

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique



L'Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued

Faculté de Technologie

Mémoire de Fin d'Étude

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Electrotechnique

Spécialité : Réseaux Electrique

Thème

**Surveillance de l'état de surface des
isolateurs de haute tension**

Présenté par :

✚ ABID Mohammed Amine
✚ DAHA Ben Salem

Encadré par :

Dr. GUIA Talal

Soutenu en 2020

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

فَدَلَّاهُ عَلَىٰ أَمِّنَ مَوْجِئِهِ لِنَفْسِهِ أَفَنُفِّرُهُ بَعْدَ إِذْ أَخَذْنَا مِيثَاقَهُ لَنُؤْتِيَنَّهُ أَتَمَّ مَقَرًّا ثُمَّ خَلَّاهُ لِيَكُونُ مِنَّا آيَةً وَأَوَّلُ آيَةٍ مِّنْهُ هُوَ بَازِيءٌ مَّرْكُومٌ

صَدَقَ اللَّهُ الْعَظِيمَ

Remerciements

C'est avec un réel plaisir que nous réservons ces lignes en signe de gratitude et de profonde reconnaissance à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation et à l'aboutissement de ce travail.

*Avant tout, nous remercions **Dieu** tout puissant pour m'avoir aidé à réaliser ce modeste travail.*

*Nous tiens tout d'abord à remercier : **Dr. GUIA Talal** qui est eu l'amabilité de nous encadrer pour la réalisation de ce travail Et qui dirigé ce travail depuis les premiers instants .*

Nous la remercions pour son sérieux et ses efforts Afin de nous aider, de nous conseiller et de nous orienter.

Je remercie de même tous les enseignants de notre département qui ont énormément contribué à nous formation .

Enfin, je tiens également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.



Dedicaces

A mes chers parents, pour leur amour, leur soutien
et tous leurs sacrifices

A mes chères sœurs et A mes chers frères

A toutes mes amies pour leurs encouragements.

A tous ceux que j'aurais oublié de citer mais qui existent

Au fond de mon cœur et de ma pensée.

AMINE

Dedicoaces

Je dédie ce modeste travail

A celle qui m'a ouvert les portails et m'a donné la tendresse et le courage

A celle qui endeuillée pour me rendre heureuse

A celle qui attend chaleureusement ce jour:

«Ma chère Mère»

A celui qui a fait des grands efforts pour mon bonheur

A celui qui a rêvé de voir cette journée

A celui qui m'a orienté et m'a pris les secrets de la vie

« Mon Père »

"A mes frères et A chère me sœur "

A tous les tantes et mon oncle dans la vie éternelle Aussi

A tous mes amis, mes merveilleux frères et sœurs

A tous ceux m'ont aidé de prêt ou de loin.

A tous les êtres chers

Ben Salem



Résumé

La cause principale de l'apparition du phénomène contournement est l'accumulation des agents polluantes sur la surface d'isolateur de haute tension, ce qui conduit à coupures d'alimentation électrique, il est important de connaître l'état des isolateurs pour éviter les coupures et augmenter la fiabilité du réseau. Ce travail fournit une solution pour surveiller l'état de surface d'un isolateur de haute tension par l'utilisation des techniques d'intelligence artificielle. Où il nous permet de savoir l'état de surface d'isolateur qui installer sur les pylônes extérieurs.

Mots clés: Pollution- Isolateurs de haute tension - Surveillance- Techniques d'intelligence artificielle.

المخلص

السبب الرئيسي لحدوث ظاهرة الالتفاف هو تراكم الملوثات على سطح عازل الجهد العالي ، مما يؤدي إلى انقطاع التيار الكهربائي، من المهم معرفة حالة العوازل لتجنب الانقطاعات وزيادة موثوقية الشبكة. يوفر هذا العمل حلاً لمراقبة حالة سطح عازل الجهد العالي من خلال استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي. حيث يتيح لنا معرفة حالة سطح أي عازل يتم تركيبه على الأبراج الخارجية.

الكلمات المفتاحية: التلوث - عوازل الجهد العالي - المراقبة - تقنيات الذكاء الاصطناعي.

ABSTRACT

The main cause of the occurrence of the bypass phenomenon is the accumulation of pollutants on the surface of high voltage insulator, which leads to power cuts, it is important to know the condition of the insulators to avoid them. Outages and increase network reliability. This work provides a solution to monitor the surface condition of a high voltage insulator through the use of artificial intelligence techniques. Where it lets us know the surface condition of which insulator to install on the exterior pylons.

Keywords: Pollution - High voltage insulator - Surveillance - Artificial intelligence techniques.

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1. Isolateurs de traversées	4
Figure I.2. Isolateur rigide.....	4
Figure I.3. Isolateurs à capot et tige.....	6
Figure I.4. Isolateur à long fût en céramique	6
Figure I.5. Isolateur à long fût en matériaux synthétiques.....	7
Figure I.6. Les Caractéristiques d'un isolateur.....	8
Figure I.7. Initialisation des arcs électriques.....	13
Figure I.8. Evolution des arcs électriques.....	13
Figure I.9. Contournement total.....	14

Chapitre II

Figure II.1. Isolateurs testés	16
Figure II.2. Variation de l'amplitude des harmoniques du courant de fuite pour différents taux d'humidités et différents niveaux de contaminations	17
Figure II.3. Photographie et schéma d'un échantillon SIR 11 kV	17
Figure II.4. Montage expérimental	18
Figure II.5. Signaux obtenus (représentations temporelles et fréquentielles) des DP à 0.08 ESDD : (a) 60%RH, (b) 70%RH, (c) 80%RH, (d) 90%RH, (e) 100%RH.	19
Figure II.6. Signaux obtenus (représentations temporelles et fréquentielles) des DP pour RH=100% : (a) 0.06 ESDD, (b) 0.08 ESDD, (c) 0.12 ESDD, (d) 0.25 ESDD.	19
Figure II.7. Étapes du processus de contournement	21
Figure II.8. Bruit présent sur les images, causé par la réflexion de la lumière sur le bord supérieur de l'isolateur plan	22
Figure II.9. Méthode de pulvérisation	24

Figure II.10. La chaîne d'isolateurs utilisée et les axes du champ	24
Figure II.11. Schéma montrant de mesure la méthode de mesure.....	24
Figure II.12. Forme d'onde donnée par l'Arduino Uno.....	24
Figure II.13. Effet de la couche polluée sur la répartition du champ électrique le long de l'axe longitudinale (d=1m) et pour des différentes positions de pollution sur la chaîne d'isolateurs.....	25
Figure II.14. Exemple de détection d'objets.....	27
Figure II.15. Illustration de la différence entre la classification et la détection d'objets.....	27
Figure II.16. Exemple de génération de graphe de calcul à partir de code (Tensorflow)	30

Chapitre III

Figure III.1. Échantillons des photos rassemblées.....	33
Figure III.2. Programme LabelImg.....	33
Figure III.3. Sélection des isolateurs et les étiqueter.....	34
Figure III.4. Code de conversion du xml à svc	35
Figure III.5. Activation de l'environnement de détection des isolateurs et leurs états de surface. ..	35
Figure III.6. Transit à dossier object_detection.....	36
Figure III.7. Conversion .xml à csv.....	36
Figure III.8. Numérotations des objets	37
Figure III.9. Créer des fichiers de TF Record.....	37
Figure III.10. Fichier labelmap.pbtxt.....	37
Figure III.11. Classification des fichiers.....	38
Figure III.12. Classeur train_input_reader.....	39
Figure III.13. Configuration du dossier de test.....	39
Figure III.14. Sélection des exemples d'évaluation	39
Figure III.15. Classeur eval_input_reader.....	39
Figure III.16. Exécution de l'entraînement.....	40

Figure III.17. Contrôler l'évaluation d'entrainement	41
Figure III.18. Les courbes de losses.....	42
Figure III.19. Progression de l'entrainement par step.....	43
Figure III.20. Création du graphe d'inférence.....	43
Figure III.21. Ouverture de l'interface python.....	44
Figure III.22. Configuration du modèle de détection de l'état de surface des isolateurs.....	44
Figure III.23. Isolateurs propres	45
Figure III.24. Isolateurs pollués.....	45
Figure III.25. Chaîne isolateurs propres.....	45
Figure III.26. Chaîne isolateurs pollués.....	46

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1. Classification de la pollution selon le type d'environnement	11
--	----

Chapitre II

Tableau II.1. Caractéristiques des isolateurs	16
Tableau II.2. Résultats de la classification des décharge.....	22

Chapitre III

Tableau III.1. Les accessoires du modèle de détection des objets.....	32
Tableau III.2. Les package du modèle de détection des objets.....	32

Listes des abréviations et des symboles

$$K_{5/3} = \frac{\text{Amplitude de l'harmonique 5}}{\text{Amplitude de l'harmonique 3}}$$

β : le paramètre de forme.

N_I : représente le nombre de composantes connexes étiquetées sur l'image après segmentation et filtrage morphologique.

N_p : indique le nombre de pixels que contient la plus grande composante connexe étiquetée.

L: correspond à la longueur de la plus grande composante connexe étiquetée.

W: définit la largeur de la plus grande composante connexe étiquetée.

EPDM: Ethylène Propylène Diène Monomère.

L: La ligne de contournement.

L_f : La ligne de fuite.

IEC: International Electrotechnique Commission.

CES: Commission électrotechnique internationale.

SIR: Silicon Rubber.

RH: Humidités Relatives de l'air.

ESDD: Equivalent Salt Deposit Density.

DP: Décharges Partielles.

SVM: Support Vector Machines.

Bayes: classification bayésienne.

Kppv: classification à l'aide des Plus Proches Voisins.

USB: Universal Serial Bus.

HT: Haute Tension.

GPU: Graphics Processing Unit.

CPU: Central Processing Unit.

XML: The Extensible Markup Language.

CSV: Comma Separated Values.

Pb: fichier Pure Basic.

py: fichier programme python.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE.....	1
----------------------------	---

Chapitre I : Isolateurs de haute tension et phénomène de pollution

I.1. Introduction.....	2
I.2. Les isolateurs de haute tension.....	2
I.2.1. Définition des isolateurs.....	2
I.2.2. Fonctionnement et constitution d'un isolateur.....	2
I.2.3. Types d'isolateurs.....	3
I.2.3.1. Isolateurs de traversées.....	3
I.2.3.2. Isolateurs rigides.....	4
I.2.3.3. Isolateurs supports.....	5
I.2.3.3.1. Isolateurs à capot et tige.....	5
I.2.3.3.2. Isolateurs à long fût.....	6
I.2.4. Quelques définitions concernant les isolateurs.....	7
I.2.4.1. Contournement.....	7
I.2.4.2. Ligne de contournement.....	7
I.2.4.3. Ligne de fuite.....	7
I.2.4.4. Ligne de perforation.....	8
I.2.5. Choix des isolateurs.....	8
I.3. Pollution des isolateurs.....	8
I.3.1. Sources de pollution.....	9
I.3.1.1. Types de pollution.....	10
I.3.1.1.1. Pollution naturelle.....	10
I.3.1.1.1.1. Pollution marine.....	10
I.3.1.1.1.2. Pollution désertique	10
I.3.1.1.2. Pollution industrielle	10
I.3.1.1.3. Pollution mixte	11
I.3.1.2. Classifications de types de pollution	11
I.3.2. Formation et répartition des couches polluantes	12
I.3.3. Conséquences de la pollution	13
I.4. Conclusion	14

Chapitre II : Méthodes de diagnostic et de détection des objets

II.1. Introduction.....	15
II.2. Les méthodes de diagnostic	15

II.2.1.	Définition	15
II.2.2.	Détermination de la probabilité d'occurrence d'un contournement des isolateurs composites en utilisant les composantes harmoniques du signal du courant de fuite.....	15
II.2.3.	Analyse des décharges partielles pour le diagnostic de l'état de surface des isolateurs en polymères	17
II.2.4.	méthodologie de traitement d'image	20
II.2.5.	Mesure du champ électrique en cas d'une chaîne des isolateurs polluée.....	23
II.2.5.1.	Résultat	24
II.2.5.2.	Conclusion	26
II.3.	Méthodes de détection des objets	27
II.3.1.	Définition	27
II.3.2.	OpenCV.....	28
II.3.2.1.	Définition OpenCV	28
II.3.2.2.	Fonctionnalités.....	28
II.3.2.2.1.	Traitement d'images	28
II.3.2.2.2.	Traitement vidéo	28
II.3.2.3.	Modules OpenCV	29
II.3.3.	Tensorflow	29
II.3.3.1.	Définition	29
II.3.3.2.	Fonctionnement	30
II.3.3.3.	Les composants	30
II.4.	Conclusion.....	31

Chapitre III : Détection de l'état de surface d'isolateur par les techniques d'intelligence artificielle

III.1.	Introduction	32
III.2.	Modules et toolbox nécessaires	32
III.3.	Processus de création d'un modelé de détection des objets	33
III.3.1.	1 ^{er} étape : Rassemblement des photos pour les différents états des isolateurs.....	33
III.3.2.	2 ^{ème} étape : Etiqueter les images de la base des données	33
III.3.3.	3 ^{ème} étape : Génération des données d'entraînement.....	34
III.3.3.1.	Conversion de la base des données de .xml à .csv.....	34
III.3.3.2.	Génération des numérotations aux objets.....	36
III.3.4.	4 ^{ème} étape : Création d'une carte d'étiquettes.....	37
III.3.5.	5 ^{ème} étape : Configuration de l'entraînement.....	38

III.3.6.	Exécution de l'entraînement	40
III.3.7.	Exporter le graphique pour l'inférence.....	43
III.3.8.	Diagnostic de l'état de surface des isolateurs de haute tension par le modèle réalisé	43
III.4.	Conclusion	46
CONCLUSION GENERALE		47
BIBLIOGRAPHIE.....		48
ANNEXE.....		52

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE :

La production, le transport et la distribution d'électricité contribuent à la croissance économique des pays, où la plupart des facteurs économiques modernes (fabrication, agriculture, ...) sont axés sur elle; Le transport est le lien de connexion production et consommation. Le transfert d'énergie dès l'alimentation au consommateur nécessite des lignes aériennes ou souterraines; Les lignes aériennes sont exposées à de plusieurs facteurs naturels et industriels tels que la pollution des isolateurs.

Les isolateurs sont éléments essentiels des réseaux aériens de transport; Leur rôle est du support mécanique et connecter la haute tension (ex. conducteur...) avec parties mises à la terre (ex. pylône) et d'assurer l'isolement électrique entre ces deux parties constitutives de la ligne.

En effet, le choix du type d'isolateur, les contrôles de réception, la surveillance en exploitation doivent être faite avec un maximum de soin, pour assurer le bon fonctionnement ainsi la continuité de la ligne [1].

Le comportement des isolateurs pollués est un sujet d'intérêt croissant dans de nombreux pays. Cet intérêt est lié au désir de choisir au mieux le matériau constituant l'isolateur, étant donné les nombreuses perturbations causées par la pollution [2].

Les contournements électriques des isolateurs entraînent des répercussions graves sur les réseaux aériens de distribution de l'énergie électrique, car ils sont la cause de coupures électriques de durée plus ou moins longues [3].

Depuis une cinquantaines d'années, plusieurs travaux ont été menés pour comprendre les mécanismes conduisant au contournement des isolateurs pollués et se prémunir d'outils permettant la prédiction de ce phénomène [3].

Le présent notre travail exposera, surveillance de l'état de surface des isolateurs de haute tension par l'utilisation d'une technique d'intelligence artificielle

Afin de bien mener notre étude, nous avons subdivisé notre travail en trois chapitres :

Dans le premier chapitre, nous allons parler des différents types des isolateurs des lignes aériennes à la haute tension, ce chapitre présentera aussi définition de phénomène de pollution d'isolateur haute tension et les types de pollution.

Dans le deuxième chapitre nous parlerons des méthodes de diagnostic de l'état des isolateurs et les approches utilisés en détection des objets.

Le troisième chapitre est l'essentielle de ce mémoire, où nous appliquerons une technique d'intelligence artificielle pour la détection de l'état de surface d'isolateur de haute tension.

Chapitre I : Isolateurs de haute tension et phénomène de pollution

I.1. Introduction :

Dans les lignes de transport d'énergie électrique, l'isolant principal est l'air, cependant, on utilise des isolateurs attachés à des pylônes afin de maintenir les câbles suspendus dans l'air. Dans ce cas, l'isolant joue un rôle essentiellement mécanique. Il n'en demeure pas moins que le matériau utilisé doit posséder d'excellentes propriétés d'isolation électrique. Les matériaux isolants occupent une place importante dans les applications électriques. On les retrouve partout où il y a des conducteurs électriques. Ils doivent être entourés d'isolant [4].

Les lignes aériennes et les postes des réseaux de transport d'énergie électrique sont exposés à diverses contraintes. Parmi celles-ci, la pollution des isolateurs qui constitue l'un des facteurs de première importance dans la qualité et la fiabilité du transport d'énergie. En effet par temps de pluie ou de brouillard, les dépôts polluants se fixant sur les surfaces isolantes réduisent considérablement la résistivité superficielle et le contournement peut alors survenir. L'humidification des couches polluantes facilite en fait, la circulation d'un courant de fuite sur les surfaces isolantes provoquant des échauffements locaux et par la suite l'assèchement de la couche de pollution [5].

Nous présenterons dans ce chapitre une étude sur les isolateurs en précisant leur rôle et leurs différents types, ainsi que la pollution qui représente l'une des contraintes auxquelles sont soumis les isolateurs des réseaux électriques.

I.2. Les isolateurs de haute tension:

I.2.1. Définition des isolateurs :

L'isolateur est constitué principalement d'un matériau isolant solide qui présente une très grande résistance au passage du courant et dont la conductibilité est pratiquement nulle [6]. L'isolateur est utilisé comme son nom l'indique pour l'isolement entre deux corps ou deux pièces sous différentes tensions pour empêcher les courts circuits, les pertes de courant et les charges d'électrocution. L'isolateur est un matériau solide, liquide ou gaz qui a une très grande résistance au passage du courant et dont la conductibilité est pratiquement nulle [7].

Les isolateurs des lignes aériennes ont deux fonctions principales. D'une part, ils permettent d'isoler électriquement les lignes de transport d'énergie électrique aux pylônes qui sont mis à la terre, et d'autre part, ils ont un rôle mécanique qui consiste à soutenir ces mêmes lignes et donc résister aux différentes contraintes mécaniques dû surtout au poids de la ligne, son mouvement en présence de vent,... etc. [7].

I.2.2. Fonctionnement et constitution d'un isolateur :

Les isolateurs sont des composants indispensables au transport et à la distribution de l'énergie électrique. Leur importance est reliée directement au fait de :

- ✓ Réaliser une liaison mécanique entre des conducteurs portés à des potentiels différents accrochés aux pylônes des lignes aériennes.
- ✓ Maintenir les conducteurs dans la position spécifiée (isolateurs d'alignement et d'ancrage).
- ✓ Assurer la transition entre l'isolation interne (huile, SF6) et l'isolation externe (air atmosphérique).
- ✓ Raccorder les matériels électriques au réseau (traversées de transformateur, extrémités de câbles).
- ✓ Jouer le rôle d'une enveloppe de certains appareils (disjoncteurs, parafoudres, réducteurs de mesure) [8].

Les isolateurs sont conçus et dimensionnés pour résister aux contraintes prévisibles introduites par l'environnement [8]. Du point de vue électrique, l'isolateur est considéré comme deux électrodes dont l'intervalle comporte trois zones formant ainsi trois isolants en parallèle ayant des comportements différents. Ces trois zones sont les suivantes :

- ❖ L'intervalle d'air.
- ❖ Le matériau diélectrique.
- ❖ L'interface air - matériau diélectrique (la longueur de l'interface constitue la ligne de fuite: ligne le long de laquelle circulerait le courant de fuite) [9].

I.2.3. Types d'isolateurs :

L'utilisation des diélectriques solides est très répandue dans les lignes aériennes et les poste[10]. On peut distinguer deux principaux types d'isolateurs : les isolateurs rigides et les éléments de chaîne [11].

- On les rencontre sous ces différentes formes :

I.2.3.1. Isolateurs de traversées : [12]

Les isolateurs de traversées (Figure I.1) sont des pièces isolantes établies pour permettre le passage d'un conducteur sous tension à travers un obstacle plus au moins conducteur (mur, paroi...); on les trouve aussi aux bornes des transformateurs.



Figure I.1. Isolateurs de traversées

I.2.3.2. Isolateurs rigides:

Un isolateur rigide (Figure I.2) est relié au support par une ferrure fixe. Tous les isolateurs rigides normalisés sont livrés avec une douille scellée de telle façon qu'ils puissent être vissés directement sur les ferrures correspondantes [10] [12]. Cet isolateur est principalement soumis à des efforts de flexion et de compression, lorsqu'il est placé en position verticale [10]. Il peut, dans certains cas, être placé horizontalement, voire oblique. Ce type d'isolateurs est utilisé pour les lignes aériennes qui ne dépassent pas le niveau de tension de 60 kV..... [11]



Figure I.2. Isolateur rigide

I.2.3.3. Isolateurs supports:

On appelle isolateurs supports, des pièces isolantes destinées à supporter, en isolant de éléments conducteurs des traversés. Ils sont utilisés par exemple comme supports de jeux de barres dans les postes de transformation [4]. Ils sont constitués par le matériau isolant et d'une pièce métallique qui sert à réaliser la liaison entre deux isolateurs et à donner une certaine flexibilité à la chaîne d'isolateurs. La chaîne d'isolateurs est montée sur le pylône en suspension soit verticalement (chaîne d'alignement), soit d'une façon horizontale (chaîne d'ancrage) [10].

Il existe deux types principaux d'éléments de chaîne :

- les isolateurs à capot et tige
- les isolateurs à long fût.

I.2.3.3.1. Isolateurs à capot et tige :

L'isolateur capot et tige est constitué de trois parties :

- Bloc isolant ayant à l'intérieur une tige en acier, avec cannelures.
- Partie supérieure sous forme d'un capot scellé en fonte malléable dans le verre (ou la porcelaine).
- L'extrémité inférieure de la tige est arrondie formant ainsi la partie inférieure qui a les dimensions adaptées pour pénétrer dans le capot de l'élément suivant, ainsi qu'y rester maintenue par une goupille [13].

Chaque élément est constitué d'un capot, d'une partie isolante en forme de jupe et d'une tige. La coupe d'un tel isolateur est schématisée sur la (Figure I.3) [7]. La forme de la tête est dessinée de sorte que les efforts de traction appliqués à l'isolateur se transforment, autant que possible, en compression des diélectriques sur lesquels apparaissent, toutefois, inévitablement certaines contraintes de cisaillement [9]. Une chaîne d'isolateurs est constituée de plusieurs éléments de type capot et tige ou autres. Ces éléments sont soumis principalement à des efforts de traction. Ils sont généralement utilisés en suspension et forment des chaînes d'isolateurs soit verticales (alignement), soit horizontale (ancrage) [11].



Figure I.3. Isolateurs à capot et tige

I.2.3.3.2. Isolateurs à long fût :

a) *En céramique :*

L'isolateur à long fût (Figure I.4) est constitué d'un bâton cylindrique en céramique, en porcelaine ou en matériaux synthétiques muni d'ailettes, à chaque extrémité duquel est fixée une pièce métallique de liaison. Ils sont utilisés pour les lignes haute tension [14]. Leur avantage est d'être plus léger que les isolateurs à capot et tige avec un inconvénient de fragilité aux chocs mécaniques [11].



Figure I.4. Isolateur à long fût en céramique

b) *En matériaux synthétiques :*

Constitué d'un matériau synthétique dont la caractéristique principal est la bonne tenue à la pollution, le faible encombrement, la résistance au vandalisme et la légèreté, en particulier lorsqu'on les compare aux chaînes d'isolateurs pour les lignes de tension électrique élevée [15].

Ce type d'isolateurs est appelé composite, il est constitué de trois parties selon le rôle :

- ❖ Un noyau en fibre de verre, imprégnées de résine, capable d'assurer l'isolement et de supporter les efforts mécaniques générés par les conducteurs.
- ❖ Un revêtement en élastomère en EPDM (Ethylène Propylène Diène Monomère), vulcanisés à chaud qui donne le profil et précise la ligne de fuite tout en protégeant le noyau contre toute attaque des agents extérieurs en assurant l'étanchéité au raccordement avec les pièces métalliques d'extrémités. Son profil à ailettes alternées permet d'accroître la tenue sous pollution.
- ❖ Des pièces métalliques, en fonte malléable ou acier forgé galvanisé à chaud, elles sont nécessaires au montage de l'isolateur et à la transmission des efforts mécaniques [16].



Figure I.5. Isolateur à long fût en matériaux synthétiques

I.2.4. Quelques définitions concernant les isolateurs :

I.2.4.1. Contournement :

C'est une décharge disruptive accompagnée d'étincelles se déplaçant sur l'interface d'un isolateur d'une électrode vers une autre [7]. Le contournement déclenche habituellement les protections du réseau (disjoncteurs,...) et cause la dégradation des isolateurs [4]. Le contournement est dû au déplacement des charges libres accélérées par le champ électrique appliqué [17]. Il se manifeste par un arc électrique dans l'air environnant entre deux pièces conductrices. L'endommagement est superficiel à cause de l'énergie thermique dégagée par l'arc [11].

I.2.4.2. Ligne de contournement :

La ligne de contournement (L) est la distance la plus courte dans un gaz entre les électrodes [18].

I.2.4.3. Ligne de fuite :

La ligne de fuite (L_f) est la distance la plus courte le long de la surface d'un isolateur entre les deux électrodes [17].

I.2.4.4. Ligne de perforation

Distance la plus courte dans la matière isolante d'un isolateur, entre deux parties conductrices.

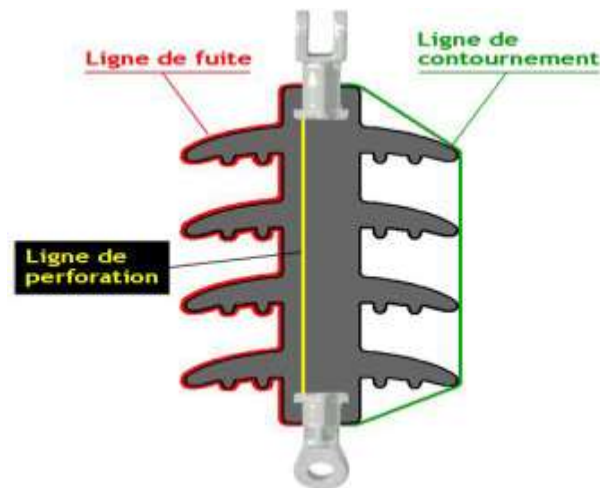


Figure I.6. Les Caractéristiques d'un isolateur.

I.2.5. Choix des isolateurs :

Les isolateurs entrent pour un pourcentage très modeste de l'ordre de 7%, dans le prix d'une ligne aérienne moyenne tension. Cependant, ils sont un élément essentiel dont dépendent la sécurité d'exploitation, la qualité et la continuité de service [19].

Une des caractéristiques des isolateurs de lignes est leur forme, qui rappelle celle de champignons debout les uns sur les autres. La conception des isolateurs est en grande partie dictée par la nécessité de limiter les courants de fuite due à la pellicule d'humidité et de sel précipité que l'on retrouve à la surface des isolateurs. Cette pellicule est beaucoup plus conductrice que le matériau lui-même. A terme, il pourra en résulter un arc électrique destructeur. Ainsi, on choisira un isolateur qui allonge significativement le trajet du courant circulant à sa surface [4].

Le matériau isolant choisi pour cette fonction (isolation) sera donc déterminé par sa résistance mécanique en flexion ou en traction (selon le type d'isolation) et par sa porosité de surface. Un matériau très lisse, comme la porcelaine, sera moins enclin à fixer sur sa surface des polluants de l'air, comme le sel, qu'un matériau très poreux. Egalement, le matériau devra avoir une résistivité la plus élevée possible, afin d'éviter que l'isolateur lui-même ne soit un conducteur d'électricité [4].

I.3. Pollution des isolateurs :

Par définition, le mot « pollution » désigne la dégradation d'un milieu qui se produit par l'introduction, directe ou indirecte, de substances nocives pour l'environnement ou par la modification de ses caractéristiques biologiques, chimiques ou physiques. Cela implique que, lorsqu'on parle des isolateurs, le phénomène de pollution est défini comme étant la dégradation de la surface isolante par des électrolytes solubles ou des particules inertes non solubles, qui sont des substances ayant la capacité d'altérer la performance électrique des isolateurs [20].

Le terme « pollué », souvent associé avec le mot « sale » au sens usuel, prend ainsi une autre signification lorsqu'il est utilisé pour décrire l'état d'un isolateur. Autrement dit, un isolateur pollué n'a pas nécessairement l'apparence d'être sale. En effet, un isolateur qui est fortement pollué par un embrun salin peut paraître propre alors que sa performance électrique subit une forte dégradation. Par contre, un autre isolateur recouvert de suie, qui paraît sale, peut avoir une performance électrique remarquable. D'où, un isolateur est considéré comme d'augmenter la conductivité surfacique de cet isolateur. Le mot « contamination » est alors plus approprié dans ce cas pour décrire le phénomène de pollution des isolateurs et il se réfère plutôt à la conductivité électrique de la surface des isolateurs qu'à leur apparence extérieure [20].

Même bien choisie, une isolation n'est jamais à l'abri d'un incident. La sévérité de la pollution d'un site peut changer. L'apparition d'une nouvelle usine à proximité d'un poste, la construction d'un ouvrage routier voisin ou plus simplement, un événement météorologique exceptionnel peuvent augmenter, durablement ou temporairement, la pollution d'un site, alors qu'un poste ou une ligne y sont déjà en exploitation. Le dimensionnement initialement correct des isolateurs peut alors devenir insuffisant et il faut pouvoir protéger les installations existantes contre les nouvelles sources de pollution [11].

I.3.1. Sources de pollution :

Les substances polluantes qui contaminent les isolateurs peuvent provenir de différentes sources dépendamment du type d'environnement dans lequel se trouve le site. À titre d'exemples, dans un environnement de type marin, les électrolytes solubles proviennent des embruns salins de la mer qui sont présents dans l'atmosphère et constituent ce qu'on appelle la pollution marine. Dans un environnement type industriel, les isolateurs sont exposés à la pollution industrielle dont les substances solubles proviennent de la fumée produite par des centrales électriques thermiques (à charbon ou au mazout), des aciéries ou des raffineries alors que les substances inertes non solubles proviennent de la poussière générée par des cimenteries ou des mines de ciment. Et particulièrement en hiver, la plupart des isolateurs qui sont installés à proximité des autoroutes sont sujets à la pollution hivernale dont les sources d'électrolytes solubles sont principalement le salage des routes.

Il arrive parfois que la fumée provenant du chauffage domestique dans un milieu urbain à forte densité de population constitue aussi une source de pollution en hiver. Certes, il existe d'autres types d'environnement qui sont également susceptibles de produire les substances polluantes selon la norme IEC 60815 (2008)[20].

I.3.1.1.Types de pollution :

I.3.1.1.1. Pollution naturelle :

La pollution naturelle provient [21]:

- 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.

I.3.1.1.1.1. Pollution marine :

Dans les installations en bordure de mer, les embruns portés par le vent déposent progressivement sur les isolateurs une couche de sel qui, à plus ou moins longue échéance, recouvre toute la surface de l'isolateur y compris les parties les mieux protégées. Cette couche de sel, humidifiée par les embruns eux même, ou par un brouillard ou simplement par condensation, devient conductrice. Un courant de fuite s'établit alors à travers la couche superficielle et des arcs électriques peuvent prendre naissance dans certaines conditions, et ce d'envelopper jusqu'à provoquer le contournement total de l'isolateur [22].

I.3.1.1.1.2. Pollution désertique :

Dans les régions désertiques, les fréquentes tempêtes de sables déposent progressivement sur les surfaces des isolateurs une couche de pollution contenant des sels. Une fois humidifiée, cette couche devient beaucoup plus conductrice [11]. 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 [21].

I.3.1.1.2. Pollution industrielle :

Ce type de pollution est fréquent dans les zones industrielles surtout à proximité des usines, entreprises de production éjectant des fumées (raffinerie, cimenterie,.....). Par ailleurs les gaz d'échappements (centrale thermiques) et les engrais utilisés en agriculture contribuent aussi aux dépôts observés à la surface des isolateurs [23] [24].

En présence d'une humidité intense, le sel contenu dans ces polluants abaisse considérablement la résistivité superficielle des isolateurs et le contournement peut parfois avoir lieu [25].

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 [21].

I.3.1.1.3. 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 situées au bord de mer [21].

I.3.1.2. Classifications de types de pollution :

La composition de cette pollution est variable suivant les sources de contamination et les conditions auxquels sont soumis les isolateurs. La norme CES 815 donne le classement de la pollution suivant son origine (Tableau 1-1). Essentiellement, les types de pollution qui existent sont: la pollution naturelle, la pollution industrielle et la pollution mixte [26].

Tableau I.1. Classification de la pollution selon le type d'environnement

Niveaux de pollution	Exemples d'environnements typiques
I. Faible	- Zones sans industries et avec faible densité d'habitations équipées d'installations de chauffage. - Zones avec faible densité d'industries u d'habitations mais soumises fréquemment aux vents et/ou pluies. - Régions agricoles. - Régions- montagneuses.
II. Moyen	- Zones avec industries ne produisant pas de fumées particulièrement polluantes et/ou avec une densité moyenne d'habitations équipées d'installations de chauffage. - Zones à forte densité d'habitations et/ou d'industries mais soumises fréquemment aux vents et/ou à des chutes de pluies. - Zones. exposées au vent de mer, mais pas trop proches de la côte.
III. Fort	- Zones avec forte densité d'industries et banlieues de grandes villes avec forte densité d'installation de chauffage polluantes. - Zones situées près de la mer, ou en tout cas exposées à des vents relativement forts venant de la mer.
IV. Très fort	- 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 proches de la côte et exposées aux embruns et aux vents très forts et polluants venant de la mer. - Zones désertiques caractérisées par de longues périodes sans pluie, exposées aux vents forts transportant du sable et du sel et soumise à une condensation régulière.
--	---

I.3.2. Formation et répartition des couches polluantes :

Suite à l'écoulement d'un air transportant des poussières diverses, une couche de pollution se forme à la surface des isolateurs. La répartition non-uniforme et non-homogène de cette couche dépend du profil de l'isolateur, de la position de la chaîne par rapport au sol (verticale, horizontale, inclinée), du niveau de tension ainsi que du degré de pollution du site où est situé l'isolateur [7].

La non-uniformité de la pollution peut être classée en trois catégories:

a) *Non-uniformité longitudinale par groupe :*

Elle est caractérisée par un ensemble de groupes d'isolateurs, soumis à différentes conductivités de la couche de pollution, dont la valeur est constante dans chaque groupe.

Nous retrouvons ce type de pollution dans les cas suivants :

- temporairement pendant le lavage sous tension.
- dans les chaînes d'isolateurs en forme de « T ».
- par effet du champ électrique où la concentration de la pollution est accentuée sur les isolateurs les plus proches de la borne haute tension [27].

b) *Non-uniformité transversale :*

Ce type est caractérisé par des secteurs ou bandes de différentes conductivités superficielles de la couche polluante. Ces bandes sont réparties transversalement autour de la surface de chaque isolateur de la chaîne. La conductivité dans chaque secteur est la même le long de la ligne de fuite.

Ce type de pollution est dû principalement à l'existence d'une direction privilégiée des vents et des pluies [27].

c) *Non-uniformité longitudinale périodique :*

Ce type est le plus fréquent. Il est caractérisé par une variation périodique de la conductivité de la couche de pollution le long de la ligne de fuite, mais elle garde une symétrie circulaire. Ces principales spécifications sont :

- la face inférieure de l'isolateur présente une conductivité plus grande que la face supérieure.

- la concentration de la pollution augmente de la zone périphérique vers la zone centrale.
- la pollution est plus accentuée entre les nervures [27].

I.3.3. Conséquences de la pollution :

Les couches polluantes qui s'accumulent à la surface des isolateurs provoquent une conductivité électrique superficielle [28]. Celle-ci modifie la répartition du potentiel le long de la ligne de fuite. Suivant les conditions atmosphériques (pluie fine, brouillard,...), la tension de rupture diélectrique de l'air peut être atteinte entre deux points de la surface isolante entraînant l'amorçage d'un arc électrique qui court-circuite une partie de la ligne de fuite [11].

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

a) *Arc non localisé :*

On appelle arc non fixe (non localisé), lorsqu'il s'amorce et s'éteint rapidement pour se réamorcer dans un autre endroit sur la surface d'un isolateur [4]. Il y a apparition de courant de fuite entraînant une petite perte d'énergie, généralement supportable par l'installation [29].



Figure I.7. Initialisation des arcs électriques

b) *Arcs fixe :*

Contrairement au précédent, il se fixe sur la surface de l'isolateur, soit en s'y maintenant (pour un courant continu), soit en s'y réamorçant au même endroit (courant alternatif). Ce type d'arcs peut provoquer une dégradation de l'isolation par son effet thermique [4].



Figure I.8. Evolution des arcs électriques

c) Contournement des isolateurs :

Le contournement d'une surface polluée et humidifiée, dans ce cas, l'arc électrique atteint l'électrode opposée [4]. Ce qui entraîne l'apparition d'un courant de fuite accompagné de la formation d'une bande sèche et d'arcs partiels, et la propagation de l'arc qui peut couvrir tout l'isolateur [30]. Ce phénomène conduit à une rupture de l'isolation.

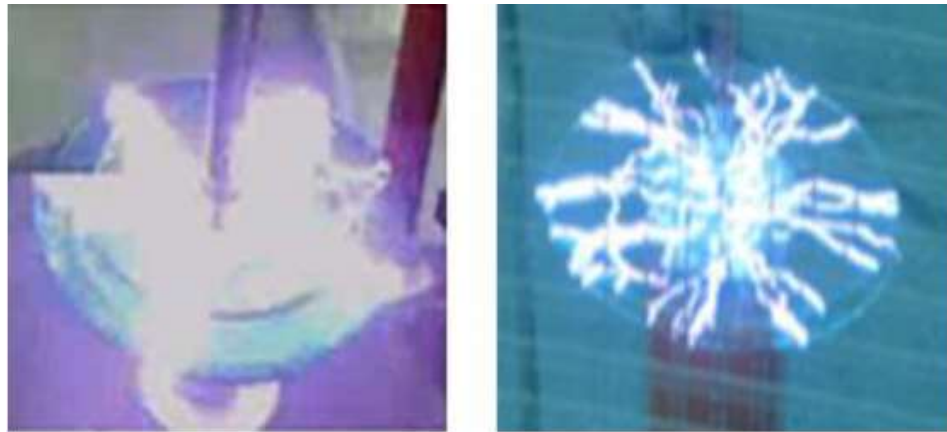


Figure I.9. Contournement total

I.4. Conclusion :

A travers ce chapitre on conclut que pour remplir leur rôle, les matériaux isolants et les isolateurs, doivent vérifier des critères mécaniques, électriques et environnementaux. Chaque type d'isolateurs est destiné pour une isolation précise. Ainsi le choix de l'isolateur, ou le dimensionnement même de celui-ci, se fait en tenant compte des critères (contraintes) déjà mentionnés pour assurer une qualité et continuité de service, aussi réaliser un couple qualité prix optimal [4].

La pollution des isolateurs est un facteur essentiel dont il faut tenir compte dans la conception des lignes électriques de haute tension. Pour mieux dimensionner l'isolateur, il est indispensable de connaître la sévérité de la pollution des sites concernés. La connaissance de cette sévérité consiste à étudier les différents paramètres qui définissent l'état de dégradation de l'isolation [11].

La tension de contournement d'un isolateur pollué dépend essentiellement de la conductivité du dépôt polluant (degré de pollution) ainsi que de la répartition de la couche de pollution sur la surface isolante. La connaissance de ce degré de pollution est par conséquent, une condition préalable et indispensable pour apprécier le niveau de l'isolement des ouvrages installés sur site, en vue de dimensionner convenablement l'isolation [1].

Chapitre II : Méthodes de diagnostic et de détection des objets

II.1. Introduction :

Les isolateurs de type extérieurs sont soumis à diverses contraintes d'exploitations et d'environnement. La contamination de la surface des isolateurs constitue l'un des facteurs majeurs qui augmente la probabilité du contournement. Au cours des deux dernières décennies, une variété de techniques se basant sur le traitement du signal du courant de fuite a été proposée afin de suivre le comportement de l'isolateur pollué en temps réel. Parmi ces techniques, nous citons la transformée de Fourier, la transformée en ondelette, le technique récurrent plot et d'autres. Des méthodes d'apprentissage supervisé ont été également exploitées par plusieurs chercheurs dans le but de prédire le degré de sévérité de la pollution déposée sur la surface des isolateurs [31].

Détection un objet dans une image est une opération qui consiste à distinguer la région objet de celle du fond suivant un critère défini. Suivre un objet dans une séquence d'images est une opération qui consiste à localiser la région objet. Plusieurs techniques peuvent être utilisées afin d'assurer ces opérations [32].

Dans ce chapitre, nous présentons une synthèse des plus récents travaux portant sur la pollution ainsi que le diagnostic des isolateurs pollués. Aussi, nous présentons les techniques les plus importantes utilisées pour détection d'un objet.

II.2. Les méthodes de diagnostic :

II.2.1. Définition :

An sens, strict, ces méthodes supposent qu'aucun modèle n'est disponible pour décrire les relations de cause à effets. La seule connaissance repose sur l'expertise humaine confortée par un solide retour d'expérience. Dans cette catégorie, on retrouve toutes les méthodes basées sur l'intelligence artificielle, la reconnaissance des formes, les systèmes experts et les réseaux de neurones artificiels [33].

II.2.2. Détermination de la probabilité d'occurrence d'un contournement des isolateurs composites en utilisant les composantes harmoniques du signal du courant de fuite :

Dans des études antérieures, ils [34] ont proposé une nouvelle méthode pour prédire le contournement des isolateurs type Caoutchouc de Silicium (Silicon Rubber (SIR)) et sa probabilité d'occurrence en analysant les composantes harmoniques du signal du courant de fuite. Les essais ont été effectués sur des échantillons d'isolateurs pollués avec différents profils (Figure II.1) (Tableau II.1) [31].

Tableau II.1. Caractéristiques des isolateurs

Isolateur N°	1	2	3	4	5
Tension nominale (kV)	33	24	24	24	24
Longueur de la chaîne d'isolateurs (mm)	720	520	520	449	449
Ligne de fuite (mm)	1070	770	590	674	630



Figure II.1. Isolateurs testés

Afin de valider leur nouvelle méthode, ces chercheurs ont mesuré le courant de fuite sur les différents isolateurs, pour différents taux d'humidités et pour des niveaux de contamination distincts. Les résultats obtenus pour l'isolateur N°1 sont représentés sur la figure II.2. [31].

Ces chercheurs [34] ont montré que lorsque l'amplitude de la composante harmonique d'ordre 5 est plus importante que celle d'ordre 3, cela signifie que l'isolateur est propre ou bien très légèrement pollué. Les chercheurs ont aussi observé que si le contournement ne se produit pas au début de l'humidification, alors celui-ci ne se produira pas avec la saturation en humidité. Dans le même travail, les chercheurs ont prouvé que la variation du rapport entre les amplitudes de l'harmonique 5 et 3 est un excellent critère pour juger l'état de surface d'un isolateur donné.

$$K_{5/3} = \frac{\text{Amplitude de l'harmonique 5}}{\text{Amplitude de l'harmonique 3}}$$

D'après les tests effectués dans le même laboratoire, les chercheurs ont remarqué que dans les conditions normales de service, l'index $K_{5/3}$ est supérieur à 100%. Donc, ils concluent que si cette condition est vérifiée, alors le contournement est très lointain. Par ailleurs, ils ont aussi remarqué que pour tous les cas où le contournement se produit, l'index $K_{5/3}$ est inférieur à 30%. alors, ils déduisent que pour reconnaître qu'un isolateur est $K_{5/3}$ est inférieur à 30%. Est une condition nécessaire mais pas suffisante. Ils démontrent que la probabilité d'occurrence du contournement dans ce dernier cas est de 90% [34].

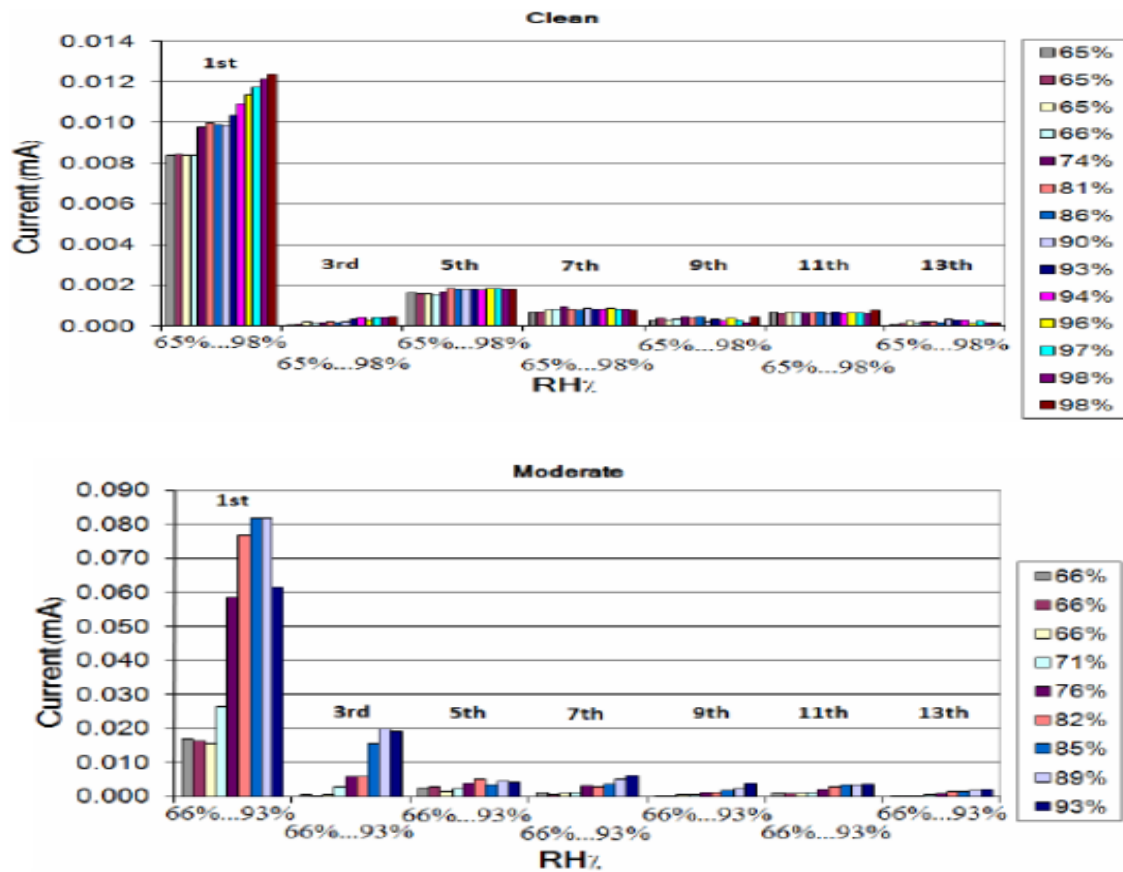


Figure II.2. Variation de l'amplitude des harmoniques du courant de fuite pour différents taux d'humidités et différents niveaux de contaminations

II.2.3. Analyse des décharges partielles pour le diagnostic de l'état de surface des isolateurs en polymères :

Afin d'estimer la sévérité de pollution des isolateurs de ligne, S. Chandrasekar et al [35] ont analysé les décharges partielles sur les isolateurs SIR (Silicon Rubber). Dès lors, des tests sur plusieurs échantillons (figure I.3) sous tension alternative avec différents niveaux de pollution et différentes humidités relatives de l'air (RH) ont été effectués [31]

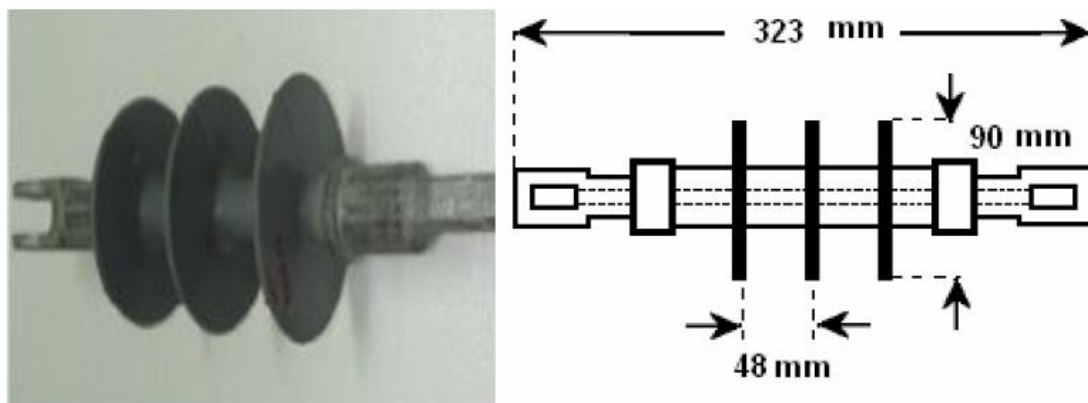


Figure II.3. Photographie et schéma d'un échantillon SIR 11 kV

Les isolateurs sont suspendus dans une chambre ($1.5\text{ m} \times 1.5\text{ m} \times 1.5\text{ m}$) où le brouillard (NaCl) est injecté afin de varier le ESDD en mg/cm^2 de 0.06 à 0.25. Pour cette expérience, le montage utilisé est celui de la figure II.4 [31].

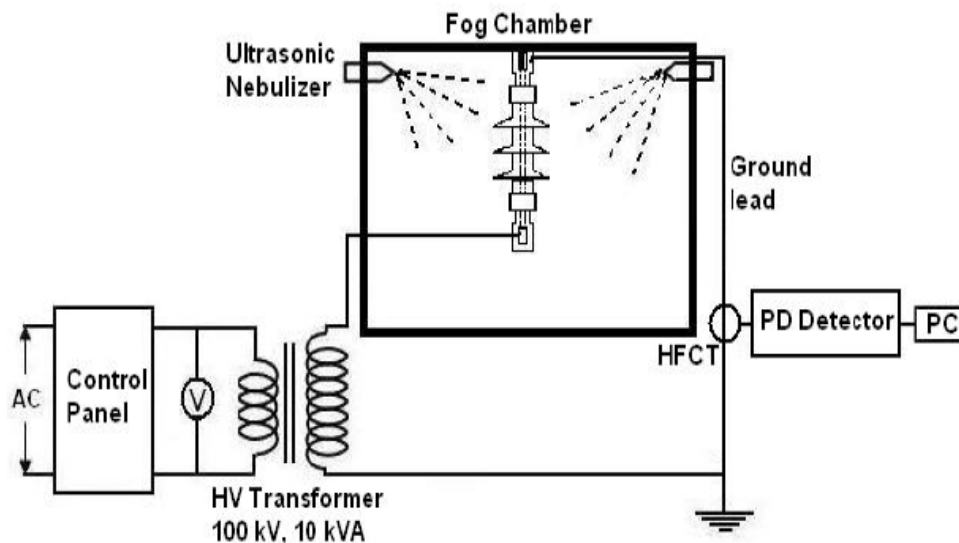


Figure II.4. Montage expérimental

Plusieurs essais ont été effectués :

- essais sur un isolateur SIR propre, sous différents taux d'humidité relative de l'air (30 à 40%);
- essais sur un isolateur SIR ($\text{ESDD} = 0.08\text{ mg}/\text{cm}^2$, $\text{RH}=60$ à 100%) ;
- essais sur un isolateur (SIR) à $\text{RH}=100\%$, (ESDD varie de 0.06 à $0.25\text{ mg}/\text{cm}^2$).

Pour les isolateurs propres, les auteurs ont noté l'absence de décharges partielles.

Pour un niveau de pollution de 0.08 ESDD , et un taux d'humidité relative allant de 60 à 100% (figure II.5), les auteurs ont observé que :

- l'amplitude des DP augmente avec l'augmentation du RH ;
- pour de faibles RH (60% à 80%), les composantes fréquentielles dominantes du signal DP sont comprises dans la bande 6-25 MHz ;
- pour des valeurs élevées de RH (au-dessus de 90%), les composantes fréquentielles sont comprises dans la bande 2-6 MHz [34].

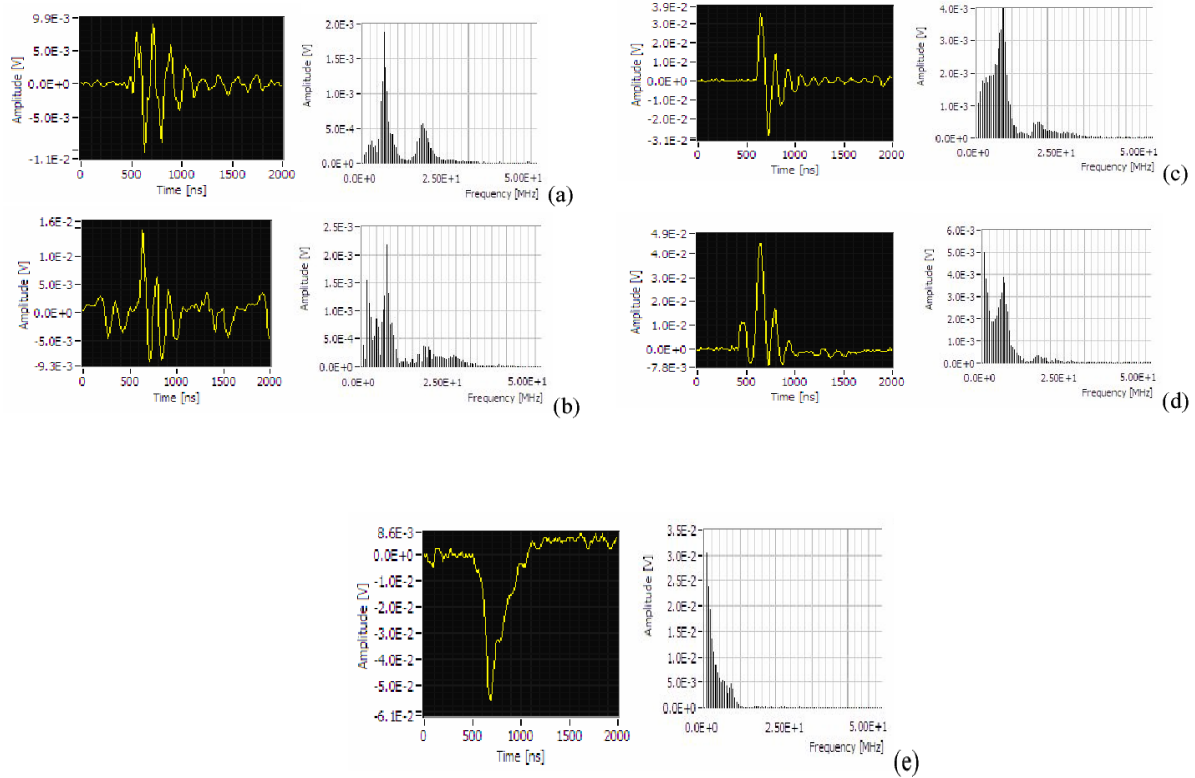


Figure II.5. Signaux obtenus (représentations temporelles et fréquentielles) des DP à 0.08 ESDD : (a) 60%RH, (b) 70%RH, (c) 80%RH, (d) 90%RH, (e) 100%RH.

Pour un niveau de pollution variant de 0.06 ESDD à 0.25 ESDD avec un RH=100% (figure II.6), les auteurs ont conclu que quand le niveau de pollution augmente :

- les amplitudes des DP augmentent ;
- le taux de répétition (apparition de la totalité des DP dans un délai spécifique) diminue ;
- les amplitudes des composantes fréquentielles augmentent dans la bande 1-6 MHz.

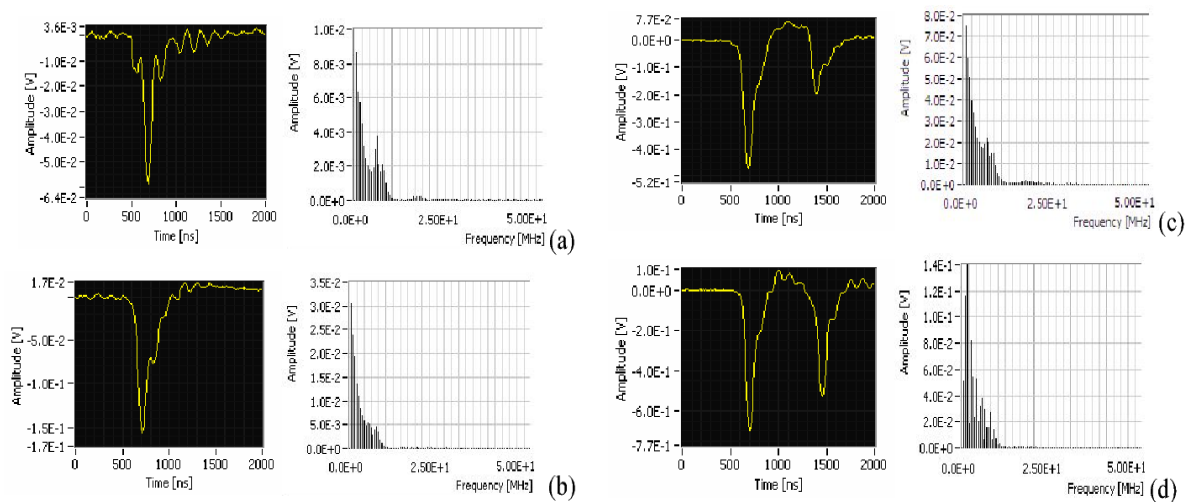


Figure II.6. Signaux obtenus (représentations temporelles et fréquentielles) des DP pour RH=100% : (a) 0.06 ESDD, (b) 0.08 ESDD, (c) 0.12 ESDD, (d) 0.25 ESDD.

En se basant sur les résultats et les figures obtenues, les auteurs ont conclu qu'à des pollutions élevées, la valeur de l'asymétrie du signal des DP diminue considérablement avec l'augmentation de la pollution. Cependant, ils pensent que l'utilisation de ce paramètre à lui seul ne suffit pas pour le diagnostic de l'état de l'isolateur. Cette étude fut achevée par une analyse statistique, dont les paramètres sont : le paramètre de forme β et la phase moyenne du signal DP, et cela pour différents ESDD et RH. La variation du paramètre β et de la phase moyenne s'avère comme un bon outil pour le diagnostic de la sévérité de la pollution [35].

II.2.4. méthodologie de traitement d'image :

Le travail décrit [36] expose une nouvelle méthodologie pour l'analyse de l'activité des décharges électriques et le monitoring du contournement. Les tests ont été effectués sur une surface plane polluée pour assurer une meilleure visibilité de l'apparition et propagation des décharges. Après une analyse minutieuse de l'activité de ces décharges, a été découvert 8 états des décharges sur la surface de l'isolateur (figure II.7). Parmi ces 8 états, 4 incluent la formation d'arcs électriques. De ce fait, a été fait élaborer un algorithme en vue de détecter l'apparition de ces arcs. Pour cela, et propose de calculer quatre indicateurs (N_l , N_p , L et W) décrivant et quantifiant l'activité des décharges électriques sur la surface isolante. Puis, ces indicateurs sont utilisés comme entrées pour différentes méthodes de classification (Kppv, Naïve Bayes and SVM) en vue de discerner le cas de présence de décharge de type arc.

Dans ce travail, la méthode de segmentation d'Otsu permet d'obtenir de très bons résultats et représente assez bien la texture des images extraites à partir des vidéos d'essais montrant la propagation des décharges électriques sur le modèle plan de l'isolateur. Cependant, les images segmentées par la méthode d'Otsu contiennent aussi du bruit. Ce dernier est dû aussi bien à l'éclairage du laboratoire d'essai qu'à la lumière du jour qui est réfléchi sur le bord supérieur de l'isolateur (figure II.8). A ce fait propose l'utilisation du filtrage morphologique. Ce filtrage, combine les opérations d'érosion et de dilatation pour supprimer les pixels non représentatifs des décharges électriques. Ainsi, nous constatons que le filtrage morphologique est indispensable pour permettre une vision correcte des décharges.

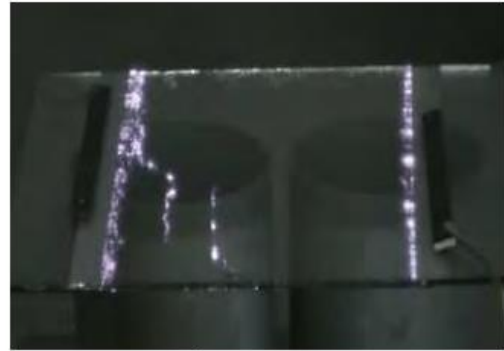
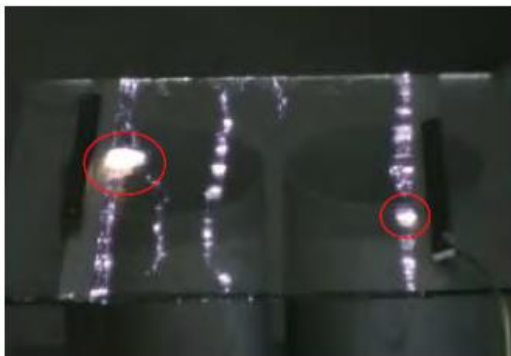
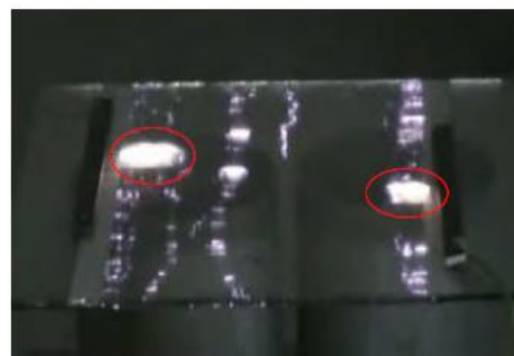
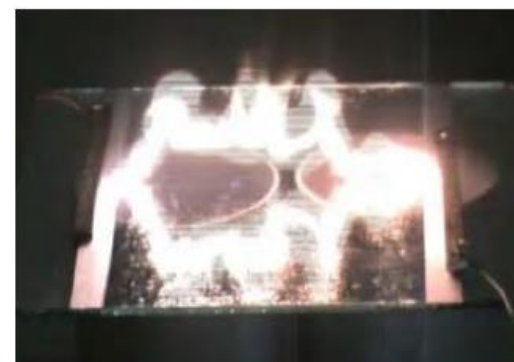
(a) Étape 1 ($4 \text{ kV}_{\text{eff}}$)(b) Étape 2 ($6 \text{ kV}_{\text{eff}}$)(c) Étape 3 ($15 \text{ kV}_{\text{eff}}$)(d) Étape 4 ($20 \text{ kV}_{\text{eff}}$)(e) Étape 5 ($24 \text{ kV}_{\text{eff}}$)(f) Étape 6 ($28 \text{ kV}_{\text{eff}}$)(g) Étape 7 ($30 \text{ kV}_{\text{eff}}$)(h) Décharge de contournement ($32 \text{ kV}_{\text{eff}}$)**Figure II.7.** Étapes du processus de contournement



Figure II.8. Bruit présent sur les images, causé par la réflexion de la lumière sur le bord supérieur de l'isolateur plan

Les quatre indicateurs ainsi obtenus permettent de quantifier et de caractériser des phénomènes de décharges très intéressants :

- Les fluctuations de N_l et N_p précédant le contournement permettent de mettre en avant le phénomène d'intermittence des décharges électriques.
- Avec l'augmentation de la tension appliquée, le nombre de décharges électriques sur la surface isolante, quantifié par N_l , augmente. Cependant, ce nombre décroît juste avant le contournement ($1 \text{ kV}_{\text{eff}}$ avant la tension de contournement) indiquant l'apparition de l'arc de contournement final.
- N_p étant le nombre de pixels de la plus grande décharge, permet de savoir si les arcs sont présents. En effet, une fluctuation de N_p est synonyme d'activité d'arcs électriques.
- L et W permettent de quantifier l'espace pris par les arcs électriques. En effet, lors de faibles niveaux de la tension appliquée, les décharges sont dispersées sur des surfaces plus ou moins larges.
- La diminution de W est synonyme de formation d'arcs électriques.
- Les quatre indicateurs permettent de prévenir le phénomène de contournement des isolateurs. En effet, N_p , L et W décrivent la décharge la plus proéminente, ils augmentent donc à l'approche du contournement. Cependant, N_l décompte le nombre de décharges à la surface de l'isolateur, il diminue donc avant le contournement.

Le choix de la méthode de classification est loin d'être anodin. Il dépend grandement du type de donnée d'entrée. Dans notre travail, les SVM donnent le meilleur taux de classification permettant de prévenir l'apparition du contournement (Tableau II.2).

Tableau II.2. Résultats de la classification des décharges

	Taux de réussite (%)
SVM	95.57
Kppv	92.47
Bayes	88.05

Le travail effectué tout au long de ce chapitre prouve l'efficacité du traitement d'image pour le monitoring et la surveillance de l'état de surface d'un isolateur plan sous pollution. A travers un algorithme combinant la segmentation, l'extraction de caractéristique et la classification, l'apparition des arcs électriques a été détectée avec succès, permettant ainsi de prévenir le phénomène de contournement électrique [36].

II.2.5. Mesure du champ électrique en cas d'une chaîne des isolateurs polluée

Dans des études antérieures, ils [37] ont proposé une méthode pour Mesure du champ électrique autour d'une chaîne d'isolateurs soumis aux diverses contraintes; l'étude a été réalisée dans plusieurs circonstances; dans ce travail, nous résumons l'essai mesure du champ électrique en cas d'une chaîne des isolateurs polluée, cette contamination a été réalisée par la pulvérisation du surface de la chaîne d'isolateurs avec la solution comprend l'eau distillée et la poussière désertique. Pour une bonne diffusion de la pollution sur la surface des isolateurs.

- Ce processus a été appliqué 5 fois de chaque côté et à une distance de 30 cm de l'axe central de la chaîne d'isolateurs (figure II.9).
- Ont été représentés la répartition du champ électrique sur un axe parallèle ($d=1m$) à l'axe centrale du chaîne d'isolateurs dans des conditions de pollution, afin d'illustrer les zones a champ maximal.
- Différentes valeurs de conductivité de la pollution ont été utilisées pour simuler un éventuel degré de pollution affectant la performance de la chaîne dans une région désertique (des faibles à des degrés extrêmes), tels que 0.5, 1.4, 1.72 et 1.97 mS/cm.
- Dans cette étude, toutes les formes d'ondes du champ électrique ont été enregistrées en utilisant le PC personnel ainsi que via la connexion USB avec la carte Arduino Uno,
- Afin de mesurer les valeurs du champ électrique pour la plupart des points le long et autour de la chaîne d'isolateur, différentes positions de détection ont été choisies sur l'axe vertical et horizontal, comme illustré à la figure II.10.

La figure II.12 montre un exemple de forme d'onde du champ électrique capturée par la 7ème sonde (voire figure II.11), lorsque la tension appliquée est égale à 80kV dans des conditions propres et pour des distances horizontales différentes.



Figure II.9. Méthode de pulvérisation



Figure II.10. La chaîne d'isolateurs utilisée et les axes de mesure du champ

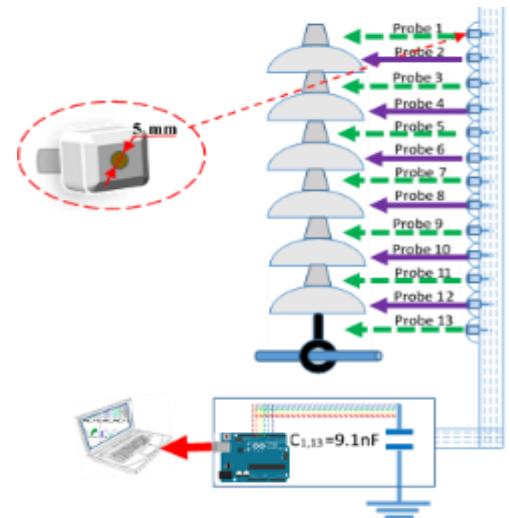


Figure II.11. Schéma montrant la méthode de mesure

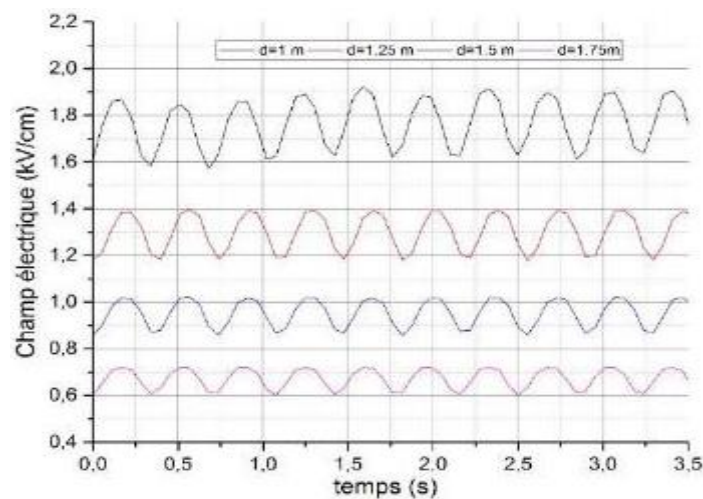


Figure II.12. Forme d'onde donnée par l'Arduino Uno

II.2.5.1. Résultat :

La figure III.13 représente la distribution du champ le long de l'axe longitudinale ($d=1$ m) pour des différentes valeurs de conductivité superficielle (0,5, 1,4, 1,72 et 1,97 mS/cm) de pollution déposée sur des différents éléments de la chaîne (éléments 1 et 2 côté de l'électrode HT, 3 et 4 au milieu, 5 et 6 côté de l'électrode Terre et sur tous les éléments de la chaîne). La tension appliquée pour chaque configuration de pollution est 80 kV [37].

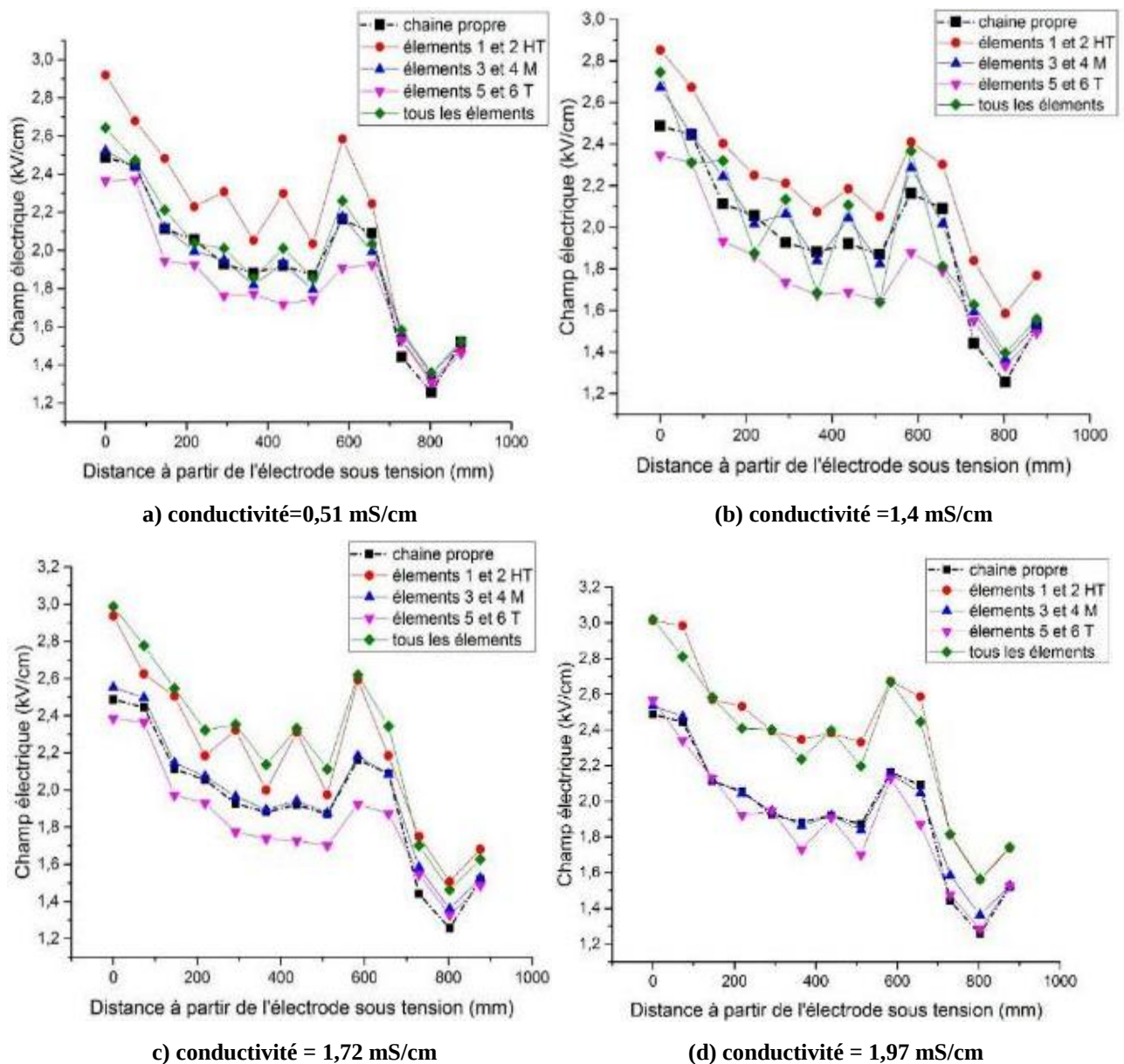


Figure II.13. Effet de la couche polluée sur la répartition du champ électrique le long de l'axe longitudinale ($d=1m$) et pour des différentes positions de pollution sur la chaîne d'isolateurs

- **Remarque :**

De la figure II.13 on remarque :

- le champ est maximal pour tous les cas où les éléments 1 et 2 à côté de l'électrode HT sont pollués.
- Il atteint pour une conductivité de 1,97 mS/cm (figure II.13(d)) une valeur de 3,01 kV/cm autour d'électrode HT et 2,67 kV/cm autour de la zone du raccord métallique entre l'élément 4 et 5 de la chaîne.
- si les éléments à côté de l'électrode de Terre (5 et 6) sont pollués, et quelle que soit la conductivité de pollution, le champ électrique le long de l'axe de mesure est faible.

- **Explication :**

Cela peut être interprété par le fait que la composante tangentielle du champ électrique devient très important par rapport à la composante normale mesurée, qui peut se traduire par un apport plus important du champ électrique résultant orienté vers les éléments 5 et 6 pollués (électrode de Terre flottant), Ceci est peut aussi être dû à la diminution de la ligne de fuite de la chaîne d'isolateurs.

II.2.5.2. Conclusion :

La distribution du champ électrique sous certaines conditions de pollution ont montré que l'intensité moyenne autour de l'élément au voisinage de l'électrode de Terre (6^{ème} élément) est toujours supérieur aux celles obtenus en cas d'une chaîne propre et sec. Ainsi, les essais dans le cas où les éléments placés au milieu de la chaîne d'isolateurs de suspension (3^{ème} et 4^{ème}) sont pollués par les conductivités 1,72 mS/cm et 1,97 mS/cm (figure II.13(c) et (d)), le champ électrique mesuré est très similaire à celle obtenue dans les conditions propre et sec. En plus, d'après les résultats, des pics du champ électrique sont observés autour les parties métalliques. Comme nous pouvons le voir sur la figure III.9 ces pics sont très remarquable autour de la 3^{ème} et le 4^{ème} élément, surtout pour les deux cas où les surfaces des éléments adjacents à l'électrode sous tension (1 et 2) et de toute la chaîne sont polluées, Ils sont alors possible due au point triple, que n'est autre que le point de jonction des trois milieux constitué de la partie métallique (capot et/ou tige), du matériau de revêtement de l'isolateur et de l'air (milieu environnant). Le champ électrique en ce point est généralement le plus élevé [38] [39].

II.3. Méthodes de détection des objets:

II.3.1. Définition :

La détection d'objets est un domaine très actif de la recherche qui cherche à classer et localiser des régions/zones d'une image ou d'un flux vidéo. Ce domaine est à la croisée de deux autres : la classification d'image et la localisation d'objets. En effet, le principe de la détection d'objets est le suivant : pour une image donnée, on recherche les régions de celle-ci qui pourraient contenir un objet puis pour chacune de ces régions découvertes, on l'extrait et on la classe à l'aide d'un modèle de classification d'image -par exemple-. Les régions de l'image d'origine ayant de bons résultats de classification sont conservés et les autres jetés. Ainsi, pour avoir une bonne méthode de détection d'objets, il est nécessaire d'avoir un algorithme solide de détection de régions et un bon algorithme de classification d'images. [40] Localiser un objet dans une image est complexe et mesurer la performance de la localisation requiert une métrique adaptée. De plus, au contraire de la classification, il peut y avoir plusieurs objets dans la même image et le détecteur doit pouvoir le préciser (Figure II.15) [41].

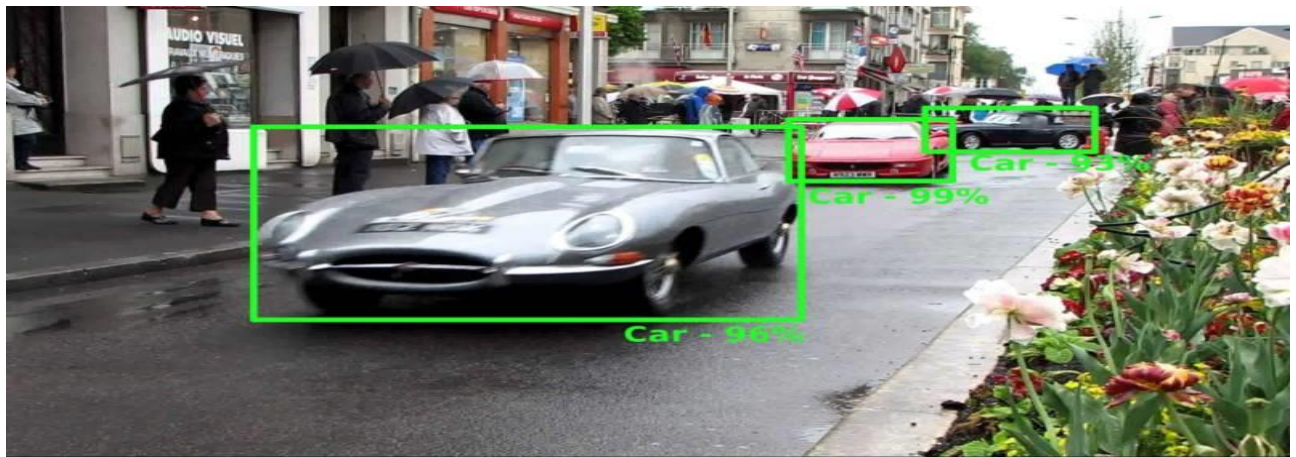


Figure II.14.Exemple de détection d'objets

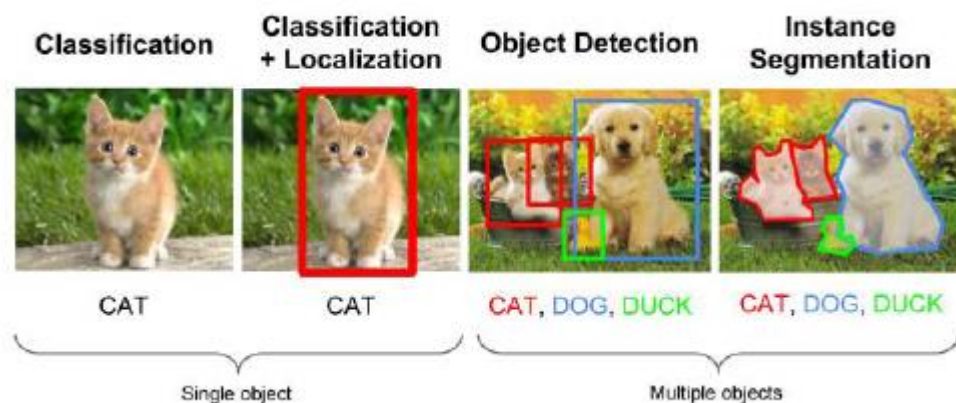


Figure II.15.Illustration de la différence entre la classification et la détection d'objets

II.3.2. OpenCV

II.3.2.1. Définition OpenCV :

OpenCV (Open Source Computer Vision) est une bibliothèque libre de vision par ordinateur. Cette bibliothèque est écrite en C et C++ et peut être utilisée sous Linux, Windows et Mac OS X. Des interfaces ont été développées pour Python, Ruby, Matlab et autre langage. Open CV est orienté vers des applications en temps réel. Un des buts d'OpenCV est d'aider les gens à construire rapidement des applications sophistiquées de vision à l'aide d'infrastructure simple de vision par ordinateur. La bibliothèque d'OpenCV contient plus de 500 fonctions [42].

II.3.2.2. Fonctionnalités:

La bibliothèque OpenCV met à disposition de nombreuses fonctionnalités très diversifiées permettant de créer des programmes partant des données brutes pour aller jusqu'à la création d'interfaces graphiques basiques. Elle propose la plupart des opérations classiques en traitement bas niveau des images et des vidéos [43].

II.3.2.2.1. Traitement d'images :

Elle propose la plupart des opérations classiques en traitement bas niveau des images :

- lecture, écriture et affichage d'une image.
- calcul de l'histogramme des niveaux de gris ou d'histogrammes couleurs.
- lissage, filtrage.
- seuillage d'image (méthode d'Otsu, seuillage adaptatif).
- segmentation (composantes connexes, GrabCut).
- morphologie mathématique [43].

II.3.2.2.2. Traitement vidéo :

Cette bibliothèque s'est imposée comme un standard dans le domaine de la recherche parce qu'elle propose un nombre important d'outils issus de l'état de l'art en vision des ordinateurs tels que :

- lecture, écriture et affichage d'une vidéo (depuis un fichier ou une caméra).
- détection de droites, de segment et de cercles par Transformée de Hough.
- détection de visages par la méthode de Viola et Jones.
- cascade de classifieurs boostés.
- détection de mouvement, historique du mouvement.
- poursuite d'objets par mean-shift ou Camshift.
- détection de points d'intérêts.
- estimation de flux optique (Méthode de Lucas–Kanade).
- triangulation de Delaunay.
- diagramme de Voronoi.

- enveloppe convexe.
- ajustement d'une ellipse à un ensemble de points par la méthode des moindres carrés [43].

II.3.2.3. Modules OpenCV:

OpenCV a une structure modulaire. Les principaux modules d'OpenCV sont énumérés ci-dessous :

a. CxCore (Cœur d'OpenCV) :

Contient les structures de donnée et les opérations mathématiques de base. Elle permet de réaliser les fonctions d'algèbre matriciel, la transformation de données, la gestion de mémoire, la manipulation d'erreurs, le chargement dynamique de code et permet aussi la réalisation des graphiques [43].

b. HighGui (bibliothèque d'interface graphique)

OpenCV intègre sa propre bibliothèque haut-niveau pour ouvrir, enregistrer et afficher des images et des flux vidéo. Celle-ci contient aussi un certain nombre de fonctions permettant de réaliser des interfaces graphiques très simples, mais largement suffisantes pour tester nos programmes [43].

c. ImgProc (traitement d'image) :

Ce module comprend des algorithmes de traitement d'image de base, y compris le filtrage d'image, transformations d'image, les conversions d'espace couleur et etc... [43].

d. Vidéo (traitement de flux vidéo)

Ceci est une vidéo module d'analyse qui inclut des algorithmes de suivi (tracking) d'objets, des algorithmes de soustraction de fond et etc... [43]

e. ObjDetect (détection d'objets)

Cela comprend l'objet de détection et de reconnaissance des algorithmes pour les objets standards [43].

f. ML (bibliothèque d'apprentissage automatique)

Comporte les fonctions de classification, d'analyse de donnée et des outils de cluster ING [43].

g. Calib3D

Calibrage caméra et reconstruction 3D [44].

II.3.3. Tensorflow :

II.3.3.1. Définition :

TensorFlow est un outil qui permet d'implémenter et de tester rapidement des algorithmes d'apprentissage artificiel profonds. Une de ses caractéristiques est d'être adapté à des architectures matérielles dédiées au calcul (GPU) et de permettre une distribution de ce calcul sur des grappes de machines très simplement. Il permet d'utiliser de nombreux algorithmes prêts à l'usage [45]. Elle a été utilisée pour la recherche et le déploiement de l'apprentissage automatique dans une grande variété

de domaines, contenant la reconnaissance vocale, la vision par ordinateur, la robotique, la récupération d'informations, le traitement du langage naturel, etc... [46].

II.3.3.2. Fonctionnement :

Le fonctionnement interne de Tensorflow est la clé de son succès. Un calcul TensorFlow est décrit par un graphe, qui se compose d'un ensemble de nœuds. Le graphe représente un flux de données et ses transformations, avec des extensions permettant à certains types de nœuds de maintenir et de mettre à jour des états persistants. Les différents clients (Python, C++, autres) permettent de générer ce type de graphe de calcul. Un exemple de code construisant un graphe de calcul puis l'exécutant est visible dans la Figure II.16. [46].

```
import tensorflow as tf

b = tf.Variable(tf.zeros([100]))           # 100-d vector, init to zeroes
W = tf.Variable(tf.random_uniform([784,100],-1,1)) # 784x100 matrix w/rnd vals
x = tf.placeholder(name="x")               # Placeholder for input
relu = tf.nn.relu(tf.matmul(W, x) + b)     # Relu(Wx+b)
C = [...]                                 # Cost computed as a function
                                         # of Relu

s = tf.Session()
for step in xrange(0, 10):
    input = ...construct 100-D input array ... # Create 100-d vector for input
    result = s.run(C, feed_dict={x: input})    # Fetch cost, feeding x=input
    print step, result
```

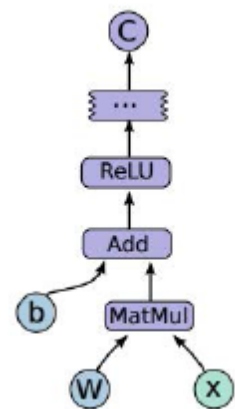


Figure II.16. Exemple de génération de graphe de calcul à partir de code (Tensorflow)

II.3.3.3. Les composants :

Les composants de TensorFlow sont :

- Le graphe de calcul, qui contient l'information de toutes les opérations qu'il est possible d'effectuer
- Chaque nœud correspond à une opération possédant zéro ou plusieurs entrées et de même pour la sortie.
- Une arête définit le sens suivant lequel circulent les tenseurs dans le graphe
- Un tenseur est un tableau de dimensionnalité non définie mais de type connu ou inféré depuis le graphe.
- Une opération représente un calcul abstrait (par exemple, multiplication matricielle, ou addition). Elle possède un nom et des attributs éventuellement pour son exécution (exemple type des tenseurs)
- Un noyau est une implémentation particulière d'une opération exécutée sur un type particulier de périphérique (par exemple CPU ou GPU).

- Un binaire TensorFlow définit les opérations du graphe et leurs noyaux associés et disponibles [41].

Les programmes peuvent interagir avec le système TensorFlow en créant une Session durant laquelle un Run est appelé définissant les noms de variables à calculer ainsi qu'un ensemble de tenseurs optionnels pour alimenter les entrées éventuelles du graphe. En utilisant ces arguments, l'implémentation de TensorFlow peut calculer tous les nœuds qui doivent être exécutés afin de calculer les sorties demandées, et peut alors organiser leur exécution. [41]

La connaissance exacte et complète du graphe de calcul a de multiples impacts. Le premier est la facilitation de la parallélisations ou distribution de toutes ces opérations sur plusieurs supports du type CPU ou GPU ou entre machines. En effet, en déterminant la répartition entité/opération, il est facile de préparer les communications entre machines et les noyaux à utiliser suivant les supports. La deuxième conséquence est la possibilité de faire du calcul symbolique et donc de faire de la différenciation automatique. Si le gradient de chaque opération élémentaire est défini, il est possible de remonter automatiquement au gradient de chaque variable du graphe grâce à la règle de la chaîne. Et comme évoqué précédemment, cette différenciation automatique est un facteur primordial pour faire du Deep Learning et créer de nouvelles structures [41].

II.4. Conclusion:

Les techniques actuelles les plus performantes pour évaluer le degré de sévérité de la pollution des isolateurs sont fondées pratiquement sur l'application des méthodes de traitement de signal sur l'onde du courant de fuite ou les images ou le champ. La synthèse bibliographique des différents travaux antérieurs effectuée dans le présent chapitre nous permet de nous inspirer sur l'application de ces méthodes dans le domaine de la haute tension et spécialement dans celui de la pollution des isolateurs.

L'application de ces méthodes qui constituent un outil très efficace pour la prédiction du comportement de l'isolateur en service sous les contraintes de pollution. Rappelons aussi que ces méthodes peuvent être combinées avec des méthodes d'apprentissage supervisé afin de prédire également le degré de sévérité de pollution.

Peuvent être utilisés les méthodes des détections des objectes pour diagnostiquer l'état de surface d'isolateurs. Où il est un outil très efficace pour la prédiction de l'état de surface d'isolateur.

Chapitre III :
Détection de l'état de
surface d'isolateur par
les techniques
d'intelligence
artificielle

III.1. Introduction :

À la lumière des évolutions technologiques, l'introduction des méthodes méta-heuristiques est devenue une nécessité dans tous les domaines de la vie et la transmission de l'énergie électrique en fait partie.

Notre objectif dans ce chapitre est d'élaborer un modèle qui capable a détecté l'état de surface des isolateurs de haute tension par le techniques d'intelligence artificielle. Dans cette étude, nous utilisons la méthode TensorFlow dans l'interface de programmation python.

III.2. Modules et toolbox nécessaires :

Pour faire notre approche, nous avons utilisées les modules et toolbox suivants :

Tableau III.1. Les accessoires du modèle de détection des objets

les exigences
Windows10
Anaconda3
Python 3.6
TensorFlow v1.12
CUDA Toolkit v8.0
CuDNN v6.0
LabelImg

Nous avons aussi besoin et d'installer plusieurs packages, ils doivent être installées dans l'environnement anconda3 (Voire aussi annexe).

Tableau III.2. Les package du modèle de détection des objets

Package
Anaconda protobuf
Pillow
Lxml
Cython
contextlib2
Jupyter
Matplotlib
Pandas
OpenCV-python

III.3. Processus de création d'un modelé de détection des objets :

Nous créons un dossier pour notre modèle dans un répertoire nommé projet.

III.3.1. 1^{er} étape : Rassemblement des photos pour les différents états des isolateurs

Dans cette étape, nous avons rassemblé plusieurs images et prendre des photos, ainsi nous avons téléchargé d'autre depuis le net (Figure III.1) et ensuite nous avons divisés notre base des données des photos en deux différents dossiers (test et train) ; où le dossier test contient 20% et train contient 80% de l'ensemble de la base des données.

On crée les dossiers dans C:\projet\models\research\object_detection\images

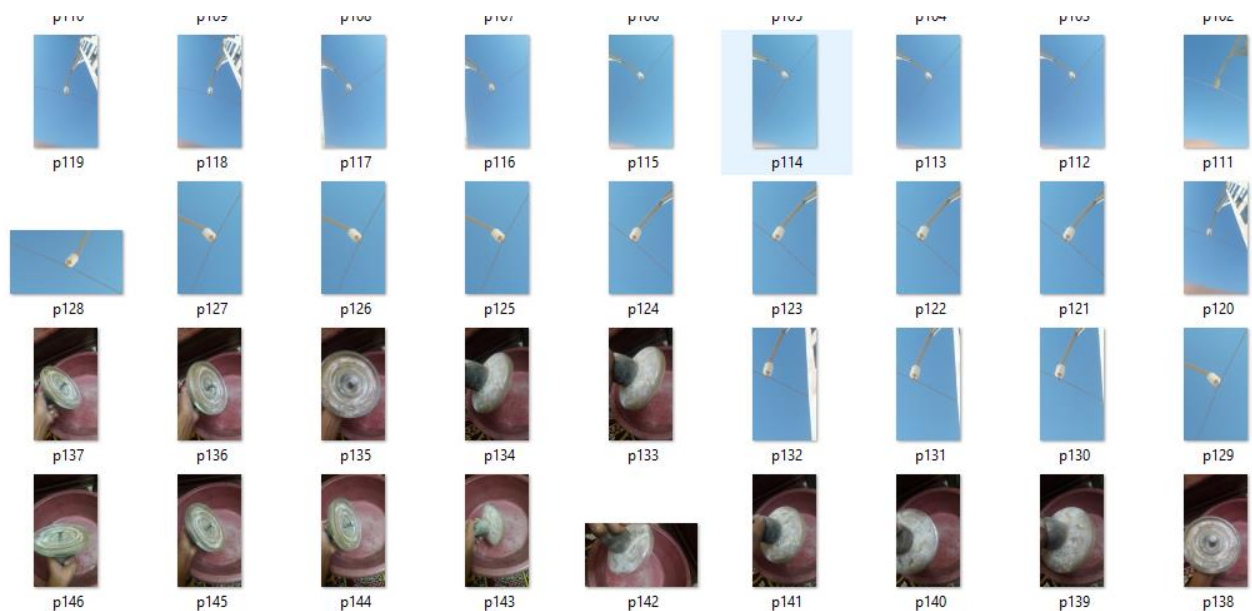


Figure III.1. Échantillons des photos rassemblées

Nous avons réussi à rassembler plus de 400 images.

III.3.2. 2^{ème} étape : Etiqueter les images de la base des données

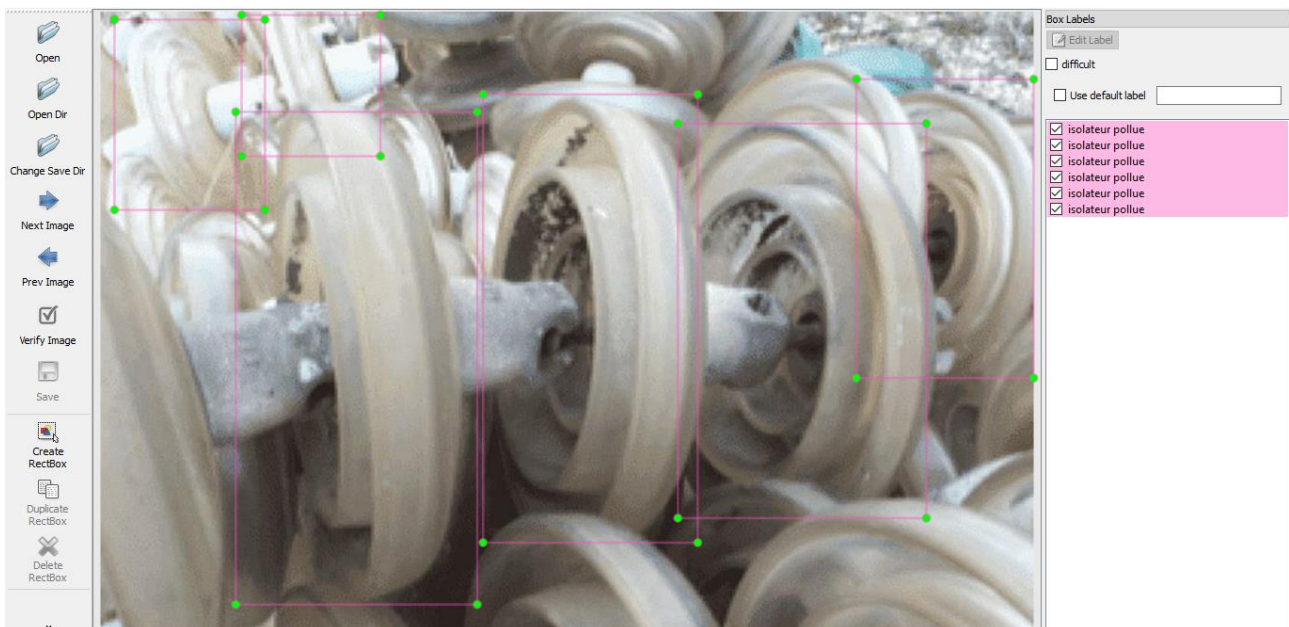
Dans cette étape, nous utilisons un programme LabelImg (Figure III.2) pour étiqueter les images, où nous sélectionnons l'isolateur et aussi l'état de leur surface (propre, polluée) (Figure III.3)



Figure III.2. Programme LabelImg



a. Isolateur propre



b. Isolateur pollue

Figure III.3. Sélection des isolateurs et les étiqueter

Après les étiqueter, les fichiers sont enregistrés au format .xml dans On crée les dossiers dans C:\projet\models\research\object_detection\images

III.3.3. 3^{ème} étape : Génération des données d'entraînement

III.3.3.1. Conversion de la base des données de .xml à .csv

Pour faire une conversion des images enregistrées dans les dossiers (test et train) du format xml au format csv, nous élaborons un code en programme dans le python (Figure III.4):

```

import os
import glob
import pandas as pd
import xml.etree.ElementTree as ET

def xml_to_csv(path):
    xml_list = []
    for xml_file in glob.glob(path + '/*.xml'):
        tree = ET.parse(xml_file)
        root = tree.getroot()
        for member in root.findall('object'):
            value = (root.find('filename').text,
                    int(root.find('size')[0].text),
                    int(root.find('size')[1].text),
                    member[0].text,
                    int(member[4][0].text),
                    int(member[4][1].text),
                    int(member[4][2].text),
                    int(member[4][3].text)
                    )
            xml_list.append(value)
    column_name = ['filename', 'width', 'height', 'class', 'xmin', 'ymin', 'xmax', 'ymax']
    xml_df = pd.DataFrame(xml_list, columns=column_name)
    return xml_df

def main():
    for folder in ['train', 'test']:
        image_path = os.path.join(os.getcwd(), ('images/' + folder))
        xml_df = xml_to_csv(image_path)
        xml_df.to_csv(('images/' + folder + '_labels.csv'), index=None)
        print('Successfully converted xml to csv.')

main()

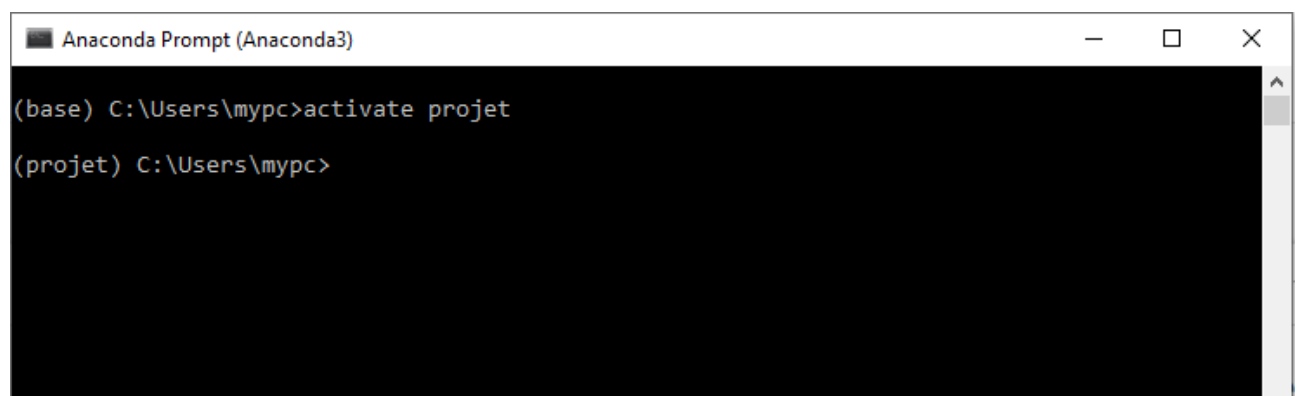
```

Figure III.4. Code de conversion du xml à csv

Ce code est exécuté dans l'Anaconda par les étapes suivant :

1) Activation de l'environnement du projet de détection des isolateurs et leurs états de surface:

L'activation de l'environnement de notre projet se fait dans l'environnement Anaconda en invitant les commandes :



```

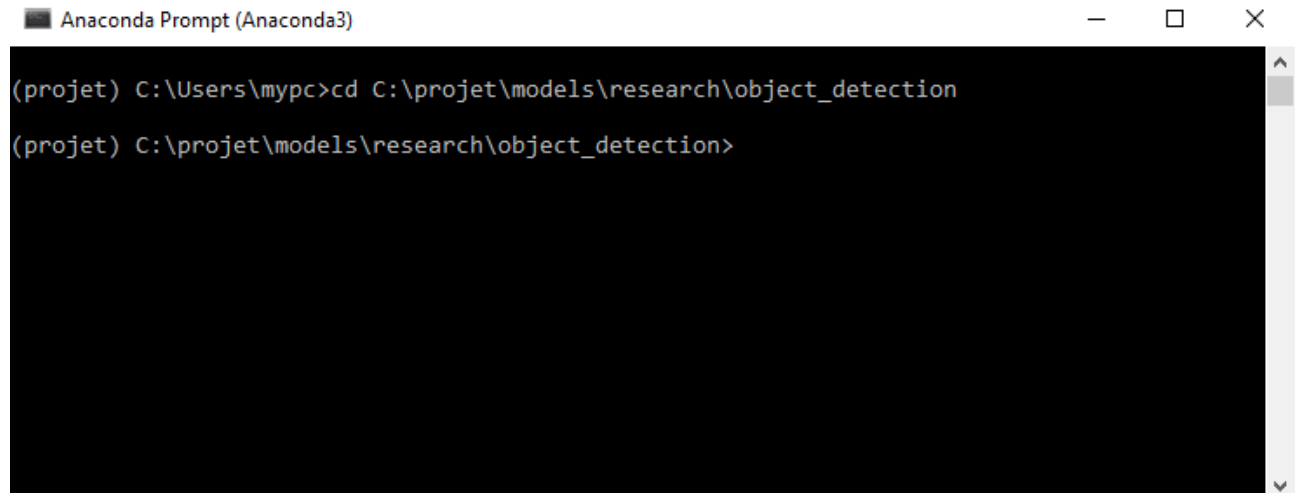
Anaconda Prompt (Anaconda3)
(base) C:\Users\myipc>activate projet
(projet) C:\Users\myipc>

```

Figure III.5. Activation de l'environnement de détection des isolateurs et leurs états de surface.

2) Préparation du dossier de travail

Le dossier `object_detection` est le dossier de travail de notre modèle, l'accès au dossier `object_detection` se fait par la commande présentée dans la figure ci-dessous.



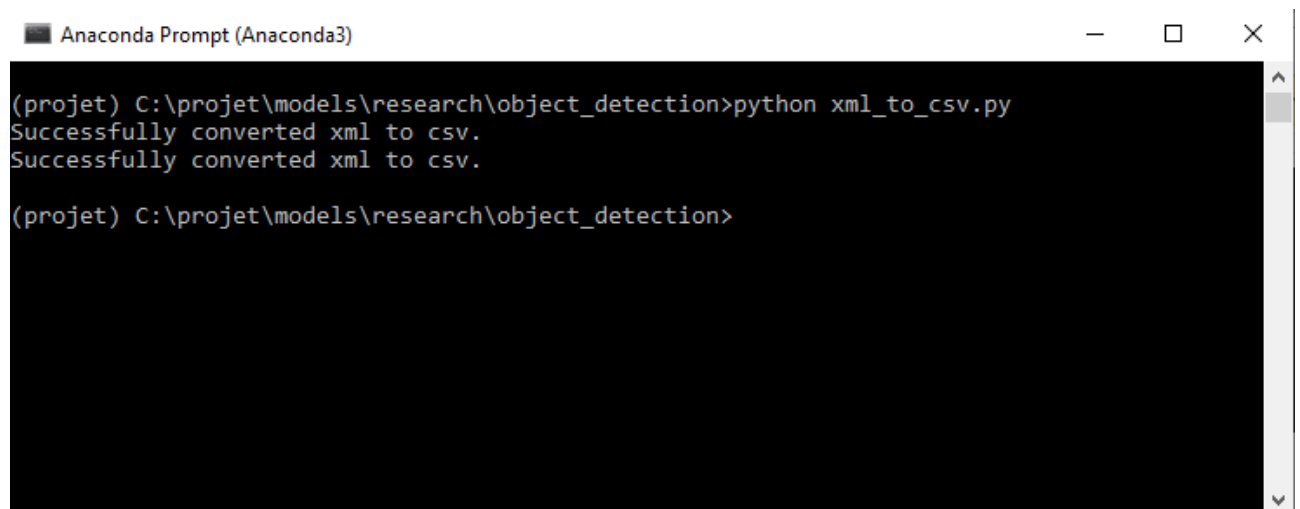
```
Anaconda Prompt (Anaconda3)

(projet) C:\Users\myipc>cd C:\projet\models\research\object_detection
(projet) C:\projet\models\research\object_detection>
```

Figure III.6. Transit à dossier `object_detection`

3) Conversion des fichiers `.xml` à `.csv`

Enfin, nous convertissons `.xml` à `csv` par la commande suivante :



```
Anaconda Prompt (Anaconda3)

(projet) C:\projet\models\research\object_detection>python xml_to_csv.py
Successfully converted xml to csv.
Successfully converted xml to csv.

(projet) C:\projet\models\research\object_detection>
```

Figure III.7. Conversion `.xml` à `csv`

Enfin, a créé deux fichiers qui ont appelé `test_labels` et `train_labels` dans `C:\projet\models\research\object_detection\images`

III.3.3.2. Génération des numérotations aux objets :

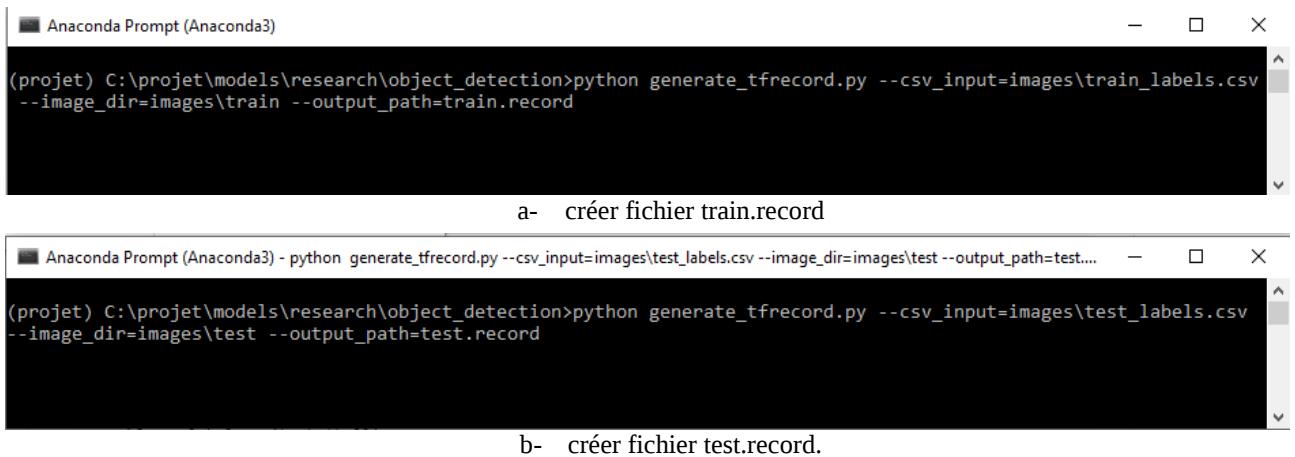
Nous avons adopté un sous-programme `generate_tfrecored.py` [47] (Figure III.8), pour donner des nombres aux objets, les objets dans notre travail sont les isolateurs propres et isolateurs pollués, ces nombres baptiseront dans l'entraînement du modèle. Nous avons donné le numéro 1 pour les isolateurs propres et le numéro 2 pour isolateurs pollués.

```
# TO-DO replace this with label map
def class_text_to_int(row_label):
    if row_label == 'isolateur propre':
        return 1
    elif row_label == 'isolateur pollue':
        return 2
    else:
        return None
```

Figure III.8. Numérotations des objets

Nous allons créer des fichiers de TF Record par l'exécution du code programme `generate_tfrecord.py` dans l'Anaconda

Ce code est exécuté par la commande suivante :



The figure consists of two screenshots of the Anaconda Prompt terminal. The first screenshot shows the command to generate training data: `python generate_tfrecord.py --csv_input=images\train_labels.csv --image_dir=images\train --output_path=train.record`. The second screenshot shows the command to generate testing data: `python generate_tfrecord.py --csv_input=images\test_labels.csv --image_dir=images\test --output_path=test.record`.

a- créer fichier train.record

b- créer fichier test.record.

Figure III.9. Créer des fichiers de TF Record

Après cette étape, nous créons deux fichiers `train.record` et `test.record`.

III.3.4. 4^{ème} étape : Création d'une carte d'étiquettes

Dans cette étape, nous créons un fichier `labelmap.pbtxt` pour la nomination des objets.

```
} item {
  id: 1
  'name: 'isolateur propre'
}
} item {
  id: 2
  'name: 'isolateur pollue'
}
```

Figure III.10. Fichier labelmap.pbtxt

III.3.5. 5^{ème} étape : Configuration de l'entraînement

Cette étape est la dernière avant l'entraînement, dans cette étape nous avons rassemblé toutes les fichiers précédemment cités par le programme **faster_rcnn_inception_v2_pets.config** [48] et avec la manière suivante :

- classement d'objet (Figure III.11.) en deux différents classes, dans notre travail il y'a deux classes des objets isolateur propre et isolateur pollue `num_classes : 2`.

```
model {  
  faster_rcnn {  
    num_classes: 2  
    image_resizer {
```

Figure III.11. Classification des fichiers

- Configuration du fichier **fine_tune_checkpoint** dans le dossier d'entrainement
- Configuration des fichiers **input_path** et **label_map_path**
- Configuration de l'ensemble de données d'évaluation par le fichier

```
train_input_reader: {  
  tf_record_input_reader {  
    input_path:  
    "C:/projet/models/research/object_detection/train.record"}  
    label_map_path:  
    "C:/projet/models/research/object_detection/training/labelmap.pbtxt"  
  }
```

Figure III.12. Classeur train_input_reader

p74	p32	p6	11	p66	p22	46	1
p75	p33	p7	12	p67	p23	49	2
p76	p34	p8	13	p68	p24	50	3
p77	p35	p9	14	p69	p25	51	4
p78	p36	p10	15	p70	p26	52	5
p79	p53	p11	16	p71	p29	p1	6
p80	p54	p12	17	p72	p30	p2	7
	p55	p13	37	p73	p31	p3	8
	p56	p15	38	p74	p32	p4	9
	p57	p16	39	p75	p33	p5	10
	p59	p17	40	p76	p34	p6	11
	p60	p18	41	p77	p35	p7	12
	p61	p19	42	p78	p36	p8	13
	p62	p20	44	p79	p53	p9	14
	p63	p21	45	p80	p54	p10	15
	p64	p22	46	1	p55	p11	16
	p65	p23	49	2	p56	p12	17
	p66	p24	50	3	p57	p13	37
	p67	p25	51	4	p59	p15	38
	p68	p26	52	5	p60	p16	39
	p69	p27	p1	6	p61	p17	40
	p70	p28	p2	7	p62	p18	41
	p71	p29	p3	8	p63	p19	42
	p72	p30	p4	9	p64	p20	44
	p73	p31	p5	10	p65	p21	45

تم تحديد 92 عناصر 7.40 ميغابايت 182 عناصر

Figure III.13. Configuration du dossier de test

```
eval_config: {
  metrics set: "coco detection metrics"
  num examples: 92
}
```

Figure III.14. Sélection des exemples d'évaluation

- Désignation de l'emplacement des données de validation par le classeur **eval_input_reader** :

```
eval_input_reader: {
  tf_record_input_reader {
    input_path: "C:/projet/models/research/object_detection/test.record"
  }
  label_map_path:
"C:/projet/models/research/object_detection/training/labelmap.pbtxt"
  shuffle: false
  num_readers: 1
}
```

Figure III.15. Classeur eval_input_reader

Après le processus des configurations, notre modèle est maintenant prêt pour le début de l'entraînement.

III.3.6. Exécution de l'entraînement

Maintenant, il va commencer un vrai travail. L'ordinateur va apprendre de l'ensemble de données et créer un réseau neuronal. Comme nous modélisons l'entraînement sur une version CPU (processeur), cela prendra plusieurs jours pour obtenir un bon résultat.

L'exécutons de l'entraînement ce fait par la commande suivant dans l'Anaconda :

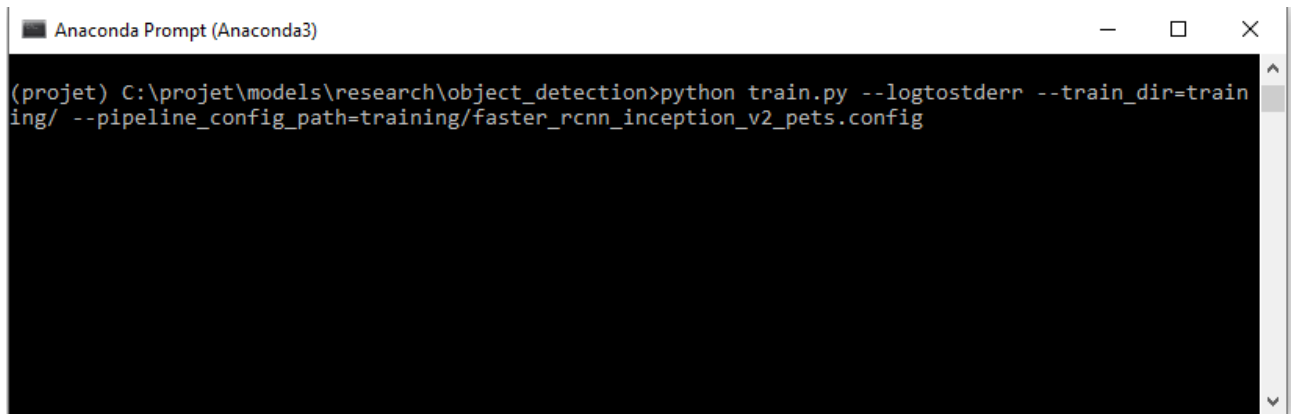
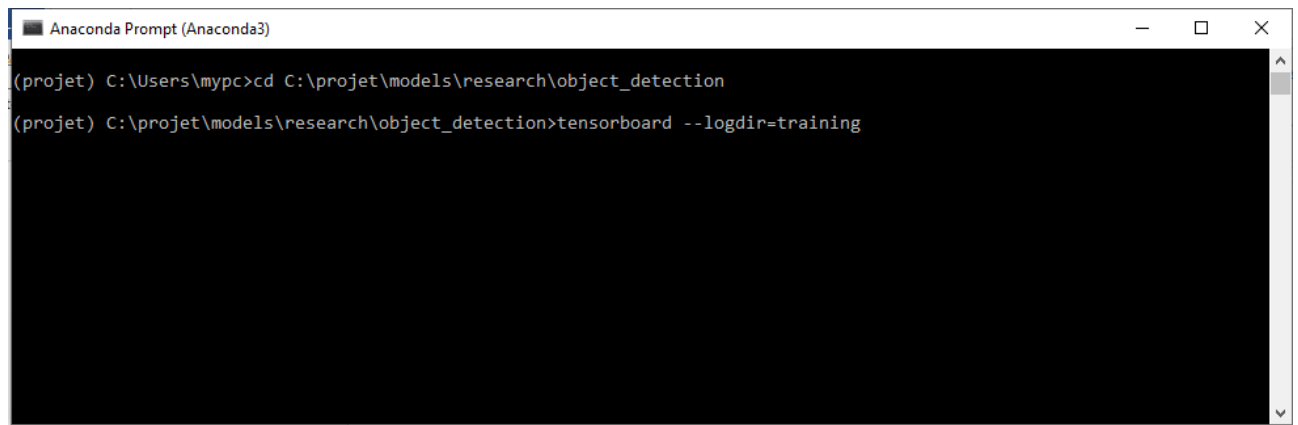
A screenshot of an Anaconda Prompt terminal window. The title bar reads "Anaconda Prompt (Anaconda3)". The terminal shows a command being entered: `(projet) C:\projet\models\research\object_detection>python train.py --logtostderr --train_dir=train ing/ --pipeline_config_path=training/faster_rcnn_inception_v2_pets.config`. The command is split across two lines. The terminal background is black with white text. The window has standard Windows window controls (minimize, maximize, close) in the top right corner.

Figure III.16. Exécution de l'entraînement

Loss est un autre paramètre très important dans notre travail qui nous donne l'évolution instantanée de divergence entre la valeur estimé et la valeur réel, **loss** est un ensemble de fonctions de perte pour la classification, conçue pour déterminer la frontière de décision la plus éloignée possible de chaque exemple d'apprentissage, afin de maximiser la marge entre les exemples et la frontière, **Lclasses** est en général une "log-loss". La log-loss est souvent plus intéressante que la simple précision, parce qu'elle permet de nuancer à quel point notre prédiction est proche de la valeur réelle. Nous suivons les marges maximales (losses) de l'entraînement via l'utilisation de TensorBoard. Nous contrôlons l'évaluation d'entrainement en suivant les étapes décrites ci-dessous

- Ouvrir d'un nouvel espace Anaconda,
- Activation de l'environnement projet,
- Sélection du dossier `object_detection`,
- Exécution de la commande montrée dans la figure suivante.



```
Anaconda Prompt (Anaconda3)
(projet) C:\Users\myipc>cd C:\projet\models\research\object_detection
(projet) C:\projet\models\research\object_detection>tensorboard --logdir=training
```

Figure III.17. Contrôler l'évaluation d'entraînement

Après nous copions le lien et saisissez-le dans le navigateur web;

Lors du suivi de la courbe de losses, nous avons pris par la suite 7 étapes (step) comme des exemples, loss a diminué au fur et à mesure que les étapes suivantes progressaient :

- La valeur la plus basse atteinte par loss dans l'étape 120 est : 0.45
- La valeur la plus basse atteinte par loss dans l'étape 550 est : 0.2
- La valeur la plus basse atteinte par loss dans l'étape 910 est : 0.1
- Stabilité loss en valeur 0.1 dans l'étape 1430
- La valeur la plus basse atteinte par loss dans l'étape 4021 est : 0.08
- La valeur la plus basse atteinte par loss dans l'étape 5000 est : 0.03
- La valeur la plus basse atteinte par loss dans l'étape 10270 est : 0.0089

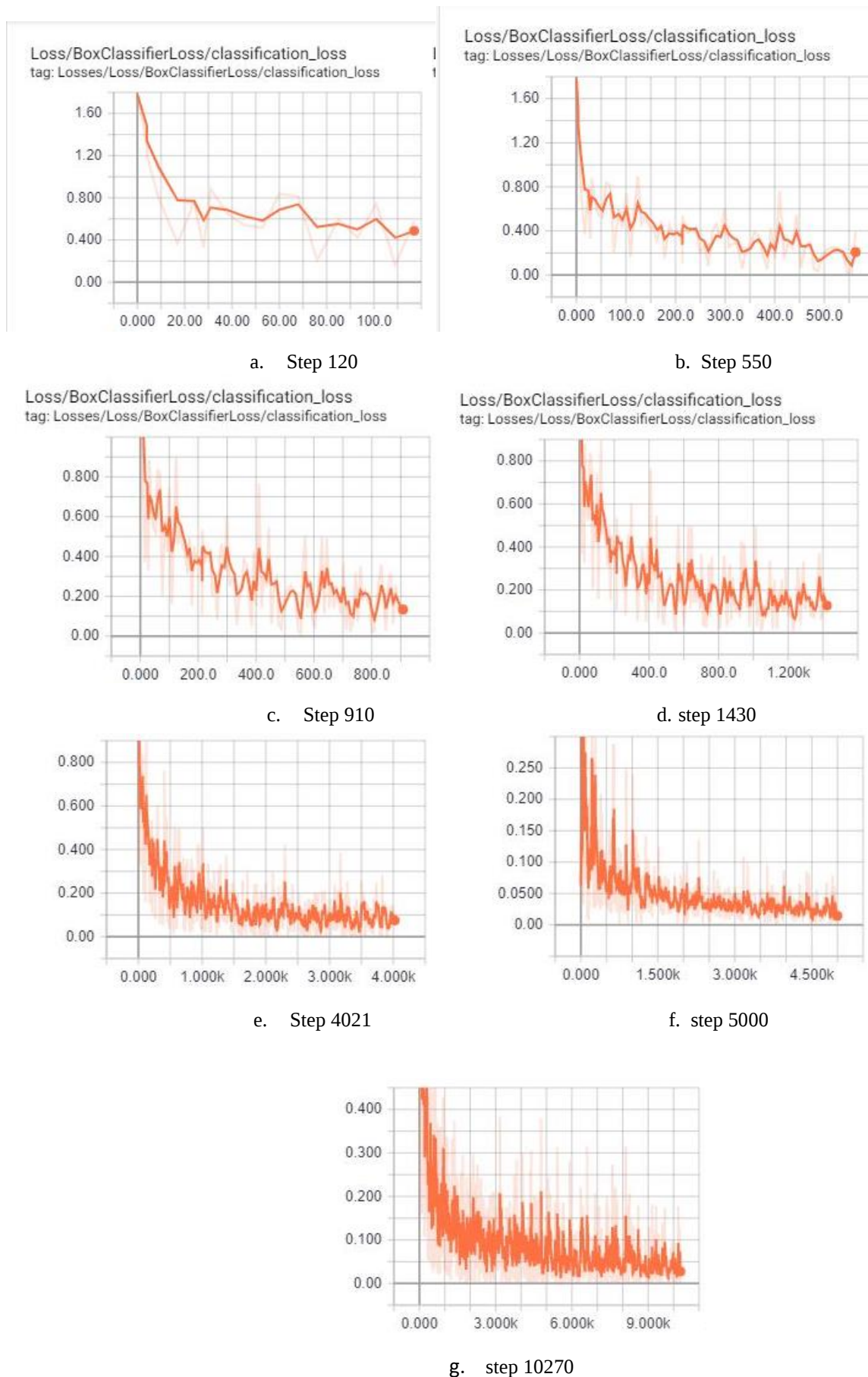
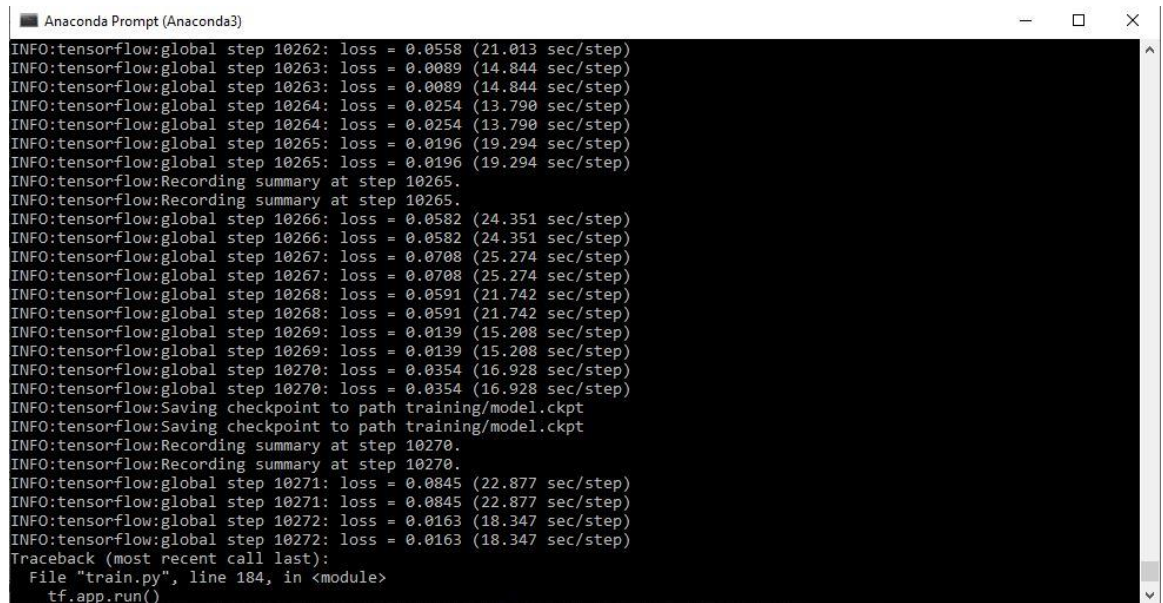


Figure III.18. Les courbes de losses

Après 10270 pas ou la perte égale à 0,0089 qu'il devient suffisante pour que le modèle puisse produire des résultats précis, maintenant, nous pouvons arrêter l'entraînement.



```

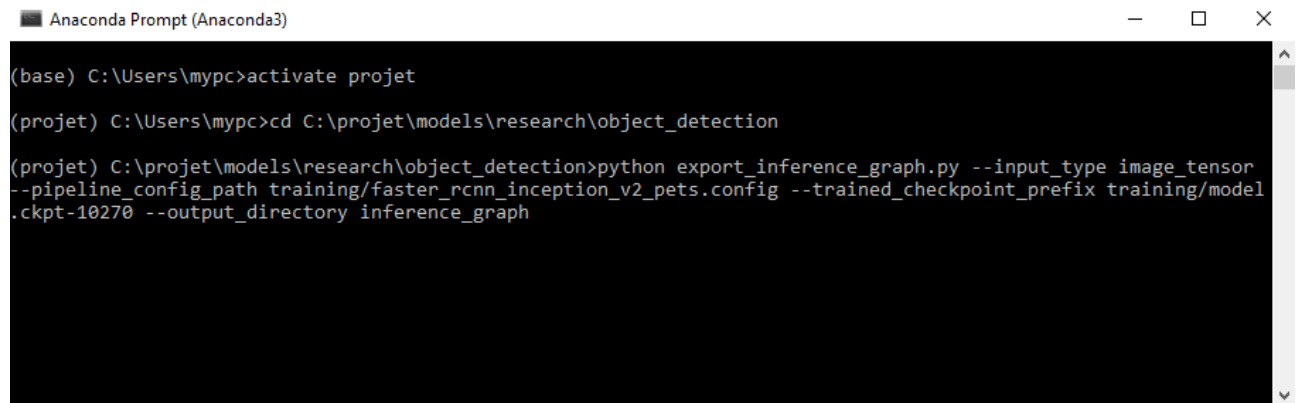
Anaconda Prompt (Anaconda3)
INFO:tensorflow:global step 10262: loss = 0.0558 (21.013 sec/step)
INFO:tensorflow:global step 10263: loss = 0.0089 (14.844 sec/step)
INFO:tensorflow:global step 10263: loss = 0.0089 (14.844 sec/step)
INFO:tensorflow:global step 10264: loss = 0.0254 (13.790 sec/step)
INFO:tensorflow:global step 10264: loss = 0.0254 (13.790 sec/step)
INFO:tensorflow:global step 10265: loss = 0.0196 (19.294 sec/step)
INFO:tensorflow:global step 10265: loss = 0.0196 (19.294 sec/step)
INFO:tensorflow:Recording summary at step 10265.
INFO:tensorflow:Recording summary at step 10265.
INFO:tensorflow:global step 10266: loss = 0.0582 (24.351 sec/step)
INFO:tensorflow:global step 10266: loss = 0.0582 (24.351 sec/step)
INFO:tensorflow:global step 10267: loss = 0.0708 (25.274 sec/step)
INFO:tensorflow:global step 10267: loss = 0.0708 (25.274 sec/step)
INFO:tensorflow:global step 10268: loss = 0.0591 (21.742 sec/step)
INFO:tensorflow:global step 10268: loss = 0.0591 (21.742 sec/step)
INFO:tensorflow:global step 10269: loss = 0.0139 (15.208 sec/step)
INFO:tensorflow:global step 10269: loss = 0.0139 (15.208 sec/step)
INFO:tensorflow:global step 10270: loss = 0.0354 (16.928 sec/step)
INFO:tensorflow:global step 10270: loss = 0.0354 (16.928 sec/step)
INFO:tensorflow:Saving checkpoint to path training/model.ckpt
INFO:tensorflow:Saving checkpoint to path training/model.ckpt
INFO:tensorflow:Recording summary at step 10270.
INFO:tensorflow:Recording summary at step 10270.
INFO:tensorflow:global step 10271: loss = 0.0845 (22.877 sec/step)
INFO:tensorflow:global step 10271: loss = 0.0845 (22.877 sec/step)
INFO:tensorflow:global step 10272: loss = 0.0163 (18.347 sec/step)
INFO:tensorflow:global step 10272: loss = 0.0163 (18.347 sec/step)
Traceback (most recent call last):
  File "train.py", line 184, in <module>
    tf.app.run()

```

Figure III.19. Progression de l'entraînement par step

III.3.7. Exporter le graphique pour l'inférence

Maintenant que l'entraînement est terminé, la dernière étape consiste à créer le graphe d'inférence (fichier .pb). À partir du dossier de détection des objets de notre projet, nous exécutons la commande montrée dans la (Figure III.20.), où le fichier **model.ckpt-10270** portant le numéro le plus élevé dans le dossier de l'entraînement.



```

Anaconda Prompt (Anaconda3)
(base) C:\Users\myopc>activate projet
(proj) C:\Users\myopc>cd C:\projet\models\research\object_detection
(proj) C:\projet\models\research\object_detection>python export_inference_graph.py --input_type image_tensor
--pipeline_config_path training/faster_rcnn_inception_v2_pets.config --trained_checkpoint_prefix training/model.
ckpt-10270 --output_directory inference_graph

```

Figure III.20. Création du graphe d'inférence

III.3.8. Diagnostic de l'état de surface des isolateurs de haute tension par le modèle réalisé

Alors après toutes les étapes précédemment adoptées, le modèle de diagnostic de l'état de surface des isolateurs de haute tension est prêt pour connaître leurs états, pour tester le modèle nous suivant les étapes suivantes :

- Activation de l'environnement de notre projet dans l'espace Anaconda.
- Exécution de la commande « idle » pour ouvrir le python.



Figure III.21. Ouverture de l'interface python

Ensuite, l'interface python s'ouvre et nous exécutons notre modèle **object_detection_image.py** [49] et nous déterminons les différents paramètres suivants :

- 1) **NUM_CLASSES** c'est le nombre d'objets dans notre modèle, qui sont deux objets décrivent l'état de surfaces des isolateurs (isolateur propre et isolateur pollue), alors **NUM_CLASSES=2**
- 2) **MODEL_NAME** = inference_graph.
- 3) **IMAGE_NAME** c'est les images de test ; **IMAGE_NAME=test.jpg**

Après la configuration des paramètres du modèle, nous exécutons le fichier python de la détection de l'état de la surface des isolateurs.

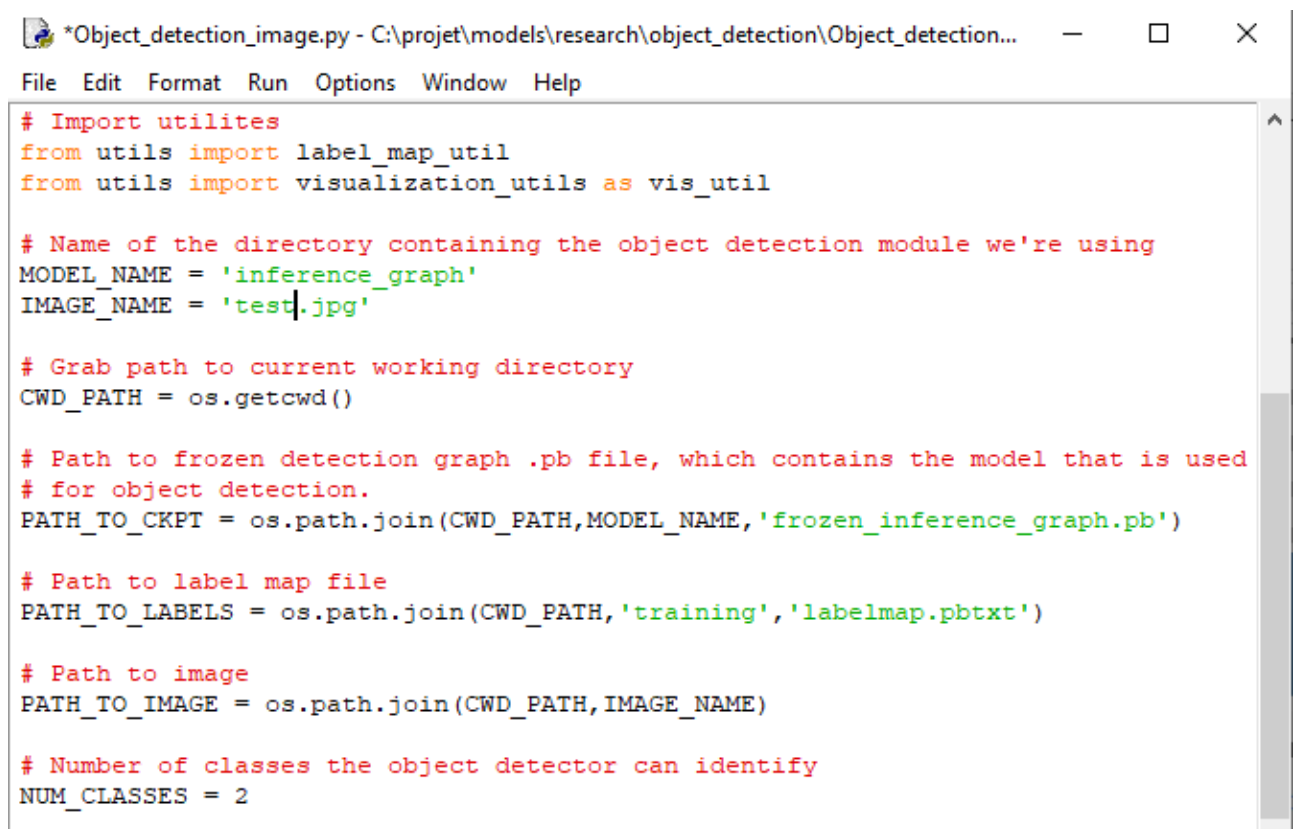


Figure III.22. Configuration du modèle de détection de l'état de surface des isolateurs

Aussi; peut utiliser `object_detection_video.py` [50] ou `object_detection_webcam.py` [51]

4) Présentation des résultats de l'état de surface des isolateurs :



Figure III.23. Isolateurs propres



Figure III.24. Isolateurs pollués

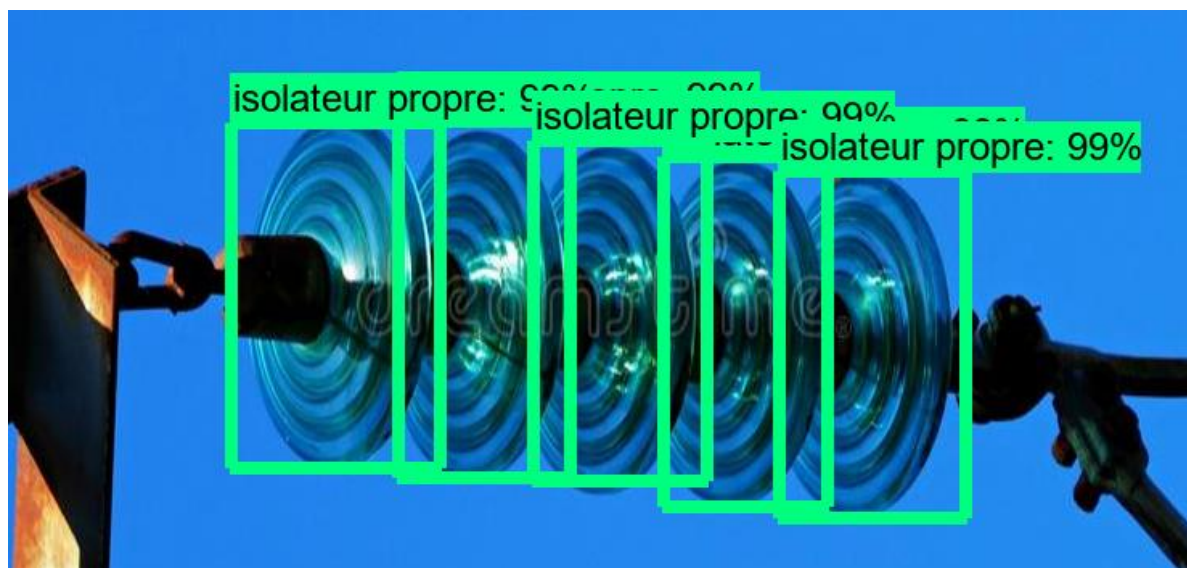


Figure III.25. Chaîne isolateurs propres

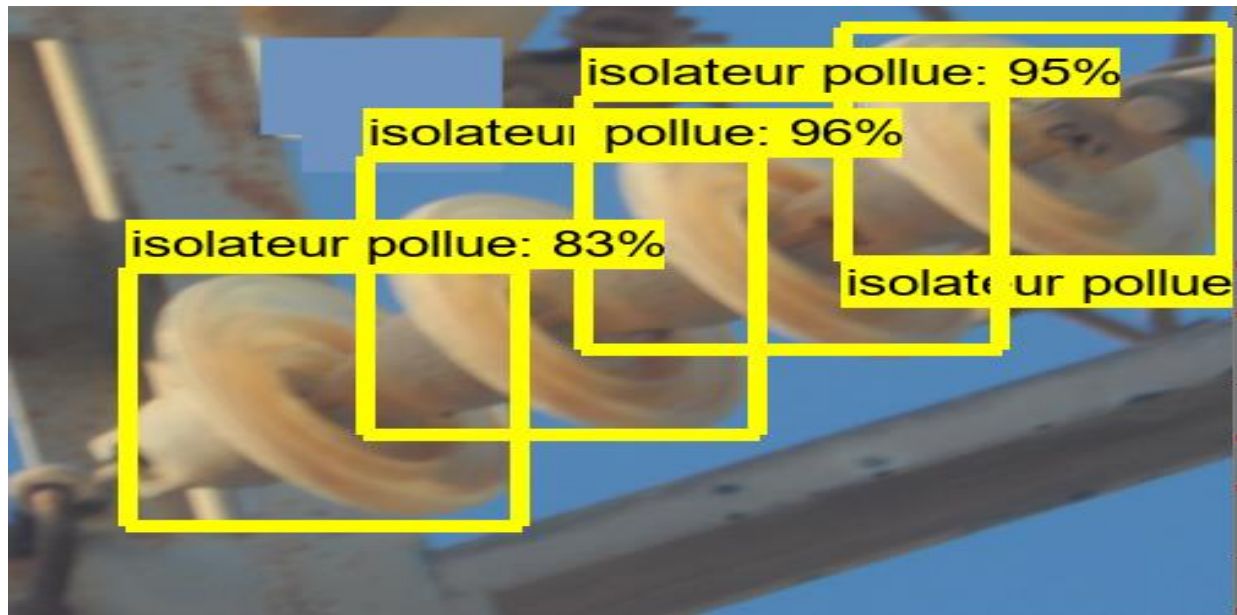


Figure III.26. Chaîne isolateurs pollués

III.4. Conclusion :

Nous avons réussi à mettre au point un modèle de reconnaissance d'isolateurs via des images statiques, une image capturée par un web Cam et enfin une image défilante sur un vidéo. Ce modèle permet de faire détecter l'état d'isolateur est ce qu'il est propre ou pollué. Notre modèle a été entraîné à travers des techniques d'intelligence artificielle incorporé dans la bibliothèque TensorFlow programmé par le langage python.

Les résultats obtenus démontrent que notre modèle est a réussi à détecter l'état d'isolateur dans la chaîne et en solo.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE :

L'objectif principal de ce travail c'était utiliser des techniques d'intelligence artificielle pour faire le diagnostic de l'état de surface des isolateurs de haute tension à travers les outillés de détection d'objet.

La bibliothèque TensorFlow est un élément important dans la réalisation et le développement de notre projet et cela revient à la richesse de différentes fonctions qui le compose surtout dans le traitement des images et des vidéos.

Dans cette étude nous avons réalisé un model capable de détecté d'isolateurs et l'état d'isolateur est ce qu'il est propre ou pollué. Notre modèle a été entraîné à travers des techniques d'intelligence artificielle incorporé dans la bibliothèque TensorFlow programmé par le langage python; où nous a avons compilé plusieurs images d'isolateur de haute tension en verre dans l'état propre ou pollué.

Par cette méthode l'ordinateur devenu possible pour faire le diagnostic de l'état de surface des isolateurs tous simplement par les photos, les vidéos ou par un appareil photo.

Pour obtenir des résultats plus précis, il doit :

- Utilisez des plus grands nombre des photos dans la basse des données.
- Des excellentes qualités d'image utilisées
- Petite taille d'image pour un entraînement plus rapide.
- Capturez tous les côtés de l'objet à détecter.
- Adopter un maximum d'étapes pendant l'entraînement.

Comme perspective du notre travaille, nous souhaitons pour les prochains projets de fin d'étude, à élargir notre travail de détection et surveillance de l'état de surface des isolateurs de haute tension en utilisant des autres type des isolateurs (isolateur en céramique,...), ainsi d'intégrer notre modèle dans les robots et les drones sans pilote pour contrôler et nettoyer automatiquement les isolateurs.

Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE:

- [1] **S. Moatez B  llah**, Prédiction Du Contournement D'une Chaîne D'isolateur Mt 175 Ctv-Sonelgaz Polluée Artificiellement Par La Logique Floue, Mémoire De Fin D'  tudes En Vue De L'obtention Du Diplôme : Master, Département De Génie Electrique, Université Mohamed Khider Biskra, 2014.
- [2] **S. Tounsi, et F. Chikh**, Influence Du Sol Sur Le Comportement D'un Modèle d'Isolateur Sous Tension , Mémoire Du Projet De Fin D'  tudes Pour L'obtention Du Diplôme d'Ingénieur d'Etat En Electrotechnique, Département De Génie Electrique, Ecole Nationale Polytechnique, 2008.
- [3] **N. Mhaguen**, Développement de modèle dynamique de prédiction de la tension critique de contournement des isolateurs recouverts de glace basés sur la méthode des éléments finis, Mémoire présenté à l'université du Québec    Chicoutimi comme exigence Partielle de la maîtrise en ingénierie, 2011.
- [4] **B.Abdelghani**, Etude du développement d'arcs électriques parallèles sur une surface isolante non uniformément polluée sous tension continue, Mémoire de Magister, Université Abderrahmane Mira, Béjaia, 2009.
- [5] **J.Y. Saison**, Etude du phénomène d'humidification des dépôts naturels et artificiels de pollution sur des isolateurs électriques, Mémoire de Doctorat Es Sciences, Université de Strasbourg, France, 1992.
- [6] **D.Dumora**, Matériaux isolants cramiques en   lectrotechnique, Techniques de l'ingénieur D275-1975.
- [7] **A. Kara**, Contribution à l'étude d'un modèle dynamique de contournement d'un isolateur pollué en   lectrotechnique, Université Ferhat Abbas Sétif, 2013.
- [8] **J. Dunlab**, Performances des isolateurs pollués pour les lignes de haut tension, chez CIGRE, Rapport 33-05, France, 1996.
- [9] **F. S. Genberg**, Isolateur en céramique et en synthétique, edf-e pure, avril 1998.
- [10] **S. Tounsi et F. Chikh** "Influence du Sol sur le Comportement d'un Modèle d'Isolateur sous Tension" Mémoire du projet de fin d'études laboratoire de haute tension,   cole nationale polytechnique d'Alger. Juin 2008.
- [11] **A Fatiha**, Contribution à l'étude d'un circuit équivalent des isolateurs synthétiques sous pollution en utilisant l'EMTP, Mémoire du projet, Université Ferhat Abbas Sétif, (Algerie);
- [12] **M. Tegu  r**, Etude mathématique des mécanismes de développement, alger: Ecole Nationale Polytechnique, Département de Génie Electrique, Juillet 1993.,
- [13] **X. Ducouret** , lignes aériennes : matériels, techniques de l'ingénieur D4423
- [14] http://www.hydroquebec.com/terminologie/chroniques/chro_isolateur.html.

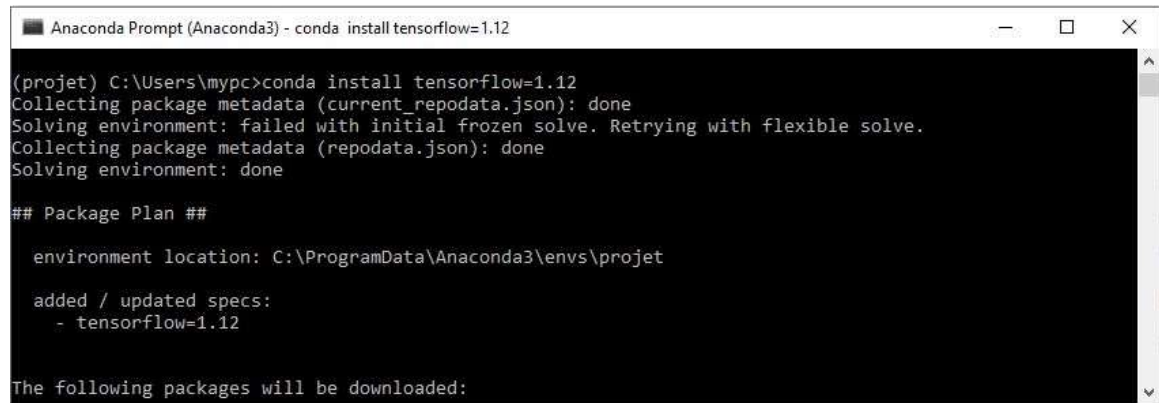
- [15] **S. Tounsi**, Influence du sol sur le comportement d'un modèle d'isolateur sous tension, Alger : Mémoire du projet de fin d'études laboratoire de haute tension, école nationale polytechnique d'Alger., Juin 2008.
- [16] **Y. Porcheron**, lignes aériennes: matériels entrant dans la constitution d'une Ligne aérienne, technique de l'ingénieur, vol.D, n° 14425
- [17] **M. Slama**, contribution a l'étude de l'influence de la non uniformité de la pollution basée sur la méthode de la D.D.S.E pour le dimensionnement des isolateurs des lignes THT a courant alternatif .Mémoire de Magister , université Mohamed Boudiaf, Oran, promotion 2002
- [18] **R. Coello et B. Aladenize**, Les diélectriques, livre, Edition Hermès, Paris.1986
- [19] **R. Bouzeroura**, Etude du développement d'arcs électriques parallèles sur une surface isolante non uniformément polluée sous tension continue, Mémoire de magister, promotion 2009, Université de Bejaia
- [20] **N Ravelomanantsoa**, Effet du vent sur le taux d'accumulation de pollution à la surface des isolateurs de haute tension dans les conditions hivernales, Mémoire de doctorat, Université du Québec à Chicoutimi, 2012
- [21] **F. Aouabed**, Contribution à l'étude d'un circuit équivalent des isolateurs synthétiques sous pollution en utilisant l'EMTP, Mémoire magistère en électrotechnique, Université Ferhat Abbas Sétif.
- [22] **R. Bouzeroura**, Etude du développement d'arcs électriques parallèles sur une surface isolante non uniformément polluée sous tension continue, Mémoire de magister, Université de Bejaia, promotion 2009.
- [23] **N. Khairoun, E. Abderrahmane, D. Zellouta** "Essais sur isolateurs pollues et modélisation" Mémoire du projet de fin d'études laboratoire de haute tension, école nationale polytechnique d'Alger. Juin 2007/2008,
- [24] **Z. Sahli**, Etude de la Non Uniformité de la Pollution sur les Caractéristiques de Contournement des isolateurs Réels sous Tension Continue, Mémoire de Magister, Département d'électrotechnique, Université Abederrahmane Mira de Bédjaia.
- [25] **M. Ben alia**, modélisation d'un isolateur naturellement pollue sous tension impulsionnelle utilisant des circuits électriques Equivalents, mémoire de magister en génie électrique, laboratoire de haute tension, école nationale polytechnique d'Alger, 2008.
- [26] **M. Slama**, Contribution à l'étude de l'influence de la non-uniformité de la pollution basée sur la méthode de la d.d.s.e pour le dimensionnement des isolateurs des lignes t.h.t a courant alternatif, Mémoire de Magister, 29juin2002.

- [27]. **S. Satta**, contribution à l'étude de l'influence de la pollution discontinue sur le comportement des isolateurs : expérimentation et simulation, université Ferhat Abbas Sétif, 2011.
- [28]**P. J. Lambeth, H. Auxel et M. P. Verma**, Méthode de mesure de la sévérité de la pollution compte tenu de son influence sur le comportement des isolateurs à haute tension, Electre N°. 20, pp 95-100, Janvier 1972.
- [29] **W. Heise, G.F.luxa , G.Revrery et M. P. Verma**, Estimation de la méthode d'essais sous pollution artificielle par couche solide CIGRE , rapport 33-09 1972.
- [30] **N. Khairoune et A. D. Zellouta**, Essais Sur Isolateurs Pollues Et Modélisation, Mémoire du projet de Fin d'Etudes, Département de Génie Electrique, Ecole Nationale Polytechnique, 2007/2008.
- [31] **M.Belkacem**, Diagnostic des isolateurs haute tension sous tension alternative 50Hz, Mémoire de Magister, Ecole Nationale Polytechnique, 2014.
- [32] **W.A. Fares**, Détection et suivi d'objets par vision fondés sur segmentation par contour actif basé région, Mémoire de Doctorat, Université Paul Sabatier - Toulouse III, 2013. Français.
- [33] **I. Bachir**, Contribution du diagnostic de la machine asynchrone par estimation paramétrique, Thèse de doctorat, Université de Poitiers, 2002
- [34]**H.H. Kordkheili, H. Abravesh, M. Tabasi, M. Dakhem, and M.M. Abravesh**, **Determining** the probability of flashover occurrence in composite insulators by using leakage current harmonic components, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 17,No. 2, pp. 502-512, 2010.
- [35] **S.Chandrasekar, C.Kalaivananet et A.Cavallini**, Partial discharge detection as a tool to infer pollution severity of polymeric insulators, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 17, No. 1, pp. 1-12, February 2010.
- [36] **CH.A. Khaled**, Techniques de diagnostic et de classification de l'état de surface d'un isolateur pollué sous tension alternative 50 Hz, Mémoire de Master, Ecole Nationale Polytechnique,2015
- [37] **G.Talal**, Analyses expérimentale et statistique du comportement d'isolateurs de haute tension pollués, Mémoire de Doctorat, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, 2018.
- [38] **D. C. Domínguez, F. P. Espino-Cortes, et P. Gómez**, Optimized design of electric field grading systems in 115 kV non-ceramic insulators, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 20, no. 1, pp. 63-70, 2013.
- [39] **M. Khodsuz and M. Mirzaie**, Analysis of grading ring design parameters and heat sink numbers effect on voltage distribution and leakage current in metal oxide surge arrester, Iranian Journal of Electrical and Electronic Engineering, vol. 10, no. 2, pp. 152-158, 2014.

- [40] <https://www.actuia.com/contribution/jeancharlesrisch/segmentation-et-detection-dobjets-en-temps-reel-avec-tensorflow/>
- [41] **M.L Goff**, Techniques d'analyse de contenu appliquées à l'imagerie spatiale, Mémoire de Doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, 2017
- [42] **G.Bradski ET A.Kaelher**, Learning OpenCV Computer Vision with the OpenCV Library O'Reilly, Sebastopol, 2008.
- [43] **H.Fouzia**, La détection et suivi des objets en mouvement dans une scène vidéo en utilisant la bibliothèque OpenCV. PhD thesis, Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen, 2017.
- [44] <http://master-ivi.univ-lille1.fr/fichiers/Cours/pje-semaine-3-opencv.pdf>
- [45] <https://arxiv.org/abs/1603.04467>
- [46] **M.Abadi, A.Agarwal, P.Barham, E.Brevdo, C.Zhifeng, C.Citro, G.Corrado et al. 2016.**, TensorFlow: Large-Scale Machine Learning on Heterogeneous Systems, arXiv preprint arXiv:1603.04467.
- [47] <https://stackoverflow.com/questions/62902131/generate-tfrecord-py-issue>
- [48] https://github.com/tensorflow/models/blob/master/research/object_detection/samples/configs/faster_rcnn_inception_v2_pets.config
- [49] https://github.com/NilsCode/object_detection/blob/master/object_detection_image.py
- [50] https://notebooks.azure.com/ashok-mani/projects/tensor/html/Object_detection_video.py
- [51] https://github.com/kcvizer/Object-Detection/blob/master/object_detection_webcam.py

Annesce

L'installation de TensorFlow :



```
Anaconda Prompt (Anaconda3) - conda install tensorflow=1.12

(proj) C:\Users\mypc>conda install tensorflow=1.12
Collecting package metadata (current_repodata.json): done
Solving environment: failed with initial frozen solve. Retrying with flexible solve.
Collecting package metadata (repodata.json): done
Solving environment: done

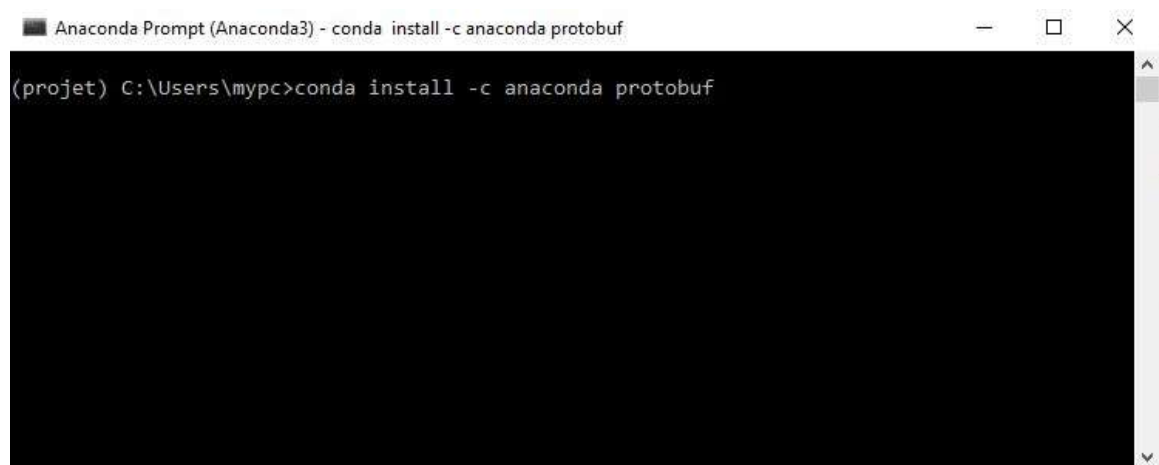
## Package Plan ##

  environment location: C:\ProgramData\Anaconda3\envs\proj
  added / updated specs:
    - tensorflow=1.12

The following packages will be downloaded:
```

Figure A.1. Installation de TensorFlow

L'installation de packages :



```
Anaconda Prompt (Anaconda3) - conda install -c anaconda protobuf

(proj) C:\Users\mypc>conda install -c anaconda protobuf
```

Figure A.2. Installation d'anaconda protobuf



```
Anaconda Prompt (Anaconda3) - conda install -c anaconda protobuf - pip install pillow

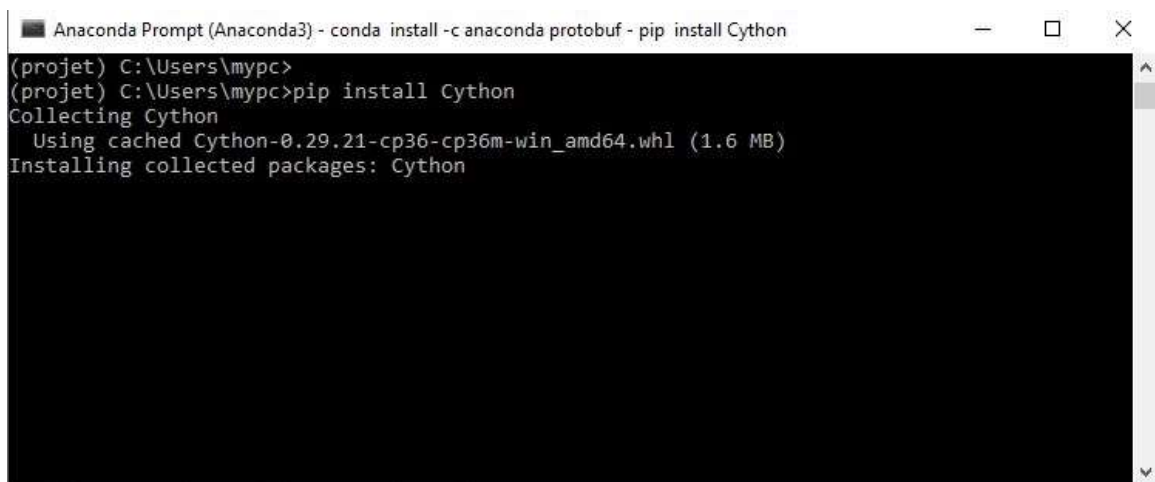
(proj) C:\Users\mypc>pip install pillow
```

Figure A.3. Installation de Pillow



```
Anaconda Prompt (Anaconda3) - conda install -c anaconda protobuf  
  
(projet) C:\Users\mypc>pip install lxml
```

Figure A.4. Installation de Lxml



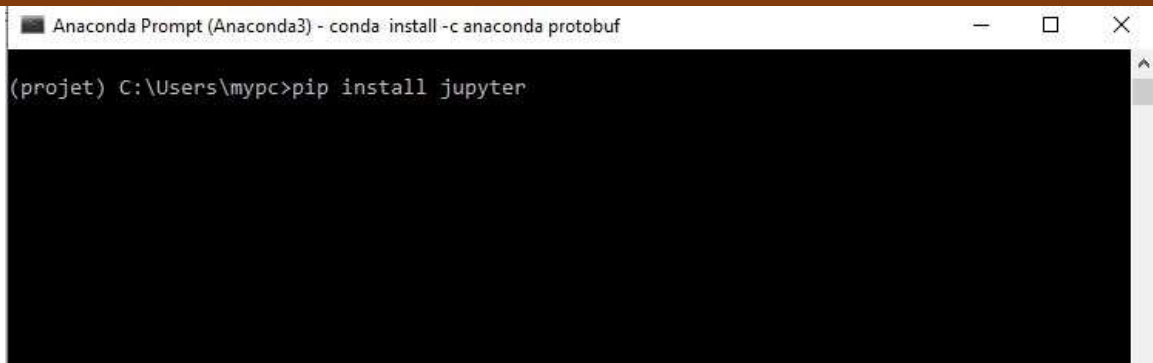
```
Anaconda Prompt (Anaconda3) - conda install -c anaconda protobuf - pip install Cython  
  
(projet) C:\Users\mypc>  
(projet) C:\Users\mypc>pip install Cython  
Collecting Cython  
  Using cached Cython-0.29.21-cp36-cp36m-win_amd64.whl (1.6 MB)  
Installing collected packages: Cython
```

Figure A.2. Installation de Cython



```
Anaconda Prompt (Anaconda3) - conda install -c anaconda protobuf  
  
(projet) C:\Users\mypc>pip install contextlib2
```

Figure A.2. Installation de contextlib2



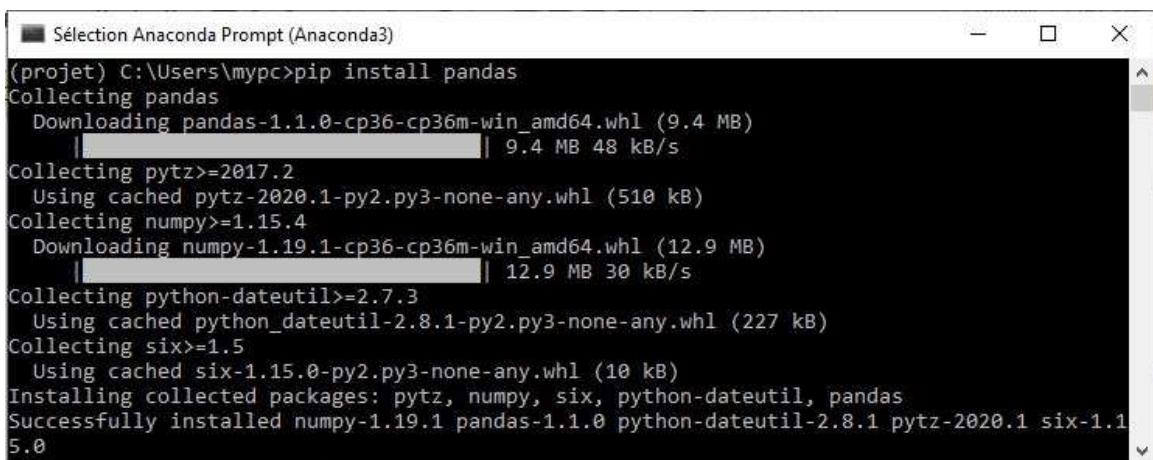
```
Anaconda Prompt (Anaconda3) - conda install -c anaconda protobuf  
  
(projet) C:\Users\mypc>pip install jupyter
```

Figure A.2. Installation de Jupyter



```
Anaconda Prompt (Anaconda3) - conda install -c anaconda protobuf  
  
(projet) C:\Users\mypc>  
(projet) C:\Users\mypc>pip install matplotlib
```

Figure A.2. Installation de Matplotlib



```
Sélection Anaconda Prompt (Anaconda3)  
  
(projet) C:\Users\mypc>pip install pandas  
Collecting pandas  
  Downloading pandas-1.1.0-cp36-cp36m-win_amd64.whl (9.4 MB)  
    |#####| 9.4 MB 48 kB/s  
Collecting pytz>=2017.2  
  Using cached pytz-2020.1-py2.py3-none-any.whl (510 kB)  
Collecting numpy>=1.15.4  
  Downloading numpy-1.19.1-cp36-cp36m-win_amd64.whl (12.9 MB)  
    |#####| 12.9 MB 30 kB/s  
Collecting python-dateutil>=2.7.3  
  Using cached python_dateutil-2.8.1-py2.py3-none-any.whl (227 kB)  
Collecting six>=1.5  
  Using cached six-1.15.0-py2.py3-none-any.whl (10 kB)  
Installing collected packages: pytz, numpy, six, python-dateutil, pandas  
Successfully installed numpy-1.19.1 pandas-1.1.0 python-dateutil-2.8.1 pytz-2020.1 six-1.15.0
```

Figure A.2. Installation de Pandas



```
Anaconda Prompt (Anaconda3) - conda install -c anaconda protobuf  
  
(projet) C:\Users\mypc>pip install opencv-python
```

Figure A.2. Installation d'OpenCV-python