires (monoxyde d'azote [NO], dioxyde d'azote [NO_x]) ou secondaires par transformation de polluants primaires (ozone [O₃]), composés organiques volatils tels que les hydrocarbures (benzène,...), composés oxygénés (aldéhydes,...), hydrocarbures aromatiques polycycliques (benzopyrène,...)

Les transports automobiles (diesels) concernent des substances de nature particulaire (PM) : fumées noires et particules fines distinguées en fonction de leur diamètre aérodynamique (PM 10 µm ou PM 2.5 µm).

a) Les cimenteries :

Dans la région d'Oran, trois cimenteries sont implantées. La combinaison des rejets des gaz de combustion émanant des fours de calcination (fonctionnement au gaz naturel) avec les rejets des poussières dans l'atmosphère fait de ces cimenteries de vraies sources de pollution industrielle surtout en cas de dysfonctionnement ou manque de performance des filtres. Ces cimentiers sont :

- SCIZ société des ciments de Zahana
- SCIBS la cimenterie de Béni Saf
- Société des ciments de Saida.

Le tableau ci-dessous donne un aperçu des rejets de la pollution des cimenteries de Zahana et de Béni Saf durant l'année 1995. [16]

	Pollution (Tonnes/An)				
	NO _x	CO	COVNM	P	SO ₂
Facteur Emission	6.62	1.84	0.673	150	0.0096
Zahana	723	201	74	91800	
Béni Saf	574	159	58	91200	

Tableau II.2 : Charges de pollution émanant des cimenteries de Zahana et de Béni Saf.

La cimenterie de Zahana engendre un nuage de poussière sur un rayon de 2 km.

Les différents composants pouvant nuire aux isolateurs haute tension, sont contenus dans les fumées dégagées par les cimenteries. On peut citer en particulier les oxydes d'azote (NO_x), les composés organiques volatiles non méthanoïques (COVNM), le monoxyde de carbone (CO) et le dioxyde de soufre (SO₂). Notons qu'en plus des ces composants, des poussières de ces mêmes cimenteries se déposent également sur les isolateurs. Ceci est défini par un facteur d'émission (FE, poussière en kg/tonne de ciment). [17]

Lorsque les vents sont faibles, les particules les plus lourdes vont se déposer à proximité de la cimenterie émettrice, et les plus légères resteront en suspension et se déposeront plus loin sur plusieurs kilomètres, affectant sur leur passage la qualité de l'air. Lorsque les vents sont forts, ces particules sont déposées sur de très grandes distances voir des centaines de kilomètres, laissant propre l'entourage immédiat des cimenteries.

b) Les zones industrielles :

Les zones industrielles raccordées au réseau HT dans la région d'Oran sont :

Zones industrielles	Poste de Raccordement
ALZOFERT (FERTIAL) ARZEW (ASMIDAL)	AIN EL BYA 60 kV
SH/SPM-ARZEW	AIN EL BYA 60 kV
SONATRACH GP2Z ARZEW	ARZEW 60 kV
SONATRACH GP1Z	MARSAT 60 kV
SONATRACH GL2Z	MARSAT 60 kV
SONATRACH GL4Z	HASSI AMEUR 60 kV
CIBA OGGAZ	ZAHANA 220 kV
NAFTEC RAFFINERIE ARZEW	ARZEW 60 kV
ALZINC GHAZAOUET	GHAZAOUET 60 kV
ENOF EL ABED	ZBAIR 60 kV
GIPEC MOSTAGANEM	MOSTAGHANEM 60 kV
SNVI TIARET	TIARET 60 kV
ALFET TIARET	TIARET 60 kV
SOTREFIT TIARET	TIARET 60 kV
PAPCAS SAIDA	Saida 60 kV
PROJET SPM, Sonatrach/TRC	ARZEW 60 kV
PROJET FERTALGE	ARZEW 60 kV
BWC BENI SAF	BENI SAF 60 kV

Tableau II.3 : Zones industrielles de la région d'Oran [18].

La zone industrielle d'Arzew comporte les usines pétrochimiques de GNL (Gaz Naturel Liquéfié), le GPL (Gaz Propane Liquéfié), le NH₃ (Ammoniac) et la RAF (Raffinerie d'Arzew).

Les photos (Annexe 4) de la zone industrielle d'Arzew (pétrochimique) témoignent, lorsque le vent souffle dans la direction « Ouest-Est », de l'influence des rejets des torchères de la zone industrielle d'Arzew sur les lignes :

- La ligne 220 kV Kahrama – Hassi Aneur 1 & 2 ;
- La ligne 60 kV de Marsat – Ain Bya 1 & 2 ;
- La ligne 60 kV de Ain Bya – Arzew ;
- La ligne 60 kV du client Hélium.

c) Les centrales électriques :

Les principales centrales électriques situées dans la région d'Oran sont :

- Centrale de Marsat El Hadjaj : 5 TV de 168 MW et 8 TG de 23 MW dans la wilaya d'Oran,
- Centrale de Tiaret : 3 TG de 100 MW et 4 TG de 25 MW dans la wilaya de Tiaret,
- Centrale de Relizane : 3 TG de 155 MW dans la wilaya de Relizane,
- Centrale de Kahrama : 3 TG de 112 MW dans la wilaya d'Arzew,
- Centrale de Nâama : 8 TG de 23 MW dans la wilaya de Nâama,
- Centrale de Bechar : 4 TG de 6 MW et 4 groupes de 8 MW en diésel (transférés actuellement au sud) dans la wilaya de Bechar.

Les principaux rejets de ces centrales sont le monoxyde de carbone (CO), le monoxyde d'azote NO, le dioxyde d'Azote (NO₂), le dioxyde de soufre SO₂, les hydrocarbures et l'hydrogène.

L'analyse des rejets atmosphériques a concerné les fumées issues des cheminées des groupes N°2 et 3 de la centrale de Marsat El Hadjaj. L'appareil utilisé est de marque **TESTO t350 XL**. [16]

Type de gaz :	Unités de mesures	Valeurs	
		Groupe N °2	Groupe N °3
Oxygène O ₂	[%]	0.2	1.5
Dioxyde de carbone CO ₂	[%]	24.8	23.3
Monoxyde de carbone CO	[mg/Nm ³]	193.25	228.75
Monoxyde d'azote NO	[mg/Nm ³]	707	475.44
Dioxyde d'azote NO ₂	[mg/Nm ³]	0.821	0.821
NO _x	[ppm]	529	355
Dioxyde de soufre SO ₂	[mg/Nm ³]	201.42	30
CxHy	[ppm]	--	--
Hydrogene H ₂	[mg/Nm ³]	67.81	0

Tableau II.4 : L'analyse physicochimique des groupes 2 et 3 de Marsat [16].

Si on fait une comparaison entre ces résultats et les résultats d'analyses des centrales à la région d'Alger [11], on constate que les rejets sont très importants à la centrale de Marsat El Hadjaj qu'à la centrale de Ras Djinet ou au Hamma qui sont classés d'après la CREDEG les centrales les plus polluantes dans la région d'Alger. [10]

Les groupes de la centrale de Marsat el Hadjaj rejettent :

- 24 % de dioxyde de carbone (CO₂) contre 19 % de la centrale de Ras Djinet et 9 % de la centrale de Hamma, soit 1,4 fois plus important que les deux centrales de la région d'Alger.
- Une moyenne de 600 mg/Nm³ de monoxyde d'azote (NO_x) soit 2,5 fois plus que les centrales de la région d'Alger.
- 440 ppm de C_xH_y, soit 2 fois plus que la centrale de Ras Djinet et 6 fois plus que la centrale du Hamma.
- Une moyenne de 115 mg/Nm³ de Dioxyde de soufre SO₂, soit 2 fois plus que la centrale de Ras Djinet et 6 fois plus que la centrale du Hamma.

Type de gaz	Unités de mesures	Valeurs		
		Hamma	Ras Djinet	Marsat El Hadjaj
Oxygène O ₂	[%]	14	4,2	0,85
Dioxyde de carbone CO ₂	[%]	8,40	19,9	24,05
Monoxyde de carbone CO	[mg/Nm ³]	36,25	267,5	211
Monoxide d'azote NO	[mg/Nm ³]	79,67	279,85	591,22
Dioxyde d'azote NO ₂	[mg/Nm ³]	9,85	6,56	0,821
NO _x	[ppm]	65,5	213	442
Dioxyde de soufre SO ₂	[mg/Nm ³]	19,27	47,124	115,71
C _x H _y	[ppm]	255	190	-
Hydrogène H ₂	[mg/Nm ³]	0	-	33,905

Tableau II.5 : Comparaison des analyses physicochimiques entre la centrale de Marsat El Hadjaj et les centrales de Ras Djinet et Hamma.

Ceci est dû au fait que les turbines vapeur de Marsat El Hadjaj sont plus anciennes (date de mise en service 1983) que les turbines à gaz du Hamma (date de mise en service 2002) ou les turbines vapeurs de Ras Djinet (date de mise en service 1986).

d) Le trafic routier :

Dans les grandes agglomérations urbaines, la pollution de l'atmosphère provient en majeure partie des activités de transports. Le CO, NO_x les hydrocarbures totaux, les particules, le SO₂ y sont les principaux polluants. En moyenne, dans les rues des grandes villes le trafic routier est responsable des taux d'émissions suivants :

Polluants	Taux (%)
CO	90
NO _x	60-70
HC	50-60
SO ₂	10-20
PARTICULES	10-20
PLOMB	90
BENZENE	90
CO ₂	30-40

Tableau II.6 : Part de pollution automobile en milieu urbain [17].

e) Les décharges publiques :

Les décharges publiques sont de véritables sources de pollution. On cite les décharges à proximité des postes électriques et des lignes haute tension les plus importantes :

- La décharge Marsat
- La décharge Petit lac
- La décharge Sidi Bel Abbès

II.3.2 Pollution naturelle :

a) La mer :

La mer longe tout le littoral de la région d'Oran débutant de la frontière marocaine jusqu'à la ville de Mostaganem.

b) Les zones humides :

Dans la Région électrique d'Oran on distingue (Annexes 5 ; 6 ; 7) :

- La sebkha d'Oran,
- Les Salines d'Arzew,
- Les marais de la Macta,
- Le cirque d'Ain Ouarka à Nâama.

Lignes traversant la sebkha :

- la ligne 220 kV Marsat Poste – Relizane,
- la ligne 220 kV Marsat Poste – Mostaganem,
- la ligne 60 kV Marsat Poste – Mostaganem,
- la ligne 60 kV Marsat Poste – Sonic 60 kV.

c) Le désert :

Le désert occupe une partie de la région électrique d'Oran à savoir la région de Bechar et Nâama.

II.4 Climatologie :

Quelle que soit la nature des polluants, lorsqu'ils sont secs, ils ne provoquent pas de dégradation de la rigidité diélectrique des isolements.

Les phénomènes caractéristiques de la pollution ne se manifestent qu'en présence de certaines conditions climatiques telles que l'humidité relative de l'air, les vents, le brouillard, l'évaporation, les précipitations et la température.

Ces différents facteurs climatiques ont pour conséquence soit le nettoyage des isolateurs (vent relativement fort, averses de pluies) soit l'augmentation de la conductivité superficielle des couches polluantes suite à leur humidification (Brouillard, Humidité relative de l'air bruite,...).

Le climat dans la région électrique d'Oran est :

- **Méditerranéen** : Sur le littoral (Ghazaouet, Béni Saf, Oran, Marsat, Arzew, Mostaganem)
- **Atlas Tellien** : Sidi Bel Abbes, El Bayadh, Saida et Tiaret.
- **Saharien** : Bechar et Nâama.

Les principaux facteurs climatiques influençant le comportement des équipements HT sont l'humidité relative de l'air, le brouillard, la pluie et les vents. Dans notre cas, nous nous intéresserons au cas de fonctionnement des isolateurs HT le plus défavorable, c'est à dire celui des valeurs extrémales des facteurs influençant leur bon fonctionnement. Ces facteurs climatiques, concernant la région d'Oran, ont été obtenus à partir des statistiques enregistrées par l'ONM. [19]

II.4.1 Températures :

Pour les surfaces polluées, l'augmentation de la température a certainement une influence positive sur la tenue diélectrique des isolateurs, car elle sèche les dépôts polluants et augmente ainsi la résistivité superficielle des surfaces isolantes. Cependant, la différence de température entre la surface de l'isolateur et l'air ambiant, plus particulièrement à la levée et au coucher du soleil, peut provoquer le phénomène de condensation qui a un effet néfaste sur les isolateurs.

De même, les grands écarts de température entre le jour et la nuit provoquent l'humidification de l'air et par conséquent celle des surfaces des isolateurs.

Les cartes climatologiques saisonnières des températures moyennes des années (2001-2005) à travers le territoire national nous montrent l'écart de température entre les différentes saisons dans l'année.

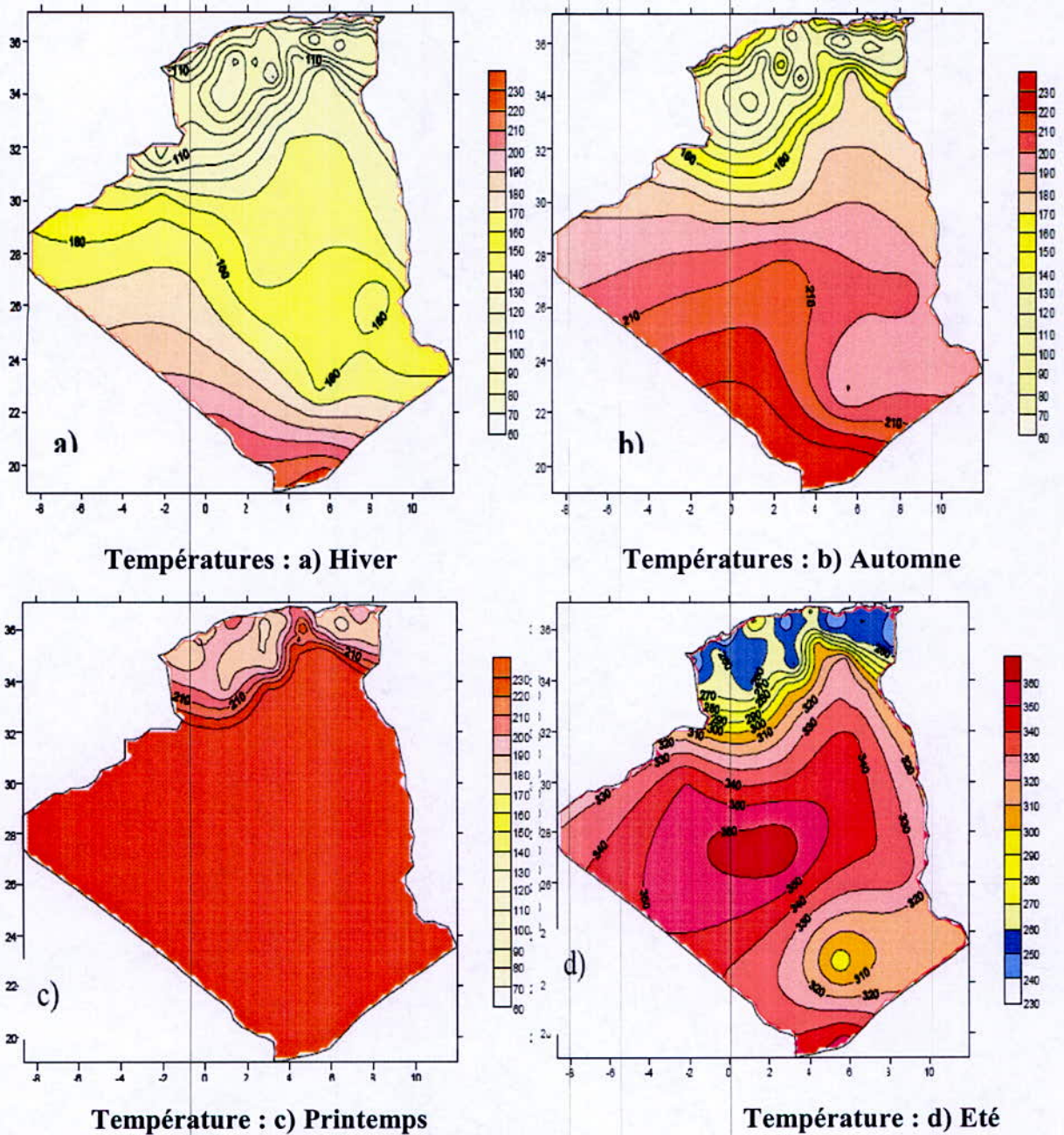


Figure II.3 : Cartes climatologiques saisonnières des températures à travers le territoire national [19].

La température moyenne dans la région d'Oran est de 17 °C, elle varie suivant les saisons entre 7 °C et 29 °C.

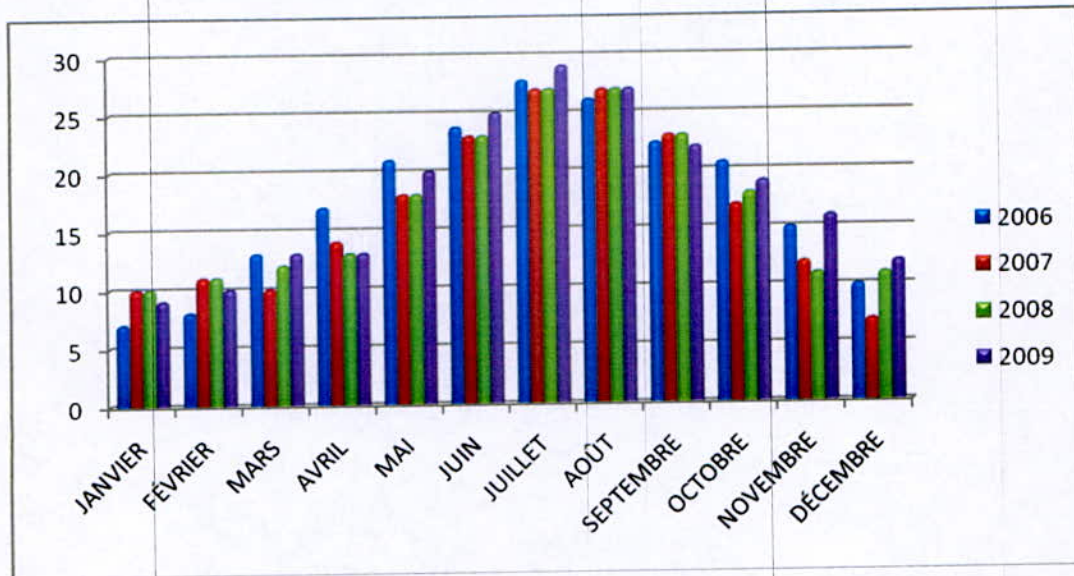
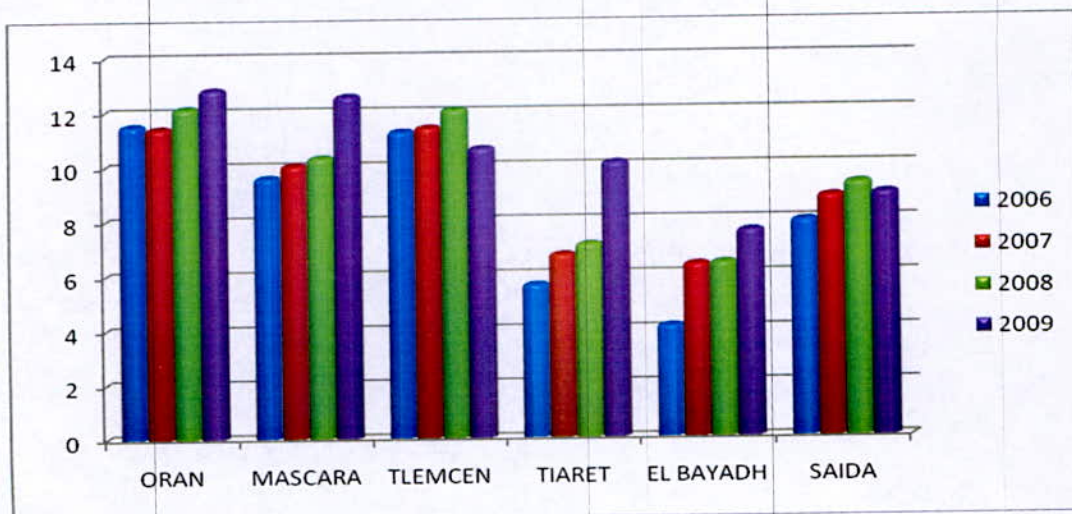


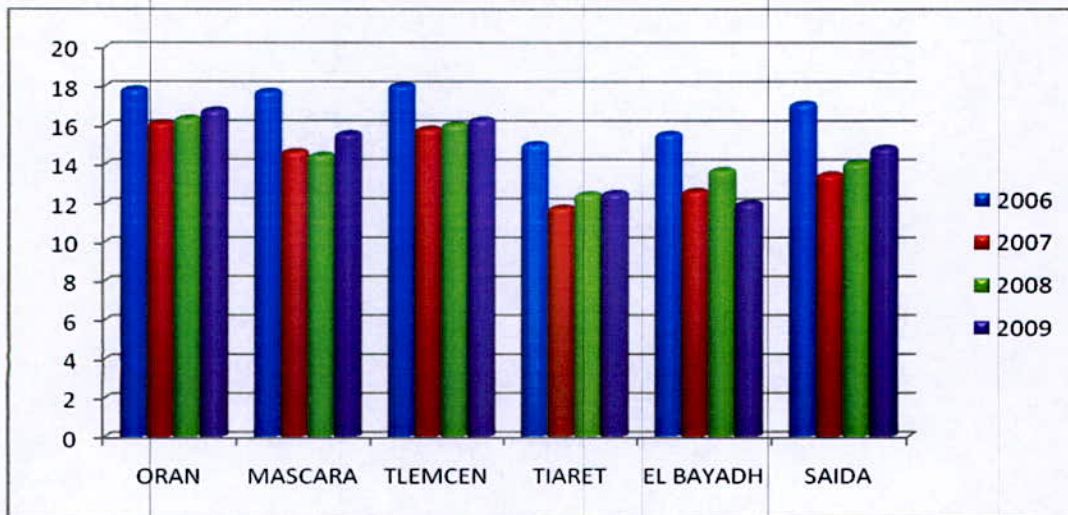
Figure II.4 : Température moyenne mensuelle de 2006 à 2009 [19].

La figure II.4 des températures moyennes mensuelles montre que les températures moyennes durant la période juin-Septembre sont élevées. Ces conditions météorologiques sont très favorables aux dépôts de pollution sur les chaînes d'isolateurs et peuvent en présence d'humidités matinales, provoquer des perturbations (DR & DRD) sur les lignes haute tension de la région d'Oran.

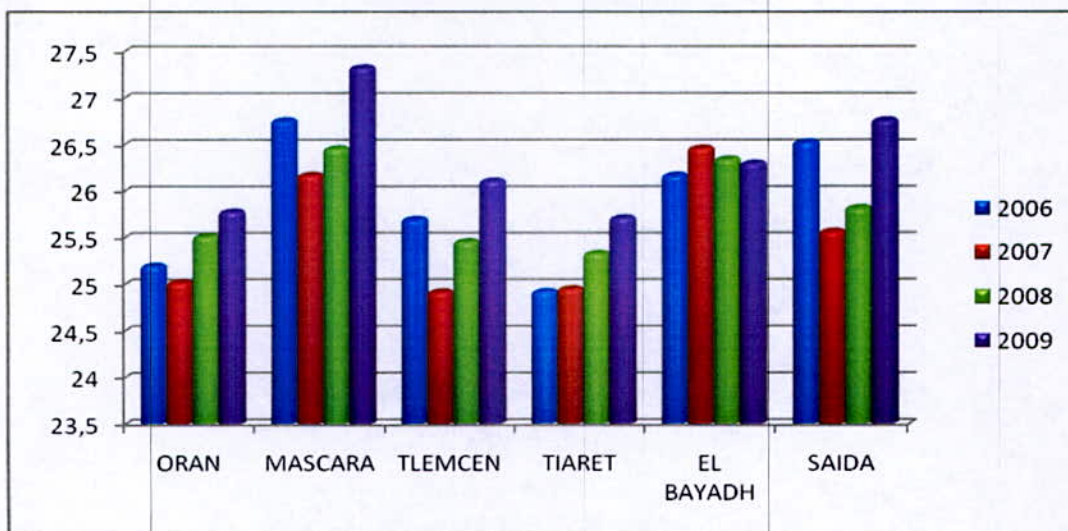
On remarque aussi qu'il y a une grande différence de température mensuelle moyenne entre les mois des différentes saisons, avec un écart qui dépasse 20 °C. Cette différence de température influe directement sur l'humidité de l'air ainsi que sur l'évaporation. Ces derniers facteurs agissent notablement sur le comportement des isolateurs de haute tension.



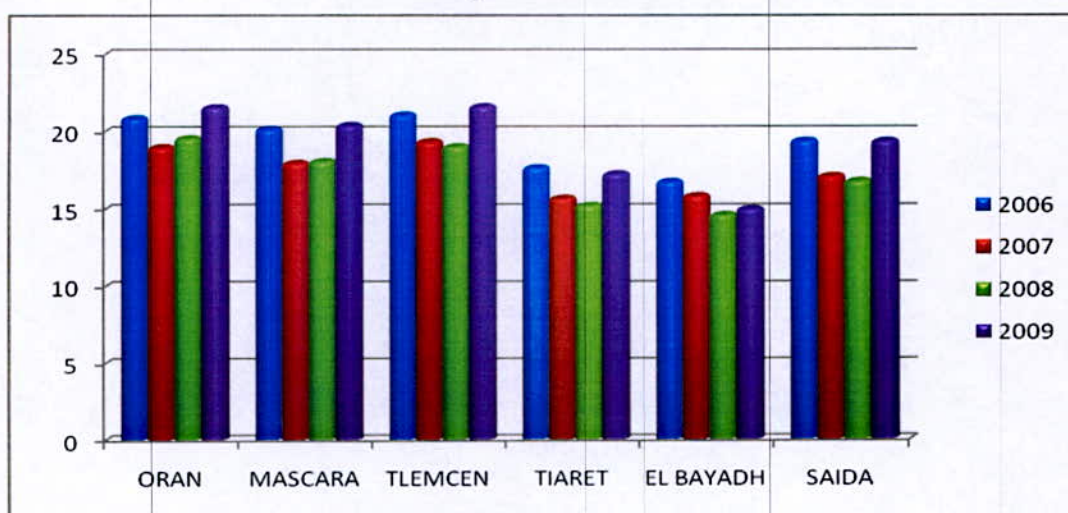
Températures : Hiver



Températures : Printemps



Températures : Eté



Températures : Automne

Figure II.5 : Variation de la température moyenne par saison dans la région d'Oran pour la période 2006 - 2009 [19].

II.4.2 Humidité relative de l'air [19]:

L'humidité relative de l'air dans la région d'Oran a une valeur moyenne de 63 %. Elle varie suivant les saisons entre 27 % et 78 %, et elle est accentuée en hiver et en automne (particulièrement aux mois de Janvier, Septembre et Décembre), durant cette période, elle atteint souvent un pic de 82 %. L'humidité relative de l'air est très forte durant la nuit, surtout aux premières heures de la matinée et assez faible aux environs de midi.

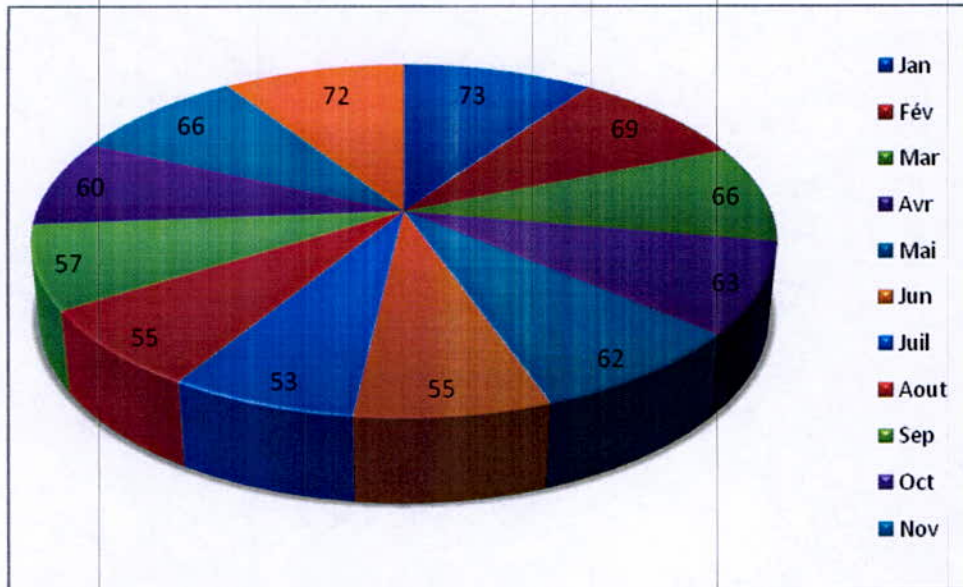


Figure II.6 : Humidité relative moyenne durant la période 2002-2006 à la région d'Oran en (%).

❖ Année 2002 :

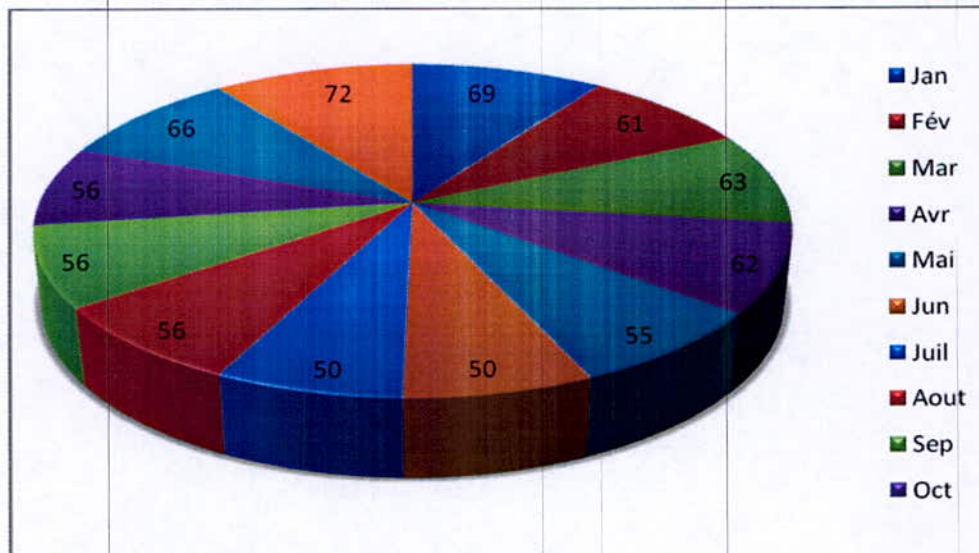


Figure II.7 : Humidité relative moyenne en 2002 à la région d'Oran en (%).

❖ Année 2003 :

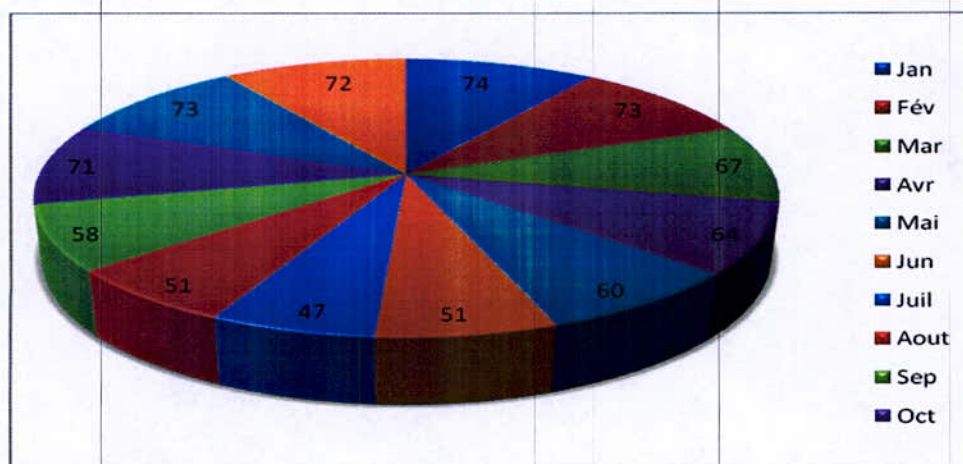


Figure II.8 : Humidité relative moyenne en 2003 à la région d'Oran en (%).

❖ Année 2004 :

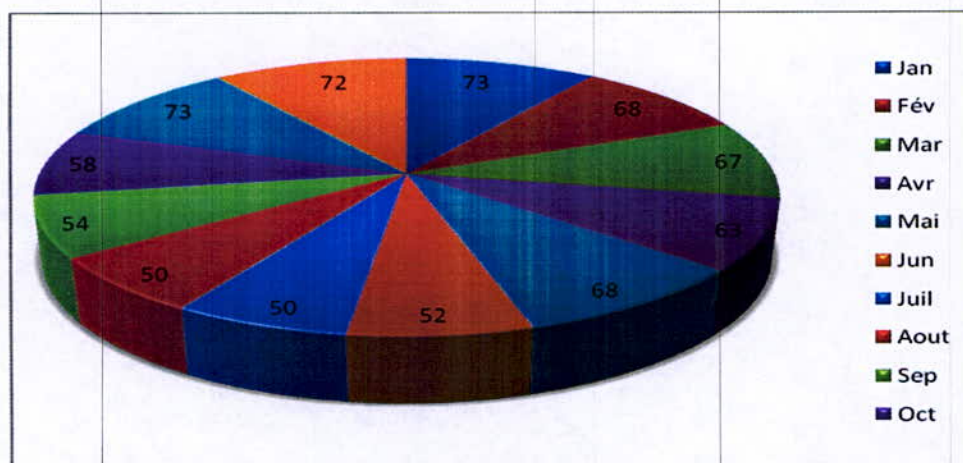


Figure II.9 : Humidité relative moyenne en 2004 à la région d'Oran en (%).

❖ Année 2005

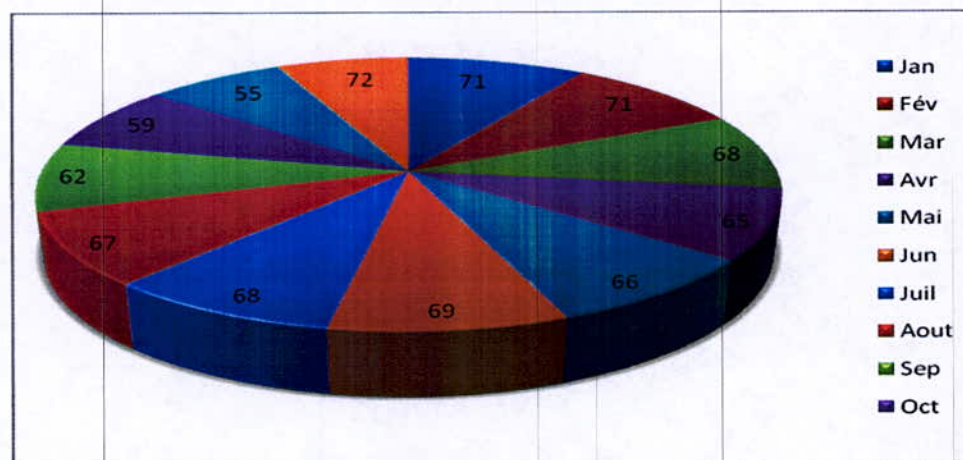


Figure II.10 : Humidité relative moyenne en 2005 à la région d'Oran en (%).

❖ Année 2006 :

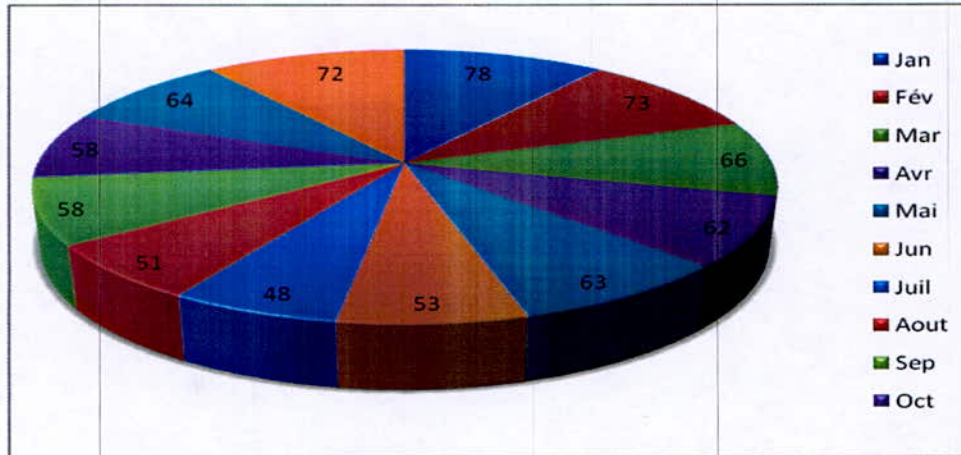


Figure II.11 : Humidité relative moyenne en 2006 à la région d'Oran en (%).

D'après les valeurs enregistrées par l'Office national de météorologie, nous pouvons conclure que l'humidité relative varie d'une saison à l'autre et aussi d'une ville à l'autre, on constate que l'humidité est très élevée comme à Marsat ou elle atteint la valeur de 95 % en hiver et en automne et elle dépasse généralement les 80 % dans la région de Beni Saf, Gazaouet et Arzew mais elle ne dépasse pas la valeur de 35 % dans la région de Bechar au printemps et en automne et 50 % dans les zones suivantes El Bayadh, Mecheria, Aïn Sefra et Nâama.

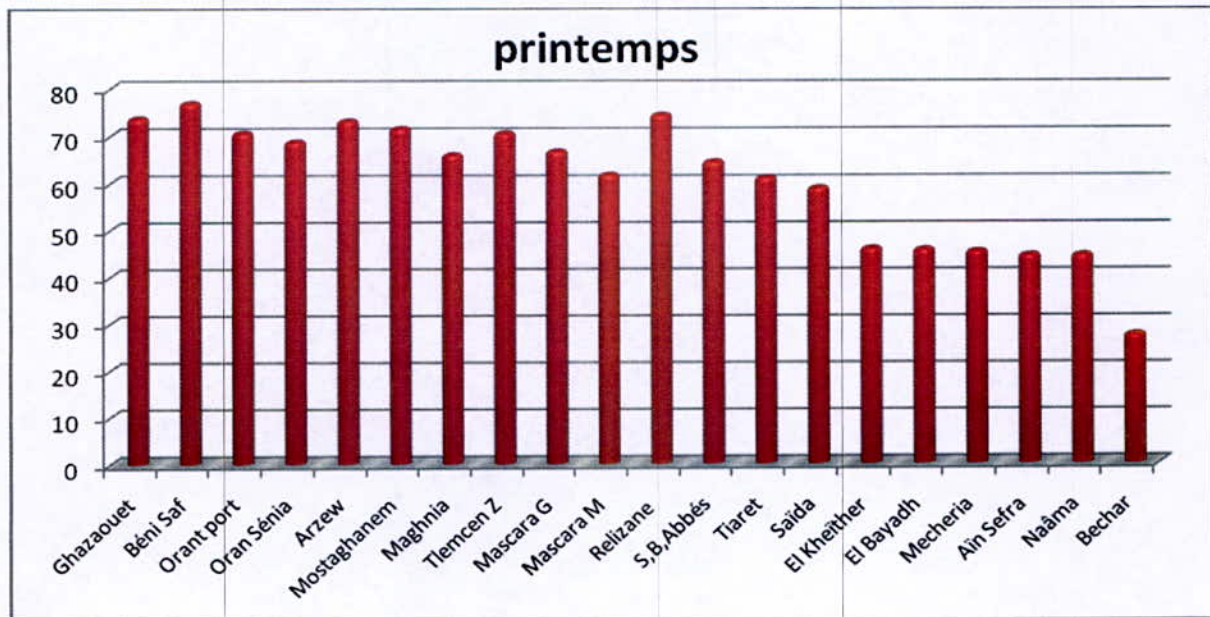


Figure II.12 : Humidité relative moyenne en printemps à la région d'Oran en (%) ; [2002 - 2006].

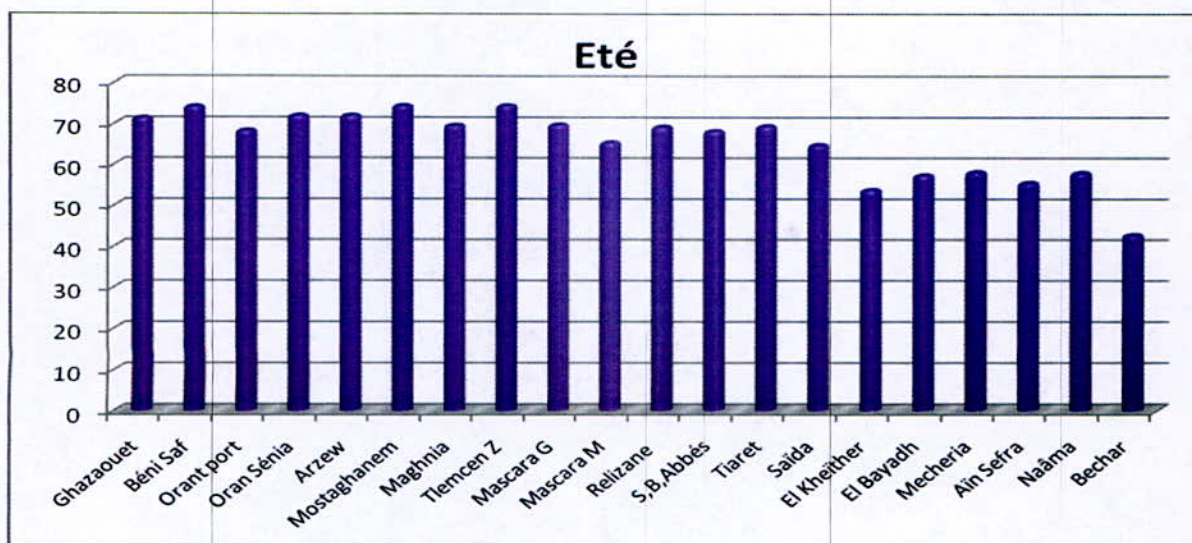


Figure II.13 : Humidité relative moyenne en été à la région d'Oran en (%) ; [2002 - 2006].

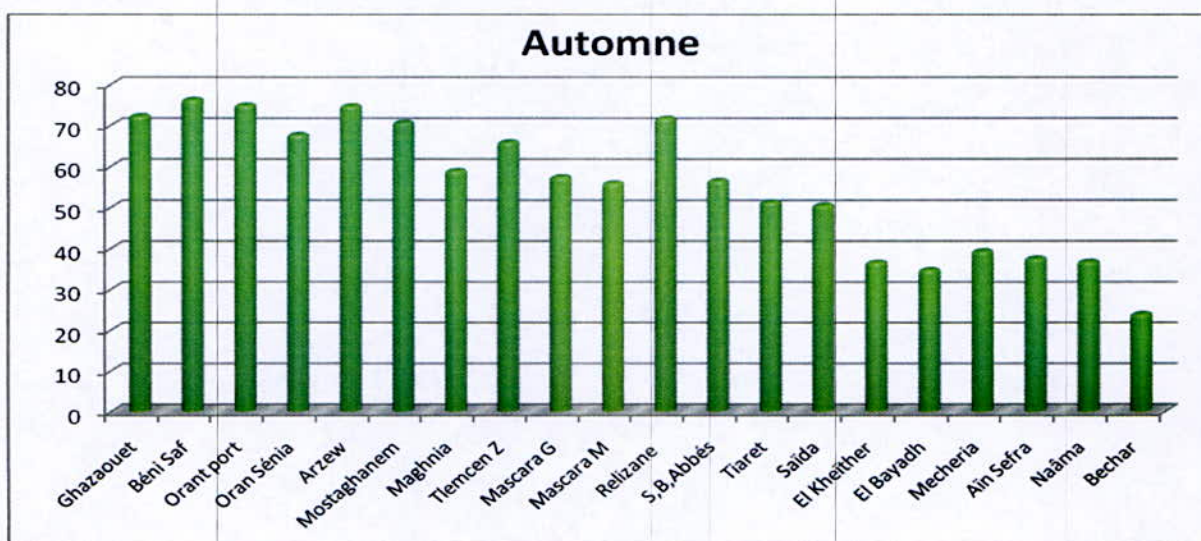


Figure II.14 : Humidité relative moyenne en automne à la région d'Oran en (%) ; [2002 - 2006].

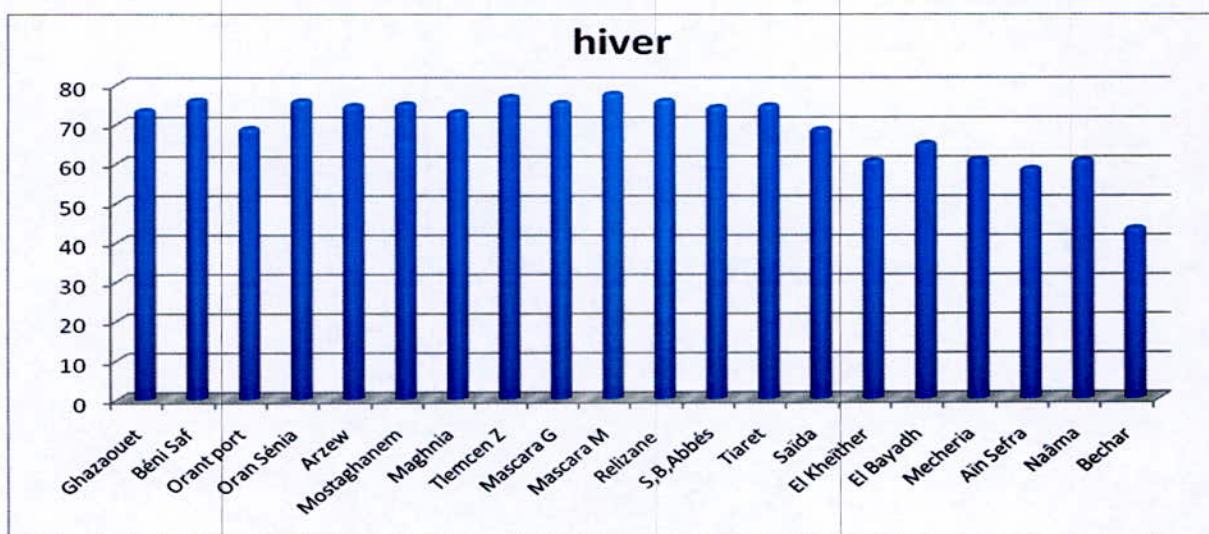


Figure II.15 : Humidité relative moyenne en Hiver à la région d'Oran en (%) ; [2002 - 2006].

II.4.3 Précipitations :

Sous l'influence du climat méditerranéen, la moyenne annuelle des précipitations sur la partie nord de la région n'est pas très élevée en hiver elle est de l'ordre de 600 mm, elles sont rares en été, le climat est caractérisé par des précipitations moins abondantes.

La formation de la rosée sur la surface des isolateurs (lorsque la température chute notamment pendant la nuit) et les fines pluies qui peuvent éventuellement avoir lieu, constituent les deux principaux facteurs d'humidification de la surface des isolateurs. Cette humidification est nocive pour la bonne exploitation du réseau haute tension, du fait qu'elle augmente la conductivité superficielle des isolateurs. [19]

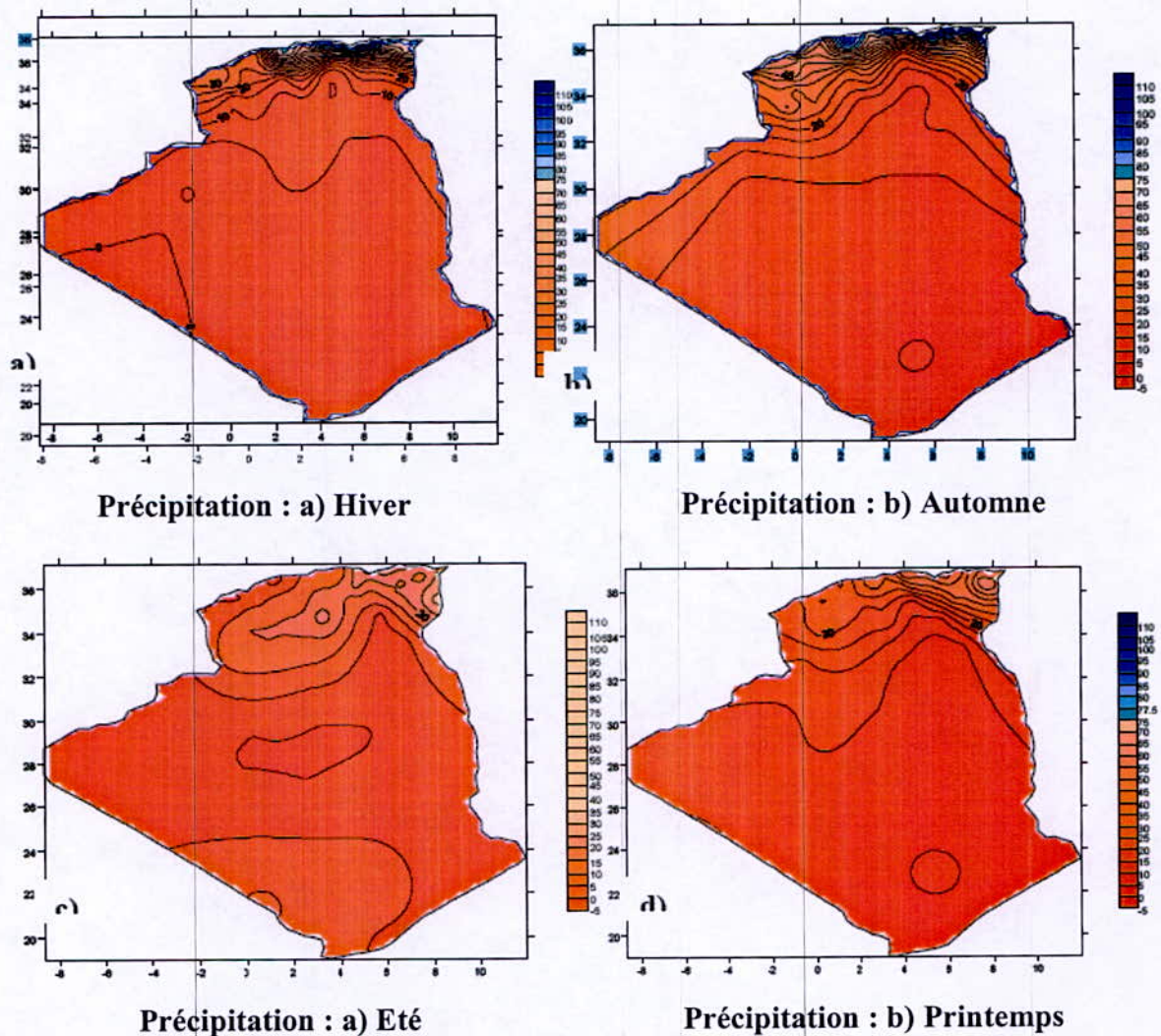


Figure II.16 : Cartes climatologiques saisonnières des précipitations à travers le territoire national [19].

II.4.4 Orages :

Le nombre de jours d'orages peut varier considérablement d'une année à une autre. Les orages surviennent surtout aux mois de mars, avril, novembre et décembre. [19]

II.4.5 La gelée blanche :

Elle apparaît particulièrement pendant les mois de décembre, janvier et février ; pour le reste de l'année elle est presque inexistante. [19]

II.4.6 Le brouillard :

Il apparaît le plus fréquemment durant la période avril-octobre. Sa présence durant la saison estivale est défavorable au bon fonctionnement des isolateurs. [19]

II.4.7 La rosée :

Dans cette région, le nombre moyen mensuel de jours de rosée est de 7. Ce nombre peut atteindre 20 jours durant le mois de décembre et une moyenne mensuelle maximale de 12 jours pour le reste de l'année. [19]

II.4.8 Les vents :

L'influence du vent sur l'amorçage des arcs le long des isolateurs pollués paraît très complexe. Il est évident que le vent constitue l'agent qui assure le transport de la poussière se déposant sur les surfaces isolantes. En présence de l'humidité relative de l'air, ces poussières peuvent favoriser les phénomènes de conduction et la propagation des décharges électriques sur les isolateurs.

D'après les données recueillies auprès des services de la météorologie, la direction habituelle des vents est de Nord - Ouest, Nord et Sud, la répartition de la fréquence des vents, montre que l'action du vent Nord - Ouest est prépondérante l'été à celle des autres vents avec une vitesse moyenne maximale 16,5 m/s. La vitesse maximale pourra atteindre 36 m/s. Les vents nord-ouest sont à l'origine de la propagation de la pollution marine. Celle-ci peut atteindre jusqu'à 20 km à l'intérieur du territoire. Ces vents, conjugués à une faible pluviométrie accentuent le dysfonctionnement des isolateurs dans la région.

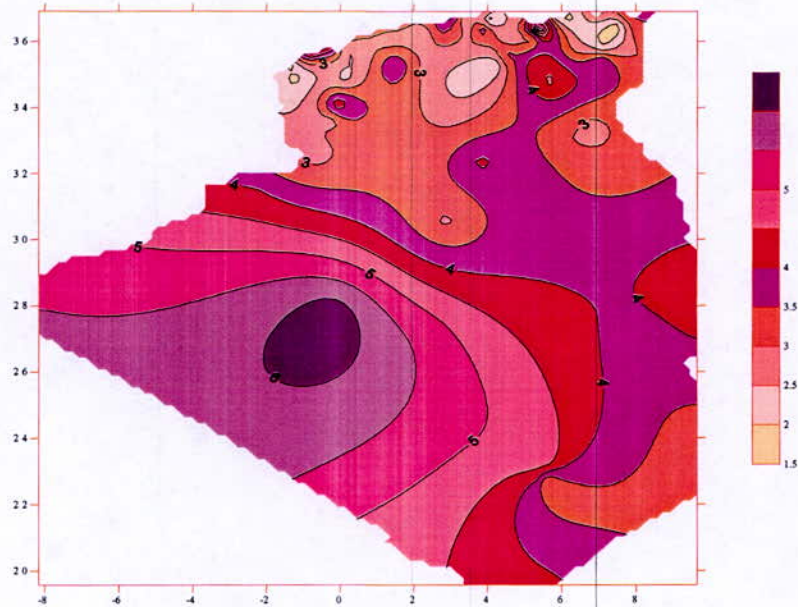


Figure II.17 : Vitesses moyennes du vent [19].

II.4.9 Sirocco :

En hiver, le sirocco est assez rare dans cette région, par contre il est plus important en été surtout au mois de juillet avec 4 jours. La durée pendant laquelle souffle le sirocco est très variable, en général on observe des coups de sirocco qui durent plusieurs heures. [19]

III. CONCLUSION :

Les principales sources de pollution qui peuvent être rencontrées, séparément ou simultanément dans la région d'Oran, sont soit des sources naturelles (embruns marins pour les ouvrages installés en bordure de mer, poussières naturelles, et sable du désert pour la région de Bechar), soit des sources industrielles (fumées évacuées à proximité des cimenteries, des complexes sidérurgiques, des usines des produits chimiques, des centrales thermiques), soit encore la pollution domestique provenant des appareils de chauffage et des fumées des véhicules.

Ces sources de pollution quand elles sont conjuguées à des conditions météorologiques comme les vents forts et des températures hautes qui sont très favorables aux dépôts de pollution sur la surface des isolateurs, et en présence d'humidité de l'air très forte ou de fines pluies, elles réduisent considérablement la résistivité des isolateurs ce qui conduit à la diminution de leur tension de tenue.

CHAPITRE III :
ANALYSE DES INCIDENTS
DE LA REGION ELECTRIQUE OUEST
&
CAS DU SITE PILOTE DE
MARSAT EL HADJAJ

I. INTRODUCTION :

Parmi les étapes permettant la résolution des problèmes dus à la pollution des isolateurs de haute tension il y a le traitement et l'analyse 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. Il s'agit particulièrement de trouver la saison et même la période du jour où le nombre de ces incidents est le plus élevé. Ainsi, sur la base de cette analyse, des propositions pourraient être faites pour diminuer et d'une façon appréciable, le nombre de ces incidents.

Par ailleurs, la sévérité des sites du point de vue de la pollution est souvent déterminante pour le comportement diélectrique et la fiabilité des lignes et des postes. La surveillance de la pollution revêt donc une importance croissante. Elle est nécessaire pour la conception et le choix d'un mode d'isolation adéquat, 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 l'OS et CREDEG. En effet, ils ont mis à notre disposition, les différentes données concernant les incidents survenus sur les lignes de 220 kV de la région Ouest, ainsi que les données climatologiques correspondantes [19 ; 20 ; 21].

Nous nous sommes intéressés au traitement des incidents de types DR et DRD durant la période 1990 - 2008, il n'a été retenu que ceux dus aux phénomènes de pollution (Annexe 8.1). Le traitement de ces incidents a abouti à la détermination des taux annuels d'incidents, leur distribution journalière, saisonnière et annuelle. Les zones les plus polluées ont été identifiées par des méthodes basées sur les statistiques des incidents [5 ; 11].

La deuxième partie de ce chapitre est consacrée à l'étude du phénomène de la pollution des isolateurs sur les lignes HT & THT au niveau du site pilote de « Marsat El Hadjaj ». Cette étude est le fruit d'une collaboration entre le GRTE et SIS, sanctionnée par un rapport établie en janvier 2009 [5]. En effet, le site de MARSAT est un cas bien particulier, qui nécessite une grande attention afin de prendre connaissance des phénomènes de pollution et permettre l'utilisation des moyens antipollution. L'intérêt d'un tel choix est de pouvoir :

- Evaluer le degré de sévérité de la pollution du site pilote de Marsat El Hadjaj,
- Evaluer le comportement de différents types d'isolateurs sous pollution naturelle de la station de mesure active de Marsat et de comparer plusieurs paramètres ciblés,

- Mise en place d'une procédure pour le classement par ordre de mérite des isolateurs installés en station d'essais,
- Mise en place d'une procédure pour le choix du profil optimum des isolateurs des lignes électriques aériennes et des postes les plus adaptés aux conditions environnementales du site,
- Réduction du nombre d'incidents et de l'énergie non distribuée sur le réseau HT & THT.

II. ANALYSE DES INCIDENTS SUR LA PERIODE 1990 – 2008 :

Les incidents sont dus aux contournements des arcs électriques au niveau des chaînes isolantes suite à la formation des couches polluantes qui se fixent sur la surface des isolateurs y compris les parties les mieux protégées abaissant considérablement, par temps de pluie ou de brouillard, la résistivité superficielle des isolateurs.

La figure III.1 représente le nombre d'incidents, survenus pendant la période considérée qui s'élève à **3918** incidents (Annexe 8.1). On remarquera qu'à partir de l'année 1998 jusqu'en 2001, on a enregistré un nombre d'incidents très élevé par rapport aux autres années, avec **404** incidents pour l'année **1998**. Ce nombre aussi important est, selon les données météorologiques, dû à une période fortement marquée par la sécheresse et un taux d'humidité relativement élevé. Ces facteurs, excluant les phénomènes d'auto-nettoyage, ont favorisé de fait les contournements des isolateurs. Ceci n'est pas le cas des années 2002,2003 et 2004 où les précipitations pluviales ont été beaucoup plus importantes.

Aussi, on peut constater que le nombre d'incidents enregistrés sur le réseau de transport, durant la décennie 90 (de 1990 à 2000) est très élevé par rapport à la décennie 2000 (à partir de 2001 jusqu'en 2008), ceci est dû essentiellement aux événements tragiques que le pays a connu (décennie noire), et qui a eu un impact négatif dans plusieurs secteurs notamment le secteur de l'énergie électrique (développement du réseau, maintenance et entretien des lignes).

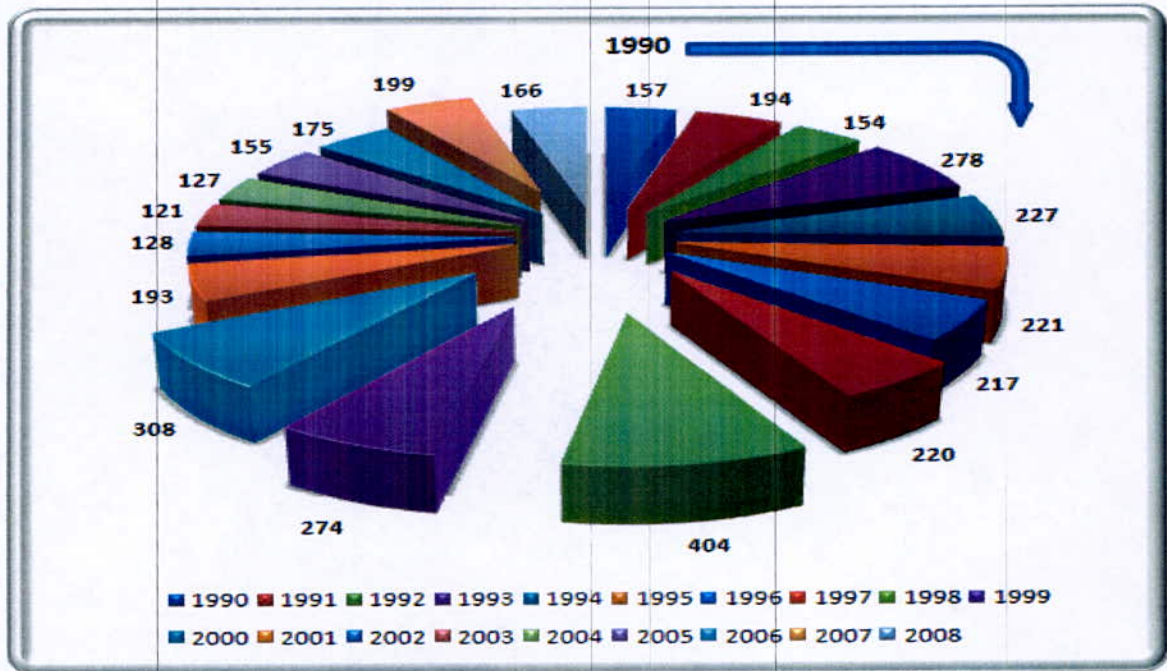


Figure III.1 : Nombre d'incidents par année (région ouest).

II.1 Statistiques des incidents :

II.1.1 Répartition des incidents par type de défaut :

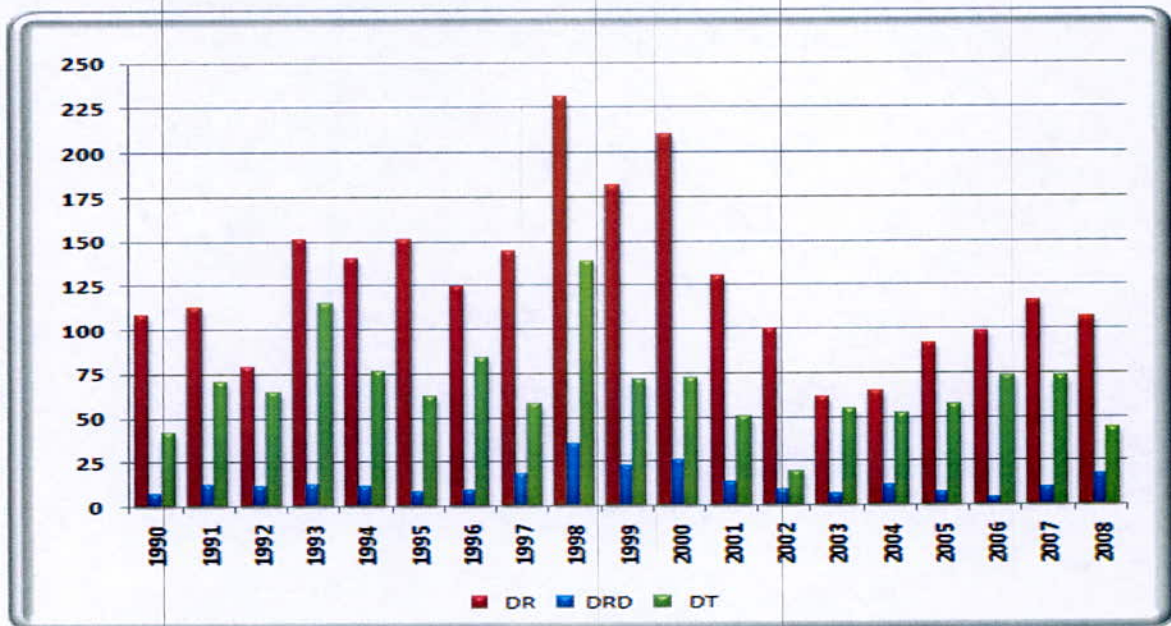


Figure III.2 : Répartition des incidents par type de défaut.

Les déclenchements – ré enclenchements (DR) sont très fréquents sur les lignes 220 kV durant cette période, surtout l'année 1998 où on a enregistré 231 DR (figure III.2).

II.1.2 Répartition des densités moyennes d'incidents :

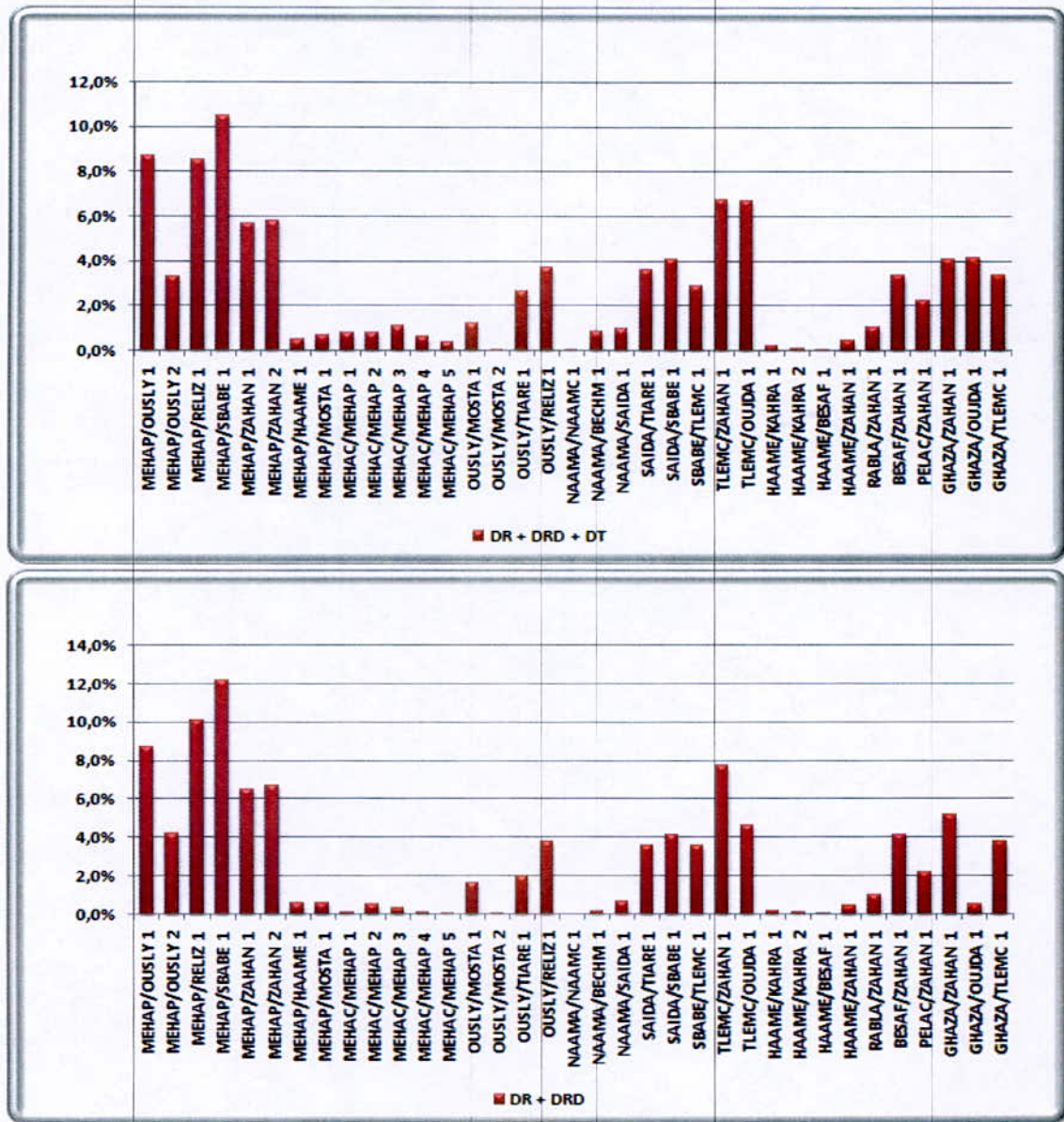


Figure III.3 : Représentation des densités moyennes d'incidents par ligne.

Le traitement des incidents de types DR et DRD montre que, durant la période 1990 - 2008, 2645 incidents (DR + DRD) ont été enregistrés sur les lignes haute tension 220 kV de la région électrique Ouest. La figure III.3 montre que les lignes 220 kV issues du poste de Marsat El Hadjaj sont les plus affectées par les incidents notamment les lignes :

- Marsat – Sidi Bel Abbes : 12,2 % des incidents.
- Marsat – Relizane : 10,1 % des incidents.
- Marsat – Oued Sly 1 : 8,7 % des incidents.
- Marsat – Zahana 1 : 6,5 % des incidents.
- Marsat – Zahana 2 : 6,7 % des incidents.

II.2 Analyse des incidents :

La fiabilité des analyses d'incidents et surtout de leur interprétation passe par, la fiabilité de la source de l'information, sur la cause présumée des incidents, en premier et par l'établissement d'un diagnostic technique systématique de chaque départ, si nécessaire ensuite.

D'après les résultats obtenus, nous présentons dans ce qui suit la répartition des incidents par saison pour les années 1998 et 2003 ainsi que la répartition horaire de ces mêmes incidents pour chaque saison considérée.

En effet, les deux années 1998 et 2003 où on a enregistré respectivement 404 et 121 incidents sur les lignes 220 kV du réseau transport Ouest, ont été marqués par des conditions météorologiques très particulières (Chapitre II).

Dans cette partie, on prend en considération les données climatiques. En effet, ces paramètres tels que : vitesse et direction des vents dominants, température, humidité relative, ensoleillement, pluie, rosée matinale ou condensation...etc., sont déterminants pour la bonne conduite du projet d'études sur la pollution des isolateurs.

La constitution d'une banque de données de ces paramètres est d'une grande utilité pour l'analyse des incidents et plus particulièrement lors de la recherche de corrélation entre incidents et paramètres climatiques en premier, et l'exploitation des résultats de mesures de la pollution ensuite.

Une bonne lecture et une bonne interprétation de ces paramètres climatiques permettent souvent de confirmer ou parfois d'infirmer la cause présumée d'un incident sur le réseau.

II.2.1 Paramètres climatiques et météorologiques :

Les conditions environnementales de la région d'Oran (Station d'Arzew) sont [5] :

- Une variation du taux d'**Humidité relative** comprise entre **65% à 95%**,
- Des **Températures** élevées pouvant atteindre **42°C en été**,
- La **direction des vents dominants** est du Nord Ouest (N/O) et Ouest, généralement en Hiver et Printemps, est du Nord et Nord Est (N/E), généralement en Été et Automne,
- La **vitesse des vents** pouvant atteindre **36 m/s**,
- Moyenne annuelle des **pluies** est de l'ordre de **600 mm en Hiver**, elles sont rares en été,
- **12 jours/mois** moyenne maximale de jours de **Rosée**,
- Le nombre de jours d'**orage** est de l'ordre de **3 jours/mois**.

II.2.2 Répartition des incidents pour l'année 1998 :

a) Répartition des incidents par saison :

L'année 1998 a été une année de sécheresse. L'accumulation de dépôts polluants sur les surfaces des isolateurs a été très importante du fait du manque des précipitations pluviales. Durant l'été 1998, le phénomène de l'humidification des dépôts polluants a été très important (écart de température entre le jour et la nuit, phénomène de condensation...). Ces phénomènes ont augmenté les risques de contournements des chaînes d'isolateurs, conduisant de fait à un grand nombre d'incidents (figure III.4).

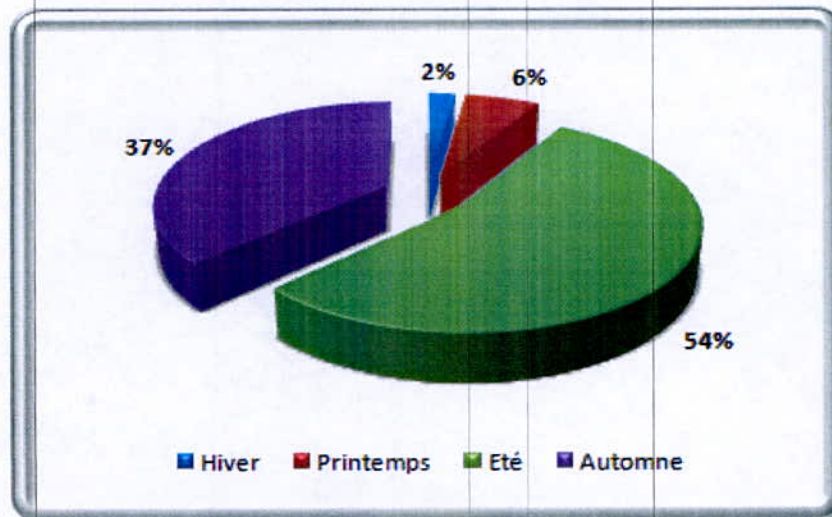


Figure III.4 : Répartition des incidents par saison de l'année 1998.

b) Répartition des incidents par mois :

Le nombre d'incidents dans l'année 1998 a été enregistré au mois de septembre (année de sécheresse) dû au manque de précipitations.

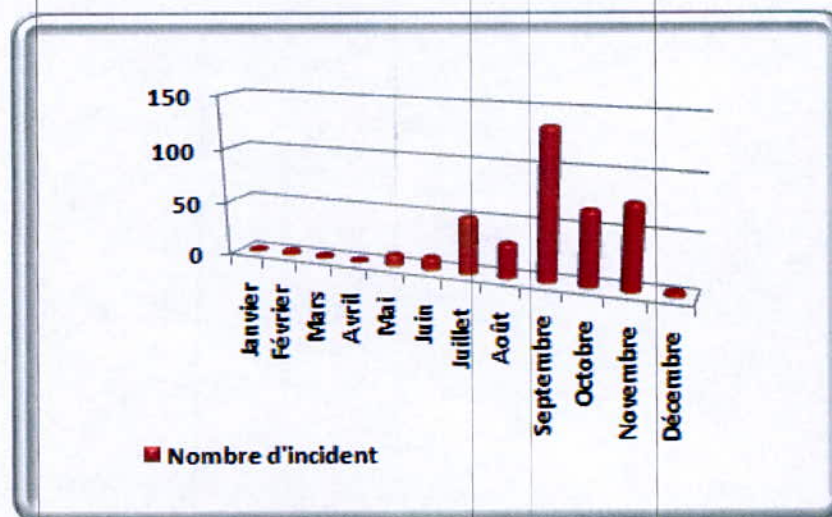


Figure III.5 : Répartition des incidents par mois de l'année 1998.

c) Répartition horaire des incidents pour chaque saison :

Les phénomènes de condensation ont eu lieu surtout le matin juste avant et après le levé du soleil (brouillard, rosée...). Ceci explique donc le grand nombre d'incidents entre 00h00 et 06h00 en été (levé du soleil aux environs de 05h00), et en automne où le levé du soleil s'effectue entre 06h00 et 07h50mn. On constate que le plus grand nombre d'incidents a eu lieu entre 00h00 et 06h00 mais aussi entre 06h00 et 12h00 (figure III.6).

En hiver, il n'y a eu que 9 incidents, on ne peut apporter d'interprétations.

Au printemps le grand nombre d'incidents est entre 06h00 et 12heures à cause de la différence de température entre le jour et la nuit.

En été le plus grand nombre d'incidents a été enregistré entre 00h00 et 06h00 du matin a cause du phénomène de la rosée matinale car la température baisse entre minuit et 06h00.

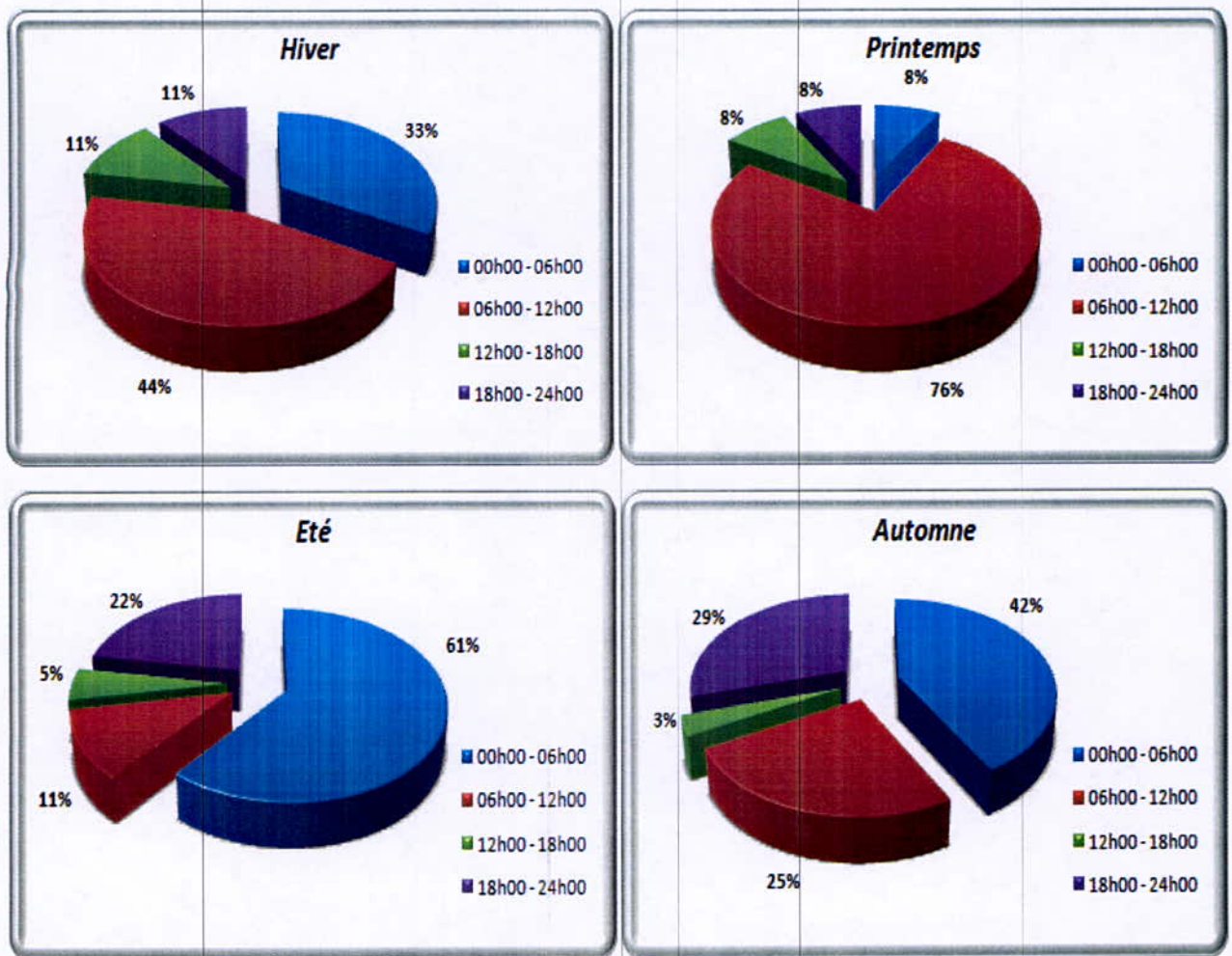


Figure III.6 : Répartition horaire des incidents pour chaque saison.

II.2.3 Répartition des incidents pour l'année 2003 :

a) Répartition des incidents par saison :

Le plus grand nombre d'incidents a eu lieu toujours en été, néanmoins on observe 21 % du taux d'incident enregistré pendant la saison du printemps, à cause des précipitations pluviales relativement plus importantes (figure III.7), ce qui n'a pas réduit le taux élevé d'incidents enregistré pendant l'été.

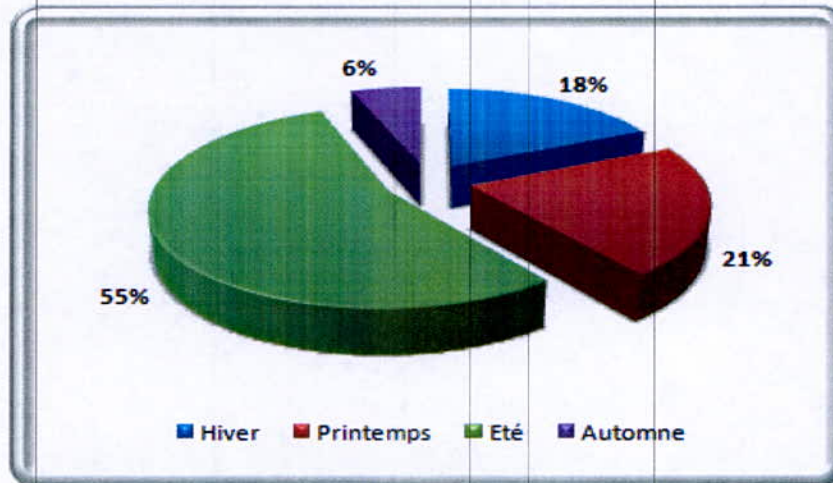


Figure III.7 : Répartition des incidents par saison de l'année 2003.

b) Répartition des incidents par mois :

Le nombre d'incidents dans l'année 2003 a été enregistré au mois de septembre (Eté).

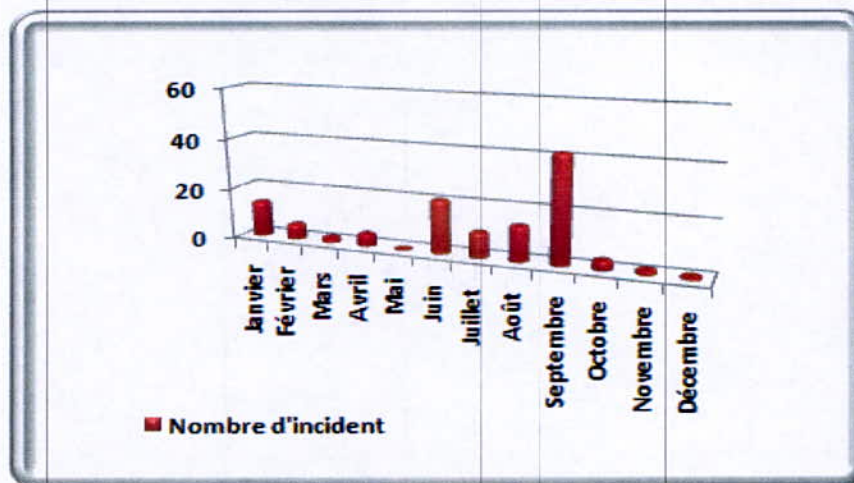


Figure III.8 : Répartition des incidents par mois de l'année 2003.

c) Répartition horaire des incidents pour chaque saison :

Concernant les deux saisons printemps et l'été, les mêmes interprétations que l'année 1998 peuvent être faites pour l'année 2003. Cependant, pour l'hiver un grand nombre d'incidents est observé entre 06h00 et 12heures ; mais aussi entre 18h00 et 24heures ; l'automne où il n'y a eu que 7 incidents, ont ne peut apporter d'interprétations (figure III.9).

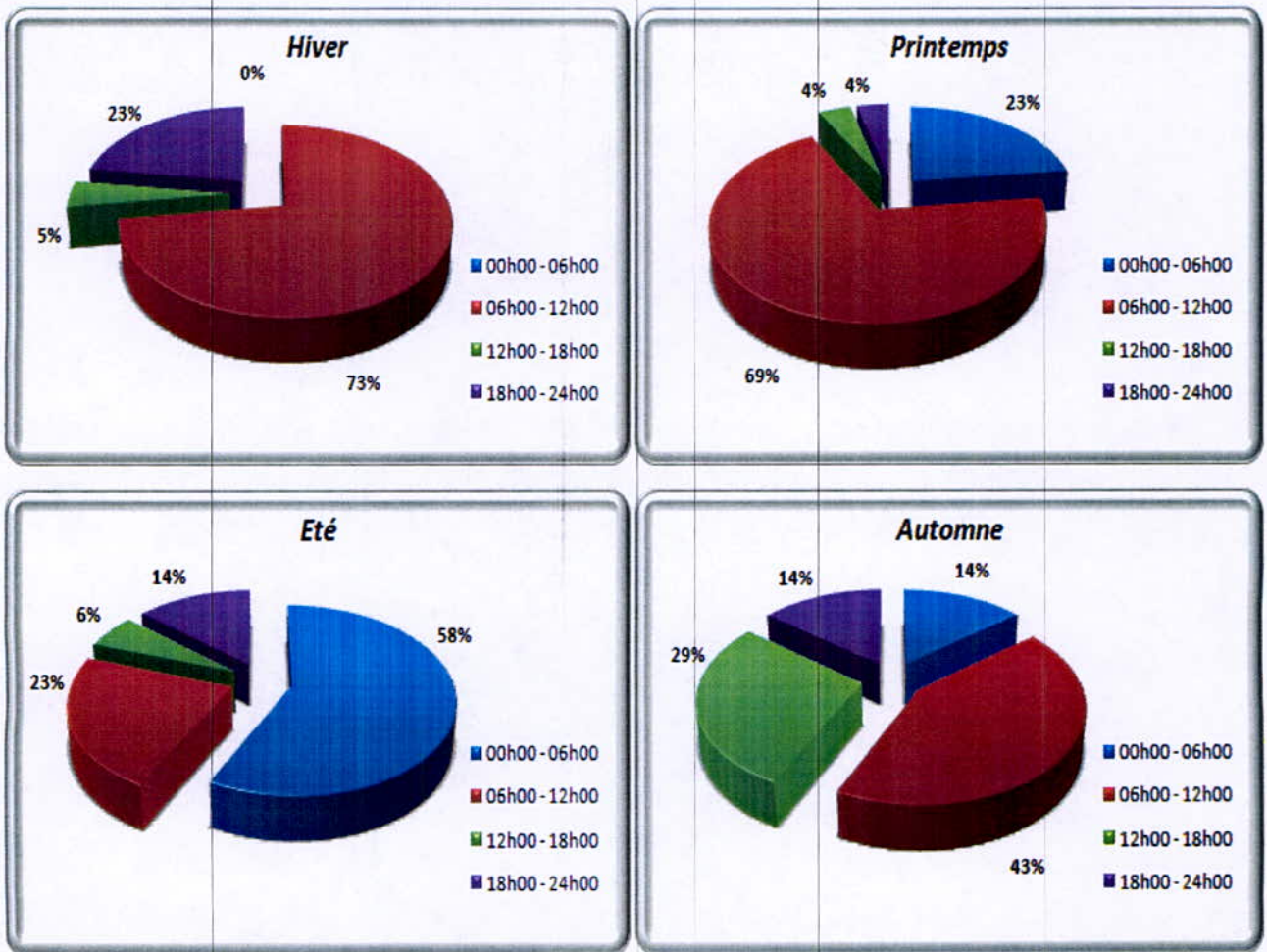


Figure III.9 : Répartition horaire des incidents pour chaque saison.

II.2.4 Nombre d'incidents dus à la pollution [5 ; 20] :

En 1^{re} lecture, le nombre d'incidents sur les lignes 220 kV paraît plus élevé que sur les lignes 60 kV, d'où l'intérêt d'affiner les analyses des incidents et de déterminer le nombre d'incidents par 100 km, un paramètre important pour l'évaluation et la comparaison des performances des réseaux électriques voire de chaque ligne (tableau III.1).

ANNÉE	2003	2004	2005	2006	2007
Lignes 220 kV	61/121	37/127	129/155	91/175	105/199
Taux (%)	50%	29%	83%	52%	53%
Lignes 60 kV	39/182	11/195	77/183	27/189	71/187
Taux (%)	22%	6%	42%	15%	38%

Tableau III.1 : Nombre d'incidents dus à la pollution.

Le tableau III.2 nous donne une 2^{ème} lecture, l'analyse des incidents /100 km rétablit l'ordre logique entre le nombre d'incidents sur les réseaux 220 kV et 60 kV, soit respectivement 6,3 et 8,4 en moyenne sur 5 ans.

ANNÉE	2003	2004	2005	2006	2007	Moyenne/Sans
Lignes 220 kV	6.5	7.3	8.9	8.1	7.8	6.3
Lignes 60 kV	8.1	8.7	8.2	8.5	8.4	8.4

Tableau III.2 : Nombre total d'incidents /100 km.

Le tableau III.3, met en évidence la vulnérabilité du départ Marsat/Relizane (20 incidents/100 km), soit à cause de la vétusté de la ligne (date de mise en service le 11/12/1983), soit due, et c'est le plus probable, au non respect de la coordination de l'isolement du départ (3 différents « L_{fs} » sur le même départ = 26.5, 29 et 33.6 mm/kV) ainsi qu' à l'insuffisance du niveau d'isolement de la ligne, et ce compte tenu de la sévérité des différentes sources de la pollution du site [5].

Lignes 220 kV	Long. (km)	N ^{bre} d'isolateurs/ N ^{bre} jupes compo. /chaîne		L. fuite spécifique. « L_{fs} » (mm/kV.Ø. Ø)		Age	N ^{bre} incidents /an	N ^{bre} incidents /100 km
		Ancrage	Suspens.	Ancrage	Suspens.			
MHP/OUS	141	20	18/101	32.7	45,2/46.5	01/99	14	10
MHP/SEA	77.5	18	16/101	26.5	29,1/46.5	10/87	5	6.5
MHP/RELI	99,7	18	16/73	26.5	29/33.6	11/83	20	20

Tableau III.3 : Analyse des incidents et Diagnostic technique des lignes.

II.3 Analyse des résultats :

Le réseau de transport THT/HT de la région Ouest est très dense, particulièrement le long des cotes ; avec : **240 km en 400 kV ; 2788 km en 220 kV et 2724,83 km en 60 kV.**

Les résultats pour les lignes hautes tension 220 kV montrent que les départs situés sur le site de **Marsat El Hadjaj** sont les plus affectés par les incidents (Annexe 8.1 ; tableau A.2), avec un taux de **51 %** des incidents, ensuite arrive :

- Les départs issus du poste de Tlemcen : **14 %** des incidents.
- Les départs issus du poste de Ghazaouet : **11 %** des incidents.
- Les départs issus du poste de Saida : **8 %** des incidents.
- Les départs issus du poste d'Oued Sly : **7 %** des incidents.
- Les départs issus du poste de Zahana : **7 %** des incidents.

D'après les résultats obtenus, de la répartition des incidents par saison ainsi que pour la répartition horaire de ces mêmes incidents pour chaque saison considérée, et de l'analyse du nombre d'incidents dus à la pollution, il ressort que :

- 90 % des déclenchements sont fugitifs (**DR**),
- 70 % des incidents en moyenne apparaissent entre **22h00** et **08h00** du matin,
- 70 % des incidents sont attribués à la pollution (**tableau III.1**),
- 60 % des **DR** sont enregistrés durant les mois de **Juillet/Aout/Septembre**,
- Le Nombre d'incidents au 100 km, enregistré durant les 5 dernières années, est compris entre **6.5 & 8.7** pour toute la région d'Oran (**tableau III.2**),
- Le Nombre d'incidents au 100 km, enregistré au site de Marsat, touche le seuil inadmissible de **20** sur le départ de **Relizane** (**tableau III.3**).

II.4 Localisation de la zone la plus polluée [11] :

Pour déterminer les différentes zones de pollution, plusieurs méthodes sont utilisées ; elles reposent uniquement sur le traitement statistique des incidents (DR et DRD) dus à la pollution, en vue d'aboutir à une carte nationale de pollution sans un investissement important sur les stations de mesures. Moyennant des chroniques d'incidents fiables, ces méthodes permettent de suivre géographiquement la pollution à travers le territoire national et selon les différents degrés de sévérités (la définition de chaque méthode est détaillée en Annexe 12).

La première méthode (Annexe 12), nécessite un très bon schéma du réseau national de transport d'électricité ainsi qu'une haute précision de localisation des lieux des incidents sur les lignes, ce qui n'est pas le cas en général. En effet, le manque d'information sur les incidents ayant eu lieu sur le réseau, particulièrement leur localisation exacte, le même constat est fait concernant les sources de pollution des différentes régions.

Les autres types d'incidents autres que les DR ou les DRD sont dus à des problèmes techniques comme les surcharges des réseaux, défauts de synchronisation et la destruction d'un disjoncteur ou d'un transformateur. Donc, tous les incidents DR et/ou DRD identifiés comme incidents dus à la pollution sont comptabilisés, les autres n'étant pas pris en considération. Par ailleurs, si on ne trouve pas d'information sur la cause d'un incident, on le considère par défaut, comme du à la pollution, cela revient, par précaution, à considérer un cas critique.

La deuxième méthode (Annexe 12), est meilleure par rapport à la première dans la mesure, où elle permet d'apprécier la pollution en trois dimensions (3D), cas très intéressant pour les réseaux de distribution (moyenne tension) dont les isolateurs de par l'architecture de leurs pylônes sont situés à des hauteurs nettement en dessous de ceux propre à la haute tension.

La troisième méthode consiste à comptabiliser le nombre d'incidents survenus sur la ligne considérée durant une année, ensuite nous pouvons déduire la densité d'incidents correspondante en divisant le nombre d'incidents sur la longueur de la ligne. Nous définissons ainsi pour les différentes lignes 220 kV, une densité d'incidents par unité de longueur. La ligne qui présente la densité la plus élevée sera considérée comme celle se trouvant dans la région la plus polluée.

En utilisant la dernière méthode proposée concernant le calcul de la densité moyenne des incidents par ligne, nous définissons la zone la plus polluée de la région électrique Ouest. En effet, La figure III.3 montre que les lignes issues du poste de **Marsat El Hadjaj** sont les plus affectées par les incidents et donc les plus polluées.

III. ETUDE DU PHENOMENE DE LA POLLUTION DES ISOLATEURS AU SITE PILOTE DE « MARSAT EL HAJAJ » [5 ; 7 ; 16 ; 22] :

III.1 Identification électrique de la zone de Marsat :

III.1.1 Situation géographique :

Les lignes situées au niveau de cette zone traversent une plaine sublittorale à vocation agricole, isolée de la mer par la ride du sahel et bordée par l'atlas du Zahana au Sud et Sud -Ouest.

A l'intérieur de la zone se trouve des lacs salés (Telamine, El Mellah, Macta, etc..) qui asséchés l'été, se transforment en nappes de chlorure de sodium cristallisé.

III.1.2 Localisation industrielle :

La région de Marsat compte une forte concentration industrielle, l'existence d'une usine de fabrication d'ammoniac qui, en marche normale, peut répandre aux alentours à des distances très loin, des déchets chimiques tels que les vapeurs ammoniacales, les poussières de nitrate d'ammonium et la vapeur d'eau à tendance acide.

La cimenterie de Zahana engendre un nuage de poussière sur un rayon de 2 km.

III.1.3 Localisation du réseau :

Le réseau se trouvant au niveau de la région de Marsat est constitué d'une centrale électrique de cinq groupes de 160 MW chacun, 5 lignes 220 kV d'évacuation d'énergie vers le poste 220/60 kV de Marsat, 6 lignes 220 kV issues du poste dont trois lignes dessertes l'Ouest et des lignes 60 kV formant une boucle (boucle d'Arzew), et alimentant des postes sources 60/30 kV et des postes clients industriels.

III.2 Conditions climatiques :

Les principaux facteurs climatiques rencontrés fréquemment dans la région de Marsat et qui influent sur le comportement des lignes THT/HT sont : l'humidité relative de l'air, le brouillard, la pluie (hiver), l'orage, la sécheresse (été), la rosée et les vents.

Ces différentes manifestations climatiques ont pour conséquences soit le nettoyage des isolateurs (vent, forte pluie) soit l'augmentation de la conductivité superficielle des couches polluantes après leurs humidification (bruine, brouillard).

III.2.1 Humidité relative de l'air :

La valeur moyenne de l'humidité relative de l'air au niveau de la région est de 72 %, elle varie suivant les saisons entre 66 % et 95 %, elle est accentuée en hiver et en automne (particulièrement aux mois de janvier, septembre et décembre). Durant cette période, elle atteint souvent un pic de

95 %. Le maximum se produit dans la nuit ou au lever du soleil. Ces données sont compatibles du faite que nous sommes en présence d'un hiver frais et humide et d'un été sec. **Au vu des valeurs enregistrées par l'Office national de météorologie, nous pouvons conclure que la région de Marsat est une zone très humide.**

III.2.2 Température :

Au niveau de la zone de Marsat, la température varie suivant les saisons entre 5 °C et 35 °C jusqu'à 42 °C ; le plus grand écart de température (mois de juillet) est de 12 °C. Une baisse de température, au delà d'une certaine limite (point de rosée) dépendant de l'humidité relative, donne naissance à la rosée. La rosée se forme quand :

Les surfaces des isolateurs se refroidissent en dessous du point de rosés de l'air ambiant, un tel refroidissement est du habituellement aux rayonnements nocturnes, de l'air chaud et humide entre en contact avec une surface plus froide, dont la température est inférieure à celle du point de rosée de l'air.

III.2.3 Précipitations pluviales :

Sous l'influence du climat méditerranéen, la moyenne annuelle des précipitations sur la région de Marsat est de 620 mm en hiver, le climat est caractérisé par des précipitations moins abondantes.

III.2.4 Brouillard :

L'analyse statistique des fréquences mensuelles de brouillard de la région montre que celle-ci est estivale, le maximum s'y produit en été (2.5 jours en juillet), il s'agit d'un brouillard de rayonnement qui se produit pendant la saison chaude. Le reste de l'année, la fréquence est faible.

III.2.5 Rosée :

Dans cette région, le nombre moyen mensuel de jours de rosée est de 7. Ce nombre peut atteindre 20 jours durant le mois de décembre et une moyenne mensuelle maximale de 12 jours pour le reste de l'année.

III.2.6 Orage :

Au niveau de la région de Marsat, les moyennes annuelles du nombre de jours d'orage augmente à la période intersaison qui est du aux variations brusque de température.

On distingue deux maximas l'un en juin, l'autre en septembre. On pourrait attribuer les deux maximas d'orages aux perturbations plus actives enregistrées par le conflit entre l'air tropical et l'air polaire.

III.2.7 Vent :

D'après les données recueillies auprès des services de la météorologie, la direction habituelle des vents est de Nord-Ouest, Nord et Sud, la répartition de la fréquence des vents, montre que l'action du vent Nord-Ouest est prépondérante l'été à celle des autres vents avec une vitesse moyenne maximale de 16.5 m/s. La vitesse maximale pourra atteindre 36 m/s. Les vents Nord-Ouest sont à l'origine de la propagation de la pollution marine. Celle-ci peut atteindre jusqu'à 20 km à l'intérieur du territoire.

III.2.8 Sirocco :

En hiver, le sirocco est assez rare dans cette région, par contre il est plus important en été surtout en mois de juillet avec 4 jours. La durée pendant laquelle souffle le sirocco est très variable, en général on observe des coups de sirocco qui durent plusieurs heures.

En résumé, l'identification du site pilote de Marsat est caractérisé par :

- *Du côté N/O du poste Marsat, plusieurs torches à gaz, allumées et dégageant un nuage de fumée dense à longueur de journées,*
- *Une usine de fabrication d'ammoniac dégageant à la fois de dépôts combinés de nitrate d'ammonium, de vapeurs et de sels ammoniacaux,*
- *Du côté nord, à 1 km du poste Marsat, des décharges publiques en combustion quasi permanente,*
- *Du côté Sud, deux grands lacs salés ou desséchés, à 6 km de la mer, et une cimenterie, à 30 km vers Zahana,*
- *Des zones agricoles & arides longent le littoral et favorisent l'accumulation des matériaux solides et inertes sur la surface des isolateurs,*
- *Une longue et large bande côtière humidifiée, par des embruns marins, selon la saison et la direction des vents dominants (N/E en été et N/O en hiver), toute cette combinaison de dépôts polluants sur la surface des isolateurs, installés dans la région d'Arzew et de Marsat.*

III.3 Analyse statistique des incidents :

Les données climatiques et les statistiques des incidents des lignes de la zone de Marsat (Parg. II.1), montrent une grande corrélation entre les deux. En effet, l'étude de la répartition annuelle des incidents survenant sur les lignes de la région de Marsat nous permet de situer une période propice des incidents, à savoir, la saison estivale et principalement les mois de juillet, août et septembre. Pour la répartition horaire, on constate une forte concentration d'incidents la nuit (entre 00h et 06h), au delà de 06h et jusqu'à 21 h on constate moins de perturbations. On ce qui concerne la répartition

III.2. des incidents par type et par nature, on remarque que les incidents de type DR, de nature fugitif sont les plus courants, les restes de défauts sont de type DT de nature permanent.

III.4 Sources polluantes :

Les lignes 220 kV de la zone de Marsat traversent une région où se trouve une multitude de pollutions :

III.4.1 Pollution naturelle :

III.2. Cette pollution est caractérisée par la nature même de la région traversée (zone à vocation agricole), les lignes sont constamment soumises à des risques de tourbillons de poussière qui se déposent à la surface des isolateurs provoquant la réduction de la ligne de fuite de la chaîne isolante, l'atmosphère est souvent très humide, de sorte que l'abaissement de température la nuit pendant la période d'été est souvent suffisant pour atteindre et dépasser le point de rosée, l'absence de pluie en été permettant le lavage des isolateurs, l'existence des lacs salés, qui asséchés l'été, se transforment en nappes de chlorure de sodium cristallisé et les embruns portés par les vents marins déposent progressivement sur les isolateurs une couche de sel qui recouvre toute la surface de l'isolant.

III.4.2 Pollution industrielle :

L'existence d'une usine de fabrication d'ammoniac, qui en marche normale, peut répandre aux alentours les déchets des différents produits chimiques suivants : vapeurs ammoniacales, CO_2 , CO , CO_2 , gaz de synthèse H_2 , N_2 , CO , CO_2 , ARGON CH_4 , vapeurs nitreuses (oxydes d'azote NO et NO_2), poussières de nitrate d'ammonium et vapeur d'eau à tendance acide. De même, on note la présence des traces de chlorure de zinc dans la région.

En Résumé, Le site pilote de Marsat est caractérisé par une pollution combinée du type :

- *Chimique (H_2 , NO_2 , CH_4 ...),*
- *Industrielle (zone industrielle d'Arzew ...), CO , CO_2 , NH_3 , NH_4 , NO , NO_2 ...,*
- *Marine (Na Cl , Mg ...) et Agricole (pollution solide...).*

III.5 Propriétés chimiques de l'agent polluant :

Des analyses chimiques (laboratoire de CREDEG) ont permis d'identifier des échantillons prélevés au niveau de la région de Marsat.

III.5.1 Analyse spectrale :

Cette analyse a révélé la présence de plusieurs éléments conducteurs dont les plus prépondérants sont ; le chlorure de sodium en grande quantité, du chlorure de zinc et du nitrate d'ammoniaque.

Le chlorure de sodium dans une atmosphère humide marine a pour effet d'attaquer les couches d'aluminium des câbles aériens et la tige des isolateurs par effet électrolytique, il se forme des « piles » entre l'aluminium et l'acier du câble entraînant une dissociation anormale de l'aluminium (corrosion).

III.5.2 Epaisseur et granulométrie de la couche polluante :

Ces dimensions dépendent de plusieurs paramètres tels que la position de l'isolateur, le type de la pollution, la forme de l'isolateur, la force des vents et la fréquence de nettoyage.

Les éléments minéraux sont supposés de formes sphériques, ils sont classés de la façon suivante :

- Sable gros : de 2 à 0.2 mm (2000 à 200).
- Sable fin : de 0.2 à 0.02 mm (200 à 20).
- Limon : de 0.02 à 0.002 mm (20 à 2).
- Argile : Éléments inférieurs à 2.

III.6 Mécanisme de contournement des isolateurs sous pollution :

Le comportement des isolateurs sous pollution peut être décomposé en quatre étapes distinctes, chacune de ces étapes ayant une importance sur la tenue ou le contournement de la chaîne isolante au moment de l'observation (Chapitre I ; Parg. II.2.3) :

- Dépôt de la pollution.
- Humidification de la pollution.
- Développement des zones sèches et apparition des arcs.
- Comportement des arcs et extension éventuelle jusqu'au contournement.

III.7 Méthodes adoptées par le GRTE pour l'étude de la pollution des isolateurs au site de Marsat :

Le poste 220/60 kV de Marsat, implanté dans le croisement de plusieurs sources de pollutions (zone industrielle d'Arzew coté Nord Ouest du poste, cimenterie et lacs salés coté Sud, et la baie de Marsat coté Nord Est..) est tout indiqué pour l'implantation de la station d'essais et de mesures de la pollution des isolateurs et plus particulièrement pour l'évaluation du degré de sévérité de la pollution la plus représentative de la région.

III.7.1 Conception & Orientation de la Station d'essais :

Mesure continue des courants de fuite et des décharges partielles sur des isolateurs à l'aide d'une station active de mesure de la pollution installée au poste de Marsat (Annexe 9) composé de :

- Neuf chaînes d'isolateurs accrochés à un portique (Annexe 8.3 et 11),

- Une alimentation 17,5 kV pour alimenter les chaînes d'isolateurs et permettre la mesure des courants de fuite,
- Un automate d'enregistrement des données météo et de courant de fuite,
- Neuf capteurs de courant de fuite reliés aux chaînes d'isolateurs d'un coté et à l'automate d'enregistrement de l'autre coté,
- Une station météo équipé de capteurs de :
 - Température (°C).
 - Humidité (%).
 - Direction du vent.
 - Vitesse du vent (m/s).
 - Rayons UV (W/cm).
 - Pluviométrie (mm).

L'orientation de la herse, supportant les chaînes d'isolateurs, a été étudiée de façon à éviter tout obstacle à l'accumulation de la pollution emportée par les vents dominants du coté Nord Ouest en hiver/printemps d'une part, et de son Humidification par les embruns marins emportés par les vents dominants du coté Nord Est en été/automne.

Pour éviter tout risque de perturbation de la source d'alimentation, en cas de contournements d'isolateurs, posés en station, et par mesure de sécurité pour les monteurs des lignes, lors des opérations de mesures de la pollution, une protection par sectionneur (ouverture visible du circuit) a été installée.

L'alimentation, en 17,5 kV de la station, a été assurée par un transformateur de tension BT/MT.

III.7.2 Évaluation du degré de sévérité de la pollution du site de Marsat :

Parmi plusieurs méthodes de mesures et d'évaluation du degré de sévérité de la pollution d'un site, normalisées et reconnues, GRTE avec l'assistance de SIS a retenu deux (02) méthodes les plus utilisées dans le monde, à savoir la méthode **ESDD (equivalent salt desposit density)**, et la méthode **NSDD (non soluble deposit density)** complétés par les analyses chimiques par éléments de la pollution récupérée (les méthodes sont détaillées en Annexe 8.2).

III.7.3 Résultats des mesures de la pollution :







La 1^{re} base de données des campagnes de mesures du ESDD, NSDD est le fruit de :

- **05 campagnes de mesures de l'ESDD** sur site, sur la quasi-totalité des chaînes d'isolateurs en station, soit **48** mesures au total,

- **03 campagnes de mesures de la classe d'Hydrophobicité** des 4 chaînes d'isolateurs composites sur site, par la méthode de **STRI** (de 1 à 6 classes d'hydrophobicité, du plus hydrophobe [classe 1] à l'hydrophile [classe 6]), soit **12** mesures au total,
- **02 mesures quantitatives des dépôts non solubles au CREDEG**, par la méthode du NSDD, soit **20** mesures du NSDD au total,
- **Analyses chimiques complémentaires** de la solution de lavage des isolateurs au CREDEG (rapport 0021CP/08) soit **52** échantillons analysés au Total.

a) Résultats des campagnes de mesures de l'ESDD & du NSDD :

Le **tableau III.4**, donne les résultats de ces campagnes de mesures du degré de sévérité de la pollution du site pilote, par la méthode de l'ESDD & NSDD (réalisées entre Mars et Octobre 2008).

Type & Profil de l'isolateur	Réf. Isolateur	ESDD.1 23mars 08 *P: pluie	ESDD2 8 juil.08	ESDD3 16 Aout08 **V.: vents	ESDD4 8 sept.08 Pluie	ESDD5 14 Oct.08 Pluie	NSDD1 16 Aout 08	NSDD2 8 sept. 08	ESDD/ NSDD ** en %
	A.sup	0.021	0.06	0.036	0.012	0.029	0.234	0.119	10
	A.inf	0.087	0.159	0.103	0.133	0.224	0.647	0.843	16
	B .sup.	0.015	0.052	0.044	0.043	0.046	0.300	0.385	11
	B .inf.	0.068	0.039	0.049	0.45	0.085	0.223	0.191	24
	Csu sup.	N.M	0.442	0.117	0.070	0.046	0.414	0.592	12
	Csu.inf	N.M	0.354	0.236	0.130	0.055	0.765	0.608	21
	Cev. Sup.	0.038	0.181	0.121	0.088	0.048	0.533	0.604	15
	Cev .inf.	0.253	0.368	0.211	0.123	0.049	0.509	0.798	15
	Csw sup.	0.030	N.M	0.102	0.049	0.086	0.578	0.478	10
	Cew.inf.	0.214	N.M	0.221	0.140	0.100	0.507	0.566	25
	Csy sup.	N.M	N.M	0.113	0.103	0.048	0.617	0.675	15
	Csy inf.	N.M	N.M	0.180	0.095	0.044	0.587	0.408	23

* P = Chute de pluie : 5, 6 & 23 mars 4 sept. 29 sept. (42mm)
 ** Vv = Vents violents 16 juil. (source internet et poste MHP)

Tableau III.4 : Résultats des campagnes de mesures de l'ESDD* et du NSDD.**

(*) : La fiabilité des mesures ESDD est conditionnée par le respect des procédures de mesures, le contrôle de la qualité de l'eau distillée et l'étalonnage systématique du Conductimètre.

(**) : Le rapport ESDD/NSDD montre que la proportion des matériaux non solubles est de l'ordre de 25% aussi bien pour le verre (B) que pour le composite (Csy).

b) Résultats des analyses chimiques de la solution de pollution ; méthode spectrométrique :

Les analyses physico-chimiques, complémentaires, de la pollution, dissoute dans l'eau distillée (en solution) et de la pollution séchée, récupérée par filtration de la solution, permettent d'identifier la

source de pollution et le pourcentage de chaque élément. Des résidus parfois négligeables, mais de forte conductivité, peuvent affecter la tenue diélectrique des chaînes d'isolateurs.

Pour compléter les mesures quantitatives des dépôts polluants solubles (ESDD) et non solubles (NSDD), CREDEG a procédé à des analyses spectrométriques par éléments de 52 échantillons de solution de lavage des isolateurs, standard, aérodynamiques et composites, de la station d'essais pilote de Marsat.

Le **tableau III.5**, donne les analyses chimiques par éléments, de la pollution récoltée sur la surface supérieure et inférieure de l'**isolateur Standard de référence type A**, lors de la campagne de mesures du **16/09/2008** à la station pilote d'essais de Marsat.


Isolateur Standard 	Calcium Ca. (ppm)	Sodium Na	Potassium K	Magnésium Mg	Silice Si	Antimoine Sb
Surface supérieure	38,3	5,9	11,6	1,5	1,6	1,45
Surface Inférieure	100,6	32,3	6,44	6,47	8,3	3,2

Tableau III.5 : Analyse chimique de la pollution à Marsat El Hadjaj.

❖ **Interprétation :**

- i. La lecture de ces 1^{re} analyses nous donne en premier, les sels dominants du site (calcium & Sodium) et nous confirme ensuite les sources et le type de pollution dominant de toute la région :
 - Pollution marine : (Sodium, Magnésium, Potassium),
 - Pollution chimique et Industrielle : (Potassium, Magnésium...),
 - Pollution Agricole : (forte proportion de matériaux solides, de Calcium et présence de dérivés chimiques...).
- ii. Notons la présence de la silice (Si), venant probablement de la plage ou du désert (pollution désertique est à 200 Km environ au sud de Marsat).
- iii. L'eau de mer, selon les laboratoires Hydrographiques de Copenhague, est composée de :
 $Na^+ = 11\ 035$, $Mg^{2+} = 1330$, $Ca^{2+} = 418$, $K^+ = 397$ (Cations en mg/l), pour une Salinité totale = 36 g/l.
- iv. **Résultats de mesures de la Classe de l'hydrophobicité des isolateurs composites ; méthode STRI :**
La méthode **STRI** (nom du laboratoire de recherches Suédois qui l'a développée) permet de classer, de 1 à 6, le niveau d'Hydrophobicité (du plus hydrophobe [classe 1] à l'hydrophile [classe 6]) des 4 isolateurs composites posés en station d'essais du site pilote.

Le principe de cette méthode consiste à pulvériser, à 15 cm de distance, de l'eau distillée sur toute la surface de l'isolateur composite et à évaluer la classe en fonction de l'angle de contact des gouttelettes sur les surfaces de l'isolateur composite. Guide de classification de l'hydrophobicité, joint en (Annexe 8.4).

Le but de ces mesures est de classer par ordre de mérite les isolateurs composites, selon la classe d'hydrophobicité, et de sélectionner l'isolateur le plus hydrophobe pour le site pilote.

Le **tableau III.6**, donne le classement de l'hydrophobicité des 4 isolateurs composites sélectionnés.



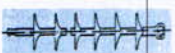

Profil Isolateur	Type Isolateur	1^{re} Mesure Hydrophobicité	Classement 1	2^{ème} Mesure Hydrophobicité	Classement 2
	Csu	2	2 ^{ème}	3	2 ^{ème}
	Cev	2	2 ^{ème}	3	2 ^{ème}
	Csw	1	1 ^{re}	2	1 ^{re}
	Csy	1	1 ^{re}	2	1 ^{re}

Tableau III.6 : Résultats des mesures de la classe d'Hydrophobicité des isolateurs composites.

Les résultats des 3 campagnes de mesures de la classe d'hydrophobicité des 4 isolateurs composites, (Csu, Csw & Csy à base de silicone, et Cev à base d'epdm, sélectionnés par le SIS et fournis par STEG), n'ont pas fait apparaître(*), les **très avantageuses propriétés Hydrophobes du Silicone, par rapport à l'epdm (considéré comme hydrophile)...**

En effet, les classes mesurées sur les quatre isolateurs composites en essais, sont regroupées invariablement entre les meilleures classes, classes 1 et 3.

(*): *La raison est, très probablement, due à l'huile de démoulage (hydrophobe) utilisée par les fabricants pour bien extraire, en usine, les isolateurs composites de leurs moules. Cette surface lisse et brillante disparaît généralement après un (01) à deux (02) ans en service. D'ailleurs cette couche, à base de silicone, fausse aussi et très sensiblement ; les essais de réception des isolateurs composites en laboratoire. Un pré conditionnement des isolateurs composites, avant les essais de réception, est plus que recommandé.*

III.7.4 Impact des paramètres météorologiques et climatiques sur l'ESDD & NSDD :

L'impact des paramètres météorologiques, sur le mécanisme de dépôt de la pollution sur la surface des isolateurs n'est plus à démontrer.

L'étude et l'analyse des fiches d'information quotidienne de la station météo d'Arzew, particulièrement : la vitesse et direction des vents, l'humidité, la température, la pluviométrie, la rosée matinale..., complétées ou corroborées par les informations recueillies et enregistrées sur le carnet de consignation au poste de Marsat, a mis en évidence l'impact de la **pluie en premier et du vent en second**, sur le niveau de la pollution mesurée au site pilote ; ce qui nous éloigne en quelque sorte du but recherché : L'évaluation du degré de sévérité de la pollution réelle du site (ESDD max).

IMPORTANT : *Le suivi, voire l'enregistrement de ces paramètres climatiques, au poste de Marsat est aussi recommandé, d'autant plus que, le micro climat dans cette région est assez variable dans un rayon de 15 à 20 km du poste de Marsat.*

III.7.5 Classe et niveau de pollution du site de Marsat :

Pour classer, à titre indicatif, le niveau de pollution du site pilote de Marsat El Hadjaj, correspondant à la valeur max. du ESDD mesurée pour l'isolateur standard, soit **0,224 mg Na cl/cm²**, on se réfère aux tableaux de correspondance, entre niveaux de pollution et le SDD, donnés par la CEI. Le **tableau III.7** donne la correspondance entre niveaux de pollution et le SDD (Densité du dépôt de sel).

Niveau de pollution	Faible	Moyen	Fort	Très Fort*
Classe de pollution	I	II	III	IV*
SDD (en mg/cm ²)	0,03 à 0,06	0,06 à 0,24	0.24 à 0.6	> 0,6*
Ligne de fuite spécifique minimale (mm/kV. phase. phase)Um	16	20	25	31*

Tableau III.7 : Correspondance entre niveaux de pollution, le SDD et ligne de fuite spécifique minimale selon CEI/Cigré.

IMPORTANT : *Le niveau de pollution du site pilote de Marsat El Hadjaj, enregistré (0,224 mg/cm²) durant la période de mesures (Juillet à Octobre 2008) correspond à la classe II (pollution moyenne) de la CEI.*

Alors qu'un niveau d'isolement > à 31 mm kV ph.ph, (correspondant à la classe IV et à un SDD > 0,6 mg/cm²) n'est pas toujours suffisant sur plusieurs dépôts... [7] ; Preuve additionnelle que nous sommes encore loin du niveau de la pollution réelle du site.

III.7.6 Propriétés d'Auto nettoyage des isolateurs :

Le principe des propriétés d'auto nettoyage des isolateurs et la mise en évidence de l'efficacité du lavage naturel (sous pluies et par les vents) de chaque isolateur, est un critère géométrique complémentaire pour la sélection des isolateurs en milieu pollué.

GRTE et le consultant SIS ont mené des actions qui ont porté sur l'analyse des mesures de l'ESDD ainsi que sur l'impact des paramètres météo sur le mécanisme de dépôts de la pollution sur la surface des isolateurs et par voie de conséquence sur le calcul de l'ESDD.

a) Procédure pour l'évaluation des propriétés d'auto nettoyage des isolateurs :

La procédure pour l'évaluation du coefficient d'auto nettoyage des isolateurs en termes d'efficacité du lavage naturel, a été présentée sur site au poste de Marsat El Hadjaj.

Il s'agit d'une **mini station complémentaire d'essais d'isolateurs**, hors tension, équipée de chaînes d'isolateurs standard, aérodynamiques et composites, de mêmes caractéristiques que ceux posés en station pilote d'essais et d'une chaîne composite complémentaire 60 kV.

L'équipe projet (GRTE et SIS) a procédé à des mesures du ESDD1 (avant pluie), sur l'élément le plus pollué de chaque chaîne d'isolateurs, posée sur la mini station complémentaire, et ce, en attendant la prochaine chute de pluie, significative, pour procéder à des mesures du ESDD2 (après pluie) similaires, sur l'un des autres éléments des chaînes d'isolateurs.

Le Coefficient d'auto nettoyage **K** en %, est calculé par la formule :

$$K (\%) = 100 (ESDD1 - ESDD2)/ESDD1.$$

Les **tableaux III.8.1 et III.8.2**, donnent les résultats et le classement de la 1^{re} campagne de mesures de l'ESDD (avant et après chute de pluie) pour l'évaluation du coefficient d'auto nettoyage de l'isolateur standard, en comparaison avec l'isolateur plat et deux chaînes composites en epdm (30 kV et 60 kV).

Les propriétés d'auto nettoyage des isolateurs aérodynamiques sont encore une fois confirmées (tableau 8.1).



Type & Profil d'isolateur	Surfaces	ESDD 1	ESDD 2	K : Coefficient d'auto nettoyage (en %)	classement
	Sup.	0.048	0.009	81%	2 ^{ème}
	Inf.	0.089	0.057	36%	
	Sup.	0.064	0.006	90%	1 ^{re}
	Inf.	0.04	0.005	87%	

Tableau III.8.1 : Evaluation du coefficient d'auto nettoyage des isolateurs standards et aérodynamiques.


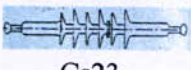
Type & Profil d'isolateur	Surfaces	ESDD 1	ESDD 2	K : Coefficient d'auto nettoyage (en %)	classement
 Cs23	Sup.	0.048	0.013	73%	2 ^{ème}
	Inf.	0.049	0.024	51%	
 Cs23	Sup.	0,043	0,011	74%	1 ^{re}
	Inf.	0,069	0,033	52%	

Tableau III.8.2 : Evaluation du coefficient d'auto nettoyage des isolateurs composites (sous pluie).

III.7.7 Classement et choix optimum des isolateurs pour le site de Marsat El Hadjaj :






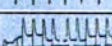
Type & Profil de l'isolateur	Réf. Isolateur	ESDD.1 23mars 2008	Rang 1 ^{er} Classmt	ESDD2 8 juil. 2008	Rang 2 ^{ème} Classmt	ESDD3 16 Aout 2008	Rang 3 ^{ème} Classmt	ESDD4 8 sept. 2008	Rang 4 ^{ème} Classmt	ESDD5 14 Oct. 2008	Rang 5 ^{ème} Classmt
	A.sup	0.021	2	0.06	2	0.036	1	0.012	1	0.029	1
	B .sup.	0.015	1	0.052	1	0.044	2	0.043	2	0.046	3
	Csu.sup.	—	—	0.442	4	0.117	5	0.070	4	0.046	2
	Cev.sup.	0.038	4	0.181	3	0.121	6	0.088	5	0.048	4
	Csw.sup.	0.030	3	—	—	0.102	3	0.049	3	0.086	6
	Csy.sup.	—	—	—	—	0.113	4	0.103	6	0.048	5

Tableau III.9.1 : Classement de l'ESDD de la surface supérieure (sup.) des isolateurs.




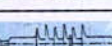


Type & Profil de l'isolateur	Réf. Isolateur	ESDD.1 23mars 2008	Rang 1 ^{er} Classmt	ESDD2 8 juil. 2008	Rang 2 ^{ème} Classmt	ESDD3 16 Aout 2008	Rang 3 ^{ème} Classmt	ESDD4 8 sept. 2008	Rang 4 ^{ème} Classmt	ESDD5 14 Oct. 2008	Rang 5 ^{ème} Classmt
	A.inf	0.087	2	0.159	2	0.103	2	0.133	5	0.224	6
	B .inf.	0.068	1	0.039	1	0.049	1	0.045	1	0.085	4
	Csu.inf.	—	—	0.354	3	0.236	6	0.130	4	0.055	3
	Cev .inf.	0.253	4	0.368	4	0.211	4	0.123	3	0.049	2
	Csw .inf.	0.214	3	—	—	0.221	5	0.140	6	0.100	5
	Csy.inf.	—	—	—	—	0.180	3	0.095	2	0.044	1

Tableau III.9.2 : Classement de l'ESDD de la surface inférieure (inf.) des isolateurs.







Type & Profil de l'isolateur	Réf. Isolateur	NSDD.1 16 Aout 2008	Rang 1 ^{er} Classmt	NSDD2 8 sept. 2008	Rang 2 ^{ème} Classmt
	A .inf.	0.647	5	0.843	6
	B .inf.	0.223	1	0.191	1
	Csu.inf.	0.765	6	0.608	4
	Cev .inf.	0.509	3	0.798	5
	Csw .inf.	0.507	2	0.566	3
	Csy.inf.	0.587	4	0.408	2

Tableau III.10.1 : Classement du NSDD inf. des isolateurs.





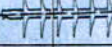
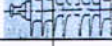
Type & Profil de l'isolateur	Réf. Isolateur	NSDD.1 16 Aout 2008	Rang 1 ^{er} Classmt	NSDD2 8 sept. 2008	Rang 2 ^{ème} Classmt
	A .sup.	0.234	1	0.119	1
	B .sup.	0.300	2	0.385	2
	Csu. sup.	0.414	3	0.592	4
	Cev. sup.	0.533	4	0.604	5
	Csw. sup.	0.578	5	0.478	3
	Csy. sup.	0.617	6	0.675	6

Tableau III.10.2 : Classement du NSDD sup. des isolateurs.

a) Analyse et interprétation des résultats de mesures de l'ESDD, du NSDD et de la classe d'Hydrophobicité :

a.1) Cas des isolateurs céramiques (verres et porcelaines) :

L'interprétation des résultats de ces 5 campagnes de mesures de l'ESDD, met d'ores et déjà en évidence les avantages des isolateurs à profil aérodynamiques, en suspension, pour le site pilote.

En effet la différence entre les quantités de polluants accumulés sur la surface des isolateurs Plats par rapport au Standard est de l'ordre de 40 % en moyenne (EDF : 38 %).

IMPORTANT: En interprètent les résultats de ces premières mesures de la pollution, on peut en déduire que le bonus de l'utilisation de la chaîne d'isolateurs de profil aérodynamique, dans la

région de Marsat par exemple, est de l'ordre de 30 % de plus en termes de marge de sécurité diélectrique additionnelle sous pollution, par rapport à la chaîne d'isolateurs standard, en position verticale.

A ce stade déjà, plusieurs compagnies d'électricité dans le monde, dont EDF (France), ont exploité ces résultats en faveur d'une réduction de la ligne de fuite spécifique de la chaîne d'isolateurs plats, en suspension, sur leurs réseaux.

a.2) Cas des isolateurs non céramiques (composites) :

Les avantages, validés à l'échelle internationale des isolateurs composites « **de Bonne Conception** » pour l'isolation externe sont très nombreux, particulièrement pour les lignes électriques aériennes implantées en milieux très pollués, sur les terrains accidentés, en forêts... etc. Les avantages classiques bien connus des isolateurs composites (coût très compétitif à l'achat et à l'exploitation, bonne hydrophobicité, produit léger, résistant aux chutes, anti-vandalismes, bonne tenue diélectrique et mécanique... **ciblant le zéro maintenance** en tant qu'objectif...), viennent de se conforter par les plus récentes innovations de leurs techniques de fabrication telles que :

- Le renforcement des fibres de verres* du jonc par le nouveau procédé appelé « E-CR core » (electrical grade corrosion resistant) pour pallier aux risques de rupture fragiles du jonc,
- La bonne formulation de la silicone et la proportion optimum des charges** appropriées (ATH [Alumine Tri Hydrate] et le silica pour la bonne tenue sous pollution du revêtement du jonc),
- Le procédé d'assemblage des extrémités métalliques avec le jonc a été conçu de façon à assurer une très bonne étanchéité aux niveaux des interfaces Jonc/parties métalliques, revêtement/parties métalliques et enfin jonc/revêtement, jugées très vulnérables par les experts.

(*) : Les fibres de verres représentent entre 70 et 75 % du poids du jonc.

(**) : La proportion optimum des charges additionnelles est de l'ordre de 40 à 50 % environ du poids du polymère des jupes et des enveloppes moulées ou injectées.

IMPORTANT : *Compte tenu des connaissances actuelles dans le monde et du retour d'information, les isolateurs composites, particulièrement ceux en Silicone et de bonne fabrication, sont recommandés pour les zones polluées, là où les isolateurs traditionnels verres et porcelaines posent des problèmes d'isolement des lignes et des postes et engendrent des frais d'exploitation et de maintenances considérables.*

Cependant, des faiblesses de certains procédés de fabrication d'isolateurs composites sont encore constatées par des utilisateurs potentiels de cette nouvelle génération dans le monde, on peut citer :

- Les ruptures fragiles du jonc, suite à une infiltration de polluants acides ou chimiques entre l'enveloppe et le jonc,
- Érosion du revêtement en milieu très pollué,
- Le revêtement en Silicone est « grignoté » par les perroquets australiens!
- Pertes cycliques des propriétés Hydrophobes de la silicone en milieu très pollué,
- Vieillesse sous contraintes électriques, mécaniques et environnementales,
- Défauts internes non visibles à l'œil nu...

Contrairement à une idée répandue, parmi les exploitants des réseaux, Les isolateurs composites nécessitent des conditions de Transports, de Manutention et de Stockages très soignées.

b) Procédure pour le classement par ordre de mérite des isolateurs selon les méthodes de l'ESDD & NSDD max. :

Le classement par ordre de mérite des isolateurs, basé sur les niveaux max. de pollution enregistrés sur la surface supérieure et inférieure séparément de chaque isolateur en essais, par les méthodes du ESDD & NSDD, **confirme l'interprétation précédente et valide la sélection de l'isolateur aérodynamique (type B), suivi de l'isolateur Standard (A) et le composite en silicone (Csy) parmi les isolateurs les plus adaptés aux conditions environnementales du site de Marsat.**

Le tableau III.11 donne les résultats du 1^{re} classement ESDD max. et du NSDD max. des isolateurs de la station Marsat.






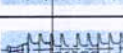
Réf. Isolateur	Profil Isolateur	ESDD. Max.	Classement ESDD Max.	NSDD Max.	Classement NSDD max.	Classement ESDD & NSDDmax.
A.sup		0.06	2 ^{ème}	0.234	1 ^{re}	2 ^{ème}
A.inf		0.224	3 ^{ème}	0.843	5 ^{ème}	
B .sup.		0.052	1 ^{re}	0.385	2 ^{ème}	1 ^{re}
B .inf.		0.085	1 ^{re}	0.223	1 ^{re}	
Csu.inf		0.442	6 ^{ème}	0.765	4 ^{ème}	5 ^{ème}
Cev .inf.		0.354	5 ^{ème}	0.798	6 ^{ème}	6 ^{ème}
Csw .inf.		0.245	4 ^{ème}	0.566	2 ^{ème}	4 ^{ème}
Csy.inf.		0.180	2 ^{ème}	0.587	3 ^{ème}	3 ^{ème}

Tableau III.11 : Classement (ESDD max & NSDD max).

A l'instar des méthodes d'essais et les critères d'acceptation (des Normes CEI spécifiques pour les isolateurs composites), le cas des isolateurs composites se traite séparément et différemment des isolateurs traditionnels pour la simple raison que les éléments de comparaison retenus, tels que l'ESDD, le NSDD et le coefficient d'auto nettoyage, pour comparer les isolateurs verres et porcelaines ne sont pas encore validés pour les isolateurs composites à cause des propriétés hydrophobes et du phénomène d'encapsulation de ces derniers.

Les mesures de l'ESDD et du NSDD par ex. ne donnent que des valeurs approximatives, pour les isolateurs composites, puisqu'une bonne proportion du dépôt de la pollution est « absorbée » par le polymère de l'isolateur... et ce par un procédé chimique naturel (encapsulation phenomenon) suite à la migration de certaines charges à la surface du polymère lui même.

c) Procédure pour le classement global des isolateurs (méthodes de l'ESDD, NSDD max. et coefficient d'auto nettoyage K) :

En complément des classements précédents par l'ESDD max & NSDD max, on a introduit le coefficient d'auto nettoyage K, qui détermine l'efficacité du lavage naturel des isolateurs, en tant que 3^{ème} paramètre de classement des isolateurs installés en station d'essais du site pilote. Ce qui nous permet d'obtenir le **Classement Global** par ordre de mérite de tous les isolateurs de la station d'essais pilote (tableau III.12).






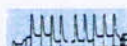
Type & Profil de l'isolateur	Réf. Isolateur	Classemt ESDD.1	Classemt ESDD2	Classemt ESDD3	Classemt ESDD4	Classemt ESDD5	Classemt NSDD1	Classemt NSDD2	Classemt K	Classement Global :K, ESDD & NSDD
	A.sup	2	2	1	1	1	1	1	3 ^{ème}	2 ^{ème}
	A.inf	2	2	2	5	6	5	6		
	B .sup.	1	1	2	2	3	2	2	1 ^{re}	1 ^{re}
	B .inf.	1	1	1	1	4	1	1		
	Csu sup.	N.M	4	5	4	2	3	4	2 ^{ème}	5 ^{ème}
	Csu.inf	N.M	3	6	4	3	6	4		
	Cev.Sup.	4	3	6	5	4	4	5		6 ^{ème}
	Cev .inf.	4	4	4	3	2	3	5		
	Csw sup.	3	N.M	3	3	6	5	3		4 ^{ème}
	Cew.inf.	3	N.M	5	6	5	2	3		
	Csy sup.	N.M	N.M	4	6	5	6	6		3 ^{ème}
	Csy inf.	N.M	N.M	3	2	1	4	2		

Tableau III.12 : Classement Global des isolateurs installés au site pilote.

IMPORTANT : a/ La procédure de classement global des isolateurs, donné au tableau III.12, valide le classement par ordre de mérite des isolateurs installés à la station d'essais pilote de Marsat El Hadjaj et place : L'isolateur *Aérodynamique (B)* suivi du *standard (A)*, pour le cas des isolateurs « *Verres et porcelaines* » d'une part, et l'isolateur *composite en silicone (Csy)* suivi de l'isolateur *composite en silicone (Csw)*, pour le cas des isolateurs « *composites* » d'autre part, en tête de liste parmi les profils les plus appropriés à la région d'Oran.

b/ Soulignons, en outre que pour les besoins de classement global des isolateurs sélectionnés, le critère prioritaire retenu est le classement de la surface inférieure. La surface la plus vulnérable de l'isolateur, son point chaud d'où l'arc prend naissance dans la plupart des cas.

d) Procédure pour le choix du profil géométrique optimum des isolateurs les plus adaptés à la région d'Oran :

La procédure pour le choix du profil géométrique optimum des isolateurs les plus adaptés à la région d'Oran est édifiée sur la base des principaux résultats de classement par ordre de mérite des isolateurs obtenus selon les méthodes :

- **ESDD & NSDD,**
- **Coefficient d'auto nettoyage k,**
- **Classe d'Hydrophobicité pour les isolateurs composites,**

Les principaux paramètres qui caractérisent le profil (détaillés en Annexe 8.3 et 11), des isolateurs traditionnels et composites, les mieux classés à Marsat El Hadjaj, tels que le rapport pas/profondeur, facteur de ligne de fuite, l'angle α (ou pente) et diamètre des assiettes (ou des jupes), position de la chaîne d'isolateurs...etc., sont exploités de façon à en déduire une gamme de caractéristiques des profils les plus adaptés au site pilote et à la région d'Oran.

Le **tableau III.13**, donne les principales caractéristiques des profils recommandés pour le site pilote et par extension à la région d'Oran.



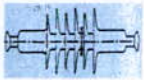
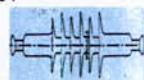
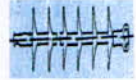
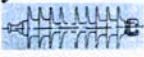
Type & Profil Isolateur	Distance d'arc d (mm)	Diamètre Φ (mm)	Pas S (mm)	Ligne de fuite (mm)	Angle inclinaison α ($^{\circ}$)	Rapport S/P Pas/prof. Prop. auto nettoyage	Facteur de ligne de fuite $CF=L_f/d$	CARACTERISTIQUES DES PROFILS RECOMMANDEES POUR le site pilote.
B 	140	380	146	340	8°	0.7	2.4	> Profil ouvert aérodynamique Recommandé; Standard acceptable; $8^{\circ} \leq \alpha \leq 12^{\circ}$ Pas ≥ 146 mm; > Rapport S/P $1.3 \geq S/P \geq 0.7$ > Facteur de ligne de fuite $CF \leq 4$ > Profil alterné pour le composite; > Ligne de fuite spécifique: $L_{fs} > 31$ mm/kV Φ . + Coordination isolement exigée.
A 	140	255	146	320	12°	1.1	2.3	
Csu 	413	105/90	55	957	9°	1.2	2.3	
Csv 	413	105/90	55	957	9°	1.2	2.3	
Csw 	368	129	48	889	16°	1	2.4	
Cs y 	384	124	40	1050	10°	1.3	2.7	

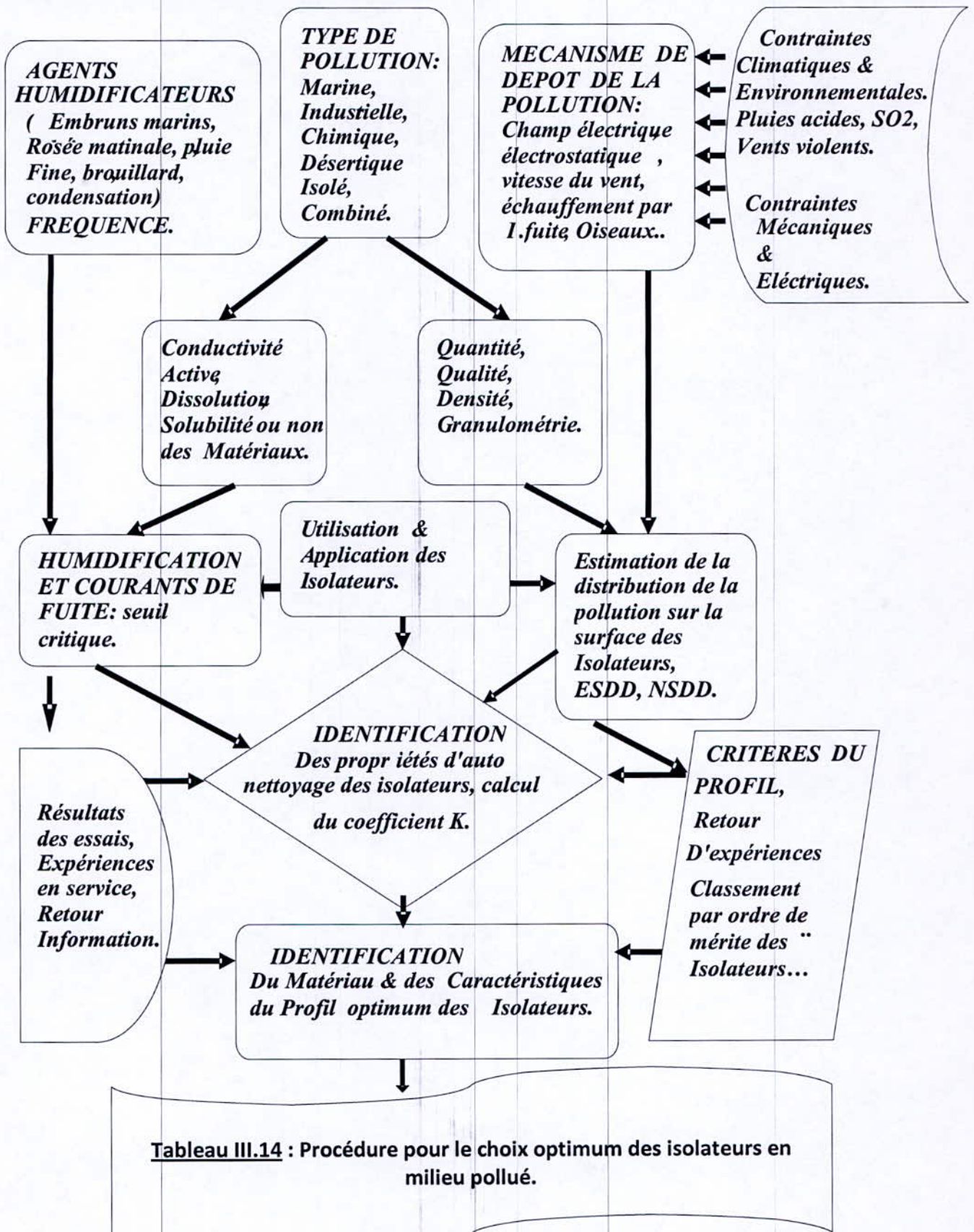
Tableau III.13 : Procédure pour le Choix du profil géométrique optimum des isolateurs.

Les principales caractéristiques du profil des isolateurs recommandés et acceptables pour le site pilote de Marsat et la région d'Oran, se résument comme suit :

- Isolateurs à profil Aérodynamique (B) : recommandés.
- Isolateurs standard U120 BL, pas = 146 mm (A) : acceptable.
- Angle d'inclinaison (ou pente) des assiettes : $12^{\circ} \geq \alpha \geq 8^{\circ}$.
- Rapport S/P : $1.3 \geq S/P \geq 0.7$ (propriétés d'auto nettoyage).
- Facteur de ligne de fuite : $CF \leq 4$.
- Profil à jupes alternées, pas = 40 à 60 mm pour les isolateurs composites.

A ces principales caractéristiques du profil, il y a lieu de spécifier une **Ligne de fuite spécifique minimale** $L_{fs} \geq 31$ mm/kV ph.ph et de respecter la **coordination de l'isolement sur chaque départ.**

Le tableau III.14, donne la procédure générale à suivre pour le choix optimum des isolateurs en milieu pollué.



III.8 Remèdes adoptés par le GRTE contre les amorçages dus à la pollution :

Les remèdes qui sont adoptés par GRTE contre les amorçages créés par la pollution sont :

- l'augmentation de la ligne de fuite de la chaîne isolante à travers un ajout d'isolateurs,
- Le remplacement de la chaîne isolante par une chaîne d'isolateurs de facteur de forme adéquat de type aérodynamique (Plat),
- Renforcement de l'isolement par des chaînes isolantes en composite,
- Graissage périodique des isolateurs,
- Le lavage en sous tension ou en hors tension des isolateurs.

IV. CONCLUSION :

- Le diagnostic technique des départs 220 kV du poste de Marsat, a mis en évidence la vulnérabilité du départ Marsat/Relizane (20 incidents/ 100 km), soit à cause de la vétusté de la ligne, soit due, et c'est le plus probable, au non respect de la coordination de l'isolement du départ (03 différents « L_{fs} » sur le même départ = 26.5, 29 et 33.6 mm/kV) ; ainsi qu' à l'insuffisance du niveau d'isolement de la ligne,
- En dépit de l'agressivité et de la spécificité de la pollution, le niveau de la pollution du site pilote de Marsat El Hadjaj, enregistré n'a pas dépassé le seuil de 0,224 mg/cm², durant la période de mesures (Juillet à Octobre 2008). Ce seuil correspond à la **classe II (pollution moyenne) selon la CEI 60815**, alors qu'on constate, qu'un niveau d'isolement > à 31 mm kV ph.ph, (correspondant à la classe IV et à un SDD > 0,6 mg/cm²) n'est pas toujours suffisant sur plusieurs départs. Preuve additionnelle que nous sommes encore loin du niveau de la pollution réelle du site,
- Par contre, le calcul du NSDD (dépôt de pollution non soluble/cm²) a mis en évidence la proportion non négligeable du dépôt non soluble de la pollution sur la même surface de l'isolateur de référence, soit **0.843 mg/cm²**. Le rapport ESDD/NSDD est de l'ordre de **25%**,
- Les analyses chimiques complémentaires, par élément, du dépôt soluble récupéré sur la surface des isolateurs, de type **Standard et Aérodynamique**, de la station d'essais pilote ont permis de confirmer les sources de la pollution identifiées sur le terrain, de détailler la teneur, la solubilité voire la conductivité de chaque élément composant la masse du dépôt insoluble de la pollution filtrée. La présence de la silice (Si), montre que le site pilote pourrait être touchée par la **pollution désertique (200 km au sud d'Oran)**,

- Les mesures et l'enregistrement du **courant de fuite** des isolateurs pourraient confirmer, par leurs intensités, l'impact des dépôts non solubles, une fois humidifiés, sur le risque de contournement des isolateurs,
- Aujourd'hui, il est largement admis que ce sont les **dépôts insolubles humidifiés** qui favorisent et maintiennent la circulation du courant de fuite à la surface des isolateurs en premier, et c'est l'accroissement de l'intensité de ce courant de fuite qui conditionne la phase irréversible du mécanisme de **contournement** des isolateurs ensuite,
- Notons que les impulsions du courant de fuite, de faible intensité (< à 50 mA) sont la cause principale du vieillissement accéléré des isolateurs et de la dégradation progressive de leurs rigidités diélectriques,
- D'où l'intérêt de la règle, reconnue à l'échelle internationale, qui stipule : « **si deux isolateurs identiques sont pollués de la même manière sous la même tension, ils ont le même courant de fuite maximal** » ; cette importante règle, a rendu beaucoup de services aux entreprises d'électricité particulièrement, dans le domaine de la représentativité des conditions naturelles du site en laboratoire (lors des essais de réception des isolateurs sous pollution artificielle par ex.), ainsi que dans le cadre des opérations optimisées de maintenance et de lavage des isolateurs (signalisation du seuil critique de la pollution par le système de mesures du courant de fuite),
- Les 3 campagnes de mesures de la classe d'Hydrophobicité des isolateurs composites, (Csu, Csw & Csy à base de silicone, et Cev à base d'epdm), n'ont pas fait apparaître les propriétés, spécifiques et très avantageuses, du **Silicone (hydrophobicité)** par rapport à l'**epdm (hydrophile)** ; les classes d'Hydrophobicités mesurées sur les quatre isolateurs composites en essais, sont regroupées invariablement entre **la classe 1 et 3**,
- L'**enduit (huile hydrophobe)**, appliqué par les fabricants à la surface des moules pour bien extraire, en usine, les isolateurs composites de leurs moules, en est la raison. D'ailleurs cette couche, brillante et lisse, fausse sensiblement les essais de réception des isolateurs composites en laboratoire. Un pré conditionnement des isolateurs composites avant les essais de réception est plus que recommandé,
- La fiabilité des mesures de la conductivité de la solution de lavage des isolateurs est conditionnée par le respect de la procédure de mesures, mais aussi et surtout de l'étalonnage systématique, avec une solution étalon, du Conductimètre avant chaque campagne de mesures,

- L'évaluation du **coefficient d'auto nettoyage** des isolateurs a encore une fois mis en évidence les bonnes propriétés d'auto nettoyage des isolateurs à **profil Aérodynamique**,
- En exploitant les résultats de ces mesures de la pollution, on peut considérer que l'utilisation du **profil Aérodynamique dans la région de Marsat par ex. confère, à la chaîne d'isolateurs « Aérodynamique » sous pollution, un surisolement naturel de l'ordre de 30 %, par rapport à la chaîne d'isolateurs Standard**. A ce stade déjà, plusieurs compagnies d'électricité, dont EDF (France), ont exploité ces résultats en faveur d'une réduction de la ligne de fuite spécifique sur leurs réseaux respectifs,
- Le **classement global** des isolateurs, basé sur les paramètres **ESDD, NSDD et K**, valide le classement par ordre de mérite des isolateurs installés à la station d'essais pilote de Marsat El Hadjaj et place : **L'isolateur Aérodynamique (B), suivi du Standard (A), pour le cas des isolateurs verres et l'isolateur composite en silicone (Csy) suivi de l'isolateur composite en silicone (Csw) pour le cas des isolateurs composites, en tête de liste parmi les profils appropriés et recommandés au site pilote et par extension à la région d'Oran**,
- Les principaux paramètres qui caractérisent le profil des isolateurs, traditionnels et composites, les mieux classés à Marsat El Hadjaj, tels que le **rapport pas/profondeur, facteur de ligne de fuite, l'angle α (ou pentes) des assiettes (ou des jupes)...**etc., sont déduits pour constituer une gamme de caractéristiques des profils appropriés aux conditions environnementales de la région d'Oran,
- L'évolution des technologies de fabrication des isolateurs, du retour d'expériences et d'information,... tels que la qualité de la trempe, pour pallier aux casses spontanées, pour le cas des isolateurs en verres d'une part, la proportion des additifs par rapport au matériau de base le silicone, les techniques de renforcement du jonc, les techniques de moulage ou d'injection des jupes et du revêtement, les interfaces jonc/revêtement, jonc/pièces métalliques, jupes/revêtement.. et ce pour le cas des isolateurs composites d'autre part, font que **L'actualisation des spécifications techniques des Isolateurs soit recommandée**,
- Pour éviter tout risque et vérifier toutes ces interfaces, une **coupe longitudinale de l'isolateur composite pourrait être pratiquée à Sonelgaz** ou à défaut exigée lors d'un appel d'offres,
- En complément du dimensionnement géométrique des isolateurs, Il est aussi recommandé que **Sonelgaz**, introduise et applique le concept du **Coût de cycle de vie « Life cycle cost »**, ou à défaut, du Coût d'un cycle partiel d'exploitation et de maintenance des isolateurs avant le choix

final des isolateurs. Ce nouveau concept permet de comparer, rationnellement et équitablement, différents types d'isolateurs sur la base d'une capitalisation de tous les coûts : achat, montage, exploitation, recherche de défauts, maintenance et lavage...

- ***Signalons enfin que, les résultats préliminaires présentés par cette étude ne doivent être, en aucun cas, considérés comme des résultats définitifs ; Ils ne sont représentatifs que de la durée investie, de la période réservée pour les mesures de la pollution du site pilote (Mars à Octobre 2008) et évidemment des conditions climatiques, de l'année en cours, à Oran.***

Notons qu'une durée de 3 à 4 années, avec une fréquence de 4 à 5 campagnes de mesures de la pollution /an, est un optimum requis, validé à l'échelle internationale pour, déterminer le degré de sévérité de la pollution d'un site, évaluer et classer les performances des isolateurs en service et justifié enfin pour, l'établissement de la Carte de la sévérité de la pollution du Réseau HT & THT de GRTE.

CONCLUSION GENERALE

Le monde est en pleine et rapide évolution. Des institutions sont nées et sont entrain de se mettre en place dans chaque pays pour la préservation de l'environnement victime du développement technologique où les mis en cause sont les industries et le secteur énergétique. Dans un pays comme l'Algérie, l'industrie est largement responsable de l'ensemble de la pollution nationale, causée en particulier par les usines pétrochimiques, chimiques, de transformation de minerais, et métallurgiques.

Les lignes aériennes du réseau électrique algérien sont le siège d'incidents fréquents, particulièrement dans les zones exposées à la pollution. La rupture diélectrique des isolateurs (**amorçage, contournement, perforations des isolateurs**) en est l'une des principales conséquences.

La pollution des isolateurs demeure, un sujet d'actualité ; en effet, l'aspect aléatoire, la spécificité du climat et la particularité de l'environnement dans chaque région du pays, font que les paramètres qui caractérisent la pollution (nature du sol, voisinage de la mer, pluviométrie, insolation, hydrométrie, vents,...) ne répondent pas à une règle générale bien établie.

Ce travail vient s'ajouter aux différents travaux et études déjà réalisés par Sonelgaz par le biais de ces deux filiales CREDEG et GRTE ; et aux travaux de recherche établies par les universités notamment l'ENP et l'USTHB.

Les apports scientifiques dans le domaine de la recherche que l'université peut apporter au secteur du travail en générale, et au secteur énergétique en particulier sont considérables, cette étroite collaboration permet de donner des réponses et des solutions aux questions que se pose l'industriel.

Parmi les questions les plus importantes auxquelles le GRTE (Gestionnaire de transport d'électricité – Filiale SONELGAZ) se trouve confronté actuellement est la manière d'évaluer l'état des lignes existantes de manière à définir les options de remise à neuf, l'extension de la durée de vie, leur amélioration et leur perfectionnement. Ces mêmes questions se posent pour la planification et le développement des réseaux futurs. Les réponses et solutions à ces questions peuvent être puisées dans ce travail « Projet carte pollution : région ouest » que nous entreprenons dans ce travail.

L'étude du phénomène de la pollution des isolateurs sur les lignes TI
région électrique ouest, et en particulier au niveau du site pilote de

est considéré comme la zone la plus polluée au niveau national du fait qu'elle est implantée dans le croisement de plusieurs sources de pollutions, a montré que :

- L'amélioration du rendement des lignes de transport d'électricité et la minimisation jusqu'à l'élimination des contournements des isolateurs dus à la pollution, dépendent du bon choix du profil de l'isolateur à utiliser, du bon dimensionnement de la chaîne d'isolateurs (nombre adéquat sur une chaîne), en tenant compte des conditions climatiques, des puissances transitées à travers les lignes et de la sévérité de la pollution du site.
- En complément du dimensionnement géométrique des isolateurs, il est aussi recommandé que Sonelgaz, introduise et applique le concept du « Coût de cycle de vie (Life cycle cost) », ou à défaut, du coût d'un cycle partiel d'exploitation et de maintenance des isolateurs avant le choix final des isolateurs. Ce nouveau concept permet de comparer, rationnellement et équitablement, différents types d'isolateurs sur la base d'une capitalisation de tous les coûts : achat, montage, exploitation, recherche de défauts, maintenance et lavage....
- L'étude de la répartition annuelle des incidents survenant sur les lignes de la région nous a permis de situer une période propice des incidents, à savoir, la saison estivale et principalement les mois de juillet, août et septembre. Pour la répartition horaire, on constate une forte concentration d'incidents la nuit (entre 22h et 06h). On ce qui concerne la répartition des incidents par type et par nature, on remarque que les incidents de type DR, de nature fugitif sont les plus courants.

En général, d'après ces résultats, un lavage des isolateurs vers le mois de mai de chaque année et préconisé afin de réduire considérablement le nombre d'incidents.

- Les résultats préliminaires présentés par cette étude ne doivent être, en aucun cas, considérés comme des résultats définitifs ; ils ne sont représentatifs que de la durée investie, de la période réservée pour les mesures de la pollution du site pilote (Mars à Octobre 2008) et évidemment des conditions climatiques, de l'année 2008 à Oran.

Notons qu'une durée de 3 à 4 années, avec une fréquence de 4 à 5 campagnes de mesures de la pollution /an, est un optimum requis, validé à l'échelle internationale [13] pour, déterminer le degré de sévérité de la pollution d'un site, évaluer et classer les

performances des isolateurs en service et justifié enfin pour, l'établissement de la carte de la sévérité de la pollution du réseau THT & HT de GRTE.

- Les méthodes basées sur le traitement statistique des incidents permettent, chacune selon son degré de précision, de déterminer la carte de pollution nationale sans un investissement important sur les stations de mesures. Moyennant des chroniques d'incidents fiables, ces méthodes permettent de suivre géographiquement la pollution à travers le territoire national et selon les différents degrés de sévérités.

Il y a lieu de retenir qu'un logiciel permettant la détermination des zones de pollution par degré de sévérité est en cours de développement au niveau du CREDEG. Ce modèle, basé sur les nuées dynamiques, demande en entrée (input) des chroniques des incidents dus à la pollution (DR & DRD) où la localisation des défauts est très déterminante quant à la détermination des zones par degré de sévérité. Ce logiciel réduirait, a priori, considérablement les investissements sur les stations de mesures et pourrait à terme servir d'outil pour non seulement la maintenance des systèmes d'isolement des lignes à travers le territoire national, mais aussi pour le tracé et le dimensionnement des lignes et autres ouvrages électriques.

- Les mesures et l'enregistrement du courant de fuite des isolateurs pourraient confirmer, par leurs intensités, l'impact des dépôts non solubles, une fois humidifiés, sur le risque de contournement des isolateurs,

Aujourd'hui, il est largement admis que ce sont les dépôts insolubles humidifiés qui favorisent et maintiennent la circulation du courant de fuite à la surface des isolateurs en premier, et c'est l'accroissement de l'intensité de ce courant de fuite qui conditionne la phase irréversible du mécanisme de contournement des isolateurs ensuite,

Notons que les impulsions du courant de fuite, de faible intensité (< à 50 mA) sont la cause principale du vieillissement accéléré des isolateurs et de la dégradation progressive de leurs rigidités diélectriques.

Les remèdes qui sont adoptés actuellement par GRTE contre les amorçages créés par la pollution sont :

- L'augmentation de la ligne de fuite de la chaîne isolante à travers un ajout d'isolateurs,
- Le remplacement de la chaîne isolante par une chaîne d'isolateurs de facteur de forme adéquat de type aérodynamique (Plat),

- Renforcement de l'isolement par des chaînes isolantes en composite,
- Graissage périodique des isolateurs,
- Le lavage en sous tension ou en hors tension des isolateurs.

Enfin, on peut dire que la connaissance de l'environnement à travers des procédés divers (analyse qualitative et quantitative des dépôts polluants, mesure du degré de sévérité de la pollution, élaboration de la carte nationale de la pollution..) est un impératif dans le domaine de la planification, le développement et l'exploitation des systèmes de production, de transport et de distribution de l'électricité.

La connaissance de l'environnement permet de :

- Disposer les ouvrages futurs du système de production et de transport de l'électricité,
- Déterminer le type des isolateurs adéquat pour chaque milieu,
- Elaborer les programmes de lavage des isolateurs.

Dans le cadre de l'établissement de la carte de pollution nationale, Il est intéressant de faire une étude comparative de la région électrique Ouest avec celle des autres régions (Alger, Annaba, Sétif et le Sud) afin de mettre en évidence l'influence des conditions météorologiques ainsi que la nature de la pollution sur les incidents.

Une carte précise et fiable de pollution aidera l'exploitant chargé de la maintenance à mieux planifier ses actes, et aux agents chargés des études à mieux dimensionner le réseau haute tension.

Annexes

Annexe 1

1) Les isolateurs céramiques conventionnels (porcelaine & verre) [6] :

a) Historique :

- 1882 : Construction des premières lignes électriques aériennes de distribution, en courant continu, isolées par des isolateurs en porcelaine non vitrifié suivis, un an plus tard, par l'emploi des isolateurs en Verre Recuit (verre ordinaire à bouteille).
- 1885 : 3 ans plus tard, ce sont les lignes en courant Alternatif qui voient le jour... isolées par les deux variantes concurrentes La Porcelaine et le Verre Recuit,
- 1893 : Apparaît la variante porcelaine émaillée qui a conquis les niveaux de tension élevés > à 60 KV et dont l'emploi reste dominant durant un demi-siècle.
- 1940 : La technique de la trempe du verre électrotechnique apparaît...et reprend progressivement 30 à 40% du marché mondial des isolateurs.
- 2008 : Ces deux variantes représentent aujourd'hui entre 60 et 70% du marché mondial des Isolateurs du type extérieur...avec, cependant, une petite dominance de la variante porcelaine : capot / tige & long fut.

b) Situation Actuelle :

Les Isolateurs conventionnels en Porcelaine et en Verre accaparent, à ce jour, le Marché mondial des Isolateurs depuis plus d'un siècle. La première extrapolation possible et évidente de ce fait est, sans nul doute que, d'une façon générale et à ce jour, ces Isolateurs donnent satisfaction à leurs utilisateurs potentiels.

Cependant, sur les réseaux HT et THT, particulièrement ceux implantés, en milieu très pollué, en terrains accidentés ou dans les régions montagneuses, éloignées et difficile d'accès, l'emploi de cette 1^{re} génération d'isolateurs pose certains problèmes et engendre de contraintes d'exploitation aux utilisateurs : la pollution en premier & Le poids ensuite sont souvent cités comme des contraintes majeures, à la fois en phase d'installation et d'exploitation, suivis par le coût d'inspection, de maintenance des lignes et de lavage des isolateurs nervurés.

c) Retour d'expériences et d'information :

A ce jour, il y a un consensus mondial qui place les deux techniques VERRE et PORCELAINE au même niveau des performances électriques et mécaniques ...

Cependant, Le poids intervient en faveur du verre et la robustesse mécanique en faveur de la porcelaine.... Leurs points faibles communs sont essentiellement la fragilité et le

poids (particulièrement pour les lignes en HT) c'est ce qui justifie la recherche d'un produit de substitution...

Aujourd'hui, il y a un constat, validé par plusieurs experts internationaux indépendants, qui a tendance à changer plusieurs idées reçues :

- **a/** L'état de surface du verre et de la porcelaine change avec le temps : contrairement à ce qu'il est répandu, les surfaces isolantes des isolateurs traditionnels changent d'aspect avec le temps (pour ne pas dire vieillissent aussi), des microfissures et des cheminements superficiels sont les cas les plus observés en milieu agressif et pollué ; ce phénomène s'accélère sous l'effet combiné des courants de fuite, du dépôt de la pollution et de l'humidité... .
- **b/** Eu égard aux recherches entreprises, dans le Monde depuis plusieurs décades, pour améliorer la tenue sous pollution de ces isolateurs traditionnels et concevoir des isolateurs en verre à profil ouvert, par exemple, et dotés de bagues et/ou de rondelles sacrificielles de surcroît, Aujourd'hui, on parle de plus en plus de la stagnation de cette technique traditionnelle d'où l'orientation nouvelle des experts et des utilisateurs de chercher de nouvelles alternatives ou mieux encore des solutions techniques de substitutions ou complémentaires à la technique conventionnelle en CÉRAMIQUE (verre & Porcelaine) ?

d) Références Normatives :

Les premières publications et les normes internationales qui traitent des isolateurs en verre et en porcelaine sont les suivantes : CEI 383, CEI 120, CEI 437, CEI 507, CEI 575, CEI 815, CEI 60-1 ;

Notons que ces publications évoluent avec le temps et sont l'objet de révisions régulières par des groupes ad hoc CEI /Cigré (ajout de l'indicatif 60 ou 61 aux anciens N° des publications), à l'exemple de la CEI 60507 et 60 815 qui traitent respectivement des essais sous pollution et du choix des isolateurs sous pollution.

2) Les isolateurs non – céramiques (dites composites ou synthétiques) [6] :

a) Situation Actuelle :

Les Isolateurs en matériaux composites possèdent les caractéristiques requises pour remplir la fonction ISOLATION en électrotechnique.

Ces matériaux ont envahi d'abord les installations électriques du type intérieur (postes de distributions, postes blindés...) et commencent à gagner du terrain sur des applications, usuellement réservées aux Isolateurs traditionnels en verre et porcelaine, particulièrement sur les lignes aériennes en Haute tension.

Nul ne peut ignorer que cette nouvelle génération d'isolateurs présente des qualités propres au matériau lui-même : légèreté, bonne tenue sous pollution, propriétés mécaniques et diélectriques exceptionnelles, souplesse à la conception...etc., Cependant, aujourd'hui encore, des interrogations sur leur durée de vie, leur sensibilité aux UV et la dégradation biologique du matériau...sont encore à l'ordre du jour...

En réalité, comme c'est le cas pour tout Produit Nouveau, l'essor de ces isolateurs composites, dont le régime de croisière n'est pas encore atteint (le marché des isolateurs en composites représente, 30 % environ du marché mondial des isolateurs en 2006) en dépit de leur NORMALISATION depuis 1992, se heurte à des obstacles qui tiennent pour une grande part au Conservatisme des décideurs, et pour une autre part, certainement, à l'insuffisance de L'information.

b) Définition :

Les Isolateurs composites se composent d'un noyau isolant (généralement en fibre de verre renforcée par des résines organiques ce qui confère à l'isolateur composite une très bonne tenue mécanique) protégé par un revêtement en polymère associé à des charges et des ingrédients inorganiques.

La charge mécanique étant transmise au noyau par des armatures métalliques de fixation, généralement en fonte malléable ou en aluminium. Les procédés de fabrication, les techniques de moulage, les techniques d'assemblage, les techniques de fixation des armatures sur le jonc et les différents matériaux qui composent l'isolateur changent d'un fabricant à un autre.

c) Historique :

- **1960** : Premières applications de différents types d'isolateurs en polymère sur le réseau aérien aux USA. Le vandalisme en est la raison évidente de ce choix (aux USA, le port d'armes est toléré dans plusieurs états). NB : Plusieurs cas de ruptures fragiles (casse transversale du jonc) ont été observés sur cette première génération d'isolateurs.
- **1970** : Pour des raisons diverses et parfois spécifiques, les premières applications de cette nouvelle génération d'isolateurs apparaissent dans plusieurs pays répartis

sur tous les continents (par ordre décroissant on peut citer : Les USA, l'Australie, l'Afrique du sud, le Canada, les pays scandinaves, l'Amérique latine...).

- **2008** : Cette génération d'isolateurs représente aujourd'hui plus de 30 % du marché mondial.

d) Référence Normative :

Les Normes et publications actualisés ou récemment réactualisés par des groupes mixtes ad hoc Cigré CEI tels que la CEI 61109, 61952, 61462, 62217 et 62231 couvrent pour une large part les isolateurs composites destinés aux lignes aériennes.

Cependant plusieurs lacunes sont déjà annoncées, notamment les essais sous pollution ainsi que le mécanisme de la rupture fragile du Jonc sont restés sous silence. Un nouveau groupe de travail mixte Cigré - CEI travaille sur cette question importante.

e) Différents types de polymères utilisés :

Il existe une infinité de variétés combinées de polymères...nous citons, par ordre décroissant, les produits émergents les plus utilisés : le Silicone sur ses deux formes (Si rubber RTV ou HTV), Ethylène Propylène (EPR), Ethylène, Propylène, Diène, Monomère (EPDM ou simplement EPM...) Ethyle, Vénil Acétate (EVA), Epoxy, Téflon, Polyéthylène ...etc.

Tous ces polymères sont associés, lors de leur conception (qui est d'ailleurs une technique propre à chaque fabricant), à des charges additionnelles, très variées (C'est la raison pour laquelle il y a une infinité de types de revêtements d'isolateurs composites parfois issue de la même famille telle que le silicone par ex) et utiles pour améliorer leur tenue aux cheminements, à l'érosion, au feu (le cas du tri hydrate d'alumine, silice en poudre..).

Le polymère (50 à 60 % environ du poids de l'enveloppe) et les charges (30 à 50% du poids du polymère) sont ensuite injectés dans des moules de différentes formes pour concevoir, selon la technique, soit des jupes à enfiler soit une enveloppe en une seule pièce dont la fonction est de protéger le jonc contre les moisissures, la pollution, la pénétration d'eau, les UV... .

f) Retour d'expériences et d'information :

Parmi les meilleurs documents techniques de référence qui traitent, analysent et évaluent les performances des isolateurs composites dans le monde, on peut citer :

▪ **L'expérience en service des isolateurs composites HT dans le Monde :**

C'est le premier document publié, en 1990, dans la revue Electra du Cigré. Ce document a été préparé par le comité d'études 22 (lignes aériennes) du Cigré en collaboration avec deux organismes bien connus : l'Association canadienne d'Electricité (CEA) et l'Electrical Power Research Institute (EPRI- USA). Notons que 59 compagnies d'électricité dans le monde (utilisant au total, à cette date, 136000 chaînes d'isolateurs composites toutes tensions confondues) ont participé à l'élaboration de ce document.

▪ **High voltage outdoor insulator technology :**

Ce livre est écrit, en 1991, par le Pr. Gorur de l'Arizona state university (Pr Gorur est aussi consultant de plusieurs compagnies d'électricité et de la revue INMR...) en collaboration avec d'autres éminents spécialistes américains MM. Cherney, Karrady...

▪ **Polluted insulators : A review of current knowledge :**

Ce document technique, publié en Septembre 2000 par le Cigré, présente les plus importants travaux de recherche réalisés dans le monde (dont ceux de la STEG), sur le comportement des isolateurs traditionnels et composites sous pollution.

▪ **Outdoor Insulation In Polluted Conditions : Guidelines for selection & Dimensioning » :**

Cette brochure technique vient d'être éditée et publiée en marge de La session générale du Cigré 2008. Ce véritable guide technique permet aux gestionnaires techniques des réseaux de transport et de distribution électriques de suivre une procédure rationnelle pour le choix et le dimensionnement des isolateurs sous pollution. La revue Electra (N°238 de Juin 2008) du Cigré, lui a réservé un rapport détaillé dans les deux langues (Français & Anglais).

1) **Retour d'information & Synthèse des principaux résultats de la première génération d'isolateurs Composites :**

- i. **Critère de choix des isolateurs composites :** Les principaux critères de choix qui ont orienté les compagnies à utiliser ces isolateurs sont donnés, par ordre décroissant d'importance, comme suit :
 - **Tenue sous pollution,**
 - **Peu sensible au vandalisme,**
 - **Produit léger,**

- **Faible coût à l'exploitation et à la maintenance,**
 - **Aspect visuel....**
- ii. **Nombre des isolateurs défailants :** Le nombre total des isolateurs défailants représente 0,7 % du nombre total des isolateurs installés. La nature des défaillances est donnée par ordre décroissant :
- **Dégradation de l'enveloppe,**
 - **Interface jonc/enveloppe,**
 - **Interface Jonc /armatures métalliques...**

N.B : notons que ce retour d'expériences et d'information touche la première génération d'isolateurs composites (utilisée avant 1990). Aujourd'hui les techniques de fabrication se sont très sensiblement améliorées particulièrement les techniques de fabrication, le choix des matériaux, le choix des charges ainsi que les techniques de l'assemblage : Jonc/ extrémités, et interfaces enveloppe/extrémités métalliques.

2) Retour d'expériences & Synthèse des résultats de la nouvelle génération d'isolateurs composites :

Plusieurs travaux, réalisés ces dernières années, ont porté sur la nouvelle génération d'isolateurs composites pour les réseaux aériens en HT. Les principaux résultats démontrent que les nouvelles technologies développées (spécialement basées sur le choix des matériaux, des charges, de la forme géométrique, le diamètre, l'espacement et l'inclinaison des jupes...) et utilisées ces dernières années, par plusieurs compagnies d'électricité dans le monde, garantissent désormais une très bonne tenue mécanique et diélectrique. Particulièrement les isolateurs composites, dont le revêtement est en SILICONE (ces matériaux, de 20 à 30 % plus chers que les autres produits concurrents potentiels tels que l'EPDM, possèdent des propriétés hydrophobes supérieures à celles de Toutes les autres familles de polymères).

Notons que la principale caractéristique des isolateurs en silicone est le **ZERO maintenance** (pas de lavage).

Le phénomène connu sous le terme « encapsulation phenomenon » (la pollution adhère au revêtement de l'isolateur et devient, par une réaction chimique avec les charges qui émigrent à la surface du polymère, aussi hydrophobe que le polymère lui-même.) est à l'origine de cet avantage.

Les résultats des derniers travaux, récemment présentés, au Cigré 2002, par plusieurs sociétés de transport et de distribution d'électricité (Afrique du sud, Australie, Venezuela, philippines, Hongrie, Canada, ...) confirment la fiabilité de cette nouvelle génération d'isolateurs composites, particulièrement ceux dont le revêtement est en Silicone suivi par l'EPDM.

Remarque : L'étude Australienne a cependant évoqué un problème insolite, celui des perroquets australiens qui grignotent certains polymères !

i. Elargissement de l'emploi du composite aux Parafoudres, Enveloppes & Traversées ... :

Les matériaux composites ont totalement envahi des domaines d'utilisation naguère réservée exclusivement à la porcelaine.

Les risques d'explosion et la sécurité des opérateurs sont à l'origine de cet emploi progressif du composite en lieu et place de la porcelaine. D'ailleurs, plusieurs fabricants de parafoudres et de traversées conventionnelles ont abandonné la technique porcelaine au profit du composite. Cette technique (injection du polymère sur les blocs de résistances OM en série) permet en outre de limiter les décharges partielles très fréquentes sur les parafoudres en porcelaine (présence de bulles d'air...).

3) Les isolateurs à capot et tige :

Il existe plusieurs profils d'isolateurs à capot et tige, et ceci pour un meilleur fonctionnement [12] :

➤ **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 A.1).



Figure A.1 : Isolateur capot et tige de profil standard.

➤ **Profil anti – brouillard (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 A.2).

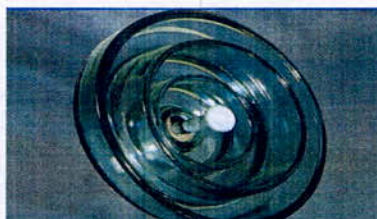


Figure A.2 : Isolateur capot et tige de profil anti – brouillard (forme A).

➤ **Profil anti – brouillard (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 A.3).



Figure A.3 : Isolateur capot et tige de profil anti – brouillard (forme B).

➤ **Profil plat :**

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 (Figure A.4).



Figure A.4 : un isolateur capot et tige de profil plat.

➤ **Profil sphérique :**

La forme sphérique d'une longueur de fuite importante avec absence des rainures internes permet un lavage manuel facile et efficace (Figure A.5).



Figure A.5 : Isolateur capot et tige de profil sphérique.

➤ **Caractéristiques géométriques :**

En effet, les caractéristiques géométriques (diamètre externe de la partie isolante, longueur de la ligne de fuite ...) des isolateurs à capot et tige diffèrent selon leurs conditions de service (tension de service, sévérité de la pollution du site ...). Ci-dessous quelques caractéristiques géométriques selon la publication CEI 60305 (tableau A.1).

(1) : Isolateurs utilisés dans des zones polluées.

Désignation CEI	Charge de rupture (kN)	Diamètre extérieur (mm)	Pas Nominal (mm)	Longueur de la ligne de fuite (mm)
U 40	40	175	100 110	185
U 70	70	255	127 146	280
U 100	100	255 288 ⁽¹⁾	127 146 ⁽¹⁾	318 440 ⁽¹⁾
U 160	160	280 320 ⁽¹⁾	146 170 ⁽¹⁾	370 540 ⁽¹⁾
U 300	300	320	195	480
U 400	400	360 380	206 220	525 550
U 530	530	380 440	240 255	600 640

Tableau A.1 : Caractéristiques géométriques des isolateurs à capot et tige.

4) Éthylène Propylène Diène Monomère :

Les **EPDM** sont obtenus en copolymérisant dans des proportions équitables (aux environs de 50/50) l'éthylène et le propylène. On obtient alors des EPR (Éthylène propylène Rubber : isolant pour câbles électriques).

Les EPR ne sont pas très intéressants car ils nécessitent pour leur vulcanisation l'utilisation de peroxydes organiques peu populaires chez les transformateurs. Mais l'association d'un diène à l'éthylène et au propylène apporte les doubles liaisons nécessaires à une vulcanisation classique. Le matériau obtenu se nomme donc EPDM. Il présente presque les mêmes caractéristiques que le caoutchouc naturel (NR) avec, en particulier, une température de transition vitreuse voisine de - 55 °C.

Propriétés générales :

- Excellentes résistance aux intempéries, à l'ozone, à la lumière, à l'air, au froid
- Très bonne résistance aux acides
- De couleur noire

5) Silicone :

Les **silicones**, ou polysiloxanes, sont des composés inorganiques formés d'une chaîne silicium-oxygène (...-Si-O-Si-O-Si-O-...) sur laquelle des groupes se fixent, sur les atomes de silicium. Certains groupes organiques peuvent être utilisés pour relier entre elles plusieurs de ces chaînes (...-Si-O-...). Le type le plus courant est le poly (diméthylsiloxane) linéaire ou PDMS. Le second groupe en importance de matériaux en silicone est celui des résines de silicone, formées par des oligosiloxanes ramifiés ou en forme de cage.

Les silicones sont présents un peu partout dans le quotidien, sous forme de mastics, colles, joints, additifs anti moussants pour poudres lessiviellles, cosmétiques, matériel médical, gaines isolantes de câbles électriques, graisses haute performance

À noter que l'on dit :

- La silicone lorsque l'on parle du polymère comme expliqué ci-dessus ;
- Et la silicone lorsque l'on se réfère aux composés de silicium de formule générale R_2SiO .

6) Décharge partielle :

Dans le domaine de l'électricité, une décharge partielle (DP) est une décharge qui ne court-circuite que partiellement l'isolement entre conducteurs sous l'effet d'une forte tension (HTB ou HTA).

➤ Mécanisme :

Les décharges partielles prennent naissances dans un défaut d'un diélectrique solide ou dans une bulle au sein d'un liquide diélectrique. Elles peuvent également apparaître à l'interface conducteur-diélectrique.

Les décharges partielles dans un diélectrique ont le plus souvent lieu dans une bulle gazeuse : la permittivité du gaz étant très inférieure à celle du matériau environnant, un champ électrique beaucoup plus important que celui existant sur une distance équivalente au sein de l'isolant apparaît. Si cette tension dépasse la limite de rigidité diélectrique pour le gaz contenu par la bulle, une décharge partielle a lieu.

Une fois amorcée, la décharge va progressivement détériorer l'isolant solide ou liquide, d'abord à la surface de la cavité, puis plus en profondeur, pouvant conduire finalement à un claquage aux bornes du diélectrique et à la destruction de l'installation. Ce phénomène peut être limité lors de la fabrication de l'équipement par sa conception, par la qualité des matériaux utilisés, et par la qualité de la fabrication (absence de bulles). L'absence de décharge partielle peut être vérifiée par des méthodes de détection, aussi bien pendant la fabrication que pendant la durée de vie de l'installation. La prévention des décharges partielles constitue donc un enjeu capital pour les industries électriques en vue d'assurer un service de qualité sur le long-terme.

➤ Effets des décharges partielles sur les matériaux isolants :

Les effets des décharges partielles dans installations haute tension comprenant des matériaux isolants solides peuvent être dramatiques, aboutissant à la destruction complète (par explosion) de l'installation. Ces décharges entraînent des dommages irréversibles, aussi bien physiques que mécaniques, des matériaux isolants.

Ces dommages sont causés par l'énergie libérée par les décharges, sous forme d'électrons, d'ions ou d'ultraviolets, par l'apparition d'ozone attaquant les parois des cavités, la libération de gaz sous haute pression et des réactions chimiques qui ont

tendance à augmenter la conductivité de l'isolant autour de la cavité, autant de phénomènes qui tendent à accélérer et à étendre la dégradation du matériel.

7) Contournement :

Le contournement est représenté par une décharge disruptive le long d'une surface solide dont la trajectoire contourne cette dernière. Aussi, le terme contournement est employé pour les décharges par amorçage dans l'air.

➤ **Contrainte de contournement :**

La contrainte de contournement d'un isolateur est le rapport de la tension de contournement à la tension totale de l'isolateur.

➤ **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 de :

- La résistivité volumique moyenne de la pollution
- La répartition de la couche de pollution
- Le profil et les dimensions de l'isolateur

➤ **Tension de tenue :**

C'est le niveau de tension le plus important que peut supporter une isolation sans provoquer de décharges disruptives (contournement dans le cas d'isolateurs).

➤ **Courant de fuite :**

C'est un courant d'impulsion de faible amplitude circulant à travers la couche polluante le long de la surface de l'isolateur. Il est à caractère électrolytique et de type résistif. Il devient important lorsqu'on s'approche de la tension de contournement et dépend de plusieurs facteurs comme la nature de la couche de pollution, la longueur de la ligne de fuite et les conditions atmosphériques.

➤ **Courant de fuite critique :**

C'est le courant minimal nécessaire pour provoquer le contournement sous pollution d'un isolateur à une tension donnée. Il est indépendant du procédé d'essais ainsi que de la forme de l'isolateur. Le seul facteur dont dépend ce courant sous tension donnée est la ligne de fuite, c'est-à-dire la contrainte spécifique exprimée en kV/cm.

➤ **Longueur critique d'arc :**

C'est la longueur limite X_c de l'arc partiel au-delà de laquelle l'arc conduira au détournement total.

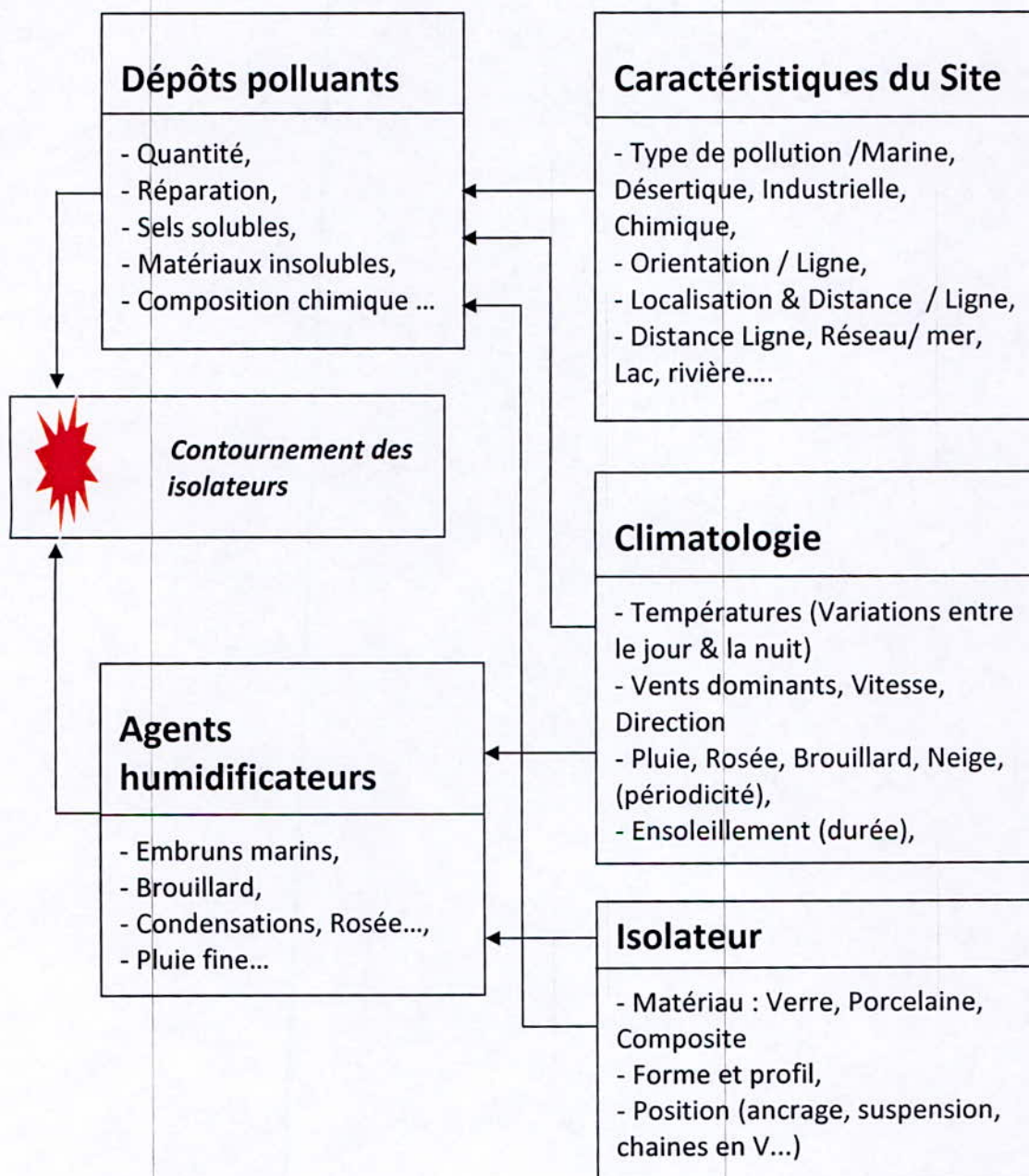
➤ **Conductance superficielle :**

La conductance superficielle est le rapport du courant de fuite circulant à la surface de l'isolateur sur la tension appliquée. Elle caractérise l'état global de la surface isolante.

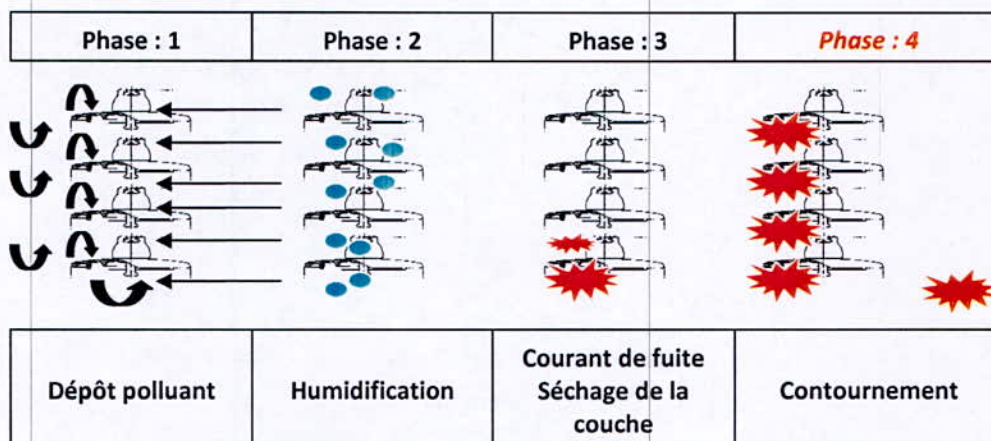
Annexe 2

Brochures Thématiques :

Annexe 2.1 : MECANISME DE CONTOURNEMENT DES ISOLATEURS SOUS POLLUTION NATURELLE.

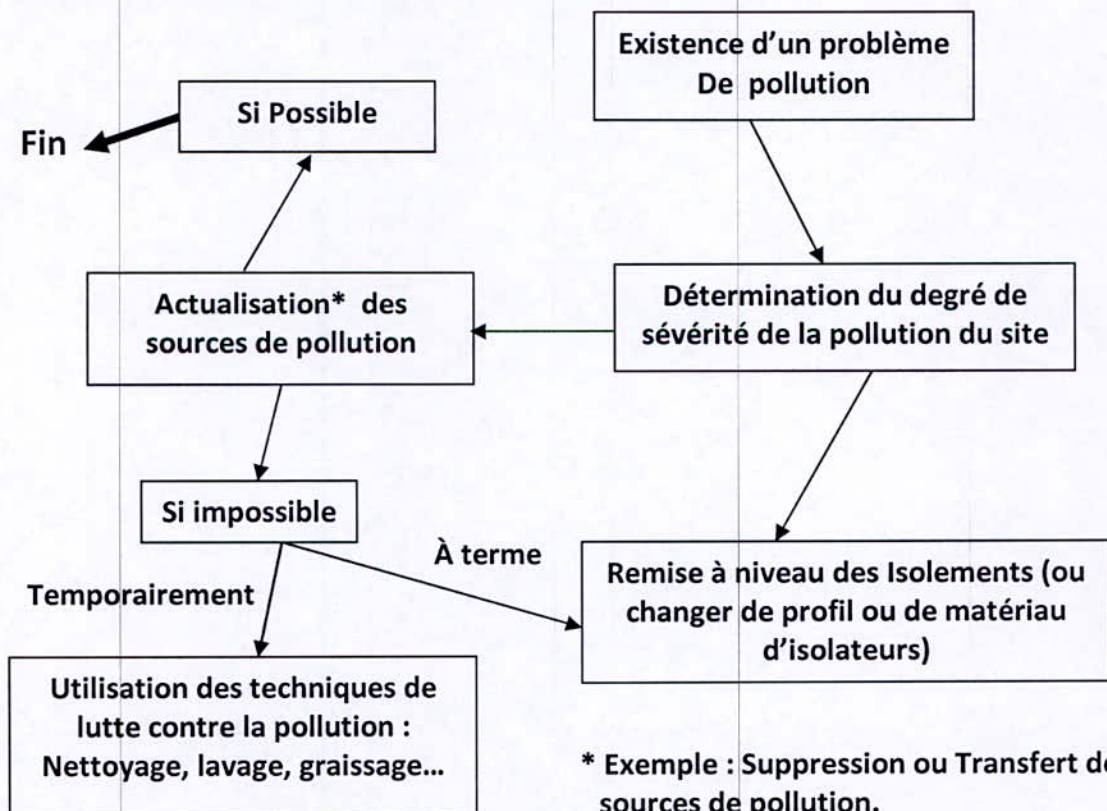


Annexe 2.2 : PROCESSUS DE CONTOURNEMENT DES ISOLATEURS POLLUEES EN SERVICE.



Annexe 2.3 : COMMENT LUTTER CONTRE LA POLLUTION ?

Démarche proposée :



Annexe 3

3) Facteurs influençant la diffusion des polluants :

3.1) Le vent :

La vitesse du vent augmente avec le gradient de pression entre anticyclone (zone de haute pression) et dépression (zone de basse pression). À la surface de la Terre, les différents obstacles ralentissent la vitesse du vent. L'épaisseur de cette « *couche de frottement* » varie de 500 à 1 000 mètres. La vitesse du vent augmente donc avec l'altitude. D'autre part, le « *profil* » de vitesse du vent (ou ensemble des vitesses moyennes) est différent le jour et la nuit. Le jour, les courants de convection thermique ramènent rapidement au sol l'air qui se déplace en altitude, renforçant ainsi les vents de surface. Par contre, la nuit, la convection thermique plus faible accentue les vents d'altitude. Le vent a une grande importance dans la diffusion des polluants atmosphériques. Ainsi, avec un vent de force moyenne et de mauvaises conditions de rejet des effluents (cheminée trop basse, vitesse d'éjection des gaz insuffisante, etc.), il peut se produire un phénomène de retombée en panache vers le sol



Figure A.6 : Phénomène de retombée en panache.

a) Rôle des vents dominants :

Dans les agglomérations, on accuse souvent les vents dominants de porter fréquemment sur une agglomération, les polluants des usines situées en amont. Ces accusations sont vraies lorsque les vitesses des vents sont faibles.

b) Influence de la topographie :

D'une manière générale, les phénomènes météorologiques locaux, la topographie et les obstacles sont des éléments qui modifient la circulation des vents et qui peuvent canaliser l'écoulement des polluants dans des directions privilégiées.

c) Le rôle des versants montagneux :

Le relief en général exerce une action dynamique sur l'écoulement de l'air. Lorsque le vent heurte un obstacle, son écoulement se trouve perturbé et certains filets d'air contournent la barrière qui leur est opposée, tandis que d'autres tendent à épouser plus ou moins le profil du relief, de sorte qu'une montagne engendre une zone d'ascendance de l'air sur sa face au vent suivie d'une zone de subsidence sur sa face « sous le vent ».

d) Autres facteurs :

La configuration des bâtiments et un vent réduit peuvent contribuer à la concentration des polluants atmosphériques émis près du sol. C'est notamment le cas pour les parkings, les tunnels et les rues souvent étroites de type «canyons».

3.2) Les brises :

a) Les brises de pente :

Elles sont dues à la différence de température entre le sol incliné d'un relief et l'air libre au même niveau. Le jour, sous l'influence du rayonnement solaire, le sol se réchauffe plus vite que l'air libre et l'air à son contact tend donc à s'élever le long de la pente, tandis que l'air libre s'affaisse : C'est la brise montante. La nuit au contraire, le sol refroidit par rayonnement l'air à son contact, qui, devenu plus lourd, s'écoule le long de la pente, c'est la brise descendante. Plus la vallée sera large et la pente bien exposée au soleil, plus la brise de pente sera accentuée.

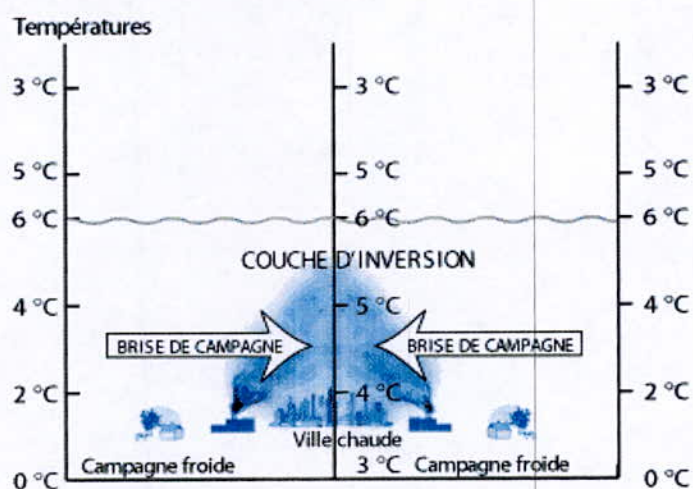


Figure A.7 : Les brises de pentes.

b) Les brises de mer et de terre :

Le long des côtes ou des grands lacs, la différence de température entre la terre et l'eau suffit à établir des courants d'air locaux de la mer vers la terre le jour (brise de mer), et de la terre vers la mer, la nuit (brise de terre). Sous les latitudes tempérées, les vents côtiers n'apparaissent nettement que l'été ; ils sont masqués par le régime général des vents pendant les autres saisons. Lorsque le vent souffle de la terre vers la mer, les polluants épargnent la ville comme est le cas à Arzew.

Par contre, les lieux habités sont particulièrement touchés quand le vent souffle de la mer vers la terre (pollution marine avec dépôt des sels marins sur les chaînes d'isolateurs).

c) La brise de campagne :

Les bâtiments et les différentes activités au sein d'une agglomération (transport, chauffage...) changeant les caractéristiques thermiques de l'air.

L'agglomération constitue un îlot de chaleur qui subsiste à la tombée du jour, tandis que la campagne environnante se refroidit. L'air chaud s'élève, au-dessus de la ville, provoquant alors une dépression qui attire l'air plus frais des campagnes alentours. Les polluants émis à la périphérie de la ville sont alors véhiculés vers l'agglomération et c'est au centre de celle-ci qu'on observe la plus forte pollution de l'air.

3.3) La température des couches atmosphériques :

En montant dans l'atmosphère, une particule de polluant se dilate et se refroidit car elle est soumise à des pressions de plus en plus faibles. Inversement en descendant, elle s'échauffe car elle est soumise à des pressions croissantes qui la compriment. Il en résulte que l'ascension d'un volume d'effluent dépend de la différence entre sa température et celle des couches d'air qu'il traverse, sachant que l'effluent peut, en montant, se refroidir plus ou moins vite que l'air ambiant. Le taux de refroidissement théorique de l'air lorsqu'il est ascendant, déterminé dans des conditions physicochimiques expérimentales bien définies, est appelé gradient adiabatique. Il est de $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ pour 100 mètres d'élévation quand l'air n'est pas saturé en vapeur d'eau et de $-0,55\text{ }^{\circ}\text{C}$, s'il est saturé en vapeur d'eau. Ces valeurs sont à comparer à la diminution de la température relevée par une sonde thermique s'élevant dans un air immobile.

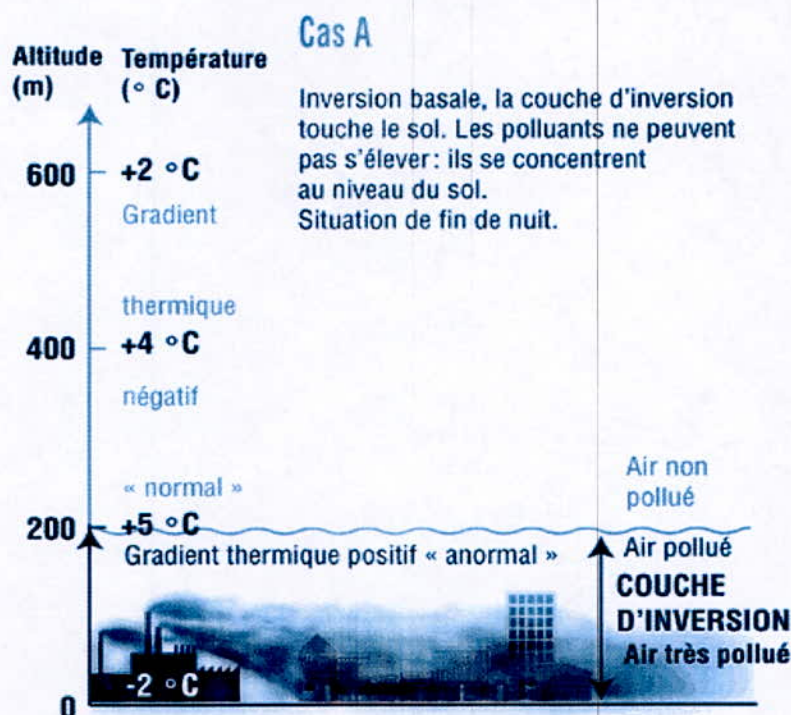


Figure A.8 : Phénomène d'inversion du gradient thermique vertical de l'air (cas A)

En moyenne, on observe un refroidissement de $0,6\text{ °C}$ tous les 100 m , mais dans la réalité, les valeurs varient selon la position de la sonde dans la troposphère. Grâce au relevé de cette sonde thermique, les météorologues tracent la courbe d'état thermique de la masse d'air. La comparaison entre le gradient adiabatique et le gradient réel des températures de l'air est une référence qui permet de définir l'état de stabilité de l'air à un moment donné. On définit trois situations types qui jouent un rôle dans la diffusion et le transport des polluants :

- ❖ **L'indifférence** : la décroissance verticale de la température dans l'air étudié est égale au gradient adiabatique,
- ❖ **L'instabilité** : la décroissance verticale des températures dans l'air étudié est plus rapide que celle du gradient adiabatique,
- ❖ **La stabilité** : la décroissance verticale des températures dans l'air étudié est plus lente que celle du gradient adiabatique. Il arrive même, que la sonde thermique mesure un échauffement lorsqu'elle s'élève : l'air est plus chaud en altitude qu'au sol. On parle alors d'inversion du gradient thermique ou, improprement, d'inversion de température.

Ces différentes situations influencent le comportement des polluants. En général, l'indifférence ou, mieux encore, l'instabilité, favorisent la dispersion verticale des

panaches. En effet, dans ces conditions, un volume d'effluent qui s'élève et se refroidit par détente, demeure toujours plus chaud, donc plus léger que les masses d'air qu'il traverse. Il poursuit donc son ascension, gagne une altitude élevée et se disperse sur une vaste superficie. Les risques de pollution localement concentrée sont alors très réduits. En revanche, les situations de stabilité de l'air sont les plus défavorables à la dispersion des polluants et causent souvent des pollutions locales intenses. En effet, dans ces conditions, les effluents qui s'élèvent risquent de se refroidir plus vite que les masses d'air qu'ils traversent et, devenant plus lourd qu'elles, ils tendent alors à redescendre et à s'accumuler à la base de la troposphère.

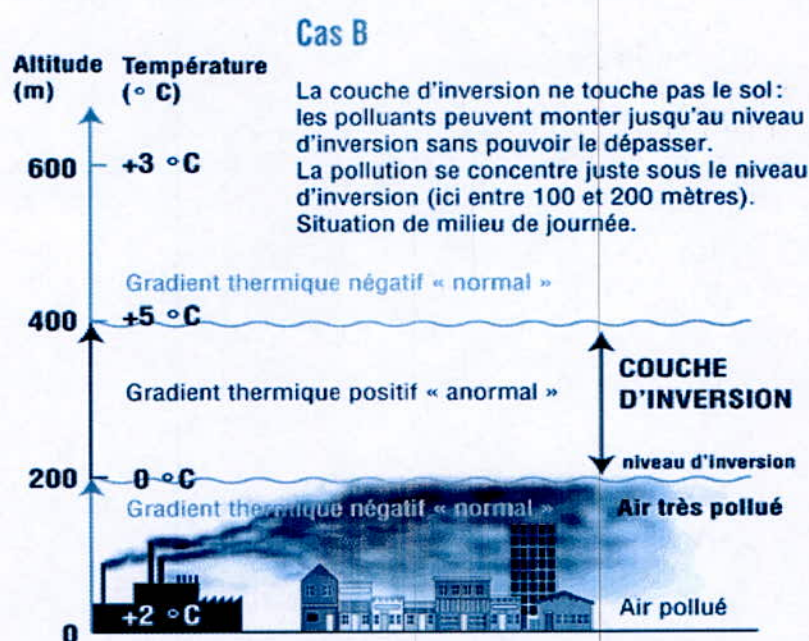


Figure A.9 : Phénomène d'inversion du gradient thermique vertical de l'air (cas B)

Lors des conditions d'inversion du gradient thermique, souvent nocturnes, les couches d'air les plus basses sont alors plus froides que les couches supérieures et piègent les polluants. Le jour, en cas de réchauffement, la couche d'inversion s'élève progressivement et les fumées vont alors s'accumuler sous le niveau d'inversion.

Ce phénomène est habituellement provoqué la nuit, par un refroidissement intense de la surface terrestre et de l'air à son contact. L'air situé plus haut est donc plus chaud que l'air inférieur. C'est pourquoi, on parle souvent d'inversion de surface, cause d'une très forte stabilité de l'air. Le jour, le réchauffement progressif du sol sous l'effet du soleil brise cette inversion. Jusqu'à sa dissipation, la couche d'inversion va donc constituer un véritable couvercle invisible qui bloque l'extension des polluants. Le vent généralement

faible lors de ces épisodes climatiques, donne aux panaches une allure caractéristique avec faible dispersion verticale et latérale.

En hiver, les nombreuses émissions des foyers de combustion engendrent de fréquentes inversions de température. On peut observer alors des épisodes de pollution aiguë, susceptibles de durer plusieurs jours car le refroidissement nocturne peut être si intense que la chaleur du soleil peut ne pas suffire à briser l'inversion, surtout si une couche de nuages bas, gêne l'arrivée au sol de ses rayons.

Les propriétés de rayonnement du sol peuvent varier suivant sa nature et sa couverture végétale et déterminent sa capacité à perdre ou à emmagasiner de la chaleur, ce qui influence la répartition verticale des températures. À l'inverse des surfaces couvertes de végétations et humides, les sols nus absorbent et perdent rapidement de la chaleur. Un sol couvert de neige est plus favorable à la formation et à la persistance d'inversions thermiques qu'une région boisée. En s'opposant partiellement au rayonnement solaire, le brouillard limite le réchauffement du sol et peut ainsi prolonger pendant de longues périodes la stabilité des basses couches. Le même phénomène s'observe en présence de couches nuageuses continues et basses. Une région à forte nébulosité diurne sera ainsi plus sensible aux risques de pollution de l'atmosphère qu'une région au ciel clair.

En résumé, toutes les situations météorologiques qui permettent la stabilité de l'air, telles que situations anticycloniques et phénomènes d'inversion thermique, sont propices à la pollution de l'air. D'autres facteurs, comme l'évaporation, l'humidité atmosphérique et le mouvement des masses d'air, interviennent pour modifier et compliquer ces processus.

➤ **Les inversions de température en régions encaissées :**

Elles peuvent résulter de circonstances géographiques particulières, comme dans les régions encaissées où l'air froid plus dense des sommets s'écoule, la nuit, vers les fonds de vallées où il s'accumule, provoquant des brouillards qui accentuent le refroidissement. Ainsi, il n'est pas rare de mesurer des gradients anormaux de température : il peut alors faire plus chaud sur les sommets qu'au fond de la vallée. Elle entraîne une extrême stabilité des couches d'air inférieures et provoque de fortes concentrations de polluants au sol. Le cas des vallées est d'autant plus important que certaines.

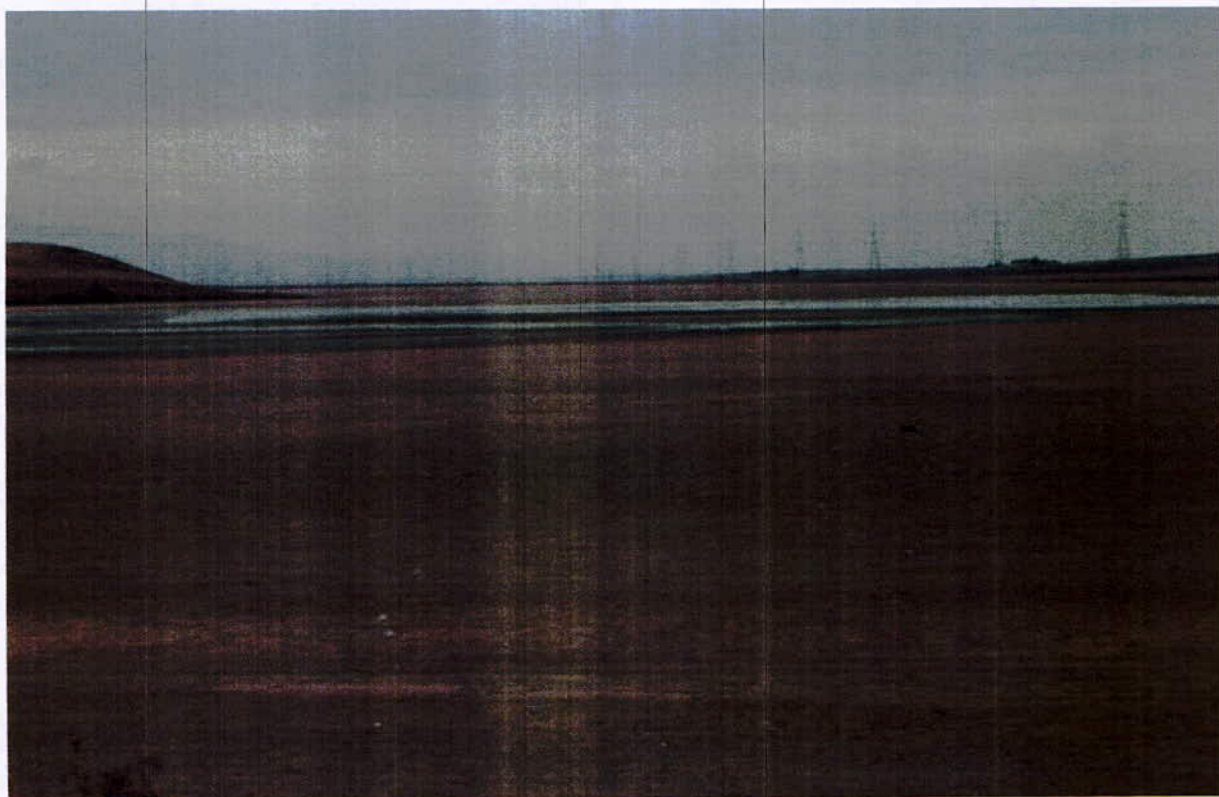
Annexe 4



Figure A.10 : Influence des torchères sur les ouvrages de transport.

Annexe 5

Sebkhas



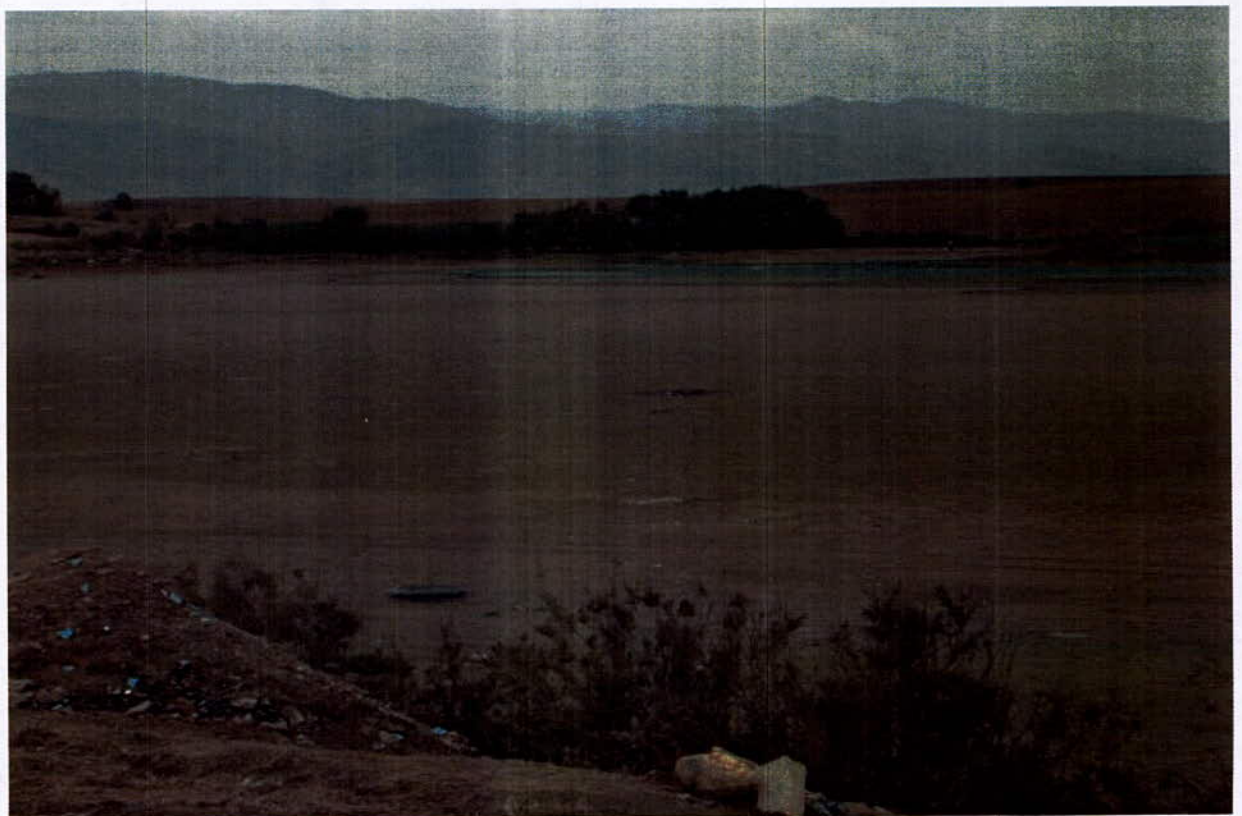


Figure A.11 : La Sebkhia d'Oran.

Annexe 6

Salines d'Arzew



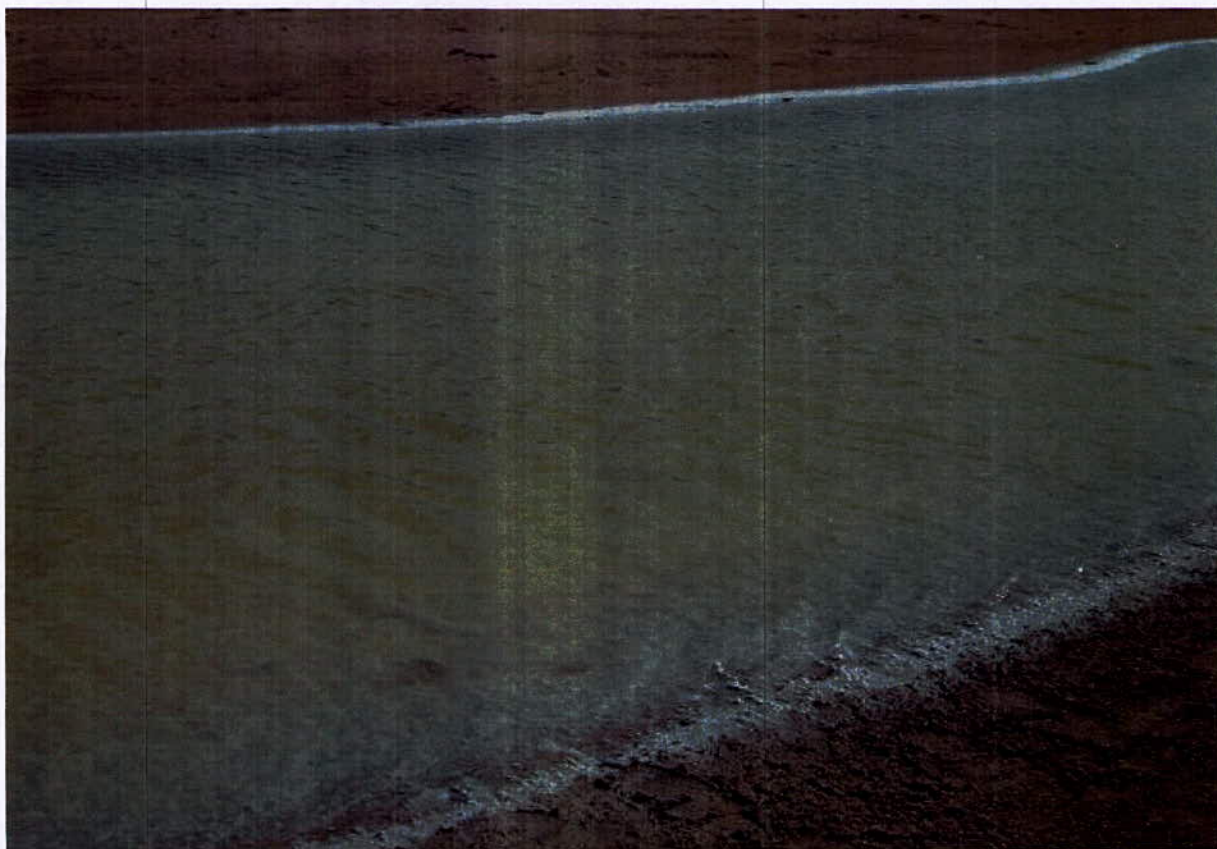


Figure A.12 : Les salines d'Arzew.

Annexe 7

La Macta

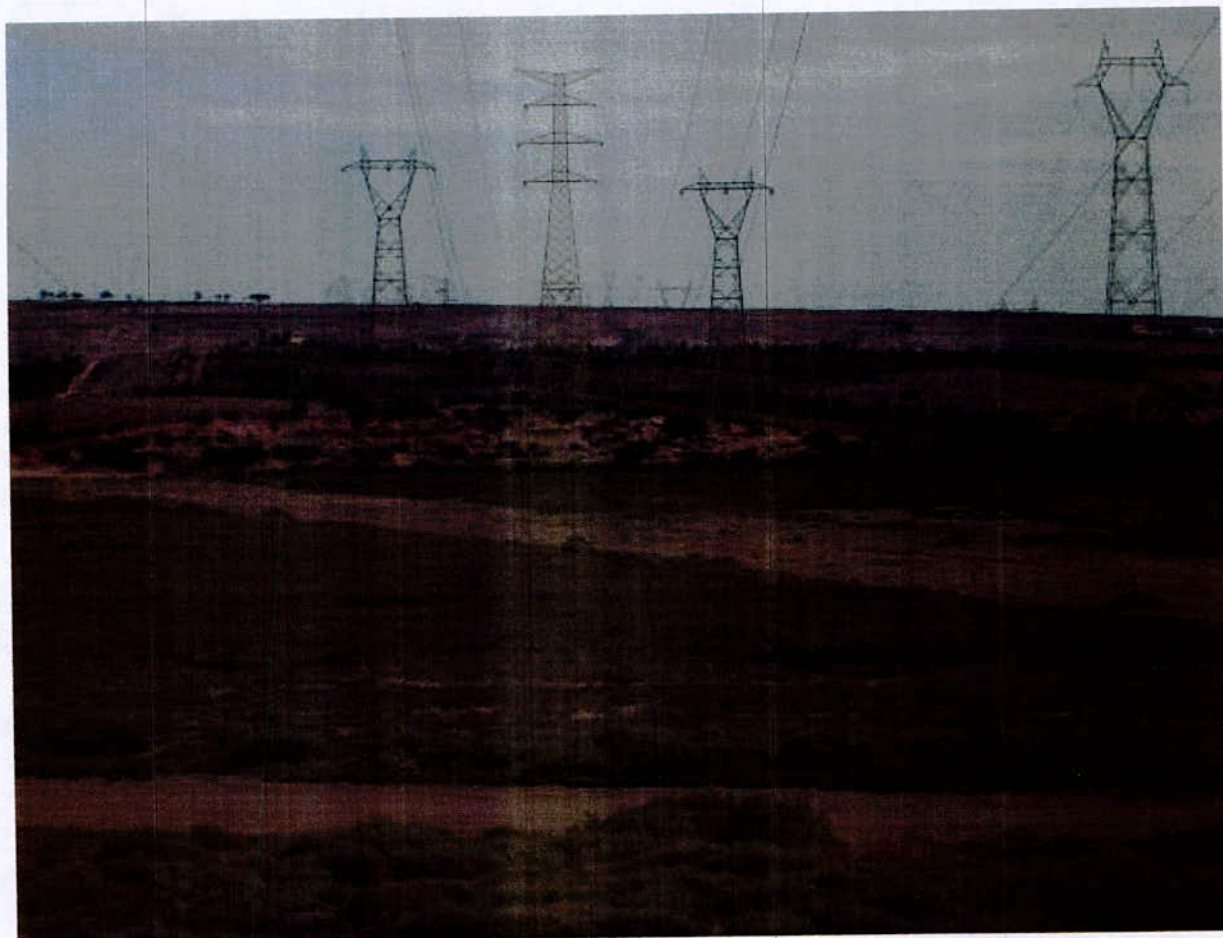


Figure A.13 : La Macta.

Annexe 8

Annexe 8.1 : Incidents survenus sur les lignes de 220 kV de la région Ouest, durant la période 1990 – 2008. [20]

Année			1990 - 2008			
Identité			Nature de l'incident			
Lignes 220 kV			DR	DRD	DT	N ^{bre}
MEHAP	OUSLY	1	205	25	112	342
MEHAP	OUSLY	2	105	6	19	130
MEHAP	RELIZ	1	252	14	68	334
MEHAP	SBABE	1	303	19	90	412
MEHAP	ZAHAN	1	153	18	52	223
MEHAP	ZAHAN	2	171	6	49	226
MEHAP	HAAME	1	14	1	4	19
MEHAP	MOSTA	1	15	0	13	28
MEHAC	MEHAP	1	3	0	28	31
MEHAC	MEHAP	2	12	2	17	31
MEHAC	MEHAP	3	9	0	34	43
MEHAC	MEHAP	4	2	1	22	25
MEHAC	MEHAP	5	1	0	15	16
OUSLY	MOSTA	1	34	9	5	48
OUSLY	MOSTA	2	0	1	0	1
OUSLY	TIARE	1	46	7	50	103
OUSLY	RELIZ	1	83	17	46	146
NAAMA	NAAMC	1	0	0	2	2
NAAMA	BECHM	1	4	0	31	35
NAAMA	SAIDA	1	6	12	20	38
SAIDA	TIARE	1	79	15	46	140
SAIDA	SBABE	1	103	7	49	159
SBABE	TLEMC	1	77	17	18	112
TLEMC	ZAHAN	1	188	16	60	264
TLEMC	OUJDA	1	115	7	141	263
HAAME	KAHRA	1	5	0	4	9
HAAME	KAHRA	2	3	0	1	4
HAAME	BESAF	1	1	0	1	2
HAAME	ZAHAN	1	12	0	6	18
RABLA	ZAHAN	1	21	6	13	40
BESAF	ZAHAN	1	96	13	23	132
PELAC	ZAHAN	1	48	10	30	88
GHAZA	ZAHAN	1	122	15	23	160
GHAZA	OUJDA	1	13	0	149	162
GHAZA	TLEMC	1	96	4	32	132
Total lignes 220 kV			2397	248	1273	3918

Tableau A.2 : Nombre d'incidents par année et par départ (tous type de défaut).

Année	Nature de l'incident			
	DR	DRD	DT	N ^{bre}
1990	108	7	42	157
1991	112	12	70	194
1992	79	11	64	154
1993	151	12	115	278
1994	140	11	76	227
1995	151	8	62	221
1996	124	9	84	217
1997	144	18	58	220
1998	231	35	138	404
1999	181	22	71	274
2000	210	26	72	308
2001	130	13	50	193
2002	100	9	19	128
2003	61	6	54	121
2004	64	11	52	127
2005	91	7	57	155
2006	98	4	73	175
2007	116	10	73	199
2008	106	17	43	166
Total	2397	248	1273	3918

Tableau A.3 : Nombre d'incidents par année (tous type de défaut).

Année	Hiver	Printemps	Eté	Automne	Total incident
1998	9	25	220	150	404
2003	22	26	66	7	121

Tableau A.4 : Répartition saisonnière d'incidents (tous type de défaut).

MEHAP : Marsat El Hadjaj poste.

OUSLY : Oued Sly poste.

SBABE : Sidi Bel Abbes poste.

HAAME : Hassi Ameer poste.

TIARE : Tiaret poste.

NAAMC : Nâama centrale.

BECHM : Bechar poste.

BESAF : Béni Saf poste.

RABLA : Ravin Blanc poste.

KAHRA : Centrale de Kahrama.

MEHAC : Marsat El Hadjaj centrale.

RELIZ : Relizane poste.

ZAHAN : Zahana poste.

MOSTA : Mostaganem poste.

NAAMA : Nâama poste.

SAIDA : Saida poste.

TLEMC : Tlemcen poste.

PELAC : Petit Lac poste.

GHAZA : Ghazaouet poste.

OUJDA : Oujda poste (Maroc).

Annexe 8.2 : Evaluation du degré de sévérité de la pollution du site pilote ; méthode de mesures [5] :

- ***L'ESDD (Equivalent Salt Deposit Density),***
- ***NSDD (Non Soluble Deposit Density).***

1) Principe de mesure de l'ESDD :

Cette méthode, simple et peu coûteuse, est utilisée par la majorité des chercheurs ; elle est basée sur le principe de mesure de l'équivalent de la quantité de composant actif du contaminant soluble et insoluble déposé sur la surface de l'isolateur.

$$ESDD = (Sa \times V) / A$$

Avec :

Sa : Salinité de la solution en **Kg/cm³**

V : Volume de l'eau de lavage en **cm³**

A : Aire de la surface lavée de l'isolateur en **cm²**

ESDD : Equivalent Salt Deposit Density en **mg de NaCl/cm²**

a) Procédure :

On procède d'abord, par la dépose avec soin de l'isolateur (en aucun cas la corde ou les gants du monteur de ligne ne doivent contacter le dépôt de la pollution).

On recueille soigneusement, avec un petit morceau de mousse synthétique, le dépôt de la surface isolante la plus polluée de l'isolateur (généralement la partie opposée aux vents dominants) dans un bêcher contenant une quantité déterminée (**200cc**) d'eau, de préférence distillée ou déminéralisée (**de conductivité ≤ 0.001 S/m y compris le morceau de mousse**).

La suspension obtenue est constamment agitée durant au **moins deux minutes** avant la mesure de sa conductivité volumique **K θ (S/m)** ainsi que la température **θ (°C)** de la solution (figure A.14).

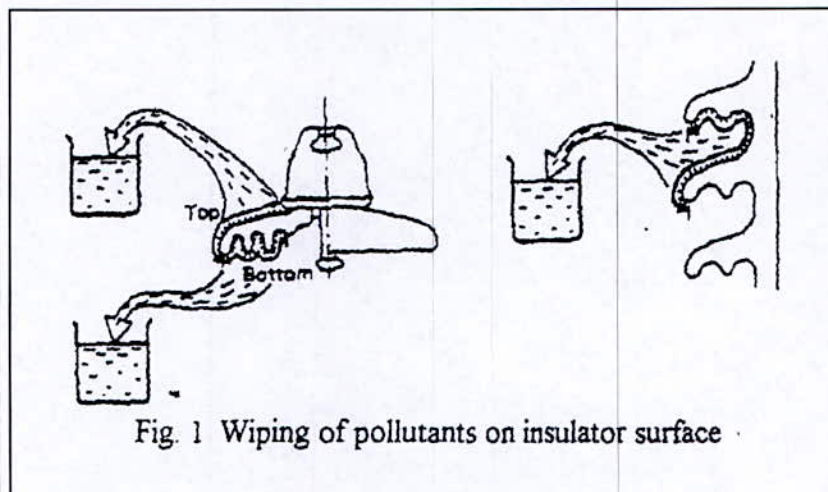


Figure A.14 : Récupération du dépôt polluant de la surface de l'isolateur.

b) Calcul de la Conductivité volumique :

Lorsque la température de la solution n'est pas de 20 °C, les valeurs de la conductivité volumique et de la densité doivent être corrigées.

La conductivité de la solution doit être rapportée à une température de référence de 20 °C en utilisant la formule suivante :

$$K_{20} = K_{\theta} [1 - b (\theta - 20)]$$

Où :

K_{θ} est la conductivité à la température θ °C de la solution en S/m.

K_{20} est la conductivité corrigée à la température de 20 °C S/m.

θ °C est la température de la solution de lavage de la surface de l'isolateur (°C).

b est le facteur de correction dépendant de la température θ .

θ (°C)	b
5	0,03156
10	0,02817
20	0,02277
30	0,0190

Note : Pour d'autres valeurs de la température θ , comprises entre 5 °C et 30 °C, le facteur b est obtenu par interpolation (figure A.7).

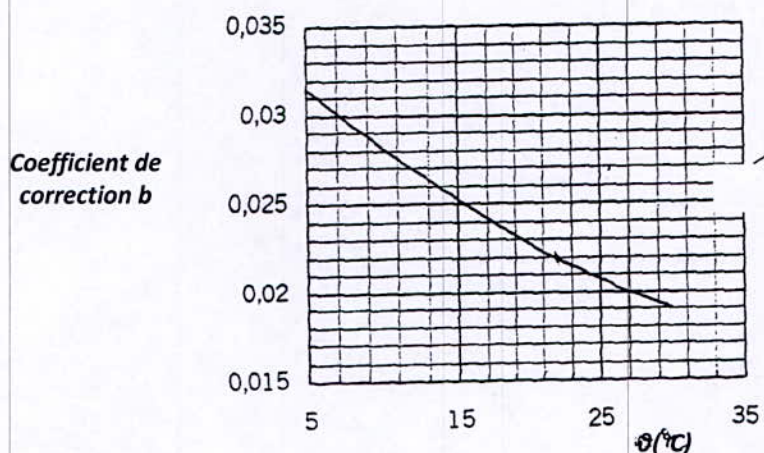


Figure A.15 : Acteur de correction de la température.

c) Calcul de la Salinité de la solution de lavage :

La salinité Sa (kg/m^3) est déterminée par la formule suivante :

$$Sa = (5,7 K_{20})^{1,03}$$

d) Calcul de l'ESDD :

La densité du dépôt de sel équivalent $ESDD$ (mg/cm^2) est alors obtenue par la formule suivante :

$$ESDD = (Sa \times V) / A$$

Avec :

- Sa** Salinité de la solution en Kg/m^3
- V** Volume de l'eau de lavage en cm^3
- A** Aire de la surface lavée en cm^2
- ESDD** Equivalent Salt Deposit Density en mg de NaCl/cm^2

2) Méthode de l'NSDD (Non Soluble Deposit Density) :

a) Procédure :

Cette méthode, qui vient compléter la méthode précédente de l'ESDD, permet de caractériser la quantité du **dépôt de pollution non soluble** ou des « matériaux inertes » récoltés sur la surface des isolateurs. Les résultats de plusieurs travaux ont démontré récemment que la quantité des matériaux inertes, considérés, longtemps auparavant, sans aucun impact, peut influencer sensiblement la tenue électrique des isolateurs.

La solution obtenue (polluée) après la mesure de l'ESDD sera filtrée par entonnoir et papier filtre. Le papier filtre qui contient le polluants sera séché, puis pesé (figure A.8).

La densité de dépôt non soluble NSDD exprimée en **mg** de polluant filtré et séché par la surface de l'isolateur lavée en **cm²** est calculée par la formule simplifiée :

$$NSDD = 1000 (W_f - W_i)/A$$

Où :

NSDD est la densité du dépôt de la matière non-soluble (**mg/cm²**).

W_f est le poids du papier filtre qui contient le polluants sous condition sèche (**g**).

W_i est le poids initial du papier du filtre sous condition sèche (**g**).

A est la surface de l'isolateur nettoyée (**cm²**).

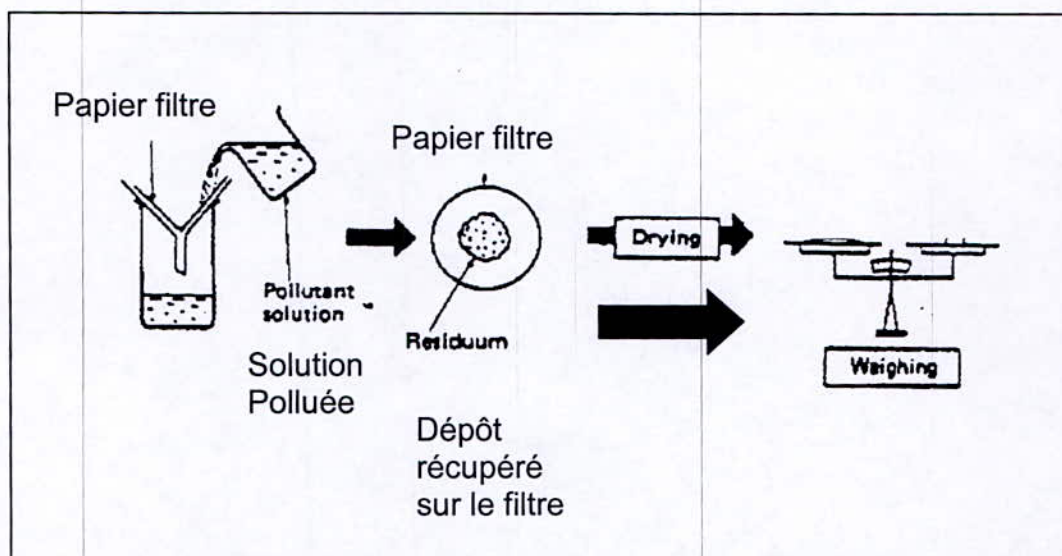


Figure A.16 : Méthode de calcul du NSDD.

3) Analyse Chimique [5] :

Le contournement des isolateurs sous pollution dépend essentiellement de la quantité, de la qualité et de la solubilité du dépôt polluant, déposé sur la surface de l'isolateur.

La connaissance de la composition chimique et de la conductivité de chaque élément, en général, et l'analyse de l'eau filtrée (en ppm et en %) ainsi que du dépôt récupéré sur le filtre (en %) sont des paramètres déterminants qui conditionnent le mécanisme de contournement des isolateurs sous pollution d'une part et nous orientent d'autre part à identifier toutes les sources de pollution possibles.

Les **tableaux A.5 et A.6** montrent un exemple pratique type des analyses de l'eau de lavage des isolateurs filtrées ainsi que du dépôt récupéré sur le filtre, effectués au Laboratoire de Chimie à la STEG sur une chaîne d'isolateurs standard installée dans la région à forte pollution industrielle de GABES (Sud - Est Tunisien, similaire à Marsat El Hadjaj).

a) Analyse de l'eau filtrée en ppm (Tableau A.5) :

La Quantité d'eau filtrée ($Q_e = 103$ ml) a été analysée par le procédé chimique ICP, analyse spectrométrique par torche plasma. L'analyse chimique par absorption atomique (type AA) est également disponible à la STEG et aussi utilisée pour les mêmes analyses :

Ca	Mg	Na	K	Si	P	Fe	Zn	Conductivité en $\mu\text{S/m}$
360	28.30	1.70	7.8	31.8	2.25	0.13	1.3	2130

b) Analyse du dépôt récupéré sur le filtre en % (Tableau A.6) :

La Quantité du dépôt récupéré sur le filtre ($Q_d = 522$ g) a été analysée par les mêmes procédés, sauf que pour la dissolution quasi-totale ou optimum des dépôts, les chimistes recourent, selon la robustesse des matériaux non solubles, à l'usage de l'une des solutions acides : Acide fluorhydrique (HF), Acide Chlorhydrique (HCl) ou Acide Nitrique (HNO_3) :

Ca	Mg	Na	K	Si	P	Fe	Zn	Insoluble/acide mg
20.6	0.89	0.70	0.18	0.23	0.25	1.43	5.3	16.66

Annexe 8.3 : Isolateur de référence et choix des Isolateurs pour essais

A l'instar de toutes les études sur la pollution des isolateurs, conduites dans le monde, et sur recommandation du « Cigré », [5]

L'isolateur Verre Standard capot et tige (réf internationale : U120BS, Diamètre $\text{Ø} = 255\text{mm}$, Ligne de fuite $L_f = 292/320\text{ mm}$, pas = 127 mm) est pris comme Isolateur de référence, pour l'évaluation du degré de sévérité de la pollution du site pilote de Marsat El Hadjaj.

Par souci d'optimisation de cette étude et d'exploitation de toutes les opportunités possibles de mesures et d'investigations sur site, le consultant (SIS) a proposé une sélection de cinq types d'isolateurs, bénéficiant d'un bon retour d'information et d'expériences, pour essais comparatifs dans les mêmes conditions de services :

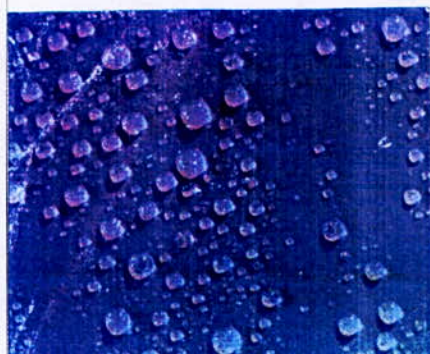
- l'isolateur verre aérodynamique, $\text{Ø} : 280\text{ mm}$, $L_f = 380\text{ mm}$, pas = 127 mm,
- Un isolateur composite en silicone à jupes alternées,
- Un isolateur composite en epdm, de même profil que b,
- Un isolateur composite en silicone de profil différent et à jupes régulières,
- Un isolateur en silicone de technologie récente avec un jonc renforcé coté point chaud.

L'intérêt d'un tel choix est de pouvoir évaluer le comportement de ces différents types d'isolateurs sous pollution naturelle et de comparer plusieurs paramètres ciblés tels que :

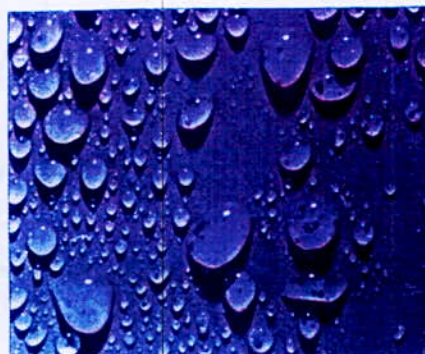
- La comparaison du taux d'accumulation de la pollution sur les isolateurs aérodynamiques (a) par rapport au standard;
- La comparaison des courants de fuite (I_{highest}) de tous les isolateurs, initialement prévue;
- L'évaluation de la classe d'Hydrophobicité des revêtements en silicone et en epdm (b & c) des isolateurs composites,
- La comparaison du taux d'accumulation de la pollution sur les isolateurs composites à jupes alternées et à jupes régulières (b & d);
- L'angle d'inclinaison des surfaces supérieures des différents isolateurs;
- L'Evaluation des propriétés d'auto nettoyage des isolateurs.

Annexe 8.4 : Méthode de mesure de la classe d'HYDROPHOBICITE des ISOLATEUR COMPOSITES [5].

STRI Guide 92/1



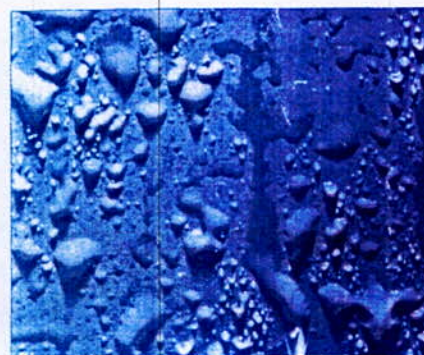
HC 1



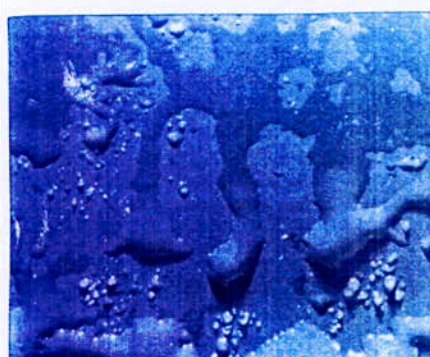
HC 2



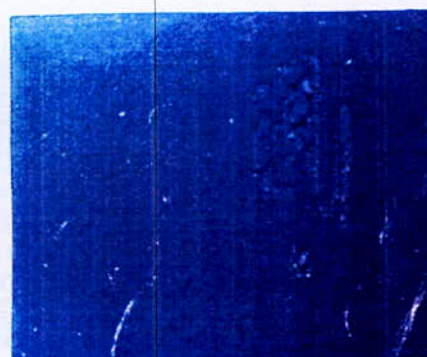
HC 3



HC 4



HC 5



HC 6

Typical examples of surfaces with HC from 1 to 6

Annexe 9

*Station d'essais et de mesures de la pollution du site pilote de
« MARSAT EL HADJAJ » Juillet 2008.*





Annexe 10

Programme de calcul de L'ESDD & DU NSDD [5].

Microsoft Excel - Campagnes de mesures du ESDD & NSDD à Marsat El Hadjaj

Suiv. Préc Zoom Imprimer... Page... Marges Affichage normal Fermer Aide

سونلغاز نقل الكهرباء GRTE.Spa
Sonegaz Transport de l'Electricité

CALCUL DE L'ESDD & DU NSDD DES ISOLATEURS

Site : Station Filon DE Marsat El Hadja
Date de la mesure : 06-août-05 de la Campagne de mesures.
Date de la dernière chute de pluie : 04-août-05

Solvide Iso	ref. Iso	Fact. Sur.	Sur. Fibroc	L.1	C. 1	L.2	C. 2	m	ESDD	NSDD	ESDD/NSDD
A1	0.5	Sup.	370	24.7	6	25.1	77.7	68	0.012	0.119	0.095
		Inf.	999	24.6	5.7	25.0	676	4.17	0.135	0.323	0.417
A2	0.5	Sup.	370						#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
		Inf.	999						#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
C5W ?	1	Sup.	140.2	24.4	4.1	25.2	79	67	0.049	0.478	0.102
		Inf.	136	24.5	4.8	25.2	205	77	0.140	0.368	0.386
C6V ?	1	Sup.	84.5	24.5	4.8	25.1	84.8	51	0.088	0.604	0.146
		Inf.	58.9	24.8	4.9	25.2	83.1	47	0.123	0.798	0.154
C6Y ?	1	Sup.	128.24	24.8	5.9	25.4	135.5	92	0.102	0.675	0.153
		Inf.	122.82	24.5	6.5	25	129.9	50	0.095	0.608	0.263
C5U ?	1	Sup.	84.5	24.7	4.8	25	88.4	50	0.070	0.392	0.176
		Inf.	82.2	24.6	4.7	25.1	119.8	50	0.130	0.608	0.214
B1:	0.5	Sup.	1200	24.6	6.7	25.0	276	221	0.043	0.285	0.110
		Inf.	1225	24.6	7.5	25.1	295	119	0.045	0.191	0.234
A3	0.5	Sup.	570						#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
		Inf.	999						#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
B2	0.5	Sup.	1200						#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
		Inf.	1225						#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!

Légende :
 Facteur de Surface (relatif): 1 (surf. iso), 1/2 (surf. 1/2), 1/3 (surf. 1/3)
 Surface: (cm²)
 T1: Température de la solution avant agitation (°C)
 T2: Température de la solution après agitation (°C)
 ESDD: Densité en Dépôt de Soluble (mg/cm²)
 Volume d'eau: 200cc
 Temps de dissolution: 3mn

m: poids en polluant récupéré au filtre après séchage (mg)
 C1: Conductivité de la solution avant agitation (µS)
 C2: Conductivité de la solution après agitation (µS)
 NSDD: Densité en Dépôt non Soluble (mg/cm²)

Aperçu: page 1 sur un total de 1.

NUM

Démarrer Microsoft Excel - Cam... 12:46

Annexe 11

Les principales caractéristiques du profil des isolateurs (CEI 60 815).

- Distance minimale entre deux éléments ou entre deux ailettes de même diamètre d'isolateurs S,

$S > 30$ mm ; **Important : éviter les courts circuits entre éléments d'isolateurs ;**

- Ratio S/P. p est la profondeur de l'élément ou de l'ailette,

Important : Propriétés Auto nettoyage ;

- Pente ou Inclinaison α des éléments d'isolateurs,

Propriétés d'auto nettoyage $\alpha > 5$;

- Ailettes Alternées pour les Isolateurs composites,

Propriétés d'Auto nettoyage et éviter le C/C entre ailettes sous pluie ;

- Facteur de ligne de fuite $CF = L_f/d$, L_f est la ligne de fuite totale et d est la distance d'arc de la chaîne d'isolateurs,

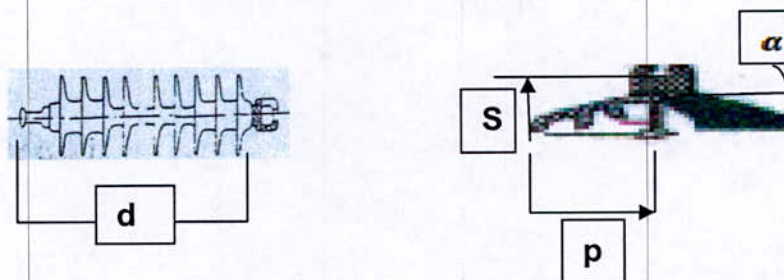
Pour éviter les C/C localisés de la ligne de fuite par la pollution $CF \leq 4$ pour les niveaux III et IV de la pollution ;

- Facteur de Profil,

PF > 0,7 pour les niveaux III et IV de la pollution ;

- Influences du diamètre et de la position des isolateurs :

Les chaînes d'isolateurs standard en position Horizontale retiennent 30 % en moins qu'en position verticale ;



Annexe 12

Méthodes de localisation des zones de pollution [11].

1) Première méthode :

Cette méthode se base sur le traitement et l'analyse des incidents DR (Déclenchement, Réenclenchement) et DRD (Déclenchement, Réenclenchement, Déclenchement), survenus sur les lignes haute tension de la région considérée. La période d'observation devrait intégrer les chroniques des incidents sur 5 années minimums. Pour chaque ligne issue d'un poste de transformation THT/HT ou de répartition THT/THT ou HT/HT et pour chaque saison, il y a lieu de repérer les défauts ayant eu lieu, en les situant sur la ligne par leurs distances "a" par rapport au poste A et "b" par rapport au poste B.

Tracer le cercle de diamètre "ab" situé sur la ligne et il sera considéré comme zone polluée et de 1^{re} degré par exemple. Les incidents ayant eu lieu seront situés obligatoirement dans le cercle de centre "O" formant selon leur densité des zones de 2^{ème}, 3^{ème}, ... degré.

Ces zones sont également des cercles dont les diamètres sont différents à cause des dispersions dans le nombre des défauts (concentrations différentes) (figure A.9).

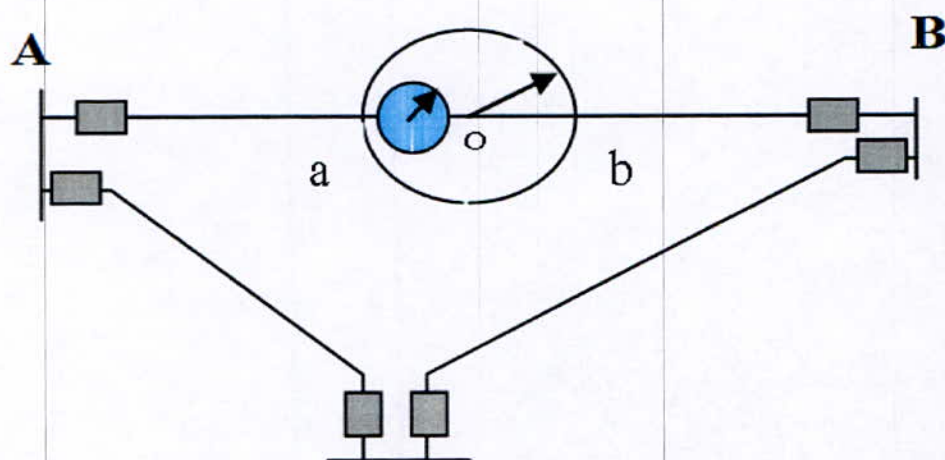


Figure A.17 : Représentation des zones de pollution sur les lignes de haute tension.

Ce travail fait pour chacune des lignes ayant subi des DR et/ou DRD durant la saison ou l'année, est projeté ou plaqué à l'échelle sur une carte géographique qui représenterait les incidents sur le réseau électrique. Le degré de précision de cette carte est lié à la

précision de l'échelle, de la localisation des défauts et de la bonne appréciation de la cause (contournement dû à la pollution par exemple) des DR et DRD.

La superposition des zones des quatre saisons donnerait un aperçu sur la migration de la pollution au courant de l'année. La superposition des zones des cinq années donnerait également un aperçu sur la migration de la pollution avec plus de précision.

2) Deuxième méthode :

Ce travail a été réalisé en collaboration avec l'université Houari Boumediene (USTHB) dans le cadre d'un projet de fin d'étude [11]. Il consiste en :

- La localisation des incidents enregistrés toutes les années sur les différentes lignes électriques,
- La classification des zones de pollution par degré de sévérité,
- L'emplacement optimal des stations de mesures.

C'est une méthode mathématique appelée **Classification Ascendante Hiérarchique** qui appartient à l'une des grandes familles de la classification automatique.

➤ Objectif :

L'objectif de notre étude consiste en la détermination des zones de pollution afin de placer des stations de mesure pour lutter contre la pollution. Pour ce faire, nous proposons une formulation basée sur le concept de classification utilisant la distance euclidienne. Ce concept est le suivant :

➤ Etape 1 :

Soit Ω l'ensemble des incidents enregistrés sur le réseau avec leurs coordonnées géographiques (latitude φ et longitude λ) ou avec leurs distances électriques. On ne regroupe deux incidents que si la distance qui les sépare est inférieure à (d) km. (d est une distance seuil à choisir). On obtient ainsi la classification (C1, C2, ..., Ck) telle que :

$$C_i \cap C_j = \emptyset \text{ et } i \neq j \text{ et } (C_1 \cup C_2 \cup, \dots, \cup C_k) = \Omega$$

➤ Etape 2 :

Choisir la classe la plus sévèrement polluée et lui affecter la station de mesure.

D'après la modélisation de notre problème, nous avons besoin de convertir les coordonnées des incidents qui sont géographiques en coordonnées planes (cartésiennes)

afin de faciliter le calcul des distances séparant les incidents. Ainsi, nous pourrions utiliser la distance euclidienne pour le calcul de la distance qui sépare deux incidents.

➤ **Algorithme de localisation de l'incident**

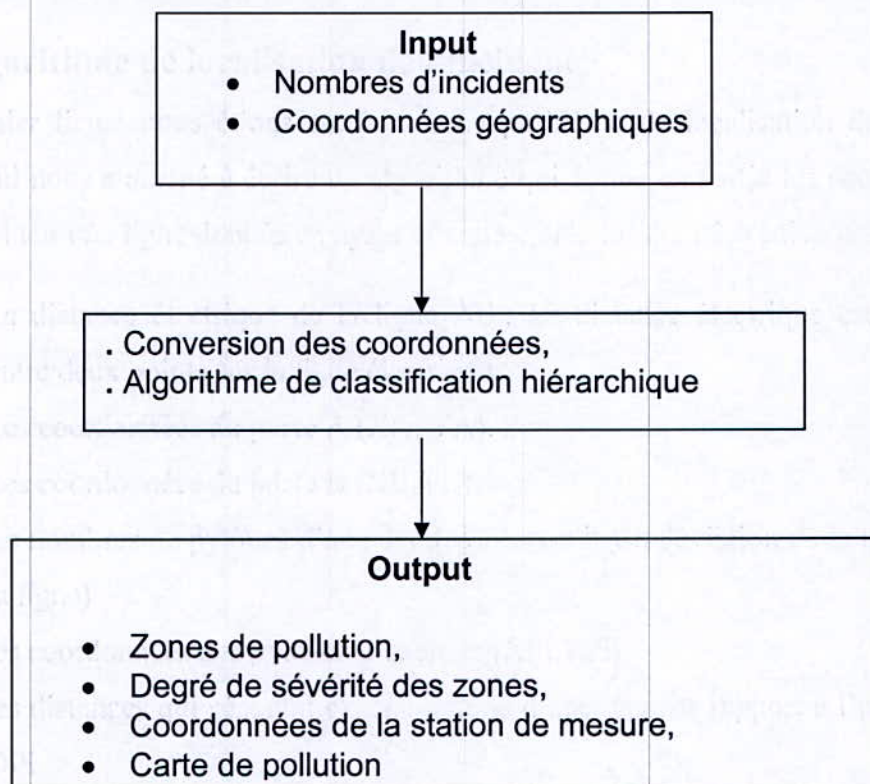
En premier lieu, nous étions confrontés au problème de localisation des incidents. Chose qui nous a amené à écrire un algorithme qui donne en sortie les coordonnées de l'incident sur une ligne donnée en ayant comme entrée les données suivantes :

1. La distance électrique de la ligne AB : La distance électrique est la distance entre deux points sur la ligne électrique.
2. Les coordonnées du poste A (X_A, Y_A).
3. Les coordonnées du poste B (X_B, Y_B).
4. les nombres de pylônes d'ancrage (pylône ou il y a déviation de la trajectoire de la ligne)
5. les coordonnées des pylônes d'ancrage (X_{Pi}, Y_{Pi})
6. les distances qui séparent chaque pylône d'ancrage par rapport à l'un des postes D_{Pi}
7. la longueur de chaque canton (distance entre deux pylônes) qui sépare deux pylône d'ancrage [P_i, P_{i+1}]
8. Le tracé de la ligne donnée
9. Distance qui sépare l'incident du poste A D_{INCI}
10. Pour une période donnée (saison, mois, année).

➤ **Conclusion**

La classification hiérarchique est une famille d'algorithmes que l'on peut qualifier de "déterministes" (c'est-à-dire qui donnent toujours les mêmes résultats à partir des mêmes données). De plus, ces algorithmes donnent des indications sur le nombre de classes (dans notre cas une classe correspond à une zone de pollution) à retenir mais sont mal adaptés aux vastes recueils de données.

Algorithme de cette méthode du Logiciel Map Pollution



Architecture du logiciel : « Pollution Map »

Références bibliographiques

- [1] **R. CHAARANI**, « Étude de l'influence des caractéristiques des isolateurs sur leurs performances électriques dans des conditions de givrage » ; Thèse du doctorat en ingénierie, Université du QUÉBEC, **2003**.
- [2] **C.E.I-60**, « Technique des essais à haute tension, Définition et prescription générales aux essais » ; Première édition, **1973**.
- [3] **G. Leroy, C. Gary**, « les propriétés diélectriques de l'eau et très haute tension » ; Eyrolles, **Paris 1984**.
- [4] **Y. Porcheron**, « Lignes aériennes : Matériels entrant dans la constitution d'une ligne aérienne » ; Technique de l'ingénieur D4425.
- [5] **R. ZNAIDI**, « Etude du phénomène de la pollution des Isolateurs sur les lignes HT & THT de Sonelgaz GRTE » ; Rapport Final, **Janvier 2009**.
- [6] **R. ZNAIDI**, « Les Isolateurs des Lignes Electriques Aériennes : Historique & Retour d'expériences » ; Communication, **Janvier 2009**.
- [7] **Y. SOUMMAM**, « Etude du phénomène de la pollution des isolateurs au site de Marsat El Hadjaj » ; 8^{ème} journées scientifiques et techniques, Hôtel Hilton, Alger, Algérie, **18 au 19 novembre 2008**.
- [8] www.fr.wikipedia.org articles de Wikipédia, l'encyclopédie libre sur : « Isolateur, Décharge partielle et Isolant électrique ».
- [9] www.hydroquebec.com **M. ARCHAMBAULT**, « Construction des lignes aériennes à haute tension » ; Chronique d'Hydro-Press, **novembre 1979**.
- [10] **HARBI Naila, HADJIDJ Khaled**, « Influence de la pollution sur les lignes haute tension - Région Centre - » ; **PGS 2008**.
- [11] **S. ZERAOULIA**, « Impact de la Pollution sur le Comportement des Isolateurs de Haute Tension Région du Centre d'Alger » ; Thèse de Magister, **ENP 2007**.

[12] **B. HAMOUM, A. KERBOUCHE**, « Etude du Phénomène de Pollution des Isolateurs de Haute Tension dans la Région Electrique du Centre Algérien » ; Projet Fin d'étude, **ENP, Juin 2007**.

[13] **CEI 60815 de 1986**, « Normes électriques pour isolateurs en porcelaine, verre trempé ou composite ».

[14] **Opérateur du système électrique**, « Carte du réseau interconnecté ».

[15] **Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité**, « Consistance du réseau de transport / région d'Oran » ; **30/09/209**.

[16] **CREDEG**, « Analyse physico-chimique de la pollution (sol-sebkha) dans la région d'Oran et son influence sur la ligne Marsat- Relizane ».

[17] **Office Nationale des Statistiques (O.N.S)**.

[18] **Opérateur du système électrique**, « Clients HT par société de distribution » ; **année 2009**.

[19] **Office Nationale de Météorologie (ONM)**, « Bulletin Mensuel d'Informations Climatologiques » ; **années 2002 à 2009**.

[20] **Statistiques des incidents sur les réseaux nationaux de transports d'électricité. OS (Opérateur du Système Electrique)**.

[21] **Statistiques des incidents sur les réseaux nationaux de transports d'électricité. GRTE (Gestion du Réseau de Transport d'Electricité)**.

[22] **CREDEG**, « Évaluation du Degré de Sévérité de Pollution de la région d'Oran – Station de Mesure de pollution - Marsat El Hadjaj » ; Rapport de mission, **Mars 2009**.

[23] **Gueye MAME FARMA, Naima TERKI**, « Classification des zones de pollution et placement optimal des stations de mesure » ; Projet Fin d'étude, Département recherche Opérationnelle, **USTHB, Juin 2007**.

[24] **CEI 60270:2000 /BS EN 60270:2001**, « High - Voltage Test Techniques - Partial Discharge Measurements ».

- [25] **IEEE 400-2001**, « IEEE Guide for Field Testing and Evaluation of the Insulation of Shielded Power Cable Systems ».
- [26] **R. ZNAIDI**, « Field & laboratory testing for the choice of optimum composite insulator design for a marine – desert environment » ; Cigré General Session, **Paris, France, 2000.**
- [27] **R. ZNAIDI**, « POLLUTED INSULATORS : A REVIEW OF CURRENT KNOWLEDGE » ; BT. N° 158 du Cigré, Cigré technical Review. Co-author, **juin 2000.**
- [28] **J. PASTEAU**, « Cahiers Techniques n° 127 : Introduction à l'appareillage très haute tension » ; Schneider Electric, CT 127, **édition juin 1984.**
- [29] **R. ZNAIDI**, « Recherche de corrélation entre la pollution artificielle et la pollution naturelle dans un milieu marin & désertique en Tunisie » ; Cigré Symposium. Cairns. **AUSTRALIE, 2001.**
- [30] **R. ZNAIDI**, « Service experience & maintenance requirements for different types of insulators in Tunisia »; World Congress on insulators. Hong Kong. China. Conférencier invité, **2005.**
- [31] **R. ZNAIDI**, « Outdoor Insulation in Polluted Conditions : Guidelines for Selection & Dimensioning » ; Brochure technique N°361 du Cigré, Co- auteur, **Juin 2008.**