



Université Saâd Dahlab, Blida-1
Faculté de Technologie
Département des Énergies Renouvelables

Par : HAMADDOUCHE Billel

Pour l'obtention du diplôme :

MASTER en Énergies Renouvelables

Option : Photovoltaïque

Thème :

Développement d'une application Android pour l'audit et diagnostic des centrales photovoltaïques

Soutenu devant le jury composé par :

| | | | |
|--------------|----------|------|------------|
| Dr MAZOUZ | Halima | USDB | Président |
| Dr AMROUCHE | Badia | USDB | Promotrice |
| Dr BOUZAKI | Mustapha | USDB | Examineur |
| Dr AIT SAHED | Oussama | USDB | Examineur |

Juin 2018

Résumé

Ce travail présente une solution photovoltaïque. Il s'agit d'une application android pour l'audit et le diagnostic des centrales photovoltaïques raccordées au réseau électrique.

L'audit photovoltaïque permet de faire l'état des lieux exhaustif d'une installation solaire existante, que ce soit dans un but de résolution de problèmes, d'amélioration des performances, de prévention et sécurité ou encore de résolution de litiges.

Nous avons créé une check liste qui résume tous les étapes de l'audit et de diagnostic photovoltaïque, et cette dernière a été par la suite conçue et développée sous forme d'une application android pour faciliter l'opération et simplifier le travail sur site.

Mots clés : Energie solaire PV, centrales PV, audit, diagnostic, check liste, application android.

ملخص

يقدم هذا العمل دراسة حول تطوير تطبيق أندرويد لمراجعة وتشخيص المحطات الكهروضوئية المتصلة بالشبكة، والتي قمنا بتحليل إخفاقات المكونات المختلفة لمحطة الطاقة الكهروضوئية.

يُتيح التدقيق الكهروضوئي إمكانية إجراء جرد شامل للتركيبات الشمسية الحالية، وذلك لغرض حل المشكلات، وتحسين الأداء، والوقاية والأمن، أو حل النزاعات.

لقد أنشأنا قائمة مرجعية تلخص جميع خطوات التدقيق الكهروضوئي والتشخيصي، وتم تحقيق هذا الأخير كتطبيق الروبوت لتسهيل العملية.

الكلمات المفتاحية: قائمة التحقق، وتطبيق اندرويد، والتدقيق، والتشخيص

Abstract

This work presents a photovoltaic solution. It is an android application for the audit and diagnosis of photovoltaic plants connected to the electricity grid.

The photovoltaic audit makes it possible to make the exhaustive inventory of an existing solar installation that it is for a purpose of problem solving, improvement of the performances, prevention and security or the resolution of disputes.

We have created a checklist that summarizes all the steps of the PV audit and diagnostic, the latter was later designed and developed as an Android application to facilitate the operation and simplify the on-site work.

Keywords: PV solar energy, PV plants, audit, diagnostics, checklist, android application.

Dédicace

A Mes chers Parents

*Sources de mes joies, secrets de ma force, qui m'ont soutenue
durant toutes ces années d'études et qui ont été toujours présents
pour me pousser vers plus de réussites ;*

Merci pour tous vos sacrifices ;

Merci d'être tout simplement mes parents ;

C'est à vous que je dois cette réussite

A mon frère et ma sœur ;

A tous ceux et celles qui me sont chers de ma famille.

Remerciements

Après avoir rendu grâce à **Dieu** le tout puissant et le Miséricordieux nous tenons à remercier vivement tous ceux qui. De près ou de loin ont participé à la réussite de ce travail. Plus particulièrement ;

Au responsables de **SKTM**, en particulier Monsieur Saadi Idir, DRH de SKTM, les responsable de **la centrale de Djelfa** pour nous avoir accordé l'opportunité de visiter l'un des joyeux de l'industrie PV en Algérie, la centrale de Djelfa, qui nous a servi d'exemple de compréhension, d'étude et de mise en situation professionnelle. Grand Merci.

Je remercier mon promoteur Mm **AMROUCHE Badia** Docteur en Energies Renouvelables à l'université de BLIDA (1)/département des EnR pour sa disponibilité, sa rigueur scientifique et son sens d'écoute et d'échange ; et les gens de SKTM, Monsieur le DRH, Idir saadi et les responsables de la centrale de Djelfa

Tout le corps des enseignants du département des EnR/ université de BLIDA (1) qui nous ont fait bénéficier d'une formation pluridisciplinaire de haut niveau et adaptée aux réalités des Energies Renouvelables ;

Je tiens également à remercier Monsieur **H. Megueni** chef de département des Energie Renouvelables, et tout le staff administratif, ainsi que mes chers enseignants

Je tiens à remercier mes chers **Parents**, pour leurs encouragements, leur sacrifice, et leur soutien permanent, aussi moral que financier, ainsi que toute ma famille ;

Je tiens également à remercier tous mes **Amis** et tous les étudiants de mastère Energies Renouvelables, et tous ceux qui m'ont soutenue moralement pendant la réalisation de ce travail pour leurs patience et leurs encouragement.

Nomenclature - Symboles-Acronymes

CSP : Concentrateur solaire photovoltaïque

PV : Photovoltaïque

TWh : Téra watt heure

W : watt

MWc : Méga watt crête

GPV : Générateur photovoltaïque

Pc : Puissance crête(W)

Voc : Tension a circuit ouvert(V)

Icc : Courant de court-circuit(A)

Vmpp : Tension au point maximal(V)

Impp : Courant au point maximal(A)

UV : Ultraviolet

DC : Courant direct

AC : Courant alternatif

IEC : Commuté internationale d'électrotechnique

SKTM : Sharikat kahrabaa wa takate el motadjadida

CREG : Commission de régulation de l'électricité et du Gaz

CDC : Cahier de charge

EDF : Electricité de France

PFE : Projet de fin d'étude

SDK : Software Development Kit

Sommaire

| | |
|---|------------|
| Résumé | I |
| ملخص | I |
| Abstract | I |
| Dédicace | II |
| Remerciements | VI |
| Nomenclature - Symboles-Acronymes | VII |
| Listes des figure | X |
| Liste de tableaux | X |
| Introduction générale | |
| Introduction générale | 1 |
| Chapitre I Généralités sur les centrales photovoltaïque connecté au réseau | |
| I.1 Introduction | 3 |
| I.2 Le gisement solaire en Algérie | 4 |
| I.2.1 Le générateur photovoltaïque..... | 6 |
| I.3 Structure porteuse : | 7 |
| I.4 Boîtes de raccordement : | 8 |
| I.5 Câblage | 8 |
| I.5.1 Connectique..... | 8 |
| I.5.2 Câbles PV..... | 9 |
| I.6 Système de poursuite du soleil | 9 |
| I.7 Système de protection..... | 10 |
| I.8 L'onduleur | 10 |
| I.8.1 Le micro-onduleur..... | 10 |
| I.8.2 Onduleur string..... | 10 |
| I.8.3 Onduleur central..... | 11 |
| I.9 Le transformateur..... | 11 |
| I.10 Le compteur | 12 |
| I.11 La station de mesure | 12 |

| | | |
|--|--|-----------|
| I.12 | La salle de contrôle..... | 13 |
| I.13 | Le cycle de vie d'une centrale Photovoltaïque..... | 13 |
| I.13.1 | Phase de faisabilité-étude et conception | 14 |
| I.13.2 | Phase de Fourniture du matériel..... | 14 |
| I.13.3 | Phase d'installation | 14 |
| I.13.4 | Phase d'exploitation..... | 14 |
| I.13.5 | Phase de recyclage | 15 |
| I.14 | Conclusion..... | 15 |
| Chapitre II..... | 16 | |
| Le diagnostic et l'audit des centrales PV | 16 | |
| II.1 | Introduction | 17 |
| II.2 | Définition..... | 17 |
| II.2.1 | Diagnostic | 17 |
| II.2.2 | Défaillance | 17 |
| II.2.3 | Défaut..... | 17 |
| II.2.4 | Détérioration | 18 |
| II.2.5 | Panne..... | 18 |
| II.2.6 | L'audit..... | 18 |
| II.3 | Audit et diagnostic des centrales photovoltaïques..... | 18 |
| II.4 | Défauts récurrents dans les centrales PV | 20 |
| II.5 | Les normes internationales applicables pour les centrales PV | 23 |
| II.6 | L'acte de diagnostic..... | 24 |
| II.7 | Les outils d'audit d'une centrale PV | 25 |
| II.7.1 | Les a pareilles de mesure | 26 |
| II.8 | Conclusion..... | 27 |
| Chapitre III Les applications Androïde | | |
| III.1 | Introduction..... | 29 |
| III.2 | Définition | 29 |
| III.3 | Types d'applications androïdes..... | 30 |

| | | |
|---|---|----|
| III.3.1 | En premier lieu, les applications natives | 30 |
| III.3.2 | Ensuite, les applications Web ou Web Apps | 30 |
| III.3.3 | En dernier, les applications de type hybride ou hybrid apps :..... | 30 |
| III.4 | Domaine d'application | 31 |
| III.5 | Logiciels ou langage de développement | 32 |
| III.6 | Etapes de développement d'une application androïde | 33 |
| III.6.1 | Déterminer le concept, trouver l'idée..... | 33 |
| III.6.2 | Etudier le marché..... | 33 |
| III.6.3 | Rechercher un prestataire | 34 |
| III.6.4 | Définir le cahier des charges | 34 |
| III.6.5 | Développement & Test..... | 34 |
| III.6.6 | Communication | 35 |
| III.6.7 | Commercialisation..... | 35 |
| III.7 | Exemple d'applications Androïdes | 35 |
| III.8 | Conclusion | 37 |
| Chapitre IV Présentation de la check liste PV-Check | | |
| IV.1 | Introduction :..... | 39 |
| IV.2 | Méthodologie :..... | 39 |
| IV.3 | Etapes de développement de la check liste PV-Check | 41 |
| IV.3.1 | Problématique..... | 41 |
| IV.3.2 | L'idée de base..... | 41 |
| IV.3.3 | Cahier de charge..... | 41 |
| IV.3.4 | Mise en situation professionnelle..... | 42 |
| IV.3.5 | Recensement des informations utiles à recueillir dans la check liste..... | 43 |
| IV.3.6 | Bilan des besoins entre nécessaire, urgent et à compléter..... | 43 |
| IV.3.7 | Désigne de la check liste | 43 |
| IV.4 | Présentation de la check liste :..... | 44 |
| IV.5 | Conclusion | 47 |
| Chapitre V Présentation de l'application androïde PV-Check | | |

| | | |
|--|---|-----------|
| V.1 | Introduction | 49 |
| V.2 | Avantage de l'application PV-Check sur la check liste PV-Check..... | 49 |
| V.3 | Etapes de développement de l'application PV-Check..... | 49 |
| V.3.1 | L'idée de base | 49 |
| V.3.2 | Le cahier de charge..... | 49 |
| V.3.3 | Conception et développement des algorithmes | 50 |
| V.3.4 | Le choix du logiciel de développement..... | 53 |
| V.3.5 | Développement de l'application PV-Check | 53 |
| V.4 | Description de l'application PV-Check..... | 54 |
| V.4.1 | Présentation de l'application | 55 |
| V.5 | Exemple de mise en situation professionnelle..... | 58 |
| V.6 | Conclusion | 59 |
| Conclusion général | | |
| Conclusion général | | 62 |
| Bibliographie et webographie..... | | 64 |
| Annexes..... | | 66 |

Listes des figure

Chapitre I

| | |
|---|----|
| Figure I. 1 Carte du monde de l'enseillent annuel moyen | 4 |
| Figure I. 2 Constituants d'une centrale PV. | 6 |
| Figure I. 3 Etiquette des paramètres électrique d'un module PV aux conditions STC.. | 6 |
| Figure I. 4 Exemples de structures porteuses. | 7 |
| Figure I. 5 Exemple d'une boite de raccordement | 8 |
| Figure I. 6 câble PV modèle MC..... | 9 |
| Figure I. 7 câble PV | 9 |
| Figure I. 8 GPV avec système de poursuite du soleil..... | 10 |
| Figure I. 9 Les différents types d'onduleurs..... | 11 |
| Figure I. 10 Transformateur de la centrale PV de Djelfa. | 12 |
| Figure I. 11 Compteur de l'énergie électrique..... | 12 |
| Figure I. 12 : Station de mesure météorologique..... | 13 |
| Figure I. 13 : Cycle de vie d'une centrale photovoltaïque. | 13 |

Chapitre II

| | |
|--|----|
| Figure II. 1 Détection de hot spot sur les panneaux photovoltaïques..... | 22 |
| Figure II. 2 casse de la boite de jonction | 22 |
| Figure II. 3 problème corrélation casse cellule | 22 |
| Figure II. 4 problème de délamination | 23 |
| Figure II. 5 problème d'ombrage..... | 23 |
| Figure II. 6 problème de salissure | 23 |
| Figure II. 7 Organigramme de l'audit et du diagnostic | 25 |
| Figure II. 8 Caméra thermique infrarouge..... | 26 |
| Figure II. 9 Contrôleur photovoltaïque..... | 26 |
| Figure II. 10 Analyseur de réseau..... | 26 |
| Figure II. 11 Multimètre électrique | 26 |
| Figure II. 12 Outillage courant de mesure et travaux électriques..... | 26 |
| Figure II. 13 Equipement de protection et de sécurité..... | 26 |

Chapitre III

| | |
|--|----|
| Figure III. 1 Logo des applications Androïdes..... | 29 |
| Figure III. 2 comparaisons entre les applications Native, Hybrid et Web | 31 |
| Figure III. 3 Domaines d'application Android..... | 32 |
| Figure III. 4 Application de compte rendu de mission pour EDF sur tablette (a) | 36 |
| Figure III. 5 Hôpital connecté (b)..... | 36 |
| Figure III. 6 exemples d'applications androïdes | 36 |

Chapitre IV

| | |
|---|----|
| Figure IV. 1 Analyse de PV-Check..... | 40 |
| Figure IV. 2 Partie concernant les informations sur la mission..... | 44 |
| Figure IV. 3 Partie concernant les informations sur l'auditeur | 44 |
| Figure IV. 4 Partie concernant les informations sur l'accompagnant | 44 |
| Figure IV. 5 Partie concernant les informations sur l'objet de l'audit | 45 |
| Figure IV. 6 Partie concernant les informations du site choisi..... | 45 |
| Figure IV. 7 Partie concernant les informations sur l'installation..... | 45 |
| Figure IV. 8 Partie concernant les informations sur les composants | 46 |
| Figure IV. 9 Partie concernant les informations sur la station météorologique | 46 |
| Figure IV. 10 Partie concernant les informations de la base de données du site..... | 47 |
| Figure IV. 11 Partie concernant les informations de la documentation fournie..... | 47 |

Chapitre V

| | |
|---|----|
| Figure V. 1 Descriptif de l'application PV-Check..... | 51 |
| Figure V. 2 Organigramme de l'application PV-Check..... | 52 |
| Figure V. 3 Androïde studio..... | 53 |
| Figure V. 4 Interface XML..... | 54 |
| Figure V. 5 interface langage JAVA..... | 54 |
| Figure V. 6 Les entrées/sortie de l'application PV-CHECK..... | 54 |
| Figure V. 7 Fenêtre d'accueil..... | 55 |
| Figure V. 8 Information sur la mission | 56 |
| Figure V. 9 Information sur les personnes chargées de la mission..... | 56 |

| | |
|--|----|
| Figure V. 10 Fenêtre des informations de la centrale PV..... | 57 |
| Figure V. 11 Partie base de données. | 57 |
| Figure V. 12 Interface de la documentation. | 58 |
| Figure V. 13 Capture écran du rapport généré suite un essai de PV-Check..... | 59 |

Liste de tableaux

Chapitre I

| | |
|---|---|
| Tableau I. 1 répartition de ce programme par filière technologique | 3 |
| Tableau I. 2 Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques | 4 |
| Tableau I. 3 Liste des centrales PV connectées au réseau en Algérie..... | 5 |
| Tableau I. 4 les paramètres électriques d'un module PV. | 7 |

Chapitre II

| | |
|---|----|
| Tableau II. 1 Principaux défauts et anomalies rencontrés dans un GPV..... | 21 |
| Tableau II. 2 tableau des normes | 24 |

Introduction générale

Introduction générale

En lançant son programme ambitieux de développement des énergies renouvelables, l'Algérie compte se positionner comme un acteur majeur dans la production de l'électricité à partir du solaire photovoltaïque qui sera le moteur d'un développement économique durable à même d'impulser un nouveau modèle de croissance.

Avec une vingtaine de méga centrales déjà installées, majoritairement au sud et dans les hauts plateaux, la capacité installée dépasse de peu les 343 MWc. Nous nous trouvons déjà en phase d'exploitation. Cette phase est cruciale, car du fonctionnement de la centrale durant cette phase et de la quantité d'énergie produite que dépendent la durée de la période de remboursement de l'investissement et la rentabilité de ce dernier.

Ceci nous amène au but du présent mémoire, qui consiste à développer une application android qui servira comme outil de travail pour assurer l'audit et le diagnostic des centrales PV. Cet outil peut être utilisé moyennant un Smartphone ou une tablette tactile ce qui facilitera énormément le travail des techniciens en charge de ces tâches qui se déroulent généralement dans des conditions météorologiques difficiles et qui nécessitent le contrôle de milliers de composants sur de vastes superficies.

Le design de cette application android est basé sur une check liste que nous avons développé après la visite de la centrale connectée au réseau de Djelfa. Cette mission nous a permis de nous mettre en situation professionnelle, de simuler une tâche d'audit afin de la mieux comprendre et de concevoir une check liste qui répond au mieux aux besoins de cette mission.

Le présent mémoire est partitionné en 5 chapitres. Le premier chapitre rappelle quelques généralités sur les systèmes photovoltaïques avec une orientation prononcée sur les centrales PV, leurs constituants et leurs fonctions. Aussi, une brève description du potentiel énergétique solaire de l'Algérie est présentée.

Dans le deuxième chapitre, nous décrivons les tâches d'audit et de diagnostic. Cette présentation nous permet de positionner l'intérêt de notre travail.

Dans le troisième chapitre, nous rappelons quelques généralités sur les applications androides, leurs types, leurs domaines d'applications, les logiciels de développement ainsi que leurs étapes de développement.

Enfin, le quatrième et le cinquième chapitre sont réservés à la présentation de la check liste et de l'application android respectivement. Cela nous permet de détailler les étapes que nous avons suivies pour aboutir au résultat final et le discuter.

Chapitre I

Généralités sur les centrales photovoltaïque connecté au réseau

I.1 Introduction

L'Algérie a amorcé une dynamique d'énergie verte en lançant un programme ambitieux de développement de l'énergie renouvelable et d'efficacité énergétique. Cette vision du programme algérien s'appuie sur une stratégie axée sur la mise en valeur des énergies et prépare l'Algérie de demain [1]. Grâce à la combinaison des initiatives et des intelligences, l'Algérie s'engage dans une nouvelle ère énergétique durable, parce qu'elle constitue le pays le plus ensoleillé de tout le bassin méditerranée, avec un potentiel estimé à 169TWh/m²/an constitué comme suit : 1) Régions coutières avec 1700 TWh, 2) Hauts plateaux avec 1900TWh et 3) Sahara avec 2650TWh

Ce programme consiste à installer une puissance d'origine renouvelable de près de 22000MW entre 2011 et 2030 dont 12000MW seront dédiés à couvrir la demande nationale en électricité et 10 000 MW à l'exportation. La répartition de ce programme par filière technologique est résumée dans le Tableau 1.1 [1].

Tableau I. 1 Répartition de ce programme par filière technologique.

| | 1 ^{ère} phase 2015- 2020[MW] | 2 ^{ème} phase 2021- 2030[MW] | TOTAL [MW] |
|----------------|---|---|---------------|
| Photovoltaïque | 3000 | 10575 | 13575 |
| Eolien | 1010 | 4000 | 5010 |
| CSP | - | 2000 | 2000 |
| Cogénération | 150 | 250 | 400 |
| Biomasse | 360 | 640 | 1000 |
| Géothermie | 05 | 10 | 15 |
| Total | 4525 | 17475 | 22000 |

Compte tenu de l'importance du photovoltaïque, une vingtaine de centrales PV connectées au réseau ont déjà été installées et raccordées au réseau électrique. Le présent chapitre est consacré aux généralités sur les centrales PV connectées au réseau en Algérie. Ainsi, nous commençons par donner une brève description du potentiel solaire Algérien qui sera suivie par la présentation d'une centrale PV, ses composants ainsi que les normes applicables dans ce domaine. Nous concluons avec la notion de cycle de vie d'une centrale PV qui nous permettra de positionner l'utilité de l'acte de diagnostic ainsi que son occurrence dans le temps.

I.2 Le gisement solaire en Algérie

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au niveau d'un site donné au cours d'une période donnée. Il est utilisé pour simuler le fonctionnement d'un système énergétique solaire et faire un dimensionnement le plus exact possible compte tenu de la demande à satisfaire. De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un gisement solaire énorme comme le montre la Figure I.1.

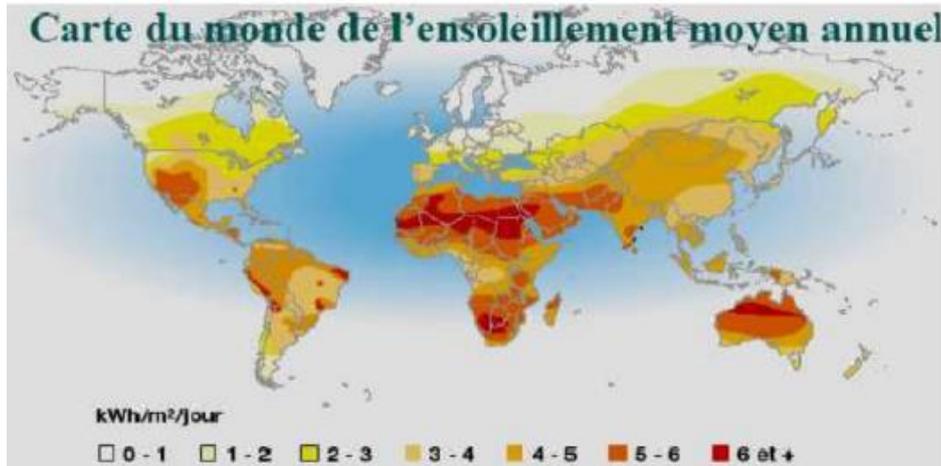


Figure I. 1 Carte du monde de l'ensoleillement annuel moyen .

Suite à une évaluation par satellites, l'Agence Spatiale Allemande (ASA) a conclu, que l'Algérie représente le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen, soit 169.000 TWh/an pour le solaire thermique, 13,9 TWh/an pour le solaire photovoltaïque. Le potentiel solaire Algérien est l'équivalent de 10 grands gisements de gaz naturel qui auraient été découverts à Hassi R'Mel. La répartition du potentiel solaire par région climatique au Niveau du territoire algérien est représentée dans le tableau I.5 selon l'ensoleillement reçu annuellement [2]. Tableau I. 2 Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques

| Région | Régions côtières | Hauts plateaux | Sahara |
|--|------------------|----------------|--------|
| Superficie(%) | 4 | 10 | 86 |
| Durée d'ensoleillement (h/an) moyenne | 2650 | 3000 | 3500 |
| Energie moyenne reçue (kWh/m ² /an) | 1700 | 1900 | 2650 |

Ceci explique le choix des sites d'implantation des 23 Méga centrales photovoltaïques connectée au réseau durant ces sept dernières années. En effet, le Tableau I.3, montre que toutes les centrales ont été installées dans les Hauts plateaux et au Sahara et ce, avec une puissance totale cumulée de 343 MWc [2].

Tableau I. 3 Liste des centrales PV connectées au réseau en Algérie.

| Centrales | Puissance installée (MW) | Production (GWh) à juin 2017 |
|--------------------------------|--------------------------|------------------------------|
| 1-Réseau PIAT | | |
| Adrar | 20 | 59,585 |
| Kabertène | 03 | 9,584 |
| In Salah | 05 | 12,328 |
| Timimoune | 09 | 23,822 |
| Regguen | 05 | 12,221 |
| Zaouiat Kounta | 06 | 15,213 |
| Aoulef | 05 | 12,557 |
| 2-Réseau RIS | | |
| Tamanrasset | 13 | 36,410 |
| Djanet | 03 | 10,729 |
| Tindouf | 09 | 6,376 |
| 3-Réseau RIN | | |
| Oued Nechou(Ghardaïa) | 1,1 | 4,593 |
| Sedret Leghzel (Naama) | 20 | 40,715 |
| Oued el Kebrit (Souk Ahras) | 15 | 28,900 |
| Ain Skhouna(Saida) | 30 | 14,213 |
| Ain el Bel (Djelfa) 1 et 2 | 53 | 25,134 |
| Lekhneg(Laghouat) 1 et 2 | 60 | 53,576 |
| Telagh (Sidi-Bel-Abbès) | 12 | 7,417 |
| Labiodh Sidi Cheikh (El-Bayad) | 23 | 19,146 |
| El Hdjira(Ouargla) | 30 | 9,738 |
| Ain-El-Melh (M'sila) | 20 | 16,473 |
| Oued El Ma (Batna) | 02 | -- |
| TOTAL SKTM | 344,1 | 418,739 |

I.3 Centrales solaires photovoltaïques connectées au réseau

Une centrale solaire photovoltaïque connectée au réseau est une grande installation PV dont l'énergie électrique produite est injectée au réseau électrique. Une méga centrale PV connectée au réseau, que nous appellerons dans ce mémoire centrale PV, est une centrale

dont la capacité installée dépasse le 1 Mwc. Les principaux constituants d'une centrale PV, comme illustré par la Figure I.2, sont [3]:

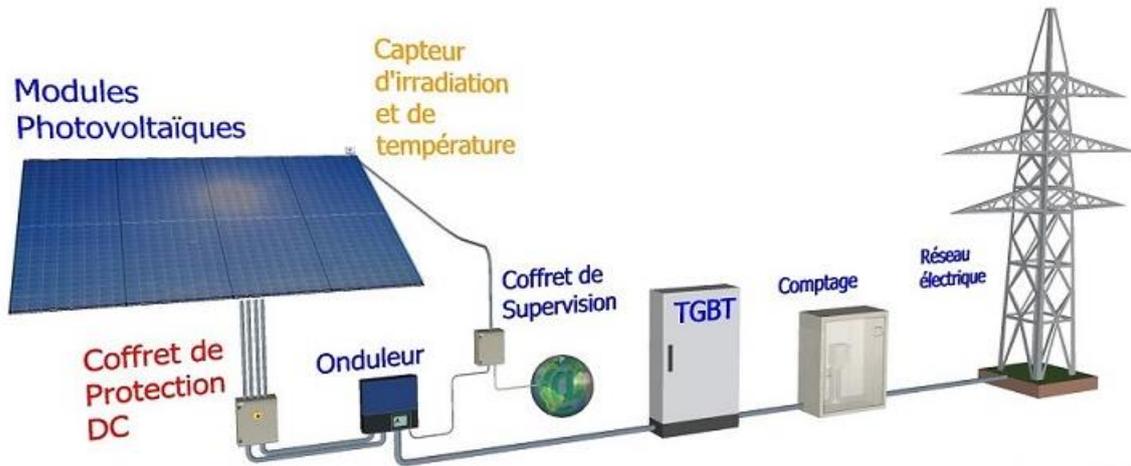


Figure I. 2 Constituants d'une centrale PV.

I.2.1 Le générateur photovoltaïque

Le générateur photovoltaïque (GPV) est la partie chargée de la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique. Il est constitué de modules PV associés en séries pour former des strings. Ces strings sont ensuite connectés entre elles pour avoir la tension souhaitée pour attaquer l'étage suivant. Le GPV est constitué généralement de :

I.2.1.1 Modules PV :

Le module PV, composant élémentaire du GPV est caractérisé par plusieurs paramètres qui sont affichés sur une étiquette qui se trouve à sa face arrière comme illustré par la Figure I.3 et décrits par le Tableau I.4.



Figure I. 3 Etiquette des paramètres électrique d'un module PV aux conditions STC.

Tableau I. 4 les paramètres électriques d'un module PV.

| Paramètre | Description |
|---------------------------------------|--|
| Puissance crête P_c (Wc) | Puissance électrique maximum que peut fournir le module dans la condition standard (25°C et un éclairement de 1000 W/m ²). |
| Tension à vide V_{co} (V) | Tension aux bornes du module en l'absence de tout courant, pour un éclairement « plein soleil ». |
| Courant de court-circuit I_{cc} (A) | Courant débité par un module en court-circuit pour un éclairement « plein soleil ». |
| Tension max V_{mpp} (V) | Tension délivré par le module à la puissance maximale |
| Courant max I_{mpp} (A) | Courant délivré par le module à la puissance maximale |

I.3 Structure porteuse :

Les structures supporteront la charge statique du poids des modules et, selon l'inclinaison, une surcharge de vent, neige et salissure. Il existe des structures modulaires, conçues spécialement pour les centrales solaires au sol. Elles sont généralement fabriquées à base d'aluminium ou d'acier traité contre la corrosion avec des périodes de garantie sur tout le système de construction. Une garde au sol d'un minimum de 0,8 m permet de faciliter l'entretien du site et à la petite faune de circuler librement. Cette garde au sol permet également de laisser passer la lumière du soleil sous les modules. Cette lumière diffuse arrive au niveau du sol et permet à la végétation de se développer [4].



Figure I. 4 Exemples de structures porteuses.

I.4 Boîtes de raccordement :

En électricité, une boîte de raccordement ou boîte de dérivation, est un boîtier électrique située en aval d'un tableau électrique. Elle est située au plus près des installations sur le terrain et permet de centraliser les départs vers les différents appareils électriques.

Cette boîte de raccordement doit être mise à la terre (si elle est en métal) pour éviter les risques d'électrisation en cas de défaillance. On doit aussi mettre un couvercle pour éviter de toucher les conducteurs accidentellement. Les connexions sont réalisées avec des capuchons de connexion ou avec des borniers. Les fils qui entrent dans la boîte peuvent être dans des câbles ou dans des conduites. On les fixe à la boîte avec des connecteurs [5].



Figure I. 5 Exemple d'une boîte de raccordement

I.5 Câblage

Une installation photovoltaïque comprend plusieurs types de câbles en fonction des contraintes électriques ou extérieure. Le câblage entre les modules photovoltaïques et l'onduleur intègre une connectique particulière pour éviter les risques de chocs électriques pendant l'installation [6].

I.5.1 Connectique

Une connectique débranchable spécifique au photovoltaïque est utilisée sur la partie courant continu (modules photovoltaïques, boîtes de jonctions, coffret DC, onduleurs) pour faciliter l'installation et réduire les risques de chocs électrique. L'installation de ces connecteurs sont obligatoires lorsque la tension V_{oc} max entre chaque module PV et à l'extrémité de chaque chaîne PV est supérieure à 60V. Dans la pratique, des connecteurs appelés MC3 et MC4 sont utilisés [6].



Figure I. 6 câble PV modèle MC

I.5.2 Câbles PV

Les câbles reliant les modules au coffret de protection courant continu sont spécifiques au photovoltaïque et ses contraintes. Les câbles utilisés sont communément appelés câble PV. Ce sont des câbles mono conducteurs en cuivre ou en aluminium d'isolement. Ces câbles doivent respecter certaines caractéristiques telles que isolation de type C2 non propageur de la flamme, température admissible sur l'âme d'au moins 90°C en régime permanent, stabilité aux UV répondant, tension assignée du câble (U0/U) compatible avec la tension maximum UCOMAX [6].



Figure I. 7 câble PV

I.6 Système de poursuite du soleil

Dans certaines centrales PV, les modules PV sont montés sur des structures métalliques dotées de moteurs qui leur permettent de suivre la position du soleil afin de maximiser la quantité de l'éclairement incident sur la surface des modules. Cette poursuite peut être à un seul axe ou à deux axes comme illustré par la Figure I.8. La fixation des panneaux doit assurer correctement les fonctions suivantes [13] :

- Maintien de l'orientation.
- Résistance contre le vent et les autres intempéries.
- Résistance contre les agressions mécaniques.
- Protection contre les salissures, et agression venant du sol.
- Ventilation des panneaux afin de limiter leur échauffement.



Figure I. 8 GPV avec système de poursuite du soleil.

I.7 Système de protection

Une protection courant continu est exigée en amont de l'onduleur. Il est donc placé entre le GPV et l'onduleur. Il comporte au minimum un dispositif de coupure et de sectionnement général DC sur la liaison principale

I.8 L'onduleur

L'onduleur réseau est un convertisseur électrique permettant de transformer le courant électrique continu du GPV en courant alternatif compatible avec le réseau électrique national. Dans le cas d'un raccordement au réseau, l'onduleur doit intégrer un système de découplage au réseau. Dans le cas échéant, un système de découplage externe doit être installé. Plusieurs types d'onduleurs existent. Le choix d'un type dépend de la topologie de la centrale, ainsi on trouve :

I.8.1 Le micro-onduleur

Qui se branche à un ou deux modules selon les modèles. Il permet une gestion personnalisée et précise de la puissance de chaque module. Il est généralement utilisé pour les installations de 100 Wc à 10 kWc. Son utilisation est avantageuse dans le cas où le générateur photovoltaïque subit de forts ombrages ou des orientations multiples. L'ensemble des micro-onduleurs sont ensuite reliés entre eux au niveau du coffret de protection électrique AC avant l'injection du courant alternatif sur le réseau.

I.8.2 Onduleur string

L'onduleur string se connecte à un ensemble de modules branchés en série appelé string (en général par série d'une dizaine). L'onduleur peut avoir plusieurs entrées et donc se connecter à plusieurs dizaines de modules. Il permet la gestion indépendante de la puissance de chaque string. Chaque générateur photovoltaïque peut comporter plusieurs onduleurs strings. Ainsi, Il est généralement utilisé pour les installations de 1kWc à 100kWc

I.8.3 Onduleur central

L'onduleur central se connecte à plusieurs centaines modules en série. Du faite de cette solution centralisée, le coût aux Wc de l'installation est réduit et la maintenance est facilitée grâce à des moyens de supervision adaptés. Aussi, dans le cas de grosse centrale photovoltaïque, la gestion du réseau est simplifiée. L'onduleur central est généralement utilisé pour les installations supérieures à 100kWc [6].



Figure I. 9 Les différents types d'onduleurs.

I.9 Le transformateur

Un **transformateur électrique** (parfois abrégé en « transfo ») est une machine électrique permettant de modifier les valeurs de tension et d'intensité du courant délivrées par une source d'énergie électrique alternative, en un système de tension et de courant de valeurs différentes, mais de même fréquence et de même forme. Il effectue cette transformation avec un excellent rendement.

On distingue les transformateurs statiques et les commutatrices. Dans un transformateur statique, l'énergie est transférée du primaire au secondaire par l'intermédiaire du circuit magnétique que constitue la carcasse du transformateur. Ces deux circuits sont alors magnétiquement couplés. Ceci permet de réaliser un isolement galvanique entre les deux circuits. Dans une commutatrice, l'énergie est transmise de manière mécanique entre une génératrice et un moteur électrique [7].



Figure I. 10 Transformateur de la centrale PV de Djelfa.

I.10 Le compteur

Dans le cas d'une installation photovoltaïque reliée au réseau avec injection totale, le gestionnaire du réseau installe deux compteurs d'énergie. Un pour mesurer la production d'électricité et un autre pour mesurer la consommation des appareils électriques de l'installation photovoltaïque, notamment les onduleurs.



Figure I. 11 Compteur de l'énergie électrique.

I.11 La station de mesure

Les champs photovoltaïques nécessitent l'installation d'une ou plusieurs centrales météorologiques pour le suivi des paramètres environnementaux qui peuvent influencer la production électrique. Plusieurs solutions peuvent être mises en œuvre pour répondre au mieux et toujours dans le respect des normes IEC.

La norme IEC 61724 préconise l'enregistrement de plusieurs paramètres météorologiques en précisant l'intervalle d'enregistrement et fournit des recommandations sur le positionnement des capteurs. De ces grandeurs physiques collectées découlent ensuite des données élaborées

Les stations mesurent généralement les paramètres environnementaux suivants : la température de l'air, l'humidité relative, la pression atmosphérique, les précipitations, la vitesse et la direction du vent, l'enneigement et les radiations solaires. Ces données sont très utiles [8].



Figure I. 12 : Station de mesure météorologique.

I.12 La salle de contrôle

Local où s'exercent le contrôle de fonctionnement et le pilotage d'une centrale photovoltaïque. C'est là que sont centralisées les informations utiles à la conduite des installations et les moyens de commande à distance des différents organes.

Comme tout système de production d'énergie, les générateurs photovoltaïques ont besoin d'être suivis pour détecter les pannes et vérifier leur bon fonctionnement. On peut mesurer la seule production, récupérer toutes les données de l'onduleur ou récupérer l'ensemble des données des matériels communicants (panneaux photovoltaïques, onduleur, transformateur, etc.) Par l'intermédiaire d'un système de monitoring [9].

I.13 Le cycle de vie d'une centrale Photovoltaïque

Le cycle de vie d'une centrale photovoltaïque comporte, généralement, cinq phases essentielles comme illustré par la Figure I.13 [10].

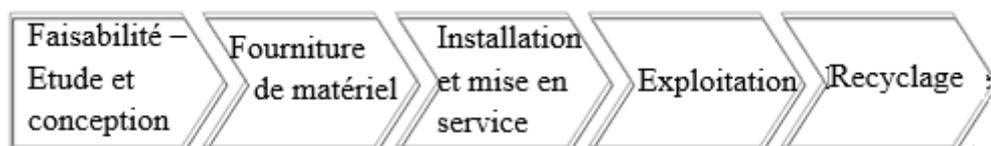


Figure I. 13 : Cycle de vie d'une centrale photovoltaïque.

I.13.1 Phase de faisabilité-étude et conception

La première phase dans le cycle de vie d'une centrale PV est la phase de l'étude car il est primordial de commencer par rechercher et analyser les solutions possibles, en estimer les coûts, les délais de mise en œuvre et les risques. Ainsi la faisabilité doit permettre d'analyser les facteurs de réussite et les risques du projet PV. Cette étape fait l'objet d'un livrable, le dossier de faisabilité, remis au Comité de Pilotage du projet afin que chaque scénario soit étudié. Les objectifs de cette phase consistent à :

- Etudier la faisabilité du projet ;
- Définir et concevoir l'installation (plan d'exécution, schéma électrique, planning, etc.) ;
- Effectuer les démarches administratives au titre du droit de l'électricité, du code de l'environnement et du code de l'urbanisme [10].

I.13.2 Phase de Fourniture du matériel

A ce stade de développement, le choix du matériel est très important selon le prix, la qualité et la garantie du produit et il faut qu'il réponde aux spécifications techniques du projet et de son cahier de charge [10].

I.13.3 Phase d'installation

La phase de construction et d'installation est la phase la plus courte. Elle dure généralement quelques mois puisque les composants présélectionnés sont adaptés avec précision et peuvent être reliés rapidement et facilement pour créer un système global très efficace. Elle se termine par une étape qui est la mise en service et qui permet de vérifier la conformité aux normes de l'installation et au cahier de charge [10].

I.13.4 Phase d'exploitation

La phase d'exploitation est la phase la plus longue dans le cycle de vie d'une centrale PV. Sa durée est égale à la durée de vie des modules PV qui dépasse 25 années. Durant cette phase, il est primordial de :

- Réaliser des actions régulières permettant à l'installation d'assurer pleinement sa fonction telles que la maintenance, le nettoyage, la surveillance, le diagnostic et l'analyse des performances ;
- Gérer et optimiser la performance de l'installation [10].

I.13.5 Phase de recyclage

En fin de cycle de vie, une centrale PV doit être démantelée. Cette action est généralement suivie de nombreuses tâches telles que le traitement et le recyclage des équipements en fin de vie de l'installation ainsi que le reconditionner du site [10].

I.14 Conclusion

Ce chapitre a été pour nous l'occasion de rappeler quelques notions générales sur les centrales PV. Le sujet étant très vaste, nous nous sommes donc limités aux notions ayant un lien direct avec notre objet de mémoire. Ceci dans le but de faciliter la compréhension du chapitre suivant qui introduira la notion d'audit et de diagnostic des centrales PV.

Chapitre II

Le diagnostic et l'audit des centrales PV

II.1 Introduction

Une centrale PV nécessite une surveillance quotidienne de la production, des tâches d'entretien (maintenance préventive) et des opérations de réparation (maintenance corrective). Ces opérations sont nécessaires afin d'assurer le fonctionnement de la centrale, mais également sa longévité et sa rentabilité.

Le présent chapitre nous renseigne sur les défauts récurrents pour les centrales PV, les normes en vigueur, ainsi que l'audit et le diagnostic des centrales PV.

II.2 Définition

II.2.1 Diagnostique

Le diagnostic est utilisé à l'origine dans le domaine médical. Ce terme signifie le raisonnement menant à l'identification de la cause (l'origine) d'une défaillance, d'un problème ou d'une maladie à partir des caractères ou symptômes relevés par des observations, des contrôles ou des tests (il s'agit donc d'acquérir des connaissances à travers les signes observables).

Comme dans son acception médicale, le diagnostic des systèmes automatiques consiste à remonter des symptômes perçus vers les causes. Les symptômes peuvent être des écarts constatés entre des valeurs mesurées ou estimées à partir d'un processus et des valeurs présumées. Les symptômes sont mis en évidence par des signaux indicateurs de défauts appelés résidus [11].

II.2.2 Défaillance

Une défaillance correspond à un défaut ayant un effet néfaste sur le fonctionnement du système. Ce terme est utilisé lorsqu'un dispositif devient inopérant ou il accomplit difficilement sa fonction [12].

II.2.3 Défaut

Un défaut est défini comme un état anormal ou une anomalie au niveau du composant d'équipement ou du sous équipement. Il peut conduire à une défaillance du système. Cependant, une faute pourrait ne pas entraîner nécessairement une défaillance du système. Le diagnostic est capable de détecter le défaut mineur et de suivre sa progression. Le diagnostic a pour objectif d'éviter la défaillance du système. Pour une meilleure

compréhension de la faute et de la défaillance, les notions de défaut mineur, défaut majeur et de la défaillance sont utilisées dans le contexte suivant :

- un défaut naissant peut être considéré comme un défaut mineur ;
- un défaut mineur progresse vers un défaut majeur ;
- un défaut majeur avec un niveau de gravité élevé s'approche d'une défaillance.

Lorsqu'un défaut mineur ou majeur se produit, le système de production fonctionne mais dans un mode dégradé. Dans le cas de défaillance, le système ne fonctionne plus et il doit être réparé [12].

II.2.4 Détérioration

Ce terme est utilisé pour définir une perte de performance altérant partiellement le fonctionnement du système [12].

II.2.5 Panne

Une panne est une interruption permanente de la capacité du système à réaliser sa fonction requise. Elle est au-delà de la défaillance car elle implique l'arrêt total du système [12].

II.2.6 L'audit

L'audit est un processus méthodique, indépendant et documenté qui est défini en générale comme étant l'examen d'un système qui peut être une installation ou une entreprise par un professionnel indépendant utilisant une méthodologie spécifique d'investigation mise en œuvre dans le but d'émettre une opinion sur ce système [13].

II.3 Audit et diagnostic des centrales photovoltaïques

L'audit PV permet de faire l'état des lieux exhaustif d'une installation solaire existante, que ce soit dans un but de résolution de problèmes, d'amélioration des performances, de prévention et sécurité ou encore de résolution de litiges. On a besoin de l'audit d'une installation PV pour [14]:

- Garantir la conformité de ses opérations ;
- Respecter la réglementation en vigueur.

Ainsi il apparaît évident que les premiers audits pour les centrales PV en Algérie soient les suivants :

- 1- A la réception de la centrale à la fin de la phase d'installation. Dans ce cas l'audit a pour but de vérifier que la centrale, à son état final, correspond au cahier de charge établi à la phase d'étude. Comme les centrales sont la propriété de SKTM, l'audit est en général fait par un bureau indépendant pour SKTM ;
- 2- Pour bénéficier du tarif d'achat de l'électricité, le propriétaire de la centrale PV doit prouver que l'électricité comptabilisée par le compteur est d'origine renouvelable. Ceci doit être vérifié par un audit fait, pour la Commission de régulation de l'électricité et du Gaz, la CREG qui est une commission indépendante affiliée au Ministère de l'Energie ;
- 3- Au raccordement, c'est-à-dire à la mise en service. A la suite du premier audit, la société en charge du réseau de distribution doit faire ses vérifications pour s'assurer que la centrale PV est conforme à ses exigences pour assurer la sécurité de son réseau électrique.
- 4- En fin, des audits sont prévus régulièrement pour s'assurer du bon fonctionnement de la centrale, ou occasionnellement après une révision ou une opération de maintenance majeure.

L'audit des centrales PV répond aux questions suivantes :

- La centrale PV est-elle conforme et sur ?
- Fonctionne-t-elle de façon optimale ?
- Le matériel est-il de bonne qualité et fiable ?
- Comment assurer son bon fonctionnement sur le long terme ?

Pour répondre à ces questions, il s'agit généralement de contrôler et valider que tous les équipements installés sont conformes aux normes en vigueur et aux règles de l'art. L'aspect qualité et durabilité des matériels sont abordés. La performance en termes de production électrique est contrôlée et évaluée. Le cas échéant, l'audit peut conclure à des préconisations de modification ou d'évolution des installations, par exemple pour une mise en conformité ou une optimisation de la rentabilité.

Le diagnostic d'une centrale PV est généralement préconisé lorsqu'un dysfonctionnement de la centrale est remarqué. Dès lors la détection et l'identification de l'origine de ce dysfonctionnement devient une urgence.

II.4 Défauts récurrents dans les centrales PV

Au cours de son fonctionnement, une installation PV peut être éventuellement soumise à différents défauts et conditions de fonctionnement anormales. Les défauts et les anomalies apparus varient d'une installation à une autre en fonction de sa conception, installation, opération et maintenance. Ces défauts peuvent causer une baisse voire l'arrêt total de la production photovoltaïque. Une bonne connaissance des différents défauts possibles permet d'assurer une bonne vérification et faciliter la tâche de maintenance.

Vu la dimension d'une méga centrale PV, et le nombre de ses composants, il devient évident que la probabilité d'occurrence de pannes et d'apparition de défauts soient plus importantes que dans les petites installations PV. Une liste des origines de défauts les plus fréquents est montrée dans l'annexe A. Ce tableau a été établi en considérant le type de défaut, sa conséquence principale, puis son degré d'impact sur la production du système ou criticité (1 faible, 2 moyen, 3 fort), son occurrence (1 faible, 2 moyenne, 3 forte) ainsi que sa phase d'origine (C : Conception ; I : Installation ; E : Exploitation). Les défauts avec un score supérieur ou égal à 3 ont été retenus et sont listés dans le tableau II.1

Tableau II. 1 Principaux défauts et anomalies rencontrés dans un GPV

| Eléments du GPV | Origines de défauts et d'anomalies |
|--|--|
| Module | <ul style="list-style-type: none"> - Feuilles d'arbre, déjection, pollution, sable, neige, etc. - Détérioration des cellules, fissure, échauffement des cellules. - Pénétration de l'humidité, dégradation des interconnexions, corrosion des liaisons entre les cellules. - Modules de performances différentes. <ul style="list-style-type: none"> - Module arraché. - Modules court-circuités, - Modules inversées <ul style="list-style-type: none"> - Cadre cassé, - Cadre rouillis - Cellule avec couleur modifiée |
| Boîte de jonction | <ul style="list-style-type: none"> - Rupture du circuit électrique - Court-circuit du circuit électrique - Destruction de la liaison - Corrosion des connexions |
| Câblage et connecteur | <ul style="list-style-type: none"> - Circuit ouvert - court-circuit - Mauvais câblage (module inversé) - Corrosion des contacts - Rupture du circuit électrique |
| Diode de protection (diode de bypass et diode anti-retour) | <ul style="list-style-type: none"> - Destruction des diodes - Absence ou non fonctionnement de diodes - Inversion de la polarité des diodes au montage, diode mal connectée |
| Structure porteuse | <ul style="list-style-type: none"> Moteur qui ne fonctionne pas Structure cassé Distance non respectée qui cause de l'ombrage sur les autres modules Bloquée dans la mauvaise direction L'angle et la direction ne sont pas optimaux |

Et voici quelque figure illustrative

Détection de hot spot sur les panneaux photovoltaïques Capture d'une vidéo dans l'infrarouge thermique permettant de détecter et géolocaliser les points chauds sur les cellules des PV. Les échauffements des installations électriques peuvent aussi être détectés par cette méthode.

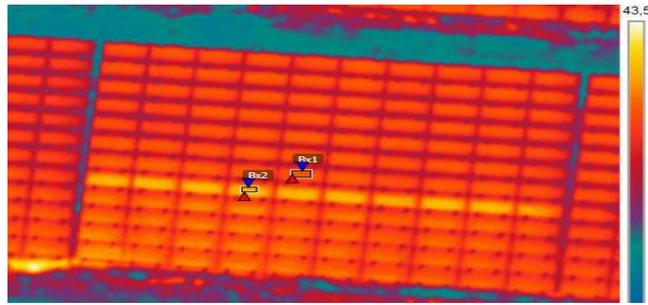


Figure II. 1 Détection de hot spot sur les panneaux photovoltaïques

Boite de connexion du module photovoltaïque en mauvaise état.

En extérieur, les panneaux et les boîtes de connexion sont soumis aux facteurs extérieurs (rayonnement solaire, pluie, froid).

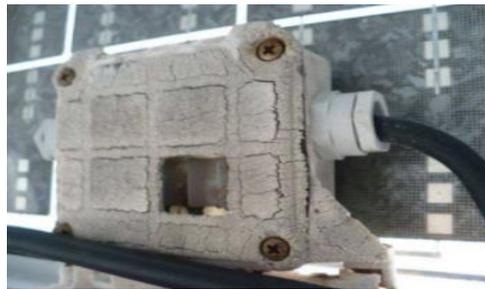


Figure II. 2 casse de la boite de jonction

Exemple illustrant la corrélation casse cellule/snail trails. Le défaut (snail trails) est notamment lié à la présence de microfissures dans les cellules

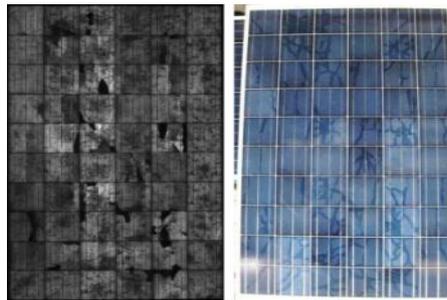


Figure II. 3 problème corrélation casse cellule

Photographie de délamination des couches constitutives du module. Le défaut de délamination des couches constitutives des modules concerne principalement les installations relativement âgées

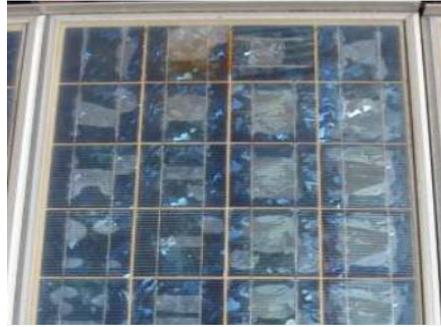


Figure II. 4 problème de délamination

De l'ombre sur les capteurs photovoltaïques entraîne une perte de production



Figure II. 5 problème d'ombrage

La salissure des panneaux photovoltaïques peut provoquer une perte de puissance



Figure II. 6 problème de salissure

II.5 Les normes internationales applicables pour les centrales PV

Une norme internationale est une norme adoptée par un organisme international de normalisation et mise à la disposition du public. Pour réaliser une installation électrique du réseau tertiaire principalement, une habitation, maison, logement ou un bâtiment il est nécessaire d'être respectueux des différentes normes en vigueur dans le pays afin de garantir un maximum de sécurité. Dans la plupart des pays, les installations électriques doivent se conformer à la réglementation par voie de conséquence, il est essentiel de prendre en considération ces contraintes lors de l'étude, voir même avant le démarrage de la conception de l'installation.

La production normative s'effectue au niveau de l'International Electrotechnique Commission (CEI), instance internationale de normalisation dont le siège est à Genève. Quelques normes ont été retenues et sont listées dans le Tableau II.2.

Tableau II. 2 tableau des normes

| Composant | normes | titre | objet |
|------------|---|---|--|
| Le module | CEI 61715 | Modules Photovoltaïques (PV) au silicium cristallin pour application terrestre | Qualification de la conception et homologation |
| | CEI 61730-1 | Qualification pour la sûreté de fonctionnement des modules photovoltaïques (PV) | Exigences pour la construction |
| | CEI 61730-2 | Qualification pour la sûreté de fonctionnement des modules photovoltaïques (PV) | Exigences pour les essais |
| L'onduleur | VDE 126-1-1 | Protection de découplage | |
| | CEI 55014 | Compatibilité Electromagnétique | |
| | CEI 61000-3-2 | Limites pour les émissions de courant harmonique | |
| Les câbles | CEI 60228/VDE 0295 | Conducteurs de câbles isolés | |
| | HD 605/A1 | Résistant aux UV | |
| | BS EN 50267-2-1 BS EN 60684-2, BS EN 61034 BS EN 50267-2-2 | Sans halogène, à faible émission de fumée | |
| | BS EN 50396 | Résistant à l'ozone | |
| | BS EN/CEI 60332-1-2 | Retardateur de flamme | |
| | BS EN/CEI 60216-1 | Endurance thermique | |
| | | | |

II.6 L'acte de diagnostic

Dans les deux tâches, que ce soit pour le diagnostic ou pour l'audit, une étape est obligatoire. Il s'agit de l'inspection visuelle. Cette étape permet de détecter les anomalies en se basant essentiellement sur le retour d'expérience. Ensuite vient l'étape de mesure et d'analyse des données. Cette analyse peut se faire sur les mesures recueillies sur place durant la mission, ou sur la base de données existante.

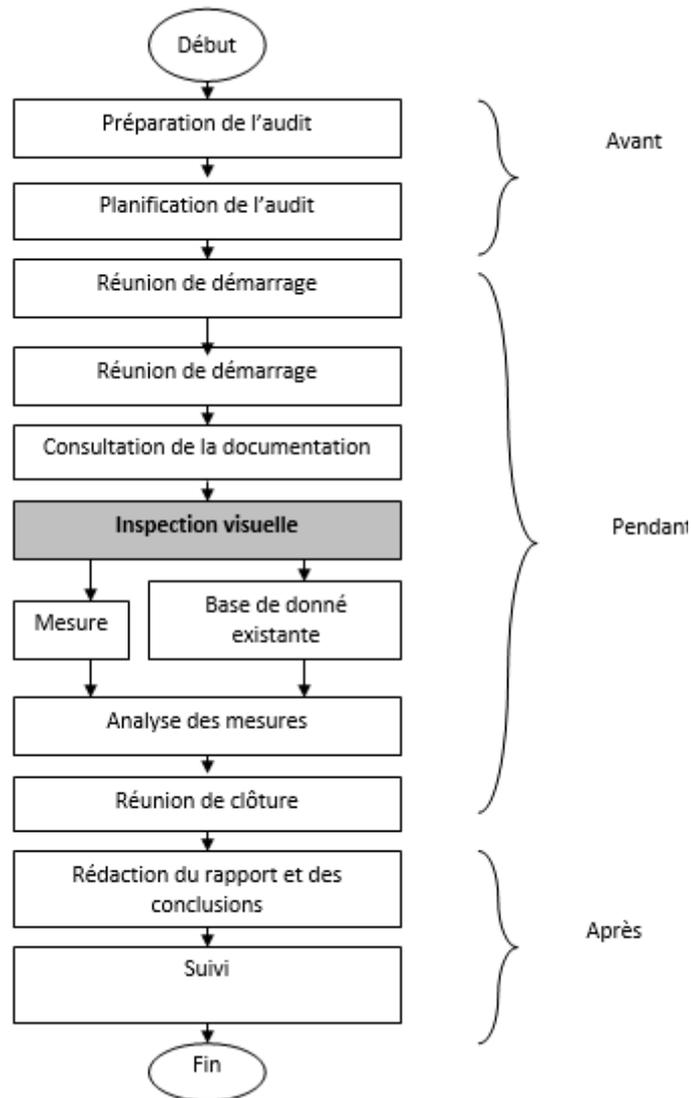


Figure II. 7 Organigramme de l'audit et du diagnostic

II.7 Les outils d'audit d'une centrale PV

Visite de site et mesures. Nécessite les outils suivants :

Caméra thermique infrarouge,

Contrôleur photovoltaïque,

Analyseur de réseau,

Multimètre électrique.

Outillage courant de mesure et travaux électriques.

Equipement de protection et de sécurité complet

II.7.1 Les appareils de mesure



Figure II. 8 Caméra thermique infrarouge



Figure II. 9 Contrôleur photovoltaïque



Figure II. 10 Analyseur de réseau



Figure II. 11 Multimètre électrique



Figure II. 12 Outillage courant de mesure et travaux électriques



Figure II. 13 Equipement de protection et de sécurité

Cela on va traiter le chapitre III à but de bien maitriser cette filière et aussi d'optimiser les performances de ces cellules photovoltaïques.

II.8 Conclusion

Une centrale PV nécessite une surveillance quotidienne de la production, des tâches d'entretien (maintenance préventive) et des opérations de réparation (maintenance corrective). Ces opérations sont nécessaires afin d'assurer le fonctionnement de la centrale, mais également sa longévité et sa rentabilité.

Ce chapitre nous a renseignés sur les défauts récurrents pour les centrales PV, les normes en vigueur, ainsi que l'audit et le diagnostic des centrales PV.

Chapitre III

Les applications Android

III.1 Introduction

Parcourir une centrale PV qui s'étale sur plusieurs hectares dans le but de vérifier l'état de ses composants n'est pas une tâche facile surtout dans le sud Algérien. Enchaîner les différentes sous-tâches et basculer entre plusieurs supports tels que la check liste et la prise de photos ne fait que compliquer le travail. Profiter de l'avancée technologique dans ce cas-là s'avère d'une aide précieuse. En effet, entre un agent qui doit tout noter sur une check liste et un autre qui peut utiliser une tablette dotée d'une application appropriée, la différence est énorme.

C'est dans cette perspective, que nous proposons de développer une solution software qui nous permet d'utiliser un Smartphone ou une tablette pour faciliter l'acte d'audit et de diagnostic. Ainsi, cette solution permettra de :

- Substituer la check liste sur support papier à cocher et remplir à l'aide de stylo par une check liste informatisé à remplir par simples clicks ;
- Réduire le nombre d'outils à utiliser. La tablette ou le Smartphone permettent aussi de prendre les photos aisément ;
- En cas de besoin, et en présence d'un nombre important de remarques ou de matériel défectueux, l'agent ne se trouve pas limité par le nombre de fiches à sa disposition.

Cependant, les Smartphones comme les tablettes sont des appareils extrêmement sophistiqués, qui utilisent des systèmes d'exploitation spécifiques et qui supporte des applications dites androïdes. Par conséquent, le présent chapitre est consacré aux généralités sur les applications androïdes

III.2 Définition

Androïde est un système d'exploitation Open Source. Androïde est conçu pour des appareils mobiles au sens large. Nullement restreinte aux téléphones, elle ouvre d'autres possibilités d'utilisation des tablettes, des ordinateurs portables etc [16].



Figure III. 1 Logo des applications Androïdes.

III.3 Types d'applications androïdes

Chez les mobinautes, l'application mobile est similaire à un site internet pointu en raison de sa connexion à internet de plus l'interface de site et de l'application mobile s'avèrent identiques sauf que l'application demeure fondamentalement définie comme un logiciel. En ce sens, les applications mobiles se regroupent en plusieurs séries suivant des critères basiques

III.3.1 En premier lieu, les applications natives

Le développement de ces logiciels se fait au travers du SDK ou software développement kit de la plateforme mobile en question. Le nom de ces applications vient du fait qu'elles sont développées exclusivement avec le langage « natifs », par exemple le langage JAVA ou le langage Objective-C. Les natives App sont téléchargées à partir d'une plateforme de téléchargement qui est souvent un Store applicatif. C'est par exemple le cas pour l'Apple store ou encore Google Play [17].

Ces applications sont capables d'utiliser l'ensemble des fonctionnalités du mobile et peuvent être utilisées sans avoir accès à Internet.

III.3.2 Ensuite, les applications Web ou Web Apps

Ces applications mobiles sont développées principalement à partir de technologies Web comme le HTML5 ou encore CSS3. Grâce au support HTML5, il est dès lors, possible d'accéder à environ 80 % des fonctions présentes sur le mobile. Par exemple, cela permet d'accéder à différentes fonctions, comme la géolocalisation, à l'accéléromètre, gérer la fonction multitouche ou encore permettre la synchronisation offline lorsque le mobile perd et retrouve ensuite sa connexion [17].

Ces applications Web peuvent être de deux sortes : les génériques, qui sont compatibles avec toutes les plateformes mobiles et donc utilisables sur n'importe laquelle, ou alors celles conçues spécifiquement pour un genre de support en particulier.

III.3.3 En dernier, les applications de type hybride ou hybrid apps :

Ces dernières sont considérées comme un mix, entre les Web Apps et les Native Apps. En effet, elles sont compatibles avec toutes les plateformes mobiles. Mais ces applications sont principalement développées à l'aide d'HTML5, aujourd'hui, qui est très performant mais qui utilisent aussi d'autres langages Web comme le CSS et le JavaScript.

Ainsi, une application dite hybride, contrairement à une application native, n'est pas dépendante d'une plateforme mobile en particulier. De la même manière, et contrairement aux applications Web, les applications hybrides peuvent accéder à toutes les fonctions

présentes sur le mobile. Cela est rendu possible par des liens qui sont faits entre le langage natif et la technologie Web présente dans l'application hybride [17].

La figure ci-dessus indique la comparaison entre les applications Native, Hybrid et Web

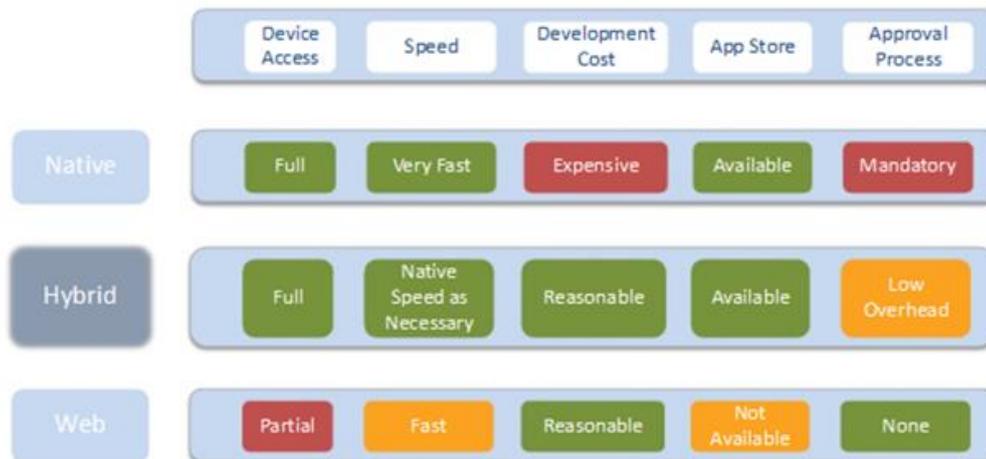


Figure III. 2 comparaisons entre les applications Native, Hybrid et Web

III.4 Domaine d'application

Au début, les applications androïdes visaient d'abord à améliorer la productivité et à faciliter la récupération d'informations telles que courrier électronique, calendrier électronique, contacts, marché boursier et informations météorologiques. La demande du public et la disponibilité d'outils de développement ont conduit à une expansion rapide dans plusieurs domaines, comme :

- les jeux mobiles ;
- les automatismes industriels ;
- le GPS et les services permettant la localisation ;
- les opérations bancaires ;
- les suivis des commandes, l'achat de billets ;
- des applications médicales mobiles ;
- la réalité virtuelle ;
- l'écoute de musiques ou de radios ;
- la visualisation de vidéos ou de chaînes de télévision ;
- la consultation d'Internet ;
- les réseaux sociaux généraux (type Facebook) ;
- les réseaux sociaux spécialisés.

Statistiquement, environ 200 milliards d'applications mobiles ont été téléchargées jusqu'en 2015. De 2009 à 2015, le nombre de téléchargements d'applications mobiles gratuites pourrait atteindre 167 milliards. En 2017, ce chiffre pourra atteindre 253 milliards. De 2011 à 2015, les applications mobiles ont généré un revenu de 45,37 milliards de dollars.



Figure III. 3 Domaines d'application Android.

III.5 Logiciels ou langage de développement

Les langages de développement sont tellement nombreux, avec des caractéristiques diverses, qu'il peut être difficile d'en sélectionner quelques-uns de manière objective.

PHP : est un langage de programmation libre utilisé pour produire des pages Web dynamique via un serveur HTTP, mais pouvant également fonctionner comme n'importe quel langage interprété de façon locale. PHP est un langage impératif orienté-objet.

Java script : Le **JavaScript** est un langage informatique utilisé sur les pages web. Ce langage a la particularité de s'activer sur le poste client, en d'autres mots c'est votre ordinateur qui va recevoir le code et qui devra l'exécuter. C'est en opposition à d'autres langages qui sont activés côté serveur. L'exécution du code est effectuée par votre navigateur internet tel que Firefox ou Internet Explorer.

C / C++ : C'est un langage qui gagne en popularité notamment parce que les objets connectés sont très en vogue. La programmation des logiciels embarqués est plus simple et plus accessible avec ce concept. Son futur est également bien plus sécurisé puisque des géants seront construits avec C comme Firefox ou Android (FuchsiaOS). C++ est un langage de développement en forte croissance que l'on retrouve souvent sur le podium en termes de classement. Il est performant, fiable et possède de nombreuses fonctionnalités. C'est donc le langage à privilégier pour certains types de projets : le développement d'applications d'appareils mobiles, d'applications d'entreprises, de bureau ou d'applications scientifiques.

La version 20 qui sera finalisée en 2020 devrait inclure de nouvelles améliorations qui faciliteraient la gestion et la création du développeur.

Python : élu « meilleur langage 2017 » par IEEE, dépasse encore Java et C en termes d'influence en 2018. Ce classement a été élaboré à partir des données collectées sur différentes sources. Ce sont les nombres de requêtes pour Python sur Google Search et les tendances provenant de Google Trends qui le confirme. C'est le best of qu'il faudrait apprendre à maîtriser en 2018.

Kotlin : Inspiré du concept JavaScript, ce langage rencontre un certain succès depuis qu'il a obtenu le soutien de Google en mai 2017. La version 1.2 de Kotlin diffusé depuis novembre 2017 en mode bêta a des capacités importantes et offre la possibilité de réutiliser le code à travers différentes plateformes.

Type script : Ce langage typé peut parfaitement remplacer JavaScript à condition de le maîtriser et d'être calé dans les mises à jour. En effet, Type Script appartenant au géant Microsoft a déjà livré 5 versions successives au cours de la seule année 2017. Après la correction de quelques erreurs, le langage prend le large et commence à se faire un nom dans la sphère du développement web.

III.6 Etapes de développement d'une application android

En général, le développement d'une application android passe par les étapes suivantes :

III.6.1 Déterminer le concept, trouver l'idée

Deux approches sont possible durant cette première étape qui fondamentale du projet 1) avoir une problématique et chercher la solution, ou 2) vouloir investir et chercher le créneau. Dans ce deuxième cas on se demande quel type d'application créé ? S'agira-t-il d'une application de type jeu ? Plutôt e-commerce ? De réservation ? D'information ? Un **brainstorming** à cette étape est une opération pertinente, voire incontournable.

III.6.2 Etudier le marché

Dès lors qu'un ou deux concepts émergent de la réflexion stratégique, il est tout aussi important d'étudier le futur **marché de l'application**. En d'autres termes, cela revient à balayer les questions suivantes :

- la demande est-elle suffisante ?

- l'application est-elle en mesure de répondre à un besoin précis ?
- qu'en est-il de la concurrence ? passer au crible les offres en applications sur les différentes plateformes de téléchargement permet de mener efficacement une étude. Il est ainsi possible de se rendre compte rapidement si une application concurrente existe déjà et du nombre de fois qu'elle a été téléchargée et à quel prix.

III.6.3 Rechercher un prestataire

Pour cela, Internet facilite grandement les choses. Une recherche du type "*prestataire en création d'application mobile*" sur les moteurs de recherche fait remonter bon nombre de résultats : site web des entreprises spécialisées et autre annuaires professionnels. Un rapide tour sur le site web de quelques prestataires permettra de jauger de leur niveau de compétences en comparant les références de chacun.

III.6.4 Définir le cahier des charges

Une fois le prestataire sélectionné, il faudra lui transmettre un **cahier des charges** (CDC) précis. Il détaillera notamment :

- l'environnement de l'entreprise, ses produits et services, son marché et sa concurrence
- les objectifs de l'application : générer des ventes en ligne, fidéliser la clientèle, offrir du divertissement au public pour renforcer image de marque etc.
- le type d'application désirée : application métier, jeu, outil de réservation, e-commerce, informations.
- les applications similaires dont on peut s'inspirer en termes de graphisme, navigation, ergonomie.
- le budget alloué au projet
- la date limite de livraison

III.6.5 Développement & Test

A cette étape, le prestataire prend les opérations en charge suite à la transmission du CDC. Les équipes de design, graphisme et développement technique commencent le travail. Suivront dans la foulée les premiers tests afin d'attester du fait que l'application répond bien aux CDC. Ils permettent de corriger les bugs éventuels et de préparer une application qui fonctionnera parfaitement.

III.6.6 Communication

Le Web est encore à cette étape salvatrice ! Il permet de lancer des campagnes de communication virale sur les réseaux sociaux, les blogs et les différents sites de l'entreprise.

III.6.7 Commercialisation

Pour vendre une application, deux grandes places de marché sont à disposition : l'App store pour les applications iPhone et Android Market pour les applications Android. Les équipes du prestataire se chargent de publier l'application, de la mettre à la vente sur ces deux plateformes au prix que le développeur aura défini.

III.7 Exemple d'applications Androides

Ces dernières années, les applications Androides proposées par les industriels ont investi les plateformes de téléchargement. Du catalogue en ligne au simulateur acoustique en passant par les outils de dimensionnement, elles sont plus nombreuses et plus pointues, et ce dans divers domaines allant du divertissement : jeux, messagerie jusqu'aux domaines techniques et professionnels les plus pointus.

- a) Industrie : EDF utilise une application pour faciliter la rédaction des comptes rendu des visites de ses agents comme illustré par la Figure suivante.
- b) **Santé** : En Belgique, le réseau Santé Wallon est accessible à tous les patients sur tablette ou Smartphone. Concrètement, cela permet au patient d'avoir dans son sac ou sa poche tout son dossier médical à disposition. 400 000 personnes les ont ainsi accès à leur dossier médical. 150 médecins généralistes ont fait le choix d'utiliser le réseau avec leurs patients. Grâce au téléphone ou à la tablette, ces derniers peuvent aussi ajouter des notes ou des photos à leur propre dossier. Cela permet aux médecins, à distance, de surveiller l'évolution de plaies ou de boutons en dermatologie par exemple [Belgique]. Toujours dans le même domaine, des hôpitaux totalement connectés commencent à voir le jour. Ainsi le médecin fait ses consultations et sa tournée moyennant une tablette connectée lui permettant d'accéder au dossier de ses patients à tous documents nécessaires, analyse, radios, scanners, compte rendu opératoire et autre.



Figure III. 4 Application de compte rendu de mission pour EDF sur tablette (a)

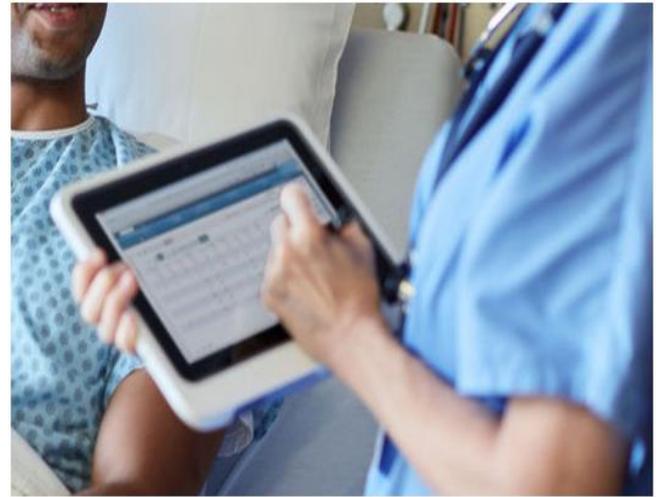


Figure III. 5 Hôpital connecté (b)

c)- En éducation : dans le cas de la mesure d'Ératosthène, il faut mesurer l'angle formé par l'obélisque, supposé vertical et les rayons du Soleil. Les smartphones permettent de mesurer facilement la hauteur du soleil. L'application utilisée : théodolite droid. Pour mesurer la hauteur du Soleil, il suffit de se placer dos au Soleil et de viser l'ombre du téléphone, plus précisément l'endroit de l'ombre où est la caméra. L'intérêt de l'appli payante « théodolite » est de pouvoir zoomer et ainsi d'augmenter la précision.

d)- Activité acoustique musicale : pour cette étude ; un smartphone simule un instrument de musique, l'autre analyse le spectre de son émis. L'application utilisée :

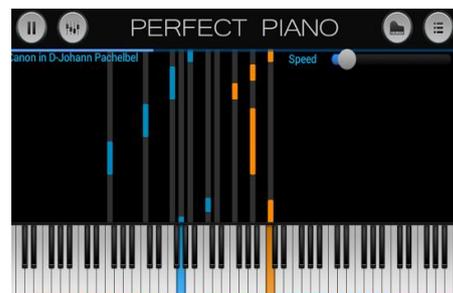
* perfect piano

* Walk band Piano guitar

* Virtual flute



c) Application de la mesure d'Ératosthène



d) Application acoustique musicale

Figure III. 6 exemples d'applications androïdes

III.8 Conclusion

Une application androïde est la solution adéquate à notre problématique. Une fois installée sur un Smartphone ou une tablette, cette application facilitera considérablement l'acte d'audit et de diagnostic d'une centrale PV. Le présent chapitre a été l'occasion de présenter quelques généralités sur les applications androïdes. Leurs possibilités, leurs domaines d'applications ainsi que les étapes et les logiciels de développement. Ceci nous permet de mieux comprendre notre travail, le concept de base et les étapes de développement de notre application dont les détails sont présentés et expliqués dans le chapitre suivant.

Chapitre IV

Présentation de la check liste PV- Check

IV.1 Introduction :

Un humain n'est pas un ordinateur et même le meilleur d'entre nous oublie des choses, fait des erreurs. Sans compter la pression du temps et des conditions de travail. La check-list sert à canaliser les actions, permet de lutter assez efficacement contre le syndrome de précipitation (« hurry-up syndrom » en Anglais) et sert à éviter quelques égarement en canalisant et organisant le déroulement des tâches.

Dans ce chapitre nous présentons la check liste PV-Check que nous avons développé pour l'audit et le diagnostic des centrales PV. Nous présentons aussi ses étapes de conception, son cahier de charge qui a été établi pour répondre à un besoin bien précis.

IV.2 Méthodologie :

Pour concevoir notre check liste, nous nous sommes basés sur l'une des approches les plus utilisées dans les domaines techniques. Il s'agit de l'approche de l'analyse fonctionnelle. Par définition, L'analyse fonctionnelle¹ est une démarche qui « *consiste à rechercher et à caractériser les fonctions offertes par un produit pour satisfaire les besoins de son utilisateur.* »

La démarche est généralement conduite en mode projet et peut être utilisée pour créer (conception) ou améliorer (reconception) un produit.

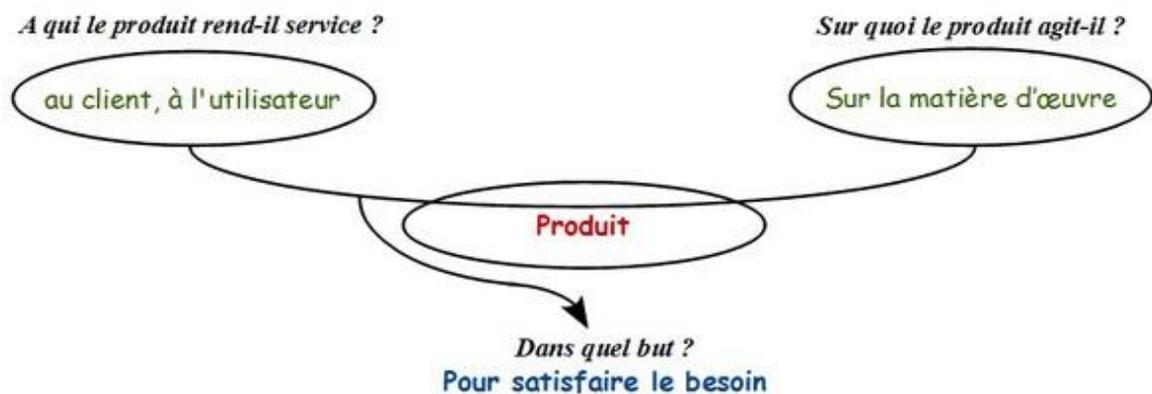
- L'objet visé par la démarche peut être un objet, un matériel, un processus matériel ou vivant, une organisation, un logiciel, etc.
- Les besoins sont de toute nature et sont exprimés de façon individuelle ou collective ; objective ou subjective, avec des degrés de justification disparates.
- La ou les fonctions étudiées sont également diverses : fonctions de service, fonctions d'évaluation, fonctions de traitement ;
- Le cadre de l'étude doit être aussi pris en compte : contraintes ou variables déduites de l'environnement, la réglementation, des usages, etc.

Ainsi l'analyse fonctionnelle de la check liste PV-Check peut être résumé comme suit :

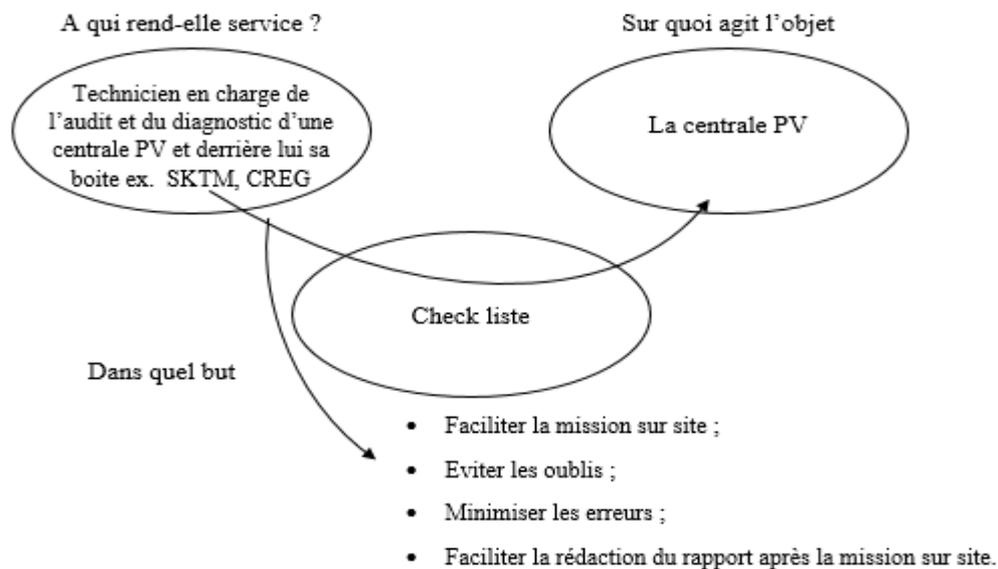
1) L'objet : il s'agit d'une check liste qui doit être conçue pour répondre à un besoin spécifique. Ce dernier est mettre à disposition de la personne chargée de l'audit et du diagnostic d'un outil de travail simple, facile à remplir, logique et complet.

2) **Les besoins** : il s'agit des besoins nécessaires au développement de cet outils tels que la maitrise des notions suivantes : les centrales PV, l'audit, les check listes, logiciel de rédaction.

3) **La fonction** : pour l'étude de la fonction. Nous avons choisi la méthode APTE, dite aussi la méthode de la bête à deux cornes, notre diagramme est illustré dans la Figure IV.1.



a) diagramme à deux cornes



b) diagramme à deux cornes de PV-Check.

Figure IV. 1 Analyse de PV-Check

4) **Les contraintes** : nous pouvons lister à titre d'exemple :

- ignorance totale sur les centrales PV ;
- ignorance des généralités sur les tâches d'audit et de diagnostic des centrales PV. ;

- Inexistence des ressources bibliographiques dans ce domaine, ou du moins elles sont difficile d'accès.

Le timing etc

IV.3 Etapes de développement de la check liste PV-Check

Partant du besoin qui a été clairement exprimé au début de notre PFE, et qui est : la conception d'un outil, de préférence software, pour l'audit et le diagnostic des centrales PV, le processus de réflexion a été enclenché. Ce processus s'est développé au cours des étapes suivantes :

4.3.2 Cahier de charge

4.3.3 La visite de la centrale Djelfa

4.3.4 Recensement des informations utiles à recueillir dans la check liste

4.3.5 Bilan des besoins entre nécessaire, urgent et à compléter

IV.3.1 Problématique

Si la technologie photovoltaïque est réputée fiable et sans entretien lourd, des opérations de maintenances légères sont tout de même à conduire pour prévenir d'éventuelles anomalies et s'assurer que les organes de sécurité sont en état de fonctionnement. Sur une centrale contenant de milliers d'éléments, essentiellement modules PV, et qui s'étale sur plusieurs hectares, la tâche devient onéreuse en temps et en énergie.

IV.3.2 L'idée de base

Développer une application software à implémenter sur mobile ou tablette tactile. Mais cette dernière doit reposer sur un outil non software bien maîtrisé, ça sera notre check liste.

IV.3.3 Cahier de charge

Il s'agit donc d'un formulaire qui répond aux exigences suivantes :

- Ce formulaire est destiné à faciliter la mission d'audit comme celle du diagnostic d'une centrale PV

- Ce formulaire permet de regrouper toutes les informations nécessaires à l'établissement du rapport final
- Ce formulaire doit être clair mais pas trop long
- Le but est de faciliter la mission dans des conditions d'extrême chaleur, il serait préférable de favoriser l'action de cocher sur la rédaction
- Il sera subdivisé en plusieurs parties distinctes donc séparées mais dont la succession est logique.
- Les informations nécessaires sont :
 - Informations sur la mission ;
 - Informations sur l'agent qui fait l'audit ou le diagnostic ;
 - Coordonnées du site ;
 - Informations sur l'installation ;
 - Informations sur le représentant de la centrale présent lors de la mission
 - La documentation fournie
 - Les composants de la centrale : GPV, onduleurs, transformateurs, capteurs, station de mesure, batterie etc.
 - L'historique de maintenance ;
 - La base de données
 - Les photos
 - Les défauts etc.
- Être créatif pour intégrer des solutions même si elles ne sont pas évoquées dans cette partie.

IV.3.4 Mise en situation professionnelle

Conscients du fait que même une longue revue bibliographique ne remplacera jamais une expérience sur site, nous avons contacté les responsables de la société SKTM pour discuter la possibilité de visiter l'une de leurs 23 centrales. Après échanges nous avons eu leur accord avec la proposition de choisir entre trois centrales, Ghardaïa, Laghouat et Djelfa. Notre choix s'est posé sur la dernière centrale parce que c'est la plus proche surtout que notre visite devait se faire durant le mois sacré de Ramadan.

Description de la mission : la centrale est située à la localité d'In el ibel, willaya de Djelfa à 350 Km au sud d'Alger. Cette centrale a une capacité de 53 MWc

Après un long trajet la visite à commencer à 9h du matin, nous avons été bien accueillis à notre arrivée. Nous avons commencé la visite par l'inspection du champ PV qui s'étend sur une superficie de 80 hectares. Il contient 212212 modules PV de type Poly cristallin et de 4823 structure porteuse et de 1272 boite de jonction. La centrale contient également 53 transformateurs, 106 onduleurs et de 424 boites de raccordement parallèles. Nous avons par la suite visité les autres parties comme la salle de commande. Les Figures donnent un aperçu de cette mission sont mentionnées à l'annexe B.

IV.3.5 Recensement des informations utiles à recueillir dans la check liste

Durant cette étape, nous nous sommes concentrés sur les points évoqués dans le cahier de charge. Ces points, nous les avons croisés avec nos constatations et nos impressions lors de la visite de Djelfa. En plus de cela nous avons consulté des check liste et des rapports de mission d'audit et de diagnostic de domaines différents. Ainsi nous avons pu dresser une mini liste d'informations nécessaires pour chaque rubrique. Nous prenons à titre d'exemple les informations sur l'agent en charge de la mission. Il devient évident de collecter les informations suivantes : le nom, le prénom, le matricule, comment le contacter, adresse, numéro de téléphone, adresse mail etc. et on a fait de même pour toutes les autres rubriques.

IV.3.6 Bilan des besoins entre nécessaire, urgent et à compléter

Il faut noter qu'il y'avait un énorme travail à faire du fait qu'on a commencé de zéro. Et au fur et à mesure qu'on avançait des idées surgissaient pour améliorer le résultat final. Cependant nous avons été limités par le temps, et durant cette étape, nous étions obligés de faire le point pour sélectionner des points à développer et d'autres à différer pour un travail ultérieur. Comme exemple nous citons l'ajout de la liste à cocher de tous les défauts qui peuvent être rencontré sur site. Rien que leur recensement équivaut à un travail d'un autre PFE.

IV.3.7 Désigne de la check liste

Une fois le choix des informations à faire lister dans la check liste arrêtée, nous nous sommes concentrés sur le design, la forme finale en prenant en considération les directives du cahier de charge : ni trop long, ni trop court, succession logique, favoriser l'act de cocher à la rédaction etc.

IV.4 Présentation de la check liste :

La check liste PV-Check est représentée en Annexe 2. Il s'agit d'un formulaire sur 6 pages qui essaye de répondre au mieux au cahier de charge établi dans la section 4.3.3 du présent chapitre.

PV-Check se présente sous la forme suivante :

Nous commençons par les informations sur la mission. Cette partie est consacrée à la collecte des informations telles que les dates, le numéro de la mission, le motif du contrôle et le périmètre du contrôle effectué.

| Check-list N°1 Audit photovoltaïque | | |
|---|---|--------------------------------|
| Information sur la mission | | |
| N° | Date de début | |
| Au profit de (commanditaire) | Durée | |
| Motif du contrôle : | Contrôles effectués : | Périmètre du contrôle : |
| <input type="checkbox"/> Nouvelle installation | <input type="checkbox"/> Vérification initiale durant les travaux | |
| <input type="checkbox"/> Installation existante | <input type="checkbox"/> Réception de l'installation | |
| <input type="checkbox"/> Modification | <input type="checkbox"/> Raccordement réseau | |
| <input type="checkbox"/> Extension | <input type="checkbox"/> Contrôle périodique | |
| <input type="checkbox"/> Vérification | <input type="checkbox"/> Autre : | |
| <input type="checkbox"/> Autre : | | |

Figure IV. 2 Partie concernant les informations sur la mission.

Ensuite, nous avons introduit une partie consacrée aux informations sur la personne chargée de l'audit

| Audit effectué par | | |
|--------------------|--------------|------------|
| Nom | Prénom | Tel |
| Matricule | | Mail |
| Adresse | | Fax |
| | | |

Figure IV. 3 Partie concernant les informations sur l'auditeur

Une partie qui résume les informations sur la personne qui accompagne l'auditeur durant son inspection

| Personne accompagnatrice (Partie responsable de l'installation PV) | | |
|--|--------------|------------|
| Nom | Prénom | Tel |
| Matricule | | Mail |
| Adresse | | Fax |
| | | |

Figure IV. 4 Partie concernant les informations sur l'accompagnant

Ensuite, on passe aux informations du maître d'œuvre de la centrale PV et sous-traitant qui est chargé de l'exploitation de la centrale PV.

| Objet de l'audit | |
|--|--|
| Maitre d'œuvre : <input type="checkbox"/> propriétaire <input type="checkbox"/> Client <input type="checkbox"/> Exploitant Nom : Localité : | Sous-traitant : <input type="checkbox"/> Installateur électricien <input type="checkbox"/> Organe de contrôle <input type="checkbox"/> Autre Nom : Localité : |

Figure IV. 5 Partie concernant les informations sur l'objet de l'audit

Après ça, nous passons aux informations sur le site qui définit la localisation et la superficie

| Information sur le site | |
|--------------------------------------|--------------------|
| Emplacement de l'installation | |
| Latitude : | Altitude : |
| Longitude : | Superficie : |
| Remarque : | |
| | |

Figure IV. 6 Partie concernant les informations du site choisi

Par la suite, on entame la partie de l'installation PV qui décrit la description de l'installation et la date de mise en service de la centrale et la période de montage.

| L'installation PV | |
|--|--|
| Date de mise en service | Période de montage..... |
| Descriptif de l'installation | |
| <input type="checkbox"/> Intégré au bâti | <input type="checkbox"/> Autonome |
| <input type="checkbox"/> Installation au sol | <input type="checkbox"/> Raccordée au réseau |
| <input type="checkbox"/> Autre | |
| Remarque | |
| | |
| | |
| | |

Figure IV. 7 Partie concernant les informations sur l'installation

Subséquentement on passe aux différents types de composants de la centrale tels que le GPV, onduleur, structure porteuse, transformateur, batteries. Principalement on note les propriétés électriques, la nature de la structure porteuse, nombres de composants et de string, si y en a des défauts apparents, le détail est important dans cette étape.

| Composants | | | | |
|--|---|------------------------------|----------------------|----------------------|
| GPV | | | | |
| Nombre de modules | <input type="text"/> | Fabricant | Référence | <input type="text"/> |
| Technologie | <input type="checkbox"/> mono cristallin <input type="checkbox"/> Poly cristallin <input type="checkbox"/> Amorphe <input type="checkbox"/> CdTe <input type="checkbox"/> CIGS/CIS <input type="checkbox"/> Autre | | | |
| Propriétés électriques | | | | |
| Technologie/marque | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Nombre | | | | |
| Pc (w) | | | | |
| I _{max} (A) | | | | |
| V _{max} (V) | | | | |
| I _{cc} (A) | | | | |
| V _{oc} (V) | | | | |
| Remarque | | | | |
| Défauts apparents <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non | | | | |
| Détails : | | | | |
| Nombre de string | <input type="text"/> | Nombre de modules par string | <input type="text"/> | |
| Remarque : | | | | |
| Structure porteuse | | | | |
| <input type="checkbox"/> Un seul modèle <input type="checkbox"/> plusieurs modèles <input type="checkbox"/> fixe <input type="checkbox"/> motorisée <input type="checkbox"/> un axe <input type="checkbox"/> deux axes | | | | |
| Matière de fabrication | | | | |
| Distance entre les rangées <input type="text"/> cm | | | | |
| Remarques | | | | |

| Onduleur | | | | |
|---|---|-----------------|-----------|----------------------|
| Nombre d'onduleurs | <input type="text"/> | Fabricant | Référence | <input type="text"/> |
| Technologie | <input type="checkbox"/> Onduleur string <input type="checkbox"/> Onduleur centrale <input type="checkbox"/> Micro onduleur <input type="checkbox"/> Monophasé <input type="checkbox"/> Triphasé | | | |
| Propriétés électriques | | | | |
| Technologie/marque | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Nombre | | | | |
| Tension max (V) | | | | |
| Puissance de sortie nominale (W) | | | | |
| V _{max} (V) | | | | |
| I _{cc} (A) | | | | |
| Fréquence de sortie max | | | | |
| Tension de sortie nominale (V) | | | | |
| Remarques | | | | |
| Défauts apparents <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non | | | | |
| Détails : | | | | |
| Remarque : | | | | |

| Structure porteuse | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Un seul modèle <input type="checkbox"/> plusieurs modèles <input type="checkbox"/> Fixe <input type="checkbox"/> Motorisée <input type="checkbox"/> un axe <input type="checkbox"/> Deux axes | |
| Matière de fabrication | |
| Remarques | |

| Transformateur | | | | |
|---|---|-----------------|-----------|----------------------|
| Nombre de transformateurs | <input type="text"/> | Fabricant | Référence | <input type="text"/> |
| Technologie | <input type="checkbox"/> Basse tension <input type="checkbox"/> Haute tension | | | |
| Propriétés électriques | | | | |
| Technologie/marque | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Nombre | | | | |
| Capacité (KVA) | | | | |
| Tension nominale(V) | | | | |
| Courant nominale(A) | | | | |
| Impédance d'I _{cc} (%) | | | | |
| Remarques | | | | |
| Défauts apparents <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non | | | | |
| Détails : | | | | |
| Remarque : | | | | |

| Batteries | |
|--|--|
| Est-ce qu'il y a des batteries ? <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non | |
| Si oui, pour quel usage ? | |
| <input type="checkbox"/> Alimenter la salle de commande <input type="checkbox"/> Climatisation <input type="checkbox"/> Autre | |
| Nombre de batteries : | |
| Etat des batteries | |
| <input type="checkbox"/> Très bon <input type="checkbox"/> Bon <input type="checkbox"/> Faible <input type="checkbox"/> Endommagé | |
| Remarques/cause : | |

Figure IV. 8 Partie concernant les informations sur les composants

Par la suite, la vérification de la station météorologique se fait en confirmant et les appareils de mesures disponibles.

| Station météorologique | |
|---|---|
| Existante ? | |
| <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non | |
| Appareils de mesures disponibles | |
| <input type="checkbox"/> Pyranomètre <input type="checkbox"/> Anémomètre | <input type="checkbox"/> pluviomètre <input type="checkbox"/> Hygromètre <input type="checkbox"/> Thermomètre <input type="checkbox"/> Girouette |
| Autre | |

Figure IV. 9 Partie concernant les informations sur la station météorologique

Puis, la partie qui décrit la base de données. Elle nous donne des informations sur le pas de mesure et les données mesurées : la température et la vitesse du vent...etc.

| Base de données | |
|--------------------------------|-------------------|
| Existante ? | |
| <input type="checkbox"/> | Oui |
| <input type="checkbox"/> | Non |
| Période de mesure | |
| Date de début | Date de fin |
| Pas de mesure | |
| <input type="checkbox"/> | 1min |
| <input type="checkbox"/> | 5min |
| <input type="checkbox"/> | 1heur |
| <input type="checkbox"/> | Autre |
| Est-elle complète ? | |
| <input type="checkbox"/> | Oui |
| <input type="checkbox"/> | Non |
| Mesures de l'éclaircement | |
| <input type="checkbox"/> | Globale |
| <input type="checkbox"/> | Directe |
| <input type="checkbox"/> | Diffus |
| Température ambianteC° | |
| Vitesse du vent | m/s |
| Direction du vent..... N/E/S/O | |

Figure IV. 10 Partie concernant les informations de la base de données du site

ON s'intéresse aussi à la documentation fourni en introduisant le type de cette dernière avec des remarques bien précises.

| Documentation | |
|--------------------------|--|
| Documentation fourni | <input type="checkbox"/> Non Motif : |
| | <input type="checkbox"/> Oui |
| Type : | |
| <input type="checkbox"/> | Schéma unifilaire |
| <input type="checkbox"/> | Manuels |
| <input type="checkbox"/> | Certificat des modules |
| <input type="checkbox"/> | Livret d'entretien |
| <input type="checkbox"/> | certificat des onduleurs |
| <input type="checkbox"/> | PV des audits précédents |
| Autre : | |
| Remarques : | |
| | |
| | |

Figure IV. 11 Partie concernant les informations de la documentation fournie

A la fin, on décrit la partie des photos prises durant la mission

IV.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté le formulaire PV-Check que nous avons développé pour l'audit et le diagnostic des centrales PV. Nous avons présenté aussi son analyse fonctionnelle, son cahier de charge et les étapes de son développement.

Il faut noter que les étapes décrite dans la section précédente n'ont pas été exécutées dans l'ordre, car y'avait beaucoup d'ajustement à faire tout au long de ce travail, et on a dû sauter, avancer, revenir à mainte reprise avant d'obtenir le formulaire PV-check. Notons aussi, on a dû le finaliser juste à cause des délais de soumission et du travail qui restait pour le développement de l'application androïde correspondante et qui sera présentée dans le chapitre suivant.

Chapitre V

Présentation de l'application androïde

PV-Check

V.1 Introduction

Partant de l'idée qu'une application Androïde sur mobile ou tablette tactile facilitera d'avantage la tâche d'audit ou de diagnostic, nous présentons dans le chapitre, l'application PV-check que nous avons conçue et développée. Cette application androïde est une image software de la check liste portant la même appellation que nous avons conçue et présentée dans le chapitre 3.

Nous allons voir dans les sections suivantes les étapes de développement de PV-Check, le logiciel de développement, les détails ainsi que la description détaillée de l'application et de ses fonctionnalités.

V.2 Avantage de l'application PV-Check sur la check liste PV-Check

Le passage de la version papier à la version software de PV-Check est sensé permettre de :

Réduire le nombre d'outils utilisés lors de la mission sur site. Ainsi on passe d'un ensemble contenant : formulaire PV-check, stylo, support d'écriture, appareil photo à seulement un Smartphone ou une tablette tactile ;

- Simplifier le geste : utiliser un seul doigt pour cocher ou écrire en appuyer sur les cases à cocher ou sur le clavier ;

Mettre tous les résultats de la mission sur un seul support électronique : la base de donnée, le rapport, les photos ainsi que la check liste software sont dans le Smartphone ou la tablette.

V.3 Etapes de développement de l'application PV-Check

Pour son développement, l'application PV-Check est passée par les étapes suivantes :

V.3.1 L'idée de base

Le point de commencement cette application vient de la volonté de simplifier d'avantage la tâche d'audit et de diagnostic d'une centrale PV avec toutes les contraintes et les difficultés que cette tâche comporte. Cependant, au lieu de commencer de rien, nous nous sommes basés sur la check liste dédiée à cette même tâche.

V.3.2 Le cahier de charge

Le cahier de charge de l'application de PV-Check est le suivant :

Cette application doit :

1. Être dédiée à l'audit et le diagnostic des centrales PV connectées au réseau ;
2. Être une version software du formulaire PV-Check, donc elle doit répondre au cahier de charge du formulaire PV-Check
3. Être conviviale et facile à utiliser
4. Être doté de fonctionnalités supplémentaires que le formulaire ne peut pas offrir à cause de la nature figée de la version papier.

V.3.3 Conception et développement des algorithmes

Pour la conception de l'application PV-Check, nous nous sommes focalisés sur l'organisation des différentes interfaces et la logique de leur présentation ainsi que le scénario de passage d'une interface à une autre. Notons que le contenu des interfaces (le choix), a été défini et déterminé dans la phase de conception du formulaire papier. Ceci nous a permis de nous focaliser sur la partie software. Le travail dédié à cette tâche est résumé dans les Figures V.1 et V.2 qui décrivent l'organisation des tâches et leur ordre d'exécution respectivement.

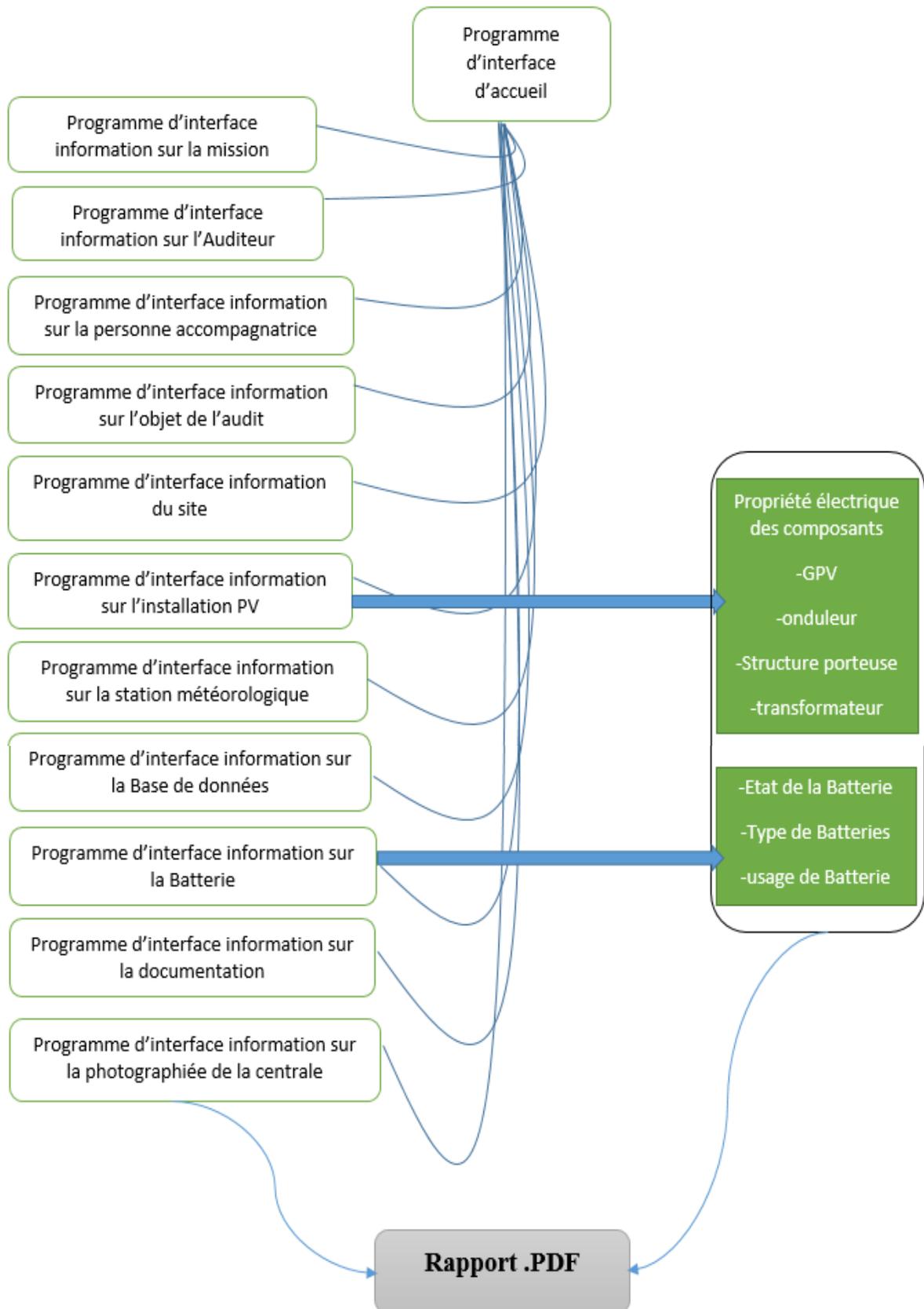


Figure V. 1 Descriptif de l'application PV-Check.

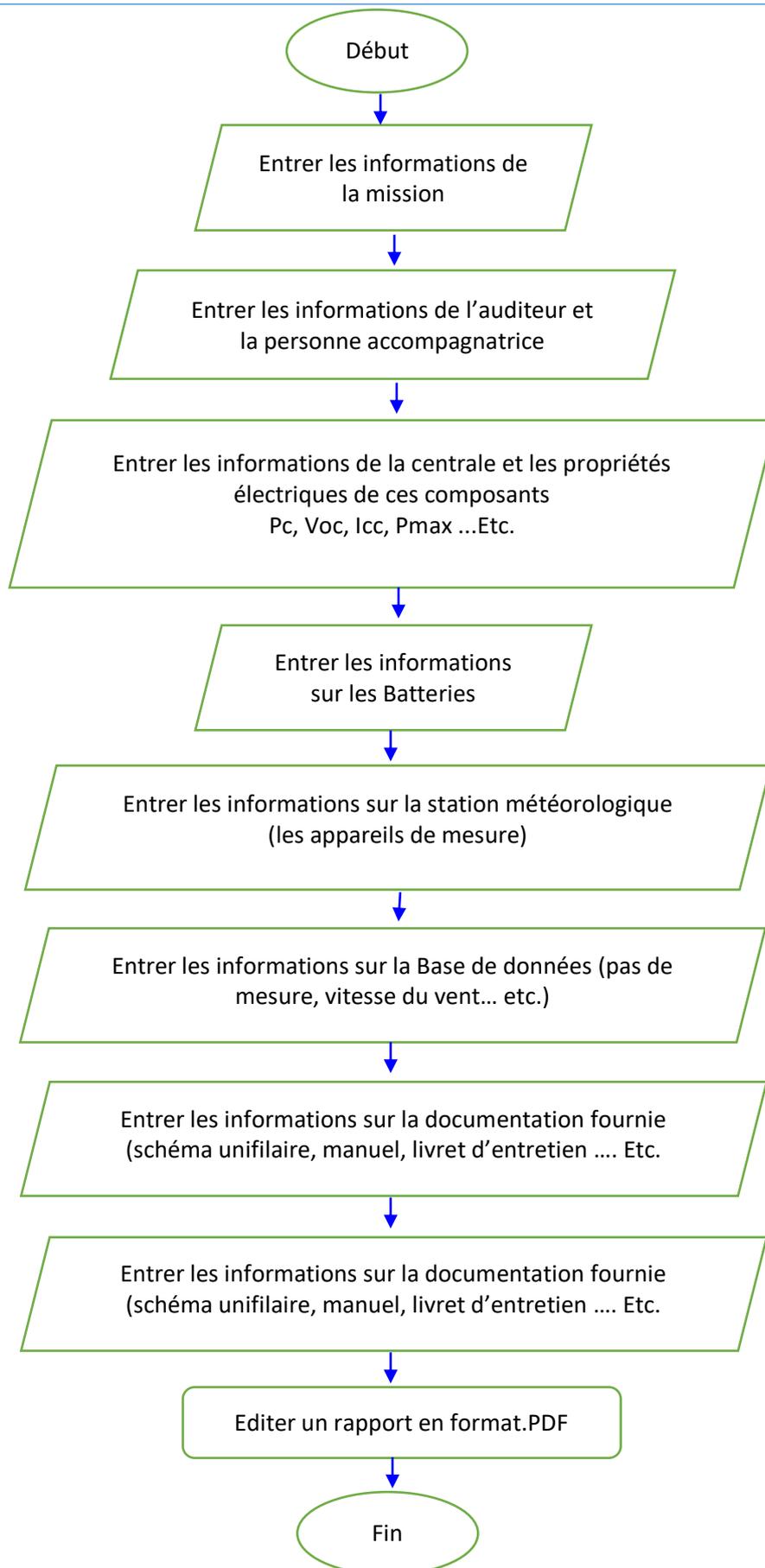


Figure V. 2 Organigramme de l'application PV-Check

V.3.4 Le choix du logiciel de développement

Pour le développement de l'application PV-Check selon l'organigramme de la Figure V.2, notre choix s'est porté sur le logiciel Android studio pour les raisons suivantes :

- Disponibilité des ressources de la documentation et surtout en Français ;
- Facile à apprendre et à utiliser ;
- Disponible en open source ;
- Il s'adapte à nos besoins.

V.3.5 Développement de l'application PV-Check

Notre application PV-Check a été développée sous le logiciel Android studios en suivant les étapes suivantes :

Fenêtre d'accueil d'Android studio

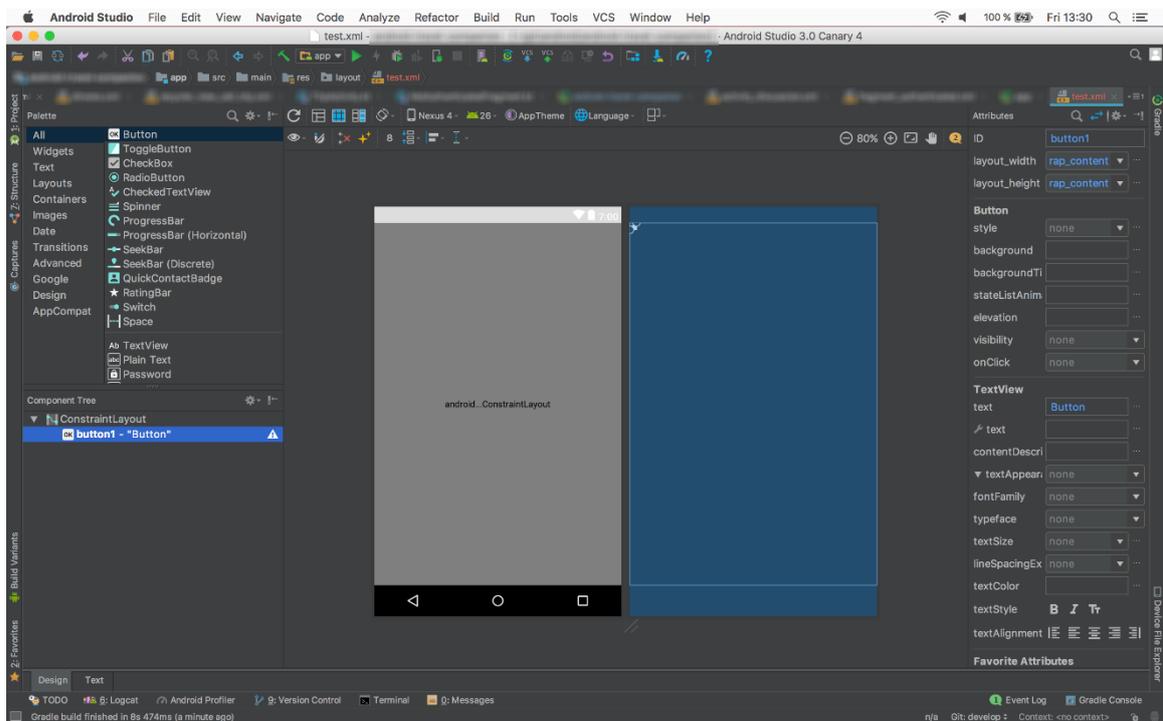


Figure V. 3 Androide studio.

Le programme XML est chargé de la partie design

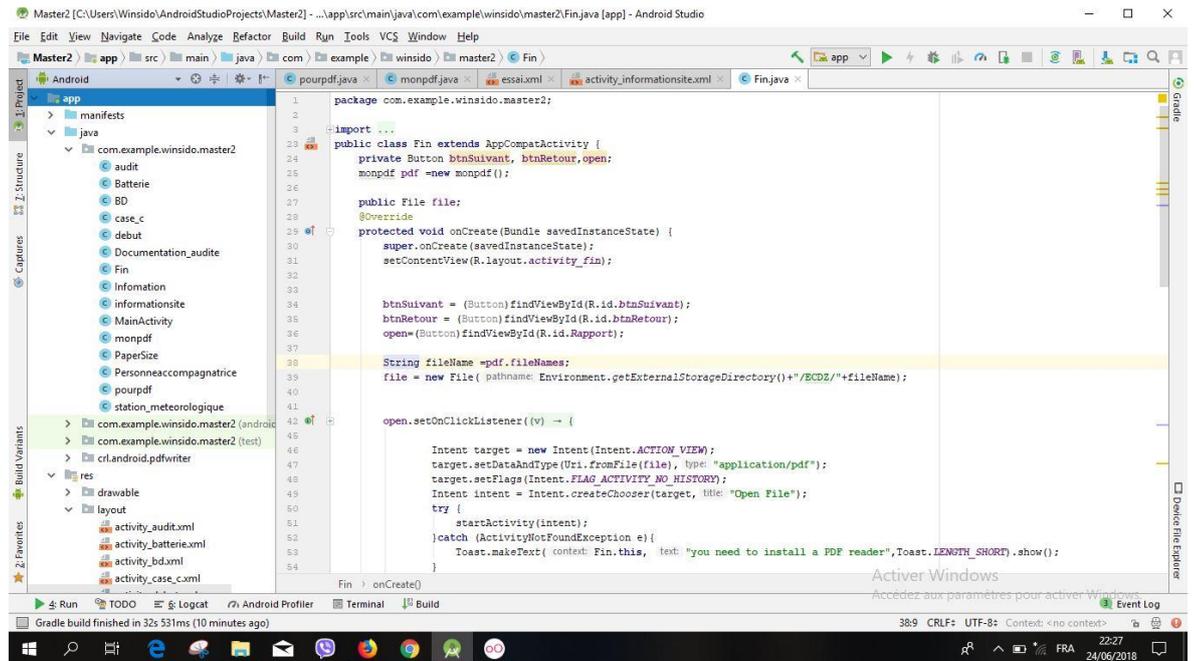


Figure V. 4 Interface XML.

La partie des instructions est programmée par le langage JAVA

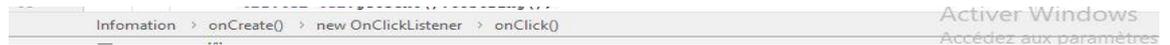


Figure V. 5 interface langage JAVA.

V.4 Description de l'application PV-Check

Le concept global de l'application PV-Check est illustré par la Figure V.6. Il s'agit d'un outil s'software qui a des entrées et des sorties. Les entrées sont toutes les informations que l'agent en charge de la mission va introduire. En sortie, cette application fournira un rapport en format PDF en plus d'être un moyen de stockage pour les détails de la mission.



Figure V. 6 Les entrées/sortie de l'application PV-CHECK

V.4.1 Présentation de l'application

PV-Check est structurée en six interfaces principales (fenêtres) comme suit :

1^{ère} interface : Il s'agit de l'interface d'accueil. C'est la fenêtre principale qui s'ouvre au démarrage de l'application. Elle est destinée à présenter l'application, contenant un logo qui représente les panneaux solaire photovoltaïque avec un bouton poussoir « Commencer ». Une capture d'écran de la 1^{ère} interface est illustrée par la Figure V.7.

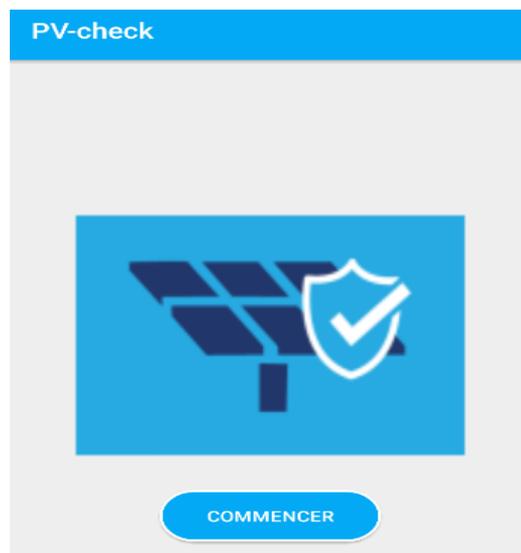


Figure V. 7 Fenêtre d'accueil.

2^{ème} interface : C'est la deuxième fenêtre. Elle résume la partie information de la mission demandée. Une capture écran de la 2^{ème} interface est montrée à la Figure V.8.

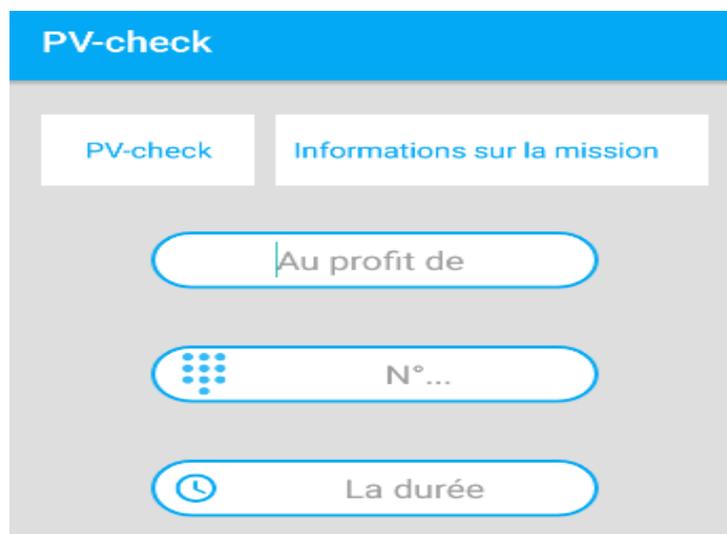


Figure V. 8 Information sur la mission

3^{ème} interface : C'est la fenêtre consacrée à la saisie des informations sur l'agent en charge de la mission comme illustré par la Figure V. 9.

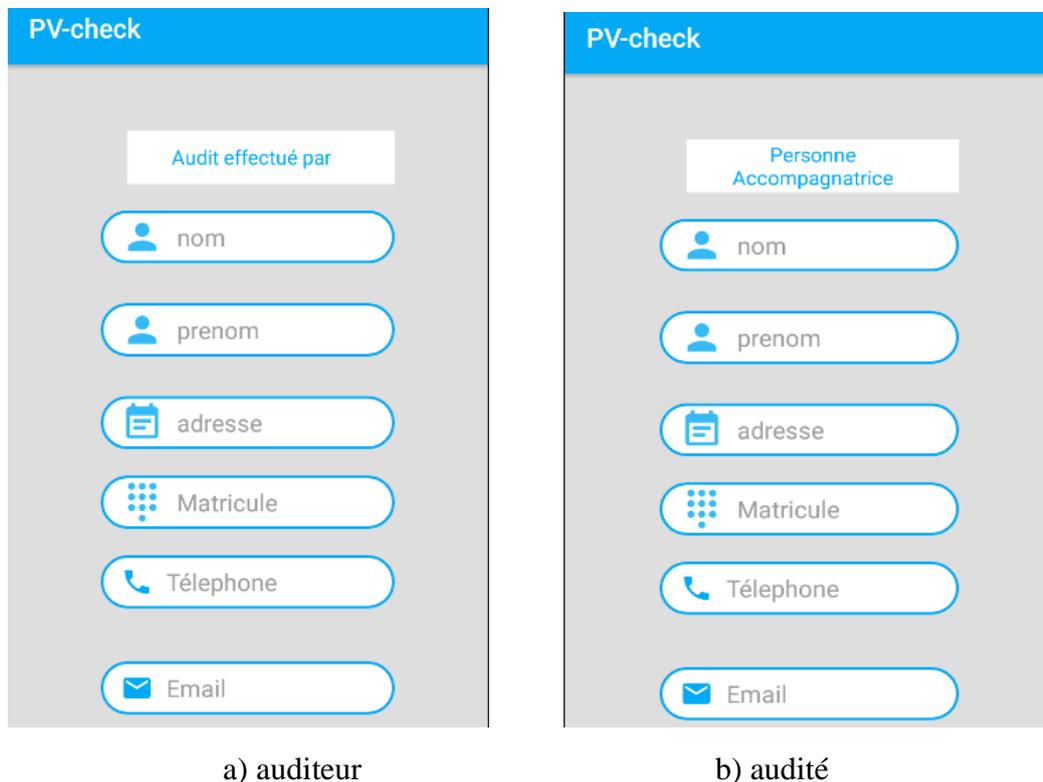


Figure V. 9 Information sur les personnes chargées de la mission.

4^{ème} interface : C'est une fenêtre qui permet d'entrer les propriétés électriques des composants de la centrale photovoltaïque. Une capture d'écran de la 4^{ème} interface est montrée par la Figure V. 10.

The screenshot shows a mobile application interface titled "PV-check". At the top, there is a blue header bar. Below it, a white box contains the word "Installation". Underneath, there are two rounded rectangular buttons: "Date de mise en service" and "Période du montage". Below these is another white box labeled "Descriptif de l'installation". This is followed by a list of four options, each with an unchecked checkbox on the left and text on the right: "Intégré au bâti", "Raccordée au réseau", "Installation au sol", and "Autonome".

Figure V. 10 Fenêtre des informations de la centrale PV

5^{ème} interface : Cette fenêtre résume la partie des informations de base de données et la station météorologique. Une capture d'écran de la 5^{ème} interface est montrée à la Figure V.11.

Two screenshots of the PV-check application are shown side-by-side, labeled a) and b).
 Screenshot a) shows the "Base de données" section. It has a blue header "PV-check" and two tabs: "PV-check" and "Base de données". Below the tabs, the text "Existante?" is followed by two checkboxes: "Oui" and "Non". Below this is a white box labeled "Période de mesure" containing two date pickers: "date de début" and "date de Fin".
 Screenshot b) shows the "station météorologique" section. It has a blue header "PV-check" and two tabs: "PV-check" and "station météorologique". Below the tabs, the text "Existante?" is followed by two checkboxes: "Oui" and "Non". Below this is a white box labeled "Appareilles de mesures utilisées". This is followed by a list of five measurement instruments, each with an unchecked checkbox on the left and text on the right: "Pyranomètre", "Anémomètre", "Pluviomètre", "Girouette", and "Hygromètre".

Figure V. 11 Partie base de données.

6^{ème} interface : La fenêtre de documentation de la centrale. Une capture d'écran de la 6^{ème} interface est montrée à la Figure V.12

The screenshot shows the 'PV-check' application interface. At the top, there is a blue header with the text 'PV-check'. Below the header, there are two tabs: 'PV-check' and 'Documentation et Audité'. The 'Documentation et Audité' tab is selected. Underneath, the text 'Documentation fourni' is displayed. There are two checkboxes: 'Oui' and 'Non', both of which are currently unchecked. Below these checkboxes is a large, rounded rectangular text input field with the placeholder text 'Motif'. At the bottom of the screen, there is a section titled 'Types' which contains two items, each with an unchecked checkbox: 'Schéma unifilaire' and 'Certificat des modules'.

Figure V. 12 Interface de la documentation.

V.5 Exemple de mise en situation professionnelle

Pendant la visite qu'on a effectuée à la centrale photovoltaïque affiliée à la société SKTM a Djelfa, on avait collecté les informations. C'était prévu de revenir sur place une fois l'application PV-Check finalisée pour faire une mise en situation professionnelle sur place. Malheureusement cela n'a pas été possible. Comme solution, nous nous sommes contentés d'introduire ces données dans notre application, ce qui nous permis de générer le rapport illustré par la Figure V.13.

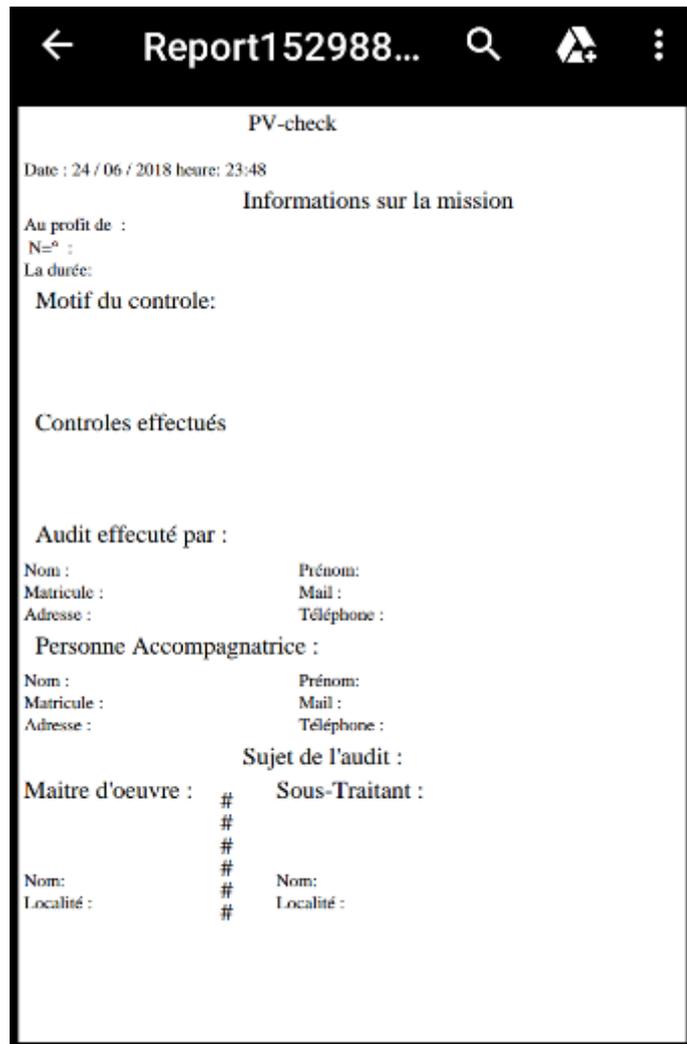


Figure V. 13 Capture écran du rapport généré suite un essai de PV-Check.

V.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté l'application PV-Check, elle a été conçu à l'image du formulaire de la check liste PV-Check. Ainsi l'utilisateur peut utiliser l'un des outils comme l'autre. Notons que la version software facilite d'avantage la mission en cours qu'elle soit l'audit ou le diagnostic car elle réduit le nombre d'outil d'une demi-douzaine à 1, et permet d'effectuer les gest avec un moins d'effort sans risque d'embrouille causé par l'utilisation de plusieurs outils. En prenant l'exemple suivant : pour prendre une photo, il faut penser à où mettre le formulaire, son support et le style dans un environnement plein de sable et peut être en présence de vent !

Cependant, au cours de notre développement, plusieurs idées ont surgi, elles sont toutes aussi importantes et utiles que les autres mais nous n'avons pas eu le temps

nécessaires pour les intégrer maintenant. Il serait donc important de les considérer pour plus tard. Nous citons à titre d'exemples :

- l'intégration de notifications de rappel ;
- l'introduction de messages d'erreurs ;
- l'introduction d'alertes d'oubli ;
- l'intégration d'une base de données contenant les défauts des composants de la centrales PV.

Conclusion général

Conclusion général

Une méga central PV est une installation qui s'étale généralement sur plusieurs hectares et qui comporte quelques milliers de composants. L'un des verrous de dépoilement des centrales PV a été, pendant longtemps, lié à la question de leur rentabilité face à un investissement initial important. La nature intermittente du gisement solaire ne fait qu'accentuer les incertitudes sur la période de remboursement de cet investissement. Ceci ne fait qu'augmenter le besoin de suivre de près le fonctionnement d'une centrale PV durant la phase d'exploitation afin de garantir son bon fonctionnement et s'approcher des prévisions de la phase de l'étude technico-économique.

Pour garantir son bon fonctionnement durant sa longue durée de vie qui dépasse les 25 ans, la centrale PV est assujetti à des missions d'audit et de diagnostic périodiques. Le but visé par ces tâches consiste à faire un état de lieu, une maintenance préventive ou l'inspection et l'analyse des composants de la centrale et son fonctionnement.

Cependant, avec de large superficie et ce nombre impressionnant de composants, il est primordial de se munir d'outils qui faciliteront cette tâche. Profitant de l'avancée du numérique, nous avons imaginé une solution software qui peut être installée sur mobile ou tablette tactile. Ainsi, l'agent en charge de l'audit ou du diagnostic n'aura qu'à cocher des cases prédéfinies, taper du texte, et même consulter une base de données en cas de doute.

Dans ce travail, nous avons développé une check liste et une application androïde à son image. Nous avons tout conçu à partir d'une idée. La visite sur terrain de la centrale de Djelfa, nous a permis de comprendre l'enjeu, et d'approcher les besoins réels. L'association du numérique et les possibilités qu'offrent les applications Androïdes nous ont poussé vers d'autres options pour notre application. Le temps ayant été contre nous, nous espérons que nos idées puissent être développées dans un travail futur. Ainsi, il serait très utile de munir cette application de :

- 1- une base de données sous forme d'images avec un petit descriptif pour tous les défauts récurrents dans une centrale PV. Ces défauts seront classés par composant, ainsi l'agent en charge de l'audit ou du diagnostic pourra trouver le défaut qui se présente à lui en comparant avec les images de cette base de données ;
- 2- La possibilité d'enrichir cette base de données en ajoutant des images sur place si le défaut n'est pas répertorié ;
- 3- La possibilité de gérer (procéder, classer, accéder) à des enregistrements sonores et vidéo qui peuvent être une solution plus facile pour une personne qui doit parcourir

des centaines de mètres, pour enregistrer des remarques ou des constatations au lieu de les écrire pour un traitement ultérieur ;

- 4- La gestion de plusieurs rapports d'audits précédents même appartenant à d'autres centrales ;
- 5- En fin, si possible, développer un programme de reconnaissance de formes et d'images pour identifier de nouveaux défauts par comparaison d'images sur internet par exemple.

Bibliographie et webographie

- [1] ATAMNIA Hanane « stratégie d'implantation des énergies renouvelables en Algérie (cas de la photovoltaïque) » mémoire de Magistère, le 15/01/2015.
- [2] BELAID Wahiba « Analyse des pertes thermiques de l'utilisation des matériaux sélectifs des convertisseurs de l'énergie solaire » mémoire Ph.D thèse, le 19/11/2014.
- [3] Christian Matulu : « etude et dimensionnement d'un système photovoltaa pour une alimentation permanente. », Mémoire soutenue en 2010
- [4] « Etude d'impact sur l'environnement de la C.P.E.S. Les Broules ».
- [5] https://fr.wikipedia.org/wiki/Bo%C3%AEte_de_jonction
- [6] http://fr.solarpedia.net/wiki/index.php?title=Installation_photovolta%C3%AFque_e_raccord%C3%A9e_au_r%C3%A9seau
- [7] « Réussir votre centrale photovoltaïque avec les professionnels du secteur électrique. », guide de la photovoltaïque.
- [8] <http://www.speler-mp3.be/general/quest-ce-quune-salle-de-controle/>
- [9] <http://www.slg-instruments.com/station-meteo-photovoltaique.php>
- [10] https://fr.wikipedia.org/wiki/Transformateur_%C3%A9lectrique
- [11] REZGUI Wail «Système intégré pour la supervision et le diagnostic des défauts dans les systèmes de production d'énergies : les installations photovoltaïque»
- [12] Amrouche Badia, Cours Diagnostic des systèmes automatiques, Université Blida1, Département d'électronique, Master Automatique, année 2017-2018.
- [13] <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:19011:ed-2:v1:fr> [ISO 19011:2011(fr)
Lignes directrices pour l'audit des systèmes de management]
- [14] Audite et expertise photovoltaïque 12 rue Gutenberg – ZA de la Landette - 85
190 Venansault – France
- [15] Long BUN «Détection et Localisation de Défauts pour un Système PV» thèse de doctorat, le 07/08/2006
- [16] https://www.rtbf.be/info/regions/detail_dossier-medical-sur-smartphone-ou-tablette-c-est-desormais-possible?id=9615070.

[17] <https://www.taktilcommunication.com/blog/applications-mobile/definition-typologie-applications-mobiles.html>

Annexes A

Défauts dans le générateur photovoltaïque :

| Causes | Conséquences | Cri | Occ | Ori |
|---|---|-----|-----|------|
| Salissure (pollution, sable, neige) | Perte de puissance | 3 | 3 | E |
| Inversion des liaisons de sortie | Module mal câblé, diminution des performances | 3 | 2 | I, C |
| Dégradation des modules par vandalisme | Diminution des performances, Non fonctionnement de l'installation | 3 | 2 | E |
| Vol des modules | Non fonctionnement de l'installation | 3 | 2 | I, E |
| Mauvaise orientation et/ou inclinaison des modules | Ombrage, diminution des performances | 2 | 3 | C, I |
| Couple galvanique dû au mélange de matériau de la jonction module/support | Corrosion | 2 | 3 | C |
| Module mal ou pas ventilé | Échauffement | 2 | 2 | I, C |
| Module mal fixé | Déplacement du module, diminution des performances | 2 | 2 | I, C |
| Modules non câblés | Diminution des performances | 2 | 2 | I, C |
| Fissure | Perte d'étanchéité, détérioration des cellules, diminution des performances | 3 | 1 | E |

| | | | | |
|---|--|---|---|------|
| Rouille par infiltration d'eau | Perte d'étanchéité, détérioration des cellules | 3 | 1 | E |
| Mauvaise isolation entre modules et onduleur | Court-circuit, destruction du module, incendie | 3 | 1 | I, C |
| Détérioration des joints d'étanchéité | Perte d'étanchéité, détérioration des cellules | 3 | 1 | E |
| Déformation du cadre des modules | Infiltration d'eau | 3 | 1 | E |
| Corrosion du cadre des modules | Perte d'étanchéité, détérioration des cellules | 3 | 1 | E |
| Délaminage | Diminution des performances, échauffement | 3 | 1 | E |
| Foudre | Détérioration des modules | 3 | 1 | E |
| Pénétration de l'humidité | Hotspot, augmentation du courant de fuite, corrosion, perte d'adhérence et d'isolation, diminution de la résistance de CC à la terre | 3 | 1 | E |
| Faiblesse au vent des structures | Module arraché, cassé | 3 | 1 | C, I |
| Foudre sur l'installation | Destruction des modules | 3 | 1 | E |
| Modules de performances différentes | Diminution des performances du champ | 1 | 3 | I, C |
| Sortie par le bas des boîtes de connexions impossible | Mauvais câblage | 1 | 3 | C, I |

| | | | | |
|---|---|---|---|------|
| Bouchons de presse-étoupe manquant sur la boîte de connexion | Pénétration d'eau, corrosion des liaisons | 1 | 3 | I, C |
| Boîte de connexion montée à l'envers | Entrée d'eau dans le boîtier par le presse-étoupe | 1 | 3 | I, C |
| Ombrage partiel (feuilles d'arbre, déjections) | Hotspot, détérioration de cellules | 2 | 1 | E |
| Dégradation de l'encapsulant à cause des ultraviolets, EVA jaunissant | Absorbe les photons qui n'arrivent plus jusqu'à la cellule, diminution des performances | 2 | 1 | E |
| Augmentation de la résistance série due au cycle thermique | Diminution des performances | 2 | 1 | E |
| Détérioration de la couche anti-reflet | Diminution des performances | 2 | 1 | E |
| Dégradation à cause de la lumière | Diminution des performances, surtension, destruction de diodes | 2 | 1 | E |
| Dégradation à cause de la chaleur | Diminution des performances, échauffement, détérioration des joints | 2 | 1 | E |
| Inclinaison des modules trop faible | Stagnation d'eau, dépôt de terre, prolifération de champignons, problème d'étanchéité | 2 | 1 | C, I |
| Dégradation des interconnexions | Détérioration des joints, diminution des performances, augmentation de la résistance série, de la chaleur | 2 | 1 | E |

| | | | | |
|--|--|---|---|------|
| Support mécanique des modules inadéquat ou mal posé | Efforts mécaniques importants sur les modules | 2 | 1 | C, I |
| Mauvaise résistance mécanique des supports des modules | Déformation du support | 2 | 1 | C, I |
| Diffusion du phosphore (dopant) vers la surface | Perte d'adhérence de l'encapsulant | 2 | 1 | E |
| Important courant de fuite | Échauffement | 2 | 1 | E |
| Échauffement des modules par la boîte de connexion | Décollement du Tedlar, diminution des performances | 2 | 1 | C, I |
| Nid d'insectes sur les modules | Diminution des performances | 2 | 1 | E |
| Panneaux inaccessibles | Nettoyage impossible | 1 | 2 | C, I |
| Module produisant moins que prévu | Diminution des performances | 1 | 1 | E |
| Apparition de bulles à la surface des modules | Diminution des performances | 1 | 1 | E |

Défauts dans la boîte de jonction :

| Défauts | Conséquences | Cri | Occ | Ori |
|--|------------------------------|-----|-----|------|
| Absence de parafoudre ou protection foudre inadaptée | Destruction en cas de foudre | 3 | 2 | C, I |

| | | | | |
|--|---|---|---|------|
| Presse-étoupe mal serré | Corrosion des contacts, rupture du circuit électrique | 2 | 3 | I |
| Liaison de mise à la terre non fixée ou sectionnée | Pas de mise à la terre | 2 | 2 | I |
| Boîte de jonction sans presse-étoupe | Pas d'étanchéité, corrosion des contacts, rupture du circuit électrique | 2 | 2 | I |
| Presse-étoupe en caoutchouc | Corrosion des contacts, rupture du circuit électrique | 2 | 2 | C, I |
| Infiltration d'eau par les vis de fixation | Corrosion des contacts, rupture du circuit électrique | 2 | 2 | I |
| Boîte de jonction non repérée | Problème pour contrôle et maintenance | 1 | 3 | I |
| Déconnexion des soudures | Arc électrique, incendie, diminution des performances | 2 | 1 | E, I |
| Boîtier infesté d'insectes | Rupture du circuit électrique | 2 | 1 | E |
| Fourreaux non prévus pour usage extérieur | Destruction de la protection | 2 | 1 | C |
| Liaison sans protection | Destruction de la liaison | 2 | 1 | C, I |

| | | | | |
|---------------------------------------|--|---|---|---|
| Pénétration de l'eau ou de l'humidité | Corrosion des connexions, des diodes, des bornes, incendie | 2 | 1 | I |
|---------------------------------------|--|---|---|---|

Défauts dans le système de câblage :

| Défauts | Conséquences | Cri | Occ | Ori |
|---|---|-----|-----|-----|
| Mauvais dimensionnement des câbles | Chute de tension >3 %, échauffement | 2 | 3 | C |
| Connexion desserrée ou cassée | Arc électrique, incendie, destruction de la boîte de jonction, destruction des diodes | 2 | 3 | I,E |
| Principe de câblage en goutte d'eau non respecté | Mauvais câblage | 2 | 3 | I |
| Câbles inter module de section trop faible par rapport au presse-étoupe | Corrosion des contacts, rupture du circuit électrique | 2 | 3 | C,I |
| Bornes rouillées | Faux contacts, circuit ouvert, arc électrique | 2 | 2 | E |
| Câbles non fixés | Boucle de câblage, circuit ouvert | 2 | 2 | I |
| Mauvais câblage | Court-circuit, claquage des diodes anti-retour, destruction des connecteurs (circuit | 2 | 2 | I |

| | | | | |
|---|--|---|---|---|
| | ouvert), aléas de fonctionnement sur disjoncteur | | | |
| Toron | Boucle électromagnétique | 2 | 2 | I |
| Câbles d'arrivée des sous-champs entamés lors du dénudage | Mauvais câblage, faux contacts, circuit ouvert, arc électrique | 2 | 2 | I |
| Absence de graisse de silicone | Humidité | 2 | 2 | I |
| Câble mal dénudé | Mauvais câblage, faux contacts, circuit ouvert, arc électrique | 2 | 2 | I |
| Câble rongé par des rats | Faux contacts, circuit ouvert, arc électrique | 2 | 2 | E |
| Modification du câblage par l'utilisateur non compétent | Mauvais câblage, faux contacts, circuit ouvert, arc électrique | 2 | 2 | E |
| Boîte de connexion décollée | Connexion des cellules en série endommagée | 2 | 1 | E |

Défauts dans le système de protection

| Défauts | Conséquences | Cri | Occ | Ori |
|---|--|-----|-----|-----|
| Protections inappropriées ou mal dimensionnées | Court-circuit, hot spot, incendie, arrêt de l'installation | 2 | 2 | C |
| Interrupteur, disjoncteur inapproprié | Arc électrique, incendie, destruction à l'ouverture | 3 | 1 | C |
| Disjoncteur différentiel non conforme à la norme | Non déclenchement, tension entre neutre et terre | 3 | 1 | C |
| Armoire électrique posée à même le sol à l'extérieur | Dysfonctionnement en cas de pluie | 3 | 1 | C,I |
| Parafoudre non connecté à la terre | Pas de protection | 3 | 1 | I |
| Impossibilité de déconnecter les modules par branche | Problème de sécurité | 1 | 3 | C,I |
| Pas de possibilités de sectionnement extérieur au coffret | Problème de sécurité | 1 | 3 | I |
| Mauvaise dissipation de la chaleur des diodes | Échauffement | 2 | 1 | C,I |

| | | | | |
|---|---|---|---|-----|
| Sous dimensionnement des diodes de bypass | Hot spot, destruction des diodes, échauffement de la boîte de jonction | 2 | 1 | C |
| Absence de protection contre les courants inverses | Hot spot, destruction des diodes, échauffement de la boîte de jonction | 2 | 1 | C |
| Diode mal connectée | Non fonctionnement des diodes, absence de protection contre les courants inverses | 2 | 1 | I,E |
| Inversion de la polarité des diodes au montage | Non fonctionnement des diodes, court-circuit, hot spot | 2 | 1 | I,E |
| Phénomènes de résonance | Non fonctionnement des fusibles et des protections de surtension | 2 | 1 | C |
| Dégradation à cause de la lumière | Non fonctionnement des diodes de bypass | 2 | 1 | E |
| Échauffement des diodes placées dans un endroit mal ventilé | Température de destruction atteinte | 2 | 1 | C,I |
| Vieillessement des disjoncteurs | Non fonctionnement des disjoncteurs | 1 | 1 | E |

Défauts de l'onduleur

| Défauts | Conséquences | Cri | Occ | Ori |
|--|---|-----|-----|---------|
| Dégradation à cause de la chaleur | Détérioration de l'onduleur, des connexions | 3 | 2 | E, C, I |
| Faux contact | Arrêt de l'onduleur | 3 | 2 | I |
| Surtension | Déconnexion de l'onduleur | 3 | 2 | C |
| Fusible fondu | Arrêt de l'onduleur | 3 | 2 | E, C, I |
| Foudre sur le réseau | Surtension, destruction de l'onduleur | 3 | 2 | E |
| Tension du générateur inférieure à la limite basse de l'onduleur | Déconnexion de l'onduleur | 3 | 2 | C |
| Onduleur sous dimensionné | Destruction de l'onduleur | 2 | 3 | C |
| Bobine des filtres, thyristors, capacités en défaut | Arrêt de l'onduleur | 3 | 1 | E, C, I |
| Problème d'interface avec le réseau | Découplage de l'onduleur | 3 | 1 | E |
| Défaut d'isolement | Détérioration de l'onduleur | 3 | 1 | C, I |
| Surchauffe des onduleurs | Diminution des performances | 3 | 1 | E |

| | | | | |
|---|---|---|---|------|
| Onduleur installé dans un lieu non étanche | Panne de l'onduleur | 3 | 1 | I, C |
| Onduleur mal fixé | Chute de l'onduleur | 3 | 1 | I |
| Onduleur surdimensionné | Perte de puissance, diminution des performances | 2 | 1 | C |
| Visserie et bouton de commande oxydés | Réglage impossible | 2 | 1 | E |
| Mauvais choix de la tension nominale d'entrée | Diminution des performances | 2 | 1 | C |
| Pile de sauvegarde HS | Perte de données | 1 | 2 | E |
| Témoins de défaut d'intensité allumé en permanence | Mauvaise information sur l'intensité | 1 | 2 | E, I |
| Onduleur non mis à la terre | Disjoncteur différentiel non actif | 1 | 2 | I |
| Perte de la mémoire (mauvaise manipulation du technicien) | Perte de données | 1 | 1 | E |
| Afficheur de cristaux liquide endommagé ou illisible | Pas d'information sur le fonctionnement | 1 | 1 | E |

Annexe B



Maquette de la centrale PV Djelfa



Champ photovoltaïque



Panneaux défectueux



Onduleur centrale



Station de mesure



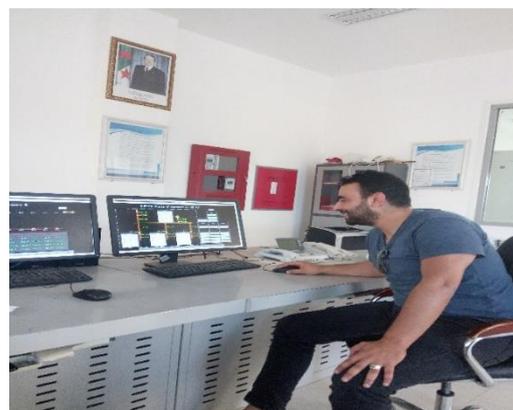
Transformateur de tension



Transformateur endommagé



Batteries



salle de contrôle



Boite de jonction



structure porteuse