

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب
Université –Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib
Faculté de Science et Technologie
Département d'Electrotechnique



Projet de Fin d'Etudes
Dans le cadre de l'arrêté ministériel 1275
« Un diplôme, une startup »
Pour l'obtention du diplôme de Master
Filière : Electrotechnique
Spécialité : Commande électrique

INSPECTIONS DES LIGNES ELECTRIQUES HT PAR DRONE ET IA

Présenté Par :

1/ SOUIDI Ikram

M2

Département
d'électrotechnique

2/ ABID Safaâ

M2

Département
d'électrotechnique

Devant le jury composé de :

Mr Ayache Zouaoui

MAA

U.Ain Témouchent

Président

Mr Adjoudj AbdelKarim

MCB

U.Ain Témouchent

Examineur

Dr. BENAZZA Baghdadi

MCA

U.Ain Témouchent

Encadrant

Mr. Belarbi Mohamed Adel

Sidi Bel Abbès

Co-Encadrant

Pr. Bouziani Hadjera

U.Ain Témouchent

Représentant de l'incubateur

Mme. Mokdad Hadhoum

Ingénieur
GDOMT/
BT et SIG

Sonelgaz.Ain
Témouchent

Partenaire socioéconomique

Année Universitaire 2023/2024

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

En premier lieu, nous exprimons notre profonde gratitude à Allah pour nous avoir accordé la force de surmonter tous les obstacles et de mener à bien ce modeste travail.

Nous tenons à adresser nos sincères remerciements à notre encadrant, le « Dr. BENAZZA Baghdadi », pour avoir accepté de nous guider tout au long de ce parcours. Nous exprimons également notre reconnaissance envers Monsieur « BELARBI Adel Mohamed » pour le temps précieux qu'il nous a accordé et ses conseils avisés.

Nos remerciements s'étendent également aux Présidents et membres du jury pour l'intérêt attentif qu'ils ont porté à notre travail, ainsi que pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de l'évaluer.

Nous sommes reconnaissants envers nos familles respectives, dont le soutien indéfectible nous a permis d'aller jusqu'au bout de cette recherche.

Enfin, nous souhaitons exprimer notre gratitude à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué au succès de notre formation. Chacune de leurs contributions a été précieuse et a grandement enrichi notre expérience.

Nous sommes conscients que nos accomplissements n'auraient pas été possibles sans le soutien, l'encouragement et les conseils généreux de tous ceux qui ont croisé notre chemin. Pour cela, nous leur adressons nos plus sincères remerciements.

Dédicace

Je tiens à exprimer ma gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Je remercie ma famille pour leur soutien et leurs encouragements tout au long de ce projet. Leur présence et leur aide ont été essentielles à la réussite de ce travail.

Je souhaite également adresser des remerciements particuliers à ma sœur Samia. Son soutien constant et sa disponibilité m'ont été d'une grande aide. Son assistance dans diverses tâches et ses encouragements ont facilité la réalisation de ce mémoire.

Enfin, je remercie tous ceux qui, de près ou de loin, ont apporté leur contribution à ce projet. Leurs conseils, leur aide et leur soutien ont été précieux.



SOUFIY Ikram

Dédicace

*À Mon cher papa Bachir et à ma perle précieuse, ma chère maman Zineb, qui ont embelli ma vie de leurs conseils avisés, de leur soutien indéfectible et de leurs sacrifices inestimables.
Leur lumière a guidé chaque pas de mon parcours vers la réussite.*

À mes frères Younes, Boumedienne, Abderrahim, et Kamel ainsi qu'à mes belles et aimables sœurs Mahdjouba et Amel.

À mon précieux compagnon à quatre pattes, Minouche, qui par sa douce présence et ses ronronnements réconfortants, a apporté une touche de sérénité à chaque moment de ma vie.

À ma précieuse amie et compagne de route Ikram, ainsi qu'à mes chères amies Imane et Fatima.

Merci du fond du cœur pour avoir fait de ce voyage une expérience inoubliable et enrichissante.



ABID Safaâ

Sommaire

SOMMAIRE

Introduction générale :	1
<u>Chapitre I : Etat de l'art sur l'inspection des lignes électriques HT</u>	
I-1. Introduction :	3
I-2. Généralités sur les lignes de transmission électrique HT :	3
I-2.1 Réseaux de transport :	4
I-2.2 Réseaux de répartition :	4
I-2.3 Réseaux de distribution :	4
I-3. Constitution d'une ligne HT :	4
I-3.1 Les Pylônes :	4
I-3.1.1 Types des Pylônes :	5
I-3.2 Les isolateurs :	6
I-3.3 Les conducteurs :	6
I-3.4 Amortisseurs Stockbridge :	6
I-3.5 Les espaceurs :	7
I-3.6 Les balises de signalisation :	7
I-4. Les différents types et causes de défaut du ligne Electrique :	8
I-4.1 Types :	8
I-4.1.1 Les Courts-circuits :	8
I-4.1.2 Coups de foudre :	8
I-4.1.3 Incendies de forêt :	8
I-4.1.4 Collision et électrocution des oiseaux :	8
I-4.2 Nature des défauts :	9
I-4.2.1 Défaut sans coupure :	9
I-4.2.2 Défaut fugitif :	9
I-4.2.3 Défaut semi permanent :	9
I-4.2.4 Défaut permanent :	9
I-4.3 Identification de certaines défaillances dans les lignes électriques :	9
I-4.3.1 Isolation inefficace :	9
I-4.3.2 Isolateur endommagé :	11
I-4.3.3 Espacement défaillant :	12
I-4.3.4 Nids d'oiseaux sur les lignes électriques :	12
I-5. Importance d'inspection des lignes électrique HT :	13
I-5.1 Les objectifs d'inspection des lignes électrique :	13
I-5.1.1 Assurer la fiabilité :	13
I-5.1.2 La sécurité d'abord :	14
I-5.1.3 Prise de décision basée sur les données :	14
I-5.2 Impact des pannes sur la distribution électrique :	14
I-5.3 Sécurité publique et risques associés aux défauts non détectés :	14
I-5.3.1 Risques d'incendie :	14
I-5.3.2 Sécurité des travailleurs :	14
I-5.3.3 Sécurité routière :	15
I-5.3.4 Risque accidentel :	15
I-5.4 Coûts économiques des interruptions de service :	15
I-5.5 Maintenance préventive de ligne électrique HT :	15
I-5.5.1 Maintenance préventive :	15
I-5.5.2 Opérations de la maintenance préventive :	16
I-6. Méthodes traditionnelles d'inspection des lignes électriques :	16
I-6.1 Inspections visuelles/manuelles : inspection basée sur des patrouilles à pied :	17
I-6.2 Inspection par hélicoptère :	17
I-6.3 Les limitations des méthodes traditionnelles d'inspection des lignes électriques aériennes :	18
I-6.3.1 Gestion des pannes lentes :	18

I-6.3.2 Risques pour la sécurité du personnel :	18
I-6.3.3 Accès difficile	18
I-6.3.4 Systèmes disparates dans le secteur des services publics : un obstacle à l'efficacité	19
I-7. Avantages potentiels de l'inspection des ligne électriques HT par drone et Intelligence artificielle :	19
I-7.1 Pourquoi les drones sont-ils utilisés pour l'inspection des lignes électriques HT :	19
I-7.2 Quels sont les avantages des inspections des lignes électriques par drones :	20
I-7.2.1 Sécurité :	20
I-7.2.2 Des inspections plus rapides et plus fréquentes :	21
I-7.2.3 Coûts réduits :	21
I-7.2.4 Haut niveau de précision :	21
I-7.2.5 Inspection de prévention sur les lignes électriques :	21
I-7.3 Modèles de classification et de détection basés sur l'intelligence artificiel :	21
I-7.4 Le rôle de l'intelligence artificielle dans l'inspection des lignes électriques HT :	22
I-7.4.1 Résilience du réseau et détection des défauts :	22
I-8. Conclusion :	22

ChapitreII : Scénario d'opération d'inspection des lignes électrique par drone

II-1. Introduction :	24
II-2. Étude des cas et proposition d'implémentation en Algérie :	24
II-2.1 Chine :	24
II-2.2 États-Unis :	25
II-2.3 Finlande :	25
II-2.4 Cas internationaux supplémentaires :	25
II-2.5 Proposition d'Implémentation en Algérie :	25
II-2.5.1 Évaluation des besoins :	25
II-2.5.2 Planification et déploiement des drones :	25
II-2.5.3 Formation et réglementation :	25
II-2.5.4 Mise en place de protocoles de maintenance :	26
II-3. Composants matériels :	26
II-3.1 Drone :	26
II-3.1.1 Définition d'UAV :	26
II-3.1.2 Le DJI M200 :	26
II-3.1.3 Collaboration avec les fabricants de drones locaux en Algérie :	26
II-3.1.4 La réglementation :	27
II-3.2 Lidar : Technologie LiDAR pour une inspection améliorée :	28
II-3.3 Caméra thermique :	29
II-3.3.1 Détection des problèmes d'isolant :	29
II-4. Application web : Analyse d'images par IA :	30
II-4.1 Interface Utilisateur Simple et Conviviale :	31
II-4.1.1 Fonctionnalités Clés :	31
II-4.2 Apprentissage automatique (Machine Learning) :	33
II-4.3 Une détection fiable :	34
II-4.4 Détection des anomalies :	35
II-4.5 Classification des anomalies :	35
II-4.6 Rapports et visualisation :	35
II-4.7 Exemples :	40
II-5. Planification de la mission :	45
II-5.1 Préparation avant le vol :	45
II-5.1.1 Planification et autorisations :	45
II-5.1.2 Évaluation des conditions météorologiques :	45
II-5.1.3 Choix et vérification du matériel :	45
II-5.1.4 Installation et pré-vol :	45
II-5.1.5 Exécution du vol :	46
II-5.1.6 Après le vol :	46
II-5.2 Surveillance continue et proactive des ligne électrique HT :	46

Sommaire

II-5.2.1 Les Limites des Inspections Annuelles :	46
II-5.2.2 L'Importance des Inspections Mensuelles	46
II-5.2.3 Stratégie et gestion des ressources :	47
II-5.2.4 C'est un effort d'équipe :	48
II-5.2.5 Amélioration continue :	48
II-6. Conclusion :	48
Conclusion générale	49
Bibliographie	50

Liste des figures

LISTE DES FIGURES

Chapitre I : Etat de l'art sur l'inspection des lignes électriques HT

Figure I-1: Pylône d'une ligne HT [3].....	3
Figure I-2: Schéma d'un réseau électrique [4].....	4
Figure I-3: Pylône nappe [5].....	5
Figure I-4: Pylône triangle [5].....	5
Figure I-5: Pylône double drapeau [5].....	5
Figure I-6: Détails de construction d'un isolateur composite.[7].....	6
Figure I-7: Les conducteurs sur les lignes haute tension (HT). [5].....	6
Figure I-8: Amortisseurs Stockbridge. - Série 2200. [38].....	7
Figure I-9: un espaceur. [39].....	7
Figure I-10: Les balises de signalisation. [9].....	8
Figure I-11: ruban isolant déchiré. [12].....	9
Figure I-12: Exposition de Câbles. [12].....	10
Figure I-13: Installation Incorrect des Attaches. [12].....	10
Figure I-14: Pylône avec Système d'Isolation Sans Défaut [12].....	10
Figure I-15: Gaine Isolante Détachée [12].....	10
Figure I-16: Parties Non Isolées sous le Support Métallique. [12].....	11
Figure I-17: isolateur endommagé [45].....	12
Figure I-18: nids d'oiseaux sur les lignes de transmission électrique.[13].....	13
Figure I-19: Schématisation des objectifs de la maintenance [24].....	15
Figure I-20: Méthodes d'inspection traditionnelles : (a) inspection par exploration en ligne ; (b) inspection au sol ; (c) inspection manuelle avec un télescope.[40].....	16
Figure I-21: L'inspection des lignes électriques par hélicoptère [44].....	18
Figure I-22: Inspection des ligne électriques HT vue de drone [41].....	20

Chapitre II : Scénario d'opération d'inspection des lignes électrique par drone

Figure II-1: Un seul pilote est nécessaire pour faire fonctionner les drones JOUAV pour les inspections des lignes électriques en chine.[41].....	24
Figure II-2: Drones DJI Matrice 200 Pro avec YellowScan Surveyor UAV LiDAR [34].....	26
Figure II-3: Drone Dhaya.....	27
Figure II-4: Carte lidar 3D de la ligne électrique. [25].....	29
Figure II-5: image thermique d'une ligne électrique HT [33].....	30
Figure II-6: application web d'analyse d'image.....	30
Figure II-7: analyse de plusieurs images en une seule passe.....	31
Figure II-8: interface d'application web.....	31
Figure II-9: génération de rapports à partir d'images.....	32
Figure II-10: Filtre pour la Classification des Anomalies.....	32
Figure II-11: Statistiques d'Analyse des Anomalies sur les Lignes de Transmission Électrique.....	33
Figure II-12: Structure d'un exemple de réseau neuronal à action directe avec une couche d'entrée, deux couches cachées et une couche de sortie [46].....	33
Figure II-13: détection de plusieurs objets ont une seule image de ligne de transmission électrique HT.....	34
Figure II-14: détection de plusieurs objets sur une ligne électrique vues du ciel.....	34
Figure II-15: Rapport 1/4.....	36
Figure II-16: Rapport 2/4.....	37
Figure II-17: Rapport 3/4.....	38
Figure II-18: Rapport 4/4.....	39
Figure II-19: détection dans des images en flux.....	40
Figure II-20: Détection d'un espaceur.....	40
Figure II-21: détection des amortisseur Stockbridge.....	41
Figure II-22: détection d'un câble cassé.....	41
Figure II-23: détection de Sphère de balisage.....	42
Figure II-24: détection de nid d'oiseaux.....	42
Figure II-25: détection d'isolateur.....	43
Figure II-26: détection des isolateurs et des espaceurs.....	43
Figure II-27: détection des isolateurs d'un pylône nappe.....	44
Figure II-28: détection des isolateurs d'un pylône double drapeaux.....	44
Figure II-29: détection de nids d'oiseaux cachés.....	44

Nomenclature

NOMENCLATURE

IA : Intelligence Artificielle

HT : Haute Tension

BT : Basse Tension

HTB : Haute Tension B

HTA : Haute Tension A

LiDAR: Light Detection and Ranging (télédétection par laser)

UAV : Unmanned Aerial Vehicle (Véhicule Aérien Sans Pilote)

CNN : Convolutional Neural Network (réseau de neurones convolutifs)

3D : Trois Dimensions

DJI : Dajiang Innovations (une entreprise chinoise spécialisée dans les drones)

ML: Machine Learning (apprentissage automatique)

SSD: Single Shot Multibox Detector

FPV : First Person View (vue à la première personne, souvent utilisé pour les drones)

DGAC : Direction Générale de l'Aviation Civile

NOTAM : Notice to Airmen (avis aux navigants aériens)

RTK : Real-Time Kinematic (cinématique en temps réel)

Introduction générale

INTRODUCTION GÉNÉRALE :

L'Algérie, en pleine expansion industrielle et urbaine, dépend fortement de l'électricité, un élément essentiel pour le développement économique et le bien-être des citoyens. L'électricité alimente non seulement les industries, mais aussi l'agriculture, les usages domestiques et le transport. La fiabilité de l'approvisionnement en électricité est donc cruciale. En cas de panne de courant, les pertes économiques peuvent être considérables, soulignant l'importance d'un réseau électrique stable et sécurisé.[1]

Avec l'augmentation rapide de la demande en électricité due à l'urbanisation et à la croissance économique, les infrastructures de transport d'électricité à haute tension jouent un rôle vital. Ces lignes de transport relient les nœuds de production d'électricité aux consommateurs finaux, et leur bon fonctionnement est essentiel pour la performance globale du réseau électrique.[1]

En Algérie, le réseau électrique s'étend sur 44 285 km, mais il est vulnérable à diverses anomalies pouvant rapidement se propager et affecter l'ensemble du système. [1] Traditionnellement, l'inspection de ces lignes est réalisée par des hélicoptères ou des patrouilles à pied, des méthodes souvent inefficaces, coûteuses et potentiellement dangereuses pour les techniciens, surtout dans des zones géographiquement inaccessibles comme les forêts ou les rivières. Ainsi, il est crucial de développer des moyens plus efficaces et économiques pour inspecter ces infrastructures vitales.[2]

Le défi de la détection et de la localisation des défauts sur les lignes électriques a été largement étudié, mais les conditions actuelles rendent parfois les méthodes traditionnelles inefficaces. Notre étude se concentre sur l'inspection des lignes électriques par drones. Nous proposons un concept innovant d'inspection basé sur la vision, utilisant les drones comme méthode principale, les images optiques comme source de données et le Machine Learning (ML) comme technologie clé pour l'analyse des données et l'inspection.

Ce manuscrit de mémoire est structuré en deux chapitres :

Chapitre 1 : Ce chapitre présente la motivation des travaux de cette thèse et souligne les défis associés à la détection des anomalies dans les lignes électriques. Nous y exposons les méthodes actuelles, leurs performances et la nécessité de développer de nouvelles techniques de détection. Cet état de l'art justifie les choix techniques et scientifiques menant à l'étude d'une nouvelle méthode d'inspection.

Chapitre 2 : Ce chapitre est dédié aux scénarios d'opérations d'inspection des lignes électriques par drones. Nous détaillerons la mise en œuvre de cette technologie, de la planification des vols à la collecte et au traitement des données. Nous aborderons les avantages pratiques des drones, tels que la réduction des coûts et des risques pour les techniciens, ainsi que l'amélioration de la précision et de l'efficacité des inspections. L'intégration de l'intelligence artificielle et du Machine Learning pour l'analyse automatique des images et la détection des anomalies sera également discutée. Des études de cas et des

exemples concrets illustreront l'impact positif de cette approche sur la gestion et la maintenance des réseaux électriques en Algérie.

Enfin, une conclusion générale récapitulera les travaux effectués et les principaux résultats obtenus. Elle proposera des recommandations pour les recherches futures, mettant en évidence l'importance de l'innovation technologique pour la modernisation des infrastructures électriques.

Chapitre I :
Etat de l'art sur
l'inspection des lignes
électriques HT

I-1.Introduction :

L'inspection des lignes électriques est cruciale pour assurer la continuité et la sécurité de l'approvisionnement énergétique. Avec les avancées technologiques, plusieurs méthodes d'inspection ont été développées pour répondre aux exigences croissantes de fiabilité et d'efficacité. Ce chapitre présente un état de l'art des diverses techniques d'inspection des lignes électriques, allant des patrouilles à pied traditionnelles aux inspections par hélicoptère, ainsi que les innovations récentes utilisant des drones et l'intelligence artificielle. En explorant ces différentes approches, nous mettrons en lumière leurs avantages et leurs limites, et comment elles contribuent à la maintenance proactive et à la gestion optimisée des réseaux électriques.[2]

I-2.Généralités sur les lignes de transmission électrique HT :

Le transport de l'énergie électrique du producteur (centrales électriques) aux consommateurs (villes, usines ...) se fait à l'aide des lignes électriques. [3]

Une ligne électrique est un ensemble de conducteurs, d'isolants et d'éléments accessoires au transport de l'énergie électrique. [3]

Les lignes électriques peuvent être classées suivant les critères :

- **Situation dans l'espace** : lignes aériennes, lignes souterraines appelées câbles.
- **Niveau de tension** : lignes basse tension (BT), lignes haute tension (HT).
- **Nature de la tension** : continue, alternative monophasée et triphasée.

Les isolateurs fixent les distances entre conducteurs. Les isolateurs peuvent-être en porcelaine, en verre ou en matière synthétique (Figure I-1). Une ligne haute tension noté HT est généralement munie d'un (01) ou de deux (02) conducteurs de garde reliés à la terre, et permettant la protection des conducteurs de phase contre les coups de foudre (Figure I-1). L'air assure l'isolement des conducteurs par rapport à la terre. [3]

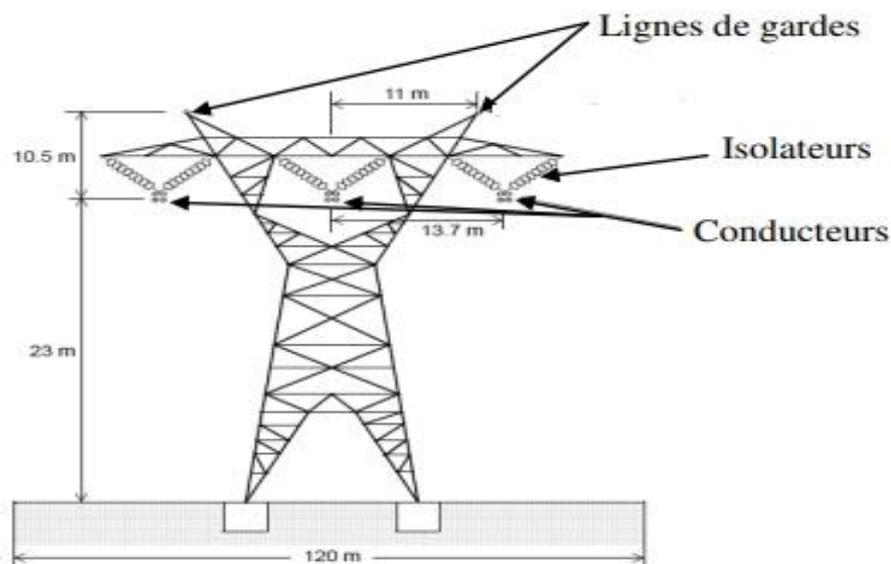


Figure I-1:Pylône d'une ligne HT [3].

L'énergie électrique est transportée en haute tension, voire très haute tension pour limiter les pertes joules (les pertes étant proportionnelles au carré de l'intensité) puis progressivement abaissée au niveau de la tension de l'utilisateur final. (Figure I-2) [4].

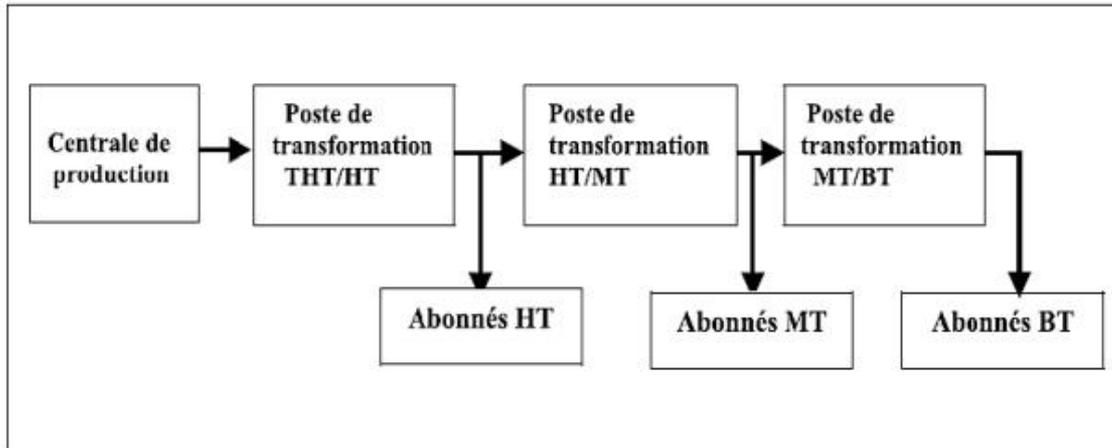


Figure I-2:Schéma d'un réseau électrique [4].

I-2.1 Réseaux de transport :

À très haute tension (HTB) transporte l'énergie des gros centres de production vers les régions consommatrices (de 220kV à 400kV). Ces réseaux sont souvent interconnectés, réalisant la mise en commun de l'ensemble des moyens de production. [4]

I-2.2 Réseaux de répartition :

Les réseaux de répartition ou réseaux Haute Tension ont pour rôle de répartir, au niveau régional, l'énergie issue du réseau de transport. Leur tension est supérieure à 63 kV selon les régions. Ces réseaux sont, en grande part, constitués de lignes aériennes, dont chacune peut transiter plus de 60 MVA sur des distances de quelques dizaines de kilomètres. [4]

I-2.3 Réseaux de distribution :

Les réseaux de distribution commencent à partir des tensions inférieures à 63 kV et des postes de transformation HTB/HTA avec l'aide des lignes ou des câbles moyenne tension jusqu'aux postes de répartition HTA/HTA. [4]

I-3.Constitution d'une ligne HT :

I-3.1 Les Pylônes :

Ce sont des supports en charpente métallique, dit pylône ou Tour leurs but est de maintenir les conducteurs à une distance minimale de sécurité du sol (hauteur optimum, appelé garde au sol) et des obstacles environnants, afin d'assurer la sécurité des personnes et des installations situées aux voisinages des lignes. Les pylônes sont généralement treillis (assemblage formant une triangulation) d'acier, de plus de 50 m de hauteur et ayant une masse pouvant atteindre, voire dépasser 100 t. [5]

Le choix des pylônes se fait en fonction des lignes à réaliser, de leur environnement et des contraintes mécaniques liées au terrain et aux conditions climatiques de la zone tels que le vent et la température. Certains sont étroits et hauts pour diminuer la largeur d'impact de la ligne, comme en forêt. D'autres sont plus larges que hauts (type chat [Figure 1.3]), lorsqu'il faut diminuer la hauteur de la ligne, par exemple près d'un aérodrome ou pour limiter

l'impact visuel de loin. Leur silhouette est caractérisée par la disposition des câbles conducteurs. [5]

I-3.1.1 Types des Pylônes :

a) Pylône nappe :

C'est le pylône le plus couramment utilisé pour les lignes de transmission, notamment dans le type de terrain accidenté en Algérie. Il est largement employé pour les lignes à haute tension (HTA) et très haute tension (HTB), couvrant des paliers de tension allant de 110 kV à 735 kV. Sa conception permet une installation aisée, ce qui le rend adapté aux terrains difficiles.[5]



Figure I-3: Pylône nappe [5].

b) Pylône Triangle :

Occupant une place réduite au sol, ce pylône est utilisé pour des paliers de tension allant de 110 KV à 315 KV. Sa hauteur varie entre 25 et 60 mètres. [5]



Figure I-4:Pylône triangle [5].

c) Pylône double drapeaux :

Très utilisé sur le réseau 400 kV. Installé depuis les années 1960. Généralement, plus la tension de la ligne est élevée, plus les pylônes sont hauts. Un pylône soutenant une ligne de 400 000 V peut atteindre 90 m de haut. [5]



Figure I-5:Pylône double drapeau [5]

I-3.2 Les isolateurs :

Le concept de base des isolateurs composites consiste à combiner divers matériaux qui peuvent répondre, grâce à la combinaison de leurs propriétés spécifiques, aux différentes fonctions remplies par les isolateurs. Un isolateur composite est globalement constitué d'une partie isolante qui consiste en un noyau interne d'un matériau approprié et d'un revêtement extérieur et d'une partie métallique solidaire au noyau. La figure I-6 illustre les détails de construction d'un isolateur composite.[7]

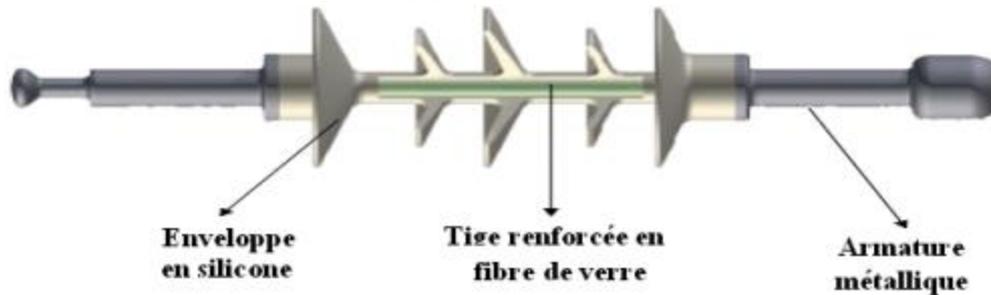


Figure I-6: Détails de construction d'un isolateur composite.[7]

I-3.3 Les conducteurs :

Les conducteurs sont « nus » c'est-à-dire que leur isolation électrique est assurée par l'air. La distance des conducteurs entre eux et avec le sol garantit la bonne tenue de l'isolement. Cette distance augmente avec l'augmentation du niveau de tension. La plupart des conducteurs à haute tension sont en aluminium ou aluminium allié avec noyau en acier, lequel assure la résistance mécanique du câble, pour éviter l'oxydation de ce dernier. [5]



Figure I-7: Les conducteurs sur les lignes haute tension (HT). [5]

I-3.4 Amortisseurs Stockbridge :

Le stockbridge est un amortisseur dynamique permettant d'atténuer les vibrations éoliennes dans les lignes aériennes. En raison de la complexité du phénomène vibratoire et de l'importance des dégâts qui en résultent sur les lignes et pour couvrir une large bande de fréquences de vibrations, les stockbridges doivent être multifréquences.[8]

Les éléments constituant le stockbridge doivent présenter des surfaces uniformes et dépourvues de fissures, de porosités, de craquelures et de tout autre défaut. La surface intérieure de la pince doit être lisse et exempte de rugosités.[8]



Figure I-8: Amortisseurs Stockbridge. - Série 2200. [38]

I-3.5 Les espaceurs :

Les espaceurs de câbles sont des dispositifs qui permettent de maintenir la distance et le support entre les conducteurs des câbles aériens, tels que les lignes électriques ou les câbles de télécommunication. [39]

Leur fonction principale est d'éviter que ces câbles n'entrent en contact entre eux ou avec des objets proches, ce qui pourrait entraîner des incidents graves tels que des courts-circuits ou des coupures de courant. En gardant les câbles espacés de manière appropriée, les entretoises de câbles garantissent une transmission d'électricité et de données plus sûre et plus fiable.[39]



Figure I-9: un espaceur. [39]

I-3.6 Les balises de signalisation :

Les balises de signalisation sont installées sur les lignes aériennes, les câbles de téléphériques pour avertir la navigation aérienne volant à basse altitude d'obstacles. De manière générale, elles sont placées à proximité des aéroports et sur les portées élevées qui surplombent des rivières, des lacs, des fjords, des vallées, des routes, des voies ferroviaires, des chantiers et des pipelines. Elles se trouvent également à proximité des bases militaires, des postes de police, hôpitaux, trajets d'hélicoptères et autres zones de vol à basse altitude.[9]

Les couleurs vives comme l'orange, le rouge et le jaune se distinguent facilement de l'environnement, même dans des conditions de faible luminosité. Cela permet aux pilotes d'avions, aux hélicoptères et aux personnes au sol de repérer aisément les lignes HT, réduisant ainsi les risques de collision et d'accident.[9]



Figure I-10: Les balises de signalisation. [9]

I-4. Les différents types et causes de défaut du ligne Electrique :

I-4.1 Types :

I-4.1.1 Les Courts-circuits :

Les origines des Courts-circuits sont :

- **Mécanique** : la dégradation mécanique de conducteurs ou la chute d'un corps sur un conducteur.
- **Humaines** : les fausses manœuvres par exemple : l'ouverture d'un sectionneur en charge.
- **Atmosphériques** : la foudre, les tempêtes ou le givre.
- **Electriques** : les isolants des matériels de réseau subissent des dégradations au cours du temps qui conduisent à des défauts d'isolement et donc des Courts circuits.[4]

I-4.1.2 Coups de foudre :

- **Origine atmosphérique** : c'est le cas de la foudre qui frappe les conducteurs d'une ligne ou d'un poste ou tombe dans leur voisinage immédiat. [10]
- **Origine mécanique** : c'est le cas de la rupture d'un support, d'un conducteur ou d'un isolateur sur une ligne aérienne, on peut aussi inclure dans cette catégorie les amorçages dus aux contacts de branches d'arbre mal élagués, des grues et engins de grande hauteur travaillant au voisinage.[10]

I-4.1.3 Incendies de forêt :

Si la végétation sous-jacente n'est pas contrôlée ou si les rémanents provenant des activités courantes d'entretien sont laissés en bordure des emprises, il peut s'accumuler assez de combustibles pour alimenter des incendies de forêt.[10]

I-4.1.4 Collision et électrocution des oiseaux :

La hauteur des pylônes et l'électricité transportée par les lignes de transport et de distribution d'électricité exposent les oiseaux à des risques d'accidents mortels résultant d'une collision ou d'une électrocution. Un grand nombre d'oiseaux peuvent entrer en collision avec les lignes si ces dernières sont situées le long des couloirs migratoires ou de déplacement quotidien des oiseaux, ou si les oiseaux se déplacent par groupe la nuit ou dans de mauvaises

conditions de visibilité (brouillard dense par exemple). La collision d'oiseaux avec des lignes électriques peuvent, par ailleurs provoquer des pannes de courant et des incendies.[10]

I-4.2 Nature des défauts :

I-4.2.1 Défaut sans coupure :

C'est un défaut qui s'élimine sans coupure, même très brève de la clientèle. Il peut par contre produire des creux de tension significatifs (en cas de défauts polyphasés). Ce sont :

- **Les défauts auto** – extincteurs (monophasés ou polyphasés), qui disparaissent naturellement par eux-mêmes en une durée inférieure à 100 ms,[6]
- **Les défauts monophasés** – éliminés par le fonctionnement du disjoncteur shunt.

I-4.2.2 Défaut fugitif :

C'est un défaut éliminé par un cycle rapide. [6]

I-4.2.3 Défaut semi permanent :

C'est un défaut éliminé grâce à un ou deux cycles lents. [6]

I-4.2.4 Défaut permanent :

C'est un défaut qui n'a pu être éliminé par les différents cycles de réenclenchements. Il a entraîné un déclenchement définitif du disjoncteur.[6]

Au niveau des réseaux aériens de transport de SONELGAZ, les défauts sont :

- De 70 à 90% fugitifs.
- De 5 à 15% semi permanents.
- De 5 à 15% permanents.[5]

I-4.3 Identification de certaines défaillances dans les lignes électriques :

I-4.3.1 Isolation inefficace :

a) Utilisation de matériaux peu durables qui ont perdu leur efficacité :

Comme vous pouvez le voir dans les images ci-dessus, le ruban isolant est déchiré, laissant apparaître un élément métallique. Des électrocutions peuvent se produire si un technicien touche le support métallique et entre en contact avec cet élément exposé. [12]

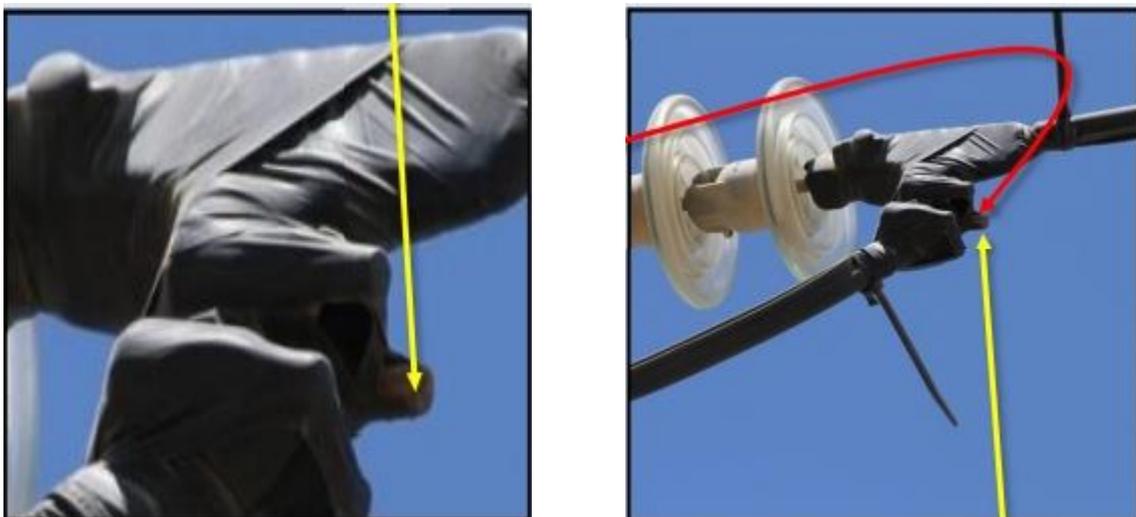


Figure I-11: ruban isolant déchiré. [12]

b) Éléments isolants inefficaces en raison d'une mauvaise installation :

À **gauche** : les attaches qui recouvrent l'élément métallique sont mal installées et laissent apparaître une partie métallique. Il y a un risque d'électrocution si l'oiseau effleure cette partie en se posant sur le poteau métallique. [12]

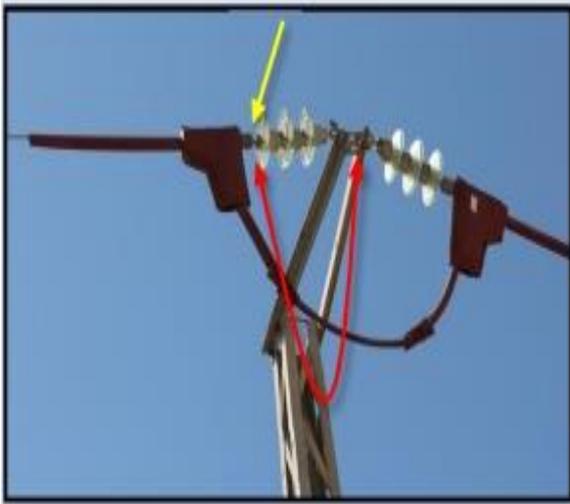


Figure I-13: Installation Incorrect des Attaches. [12]

À **droite** : rectification similaire à la précédente, même si l'attache est ici bien située, les isolants laissent apparaître des parties de câbles. [12]

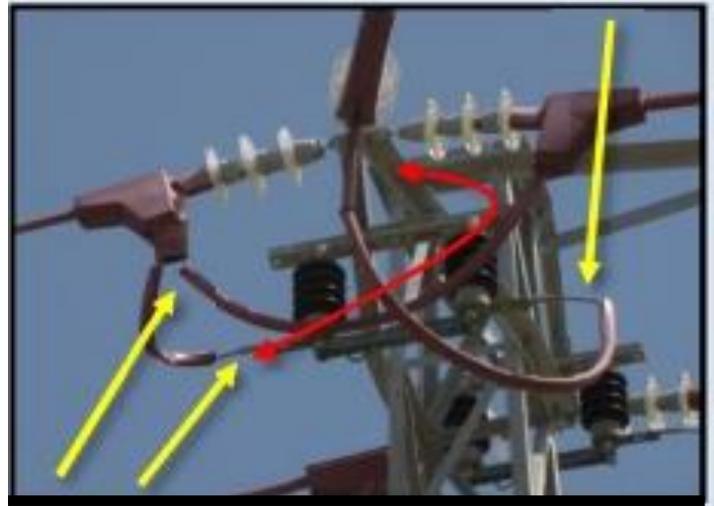


Figure I-12: Exposition de Câbles. [12]

À **gauche** : la gaine utilisée comme isolant s'est détachée de l'agrafe (probablement en raison d'une installation défectueuse) et s'est déplacée, laissant apparaître des parties du câble non protégées et très proches du pylône. [12]

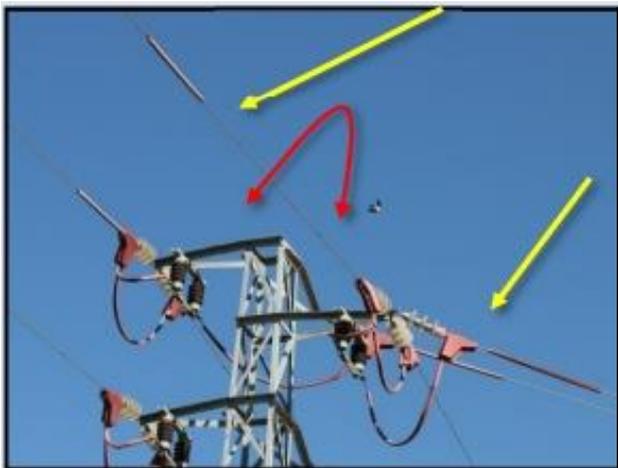


Figure I-15: Gaine Isolante Détachée [12]

À **droite** : pylône doté d'un système d'isolation similaire qui, cette fois, a été installé correctement et ne présente aucune déféctuosité. [12]



Figure I-14: Pylône avec Système d'Isolation Sans Défaut [12]

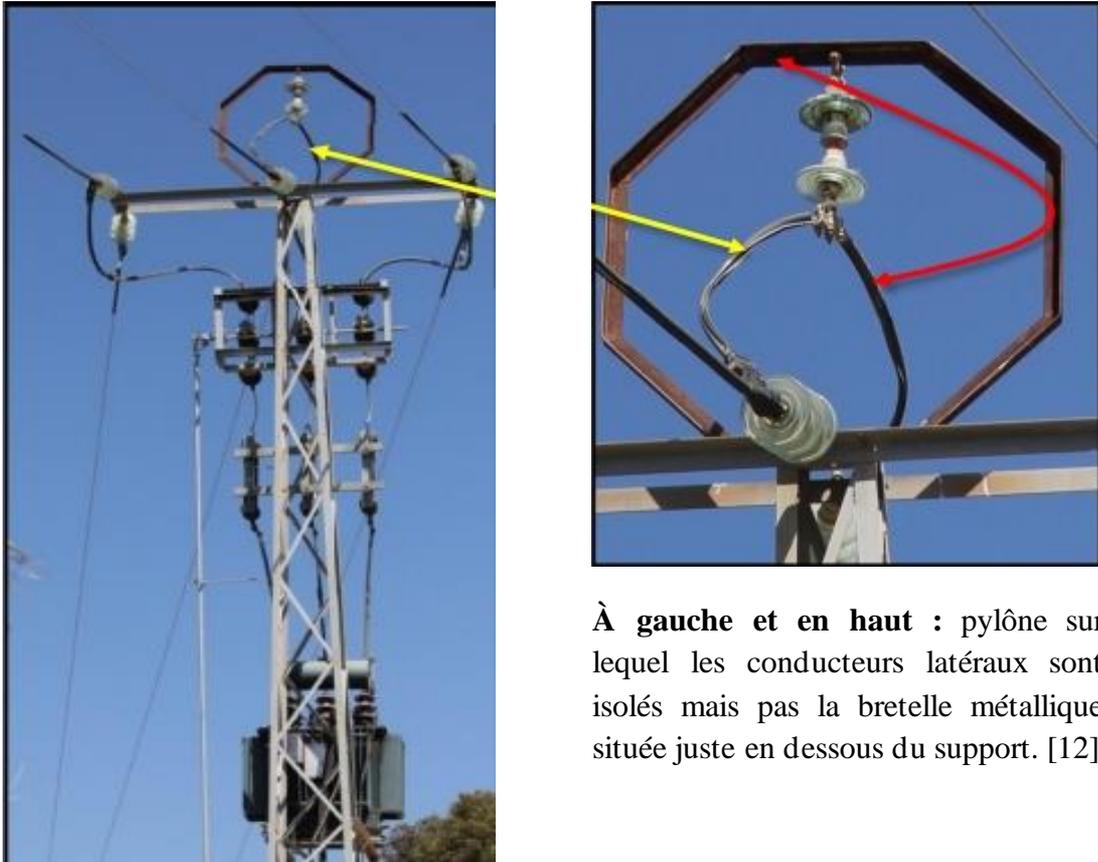


Figure I-16: Parties Non Isolées sous le Support Métallique. [12]

I-4.3.2 Isolateur endommagé :

Un isolateur de ligne HT remplit deux fonctions fondamentales : mécaniquement, il maintient le conducteur à une certaine distance du pylône et du sol ; électriquement, il fournit l'isolation nécessaire à la terre. Par conséquent, une façon de définir une défaillance de l'isolateur est lorsque l'une ou l'autre de ces fonctions, ou les deux, ne sont plus remplies.[45]

Les dommages aux isolateurs peuvent se manifester de plusieurs manières :

1. **Défaut de fabrication** : l'isolant peut contenir un minuscule défaut de fabrication qui, avec le temps, s'aggravera et entraînera une défaillance. Ce défaut peut être localisé dans la partie diélectrique de l'isolateur, dans les raccords métalliques ou dans les matériaux utilisés pour relier le diélectrique et l'embout métallique.[45]
2. **Fissures ou Cassures** : Les isolateurs peuvent développer des fissures ou se casser en raison de contraintes mécaniques, des impacts physiques ou des variations de température.
3. **Contamination** : La saleté, la poussière, le sel et d'autres contaminants peuvent s'accumuler sur les isolateurs, provoquant des chemins conducteurs pour les courants de fuite.
4. **Vieillessement Matériel** : Les matériaux isolants peuvent se détériorer avec le temps.



Figure I-17: isolateur endommagé [45]

I-4.3.3 Espacement défaillant :

Les Espacement brisées dans les lignes de transport d'électricité peuvent avoir de graves conséquences sur la fiabilité et la sécurité du réseau électrique. [40]

Ils sont conçus pour maintenir une distance de sécurité entre les conducteurs de phase. Lors de la rupture des entretoises, cette distance est compromise, entraînant un risque de contact des conducteurs les uns avec les autres. [40]

Sans le support d'espacement intacts, les conducteurs peuvent s'affaisser excessivement ou se balancer plus librement sous l'effet du vent. Les contraintes mécaniques supplémentaires et l'augmentation du mouvement provoquées par des entretoises cassées peuvent accélérer l'usure des conducteurs et des autres composants.

I-4.3.4 Nids d'oiseaux sur les lignes électriques :

Les oiseaux sont une source importante de pannes dans les lignes aériennes de transport et de distribution. Celles-ci sont souvent causées par des électrocutions d'oiseaux qui se produisent lorsqu'un oiseau entre simultanément en contact avec une phase et un équipement mis à la terre ou avec deux conducteurs sous tension présentant des différences de phase. [13]

Les électrocutions se produisent principalement dans les lignes de distribution (lignes électriques plus petites avec des tensions plus faibles) mais sont beaucoup moins fréquentes dans les lignes de transport (lignes électriques plus grandes avec des tensions plus élevées), en particulier sur celles ≥ 150 kV, en raison de la distance relativement grande entre les conducteurs et les conducteurs à -sol. [13]

Néanmoins, dans les lignes de transmission, il existe d'autres défauts électriques liés aux oiseaux, notamment à cause de l'utilisation de pylônes pour la nidification. [13]

Le nid d'oiseau peut interférer avec le transport d'électricité à travers :

- Matériaux pour nids d'oiseaux, qui peuvent tomber et entrer en contact avec des câbles conducteurs. [13]

- Les nids d'oiseaux sur les lignes électriques augmentent le risque potentiel de Feu violent et rapide.

- les nids d'oiseaux peuvent entraîner des pannes de courant, des incendies et des électrocutions aviaires en raison de l'activité accrue des oiseaux autour des espaces de nidification. [14]

Il est important de sensibiliser aux dangers des nids d'oiseaux sur les lignes électriques. En travaillant ensemble, nous pouvons contribuer à protéger les oiseaux et les humains du danger.

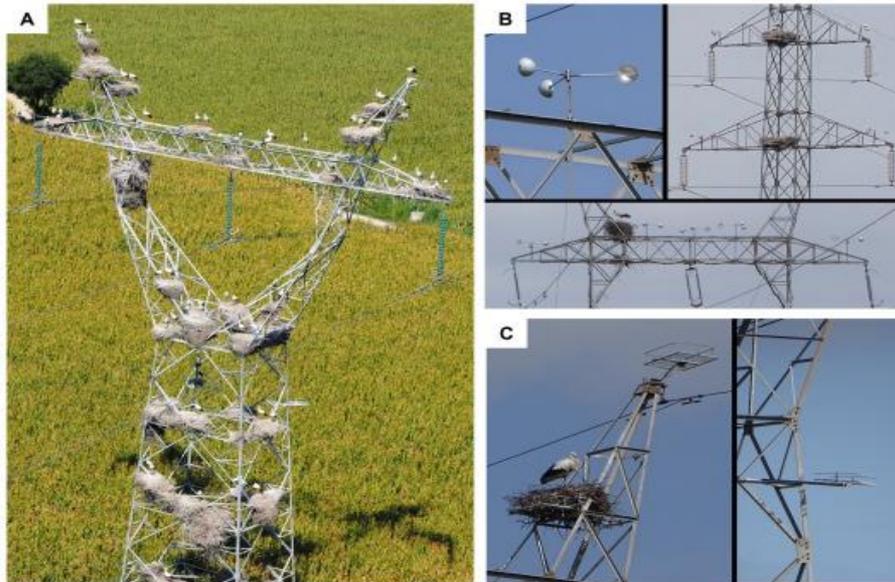


Figure I-18: nids d'oiseaux sur les lignes de transmission électrique.[13]

I-5.Importance d'inspection des lignes électrique HT :

Le ministre de l'Énergie en Algérie a expliqué que les coupures d'électricité enregistrées à travers nombre de régions du pays sont dues au manque d'entretien des réseaux de transport de l'énergie électrique et des équipements, et que Sonelgaz doit s'engagée, pour ce faire, dans de nombreux chantiers d'entretien. [26]

Dans notre monde de plus en plus connecté, la fiabilité de notre infrastructure électrique est primordiale. Les lignes électriques constituent l'élément vital de la société moderne, garantissant que les foyers, les entreprises et les services essentiels ont accès à l'électricité. Pourtant, malgré leur rôle essentiel, les lignes électriques sont sujettes à l'usure, aux facteurs environnementaux et à d'autres dangers potentiels. C'est là que l'inspection des lignes électriques entre en jeu, et son importance ne peut être surestimée.[11]

I-5.1 Les objectifs d'inspection des lignes électrique :

- La surveillance des matériels
- L'entretien préventif de ces matériels

I-5.1.1 Assurer la fiabilité :

L'une des principales raisons pour lesquelles l'inspection des lignes électriques est essentielle est son rôle pour garantir la fiabilité de notre réseau électrique. En inspectant régulièrement les lignes électriques, nous pouvons identifier et résoudre les problèmes potentiels avant qu'ils ne se transforment en problèmes majeurs.[11]

I-5.1.2 La sécurité d'abord :

La sécurité est une préoccupation majeure dans le secteur des services publics. Les lignes électriques endommagées ou défectueuses peuvent présenter des risques importants tant pour les travailleurs que pour le public. L'inspection des lignes électriques permet d'identifier les risques potentiels pour la sécurité, tels que les équipements endommagés, les lignes affaissées ou l'empiètement de la végétation. En abordant ces problèmes de manière proactive, nous pouvons réduire les risques d'accidents, d'incendies et de risques électriques.[11]

I-5.1.3 Prise de décision basée sur les données :

L'inspection moderne des lignes électriques ne consiste pas seulement à inspecter physiquement les lignes ; il s'agit également de collecter et d'analyser des données. En collectant des données sur l'état des lignes électriques, Sonelgaz peut des décisions éclairées concernant la maintenance, les réparations et les mises à niveau. Cette approche basée sur les données permet d'optimiser les ressources et d'assurer la longévité de l'infrastructure électrique.[11]

I-5.2 Impact des pannes sur la distribution électrique :

Les lignes électriques à haute tension représentent la première phase de fourniture d'énergie et sont utilisées pour parcourir de longues distances depuis les centres de production jusqu'aux stations primaires. L'ensemble la structure du système de transmission est maillée et elle est utilisée dans ce mode pour optimiser la puissance flux et assurer la continuité de l'alimentation électrique. Il s'agit d'une infrastructure fondamentale pour lesquelles de longues périodes d'interruption ne sont pas autorisées.[2]

Les dommages aux réseaux de transport et de distribution peuvent entraîner des pannes de courant chez les clients, allant des pannes localisées dans les quartiers aux événements généralisés dans plusieurs États. Les pannes de courant peuvent avoir un impact l'activité économique et perturber les infrastructures critiques et les services essentiels, tels que les hôpitaux et usines de traitement des eaux.[2]

I-5.3 Sécurité publique et risques associés aux défauts non détectés :

Les défauts électriques dans les lignes électriques HT entraînent un risque important pour la sécurité publique telle que les personnes, les animaux, les cultures et les forêts. Voici quelques-uns des principaux risques associés à ces pannes :[2]

I-5.3.1 Risques d'incendie :

Les lignes à haute tension peuvent provoquer des incendies, soit par des arcs électriques, soit par des défaillances d'équipement. Les feux de forêt peuvent être déclenchés par des étincelles provenant des lignes.[15]

I-5.3.2 Sécurité des travailleurs :

Les travailleurs qui entretiennent les lignes à haute tension sont exposés à des risques accrus de chutes, d'électrocution et de brûlures. Des protocoles de sécurité stricts sont nécessaires pour protéger ces travailleurs.[16]

I-5.3.3 Sécurité routière :

Des défauts non détectés peuvent provoquer la chute de lignes sur les routes, entraînant des accidents de la route graves. Les conducteurs peuvent être électrocutés ou impliqués dans des collisions en essayant d'éviter des obstacles soudains.[17]

I-5.3.4 Risque accidentel :

Source de préjudice, de danger ou de difficulté potentielle créée par le hasard, une négligence non délibérée ou un comportement à risque, une erreur ou une défaillance inattendue ou non intentionnelle causée par une personne, des biens, des équipements, des infrastructures ou le milieu [de travail ou de vie] environnant.[18]

I-5.4 Coûts économiques des interruptions de service :

Omniprésente, l'électricité est devenue un élément indissociable de nos vies. Sans elle, notre société et notre économie ne pourraient pas fonctionner. Véritable épine dorsale de l'approvisionnement en électricité. Le réseau de transport joue un rôle central dans la sécurité d'approvisionnement. Il revêt donc une importance majeure pour notre pays, notre société et notre économie. Le coût économique d'une coupure supérieure à trois minutes revient à environ 200 fois le prix de la fourniture de cette même énergie. [19]

I-5.5 Maintenance préventive de ligne électrique HT :

La mission principale de la fonction maintenance est le maintien par des actions préventives et correctives de la disponibilité de l'outil de production ; c'est-à-dire de son aptitude à accomplir une fonction requise [24].

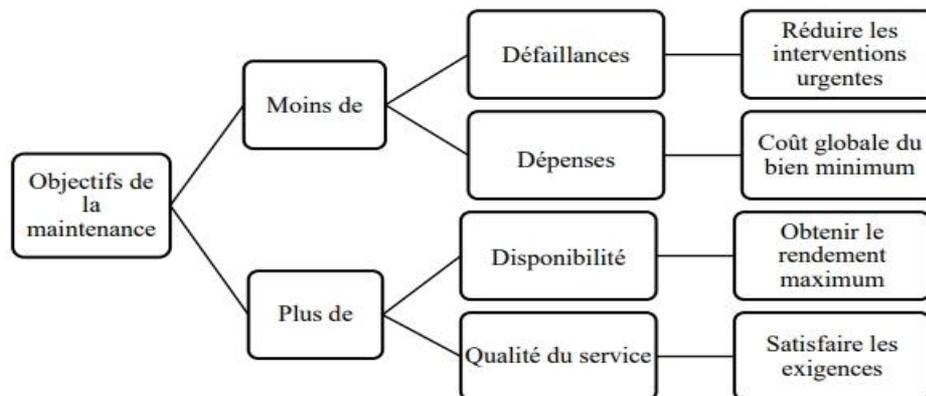


Figure I-19: Schématisation des objectifs de la maintenance [24]

I-5.5.1 Maintenance préventive :

D'après un extrait de la norme NF EN 13306 X 60-319, la maintenance préventive c'est une maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien.

Une opération de maintenance préventive est donc une intervention prévue, préparée et programmée en fonction de différent paramètre en vue d'éviter l'apparition probable d'une défaillance identifiée.

On distingue là trois types de maintenance

- Maintenance préventive systématique ;
- Maintenance préventive conditionnelle ;
- Maintenance préventive prévisionnelle. [24]

I-5.5.2 Opérations de la maintenance préventive :

Les opérations munies par ce type de maintenance sont :

a) Inspection

Contrôle de conformité réalisé en mesurant, observant, testant ou calibrant les caractéristiques significatives d'un bien ; elle permet de relever des anomalies et d'exécuter des réglages simples ne nécessitant pas d'outillage spécifique, ni d'arrêt de la production ou des équipements (pas de démontage). [24]

b) Contrôle

Vérification de la conformité à des données préétablies, suivie d'un jugement. Ce contrôle peut déboucher sur une action de maintenance corrective ou alors inclure une décision de refus, d'acceptation ou d'ajournement. [24]

c) Visite :

Examen détaillé et prédéterminé de tout (visite générale) ou partie (visite limitée) des différents éléments du bien et pouvant impliquer des opérations de maintenance du premier et du deuxième niveau ; il peut également déboucher sur la maintenance corrective. [24]

d) Test :

Comparaison des réponses d'un système par rapport à un système de référence ou à un phénomène physique significatif d'une marche correcte. [24]

e) Echange standard :

Remplacement d'une pièce ou d'un sous-ensemble défectueux par une pièce identique, neuve ou remise en état préalablement, conformément aux prescriptions du constructeur. [24]

f) Révision :

Ensemble complet d'examens et d'actions réalisées afin de maintenir le niveau de disponibilité et de sécurité d'un bien. Une révision est souvent conduite à des intervalles prescrits du temps ou après un nombre déterminé d'opérations. Une révision demande un démontage total ou partiel du bien. Le terme révision ne doit donc pas être confondu avec surveillance. Une révision est une action de maintenance de niveau 4.[24]

I-6.Méthodes traditionnelles d'inspection des lignes électriques :

L'inspection des lignes de transport d'électricité est essentielle pour assurer une distribution ininterrompue de l'électricité. Les méthodes d'inspection traditionnelles incluent l'exploration de lignes, inspection au sol et inspection manuelle avec des télescopes, comme le montre la figure I.20.[40]

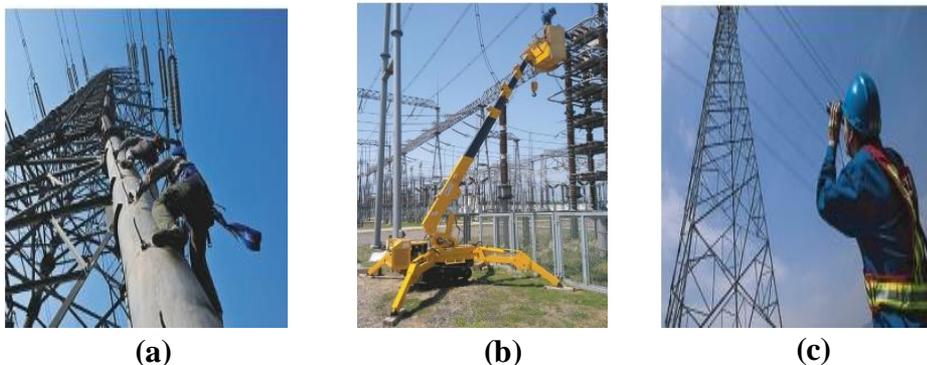


Figure I-20: Méthodes d'inspection traditionnelles : (a) inspection par exploration en ligne ; (b) inspection au sol ; (c) inspection manuelle avec un télescope.[40]

I-6.1 Inspections visuelles/manuelles : inspection basée sur des patrouilles à pied :

La méthodologie la plus utilisée pour l'inspection des lignes électrique en Algérie est la patrouille à pied. Dans cette méthode, deux ou plusieurs techniciens de Sonelgaz sont envoyés pour inspecter les ligne électriques en marchant dessus ou en utilisant n'importe quel véhicule terrestre en se déplaçant sur les lignes.

Cependant, cette méthodologie est fastidieuse, longue et parfois dangereuse pour les techniciens et les ouvriers, surtout dans les zones reculées ou difficiles d'accès. Lorsque les lignes électriques traversent un terrain difficile d'accès, cela signifie que pour inspecter les lignes électriques, les équipes d'inspection doivent également trouver un moyen de les traverser.[40]

Pour les patrouilles à pied, cela représente un défi considérable, ralentissant à la fois la vitesse de déplacement et la collecte de données, parfois jusqu'à l'arrêt. Aussi pour les zones humides et les marais peu profonds, c'est encore plus difficile, car on ne peut pas les parcourir à pied et ils sont souvent trop peu profonds pour les bateaux.[40]

De plus, les inspections manuelles peuvent négliger des défauts subtils ou nécessiter des visites répétées pour une couverture complète.

Un autre inconvénient majeur de cette méthode est que l'inspection n'est pas possible en cas de risques naturels tels que de fortes pluies et des conditions météorologiques extrêmes.

I-6.2 Inspection par hélicoptère :

Dans cette méthode, l'inspection est effectuée sur lignes de transport d'électricité par une équipe d'ingénieurs/techniciens (principalement trois membres) en survolant en hélicoptère les lignes de transport d'électricité. Généralement, l'équipage sera composé d'un pilote, d'un inspecteur et d'un technicien caméra pour enregistrer des vidéos et capturer des images.[44]

Le caméraman doit capturer toutes les images des tours, y compris les câbles et les composants. Après cela, un groupe d'ingénieurs hautement qualifiés inspectera ces vidéos et images collectées pour détecter les isolateurs et les conducteurs cassés... [44]

Cependant, cette méthode n'est pas considérée comme plus précise et plus sûre, car les données acquises ne seront pas suffisantes en raison du mouvement rapide de l'hélicoptère sur les lignes de transmission. Parfois, cela peut coûter la vie à l'équipe d'inspection car elle doit se déplacer très près des lignes de transmission. Cela est également considéré comme très coûteux et nécessite beaucoup de compétences en matière d'inspection visuelle (figure I.21).[44]



Figure I-21: L'inspection des lignes électriques par hélicoptère [44]

I-6.3 Les limitations des méthodes traditionnelles d'inspection des lignes électriques aériennes :

Bien que les méthodes traditionnelles d'inspection des lignes électriques aériennes, telles que les inspections visuelles à pied ou en hélicoptère, aient été utilisées pendant de nombreuses années et collectent des données d'inspection précieuses, elles présentent plusieurs limitations importantes qui les rendent moins efficaces et plus dangereuses que les méthodes d'inspection modernes.[21]

I-6.3.1 Gestion des pannes lentes :

- Les hélicoptères, couramment utilisés pour les inspections de lignes électriques, ne sont pas bien adaptés en raison de leur taille et de leur poids. Ils sont gênés par des conditions météorologiques défavorables et par les limitations des passages étroits.

- Les hélicoptères génèrent un volume important de photographies qui nécessitent une analyse manuelle, ce qui entraîne des retards dans l'identification des problèmes.

I-6.3.2 Risques pour la sécurité du personnel :

- Les exploitants de réseaux électriques sont confrontés à des risques élevés, en particulier lorsqu'ils travaillent sur des terrains difficiles et dans des conditions météorologiques défavorables.[43]

- Selon T&D World (un site Internet et une plateforme média destinés aux professionnels des services publics de l'électricité), 30 à 50 travailleurs sur 100 000 meurent chaque année au travail, ce qui classe le travail sur les lignes électriques parmi les 10 emplois les plus dangereux.[43]

I-6.3.3 Accès difficile

- **Terrain accidenté** : Montagnes, forêts denses, rivières et zones marécageuses peuvent rendre l'accès par des moyens traditionnels comme les véhicules ou les marcheurs difficile, voire impossible.

- **Infrastructures** : Les lignes électriques peuvent traverser des zones avec des infrastructures complexes telles que des routes, des voies ferrées et des zones urbaines, ce qui limite les options d'accès.

I-6.3.4 Systèmes disparates dans le secteur des services publics : un obstacle à l'efficacité

De nombreuses entreprises de services publics utilisent une multitude de systèmes déconnectés tout au long de leur processus d'inspection, de la planification aux ordres de travail détaillés destinés aux équipes de terrain. [11]

Ce manque de synchronisation entre ces systèmes complique le flux et l'analyse des données, rendant l'ensemble du processus inutilement lourd et chronophage. [11]

Idéalement, toutes les étapes du processus d'inspection devraient être intégrées dans un système synchronisé afin d'améliorer l'efficacité et l'efficience.[11]

I-7. Avantages potentiels de l'inspection des ligne électriques HT par drone et Intelligence artificielle :

Les drones devraient prochainement contribuer à garantir la sécurité d'approvisionnement électrique. Ils serviront à l'inspection des pylônes à haute tension.

L'inspection des lignes électriques pour les sociétés de services publics d'électricité est coûteuse, dangereuse et prend du temps. C'est pourquoi ils recherchent des méthodes alternatives pour détecter les défauts sur les lignes électriques.[41]

La technologie d'inspection par drone a un coût relativement faible, une utilisation flexible, une efficacité relativement élevée et une sécurité renforcée.[41]

Les inspections des lignes électriques sont essentielles à l'entretien des infrastructures et au maintien de l'alimentation électrique des maisons et des entreprises. Des inspections doivent être effectuées régulièrement pour détecter les dommages précoces et les problèmes potentiels. Ils sont également effectués après des tempêtes et autres catastrophes pour rechercher les dommages et préparer les réparations.[41]

Avant les drones, les inspections des lignes électriques étaient généralement effectuées manuellement, avec des inspecteurs escaladant les lignes ou par hélicoptère. Les inspections manuelles et les hélicoptères prennent du temps, sont dangereux et beaucoup plus coûteux. Aujourd'hui, les drones sont de plus en plus utilisés pour effectuer des inspections de lignes électriques, car ils effectuent des inspections en toute sécurité, rapidement et de manière rentable.[41]

I-7.1 Pourquoi les drones sont-ils utilisés pour l'inspection des lignes électriques HT :

Les drones sont utiles pour de nombreux types d'inspections. Ils peuvent atteindre de grandes hauteurs en toute sécurité et manœuvrer facilement autour de presque toutes les structures. Les travailleurs peuvent effectuer des inspections en toute sécurité. [41]

Les drones peuvent être équipés de technologies de pointe, telles que des caméras haute résolution, des images thermiques et des capteurs LiDAR.[41]

La combinaison d'une technologie d'imagination de pointe avec l'agilité des drones est idéale pour inspecter les lignes électriques en toute sécurité. Les problèmes peuvent être détectés tôt, ce qui permet d'éviter des dommages futurs majeurs.[41]

Les inspections peuvent être effectuées sans temps d'arrêt. Garder les lignes électriques en service pendant toute la durée de l'inspection signifie que l'alimentation électrique n'est jamais interrompue (figure I.22). [41]

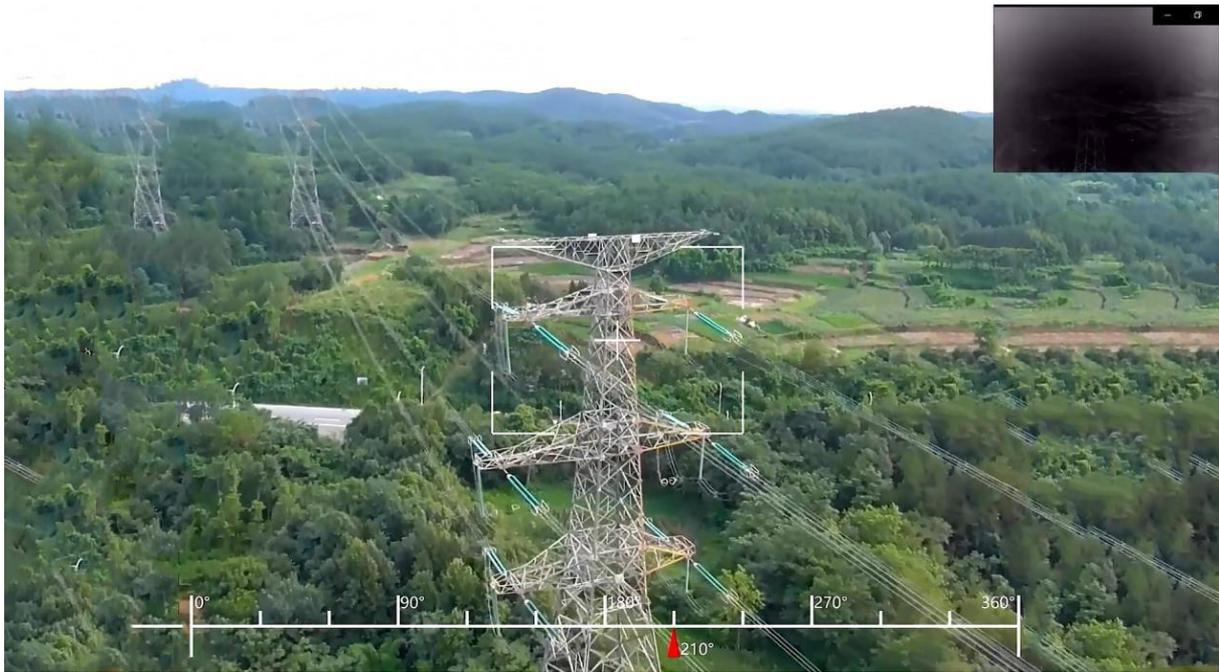


Figure I-22: Inspection des ligne électriques HT vue de drone [41]

I-7.2 Quels sont les avantages des inspections des lignes électriques par drones :

Effectuer des inspections de lignes électriques à l'aide de drones présente de nombreux avantages. Les inspections effectuées par drone sont beaucoup plus sûres que celles effectuées manuellement et elles sont réalisées beaucoup plus rapidement. Ils sont également très précis. Les inspections par drone sont moins coûteuses que les inspections manuelles ou par hélicoptère. [20]

I-7.2.1 Sécurité :

Les inspections par drone sont beaucoup plus sûres pour les inspecteurs que les inspections manuelles. Les lignes électriques sont très dangereuses. Non seulement ils sont situés en hauteur, mais ils transmettent également de l'électricité à haute tension. Les inspecteurs de lignes électriques subissent des chutes et des électrocutions lors de l'inspection des lignes électriques. [20]

Les drones sont capables d'effectuer des inspections tandis que les inspecteurs restent au sol en toute sécurité, loin des courants électriques dangereux. Il y a très peu de risques lorsqu'un télépilote expérimenté fait voler un drone au-dessus des lignes électriques. Non seulement les drones rendent l'expérience d'inspection plus sûre, mais ils améliorent également la sécurité du public en identifiant rapidement les problèmes sur les lignes. .[20]

Non seulement les drones rendent l'expérience d'inspection plus sûre, mais ils améliorent également la sécurité du public en identifiant rapidement les problèmes sur les lignes. Il s'agit de zones dans la ligne où il y a des problèmes potentiels qui peuvent mener à des catastrophes s'ils ne sont pas corrigés rapidement.[20]

La résolution précoce des problèmes évite les pannes, les dangers pour le public et même les incendies de forêt. La précision des inspections par drone garantit la sécurité des inspecteurs et des communautés dans lesquelles se trouvent les lignes.[20]

I-7.2.2 Des inspections plus rapides et plus fréquentes :

Les drones inspectent les lignes électriques plus rapidement. Avec une vitesse moyenne de 40 MPH (65 km/h), les drones peuvent couvrir de grandes étendues de lignes électriques en peu de temps. Bien entendu, lorsqu'une enquête révèle des zones préoccupantes, un drone peut également ralentir pour observer de plus près en zoomant avec ses caméras.[21]

Puisque les drones effectuent des inspections plus rapidement, ils peuvent également les effectuer plus fréquemment. Cela vous donne des rapports réguliers et augmente votre capacité à répondre aux problèmes et à prévenir les pannes.[21]

Les données des drones peuvent également être traitées plus rapidement. Avec la possibilité de produire des cartes et des modèles 3D à des vitesses record.[21]

I-7.2.3 Coûts réduits :

Les inspections traditionnelles nécessitent l'embauche d'un grand nombre d'inspecteurs ou le paiement d'hélicoptères. Dans les deux cas, cela coûte cher. Les heures de travail s'additionnent et les hélicoptères ne sont pas bon marché.[20]

Les inspections par drone réduisent considérablement les coûts d'inspection car elles sont plus rapides et moins coûteuses.[20]

I-7.2.4 Haut niveau de précision :

Les données d'inspection des drones sont très précises. Grâce à des capteurs avancés, les drones capturent une multitude de données que les équipes d'inspection régulières ne peuvent tout simplement pas capturer. Et plus vous disposez de données d'inspection, plus l'inspection est fiable.[21]

I-7.2.5 Inspection de prévention sur les lignes électriques :

La préservation structurelle des lignes électriques nécessite une action de surveillance régulière. Cette démarche est nécessaire pour repérer les éventuelles détériorations et les réparer dans les meilleurs délais. Dans ce contexte, l'inspection par drone des lignes électriques représente la solution idéale. L'usage de cet appareil guidé à distance permet de visualiser avec précision l'état des fils et des installations dans toute leur longueur grâce à la caméra de haute résolution. Vous constatez rapidement les érosions et fissures présentes sur une ligne, ainsi que leur état de gravité. [42]

Le drone sert également à observer l'environnement des lignes électriques : il vous est par exemple possible de repérer à temps une surcroissance de la végétation dans une zone éloignée ou difficile d'accès. [42]

Outre le repérage préventif, l'inspection par drone constitue aussi un moyen plus rapide et plus efficace de collecter les données nécessaires à l'établissement d'une cartographie des lignes électriques. Celle-ci demeure un outil indispensable pour optimiser la maintenance des réseaux.[42]

I-7.3 Modèles de classification et de détection basés sur l'intelligence artificiel :

Au cours des dernières années, les réseaux de neurones convolutifs (CNN), qui sont un type particulier de réseaux de neurones conçus pour tirer parti de la structure 2D des données d'image, ont fait progresser l'état de l'art de nombreuses applications de vision par ordinateur, telles que l'image, reconnaissance et détection d'objets. [22]

Les quatre idées clés derrière le succès des CNN dans le traitement des données d'image sont les connexions locales, les pondérations partagées, la mise en commun et l'utilisation de plusieurs couches.[22]

Les algorithmes de détection jouent un rôle essentiel dans l'identification des défauts et des anomalies dans l'infrastructure des lignes électriques, améliorant ainsi l'efficacité et la précision des inspections. [22]

I-7.4 Le rôle de l'intelligence artificielle dans l'inspection des lignes électriques HT :

L'IA permet une maintenance prédictive, un aspect critique qui permet d'éviter les pannes inattendues en prévoyant les pannes d'équipement. En analysant les données de divers capteurs et systèmes, l'intelligence artificielle sur les algorithmes du réseau d'énergie électrique peut prédire quand une maintenance est nécessaire, optimisant ainsi la durée de vie des équipements et réduisant les temps d'arrêt.[22]

I-7.4.1 Résilience du réseau et détection des défauts :

L'intelligence artificielle (IA) est devenue un outil puissant pour renforcer la résilience du réseau et la détection des pannes au sein des réseaux. Énergie électrique systèmes. Sa capacité à identifier et à réagir rapidement aux défauts ou aux perturbations améliore considérablement la stabilité et la fiabilité des réseaux énergétiques. [23]

En utilisant des algorithmes sophistiqués d'apprentissage automatique, l'IA constitue un mécanisme proactif permettant de détecter les irrégularités et les anomalies au sein du réseau. Il identifie efficacement les problèmes potentiels, les isole rapidement et redirige l'électricité de manière dynamique, atténuant ainsi les perturbations et renforçant la fiabilité globale du réseau. Cette capacité à s'adapter rapidement aux conditions changeantes du réseau contribue à une infrastructure d'approvisionnement énergétique plus robuste et adaptative. [23]

L'application de l'IA dans la détection des pannes est révolutionnaire, car elle permet non seulement d'identifier rapidement les perturbations, mais joue également un rôle central dans leur résolution proactive. Cette approche proactive permet d'éviter les pannes potentielles et de minimiser l'impact des perturbations, garantissant ainsi un approvisionnement électrique continu et fluide. [23]

En résumé, l'intégration de l'IA dans les mécanismes de détection et de réponse aux pannes est la pierre angulaire de la quête d'un réseau électrique plus résilient. Ses capacités d'adaptation renforcent non seulement le réseau contre les perturbations, mais contribuent également à maintenir un approvisionnement énergétique fiable et stable, essentiel à nos besoins modernes. [23]

I-8.Conclusion :

En résumé, ce chapitre a présenté un panorama complet des méthodes d'inspection des lignes électriques, allant des techniques traditionnelles aux innovations les plus récentes. Chaque méthode, qu'il s'agisse des patrouilles à pied, des inspections par hélicoptère ou des technologies avancées comme les drones et l'intelligence artificielle, joue un rôle crucial dans la surveillance et la maintenance des ligne électriques HT. Ces approches diversifiées permettent de détecter et de prévenir efficacement les problèmes, assurant ainsi la fiabilité et la sécurité du réseau électrique. Alors que nous nous préparons à explorer plus en détail l'inspection des lignes électriques par drones et IA dans le chapitre suivant, il est clair que

l'intégration de ces technologies avancées représente un pas significatif vers une gestion plus proactive et efficiente de nos réseaux électriques.

Chapitre II :
Scénario d'opération
d'inspection des lignes
électrique par drone

II-1.Introduction :

Dans le deuxième chapitre, l'accent est mis sur les méthodes avancées de surveillance et de maintenance des lignes électriques à haute tension, en mettant en avant l'usage des technologies modernes comme l'intelligence artificielle (IA) et les drones. Ces innovations technologiques sont devenues essentielles dans le contexte de l'augmentation rapide de la demande en électricité et de la nécessité d'assurer un approvisionnement fiable et continu. En particulier, ce chapitre examine comment ces outils peuvent être appliqués pour détecter les défauts, prévoir les pannes et améliorer l'efficacité des opérations de maintenance. Les systèmes d'IA offrent des capacités de traitement et d'analyse des données inégalées, tandis que les drones permettent des inspections détaillées et sécurisées des infrastructures, même dans des environnements difficiles d'accès. [21]

Ensemble, ces technologies promettent de transformer la manière dont les réseaux électriques sont gérés et maintenus en Algérie.

II-2.Étude des cas et proposition d'implémentation en Algérie :

L'inspection des lignes électriques par drones s'avère être une méthode innovante et efficace déjà adoptée dans plusieurs pays. Voici quelques études de cas internationales et une proposition pour l'implémentation en Algérie.

II-2.1 Chine :

La Chine a été à l'avant-garde de l'intégration de drones pour l'inspection des lignes électriques. Le réseau national chinois, dans diverses provinces comme le Zhejiang et le Guangxi, utilise des drones JOUAV équipés de systèmes LiDAR avancés.[41]

Ces drones effectuent des inspections sur des divers terrains difficile d'accès, notamment dans les régions montagneuses et haute altitude, garantissant la sécurité des employeurs, ces drones peuvent fonctionner dans des conditions météorologiques extrêmes. Par exemple, le drone CW-15 utilisé dans la province du Guangxi a inspecté efficacement les lignes électriques sur 20 km de terrain montagneux avec des conditions météorologiques défavorables. Également Les drone JOUAV ont couvert de vastes zones de Chine en un temps record, fournissant également des cartes 3D détaillées des lignes de transport d'électricité et de la végétation. [35,41]



Figure II-1: Un seul pilote est nécessaire pour faire fonctionner les drones JOUAV pour les inspections des lignes électriques en chine.[41]

II-2.2 États-Unis :

En Etats-Unis la technologie de drone et d'AI est largement utilisée pour l'inspection des lignes électrique à haute tentions. Améliorant l'efficacité et la sécurité des ligne. Comme exemple on a le drone AlphaAir 450 équipé de LIDAR capable de capturer des images en 3D. permettant des mesures des distances, des zones et des angles des lignes. Cette technologie aïd a détecté la croissance des végétations autour des ligne électrique, ainsi aide de mesurer la distance de sécurité. Ces drones peuvent aussi inspecter les lignes électriques 6 fois plus rapidement que les méthodes traditionnelles. Les inspections traditionnelles couvrent environ 10 km par jour, les drones peuvent parcourir jusqu'à 60 km par jour.[36]

II-2.3 Finlande :

Hepta Airborne a mené plusieurs projets d'inspection de lignes électriques, notamment dans les zones humides et les forêts finlandaises. En utilisant des drones et des technologies LiDAR, ils ont pu surpasser les inspections traditionnelles par hélicoptère en termes de précision et de sécurité. Ces projets démontrent l'efficacité des drones pour surveiller et maintenir les infrastructures critiques dans des conditions difficiles.[37]

II-2.4 Cas internationaux supplémentaires :

Dans d'autres pays comme le Canada et l'Allemagne. L'inspection des lignes électriques avec des drones et l'IA a montré des avantages énormes. Ces pays utilisent des drones avec des caméras thermiques et des modèles d'intelligence artificielle pour détecter les anomalies de température et les dommages structurels. Ils ont réussi a Déployé des pilotes qualifiés pilotent ces drones dans des terrain difficiles, garantissant une collecte de données précise et minimisant les risques de collisions ou de perturbations. Un autre impact important Les inspections traditionnelles des lignes électriques coûtent environ 1 000 dollars par km dans ces pays, tandis que les inspections par drone coûtent environ 200 dollars par km. Cela se traduit par une économie de 80 %.[35]

II-2.5 Proposition d'Implémentation en Algérie :

L'Algérie pourrait bénéficier grandement de l'adoption de drones pour l'inspection des lignes électriques. Voici quelques étapes proposées pour cette implémentation :

II-2.5.1 Évaluation des besoins :

Identification des zones critiques et des infrastructures à risque nécessitant une surveillance accrue.

II-2.5.2 Planification et déploiement des drones :

Pour l'implémentation en Algérie, il est crucial de développer une stratégie de planification de mission prenant en compte la topographie locale, les zones de décollage, et les conditions météorologiques. Les drones devront être équipés de systèmes de contrôle automatique et manuel pour la capture des données et l'analyse des nuages de points.

II-2.5.3 Formation et réglementation :

La formation des pilotes algériens sur les systèmes de drones et la compréhension des normes de sécurité des lignes électriques sont primordiales. De plus, il est nécessaire de naviguer dans le cadre réglementaire algérien pour assurer des opérations sécurisées et conformes.

II-2.5.4 Mise en place de protocoles de maintenance :

Établir des procédures standard pour l'inspection régulière et l'entretien des lignes électriques, en utilisant les données collectées par les drones pour planifier des interventions ciblées.

II-3. Composants matériels :

II-3.1 Drone :

II-3.1.1 Définition d'UAV :

Un UAV (Unmanned Aerial Vehicle) ou drone est : un véhicule aérien motorisé, qui ne transporte pas d'opérateur humain, utilise la force aérodynamique pour assurer sa portance, peut voler de façon autonome ou être piloté à distance, être réutilisable ou récupérable et qui emporte une charge utile létale ou non létale. [28]

II-3.1.2 Le DJI M200 :

Il est le tout premier drone d'entreprise lancé par DJI au premier trimestre 2017. Il est destiné à l'inspection aérienne des routes, des voies ferrées, des turbines électriques, des ponts ainsi qu'à la cartographie des chantiers de construction.[34]

Le drone DJI M200 peut voler jusqu'à 35 minutes grâce à son nouveau système d'alimentation à double batterie qui réchauffe automatiquement les batteries lors de vols à des températures inférieures à zéro. On a le choix de voler avec des batteries TB50 ou des batteries TB55. Ce drone est parfait pour la photogrammétrie et l'inspection. On peut l'utiliser avec des LiDAR légers (moins de 2 kg, comme le YellowScan Surveyor).[34]



Figure II-2: Drones DJI Matrice 200 Pro avec YellowScan Surveyor UAV LiDAR [34]

II-3.1.3 Collaboration avec les fabricants de drones locaux en Algérie :

Il est crucial de travailler en collaboration avec les fabricants de drones locaux en Algérie pour plusieurs raisons. En premier lieu, les drones peuvent être construits sur place, ce qui stimule le progrès technologique et économique de la région. Un bon exemple est le drone Dhaya, créé par l'ingénieur algérien M. BELARBI Adel Mohammed. Cette nouvelle technologie locale met en évidence la capacité de l'Algérie à concevoir des technologies avancées qui répondent aux exigences particulières du pays. Le Dhaya est pourvu d'un

support dédié permettant de transporter les câbles électriques jusqu'aux ouvriers au sommet des pylônes.

Ce support offre divers avantages clés pour la maintenance des lignes électriques :

- **Améliorer l'efficacité des opérations de maintenance** est essentiel pour l'efficacité opérationnelle. En accélérant la maintenance, le support du Dhaya facilite le transport des câbles. Les travailleurs peuvent obtenir rapidement les câbles et autres équipements requis, diminuant le temps passé en hauteur sur les pylônes et augmentant l'efficacité des équipes de maintenance.

- **Minimiser les périodes d'inactivité** : Il est essentiel de réduire les interruptions de service afin de garantir la continuité de la fourniture d'électricité. Le soutien de Dhaya aide à diminuer les périodes d'inactivité en accélérant et améliorant la maintenance. Cela aide les entreprises de services publics à assurer un service fiable et continu à leurs clients.

- **Flexibilité** : Posséder des instruments polyvalents est crucial pour s'adapter à diverses situations professionnelles. L'adaptabilité du support du Dhaya permet son utilisation dans divers environnements et conditions. Cela fait des drones comme le Dhaya très pratiques pour les entreprises de services publics en Algérie, aptes à faire face à diverses situations et besoins particuliers.

En encourageant et en employant des drones fabriqués sur place tels que le Dhaya, nous appuyons non seulement l'innovation locale et l'économie du pays, mais nous profitons aussi de solutions adaptées aux besoins et aux difficultés spécifiques de la région. Travailler en partenariat avec les fabricants de drones locaux est une initiative stratégique qui apportera des avantages à long terme à l'essor technologique et industriel de l'Algérie.



Figure II-3: Drone Dhaya

II-3.1.4 La réglementation :

En Algérie, la loi applicable aux drones inclue des dispositions relatives à la fois au droit civil et au droit pénal. D'autre part, le pilotage des drones est également encadré par le code des transports et le code de l'aviation civile.[28]

Tant pour la sécurité des aéronefs que celle des personnes au sol, ou encore pour le respect de la vie privée et du droit à l'image : il est très important que les pilotes connaissent et appliquent ces textes.[28]

II-3.2 Lidar : Technologie LiDAR pour une inspection améliorée :

LiDAR est la nouvelle révolution pour la surveillance et l'inspection des lignes électriques HT en fournissant des images de haute résolution en temps réel, pour une gestion efficace du réseau. Le dispositif LiDAR, remplace les méthodes traditionnelles d'inspection, capturent des modèles 3D des lignes électriques pour obtenir la meilleure détection des défaillances, ainsi que pour la planification et la visualisation des secours performantes. Les avantages de l'utilisation de cette technologie dans les lignes électriques comprennent la capacité de détecter en temps réel les problèmes structurels et la végétation.[27]

Le niveau de développement atteint par la technologie LiDAR permet de l'utiliser dans des applications de surveillance des lignes électriques. Grâce aux données aériennes des nuages de points et au traitement logiciel approprié, la ligne électrique est facilement extraite et générée sous forme de modèle numérique 3D. De plus, la solution LiDAR offre également les capacités rapides d'optimisation et d'inventaire des actifs requises par la haute évolutivité de la ligne électrique. Les capteurs LiDAR prennent en charge plusieurs échos pour capturer les coordonnées de la ligne électrique, des installations électriques, de la végétation et des objets au sol en un seul balayage afin d'améliorer considérablement l'efficacité de l'inspection.[27]

Certains des principaux avantages comprennent :

Inspection de réception finale d'un nouveau projet de réseau électrique et création de fichiers bruts. Cela inclut les canaux de lignes électriques (arbres et bâtiments), les intersections (lignes électriques, autoroutes, voies ferrées), les installations électriques (distances de sécurité, pentes), l'affaissement du fil de terre et les câbles internes. [25]

Simplification du calcul de la distance de sécurité entre la ligne électrique et la végétation ou les nouvelles constructions. Prise en charge de l'estimation approximative du modèle de croissance de la végétation, de la déformation de la ligne sous des températures élevées et de la mesure de l'intervalle entre les points d'intersection. Aménagement du site des installations électriques avant la phase de construction et conception de la taille des composants. [25]

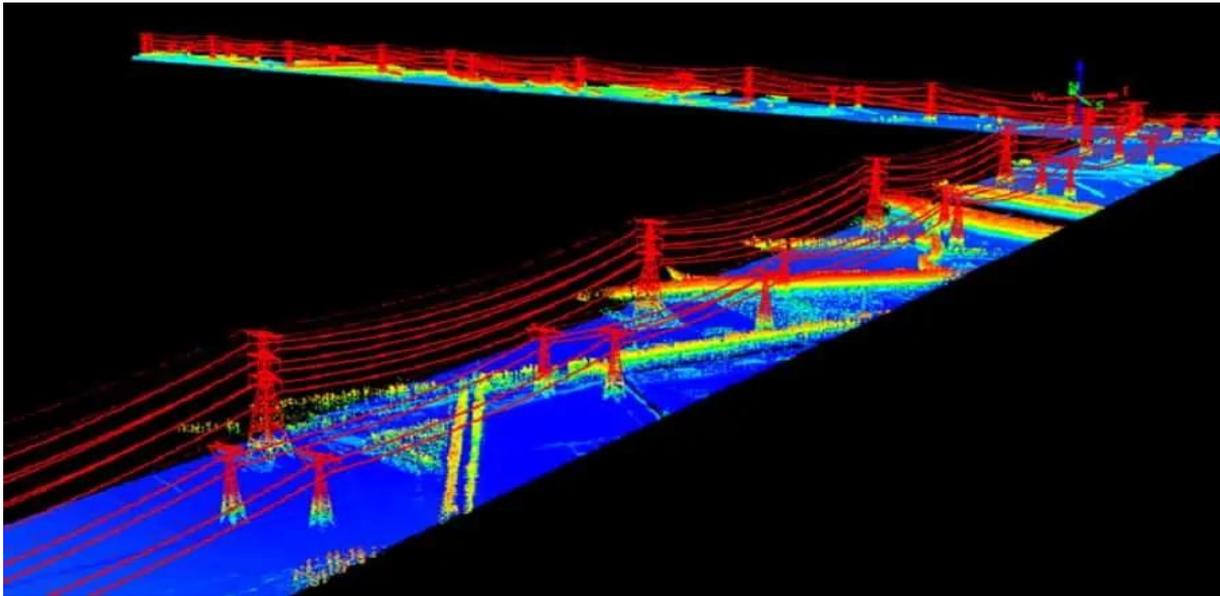


Figure II-4: Carte lidar 3D de la ligne électrique. [25]

II-3.3 Caméra thermique :

Les problèmes électriques dans les réseaux de distribution haute tension peuvent varier par leurs composants et leurs causes : une mauvaise connexion au niveau de la traversée isolante, la dégradation du disque d'oxyde métallique dans le parafoudre, une fuite d'huile ou de gaz au niveau du transformateur ou du disjoncteur... une augmentation de la température causée par une résistance électrique accrue avant la défaillance d'un composant/équipement. [40]

L'imagerie thermique est la technologie idéale pour détecter les problèmes potentiels dans les systèmes de distribution d'énergie haute tension pour deux raisons : elle offre des mesures à distance sans contact, ce qui garantit la sécurité de l'inspecteur, et l'inspection thermique n'interférera pas avec le fonctionnement du système, qui évite les temps d'arrêt inutiles et les pertes de bénéfices.

II-3.3.1 Détection des problèmes d'isolant :

Les matériaux nocifs et la pollution peuvent provoquer un échauffement anormal des isolants, entraînant des défauts. En utilisant une caméra thermique infrarouge, la distribution invisible de la température de surface des isolateurs peut être présentée sous forme d'image, révélant des informations telles que le taux de rayonnement et l'état anormal du disque isolant, qui joue un rôle important dans la détection des défauts de l'isolateur et dans la sécurité et la stabilité. Entretien du système électrique.[33]

Les caractéristiques d'imagerie thermique des connexions de ligne sont centrées sur le serre-fil et la connexion, avec des points chauds évidents. Les anomalies de température mesurées par la caméra thermique infrarouge peuvent détecter les défauts potentiels à l'avance, émettre des avertissements de défaut et inciter le personnel à prendre des mesures de dépannage à temps. [33]

Que ce soit de jour comme de nuit, l'imageur thermique infrarouge peut détecter et découvrir clairement les cibles d'intrusion potentielles, réalisant une surveillance 24 heures sur 24 et un avertissement rapide des cibles suspectes.

L'utilisation de la technologie d'imagerie thermique pour la détection en direct des équipements électriques à haute tension peut réduire les pannes de courant imprévues, fournissant ainsi une base pour la maintenance des équipements et réduisant les dépenses supplémentaires.

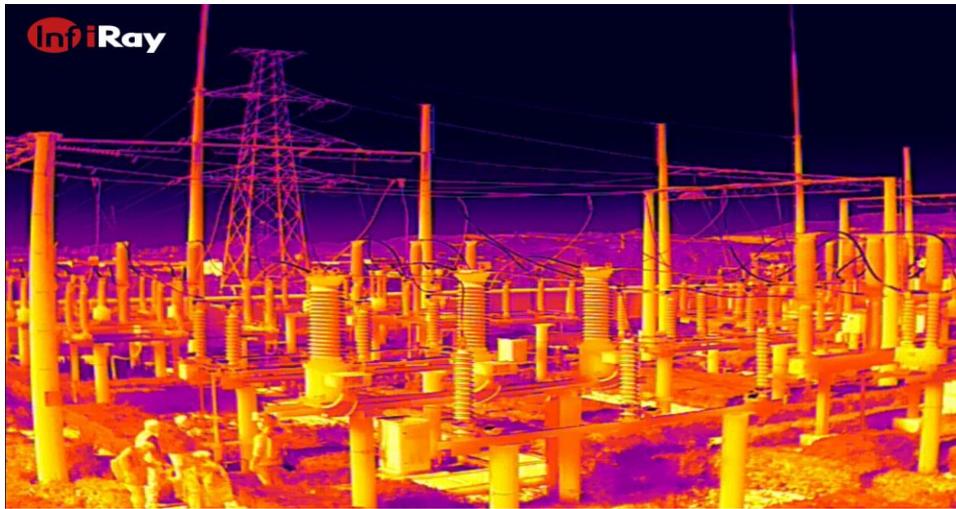


Figure II-5: image thermique d'une ligne électrique HT [33]

II-4. Application web : Analyse d'images par IA :

Dans cette application web (Figure II-6), nous présentons un modèle d'intelligence artificielle (IA) avancé spécialement conçu pour détecter et analyser simultanément plusieurs images en une seule passe (Figure II-7). Cette technologie de pointe permet d'examiner efficacement un grand nombre d'images, offrant une précision et une rapidité inégalées.

Grâce à des algorithmes sophistiqués et à des techniques d'apprentissage automatique, notre modèle est capable de traiter des images complexes, d'identifier des objets multiples et de repérer des anomalies avec une grande fiabilité.

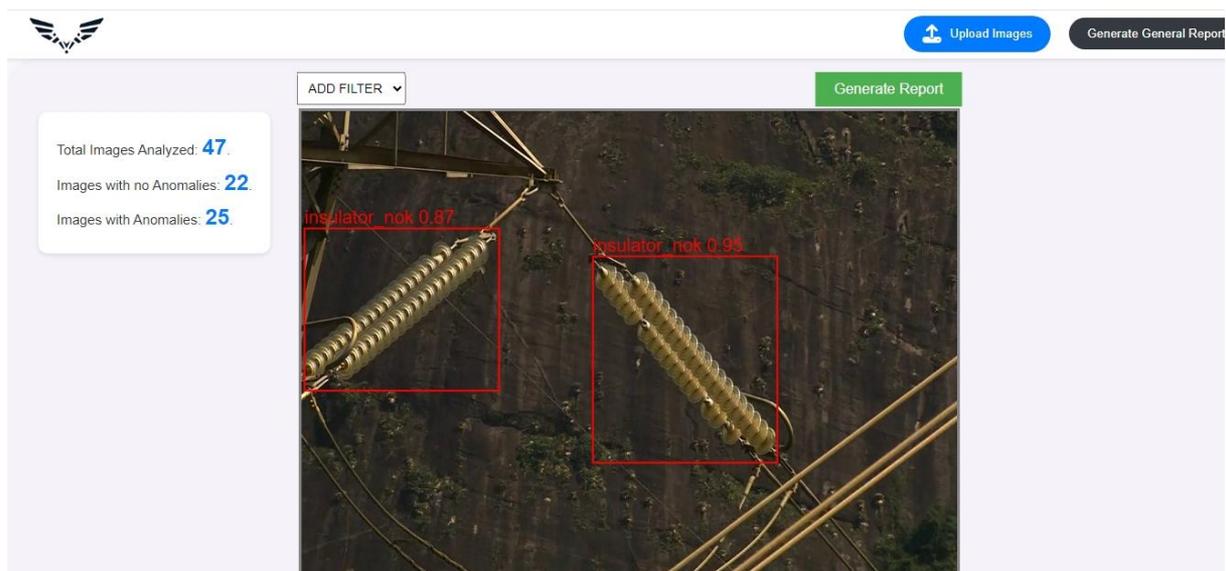


Figure II-6: application web d'analyse d'image

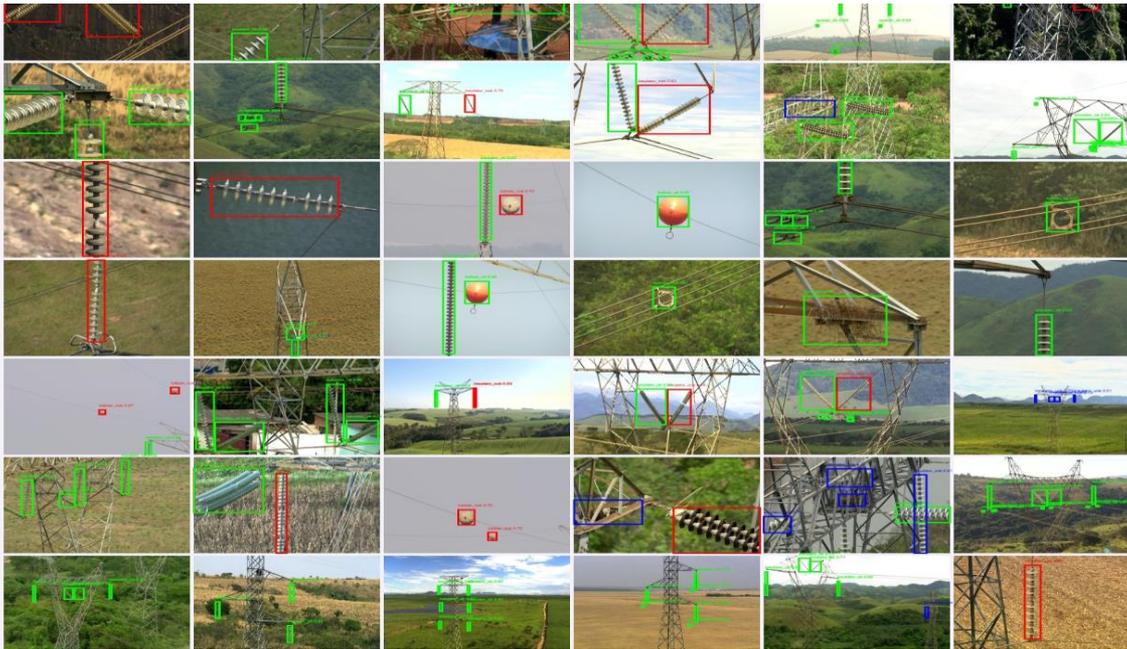


Figure II-7: analyse de plusieurs images en une seule passe

II-4.1 Interface Utilisateur Simple et Conviviale :

L'interface utilisateur de notre modèle de détection des anomalies des lignes de transmission électrique a été conçue pour être à la fois simple et conviviale, facilitant ainsi son utilisation par tous les utilisateurs, quel que soit leur niveau de compétence technique.

II-4.1.1 Fonctionnalités Clés :

a) Simplicité d'Utilisation :

L'utilisateur n'a qu'à cliquer sur le bouton "Upload Images" pour sélectionner une ou plusieurs images à analyser (Figure II-8). Ce processus est intuitif et ne nécessite aucune compétence technique particulière.

b) Analyse Automatique :

Une fois les images téléchargées, elles sont automatiquement analysées par le système pour détecter les anomalies.

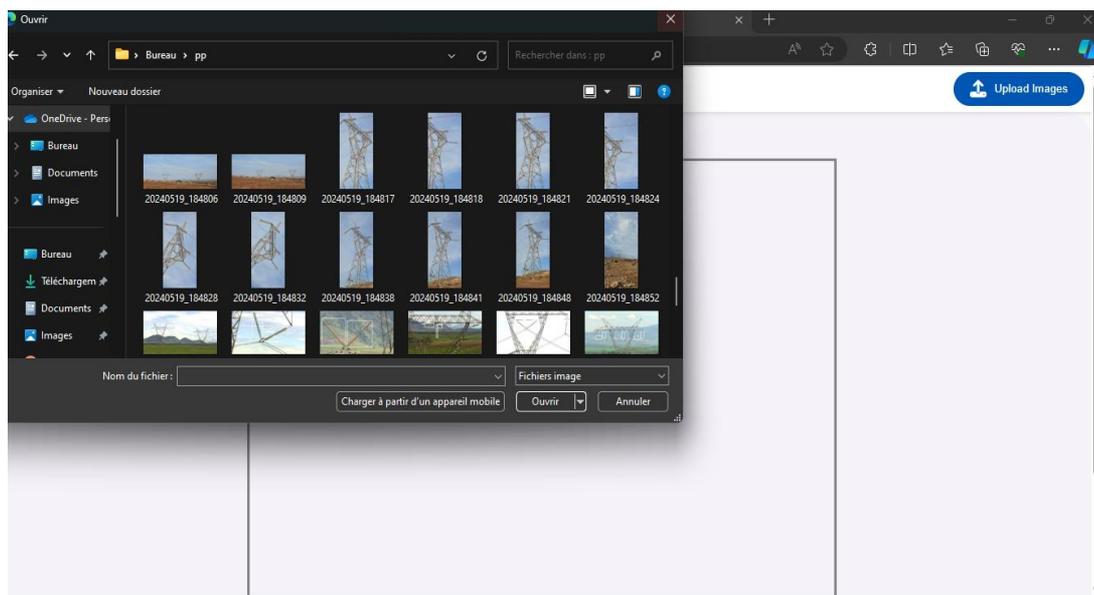


Figure II-8: interface d'application web

c) Génération de rapport :

Pour générer un rapport à partir d'une seule image, il suffit de cliquer sur l'image, puis de sélectionner "Generate report". Pour générer un rapport pour plusieurs images, cliquez sur "Generate general report" (Figure II-9).

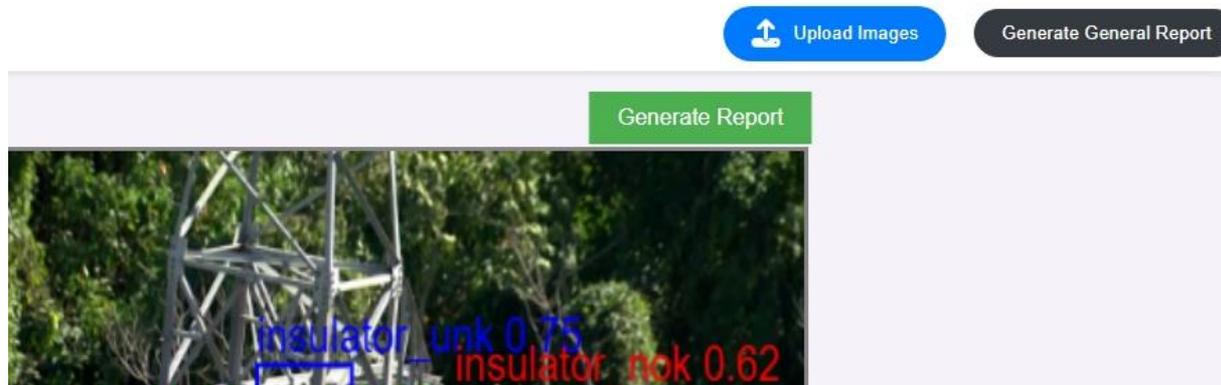


Figure II-9: génération de rapports à partir d'images

d) Filtre Avancé pour la Classification des Anomalies sur les Lignes de Transmission Électrique :

Notre application web dédiée à la détection d'anomalies sur les lignes de transmission électrique intègre un filtre sophistiqué qui permet aux utilisateurs de sélectionner précisément le type d'anomalies qu'ils souhaitent visualiser (Figure II-10). Cette fonctionnalité intuitive améliore considérablement l'efficacité de la surveillance et de la gestion des infrastructures électriques, en fournissant des données ciblées et pertinentes pour une analyse rapide et des interventions appropriées.



Figure II-10: Filtre pour la Classification des Anomalies

e) Statistiques d'Analyse d'Images :

Notre application web fournit également des statistiques détaillées sur le processus d'analyse d'images. Vous pouvez voir le nombre total d'images analysées, le nombre d'images sans anomalies et le nombre d'images contenant des anomalies (Figure II-11). Cette transparence dans les données aide à évaluer rapidement l'état des infrastructures et à prendre des décisions éclairées pour leur maintenance et leur optimisation.

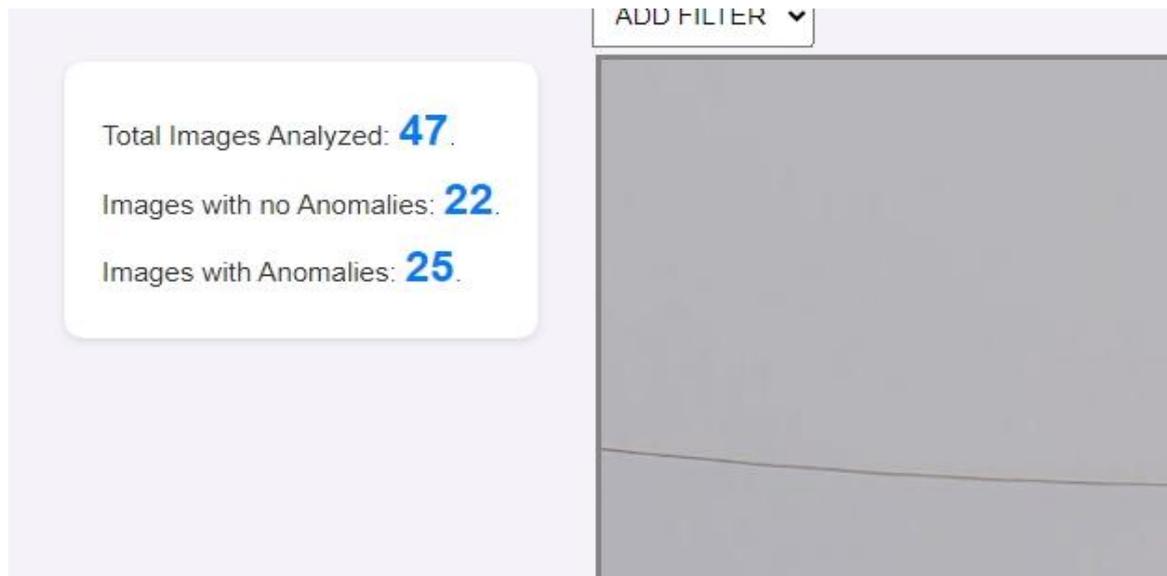


Figure II-11: Statistiques d'Analyse des Anomalies sur les Lignes de Transmission Électrique

II-4.2 Apprentissage automatique (Machine Learning) :

L'apprentissage automatique est un sous-domaine de l'intelligence artificielle destiné à l'apprentissage des données par des couches au lieu d'être programmées explicitement. Lorsqu'il est alimenté de plus en plus de données, il peut produire des résultats incroyablement précis et complexes dans lesquels les programmes ML ne sont pas statiques ; ils peuvent s'adapter à un nouvel indice et ajuster leur comportement à la base des nouveaux pipelines. Les algorithmes ML sont capables d'observer et d'ajouter de données, ce qui les rend plus performants dans le temps.

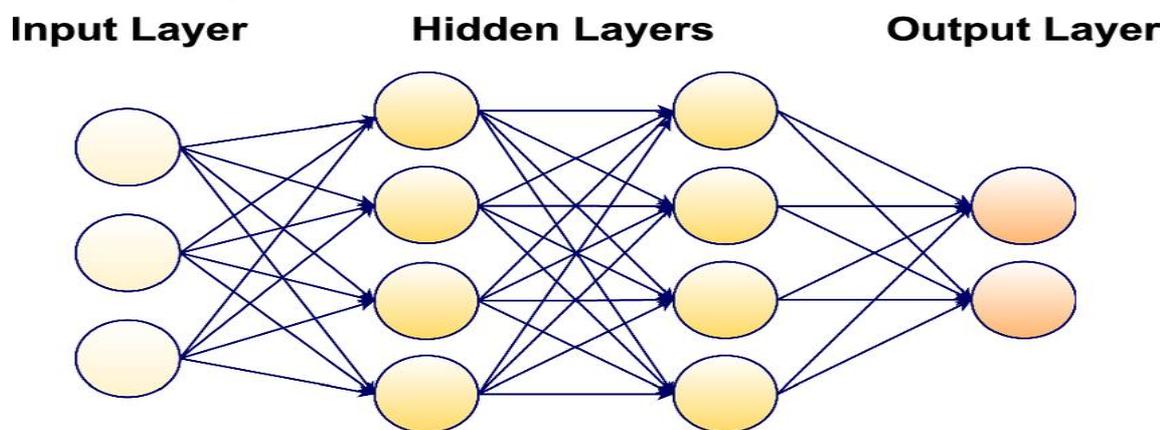


Figure II-12: Structure d'un exemple de réseau neuronal à action directe avec une couche d'entrée, deux couches cachées et une couche de sortie [46]

En utilisant des algorithmes sophistiqués d'apprentissage automatique, l'IA constitue un mécanisme proactif permettant de détecter les irrégularités et les anomalies au sein du réseau. Il identifie efficacement les problèmes potentiels, les isole rapidement et redirige l'électricité de manière dynamique, atténuant ainsi les perturbations et renforçant la fiabilité globale du réseau. Cette capacité à s'adapter rapidement aux conditions changeantes du réseau contribue à une infrastructure d'approvisionnement énergétique plus robuste et adaptative.[27]

L'application de l'IA dans la détection des pannes est révolutionnaire, car elle permet non seulement d'identifier rapidement les perturbations, mais joue également un rôle central dans leur résolution proactive. Cette approche proactive permet d'éviter les pannes potentielles et de minimiser l'impact des perturbations, garantissant ainsi un approvisionnement électrique continu et fluide.[27]

II-4.3 Une détection fiable :

Nous nous sommes tournés vers SSD (single shot multibox detector) car c'est un détecteur assez précis. Et capable de détecter plusieurs objets ont une seule image (Figure II-13) et (Figure II-14).

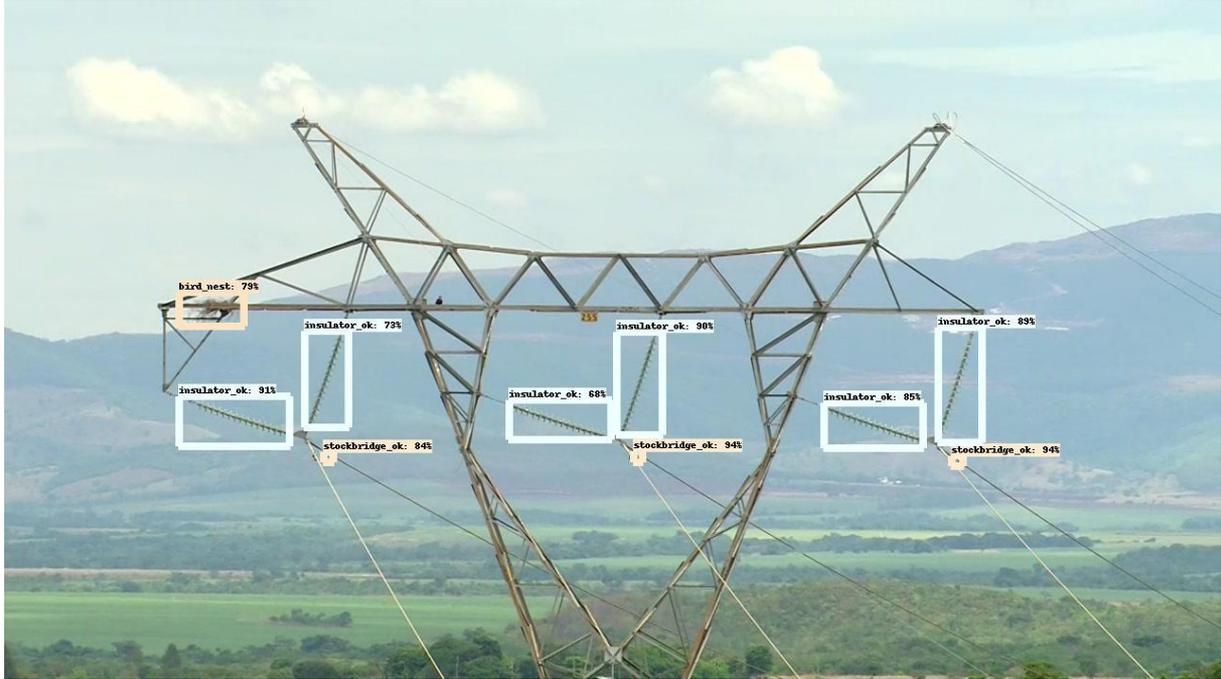


Figure II-13: détection de plusieurs objets ont une seule image de ligne de transmission électrique HT

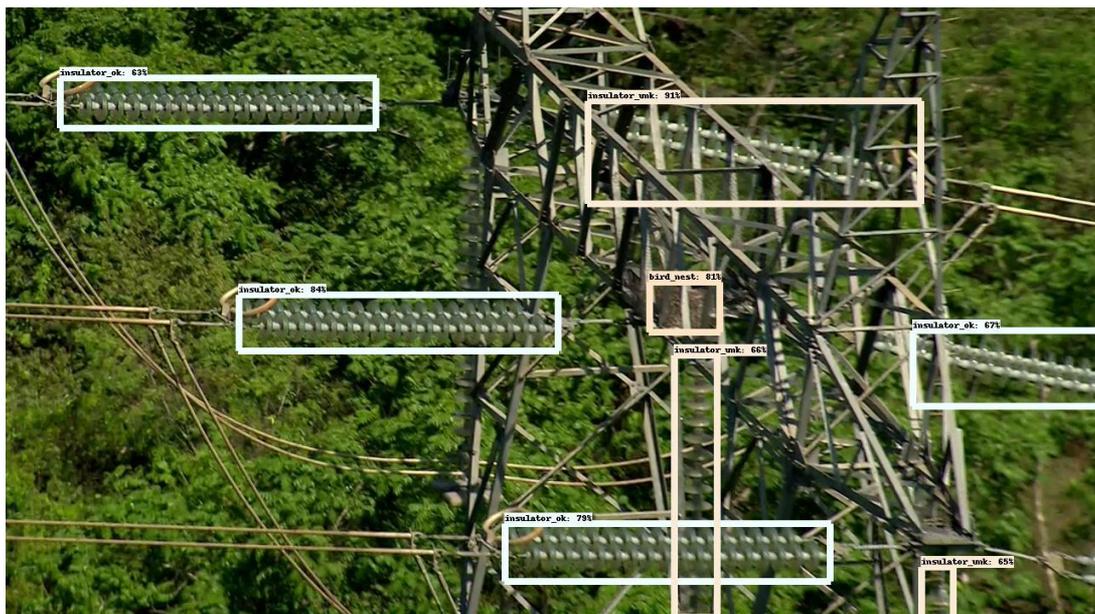


Figure II-14: détection de plusieurs objets sur une ligne électrique vues du ciel

II-4.4 Détection des anomalies :

L'utilisation de réseaux de neurones convolutifs modèles d'ordinateurs de vision permet d'identifier les anomalies. L'IA examine chaque image pour détecter des défauts. Les algorithmes s'appuient sur des milliers d'images annotées manuellement utilisées pour identifier divers types de défauts.

II-4.5 Classification des anomalies :

Les anomalies détectées doivent être étiquetées en termes de type et de gravité. La classification permet de déterminer les mesures à prendre en fonction de l'urgence du défaut et de l'impact éventuel sur le réseau électrique.

II-4.6 Rapports et visualisation :

Les résultats de l'analyse sont sous la forme de rapports détaillés. Chaque rapport comprend les éléments suivants :

➤ **Descriptions des anomalies attribuées :**

Chaque découverte d'anomalie est accompagnée d'une description :

- **Type d'anomalie :** Identification précise de la nature de l'anomalie.
- **Gravité :** Évaluation de la gravité relative, de mineur à critique.

➤ **Images annotées :**

Des images annotées sont fournies pour montrer les emplacements précis des défauts.

➤ **Recommandations pour les actions correctives :**

Pour chaque anomalie, des recommandations spécifiques sont données pour les actions correctives nécessaires. Cela inclut :

- **Étapes à suivre :** Instructions détaillées pour corriger l'anomalie.
- **Matériaux/Équipements nécessaires :** Liste des outils ou matériaux requis pour la réparation.
- **Temps estimé :** Durée approximative pour effectuer les réparations.

➤ **Tableau récapitulatif des anomalies :**

Un tableau récapitulatif des anomalies détectées est inclus (Figure II-15). Ce tableau met en évidence les anomalies et leurs types pour une identification rapide.

➤ **Date et heure de détection :**

Chaque anomalie détectée enregistre également la date et l'heure précise de sa détection (Figure II-15). Ces points de données peuvent servir à :

- **Suivre l'évolution des défauts :** permet de s'informer de la manière dont les anomalies évoluent dans le temps.
- **Planifier les interventions de maintenance** (Figure II-16) : aide à prévoir et effectuer des réparations de manière opportune et rapide, réduisant ainsi les interruptions opérationnelles.

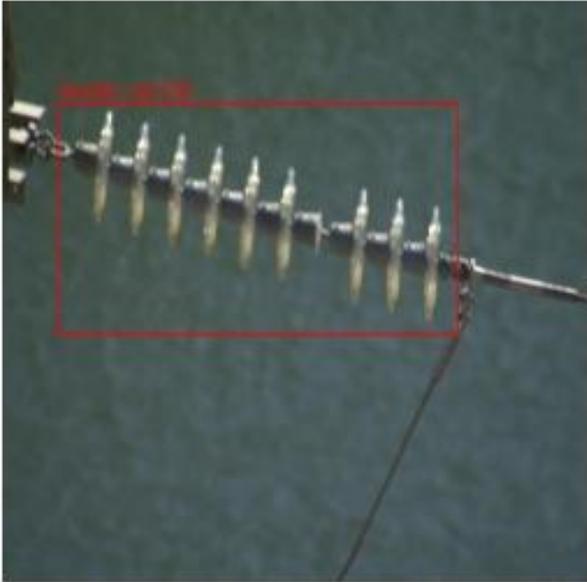
En fin de compte, ces rapports présentent une image complète et précise des anomalies détectées, facilitant la prise de décision et d'actions correctives pour maintenir les systèmes ou produits dans un état de marche optimal.

➤ **Exemple d'un rapport :**

Fault Detection in Power Transmission Lines: Image Analysis Report

Date: 09/06/2024
Time: 18:08:38

Detected Objects:
insulator_nok 0.90



Detection Results:

Object	Status	Confidence
insulator	Not OK	0.90

Detection Summary

Figure II-15: Rapport 1/4

Standards and References

To ensure safety and compliance, the recommendations are based on the following standards:

- **IEC (International Electrotechnical Commission):** Standards related to electrical equipment and maintenance, ensuring safe and efficient procedures for the inspection and repair of electrical components.
- **FAA (Federal Aviation Administration):** Visibility standards for aerial marking, ensuring that devices such as marking spheres are visible to aircraft and birds to prevent collisions. These standards are globally recognized and endorsed by Sonelgaz to ensure the reliability and safety of electrical installations.

Recommendations for Corrective Actions

INSULATOR NOK (Not ok):

Description: A defective insulator may exhibit cracks, breaks, signs of wear, or deposits of contaminants that compromise its effectiveness in isolating electrical currents. These defects can occur due to prolonged exposure to climatic conditions, temperature fluctuations, and environmental pollution.

Impact :

- **Leakage Current:** A defective insulator can allow leakage current, increasing the risk of short circuits and outages.
- **Power Outage Risks:** Insulator failure can cause service interruptions, affecting power distribution.
- **Safety:** A damaged insulator poses an increased risk of electrical accidents for maintenance personnel and the public, potentially leading to electrocutions or fires.

Steps to Follow :

1. Cut the power to the affected line to ensure safety.
2. Disconnect the connections from the defective insulator using appropriate insulating tools.
3. Carefully remove the defective insulator to avoid further damage.
4. Install a new insulator that complies with IEC (International Electrotechnical Commission) standards and ensure it is properly secured.
5. Reconnect the connections and check the solidity of the installation.
6. Restore power and verify the proper functioning of the insulator with voltage and

Figure II-16: Rapport 2/4

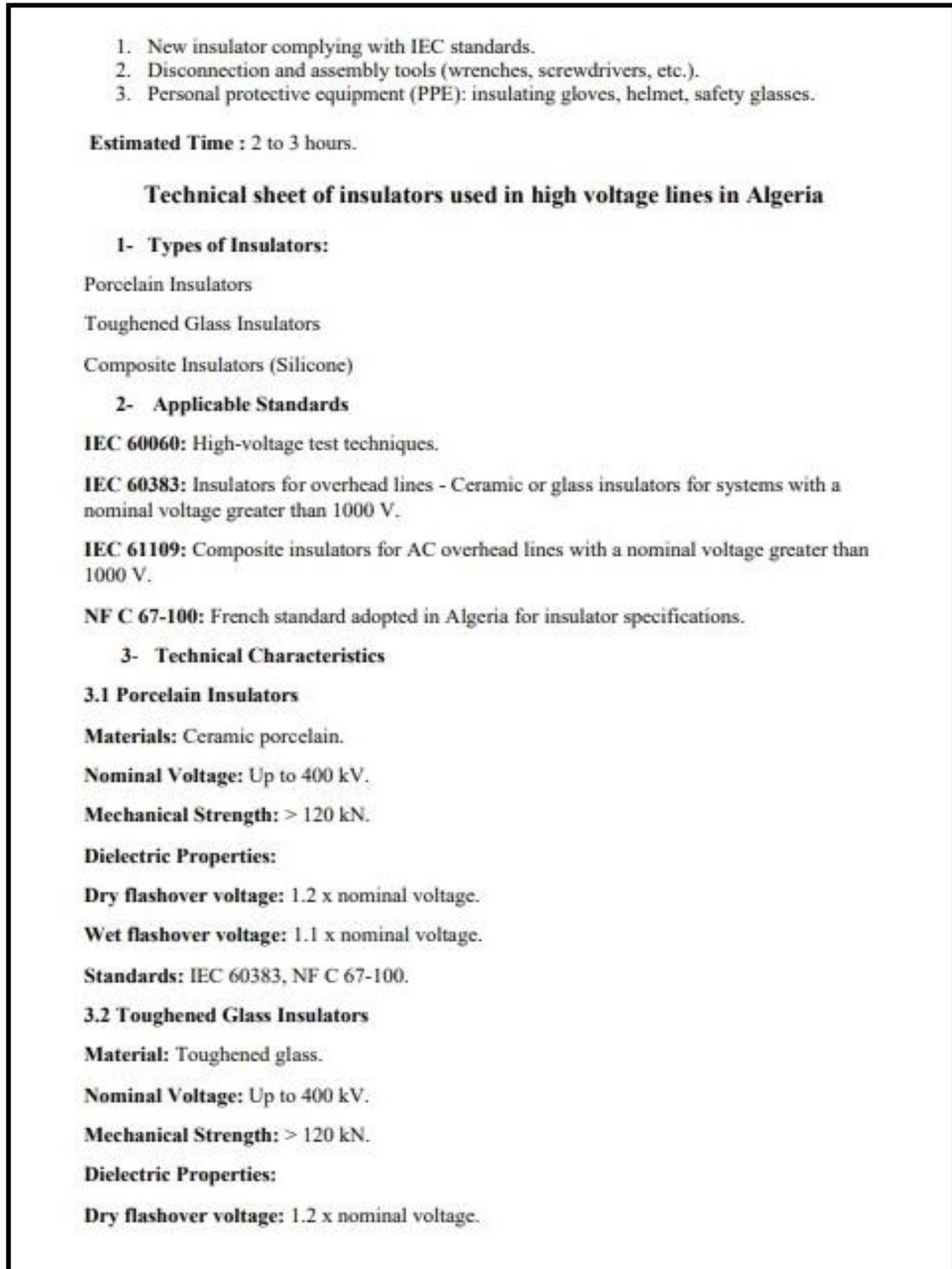


Figure II-17: Rapport 3/4

Wet flashover voltage: 1.1 x nominal voltage.

Standards: IEC 60383, NF C 67-100.

3.3 Composite Insulators

Material: Silicone with a fiberglass core.

Nominal Voltage: Up to 400 kV.

Mechanical Strength: > 120 kN.

Dielectric Properties:

Dry flashover voltage: 1.2 x nominal voltage.

Wet flashover voltage: 1.1 x nominal voltage.

Weather Resistance: Excellent, resistant to UV and pollution.

Standards: IEC 61109.

Summary and Action Plan

Compliance with IEC and FAA standards ensures the safety and efficiency of electrical systems and their components. Detecting and correcting anomalies, such as defective insulators, bird nests, or discolored marking spheres, is essential to prevent outages, and safety risks, and ensure regulatory compliance. Each corrective action must be planned and executed according to specific recommendations, using the appropriate tools and equipment, while adhering to standard safety procedures.

By following these detailed recommendations and using materials that meet the standards, the risks associated with these anomalies can be effectively mitigated, thus ensuring the reliability and safety of electrical networks.

Figure II-18: Rapport 4/4

II-4.7 Exemples :

Pour donner une idée de la précision et de la fiabilité de notre solution, voici quelques exemples de détections effectuées par notre IA :

➤ **Exemple 1 : Détection d'Anomalies de Haute Précision sur des Images Floues et à Basse Résolution :**

Ce modèle d'IA excelle dans la détection des anomalies sur les lignes de transmission électrique avec une précision remarquable, même lorsqu'il travaille avec des images floues ou de basse résolution (Figure II- 19). Ses algorithmes avancés garantissent une grande précision et fiabilité, en faisant un outil inestimable pour maintenir l'intégrité et la sécurité de notre infrastructure électrique.

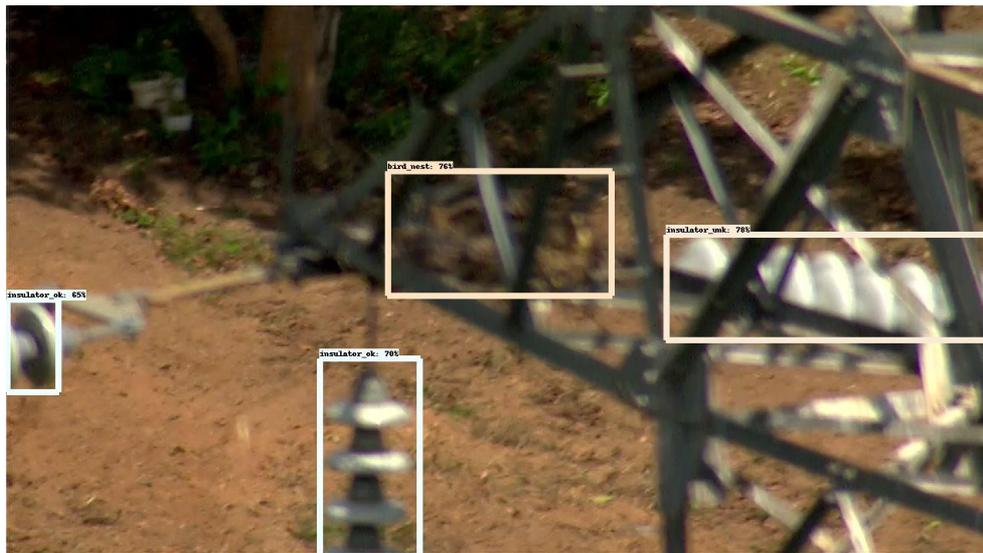


Figure II-19: détection dans des images en flux

➤ **Exemple 2 : Détection d'un espaceur :**

Voici une autre capacité d'application de notre algorithme : la détection de l'espaceur (Figure II-20). Les espaceur sont vraiment cruciales pour maintenir la bonne distance entre les conducteurs afin que la ligne électrique soit stable et sûre. Notre IA peut dériver les composants mentionnés, comme le montre la photo ci-dessous.



Figure II-20: Détection d'un espaceur

➤ **Exemple 3 : Identification de l'amortisseur Stockbridge :**

Cette image conduit à l'identification de l'amortisseur Stockbridge (Figure II-21), qui est un dispositif leader pour la réduction des vibrations des conducteurs de lignes de transport d'énergie électrique et pour éviter l'usure à long terme. La précision avec laquelle notre IA identifie les équipements tout cela est nécessaire à la maintenance prédictive.

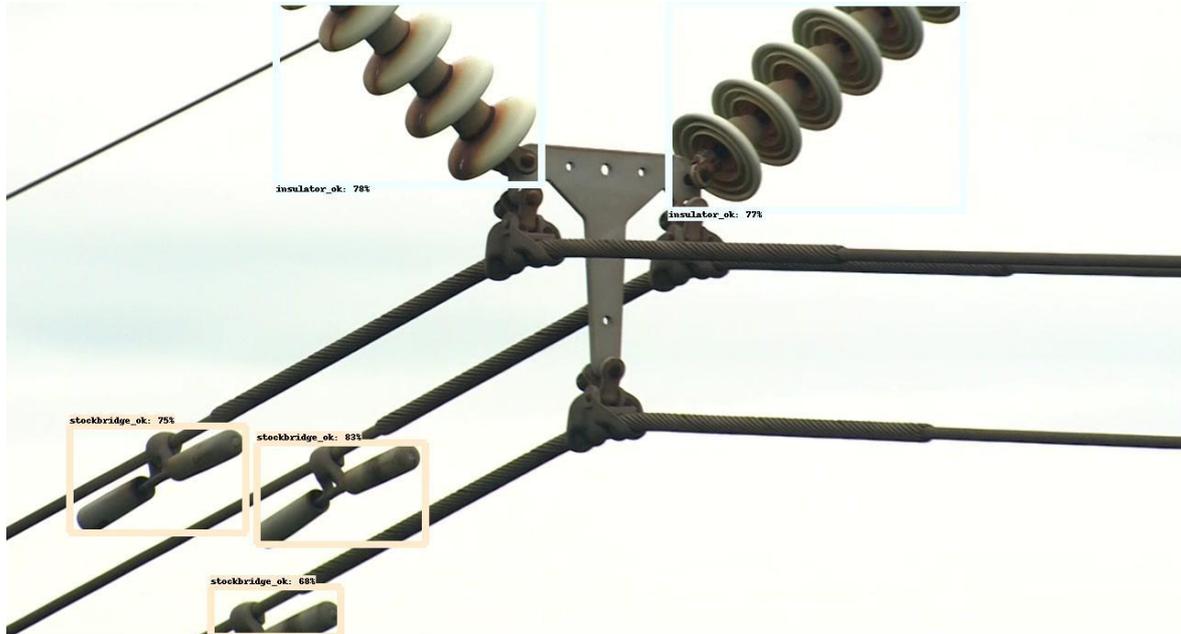


Figure II-21: détection des amortisseur Stockbridge

➤ **Exemple 4 : Broken câble :**

Comme indiqué ci-dessous (Figure II-22), notre modèle a réussi à détecter un câble cassé sur une ligne électrique. Cette détection est nécessaire pour éviter les interruptions de service et les risques pour la sécurité. Grâce à notre modèle d'IA avancé, ce type de défaut est rapidement identifié avec une précision accrue, permettant une intervention rapide et efficace.



Figure II-22: détection d'un câble cassé

➤ **Exemple 5 : Sphère de balisage :**

Notre IA est aussi capable de détecter les anomalies relatives à des sphères de balisage (Figure II-23), comme illustré dans l'image ci-dessous. Ces sphères sont essentielles pour que les lignes électriques soient visibles par les avions. Une détection précise peut donc garantir qu'elles soient toujours en bon état.

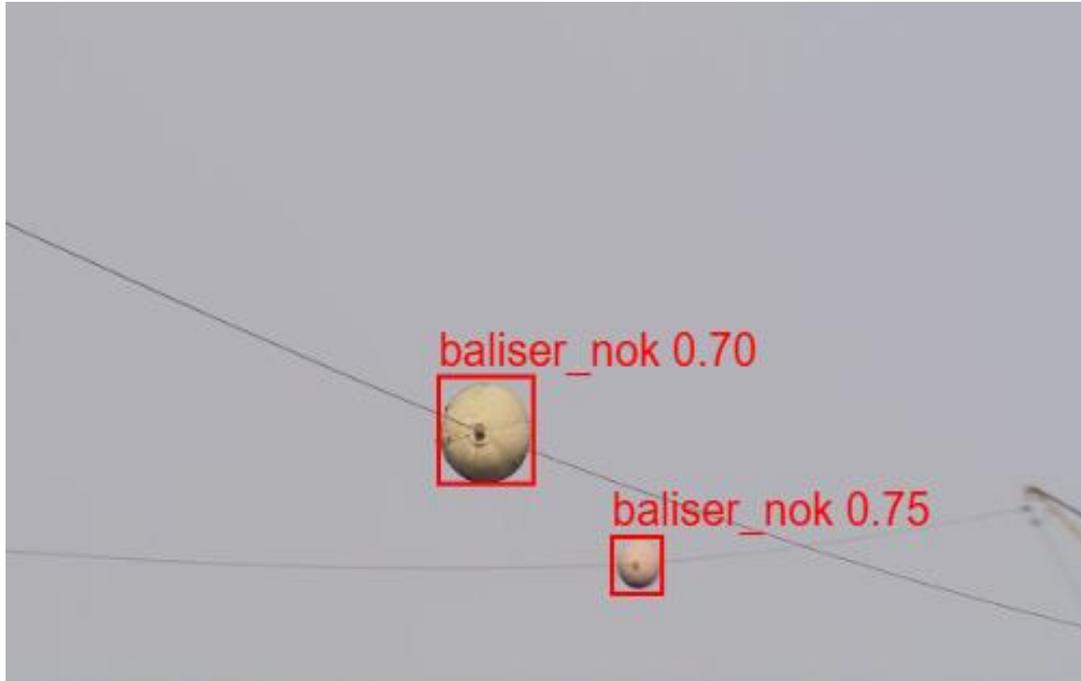


Figure II-23: détection de Sphère de balisage

➤ **Exemple 6 : Nidification d'oiseaux :**

La détection dans l'image ci-dessous montre un nid d'oiseaux sur une ligne électrique (Figure II-24). Les nids peuvent générer des coupures de service et poser des risques pour la sécurité. Notre IA identifie cette intrusion, ouvrant la voie à des actions préventives.

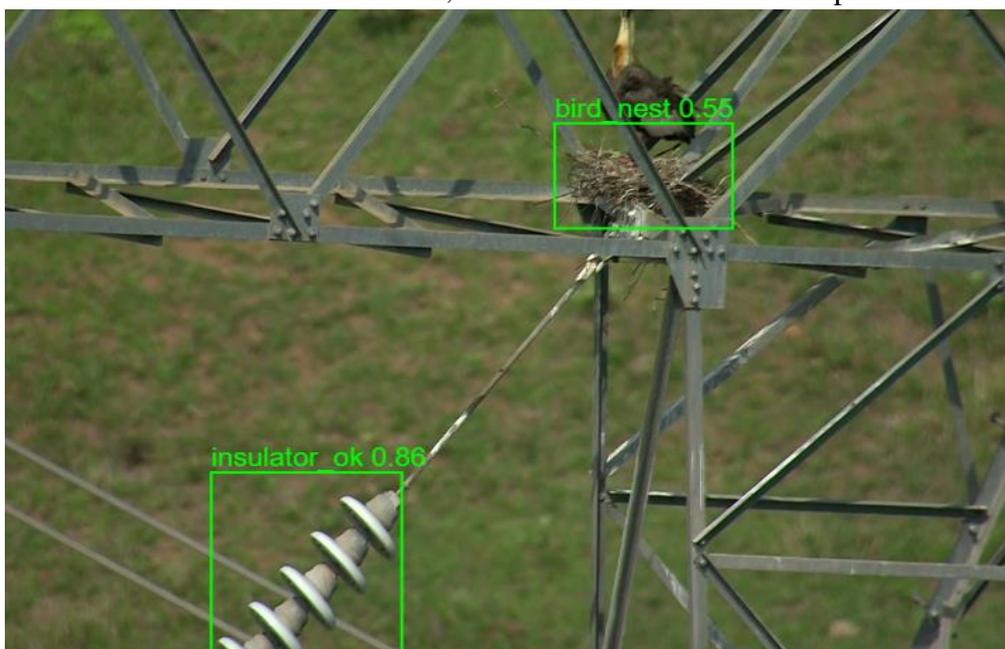


Figure II-24: détection de nid d'oiseaux

➤ **Exemple 7 : Détection d'un isolateur :**

Enfin, notre modèle est capable de détecter les isolateurs, comme le montre l'image ci-dessous (Figure II-25). Les isolateurs sont essentiels aux lignes électriques haute tension (HT) puisque leur détection précoce peut prévenir une panne majeure.

En utilisant ce modèle d'intelligence artificielle, notre solution offre une surveillance continue et fiable des lignes électriques notionnel, garantissant ainsi une maintenance proactive et la minimisation des pannes.

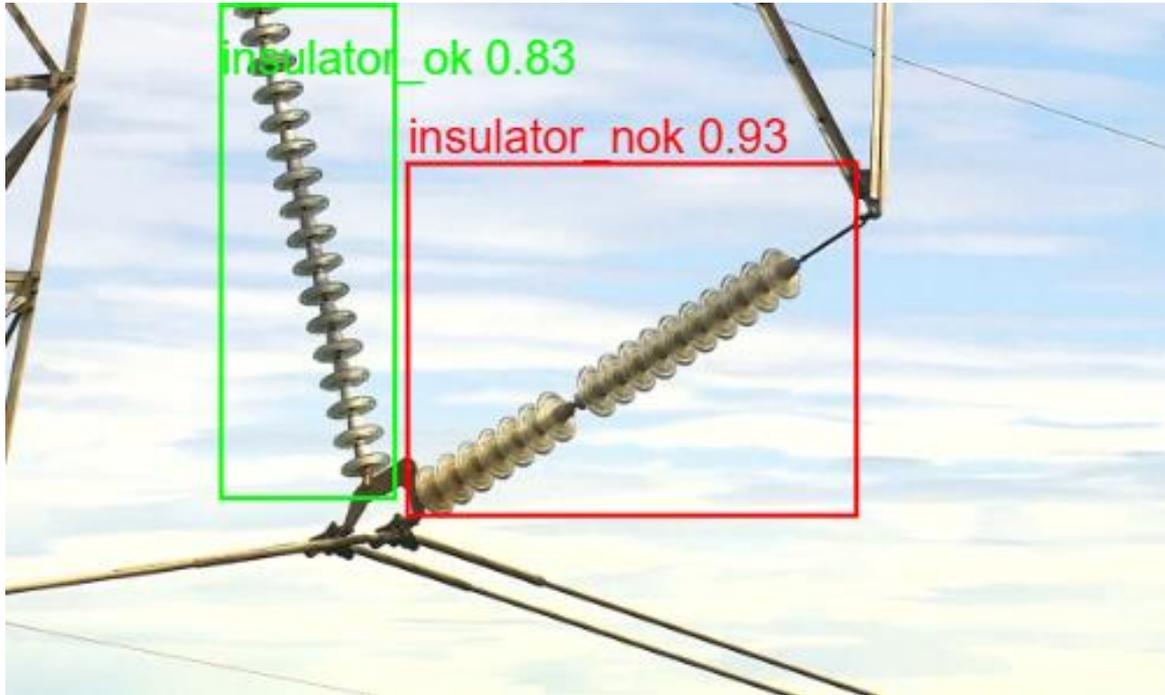


Figure II-25: détection d'isolateur

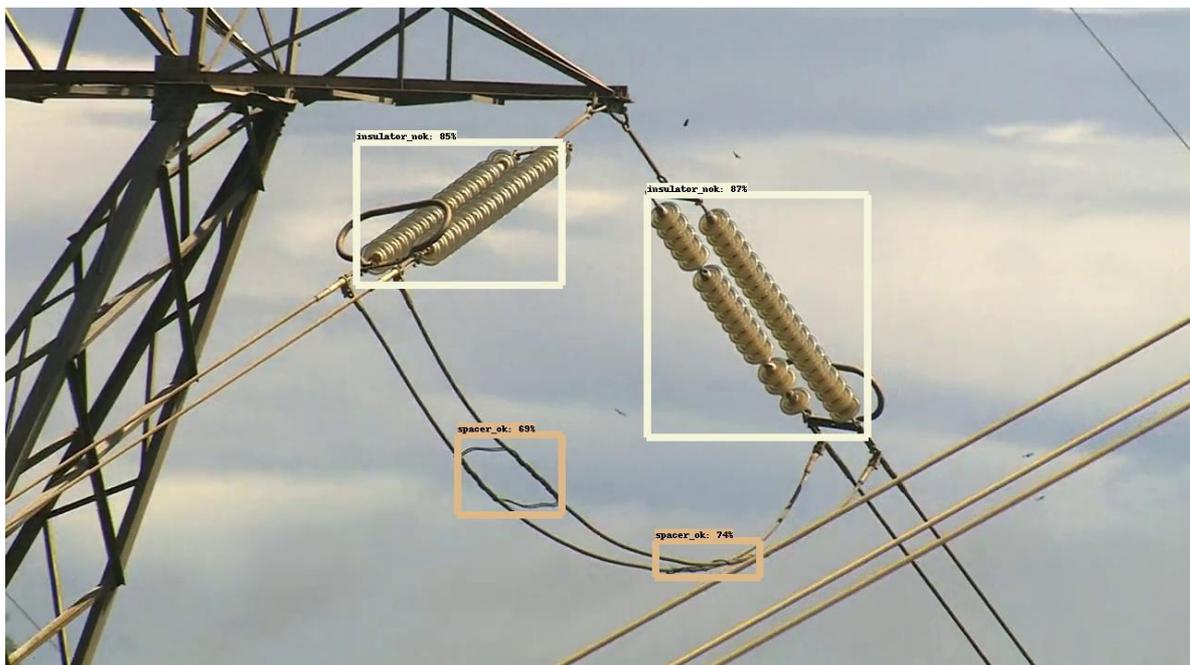


Figure II-26: détection des isolateurs et des espaceurs

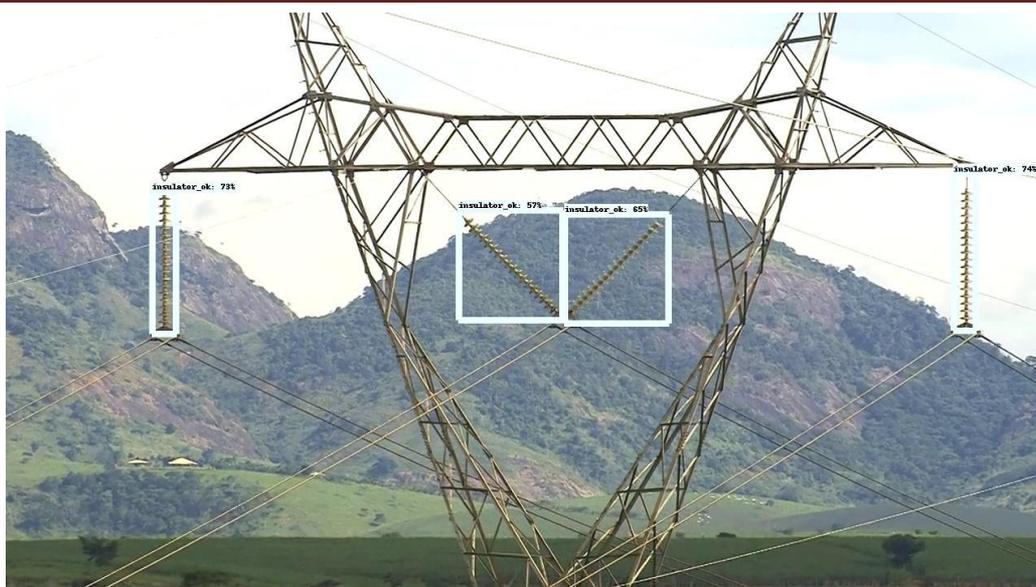


Figure II-27: détection des isolateurs d'un pylône nappe



Figure II-28: détection des isolateurs d'un pylône double drapeaux

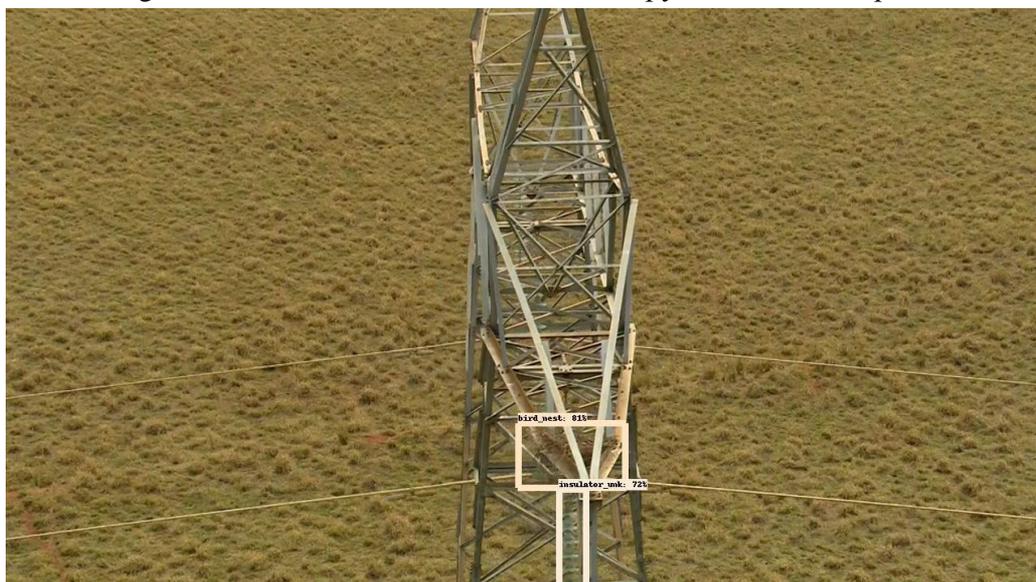


Figure II-29: détection de nids d'oiseaux cachés.

II-5. Planification de la mission :

Une mise en œuvre réussie de drones pour l'inspection des lignes électriques nécessite une formation, une planification et une préparation efficaces. Nous ne devons jamais sortir et faire voler nos drones sans préparation, car cela peut être dangereux et entraîner divers problèmes tels que le non-respect des réglementations, le bien-être des animaux, des problèmes de confidentialité et des dommages ! La préparation et la planification de l'utilisation du drone sont essentielles pour réduire les dommages causés à la faune, aux humains et à l'environnement.

II-5.1 Préparation avant le vol :

II-5.1.1 Planification et autorisations :

Autorisation légale : L'obtention de toutes les autorisations nécessaires auprès des autorités. Il est crucial d'avoir une autorisation de survol, notamment dans les zones spécifiques et réglementées. [29, 30]

Consultation des NOTAM : La vérification des avis aux navigateurs NOTAM "Notice to Airmen" (Avis aux Navigants Aériens) pour connaître les restrictions temporaires de l'espace aérien via le service Olivia de la DGAC. [31]

II-5.1.2 Évaluation des conditions météorologiques :

La consultation des sources fiables comme Météo Parapente pour des prévisions détaillées. Éviter de voler par vent fort, pluie, neige, brouillard ou faible luminosité, car ces conditions peuvent affecter la stabilité du drone et la qualité des images. [32, 31]

II-5.1.3 Choix et vérification du matériel :

➤ Équipement spécialisé :

L'utilisation des drones équipés de caméras haute résolution, de capteurs thermiques et de systèmes de géolocalisation (RTK) pour une précision optimale lors de l'inspection. [32, 31]

➤ Inspection pré-vol :

La vérification l'état général du drone, y compris les hélices, les batteries et les capteurs. S'assurer que tous les composants sont fonctionnels et en bon état. [31]

II-5.1.4 Installation et pré-vol :

a) Choix du lieu de décollage :

La sélection d'un lieu dégagé, sans obstacles tels que des arbres ou des bâtiments. Une surface plane et propre est idéale pour assurer un décollage et un atterrissage sécurisés.

b) Montage du drone :

Le dépliage des bras du drone, l'installation des hélices et le retrait des protections de la caméra. L'ajout de filtres si nécessaire, en fonction des conditions de lumière et de la nature de l'inspection.

c) Plan de vol :

La définition d'un plan de vol détaillé en fonction des spécificités des lignes électriques à inspecter. Ce plan doit inclure le tracé de la ligne, les points de passage critiques et les zones d'intérêt spécifiques comme les pylônes ou les isolateurs. [29]

II-5.1.5 Exécution du vol :**a) Contrôles pré-vol :**

L'effectuation d'un dernier contrôle des zones de vol autorisées et des nouvelles restrictions éventuelles. L'assurance que toutes les autorisations sont à jour et à portée de main en cas de contrôle. [31]

b) Vol en vue directe :

On doit garder toujours le drone en vue directe, ou bien utiliser un observateur si on pilote en immersion (FPV). Il faut respecter les hauteurs de vol maximales autorisées, généralement fixées à 200 mètres en Algérie.

II-5.1.6 Après le vol :**a) Rangement et entretien :**

On doit décharger correctement les batteries et ranger le matériel dans des conditions adéquates. Il est important d'inspecter le drone pour détecter d'éventuels dommages survenus pendant le vol et de procéder aux réparations nécessaires. [31]

b) Analyse des données :

On doit transférer les images et vidéos enregistrées pour les analyser et les sauvegarder correctement. Les images thermiques s'avèrent particulièrement utiles pour détecter les surchauffes et les effets de couronne. [32]

c) Rapport d'inspection :

La préparation d'un rapport détaillé incluant des images annotées et des recommandations pour les réparations nécessaires. Ce rapport est essentiel pour planifier les interventions de maintenance sans interruption prolongée de la distribution électrique. [29]
En suivant ces étapes, nous pouvons assurer des opérations de drone sûres, conformes aux réglementations, et efficaces pour l'inspection des lignes électriques haute tension.

II-5.2 Surveillance continue et proactive des ligne électrique HT :**II-5.2.1 Les Limites des Inspections Annuelles :**

Les inspections annuelles présentent plusieurs limites notables. La Société algérienne de l'électricité et du Gaz Sonelgaz a un agenda annuel d'inspection des lignes électriques appelé "visite de ligne". Ces inspections présentent plusieurs limites importantes qui ont un impact sur leur efficacité et leur efficience.

Fréquence et couverture des inspections annuelles peuvent ne pas être suffisamment fréquentes pour détecter tous les problèmes émergents. Les problèmes qui se développent entre les inspections peuvent passer inaperçus et entraîner potentiellement des pannes ou des interruptions de service.

Et même si les inspections annuelles peuvent assurer un certain niveau de surveillance, elles ne parviennent jamais répondre aux changements dynamiques et souvent rapides qui peuvent affecter dans les ligne électrique HT. L'augmentation de la fréquence des inspections et l'adoption de nouvelles technologies telles que les drones et l'IA peuvent améliorer considérablement l'efficacité des programmes de maintenance des lignes électriques, conduisant ainsi à une sécurité, une fiabilité et une efficacité opérationnelle améliorées.

II-5.2.2 L'Importance des Inspections Mensuelles

Actuellement une part importante de nos lignes électriques sont en service depuis plus de 40-50 ans. Avec le temps, les ligne de transmission électrique deviennent plus fragiles en

raison des intempéries et de végétation qui commence à pousser autour. Ainsi, nous voyons plus de pannes et de dégâts.

Ainsi que les inspections annuelles ont des limites, ces inspections sont utiles, mais ne suffisent pas pour la surveillance, surtout quand un élément peut se détériorer en quelques jours. Les inspections mensuelles peuvent être bénéfiques.

De nombreux avantages de créer des inspections mensuelles des lignes électriques. Premièrement, c'est la détection précoce des problèmes. Plus on inspecte, plus tôt on peut voir ces problèmes, alors ils les préviennent de devenir un problème majeur ou un accident. Deuxièmement, moins de coupures de courant qui nuisent à nos civils et aux entreprises. Troisièmement, prolongation de la durée de vie des infrastructures. En effet, une maintenance régulière et préventive peut prolonger la durée de vie de nos lignes existantes. Cela signifie moins d'accidents dus aux lignes qui ne fonctionnent pas correctement et des civils et des biens protégés.

Une utilisation efficace des ressources. Avec un schéma régulier, Sonelgaz peut planifier les travaux de maintenance de manière plus efficace en ne remplaçant pas des morceaux de lignes entières mais en les réparant.

Au premier abord, cela peut coûter cher. Cependant, par rapport aux coûts des pannes, des urgences et des accidents, cet investissement en vaut vraiment la peine. Cela permettra d'économiser plus d'argent et d'améliorer la vie de tous les Algériens. Moderniser notre réseau est important. Il faut un long terme et une approche proactive. Un schéma d'inspections mensuelles poursuivant des violations modernes est une solution efficace pour assurer notre fiabilité, notre sécurité et notre performance. Les avantages sont évidents : tout le monde aura un accès sûr et stable à l'électricité, ce qui favorisera le développement de notre société et de notre économie.

II-5.2.3 Stratégie et gestion des ressources :

Pour élaborer un plan stratégique de gestion des ressources pour les inspections des lignes électriques, il est essentiel d'incorporer divers aspects tels que l'identification des ressources, leur allocation, le suivi des performances et l'amélioration continue. La gestion efficace des ressources est essentielle au succès des inspections par drone. Les éléments clés comprennent :

- a) **Main-d'œuvre qualifiée :** s'assurer que les pilotes sont bien formés pour gérer les complexités des inspections des lignes électriques.
- b) **Gestion des données basées sur le cloud :** la technologie des drones est intégrée aux systèmes de gestion de données basés sur le cloud, permettant de stocker et d'analyser les données d'inspection à distance. Cela peut contribuer à améliorer la collaboration et la prise de décision, ainsi qu'à réduire le besoin de stockage et de gestion des données sur site.
- c) **Planification et fréquence :** effectuer des inspections à des intervalles plus fréquents que les contrôles annuels traditionnels, potentiellement sur une base mensuelle, pour détecter rapidement les problèmes émergents. Cette approche proactive permet d'éviter les pannes majeures et de prolonger la durée de vie des infrastructures.

II-5.2.4 C'est un effort d'équipe :

Les drones, en tant que fonctionnalité isolée, ne révolutionneront pas l'inspection des réseaux électriques. La technologie des drones se compose de plusieurs composants qui doivent tous interagir pour fournir une solution robuste. Les drones, les capteurs, l'intelligence artificielle et une solution cloud sont tous des facteurs tout aussi importants pour composer cette équation.

Un drone devient un drone intelligent lorsqu'il fonctionne avec un système logiciel capable d'accéder et de traiter les données pertinentes. La suppression des données de fonctionnement non pertinentes est une autre caractéristique de la fonctionnalité. Sans données inutiles à traiter et résultats immédiatement disponibles, il n'y a pas de temps perdu : tout le processus fonctionne plus rapidement que les méthodes manuelles.

D'autre part, SONELGAZ pourrait s'associer à des entreprises de maintenance prédictive pour en tirer des avantages. Ainsi un plan de gestion des ressources durable qui inclut une budgétisation correcte et une analyse des coûts et bénéfices détaillée garantirait que les économies compenseraient l'investissement initial, tout en assurant la stabilité de l'alimentation électrique. En conclusion, passer de l'inspection annuelle à l'inspection mensuelle à l'aide de technologies avancées aide non seulement Sonelgaz à s'identifier et à résoudre les problèmes rapidement, mais contribue également à une alimentation plus fiable et plus sécurisée en général. Cela stimulerait le développement socio-économique en Algérie.

II-5.2.5 Amélioration continue :

Enfin, l'amélioration continue implique de revoir et de mettre à jour régulièrement la stratégie de gestion des ressources. Cela comprend le développement de nouvelles ressources ou l'amélioration de celles existantes pour relever les défis futurs. Des boucles de rétroaction régulières et un suivi des performances aident à affiner les stratégies, garantissant que l'organisation reste proactive et préparée à toute éventualité opérationnelle.

II-6.Conclusion :

Finalement, dans le deuxième chapitre nous avons exploré les applications d'intelligence artificielle et des drones dans l'inspection des lignes électrique à Haute tension. On a présenté des exemples qui démontrent que notre modèle d'intelligence artificielle analyse avec précision de grandes quantités de données pour détecter les anomalies, et que les drones offrent une capacité d'inspection visuelle efficace et sécurisée. Ces technologies nous aideront à cibler et localiser facilement les défauts, et nous permettront également de prédire les réparations préventives. L'intégration de ces technologies en Algérie contribuerait de manière significative à la fiabilité et aux performances du réseau électrique.

Conclusion générale

CONCLUSION GÉNÉRALE

La maintenance des lignes électriques à haute tension en Algérie, un pays confronté à une demande croissante en électricité. L'analyse approfondie des défis et des opportunités associées à la surveillance et à la maintenance des infrastructures électriques a permis d'identifier des solutions technologiques avancées, notamment l'intelligence artificielle (IA) et les drones. Ces technologies représentent des outils puissants pour améliorer la fiabilité, l'efficacité et la sécurité du réseau électrique.

L'étude a débuté par une exploration des méthodes traditionnelles de maintenance, en soulignant leurs limitations face aux exigences actuelles. Les inspections manuelles et les interventions humaines sont souvent coûteuses, risquées et parfois inefficaces pour détecter rapidement les anomalies. L'intégration de l'IA et des drones a été présentée comme une réponse innovante à ces défis, offrant des capacités de détection et d'analyse bien supérieures. Les cas pratiques présentés démontrent clairement l'efficacité de l'IA dans diverses situations. Par exemple, la détection de câbles cassés, d'isolateurs endommagés, et de nids d'oiseaux sur les lignes électriques est effectuée avec une précision accrue. Ces technologies permettent non seulement de prévenir les pannes en détectant les défauts de manière proactive, mais aussi de réduire les coûts de maintenance en minimisant les interventions inutiles et en optimisant les ressources.

En outre, nous avons souligné l'importance de la formation et de l'adaptation des compétences des équipes de maintenance pour tirer pleinement parti de ces technologies. La transition vers une maintenance basée sur l'IA et les drones nécessite des investissements non seulement en équipements, mais aussi en formation et en développement des compétences techniques.

Cependant, l'adoption de ces technologies n'est pas sans défis. Des considérations réglementaires, des questions de sécurité des données et des préoccupations liées à la gestion du changement doivent être abordées. La collaboration entre les parties prenantes, y compris les régulateurs, les fournisseurs de technologie, et les entreprises de services publics, est essentielle pour surmonter ces obstacles et garantir une mise en œuvre réussie.

La recherche future devrait se concentrer sur l'amélioration continue de ces technologies, en particulier sur l'intégration de capteurs plus avancés, le développement d'algorithmes d'IA plus sophistiqués et la création de systèmes de drones plus autonomes. De plus, l'extension de ces solutions à d'autres types d'infrastructures critiques pourrait offrir des avantages similaires en termes de fiabilité et de sécurité.

En conclusion, l'IA et les drones représentent des innovations clés pour la maintenance des lignes électriques à haute tension en Algérie. Leur adoption permettrait de répondre efficacement aux défis posés par la demande croissante en électricité, tout en assurant une fourniture énergétique stable et fiable. En intégrant ces technologies, l'Algérie peut non seulement améliorer la résilience de son réseau électrique, mais aussi renforcer sa position en tant que leader régional dans le domaine de l'énergie. Les recommandations et les méthodologies présentées ici offrent une feuille de route pour la transition vers une maintenance plus intelligente et plus efficace des infrastructures électriques, assurant ainsi un avenir énergétique plus sûr et plus durable pour tous.

Référence et Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Assistante du PDG Chargée des Relations avec les Médias. Dossier presse : Rapport d'activités et comptes de gestion consolidée du Groupe Sonelgaz 2009. N° 182/APCM/2010. Conférence de presse du 21 juin 2010.
- [2] U.S. Department of Energy. "CESER Electricity Grid Backgrounder." Office of Cybersecurity, Energy Security, and Emergency Response, November 2023.
- [3] Boudefel, A. "Travaux Pratiques de Réseaux Électriques Partie 1." Université 8 Mai 1945 de Guelma, Faculté des Sciences et de la Technologie, Département de Génie Électrotechnique et Automatique. Septembre 2017.
- [4] Lilien, J.L. "Transport et Distribution de l'Énergie Électrique." Institut d'Électricité Montefiore, Liège, 2009.
- [5] Sakouni, K., et Okbaoui, T. "Localisation des Défauts dans les Réseaux d'Énergie Électrique à Base de Relais de Distance." Pfe de Master en Électrotechnique, Université Ahmed Draïa Adrar, Faculté des Sciences et de la Technologie, Département des Sciences de la Technologie, 19 juin 2018.
- [6] Pham, C.D. "Détection et localisation de défauts dans les réseaux de distribution HTA en présence de génération d'énergie dispersée." Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, 19 septembre 2005.
- [7] Bouhaouche, M. "Étude et analyse du comportement des isolateurs composites utilisés en Algérie." Thèse de doctorat, École Nationale Polytechnique, 14 juin 2018.
- [8] "Amortisseurs dynamiques type Stockbridge ST T60-L60." Direction Approvisionnements et Marchés, Division Normalisation et Études, Spécification technique, édition décembre 2012.
- [9] Pfisterer. "Balises de signalisation : Pour une meilleure visibilité des lignes aériennes." https://www.pfisterer.com/fileadmin/pfisterer/downloads/downloads_int/Warning-Spheres-PI-FR.pdf.
- [10] Société Financière Internationale. "Directives environnementales, sanitaires et sécuritaires : Transport et distribution d'électricité." Groupe Banque Mondiale, E3083 V6, annexe 8, 30 avril 2007.
- [11] Ankita D. "Power Line Inspection : Challenges and How to Overcome Them." Blog, Fielda, <https://fielda.com/blogs/power-line-inspection-challenges-and-how-to-overcome-them/>.
- [12] Martín, J.M., Garrido López, J.R., et al. "Les lignes électriques dangereuses pour les oiseaux. Guide d'identification des rectifications défailantes.", Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN), 2017.

- [13] Moreira, F., Martins, R.C., Aguilar, F.F., et al. "Long-term management practices successfully reduce bird-related electrical faults in a transmission grid increasingly used by white storks for nesting." *Journal of Environmental Management*, vol. 327, 1 février 2023.
- [14] "How to Stop Nesting Problems." *Power Line Sentry*, <https://www.powerlinesentry.com/about-nest-diverters/>.
- [15] Mitchell, J., et al. "Wildfire Ignitions from Electric Power Infrastructure : A Comprehensive Literature Review." *Fire Safety Journal*, 2020.
- [16] NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health). "Occupational Safety and Health in the Electrical Industry." 2019.
- [17] "Road Safety Impact Assessment of Overhead Power Lines" by the International Journal of Transportation Science and Technology, 2017.
- [18] "Dispositions en matière de sûreté." Guide sur le rôle du système de gestion de la sécurité des Nations Unies dans le domaine de la sécurité et de la santé au travail, 18 octobre 2019.
- [19] Swissgrid. Construction de lignes : divers facteurs influencent les coûts, [Construction de lignes : divers facteurs influencent les coûts \(swissgrid.ch\)](https://www.swissgrid.ch/fr/actualites/construction-de-lignes-divers-facteurs-influencent-les-couts), 2020.
- [20] "Your Ultimate Guide to Drone Power Line Inspections ", [fenstermaker.com](https://www.fenstermaker.com/en/your-ultimate-guide-to-drone-power-line-inspections/), 2022.
- [21] Allred, C. "5 Major Benefits of Drone Power Line Inspections." [thedronelife.com](https://www.thedronelife.com/2024/05/21/5-major-benefits-of-drone-power-line-inspections/), 21 Mai 2024.
- [22] Nguyen, V.N., Jenssen, R., Roverso, D., et al. "Intelligent Monitoring and Inspection of Power Line Components Powered by UAVs and Deep Learning." *IEEE*.
- [23] Greenfield, E., [L'impact de l'intelligence artificielle sur les réseaux d'énergie électrique - Sigma Earth](https://www.sigmayearth.com/fr/limpact-de-lintelligence-artificielle-sur-les-reseaux-denergie-electrique), 4 novembre 2023.
- [24] Souria, A., et Cherchab, B. "La mise en place d'un plan de maintenance préventive sur un site de transport d'énergie électrique." Pfe de Master, Université Ibn Khaldoun de Tiaret, Faculté des Sciences Appliquées, Département de Génie Mécanique, 19 juin 2022.
- [25] Ball, M. "Case Study: Power Line Inspection with Drone LiDAR." *Unmanned Systems Technology*. [Case Study: Power Line Inspection with Drone LiDAR | UST \(unmannedsystemstechnology.com\)](https://www.unmannedsystemstechnology.com/case-study-power-line-inspection-with-drone-lidar/) 30 juin 2021.
- [26] Attar, A. "Le manque d'entretien à l'origine des coupures d'électricité." *Le Soir d'Algérie*, [lesoirdalgerie.dz](https://www.lesoirdalgerie.dz/).

- [27] Silva, E. "LiDAR-Based Real-Time Detection and Modeling of Power Lines for Unmanned Aerial Vehicles." *Sensors*, vol. 19, no. 8, 2019.
- [28] Tchakouteu Nana, V.B. "Conception et réalisation d'un drone de transport de médicaments urgents." Mémoire Diplôme de Professeur d'Enseignement Technique et Professionnel de 2e grade (DIPET II), Université de Yaoundé I, Département de Génie Électrique. : 2019 – 2020.
- [29] "Réglementation des drones civils." Ministère de la Transition Écologique, Drones (UAS) | Ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires (ecologie.gouv.fr).
- [30] Mikael Royere, Que faut-il savoir de la réglementation française des drones professionnels ? Géomesure, Que faut-il savoir de la réglementation française des drones professionnels ? (Geomesure.fr). 4 Octobre 2021.
- [31] Olivia. "Notices to Airmen (NOTAM)." Service de la DGAC, Federal Register, Vol. 66, No. 229, 28 November 2001.
- [32] EUR-Lex. "Unmanned aircraft — operating rules and procedures.", <https://eur-lex.europa.eu/FR/legal-content/summary/unmanned-aircraft-operating-rules-and-procedures.html>
- [33] InfiRay, "Essential tool for improving work efficiency: Applications of thermal camera in summer power maintenance." LinkedIn, 25 mai 2023.
- [34] "Les drones DJI pour la cartographie LiDAR : un guide complet." Yellowscan. <https://www.yellowscan.com/fr/knowledge/dji-drones-for-lidar-mapping>.
- [35] « Scaling Out Powerline Inspection with Drone Technology ». Scaling Out Powerline Inspection with Drone Technology (dji.com).
- [36] « Case Study: Power Line Inspection with Drone LiDAR». Case Study: Power Line Inspection with Drone LiDAR | UST (unmannedsystemstechnology.com).
- [37] « Selection of powerline inspection projects». Smart power line inspection suite - Hepta Insights.
- [38] AFL Global. (N.d.). Amortisseurs de vibrations pour haubans Stockbridge Type 2200 Series <https://www.aflglobal.com/fr-CA/Products/Conductor-Accessories/Motion-Control-Accessories/Vibration-Dampers/Guy-Wire-Vibration-Dampers-Stockbridge-Type--2200-Series>.
- [39] Matan. "Cable Spacers | How it works, Application & Advantages." *Electricity & Magnetism*, <https://www.electricity-magnetism.org/cable-spacers/>, 26 octobre 2023.
- [40] Chen, S., Huang, Y., Liu, H., Chen, X., & Liu, J. Environment perception technologies for power transmission line inspection robots, 2021.

- [41] JOUAV. (n.d.). Power Line Inspection by Drones, <https://www.jouav.com/industry/power-line-inspection>.
- [42] AlphaScan. (n.d.). Inspection par drone des lignes électriques. <https://www.alphascan.fr/ref/inspection-par-drone-des-lignes-electriques>
- [43] T&D World. (n.d.). Utility Line Workers: One of the Top 10 Most Dangerous Professions. <https://www.tdworld.com/grid-innovations/transmission/article/20965642/utility-line-workers-one-of-the-top-10-most-dangerous-professions>
- [44] Ahmed, Faiyaz, Mohanta, J. C., et Keshari, Anupam. "Power Transmission Line Inspections : Methods, Challenges, Current Status and Usage of Unmanned Aerial Systems.", 12 February 2022.
- [45] Claude de Turreil, C. Assessing Failure Rate of Line Insulators. INMR. <https://www.inmr.com/assessing-failure-rate-of-line-insulators/>,2023.
- [46] Shakiba, Fatemeh Mohammadi, Azizi, et al. "Application of Machine Learning Methods in Fault Detection and Classification of Power Transmission Lines : A Survey.", Full-. November 2022.

Annexe BMC



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب
حاضنة الأعمال عين تموشنت



ملحق نموذج العمل التجاري

Fiche technique du projet

البطاقة التقنية للمشروع

Safaâ ABID Ikram SOUIDI	Prénoms et noms
POWERLINE GUARDIAN	Intitulé de projet
0698 67 29 87 0791 20 23 80	Numéro de téléphone
powerlineguardian@gmail.com	Adresse e-mail
Ain Temouchent, Algérie	Ville ou commune d'activité

Nature de projet طبيعة المشروع

المنتوج ذو طابع خدماتي

Vente de services

Sale of services

Problématiques à résoudre :

1. Les méthodes traditionnelles d'inspection des lignes électriques sont lentes, imprécises, dangereuses et coûteuses.
2. Les inspections par hélicoptère ont un fort impact environnemental.
3. Les zones éloignées difficiles d'accès, ce qui limite la couverture du réseau.
4. Le traitement manuel des données d'inspection entraîne des retards et des erreurs.
5. La maintenance prédictive est limitée par le manque de données précises.

Données et statistiques :

- Les drones inspectent les lignes électriques 70 % plus rapidement.
- Les drones réduisent les coûts opérationnels jusqu'à 55 %.
- L'utilisation de drones réduit les heures de travail et les coûts de main-d'œuvre, économisant environ 30 à 50 % de temps et d'argent.

1- Value proposition:



1. القيمة المقترحة:

1/1- Proposition de valeur :

1. Valeur Innovante :

- Résolution de l'inspection lente et imprécise des lignes électriques HT par des technologies innovantes en utilisant des drones et l'intelligence artificielle.

2. Valeur en Réduisant les Risques :

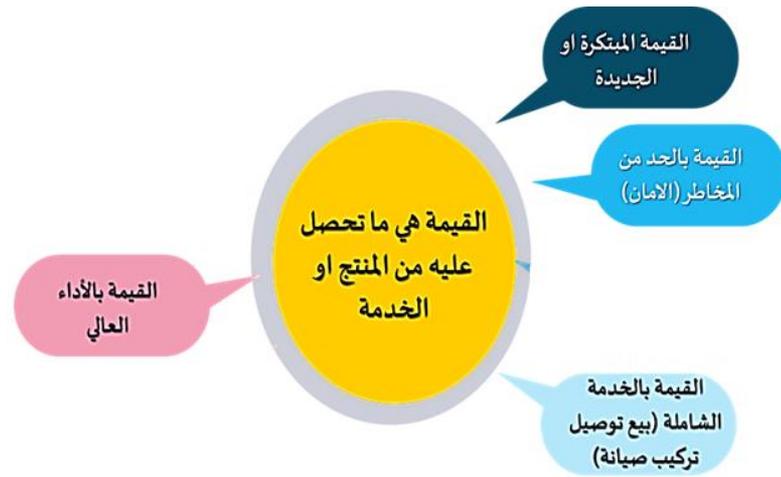
L'utilisation de drones minimise l'exposition des opérateurs aux environnements dangereux, réduisant ainsi les risques associés aux inspections manuelles des lignes électriques.

3. Valeur avec un Service Complet :

Notre solution offre une valeur exceptionnelle grâce à un service complet. Nous proposons une surveillance continue et une analyse des données, permettant une détection rapide des anomalies et des problèmes potentiels avant qu'ils ne causent des interruptions ou des dommages. Notre solution, utilisant des drones et l'intelligence artificielle, assure une efficacité et une fiabilité maximales.

4. Valeur avec Haute Performance :

Haute performance des équipements et technologies utilisées : Les solutions garantissent une précision et une efficacité accrues, grâce à l'intégration de technologies de pointe dans les drones et les systèmes d'analyse basés sur l'IA, assurant ainsi des opérations sans faille et une maintenance préventive efficace.



1/2-Quels sont les autres projets qui ont ciblé le même problème et qui ont été mis en œuvre ?

Notre solution est unique en Algérie, les méthodes actuelles d'inspection des lignes électriques à haute tension (HT) sont traditionnelles et manuelles. Aucune autre solution innovante ou technologique n'a encore été mise en œuvre pour résoudre les problèmes spécifiques liés à l'inspection et à la maintenance des lignes électriques HT.

2. Customer segments



2. شرائح العملاء

Dans le cadre de notre proposition de service, notre attention se porte principalement sur deux segments de clients clés : d'une part, **SONELGAZ**, l'entreprise publique algérienne en charge de la production, du transport et de la distribution d'électricité et de gaz, et d'autre part, les opérateurs de télécommunications en Algérie, notamment **ALGERIE TELECOM** ainsi que les principaux opérateurs de téléphonie mobile comme **MOBILIS**, **OOREDOO** et **DJEZZY**. Ces clients jouent un rôle crucial dans le paysage énergétique et des télécommunications en Algérie, et notre service vise à répondre à leurs besoins spécifiques en matière d'inspection et de maintenance des infrastructures.

Nous avons rencontré les entreprises potentielles et leur avons présenté notre solution. Voici ce qu'elles en pensant :

- "Nous vous attendons avec impatience."

- "Je suis d'avis que cette approche pourrait être adaptée, notamment pour les zones reculées ou difficiles d'accès."

3. Customer Relationships :



3. العلاقات مع العملاء:

.4

3/1- Comment attirer l'attention des clients sur nos services ?

Pour attirer l'attention des clients sur nos services, nous assurons notre présence pour fournir des informations détaillées sur nos offres, notamment à travers la publication d'articles éducatifs expliquant nos processus d'inspection et les technologies utilisées. De plus, nous proposons des offres spéciales pour inciter de nouveaux clients à essayer nos services gratuitement.

3/2- Comment encourager les clients à acheter nos services ?

Pour encourager les achats, nous proposons une approche personnalisée répondant spécifiquement aux besoins de chaque client. Nous mettons en avant les avantages tangibles de nos solutions, comme l'amélioration de l'efficacité opérationnelle et la réduction des coûts. De plus, nous offrons des démonstrations et des essais gratuits de nos services pour permettre aux clients de tester leur efficacité avant l'achat. En outre, nous proposons des réductions spéciales pour les clients fidèles.

3/3- Comment nos clients bénéficient-ils de nos produits ou services ?

- Amélioration de l'efficacité opérationnelle
- Économies de temps et d'argent
- Amélioration de la sécurité des opérations
- Réduction des risques d'incidents
- Détection rapide des anomalies
- Prise de mesures correctives rapides
- Réduction des temps d'arrêt
- Maintien de la continuité des activités

3/4- Quelles sont les méthodes utilisées pour le service après-vente de nos produits ou services ?

Pour le service après-vente de nos services, nous assurons une continuité de service ininterrompue. Nous mettons en place des appels de suivi pour vérifier la satisfaction après l'achat et restons disponibles en tout temps pour répondre aux besoins de nos clients. De plus, si une inspection n'est pas complète, nous offrons la deuxième inspection gratuitement, bien que nous soyons convaincus de l'efficacité et de la sécurité de notre service.

4- Channels :



5. القنوات:

4/1- Mécanismes et méthodes pour informer sur notre service :

- Utilisation de canaux directs et fiables pour informer sur nos solutions.

- Promotion des services à travers le marketing en ligne et les réseaux sociaux.
- Établissement de partenariats stratégiques, notamment avec la direction de Sonelgaz.
- Participation à des événements de l'industrie pour accroître la visibilité de notre marque.
- Création de contenu attractif, incluant des articles éducatifs sur nos méthodes d'inspection.
- Lancement de campagnes publicitaires ciblées pour atteindre notre audience spécifique.

4/2- Quels canaux de distribution les clients préfèrent-ils ?

En établissant des conventions avec nos clients, nous exécutons les tâches qui nous sont confiées, puis leur envoyons des rapports au format PDF par e-mail. En cas de panne ou d'urgence, nous utilisons les appels téléphoniques pour assurer une communication rapide et efficace.

5. Key partners:



6. الشركات الرئيسية:

5/1- Les principaux partenaires qui peuvent nous aider :

1. **Incubateur de l'Université de BELHADJ Bouchaib d'Ain Temouchent.**
2. **Direction de SONELGAZ de Ain temouchent,**

- Contact :

Téléphone : 043 77 65 86

Lieu: Rue de chabate, Ain Temouchent Algérie.

3. **Entreprises de maintenance électrique comme : BINAMA SARL**

- Contact :

- *Téléphone: 213 (0) 23 67 02 31*

- *Lieu: Tour Algerian Business Center, Pins Maritimes, Al Mohammadia Alger.*

- *E-mail: contact@binama.dz*

4. **Autorités compétentes pour les certifications de drones.**

5. **Fabricants locaux de drones :**

Par exemple, le concepteur du drone **Dhaya, M. BELARBI Adel Mohammed,**

- Contact :

- *Téléphone: +213 799 01 55 28*

- *Lieu: Sidi Bel Abbès*

- *E-mail: adel.mb@taer-dz.com*

6. **Technicien de maintenance de drones.**

5/2- Principaux fournisseurs :

Nos principaux fournisseurs incluent des développeurs logiciel et des data analystes qui jouent un rôle essentiel dans le développement et la maintenance de notre plateforme en ligne. Ils sont responsables de la création d'applications web interactifs, de la gestion des bases de données, et de l'analyse des données collectées par nos drones pour offrir des rapports détaillés et précis à nos clients. Leur expertise permet d'assurer que nos services

restent à la pointe de la technologie et répondent aux besoins spécifiques de nos clients en matière de surveillance et d'inspection.

6- Key activities



6. الأنشطة الرئيسية:

6/1- Principales étapes :

1. Collecte de données :

- Planifier et exécuter les missions d'inspection à l'aide de drones.
- Capturer des images et des vidéos des lignes électriques dans différents environnements et conditions.
- Assurer une planification minutieuse des itinéraires de vol et une exécution précise pour garantir une couverture complète et précise de toutes les zones à inspecter.

2. Analyse des données pour la détection d'anomalies :

- Utiliser notre application web d'analyse de données pour traiter les images et les vidéos collectées par les drones.
- Détecter les anomalies potentielles telles que les dommages, les défauts ou les obstructions.
- Générer des rapports d'inspection détaillés pour nos clients.
- Assurer une analyse précise et rapide des données pour fournir des résultats fiables et exploitables.

3. Sécurité des données :

- Assurer la protection et la confidentialité des données collectées et analysées.
- Implémenter des mesures de sécurité robustes pour prévenir tout accès non autorisé ou toute fuite de données.

6/2- Activités Secondaires :

1. Recherche et développement (R&D) :

- Le développement et l'amélioration des technologies de drones.
- Développement de Nouveaux Algorithmes d'IA : Analyse Prédictive :

Développer des algorithmes d'intelligence artificielle pour améliorer la précision de la détection d'anomalies et prédire les défaillances des infrastructures électriques avant qu'elles ne se produisent.

- Integration des Capteurs Avancés :

Incorporer des capteurs avancés tels que des caméras multispectrales, des Lidar et des capteurs d'imagerie thermique pour augmenter la précision des inspections.



7- Key Resources

7. الموارد الرئيسية:

7/1- Les ressources matérielles :

المورد fournisseur	مصدر محلي أو أجنبي Source locale ou étrangère	الموارد Resources
- Fabricants de drones nationaux et internationaux.	محلي Local أجنبي Étranger	-Drones haute performance.
-Fournisseurs locaux d'équipements informatiques, Et de fournitures de bureau	محلي Local	-Équipements informatiques (serveurs, ordinateurs) et Fournitures de bureau

7/2- Les ressources humaines :

1. Pilote de drone
2. Informaticien et développeur web
3. Financier

العدد Le nombre	صنف المورد البشري Catégorie des ressources humaines
01	Pilote de drone
01	Développeur web
01	Financier

7/3- Les ressources financières :

الاحتياج Le besoin	المورد المالي Les ressources financières
Fonctionnement général	Électricité, eau
Espace de bureau	Loyer
Communication et données	Internet et télécoms
Opérations quotidiennes	Fournitures de bureau et équipements informatiques
Drones, employés ...	Assurance

Sources de Financement :

1. Financement Personnel.
2. Financement des Entreprises Partenariats.
3. Financement de l'ASF (Algerian Startup Fund).

**8. Cost Structure**

8. هيكل التكاليف

8/1- Structure des coûts :

20000 DA	Frais d'établissement
Dépôt marque : 16000 DA	Dépôt marque
Autorisation Drone : 30000 DA	Droits d'entrée
240000 DA	Droit au bail
100000 DA	Frais de notaire
300000 DA (Drone)	Matériel
360000 DA (Serveur+Ordinateur+Imprimante) (150000+150000+60000)	Matériel de bureau
1315000 DA	Trésorerie de départ

Total (Annuels) : 1066000 DA**8/2- Les dépenses ou coûts fixes du projet :**

120000 DA	Assurances
24000 DA	Téléphone, internet
10000 DA	Carburant
25000 DA	Eau, électricité
50000 DA	Entretien matériel
20000 DA	Budget publicité et communication

Total (Annuels) : 249000 DA**8/3- Salaires des employés et des responsables de l'entrepris (Annuels) :**

Développeur logiciel : 600000 DA Pilote de drone : 600000 DA Financier : 480000 DA	Salaires employés
1200000 DA	صافي أجور المسؤولين

9. Revenue Streams



9. مصادر الإيرادات

9/1- Revenus totaux :

Description	Nombre d'unités	Prix unitaire (DA)	Revenus totaux (DA)
Projets Annuels d'inspections des lignes électrique HT	02	1600000 (200 km x 8000 DA)	3200000 DA
Inspection a la demande des lignes électriques HT	01	50000 DA	50000 DA
Projets Annuels de Supervision des Antennes Relais pour ALGERIE TELECOM, et Opérateurs de Téléphonie Mobile	02	8000 DA pour chaque Antenne (40 x 8000 DA)	320000 DA
Total des revenus annuels			3570000 DA

9/2- Source de revenu :

- 1- Revenus générés pour chaque inspection.
- 2- Revenus issus des services de résolution des problèmes pour SONELGAZ, ALGERIE TELECOM, et les opérateurs de téléphonie mobile, y compris en cas de pannes ou d'urgences nécessitant une intervention rapide.

Autres sources de revenus :**Direction des Forêts :**

- Services de Surveillance par Drone : Offrir des services de surveillance par drone pour la détection précoce des feux de forêt, la surveillance des activités illégales (comme la coupe de bois non autorisée), et le suivi de la santé des forêts.
- Cartographie des Forêts : Utiliser des drones pour créer des cartes détaillées des forêts, aider à la gestion des ressources naturelles et à la planification de la reforestation.

Énergies Renouvelables :**SKTM (Société de la production de l'Electricité et des Energies renouvelables) :**

- Inspection des Panneaux Photovoltaïques : Offrir des services d'inspection des installations de panneaux photovoltaïques pour assurer leur bon fonctionnement et optimiser la production d'énergie solaire.
- Inspection des Éoliennes : Utiliser des drones pour inspecter les éoliennes, détecter les dommages ou usures des pales, et planifier les interventions de maintenance nécessaires.

9/3- Méthode de Paiement :

1. Cartes Bancaires :

- Carte Edahabia
- Cartes CIB

2. Virements Bancaires :

- Virements interbancaires : Transferts de fonds de compte à compte au sein du réseau bancaire algérien.
- Virements postaux : Services de transfert d'argent via les bureaux de poste.

3. Chèques Bancaires :

- Utilisation de chèques bancaires pour des paiements plus importants ou pour les transactions nécessitant une documentation écrite.

4. Paiement en Espèces :

- Acceptation des paiements en cash.

Modèle de Business Model Canvas (BMC) :

Business Model Canvas

Project Name:

Powerline Guardian

Date:

18-03-2024

Partenaires Clés	Activités Clés	Propositions de Valeur	Relations avec les Clients	Segments de Clientèle
-L'incubateur de l'Université de BELHADJ Bouchaib d'Ain Temouchent. -Direction de SONELGAZ d'Ain Temouchent. -Entreprises de maintenance électrique. -Autorités compétentes pour les certifications de drones. -Fabricants locaux de drones. -Technicien de maintenance de drones. -Principaux fournisseurs: Les développeurs web. Les analystes de données.	-Collecte de données . - Analyse des données pour la détection d'anomalies. - Sécurité des données. - Recherche et développement (R&D) Ressources Clés - Drones haute performance. -Équipements informatiques. -Pilote de drone. -Informaticien et développeur web - Financier.	- Technologie Innovante. - Sécurité Améliorée. - Efficacité et Précision. - Réduction des coûts. - Qualité de données.	- Essais gratuits et démonstrations pour stimuler les achats. - Service après-vente : suivi régulier, disponibilité constante, deuxième inspection gratuite si nécessaire pour assurer la satisfaction client. Canaux de Distribution - Établissement de conventions avec les clients - Exécution des tâches confiées - Envoi de rapports au format PDF par e-mail - Utilisation des appels téléphoniques en cas de panne ou d'urgence pour une communication rapide et efficace	- SONELGAZ - ALGERIE TELECOM - MOBILIS, OOREDOO, DJEZZY
Structure des Coûts	Sources de Revenus			
Frais d'établissement - Dépôt marque - Droits d'entrée (Autorisation Drone) - Droit au bail - Frais de notaire - Matériel (Drone) - Matériel de bureau. Coûts fixes : Assurances - Téléphone, internet - Carburant - Eau, électricité - Entretien matériel -Budget publicité et communication.	- Revenus générés pour chaque inspection. - Revenus issus des services de résolution des problèmes pour SONELGAZ, ALGERIE TELECOM, et les opérateurs de téléphonie mobile, y compris en cas de pannes ou d'urgences nécessitant une intervention rapide. Méthode de Paiement : - Cartes Bancaires - Virements Bancaires - Chèques Bancaires - Paiement en Espèces.			

الملخص

تحتاج الجزائر، كدولة صناعية، إلى إمدادات كهربائية موثوقة لدعم تنميتها الاقتصادية. تعتبر خطوط الكهرباء ضرورية، ولكنها عرضة للأعطال، مما يهدد استقرار الشبكة. طرق الفحص التقليدية غير فعالة ومكلفة. تقترح هذه الدراسة طويلاً مبتكرة واقتصادية لفحص واكتشاف أعطال خطوط الكهرباء باستخدام الطائرات بدون طيار والذكاء الاصطناعي بهدف تحسين موثوقية وإدارة شبكة الكهرباء في الجزائر.

الكلمات المفتاحية: خط كهرباء عالي الجهد، الذكاء الاصطناعي، الطائرات بدون طيار، اكتشاف الأعطال.

Abstract:

Algeria, as an industrialized country, requires a reliable power supply to support its economic development. High-voltage power lines (HV) are crucial but vulnerable to anomalies, threatening the stability of the grid. Traditional inspection methods are ineffective and costly. This study proposes innovative and cost-effective solutions for the inspection and fault detection of power lines using drones and artificial intelligence (AI), aiming to improve the reliability and management of the electrical grid in Algeria.

Keywords: High Voltage power line (HV), Artificial Intelligence (AI), Drones, Fault Detection.

Résumé :

L'Algérie, en tant que pays industrialisé, nécessite une alimentation électrique fiable pour soutenir son développement économique. Les lignes électriques à haute tension (HT) sont cruciales mais vulnérables aux anomalies, menaçant la stabilité du réseau. Les méthodes d'inspection traditionnelles sont inefficaces et coûteuses. Cette étude propose des solutions innovantes et économiques pour l'inspection et la détection des défauts des lignes électriques en utilisant des drones et l'intelligence artificielle (IA), visant à améliorer la fiabilité et la gestion du réseau électrique en Algérie.

Mots clés : ligne électrique Haute Tension (HT), Intelligence Artificielle (IA), Drones, Détection des défauts.