

## Rapport de stage

ENTREPRISE : GEOPHOM

DATES : 15 juillet 2024 – 29 novembre 2024

SUJET DE STAGE : Système de prise de vue autonome basse consommation et transmission avec GSM (base raspberry-py) et intégrant un traitement d'image

TUTEUR EN ENTREPRISE : DAVID Frank, Gérant



### CADRE RÉSERVÉ POUR LES STAGES DE FIN D'ÉTUDES (STAGE INGÉNIEUR)

OPTION ☐ SE ☐ BIO ☐ EOC ☐ NRJ ☐ CSS ☐ LD ☐ DSMT ☐ NG ☐ TVI ☐ DI ☐ CS

CONFIDENTIALITÉ mon rapport est confidentiel niveau ☐ 1 (moy) ☐ 2 (élevé)

*Un mail a été envoyé par votre tuteur à Mme Baronnet (Dijon), Mme Nourai (Paris) ou Mme Omont (Angers) au moins un mois avant votre soutenance, sinon l'ESEO retient le niveau 0 cf. fiche d'encadrement.*

DOMAINE  
ENTREPRISE ☐ Auto. ☐ Aéron. ☐ Banques-fi-assur. ☐ Biomédical-santé ☐ Energie  
☐ NTIC ☐ Télécoms ☐ Autres (précisez) :

AUTRES POINTS ☐ Stage à dominante **management** ou ☐ Stage à dominante **recherche**  
☐ E5e effectuée sous Contrat Pro  
☐ Mon tuteur sera présent à ma soutenance  
☐ Mon tuteur participera au déjeuner le jour de ma soutenance

### *ENGAGEMENT DE NON PLAGIAT*

Je soussigné, Ornel ZINSOU-PLY, étudiant à l'ESEO, atteste avoir pris connaissance du contenu du Règlement intérieur de l'École et de l'engagement de « non-plagiat ». Je déclare m'y conformer dans le cadre de la rédaction de ce document. Je déclare sur l'honneur que le contenu du présent mémoire est original et reflète mon travail personnel. J'atteste que les citations sont correctement signalées par des guillemets et que les sources de tous les emprunts ponctuels à d'autres auteur(e)s, textuels ou non textuels, sont indiquées. Le non-respect de cet engagement m'exposerait à des sanctions dont j'ai bien pris connaissance.

Fait à Angers, le 08/08/2024.

## **Remerciements**

Je souhaite exprimer ma profonde gratitude à l'école, ainsi qu'à mes amis, parents, et collègues, pour leur soutien tout au long de mon stage chez Géophom. Cette expérience enrichissante m'a permis d'acquérir de nouvelles compétences en informatique et en électronique. Votre disponibilité pour répondre à mes questions et m'orienter a grandement facilité mon intégration et ma progression au sein de l'équipe.

Je remercie particulièrement mon maître de stage, M. Frank David, pour sa confiance, son expertise et son soutien constant. Grâce à lui, j'ai pu mener à bien le projet de système de prise de vue autonome basse consommation avec transmission par GSM, basé sur Raspberry Pi et intégrant un traitement d'image. Son aide précieuse dans les moments délicats a été inestimable.

Je souhaite également remercier mes collègues, notamment Caetano VEYSSIERES, Eléonore BURGAUD, Marie PEREZ et Théo ZILBER pour leur accueil chaleureux et leurs précieux conseils, en particulier sur l'utilisation des appareils photographiques, des systèmes Linux, et sur le projet en général. Un grand merci également à Juliette COUTANT et Pierre ARCHER, anciens stagiaires, pour avoir laissé des informations essentielles pour la reprise du projet.

## Table des matières

### ENGAGEMENT DE NON-PLAGIAT

### REMERCIEMENTS

<b>I. FICHE DE SYNTHESE DU STAGE.....</b>	<b>6</b>
<b>II. ABSTRACT .....</b>	<b>7</b>
<b>III. INTRODUCTION .....</b>	<b>8</b>
<b>IV. ENVIRONNEMENT ET CONTEXTE DU STAGE.....</b>	<b>9</b>
A. Domaine et Structure Générale.....	9
L'entreprise GEOPHOM : Histoire et Présentation .....	9
B. Marché et concurrence.....	11
C. Contexte du stage .....	12
<b>V. MISSION.....</b>	<b>13</b>
A. Problématique .....	13
B. Buts et Objectifs du projet.....	14
1. Les objectifs SMART .....	14
2. Analyse du projet.....	17
3. Méthodologie de gestion de projet .....	19
4. Analyse des impacts écologiques et sociaux de GEOPHOM.....	21
<b>VI. REALISATION AU COURS DU STAGE: <i>Mon projet</i>.....</b>	<b>21</b>
A. <b>Installation du Système Raspbian:</b> <i>Introduction à l'environnement de développement</i> .....	24
1. Téléchargement et installation de Raspbian .....	25
2. Installation des outils de développement.....	26
B. <b>Mise en Place de la Communication GSM:</b> <i>Assurer la transmission des images capturées</i> .....	27
1. Configuration du modem GSM.....	27
2. Installation des Outils Nécessaires :.....	28
3. Vérification de la Connexion Internet :.....	28
C. <b>Intégration d'un Capteur Météo:</b> <i>Ajout d'une dimension environnementale au système</i> .....	29
D. <b>Fonctionnement du site web:</b> <i>la visionneuse</i> .....	30
E. <b>Optimisation de la Consommation Énergétique:</b> <i>Techniques pour réduire la consommation du Raspberry Pi et de l'appareil photo</i> .....	32
1. Raspberry.....	32

2.	Appareil photo .....	35
F.	<b>Traitement et analyse d'image: Développement d'un système de traitement et d'analyse d'image</b> .....	36
G.	<b>Analyse de la Corrélation entre la Visibilité et les Paramètres Météorologiques: Évaluation des influences environnementales sur la visibilité.</b>	40
1.	Collecte des Données Météorologiques.....	41
2.	Calcul de la Visibilité .....	42
3.	Analyse des corrélations .....	43
4.	Visualisation des résultats.....	44
5.	Limites de l'analyse de la corrélation.....	47
H.	<b>Amélioration du Boitier: le cône</b> .....	47
VII.	<b>BILAN PERSONNEL</b> .....	48
VIII.	<b>CONCLUSION</b> .....	50
IX.	<b>ANNEXES</b> .....	51
A.	CV .....	51
B.	Planning détaillé de la mission de stage.....	52
C.	Références bibliographiques utilisées, sources internes et externes .....	53
D.	Glossaire des définitions et acronymes utilisés .....	54
E.	Table des figures et illustrations utilisées dans le rapport .....	57

## I. FICHE DE SYNTHÈSE DU STAGE

**Stage Technique en Informatique, Électronique et Traitement/Analyse d'Image**

**Du 15 Juillet au 29 Novembre 2024**

**Stage réalisé dans la société *GEOPHOM, 327 RUE DE VIELLE COUR 44521 OUDON***

**Tuteur : Frank DAVID, gérant**

**Sujet:** Système de prise de vue autonome basse consommation et transmission avec Gsm (base Raspberry-Pi) en intégrant un traitement d'image

### **Contraintes et difficultés:**

Mes principales difficultés ont concerné la gestion de l'économie d'énergie du système. J'ai configuré le Raspberry Pi pour entrer en mode veille à l'aide du Witty Pi, mais j'ai rencontré des obstacles pour assurer un retour de veille fiable, ce qui complique la réduction de la consommation énergétique. De plus, durant le traitement et l'analyse des images, j'ai observé des incohérences dans la classification des images selon leur niveau de visibilité, rendant cette phase particulièrement complexe.

### **Résultats:**

Bien que mon projet ne soit pas encore finalisé, j'ai développé un système de prise de vue autonome avec transmission GSM et traitement d'image, basé sur un Raspberry Pi. Cependant, ce système n'est pas encore installé dans son boîtier, en raison du temps passé sur la gestion du retour de veille pour garantir une faible consommation énergétique. Il n'est donc pas encore opérationnel sur le terrain.

Par ailleurs, j'ai envisagé d'améliorer et de réimprimer le cône fixé au boîtier, qui sert d'objectif pour la vue extérieure de l'appareil photo, car il est cassé.

## II. ABSTRACT

Founded in 2010 by Frank David, GEOPHOM specializes in evaluating the visibility of wind farms and creating photomontages for impact assessment studies. This report addresses the critical need for objective visibility assessments of wind turbines over extended periods by examining the potential link between visibility and atmospheric measurements (pressure, humidity, temperature). If this link is confirmed, it could allow for extrapolating theoretical visibility at other sites where atmospheric data is known.

The central question guiding this research is: how can we effectively measure and analyze wind turbine visibility under varying weather conditions? The primary goals include restoring a non-functional photographic system, developing an image processing method to classify photos based on visibility, and establishing correlations between meteorological conditions (temperature, pressure, humidity) and turbine visibility.

To achieve these goals, we integrated a weather sensor, set up automated data processing, and used 4G transmission for real-time data collection. Results indicate a significant variation in visibility over time, influenced by changing weather conditions. These findings provide GEOPHOM with advanced analytical tools and the potential for predictive modeling to anticipate visibility based on climate factors, enhancing environmental impact assessments and project planning.

This summary highlights the project's motivation, the central problem, research objectives, methodology, key results, and implications for improving objectivity in environmental impact studies for wind energy projects.

### III. INTRODUCTION

Pour valider le semestre 7 de ma deuxième année du cycle ingénieur, j'ai réalisé un stage technique de 17 semaines au sein de l'entreprise Géophom, spécialisée dans la production de documents d'évaluation des effets paysagers de projets d'énergies renouvelables. Ces documents sont demandés par les autorités environnementales qui autorisent ou non leur implantation. Ce stage a été l'occasion de mettre en pratique les compétences et connaissances acquises au cours de mon cursus, tout en découvrant le fonctionnement du travail en entreprise.

Mon projet de stage a porté sur le développement et l'optimisation d'un système de prise de vue autonome basé sur un Raspberry Pi. Ce système est conçu pour capturer des images de turbines éoliennes, tout en étant basse consommation et capable de transmettre les images via une clé 4G. Il comprend également une interface web pour la visualisation des images. L'objectif principal de mon stage était de relancer le projet existant et d'améliorer à la fois le boîtier photographique extérieur autonome et l'interface web, en m'appuyant sur le travail préalablement réalisé par les stagiaires Juliette COUTANT et Pierre ARCHER.

Une fois le système réactivé, ma mission a consisté à analyser la corrélation entre les images collectées précédemment sur plusieurs mois et les données météorologiques locales associées à chaque photo. Cette analyse visait à évaluer objectivement les variations de la visibilité des éoliennes au fil du temps et sur de longues périodes. En particulier, il s'agissait de comprendre comment les conditions météorologiques influencent la qualité de la visibilité des éoliennes.

Dans ce rapport, je présenterai brièvement l'entreprise Géophom, avant de détailler le sujet de mon stage et les différentes étapes réalisées durant ces 17 semaines en entreprise.



## IV. ENVIRONNEMENT ET CONTEXTE DU STAGE

### A. Domaine et Structure Générale

#### L'entreprise GEOPHOM : Histoire et Présentation



**Figure 1: Localisation de Géophom**

Géophom est localisé dans la commune d'Oudon située à une vingtaine de kilomètres de Nantes dans le département Loire-Atlantique

Informations générales
GEOPHOM
327 rue de Vieille Cour 44521 OUDON
Téléphone : 02 85 52 02 59
Mail : <a href="mailto:contact@geophom.fr">contact@geophom.fr</a>
Site internet : <a href="http://www.geophom.fr">www.geophom.fr</a>
Forme juridique : SARL

**Tableau 1: Information général sur Géophom**

Frank David a fondé son entreprise en 2010, après avoir accumulé près de 15 ans d'expérience dans le secteur des études éoliennes au sein du bureau d'études EED Lille, où il a travaillé de 1993 à 2009. Il a passé plus de 10 ans en tant que chargé d'études, se spécialisant dans la création de documents d'évaluation des impacts visuels pour les projets éoliens. Son expertise en réalisation est particulièrement remarquable dans la réalisation de photomontages pour les parcs éoliens terrestres, ainsi que dans le développement de projets éoliens offshore.

L'entreprise Géophom opère dans le secteur de la visualisation pour les projets

d'énergie renouvelable, notamment éoliens (offshore et onshore) et solaires. L'entreprise est spécialisée dans la réalisation d'outils d'aide à l'évaluation des effets visuels des installations de production d'énergies renouvelables. Ces outils sont principalement les photomontages et les cartes de visibilité nécessaires aux études d'impact environnemental.

Fondée pour répondre aux besoins de développement des énergies renouvelables, Géophom s'est rapidement imposée comme un acteur clé. Elle collabore avec divers partenaires, notamment des producteurs d'énergie, des développeurs, des bureaux d'étude, paysagistes ou associations et des chercheurs universitaires.

Quelques clients dans le domaine éolien terrestre et maritime:



Et pour le solaire :



L'organisation de Géophom reste modeste, mais flexible, avec une équipe d'experts en photographie, modélisation 3D, et cartographie. L'entreprise, dirigée par Frank DAVID est composée d'une équipe de cinq passionnés que sont Caetano VEYSSIERES, Eléonore BURGAUD, Marie PEREZ et Théo ZILBER et Frank, lui-même.

Actuellement, le gérant Frank DAVID gère la coordination et les débats publics, tout en produisant des cartes d'impact visuel sur « GRASS GIS » et des photomontages pour des projets d'éoliennes en mer. Caetano VEYSSIERES est spécialisé dans les photomontages pour l'éolien terrestre et solaire, ainsi que dans les vidéo montages, et développe des outils internes pour améliorer les processus et la qualité des services. Eléonore BURGAUD est responsable de photomontages éoliens et solaires, et de la création d'outils automatisant les coupes topographiques. Marie PEREZ se concentre sur les photomontages réalistes d'éoliennes terrestres et sur la production de cartographies pour les études d'impact environnemental. Théo ZILBER, quant à lui, effectue des déplacements sur le terrain pour réaliser les prises de vues nécessaires et participe à la production des photomontages réalistes, permettant aux paysagistes de mieux illustrer l'insertion des projets éoliens dans le paysage.

## B. Marché et concurrence

Géophom est une entreprise spécialisée dans la visualisation des projets d'énergie renouvelable, en particulier dans le domaine de l'éolien, aussi bien onshore (terrestre) qu'offshore (en mer), ainsi que dans le solaire. Elle se distingue par son expertise dans la création d'outils d'aide à l'évaluation des impacts visuels liés à ces installations de production d'énergie. Ces outils comprennent des photomontages et des cartes de visibilité, essentiels pour les études d'impact environnemental.

Sur le marché de l'éolien onshore et du solaire, Géophom fait face à une concurrence variée, incluant des auto-entrepreneurs, des bureaux d'études, et de petites entreprises. En revanche, pour l'éolien offshore, elle bénéficie d'une position unique, sans concurrents directs.

Exemple de concurrents :

- Eolien onshore (terrestre) :

AN AVEL energy, ORA environnement, matutina, ATER environnement

- Solaire :

ELEVEN CORE, 3D Paysage



## C. Contexte du stage

Dans le but d'acquérir de la compétence dans l'évaluation de la visibilité des parcs éoliens, Géophom développe un système de prise de vue autonome pour capturer des images d'éoliennes sur une période prolongée, tout en mesurant des caractéristiques météorologiques (pression, humidité, température). Si une relation entre mesures météorologiques et visibilité est déterminée, elle pourrait permettre de prédire la visibilité théorique sur d'autres sites connaissant leurs données météorologiques, offrant ainsi à Géophom des outils d'analyse avancés et un modèle prédictif pour estimer la visibilité en fonction des conditions climatiques. Cela renforcerait l'évaluation d'impact paysager et faciliterait la planification de projets.

Déjà initié par deux anciens stagiaires, ce projet m'a offert l'occasion de mettre en pratique et de renforcer des compétences techniques et analytiques essentielles, notamment en programmation embarquée, en électronique, en analyse d'image et en gestion de projet. Sous la tutelle de Frank David, le gérant de Géophom, j'ai contribué à vouloir rendre ce système fonctionnel et fiable pour une utilisation à long terme.

### a) Contexte du projet

Ce projet vise à remettre en état et d'optimiser un système autonome de capture d'images, destiné à photographier des éoliennes dans des environnements variés. Les images ainsi récupérées permettront d'analyser la visibilité des éoliennes, un phénomène directement influencé par des facteurs météorologiques tels que la température, la pression et l'humidité, mesurés au moment de la prise de vue. Ces conditions climatiques jouent un rôle essentiel dans la perception visuelle des éoliennes. En établissant un lien entre ces facteurs et la visibilité des éoliennes, il sera possible d'extrapoler les résultats à d'autres sites de parcs éoliens, fournissant ainsi à Géophom un outil efficace pour estimer la visibilité des turbines en fonction des conditions climatiques. Cette analyse soutiendra également la production de documents relatifs à l'impact paysager des futurs parcs éoliens.

Le système de capture d'images sera conçu pour fonctionner de manière autonome, avec des photos prises à intervalles réguliers (toutes les 15 minutes), qui seront ensuite transmises via un réseau GSM. Ce système doit être fiable et économe en énergie, et présenter une résistance optimale aux intempéries. Parallèlement à la capture d'images, un modèle prédictif sera développé pour analyser l'impact des conditions climatiques sur la visibilité des turbines, afin de mieux comprendre leur influence sur l'environnement visuel des éoliennes.

### b) Contexte technique

Pour atteindre les objectifs de ce projet, j'ai dû mobiliser plusieurs compétences techniques :

**Programmation embarquée (Python)** : Le développement du système de prise de vue autonome repose sur le Raspberry Pi, programmé pour capturer des images en continu et pour enregistrer les mesures du capteur météo.

**Conception et optimisation de circuits électroniques** : L'alimentation de l'appareil photo est gérée via des circuits de commutation MOSFET contrôlés par le Raspberry Pi, optimisant ainsi la consommation énergétique pour garantir une longue autonomie.

**Intégration matérielle et gestion d'énergie** : Le matériel sera installé dans un boîtier IP57 (indice de protection) résistant aux intempéries et conçu pour fonctionner de manière autonome dans des environnements difficiles, en limitant la consommation d'énergie grâce à un système d'extinction et de redémarrage.

**Traitement d'image et analyse** : Le projet implique un traitement et analyse d'image pour classer les photos selon la visibilité des turbines, de façon à étudier l'effet des conditions atmosphériques sur la visibilité des éoliennes.

**Gestion de projet** : La planification, le suivi des tâches, et la gestion des ressources matérielles et logicielles étaient nécessaires pour garantir que le système soit opérationnel dans les délais impartis.

**Protocoles de communication** : La transmission des images et des données est assurée via un module GSM. La maîtrise de ces protocoles est essentielle pour la fiabilité des transmissions à longue distance.

**Développement web et base de données** : Une interface web, réactivée, permet aux utilisateurs de visualiser les images en temps réel et d'accéder aux données météorologiques associées. Les images et données sont stockées dans une base de données SQLite.

**Maintenance et dépannage** : Diagnostiquer et résoudre les problèmes matériels et logiciels en situation réelle font partie intégrante du projet.

**Adaptation aux conditions environnementales** : Les solutions techniques mises en œuvre sont pensées pour résister à des conditions environnementales difficiles, y compris des températures et une humidité extrêmes.

Ce projet m'a également permis d'acquérir des compétences en photographie, en traitement et analyse d'image, et a contribué à approfondir mes connaissances en technologies embarquées, transmission de données et corrélations.

## V. MISSION

### A. Problématique

Dans le cadre de ce stage, il s'agissait de relancer et d'améliorer un projet existant de prise de vue autonome utilisant un Raspberry Pi, initié par les stagiaires Juliette COUTANT et Pierre ARCHER. En plus de cette tâche, le projet visait à établir une corrélation entre la visibilité des éoliennes et les facteurs météorologiques.

Ce projet a pour but de photographier des turbines éoliennes en surmontant des défis majeurs, tels que l'autonomie énergétique, la résistance aux intempéries et la transmission des images via un réseau GSM. Au-delà de la maintenance du boîtier photographique, une autre partie importante du projet consistait à rétablir le site web associé, afin de fournir un accès aux images capturées ainsi qu'aux données météorologiques. À partir de ces images et des données météorologiques collectées, l'objectif est de réaliser une corrélation entre la visibilité des éoliennes et les conditions climatiques.

Le stage s'est donc articulé autour de deux axes principaux : d'une part, la remise en état et l'optimisation technique du boîtier pour un fonctionnement en extérieur à long terme, et d'autre part, l'analyse des images et des données météo recueillies, afin de déterminer comment les conditions atmosphériques, telles que l'humidité, la température et la pression, influencent la visibilité des turbines. Bien que le système n'ait pas encore été redéployé sur le terrain, les photos précédemment prises ont permis de tester les outils de traitement d'image et d'établir des corrélations avec les données météorologiques, offrant des premières conclusions sur les effets des conditions environnementales.

Ce projet se positionne ainsi dans une perspective d'innovation en matière de production des documents d'impact paysager, en tirant parti d'images et de données météorologiques pour mieux comprendre l'influence des conditions climatiques sur la visibilité des éoliennes..

## B. Buts et Objectifs du projet

Le but de ce projet est de développer et d'optimiser un système de prise de vue autonome, basé sur un Raspberry Pi, destiné à photographier des éoliennes et évaluer leur visibilité.

### 1. Les objectifs SMART

Un objectif SMART est une méthode efficace pour définir un but en s'assurant qu'il est clair, mesurable, ambitieux mais atteignable, et assorti d'une échéance. Un objectif SMART est donc *Spécifique, Mesurable, Ambitieux, Réaliste* et *Temporel*.

Ainsi, pour chaque objectif de ce projet, j'ai appliqué cette méthodologie SMART :

**Objectif 1 : Réactiver et améliorer un système photographique existant mais non fonctionnel.**



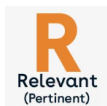
→ Identifier et résoudre les problèmes techniques du système actuel pour le rendre fonctionnel.



→ Le système doit capturer et transmettre des images fiables 100% du temps.



→ Utiliser des composants déjà intégrés (Raspberry Pi, caméra, réseau GSM) avec des ajustements logiciels et matériels pour corriger les dysfonctionnements.



→ Permet d'atteindre les objectifs de capture d'images à distance et de traitement ultérieur.



→ Objectif à atteindre en 8 semaines

**Objectif 2 : Concevoir un système de traitement et d'analyse d'image capable de classer les images par niveau de visibilité d'un objet photographié dans le paysage.**





Développer un algorithme pour l'analyse et le traitement d'image, visant à évaluer la visibilité des éoliennes dans les photos. Cet algorithme devra inclure des techniques de traitement d'image et d'analyse de visibilité, permettant une évaluation précise des conditions de visibilité.



Le système doit classer les images par niveau de visibilité, allant du moins visible au très visible. Cela sera mesuré en comparant les résultats de classification avec les images disponibles et leurs évaluations de visibilité.



S'appuyer sur des techniques de traitement d'image éprouvées, pour traiter et analyser les images. Utiliser les photos existantes pour valider l'efficacité de l'algorithme et des méthodes d'analyse.



Cet objectif permettra de différencier clairement les conditions de visibilité des éoliennes selon les images, facilitant ainsi la compréhension des impacts des facteurs environnementaux sur la visibilité.



Objectif à atteindre en 3 semaines

***Objectif 3: Établir une corrélation pour évaluer l'influence des conditions météorologiques (température, pression, humidité) sur la visibilité des éoliennes dans les images capturées.***





Collecter et analyser les données météorologiques (température, pression, humidité) associées aux images capturées pour établir une corrélation quantitative entre ces paramètres et la visibilité des éoliennes. Cette analyse intégrera également le point de rosée comme facteur d'évaluation, en s'appuyant sur les données historiques disponibles.



Utiliser Excel pour établir des nuages de points et des courbes de tendance entre les données. L'objectif est d'obtenir au moins un coefficient de corrélation supérieur à 0.7, indiquant une forte corrélation entre les conditions météorologiques et la visibilité des éoliennes, ou d'en tirer d'autres conclusions significatives.



Rassembler les données météorologiques et de visibilité pour un minimum de 1000 images capturées, puis réaliser une analyse détaillée à l'aide d'Excel. Cette analyse comprendra des calculs du point de rosée pour enrichir l'évaluation de la visibilité.



Cet objectif contribuera à une meilleure compréhension de l'impact des conditions météorologiques sur la visibilité des éoliennes. En identifiant les conditions optimales, il permettra d'améliorer les prises de vue et de prédire les meilleures périodes pour observer les éoliennes tout au long de l'année.



Objectif à atteindre en 3 semaines

## 2. Analyse du projet

L'analyse du projet de relance et d'amélioration d'un système de prise de vue autonome avec un Raspberry Pi révèle une série de défis et d'objectifs structurés autour de quatre axes :

- *Relancer le système.*

- Assurer l'accessibilité des données via le site web associé.
- Analyser les images et les données météorologiques.
- Assurer la maintenance technique du boîtier.

### a) Matrice **SWOT**

La matrice **SWOT** est un outil d'analyse stratégique conçu pour évaluer en profondeur une situation. Son nom est l'acronyme de quatre termes anglais : *Strength* (forces), *Weakness* (faiblesses), *Opportunities* (opportunités) et *Threats* (menaces). Cette matrice s'applique à différents contextes, qu'il s'agisse d'une entreprise, d'un projet (comme dans notre cas) ou même d'une personne. Elle permet ainsi de mettre en évidence les aspects positifs (forces et opportunités) et les points d'amélioration (faiblesses et menaces) afin d'obtenir une vision globale de la situation.

F O R C E S	<b>FORCES / STRENGTHS</b>	<b>FAIBLESSES / WEAKNESSES</b>	F A I B L E S S E S
	<ul style="list-style-type: none"><li>* Accès à des technologies adaptées au projet.</li><li>* Accès aux comptes rendus et retours des précédents stagiaires, offrant une base solide de connaissances.</li><li>* Support d'une équipe expérimentée pour accompagner l'évolution du projet.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>* Manque d'expérience sur certains aspects du projet, ce qui a ralenti l'avancement des tâches.</li><li>* Difficulté d'adaptation aux solutions et approches mises en place par les stagiaires précédents, ce qui a entravé l'évolution du projet dans un premier temps.</li></ul>	
M E N A C E S	<b>MENACES / THREATS</b>	<b>OPPORTUNITES / OPPORTUNITIES</b>	O P P O R T U N I T É S
	<ul style="list-style-type: none"><li>* Manque de connaissances spécifiques sur le secteur d'activité de l'entreprise.</li><li>* Difficulté à bien comprendre et intégrer le projet de Système de prise de vue autonome basse consommation, basé sur Raspberry Pi, avec traitement d'image et transmission par GSM.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>* Découverte et maîtrise de Python en environnement embarqué, ainsi que de nouveaux outils comme Shell et Expect.</li><li>* Adaptation à un système basé sur Raspbian, une distribution Linux largement utilisée dans le monde de l'embarqué.</li><li>* Acquisition de nouvelles compétences et connaissances dans des domaines techniques variés (systèmes embarqués, automatisation, traitement d'image).</li></ul>	

Tableau 2: Matrice SWOT du projet (Réalisé sous excel)

Concernant les dépenses, l'entreprise prendra en charge les frais liés aux outils technologiques, notamment le *Raspberry Pi*, le *Witty Pi*, le *capteur météo*, ainsi que les *coûts des modifications apportées au boîtier*. Bien que ces dépenses soient essentielles à la réalisation du projet, le produit final étant destiné à un usage interne et non à la vente, les coûts engagés ne seront pas compensés par des revenus directs.

### *b) Acteurs impactant le projet*

En complément de mes recherches personnelles, je sollicite mon tuteur de stage ainsi que les autres membres de l'équipe Géophom lorsque je rencontre des difficultés. Leurs conseils avisés m'aident à progresser plus efficacement. Lorsque les ressources internes s'avèrent insuffisantes, je me tourne vers des forums spécialisés, tels que *UUGear*, pour trouver des solutions aux problèmes techniques liés au Raspberry Pi et au WittyPi. Cette démarche permet d'explorer des nouvelles approches et d'élargir mes compétences.

L'ESEO joue également un rôle clé dans l'avancement du projet. J'ai pu contacter des enseignants pour des conseils spécialisés : Mathieu FEUILLOY m'a apporté son expertise en traitement d'image, tandis que Samuel POIRAUD m'a conseillé sur l'étanchéité de mon boîtier.

## 3. Méthodologie de gestion de projet

La méthodologie que j'ai appliquée, durant mon stage s'appuie sur une méthode agile. Cette approche me permet de travailler en **sprints**, c'est-à-dire en cycles de développement courts d'environ deux semaines, avec des objectifs clairement définis à atteindre à chaque itération. Cela s'est avéré bénéfique pour l'amélioration du système photographique, la réactivation du site web et l'analyse progressive des corrélations entre les images et les données météorologiques.

En intégrant des réunions quotidiennes (*Daily Scrums*), je peux suivre mes avancées et identifier rapidement les obstacles. Les revues de sprint ont également été cruciales, me permettant d'évaluer mes progrès et d'ajuster les priorités en fonction des résultats obtenus. J'ai donc décomposé mon projet en étapes plus simples et limitées dans le temps, ce qui a facilité la gestion et l'exécution des tâches.

Mon projet comporte 14 sprints détaillés ci-dessous :

SPRINT	Semaines	Tâches
1	1	Appropriation du sujet, analyse de l'état actuel, identification des problèmes et des besoins d'amélioration.
2	2	Précision des objectifs de performance, élaboration d'un calendrier détaillé et répartition des tâches.
3	3	Étude du matériel existant (Raspberry Pi, capteurs, caméra) et installation des logiciels (Raspbian) nécessaires au développement.
4	4	Revue du code existant et compréhension du fonctionnement global du système. Mise en place de la communication GSM pour la transmission des images.
5	5	Optimisation de la transmission des images via GSM, en assurant la fiabilité et la rapidité. Développement et test du code pour la capture d'images et leur transfert vers le serveur web via FTP.
6	6	Développement de la fonctionnalité permettant à l'interface web de récupérer et d'afficher les images diffusées sur le serveur. Test de l'interface pour s'assurer que GEOPHOM peut visualiser les images de manière fluide et sans erreurs.
7	7	Intégration d'un capteur météo au système. Mise en place du système d'acquisition des données météorologiques et d'affichage de ces données sur le site web.
8	8	Travail sur la consommation d'énergie du système : implémentation de techniques pour réduire la consommation du Raspberry Pi et de l'appareil photo.
9	9	Développement du système de reconnaissance d'image pour classifier les images en fonction de la visibilité des turbines.
10	10	Test et validation des algorithmes de classification d'images à l'aide d'un ensemble de données (photos) déjà disponibles.
11	11-12	Confrontation des résultats de la classification des images de visibilité avec les données météorologiques, puis visualisation et interprétation des corrélations à l'aide de graphiques ou de tableaux.
12	13	Mise en place d'un fichier Excel pour afficher les résultats sous forme de graphiques de nuage de points et de tableaux, afin de comprendre comment les conditions atmosphériques influencent la visibilité des turbines éoliennes et la qualité des photos.
13	14-15	Rédaction du rapport de stage, préparation d'une présentation PowerPoint, et mise à jour des manuels déjà réalisés par Pierre pour la prochaine personne qui travaillera sur le projet.
14	16-17	Réglage et mise en place d'un premier prototype fonctionnel, sur le terrain.

Tableau 3: Planning prévisionnel de travail

#### 4. Analyse des impacts écologiques et sociaux de GEOPHOM

Géophom, en tant que petite entreprise, ne dispose pas encore d'un service dédié à l'analyse des impacts écologiques, ni d'un service engagée dans une démarche visant à réduire ses émissions de gaz à effet de serre et ses impacts environnementaux. Cependant, Géophom comptabilise le co2 de ses déplacements en voiture et l'énergie électrique consommée est d'origine renouvelable.

A travers mon projet, nous pourrions poser les bases d'une analyse environnementale. Ce projet permettrait de prédire la visibilité théorique des éoliennes sur d'autres sites en fonction des données météorologiques locales, fournissant ainsi à Géophom un outil d'analyse avancés et un modèle prédictif de plus, pour estimer la visibilité en fonction des conditions climatiques. Ce modèle enrichirait les documents paysagers produits par l'entreprise et améliorerait l'évaluation visuelle de futurs projets.

En réalisant des photomontages et des analyses de visibilité, Géophom aide les développeurs à anticiper l'impact visuel de leurs installations sur le paysage. En adoptant des solutions logicielles open-source, l'entreprise optimise ses ressources, réduit son empreinte écologique, et sensibilise le public aux enjeux environnementaux liés aux énergies renouvelables.

## VI. REALISATION AU COURS DU STAGE: *Mon projet*

Pour débiter mon projet, j'ai d'abord procédé à une appropriation du sujet en réalisant une analyse approfondie de l'état actuel du système. Cela m'a permis d'identifier les problèmes existants ainsi que les besoins d'amélioration nécessaires. J'ai ensuite précisé les objectifs de performance à atteindre, tout en élaborant un calendrier détaillé et en répartissant les tâches entre les différentes étapes du développement.

L'étape suivante a consisté à étudier le matériel déjà en place, notamment le *Raspberry Pi*, le *Witty Pi*, le *capteur météo*, la *clé 4G*, l'*appareil photo numérique (APN)*, le *panneau solaire* et le *boîtier*, tous fournis par Géophom. Les choix matériels avaient été préalablement établis par les anciens étudiants Juliette COUTANT et Pierre ARCHER.

Le **boîtier** est un coffret conçu pour abriter le système. Il est étanche à la pluie, ne produit pas de buée et est compatible avec plusieurs type d'APN et longueur focale. De plus, il offre un support stable et est conçu pour résister aux intempéries, y compris aux conditions venteuses.



Figure 2: Boîtier



Le **Nikon D5300** : un APN type reflex.

La taille du capteur CMOS APSC (Advanced Photo System type-C) 25,1 x 16,7 mm. Résolution maximale de 6000 x 4000 pixels. Equipé d'un objectif 50mm. Cet APN est reconnu par le logiciel open-source GPhoto pour son utilisation par le Raspberry.



Figure 3: Nikon D5300

Pour alimenter l'appareil photo à partir d'une source externe, j'emploie un connecteur en forme de **fausses batteries**.



Figure 4: Fausse batterie d'alimentation

Le **Raspberry Pi B3+** est un nano-ordinateur monocarte à processeur ARM. C'est cette carte qui contrôle l'appareil photo. La consommation électrique du Raspberry Pi fluctue considérablement, variant de 100 mA à 800 mA à 5 V, en fonction des différentes phases d'allumage, de fonctionnement et de transmission de données via la 4G.



Figure 5: Raspberry Pi B3+

La **clé 4G**, branchée au Raspberry Pi, se connecte au réseau mobile 4G et diffuse une connexion Internet. Cela permet de connecter le système conçu à Internet pour assurer l'envoi des photos vers le serveur.



Figure 6: Clef 4G

Le **capteur météorologique BME280**: fournit des données précises et en temps réel sur la température, l'humidité et la pression. Il est connecté au Raspberry via l'interface I2C.



Figure 7: capteur BME280

Le **Witty Pi 4**: est une carte électronique qui intègre une horloge temps réel (RTC) et permet une gestion avancée de l'alimentation du Raspberry Pi. Elle offre des fonctionnalités telles que l'extinction automatique, le démarrage programmé et l'optimisation de la consommation d'énergie, contribuant ainsi à réduire considérablement la consommation du système entre les phases actives.



Figure 8: Witty Pi 4

Le **panneau solaire** est conçu pour capter l'énergie solaire et la convertir en énergie électrique. Cette énergie alimente la recharge d'une batterie de 12V, 7Ah, qui fournit ensuite de l'électricité au système connecté entre ses bornes positives et négatives.



Figure 9: panneau solaire

**Le régulateur/chargeur 12V BlueSolar de Victron Energy**: Le régulateur solaire, aussi appelé contrôleur de charge, optimise la charge de la batterie dans une installation photovoltaïque (PV) et augmente l'efficacité des panneaux solaires.



Affiche un rendement moyen de 75 %. Il offre une sortie de 12V avec une capacité de 5A ainsi qu'une sortie USB de 5V et 2A.

Figure 10: Régulateur solaire

« BlueSolar » 12V

Pour remédier à cette situation, j'ai un régulateur 5V supplémentaire directement sur la charge.

**Convertisseur abaisseur 12V / 9V, 3A** : Le convertisseur de type <<Buck>>, ou hacheur série, est une alimentation à découpage qui abaisse une tension continue d'entrée vers une tension continue inférieure. Grâce à une résistance variable (en



bleu), il permet de régler la sortie entre 1,25V et 37V pour une entrée de 4V à 40V, avec un rendement élevé d'environ 95 %. Ce convertisseur, intégré au système de mesure de consommation des appareils, est actuellement réglé pour fournir une sortie de 9V.



Figure 11: Convertisseur Buck Boost 1-40V

Par la suite, j'ai installé les logiciels requis, tels que le système (OS). Enfin, j'ai étudié le code existant pour comprendre le fonctionnement global du système, tout en mettant en place la communication GSM afin d'assurer la transmission des images capturées.

#### **A. Installation du Système Raspbian: *Introduction à l'environnement de développement***

Disposant d'un Raspberry Pi B3+, il m'était nécessaire de comprendre son utilité et son fonctionnement avant de l'intégrer dans mon projet.

Le « **Raspberry Pi** » est un nano-ordinateur monocarte à processeur ARM, de la taille d'une carte de crédit », qui combine flexibilité et faible coût, ce qui le rend idéal pour une grande variété de projets, notamment le prototypage, l'automatisation, et l'acquisition de données.

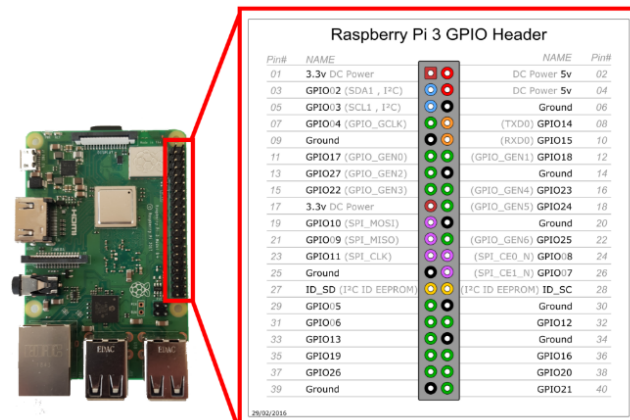


Figure 12: Raspberry Pi modèle B3+

En tant que micro-ordinateur compact, il fonctionne grâce à son système d'exploitation Debian basé sur un noyau Linux, ce qui permet une grande adaptabilité et une personnalisation facile. Il est largement utilisé dans des applications allant de l'électronique aux développements logiciels, en passant par l'Internet des objets.

Dans mon projet, le Raspberry Pi sert de **plateforme centrale** pour gérer le capteur météo, contrôler l'appareil photo, traiter les données météorologiques et transmettre les images via une connexion GSM.





**Figure 13: Raspberry Pi B3+ PinOut**

## 1. Téléchargement et installation de Raspbian

La première étape consiste à installer un système d'exploitation sur le Raspberry Pi. J'ai opté pour Raspbian (maintenant appelé Raspberry Pi OS), qui est une distribution Linux, optimisé pour le Raspberry Pi.

**Téléchargement de Raspberry Pi OS :** Je me suis rendu sur le site officiel de Raspberry Pi pour télécharger l'image du système d'exploitation. Il existe plusieurs versions disponibles, mais pour mon utilisation, j'ai choisi la version avec bureau et outils recommandés, car elle offre un bon équilibre entre légèreté et fonctionnalités.

**Création de la carte SD :** J'ai ensuite utilisé l'outil **Raspberry Pi Imager** pour copier l'image du système sur une carte SD de 64Go. Cet outil permet de sélectionner l'image téléchargée et d'installer facilement le système sur la carte SD.

**Premier démarrage :** Après avoir inséré la carte SD dans le Raspberry Pi, j'ai branché un moniteur, un clavier et une souris, fournis par Geophom, pour lancer le système. Au premier démarrage, Raspbian demande de configurer quelques paramètres de base, tels que la langue, le fuseau horaire et la connexion réseau.

## Configuration du Raspberry Pi

Une fois Raspbian installé et le Raspberry Pi démarré, la configuration initiale peut commencer.

**Mise à jour du système** : Pour assurer que tout soit à jour, j'ai exécuté les commandes dans les suivantes le terminal en tant qu'administrateur (Super Utilisateur DO):

```
pi@raspberrypi:~ $ sudo apt update
sudo apt upgrade
```

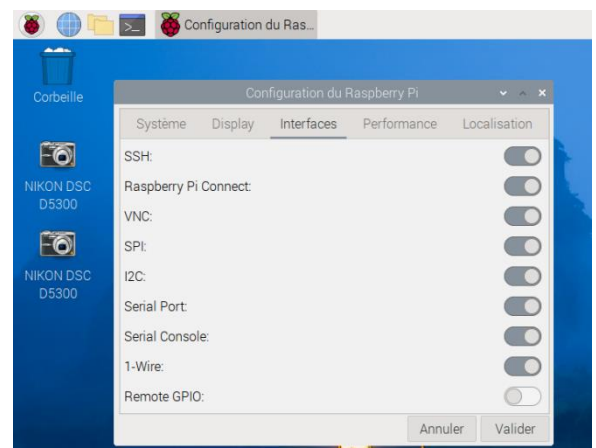
*Figure 14: Mise à jour du système*

Cela permet de télécharger et d'installer les dernières mises à jour logicielles.

**Configuration de SSH** : Comme mon projet implique un système autonome fonctionnant à distance, il est essentiel de pouvoir au Raspberry Pi à distance. Pour cela, j'ai activé SSH pour les connexions via terminal.

## Configuration du Wi-Fi et des interfaces GPIO

: Le Raspberry Pi sera installé dans un boîtier extérieur. J'ai également activé l'accès aux broches GPIO, nécessaires pour contrôler les capteurs et l'appareil photo via le Raspberry Pi.



*Figure 15: Configuration du Raspberry Pi*

## 2. Installation des outils de développement

Pour gérer le capteur et assurer la transmission des données, j'ai d'abord installé Python 3, puis ajouté progressivement les bibliothèques nécessaires au projet. Lorsque certaines bibliothèques ne pouvaient pas être installées directement, j'ai choisi de créer un environnement virtuel.

L'utilisation d'un environnement virtuel permet d'isoler les dépendances et bibliothèques spécifiques à un projet Python. Cet environnement est un dossier autonome qui inclut une installation dédiée de Python ainsi que les paquets nécessaires au projet. En isolant ces dépendances, il est possible de gérer les versions des paquets sans affecter le système global ni d'autres projets. Cela assure une

gestion propre et flexible des bibliothèques, permettant à chaque projet de fonctionner indépendamment.

```
pi@raspberrypi:~ $ python3 --version
Python 3.11.2
pi@raspberrypi:~ $ source mon_env_virtuel/bin/activate
(mon_env_virtuel) pi@raspberrypi:~ $ deactivate
pi@raspberrypi:~ $ |
```

Figure 16: Version du Python et environnement virtuel

L'environnement virtuel est nommé : **mon\_env\_virtuel**

Activer l'Environnement Virtuel : **activate**

Une fois activé, l'invite de commande change pour indiquer que nous sommes dans cet environnement. Cela signifie que toute bibliothèque installée **pip** à partir de ce point sera installée uniquement dans cet environnement.

Désactiver l'Environnement Virtuel : **deactivate**

## **B. Mise en Place de la Communication GSM: Assurer la transmission des images capturées**

Pour garantir la transmission efficace des images capturées par le système de photographie autonome d'éoliennes, l'intégration d'une communication GSM est essentielle. Cette étape permet d'envoyer les données à un serveur, permettant ainsi l'accès et l'analyse des images.

### **1. Configuration du modem GSM**

Le modem Huawei E3372, identifié par l'ID *12d1:14dc*, est connecté au Raspberry Pi. Pour commencer, il est crucial de s'assurer que le modem est bien reconnu et que les pilotes nécessaires sont installés.

#### **Vérification de la Connexion :**

En utilisant la commande **lsusb**, nous on confirme la détection du modem. Il est essentiel de vérifier que le modem est actif et fonctionnel.

```
pi@raspberrypi:~ $ lsusb
Bus 001 Device 007: ID 12d1:14dc Huawei Technologies Co., Ltd. E3372 LTE/UMTS/GSM HiLink Modem/Networkcard
Bus 001 Device 004: ID 046d:c534 Logitech, Inc. Nano Receiver
Bus 001 Device 005: ID 0424:7800 Microchip Technology, Inc. (formerly SMSC)
Bus 001 Device 003: ID 0424:2514 Microchip Technology, Inc. (formerly SMSC) USB 2.0 Hub
Bus 001 Device 002: ID 0424:2514 Microchip Technology, Inc. (formerly SMSC) USB 2.0 Hub
Bus 001 Device 001: ID 1d6b:0002 Linux Foundation 2.0 root hub
```

Figure 17: Détection du modem

## 2. Installation des Outils Nécessaires :

Pour configurer la communication avec le modem, installez les paquets nécessaires, tels que *usb-modeswitch*, qui permettent de gérer les modems USB.

### Établissement d'une Connexion Internet :

Configurez les paramètres APN (Access Point Name) nécessaires pour établir une connexion. Ceci est fait en utilisant des outils comme *NetworkManager*.

## 3. Vérification de la Connexion Internet :

Utilisez *ifconfig* pour vérifier l'interface réseau. Ici, *eth1* à l'adresse **IP 192.168.8.100**, indiquant qu'une connexion est active. Il s'agit de la connexion GSM.

```
pi@raspberrypi:~$ ifconfig eth1
eth1: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
    inet 192.168.8.100 netmask 255.255.255.0 broadcast 192.168.8.255
    inet6 fe80::bd0d:19e6:b5ee:81d9 prefixlen 64 scopeid 0x20<link>
    ether 0c:5b:8f:27:9a:64 txqueuelen 1000 (Ethernet)
    RX packets 2037 bytes 1576056 (1.5 MiB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 1276 bytes 96233 (93.9 KiB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0
```

Figure 18: Vérification de l'interface réseau

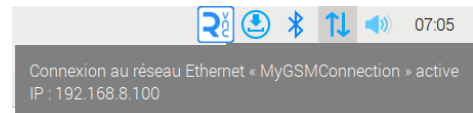


Figure 19: Connexion active via 4G

Vérifiez la connectivité à Internet en effectuant un ping : *ping google.com*

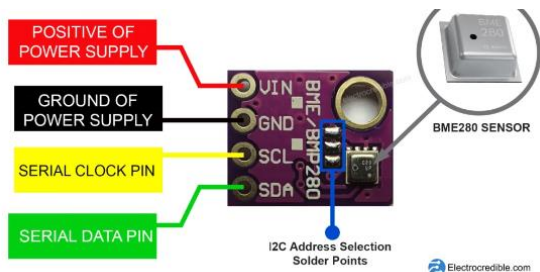
```
pi@raspberrypi:~$ ping google.com
PING google.com (142.250.200.46) 56(84) bytes of data.
64 bytes from lhr48s30-in-f14.1e100.net (142.250.200.46): icmp_seq=1 ttl=113 time=54.5 ms
64 bytes from lhr48s30-in-f14.1e100.net (142.250.200.46): icmp_seq=2 ttl=113 time=63.2 ms
64 bytes from lhr48s30-in-f14.1e100.net (142.250.200.46): icmp_seq=3 ttl=113 time=51.6 ms
64 bytes from lhr48s30-in-f14.1e100.net (142.250.200.46): icmp_seq=4 ttl=113 time=42.1 ms
^C
--- google.com ping statistics ---
4 packets transmitted, 4 received, 0% packet loss, time 3005ms
rtt min/avg/max/mdev = 42.069/52.820/63.184/7.538 ms
pi@raspberrypi:~$ |
```

Figure 20: la connectivité à Internet

### C. Intégration d'un Capteur Météo: Ajout d'une dimension environnementale au système

L'intégration du capteur météorologique dans le système est nécessaire pour collecter en temps réel des données environnementales telles que la *température*, l'*humidité* et la *pression atmosphérique* à chaque prise de vue. Ces informations seront utilisées pour établir des corrélations avec la visibilité des éoliennes et mieux comprendre les conditions affectant cette visibilité.

L'utilisation d'un capteur comme le BME280 présente plusieurs avantages. Contrairement aux capteurs analogiques, il fonctionne via une **interface numérique I2C**, ce qui simplifie son utilisation avec le Raspberry Pi, qui n'a pas de convertisseur analogique-numérique intégré. De plus, des bibliothèques Python telles que « **adafruit\_bme280** », « **busio** », et « **board** » facilitent la gestion de ce capteur.



**Figure 21: BME280 Branchement**



**Figure 22: BME280**

Le script ci-dessous, *meteo.py*, permet au capteur BME280 d'interagir avec le Raspberry Pi pour collecter les données météorologiques.

Voici comment fonctionne le code :

```
import time
import board
import busio
from adafruit_bme280 import basic as adafruit_bme280

# Initialisation du bus I2C
i2c = busio.I2C(board.SCL, board.SDA)

# Création de l'objet capteur BME280 (I2C)
bme280 = adafruit_bme280.Adafruit_BME280_I2C(i2c, address=0x76) # Changez ici si nécessaire

# Optionnel: Réglage de la pression au niveau de la mer
bme280.sea_level_pressure = 1013.25

# Lecture des données
temperature = bme280.temperature
pressure = bme280.pressure
humidity = bme280.humidity

#Renvoie une chaîne de caractère comprenant les données meteo
def recup_donnees():
    donnees = "T(C)-P(hPa)-Hum(%)-Alt-Az-EV-deltaEV_"
    donnees += "%0.1f" % temperature + "_ "
    donnees += "%0.1f" % pressure + "_ "
    donnees += "%0.1f" % humidity + "_ "
    return donnees
```

- La bibliothèque **busio** initialise le bus I2C pour la communication avec le capteur via les broches **SCL** et **SDA**.
- L'objet **bme280** est créé pour lire les données du capteur, avec une adresse I2C par défaut (0x76).
- Le paramètre **sea\_level\_pressure** est ajusté pour obtenir des mesures.
- Les données de température, pression et humidité sont récupérées via les attributs du capteur et renvoyées sous forme de chaîne de caractères formatée, ce qui permet de lire facilement les informations.

Cela permet d'assurer un suivi fiable des conditions météorologiques lors des prises de vue, facilitant ainsi l'analyse des influences sur la visibilité.

Pour garantir des mesures fiables de l'humidité, le capteur doit être installé dans une zone du boîtier suffisamment aérée, mais protégé contre les infiltrations d'eau. Dans ce cadre, des ouvertures ont été pratiquées sous le boîtier.

#### D. Fonctionnement du site web: *la visionneuse*

La visionneuse, conçue par Pierre, est hébergée sur le site web de Géophom et accessible à l'adresse : [sauron.geophom.fr](http://sauron.geophom.fr). Elle permet l'affichage des photos et répond à plusieurs exigences. Tout d'abord, chaque prise de vue doit être accessible en grand format, accompagnée des données météorologiques associées. Les différents points de vue doivent comporter des zones de cadrage communes, permettant à l'utilisateur de sélectionner une date et une heure précises pour afficher la prise de vue la plus proche de ce moment. La navigation entre les images doit être fluide, avec la possibilité de conserver le même cadrage lors du passage à la prise suivante. Des options supplémentaires facilitent le changement d'images, telles que l'accès à la dernière photo d'un jour sélectionné, à la première photo de ce jour, à la dernière photo prise, ou la possibilité d'avancer d'une heure ou d'un jour. Pour faciliter la maintenance, la visionneuse inclut des fonctionnalités telles que la définition et l'archivage de plusieurs points de vue, ainsi que le recalcul des cadrages associés.

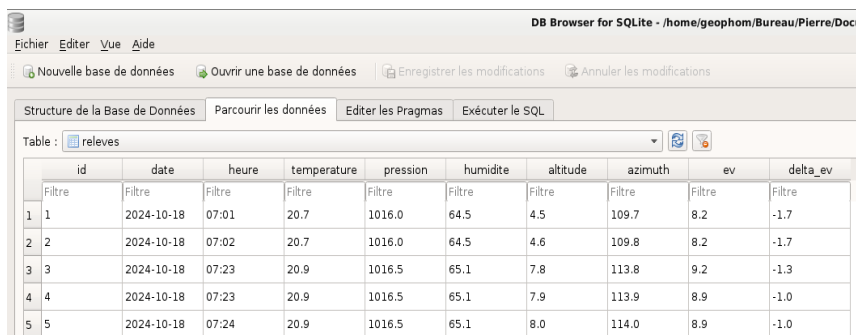
Cette visionneuse était devenue inutilisable en raison d'une base de données corrompue, conséquence d'une panne du système: les photos n'étaient plus capturées, et d'autres données comme la température, l'humidité et la pression n'étaient plus enregistrées dans la base. Par conséquent, celle-ci ne se chargeait plus complètement ; parfois, seules certaines données y étaient encore stockées.

La base de données initiale, appelée **Sauron** et créée par Pierre, ne comportait qu'une seule table : **releves** contenant des informations telles que l'heure et la date de la prise de vue, la température, la pression, l'humidité, l'altitude, l'azimut,

ainsi que les valeurs EV et delta\_EV. J'ai donc archivé cette ancienne base de données et mis en place une nouvelle structure.

La nouvelle base de données comporte désormais deux tables : la première, **`releves`**, contient les informations initialement établies par Pierre. La seconde table, **`stddev\_values`**, enregistre, après traitement d'image, la valeur de visibilité pour chaque niveau de zone (de 1 à 7) sur l'image en grand format. Cette table inclut également le point de rosée, calculé pour chaque prise de vue en fonction des données de température, de pression et d'humidité, afin de fournir une évaluation complète des conditions atmosphériques au moment de la capture.

Le traitement et l'analyse des images des éoliennes, à différents niveaux de zone (de 1 à 7), permettant de déterminer un indice de visibilité, seront abordés plus en détail dans une section ultérieure. De même, le calcul du point de rosée sera expliqué dans une autre section.



DB Browser for SQLite - /home/geophom/Bureau/Pierre/Doc

Fichier Editer Vue Aide

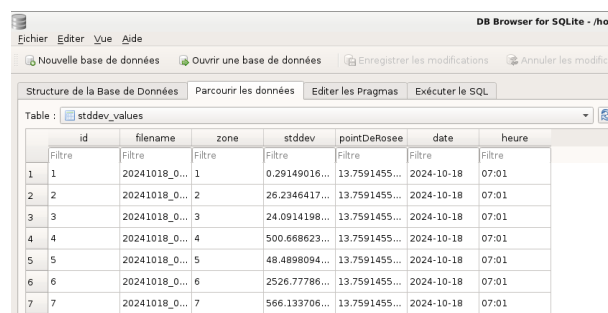
Nouvelle base de données Ouvrir une base de données Enregistrer les modifications Annuler les modifications

Structure de la Base de Données Parcourir les données Editer les Pragma Exécuter le SQL

Table : releves

	id	date	heure	temperature	pression	humidite	altitude	azimuth	ev	delta_ev
1	1	2024-10-18	07:01	20.7	1016.0	64.5	4.5	109.7	8.2	-1.7
2	2	2024-10-18	07:02	20.7	1016.0	64.5	4.6	109.8	8.2	-1.7
3	3	2024-10-18	07:23	20.9	1016.5	65.1	7.8	113.8	9.2	-1.3
4	4	2024-10-18	07:23	20.9	1016.5	65.1	7.9	113.9	8.9	-1.0
5	5	2024-10-18	07:24	20.9	1016.5	65.1	8.0	114.0	8.9	-1.0

**Figure 23: table 'releves' de la base de donnée Sauron**



DB Browser for SQLite - /home

Fichier Editer Vue Aide

Nouvelle base de données Ouvrir une base de données Enregistrer les modifications Annuler les modifications

Structure de la Base de Données Parcourir les données Editer les Pragma Exécuter le SQL

Table : stddev\_values

	id	filename	zone	stddev	pointDeRosee	date	heure
1	1	20241018_0...	1	0.29149016...	13.7591455...	2024-10-18	07:01
2	2	20241018_0...	2	26.2346417...	13.7591455...	2024-10-18	07:01
3	3	20241018_0...	3	24.0914198...	13.7591455...	2024-10-18	07:01
4	4	20241018_0...	4	500.668623...	13.7591455...	2024-10-18	07:01
5	5	20241018_0...	5	48.4898094...	13.7591455...	2024-10-18	07:01
6	6	20241018_0...	6	2526.77786...	13.7591455...	2024-10-18	07:01
7	7	20241018_0...	7	566.133706...	13.7591455...	2024-10-18	07:01

**Figure 24: table 'stddev\_values' de la base de donnée Sauron**



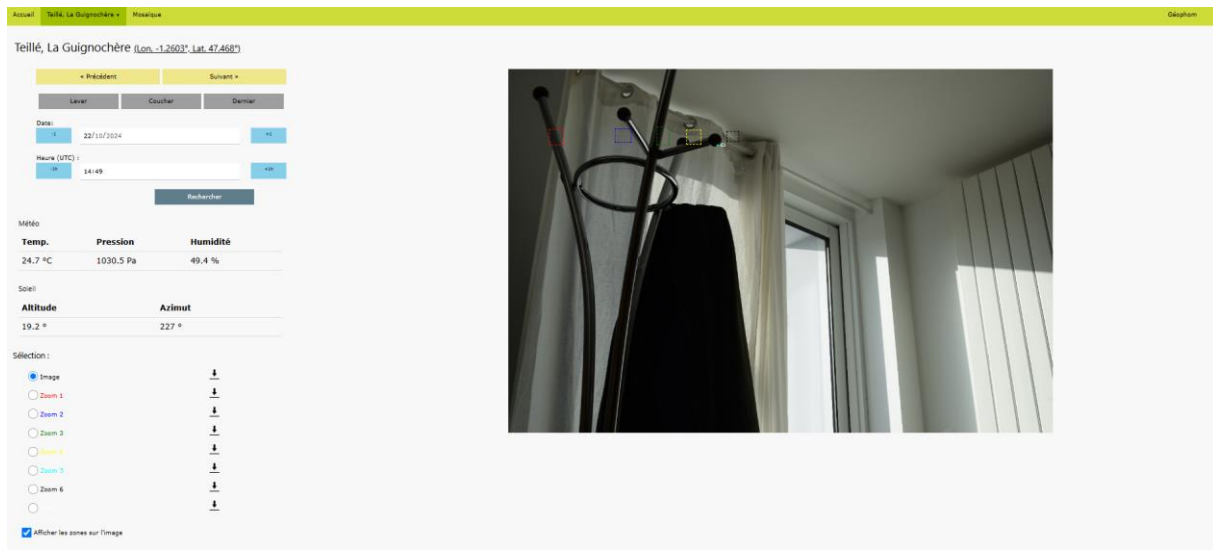


Figure 25: Une prise de vue consultée sur la visionneuse

## E. Optimisation de la Consommation Énergétique: Techniques pour réduire la consommation du Raspberry Pi et de l'appareil photo

### 1. Raspberry

Pour optimiser la consommation énergétique du Raspberry Pi, j'ai utilisé un Witty Pi 4. La commutation du Raspberry-Pi s'avère plus complexe que celle de l'appareil photo. Auparavant, Pierre avait utilisé un Witty Pi 3, mais ce dernier ne fonctionnait plus. Nous avons donc opté pour le Witty Pi 4, qui est la dernière version du Witty Pi. Le Witty Pi 4 se distingue par ses performances accrues, offrant une meilleure fiabilité et des fonctionnalités améliorées.



Figure 26: Witty Pi4

### Exemple d'une différence au point de vue Software



```
pi@raspberrypi ~/wittyPi $ ./wittyPi.sh

Witty Pi - Realtime Clock + Power Management for Raspberry Pi

< Version 4.00 > by Dun Cat B.V. (UUGear)

>>> Current temperature: 35.625° C / 96.125° F
>>> Your system time is: 2022-05-15 11:14:18 CEST
>>> Your RTC time is: 2022-05-15 11:14:17 CEST
>>> Vout=5.00V, Iout=0.51A
Now you can:
1. Write system time to RTC
2. Write RTC time to system
3. Synchronize with network time
4. Schedule next shutdown
5. Schedule next startup
6. Choose schedule script
7. Set low voltage threshold
8. Set recovery voltage threshold
9. Set over temperature action
10. Set below temperature action
11. View/change other settings...
12. Reset data...
13. Exit
What do you want to do? (1~13)
```

Figure 27: Software du Witty Pi4

Lorsque le Raspberry Pi est éteint, il ne peut pas se réveiller de lui-même. Cependant, avec la carte Witty Pi, qui intègre une horloge interne, il est possible de réactiver le Raspberry Pi après une configuration préalable. Le Witty Pi 4 permet ainsi d'allumer le Raspberry Pi uniquement pendant la durée nécessaire à l'exécution du script de photographie, optimisant ainsi la gestion de l'énergie.

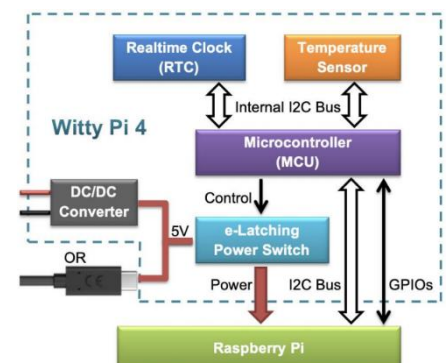


Figure 28: Présentation du Witty Pi4

Le mode veille du Raspberry Pi est géré par un script nommé **veille.py**, qui a été initialement écrit par Pierre et modifié par la suite par moi. Cette fois-ci, le script **veille.py** prend en compte également un script **except veille.sh** qui permet de mettre le système en veille pour une durée de 15 minutes.

Voici un aperçu du fonctionnement du script :

```
#!/usr/bin/expect

# Spécifier le chemin vers le script wittyPi.sh
set script_path "/home/pi/wittypi/wittyPi.sh"

# Calculer l'heure d'arrêt (1 minute à partir de maintenant)
set shutdown_time [exec date -d "+25 seconds" "+%d %H:%M:%S"]

# Calculer l'heure de démarrage (15 minutes après l'arrêt)
set startup_time [exec date -d "+ 900 seconds" "+%d %H:%M:%S"]

# Démarrer le programme
spawn sudo $script_path

# Attendre que le menu principal soit affiché
expect "What do you want to do? (1~13)"

# Sélectionner l'option 4 pour programmer l'arrêt
send "4\r"

# Attendre l'invite pour entrer l'heure de l'arrêt
expect "Schedule next shutdown \[.*\]"

# Envoyer l'heure d'arrêt
send "$shutdown_time\r"

# Attendre le retour au menu principal
expect "What do you want to do? (1~13)"

# Sélectionner l'option 5 pour programmer le démarrage
send "5\r"

# Attendre l'invite pour entrer l'heure du démarrage
expect "Schedule next startup \[.*\]"

# Envoyer l'heure de démarrage
send "$startup_time\r"

# Attendre le retour au menu principal
expect "What do you want to do? (1~13)"

# Sélectionner l'option 13 pour quitter
send "13\r"

# Attendre que le script se termine
expect eof
```

Ce script **veille.sh** utilise la bibliothèque **expect** pour automatiser la programmation des horaires d'arrêt et de démarrage du Raspberry Pi. Il calcule

d'abord l'heure d'arrêt : *shutdown\_time* et l'heure de démarrage *startup\_time* pour 15 minutes après. Ensuite, il interagit avec le script **wittyPi.sh** pour configurer ces horaires, assurant ainsi une gestion efficace de la consommation énergétique.

Le script **veille.sh** permet effectivement de mettre le Raspberry Pi en veille en coupant son alimentation et de programmer son redémarrage. Cependant, je rencontre des difficultés lors de son retour en mode actif. Dès qu'il sort du mode veille, il s'allume brièvement avant de s'éteindre après quelques secondes. Dans un premier temps, j'ai suspecté un problème d'alimentation insuffisante, mais cela ne semble pas être le cas. Le Raspberry Pi reçoit bien une tension proche de 5 V, ce qui est suffisant pour permettre au Witty Pi de le redémarrer correctement. Je continue à explorer les causes possibles de ce dysfonctionnement.

## 2. Appareil photo

En ce qui concerne l'appareil photo, je me suis basé sur les travaux de Pierre, qui a choisi d'utiliser un transistor pour la commutation. Contrairement à un relais, ce choix permet de réduire la consommation d'énergie en mode d'auto-maintien et de prolonger la durée de vie des composants. Pierre a initialement mis en place une simple commutation avec un MOSFET N, connecté à la masse de l'alimentation de l'appareil. Toutefois, le connecteur USB utilisé pour la communication avec le Raspberry Pi comportait également une masse, ce qui entraînait un passage de courant même lorsque l'appareil devait être éteint.

Pierre a modifié la configuration en intégrant des MOSFET P et N, ainsi qu'en ajoutant un interrupteur (AUTO/ON). Cet interrupteur permet de maintenir l'appareil photo allumé et d'effectuer les réglages de mise au point et de cadrage sans devoir réveiller le Raspberry.

En mode AUTO, le Raspberry Pi contrôle l'allumage et la mise en veille de l'appareil à travers la broche **GPIO 27**. En revanche, en mode ON, l'appareil reste allumé en continu, ce qui facilite les réglages sans interruption. Dans ce dispositif, le MOSFET P est relié à la masse et fournit une tension à l'appareil photo lorsque le microcontrôleur active le MOSFET N, ou lorsque l'interrupteur manuel met la grille du MOSFET P à la masse.

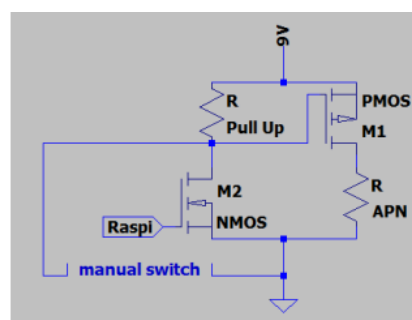


Figure 29: Circuit Numérique de la commutation

Enfin, j'ai pris le temps de vérifier que le circuit conçu par Pierre ne présentait pas de courts-circuits et demeurerait opérationnel, tout en remplaçant les fils de connexion usés et cassés afin d'assurer le bon fonctionnement de l'ensemble du montage.

## F. **Traitement et analyse d'image:** *Développement d'un système de traitement et d'analyse d'image*

Afin de relier la *visibilité* des éoliennes, telle qu'elle apparaît sur les photos, aux facteurs météorologiques (température, pression, humidité) mesurés au moment de la prise de vue, il faut établir une relation mathématique entre ces deux caractéristiques.

Dans le cadre de mon projet, j'ai donc développé un système de traitement et d'analyse d'image en PHP, visant à classer les images des turbines éoliennes en fonction de leur visibilité. Pour ce faire, je récupère chaque image envoyée sur le serveur via un script nommé ***traitement.php***. Ce script joue un rôle essentiel dans le traitement et l'analyse des images en appliquant des algorithmes adaptés pour évaluer la visibilité tenant compte des conditions d'éclairage et des nuisances visuelles.

La méthode que j'ai adoptée repose sur le principe de ***l'écart type***, bien que je ne l'applique pas de manière traditionnelle. En effet, j'ai adapté cette approche pour l'ajuster aux particularités de mon projet. La première étape consiste à ***appliquer un filtre de lissage à l'image***, ce qui permet de réduire le bruit et d'améliorer la qualité des données. Le filtre de lissage que j'utilise est ajustable, ce qui me permet de l'optimiser selon les caractéristiques spécifiques des images traitées.

Une fois le bruit atténué, j'ai procédé à ***l'analyse de la zone centrale de l'image***, qui représente 50 % de sa taille totale. Cette zone est prise pour évaluer la visibilité, car elle concentre généralement l'intérêt visuel et correspond, sans aucun doute, à l'affichage de l'éolienne. En effet la présence d'autre éléments que le ciel ou l'éolienne perturbe le calcul raison pour laquelle je m'appuie sur 50 % de sa taille totale. J'ai effectué ***la conversion des pixels en niveaux de gris***, ce qui me permet de simplifier le traitement tout en préservant les informations nécessaires au calcul. Parallèlement, je calcule la somme des niveaux de gris dans cette zone centrale, ce qui me permet de déterminer la ***moyenne de luminosité***.

Pour calculer l'indice de visibilité, j'ai choisi de calculer la ***dispersion des niveaux de gris*** par rapport à cette moyenne, en utilisant la méthode des différences quartiques. Cette approche me permet de mesurer la variation des niveaux de gris, ce qui constitue le principe fondamental pour évaluer la visibilité. En combinant cette mesure avec la *moyenne de luminosité*, j'obtiens un *indice de visibilité*: ***stddev***, défini comme *le produit de l'écart type et de la luminosité*. Cet indice me permet d'évaluer la visibilité des images capturées et d'identifier les conditions dans lesquelles la visibilité des turbines est optimale.

Le code ci-dessous représente le traitement et l'analyse d'image effectué.

```
<?php

function calculate_stddev($image) {

    // Appliquer un filtre pour réduire le bruit (filtre de lissage)
    imagefilter($image, IMG_FILTER_SMOOTH, 5); // 5 est la force du lissage, ajustable cette valeur

    $width = imagesx($image); // largeur de l'image
    $height = imagesy($image); // hauteur de l'image

    // Définir la taille de la zone centrale (vous pouvez ajuster ces valeurs)
    $centralWidth = (int)($width * 0.5); // largeur de la zone centrale (50% de la largeur totale)
    $centralHeight = (int)($height * 0.5); // hauteur de la zone centrale (50% de la hauteur totale)

    // Calculer les coordonnées de la zone centrale
    $startX = (int)(($width - $centralWidth) / 2);
    $startY = (int)(($height - $centralHeight) / 2);

    $totalPixels = $centralWidth * $centralHeight; // nombre total de pixels dans la zone centrale

    $sum = 0;
    $pixels = [];

    // Première boucle : conversion en niveaux de gris et calcul de la somme dans la zone centrale
    for ($x = $startX; $x < $startX + $centralWidth; $x++) {
        for ($y = $startY; $y < $startY + $centralHeight; $y++) {
            // Récupérer la couleur du pixel
            $rgb = imagecolorat($image, $x, $y);
            $r = ($rgb >> 16) & 0xFF; // composante rouge
            $g = ($rgb >> 8) & 0xFF; // composante verte
            $b = $rgb & 0xFF; // composante bleue

            // Conversion en niveau de gris
            $gray = (0.299 * $r) + (0.587 * $g) + (0.114 * $b);

            // Stocke le niveau de gris pour une utilisation ultérieure
            $pixels[] = $gray;

            // Additionne le niveau de gris pour calculer la moyenne
            $sum += $gray;
        }
    }
}
```

```
// Additionne le niveau de gris pour calculer la moyenne
$sum += $gray;
}

// Calcul de la moyenne des niveaux de gris
$mean = $sum / $totalPixels;

// Deuxième boucle : calcul de la différence par rapport à la moyenne, élevée à la puissance 4
$sumOfQuarticDifferences = 0;
foreach ($pixels as $gray) {
    $difference = $gray - $mean; // Différence entre le niveau de gris et la moyenne
    $quarticDifference = pow($difference, 4); // Élevation à la puissance 4
    $sumOfQuarticDifferences += $quarticDifference; // Somme des puissances 4 des différences
}

// Calcul de la moyenne des différences élevées à la puissance 4
$meanQuarticDifference = $sumOfQuarticDifferences / $totalPixels;

$ecart = sqrt($meanQuarticDifference);

$luminosite = sqrt($mean);

$stddev = $ecart * $luminosite; // le critere de visibilité stddev = produit de la moyenne et de l'écart

return $stddev; // retourner cette valeur
}

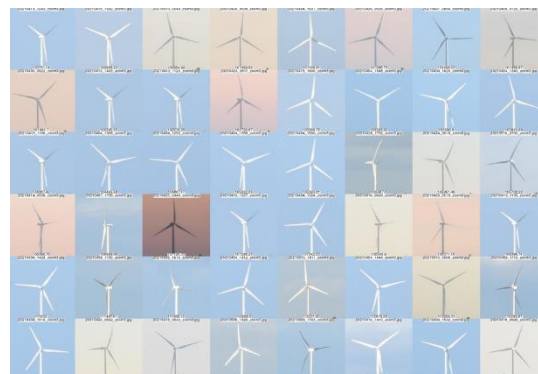
?>
```

Pour évaluer l'efficacité de ce programme dans le calcul d'un critère de visibilité pertinent, j'ai utilisé un ensemble de 2122 *photos*. J'applique le traitement et l'analyse d'image à ces photos, puis je les classe par ordre croissant de visibilité, allant des moins visibles aux plus visibles.

Le programme fonctionne globalement bien, mais présente quelques imperfections, notamment lors du passage d'images où les éoliennes passent du moins visibles à celles partiellement visibles. Il arrive que certaines éoliennes légèrement invisibles soient classées après des éoliennes qui semblent visibles à l'œil nu, créant ainsi une légère incohérence dans le classement. Cependant, dans l'ensemble, le programme parvient à bien identifier et classer les éoliennes les plus faibles en visibilité en premier, suivies des plus visibles. La principale difficulté réside dans la phase de transition, où le mélange entre des photos moins visibles et partiellement visibles est parfois moins évident à distinguer de manière algorithmique, même si cette différence est facilement perceptible visuellement.



**Figure 30: Photos d'éoliennes avec faible visibilité**



**Figure 31: Photos d'éoliennes visibles**



**Figure 32: Phase de transition comportant les incohérences**

En somme, ce système de classification d'images est fondamental pour améliorer la compréhension de l'impact des conditions environnementales sur la visibilité des turbines éoliennes. Grâce à cette méthode, je peux non seulement classifier les images en fonction de la perception des éoliennes, mais également établir des corrélations avec les données météorologiques, contribuant ainsi à une meilleure analyse des performances du système photographique.

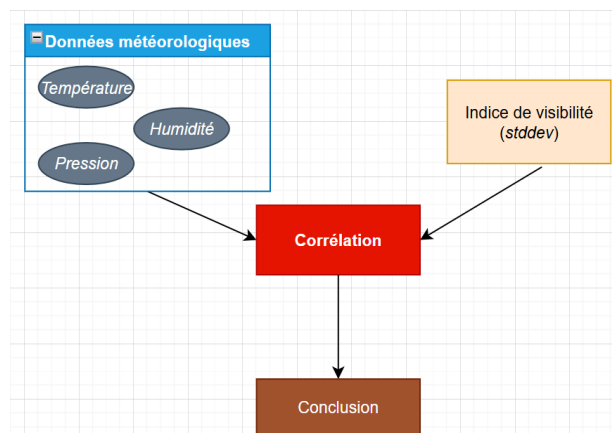


## G. Analyse de la Corrélation entre la Visibilité et les Paramètres Météorologiques: *Évaluation des influences environnementales sur la visibilité*

L'analyse de la corrélation entre la visibilité et les paramètres météorologiques constitue un élément clé de mon projet, visant à comprendre comment les conditions environnementales influencent la visibilité du paysage, notamment la visibilité des éoliennes. Cette analyse repose sur l'examen de facteurs météorologiques comme la *température*, l'*humidité* et la *pression atmosphérique* pour évaluer leur impact sur la *visibilité* des éoliennes.

La **corrélation** se définit comme un lien ou un rapport réciproque entre deux ou plusieurs éléments. Selon le dictionnaire Larousse, en statistique, elle est décrite comme une « liaison entre deux caractères (*corrélation simple*) ou plus (*corrélation multiple*) telle que les variations de leurs valeurs soient toujours de même sens (corrélation positive) ou de sens opposé (corrélation négative) ».

En suivant cette définition, j'ai choisi de simplifier l'analyse en regroupant les facteurs météorologiques en un indicateur unique : le **point de rosée** ou la **température de rosée**, permettant ainsi de mettre en évidence un lien direct entre les conditions climatiques globales et la présence potentielle de brume, ce qui réduit la visibilité des éoliennes.



**Figure 34: Diagramme montrant une corrélation simple**



## 1. Collecte des Données Météorologiques

Chaque photo capturée est accompagnée de données météorologiques collectées par le capteur météo BME280 intégrés au système. Ces informations incluent la *température*, l'*humidité relative*, la *pression atmosphérique* et le *point de rosée*, calculé à partir de la température et de l'humidité. « **Le point de rosée ou température de rosée** est la température sous laquelle de la rosée se dépose naturellement. Plus techniquement, en dessous de cette température qui dépend de la pression et de l'humidité ambiantes, la vapeur d'eau contenue dans l'air se condense sur les surfaces, par effet de saturation ».

Par exemple, une humidité élevée ou une température de rosée proche de la température ambiante peut indiquer une baisse de visibilité, en raison de la formation de brume ou de condensation. Ainsi, la variation de la visibilité des éoliennes est directement liée à ce phénomène de condensation, qui favorise la formation de brume et réduit la visibilité des éoliennes.

La formule que j'applique pour calculer la température de rosée provient de **l'équation d'approximation de la température de rosée de Magnus-Tetens**, utilisée couramment en météorologie. Cette formule est la suivante :

$$T_r = \frac{b \alpha(T, \varphi)}{a - \alpha(T, \varphi)}$$

Où :

**$T_r$**  désigne le point de rosée,

**$T$**  la température mesurée,

**$\varphi$**  l'humidité relative, entre 0 et 1 (soit 100%),

**$\alpha(T, \varphi)$**  la fonction  $\frac{aT}{b+T} + \ln \varphi$

**$a$**  et  **$b$**  deux constantes :  **$a= 17,27$**  et  **$b= 237,7$**  [°C].

Domaine de validité :

\*  $0 < T < 60$  °C

\*  $0,01$  (1 %)  $< \varphi < 1$  (100 %)

\*  $0 < T_r < 50$  °C

Elle permet d'estimer la température à laquelle la condensation de la vapeur d'eau dans l'air se produit, en fonction de la température ambiante et de l'humidité relative.

J'applique donc cette formule dans mon script `pointDeRosee.php` pour obtenir directement le point de rosée :

```
<?php
function calculerPointDeRosee($temperature, $humidite) {
    // Constantes pour la formule de Magnus-Tetens
    $a = 17.27;
    $b = 237.7;

    // Calcul de gamma (selon la formule)
    $gamma = ($a * $temperature) / ($b + $temperature) + log($humidite / 100);

    // Calcul du point de rosée
    $point_de_rosee = ($b * $gamma) / ($a - $gamma);

    return $point_de_rosee;
}
```

Ainsi, au moment de la prise de vue, je récupère la température, l'humidité relative, la pression atmosphérique fournies par le capteur météo, ainsi que le point de rosée, calculé à partir de la température et de l'humidité. Toutes ces données sont enregistrées simultanément avec l'image, assurant ainsi une correspondance précise entre chaque photo et les conditions atmosphériques au moment exact de la prise de vue.

## 2. Calcul de la Visibilité

L'indice de visibilité des éoliennes, rappelons-le, est calculé sur le principe de l'écart type des niveaux de gris dans la zone centrale de chaque image. Ce calcul permet de quantifier la visibilité des éoliennes sur la photo : plus l'écart type est élevé, plus l'éolienne sera potentiellement visible. Ce calcul, combiné aux données météorologiques, permet de suivre l'évolution de la visibilité en fonction des différentes conditions environnementales.

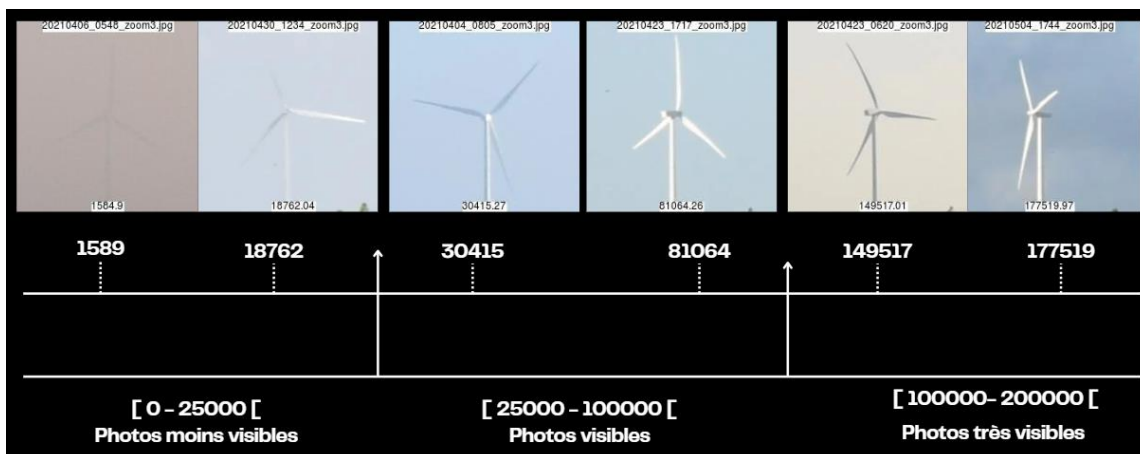
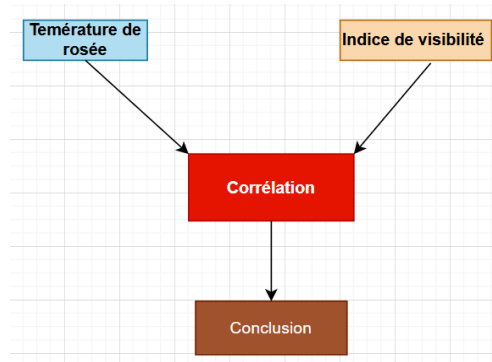


Figure 34: Évolution de la visibilité des éoliennes basée sur l'écart-type

### 3. Analyse des corrélations

Pour analyser la corrélation entre la visibilité des éoliennes et les paramètres météorologiques, j'ai décidé de simplifier l'étude en combinant les données météorologiques (température, pression, humidité) en une seule variable : la température de rosée. Ce choix permet de se concentrer sur l'analyse de deux valeurs principales: la visibilité des éoliennes et la température de rosée, qui reflètent l'influence globale des facteurs météorologiques. L'objectif est de déterminer dans quelle mesure ces variations procurent la visibilité des éoliennes.



**Figure 35: Diagramme montrant une corrélation simple entre la température de rosée et l'indice de visibilité**

Pour cela, j'utilise une feuille de calcul (*Excel*), où j'ai organisé un tableau associant chaque photo aux données suivantes : température, pression, humidité, température de rosée et l'indice de visibilité.

Pour cette analyse, je n'ai pas utilisé l'ensemble des photos, mais j'ai délibérément sélectionné uniquement celles dont la visibilité commençait tout juste à s'améliorer, c'est-à-dire les photos avec une valeur de visibilité inférieure ou égale à 5000. Ce seuil a été choisi car, au-delà de 5000, l'éolienne devient identifiable. J'ai ensuite tracé un nuage de points pour visualiser la relation entre la visibilité et la température de rosée, mais les résultats obtenus n'ont pas révélé de tendance distincte.



**Figure 36: Visibilité d'éolienne perçue aux environs de 5000**

Pour approfondir l'étude, j'ai décidé d'examiner séparément les corrélations entre la visibilité et chacun des autres paramètres météorologiques : température, humidité et pression. En comparant ces paramètres aux photos à faible visibilité, je cherche à identifier si l'un de ces facteurs météorologiques influence davantage la clarté des images, particulièrement lors des moments où la visibilité s'améliore mais reste encore partiellement faible.

#### 4. Visualisation des résultats

Les résultats de cette analyse sont représentés sous forme de graphiques de nuages de points, permettant de visualiser les relations entre chaque paramètre météorologique et l'indice de visibilité. Ces graphiques mettent en évidence les tendances et les anomalies, facilitant ainsi l'interprétation des résultats.

Par exemple :

##### a) Graphique entre la visibilité et la température de rosée

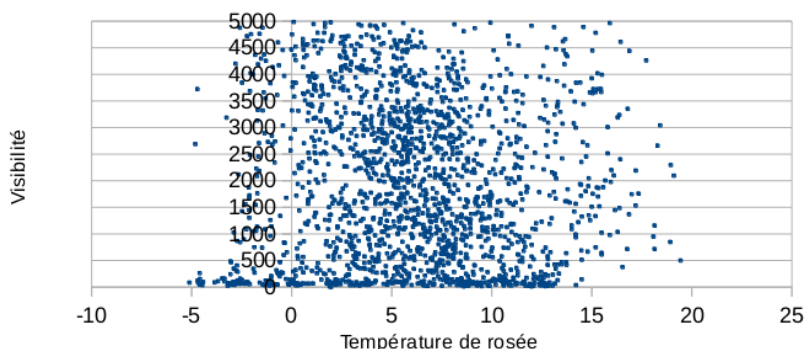
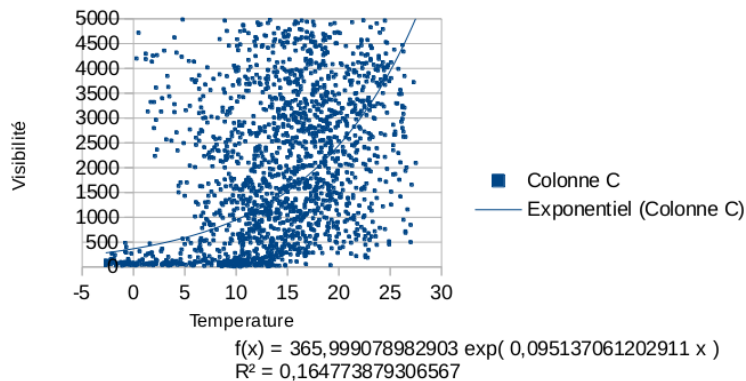


Figure 37: Graphique de Visibilité en fonction de la température de rosée

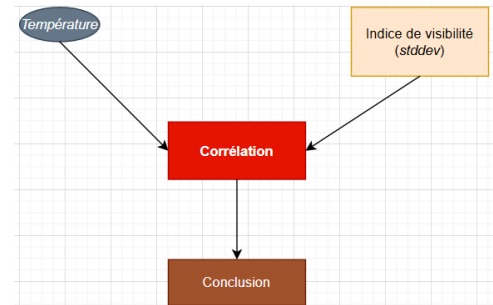
Dans l'analyse du graphique de nuage de points, où l'axe des **abscisses** représente la **température de rosée** et l'axe des **ordonnées** indique la **visibilité**, plusieurs observations clés émergent. Tout d'abord, on constate que la majorité des photos se situent dans une plage de température de rosée comprise entre -5 et 12 degrés Celsius. À ce niveau, les points affichent une dispersion très importante en matière de visibilité, avec un nombre notable de photos enregistrant une visibilité de 0. Cette concentration de points à faible visibilité, tout en étant accompagnée de quelques photos à forte visibilité, complique l'interprétation des résultats. En effet, il devient difficile de déterminer si la visibilité est réellement absente pour les photos à basse température de rosée, rendant ainsi l'établissement de conclusions solides sur la relation entre ces deux variables dans cette problématique d'intervalle.

En revanche, pour les températures s'étendant de 12 à 25 degrés Celsius, la dispersion diminue, et presque aucune photo ne présente une visibilité de 0. Cela indique qu'une température de rosée plus élevée est généralement associée à une meilleure visibilité, suggérant un lien positif entre ces deux variables.

### b) Graphique entre la visibilité et la température



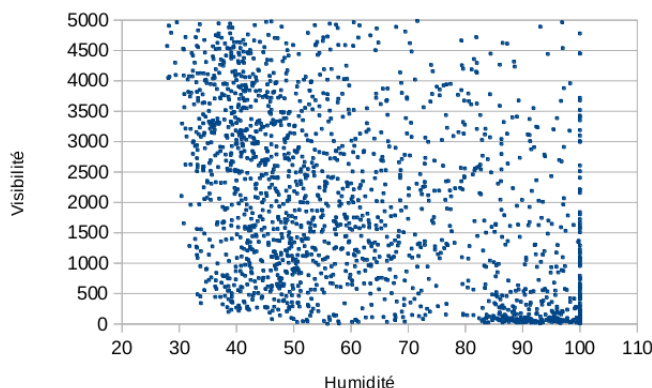
**Figure 38: Graphique de Visibilité en fonction de la température**



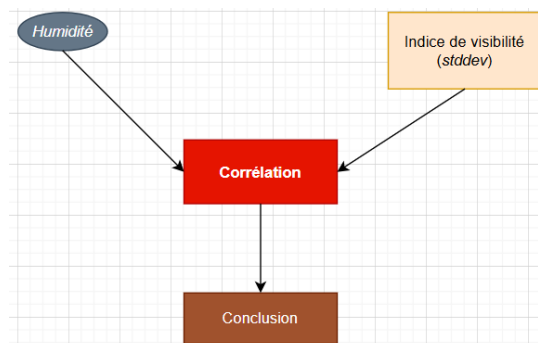
**Figure 39: Graphique de corrélation simple entre Température et la visibilité**

Dans l'analyse du graphique de nuage de points, où l'axe des **abscisses** représente la **température** et l'axe des **ordonnées** indique la **visibilité**, une tendance claire se dessine : la visibilité augmente progressivement avec la température. Cette relation suggère un comportement exponentiel croissante, indiquant que les températures plus élevées sont fortement corrélées à une visibilité accrue. Cette observation renforce l'idée que les conditions environnementales, telles que la température, jouent un rôle crucial dans la clarté des images.

### c) Graphique entre la visibilité et l'humidité



**Figure 40: Graphique de Visibilité en fonction de l'humidité**

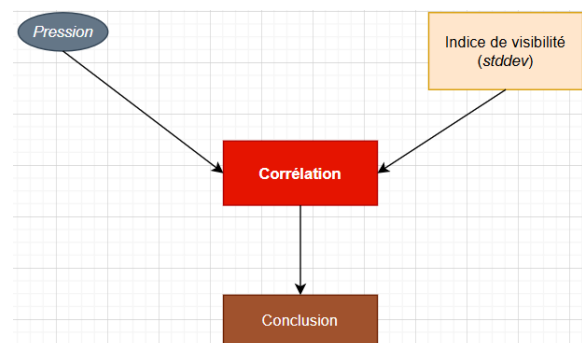
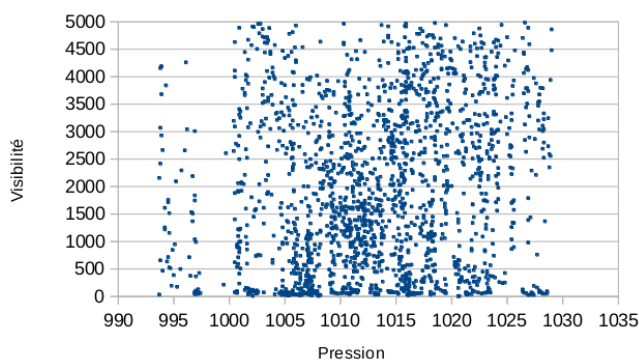


**Figure 41: Graphique de corrélation simple entre l'humidité et la visibilité**

Dans l'analyse du graphique de nuage de points, où l'axe des **abscisses** représente **l'humidité** et l'axe des **ordonnées** indique la **visibilité**, une tendance intéressante émerge. Bien que les points soient dispersés, on observe que lorsque l'humidité atteint des niveaux élevés, notamment entre 80 et 100 %, la visibilité diminue considérablement, avec plusieurs photos affichant une visibilité de 0. En revanche, lorsque l'humidité est inférieure à 80 %, il y a beaucoup moins de photos enregistrant une visibilité nulle.

Cette observation suggère qu'une humidité élevée est fortement corrélée à une détérioration de la visibilité, mettant en évidence l'impact négatif des conditions humides sur la clarté des images. Il serait donc crucial de prendre en compte les niveaux d'humidité lors de l'évaluation des conditions de prise de vue pour maximiser la visibilité des sujets photographiés.

#### d) Graphique entre la visibilité et la pression



**Figure 42: Graphique de Visibilité en fonction de la pression**

**Figure 43: Graphique de corrélation simple entre la pression et la visibilité**

Dans l'analyse du graphique de nuage de points, où l'axe des **abscisses** représente la **pression atmosphérique** et l'axe des **ordonnées** indique la **visibilité**, il est difficile de tirer des conclusions. Cependant, certaines tendances peuvent être notées. On observe qu'à des pressions faibles, comprises entre 0 et 1000 hPa, le nombre de points de données est limité. En revanche, au-delà de 1000 hPa, la majorité des points sont dispersés sur l'axe de la visibilité, indiquant une variation plus prononcée de la visibilité avec des valeurs de pression plus élevées.

Cette distribution suggère qu'il pourrait exister une relation entre la pression atmosphérique et la visibilité, bien que la dispersion des points rende cette relation difficile à quantifier. Une investigation plus approfondie serait nécessaire pour explorer comment les fluctuations de pression influencent la clarté des images.



## 5. Limites de l'analyse de la corrélation

En conclusion, l'analyse des corrélations entre la visibilité des éoliennes et les paramètres météorologiques, tels que la température, l'humidité et la pression, révèle des tendances floues. Une augmentation de la température semble favoriser une meilleure visibilité, tandis qu'une humidité élevée tend à la réduire. En revanche, la relation entre la pression atmosphérique et la visibilité reste ambivalente, marquée par une dispersion des données qui complique l'établissement de conclusions précises.

La notion de visibilité est complexe et ne peut être déterminée de manière unique et précise, car elle dépend de nombreux facteurs atmosphériques, au-delà de la température, de l'humidité et de la pression, incluant également les particules en suspension dans l'air, issues de l'humidité ou de la pollution. Ces particules influencent directement la clarté de l'atmosphère, rendant la visibilité variable selon les conditions de l'air. Pour quantifier cette visibilité, des outils comme le diffusomètre mesurent la concentration de particules dans un volume d'air, fournissant des données sur la clarté atmosphérique et permettant d'estimer la visibilité en mètres. Cependant, cet instrument n'a pas été utilisé dans ce projet, car sa mesure est limitée à un volume restreint d'atmosphère, ce qui ne reflète pas toujours la visibilité sur l'ensemble de la zone observée.

Des méthodes basées sur le contraste ont également été testées pour obtenir un indice de visibilité, mais elles n'ont pas donné de résultats concluants. En revanche, la méthode que j'ai adoptée, fondée sur l'écart type des niveaux de gris, s'est avérée plus efficace pour quantifier la visibilité.

Enfin, selon ***l'Organisation météorologique mondiale (OMM)***, la visibilité se définit comme « *la distance maximale à laquelle un objet noir de dimensions appropriées peut être vu et identifié, de jour comme de nuit* ». Cette définition souligne la complexité et les défis liés à la mesure et à l'interprétation de la visibilité.

Par ailleurs, le nombre limité d'échantillons pour certaines plages de données pourrait restreindre la portée des conclusions. Ces résultats soulignent la nécessité d'approfondir l'étude des interactions entre la visibilité et les facteurs environnementaux, en intégrant davantage de données et en affinant les méthodes d'analyse, afin d'acquérir une compréhension plus précise de cette problématique.

## H. Amélioration du Boitier: le cône



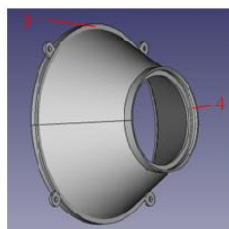
Le système complet sera installé dans un boîtier conçu par Pierre pour fonctionner sur le terrain. Après réflexion, Pierre a opté pour un cône encastré afin de protéger l'optique du boîtier contre la pluie. Plusieurs solutions étaient envisageables : une protection de la fenêtre de l'objectif, telle qu'un simple toit avec des rebords latéraux, ou un cylindre prolongé. Cependant, le choix s'est porté sur le cône, qui lui a semblé le plus efficace pour plusieurs raisons. En effet, un cône encastré dans le boîtier est à la fois plus résistant et compact, ce qui facilite le transport. De plus, il permet de placer des circuits ou la batterie en dessous. Positionnée près de l'objectif, cette ouverture réduit le risque de gouttelettes d'eau apportées par le vent tout en préservant un champ de vision suffisamment large.

À ce jour, les points de fixation du cône sont cassés, et ne permet plus l'étanchéité du boîtier. Pour renforcer cette fixation, j'ai envisagé plusieurs options, dont l'élargissement de la couronne pour améliorer la durabilité. Une autre amélioration pourrait consister à ajouter un joint en néoprène ou en caoutchouc autour du cône pour optimiser l'étanchéité. Nous pourrions également envisager une solution en "sandwich", avec un anneau en bois ou en métal qui viendrait presser le cône contre la paroi sur tout le pourtour, et qui serait solidement fixé à cette paroi.

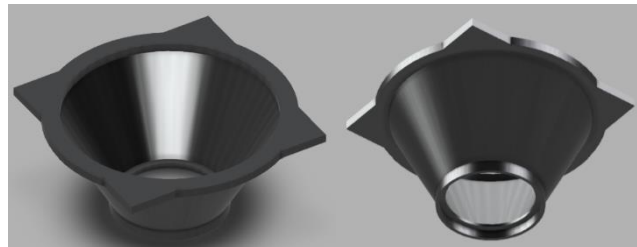
Finalement, après réflexion avec mon tuteur, nous avons opté pour l'élargissement de la couronne, une solution réalisée et imprimée par la société *Exprezis*, recommandée par mon enseignant Samuel POIRAUD.



1 : rebord supplémentaire contre le ruissellement  
2 : oreilles de fixation



3 : appui plan, surface de joint  
4 : zone d'emmanchement pour le filtre



**Figure 44:**

**Vue 3D du cône de protection contre la pluie (ancien modèle)**

**Figure 45:**

**Vue 3D du cône de protection contre la pluie (nouveau modèle)**

## VII. BILAN PERSONNEL

Avant de commencer mon stage chez Géophom, mon expérience professionnelle était relativement limitée, axée principalement sur des projets académiques. Dans ce cadre, je travaillais souvent sur des problèmes bien définis, guidé par des directives claires, notamment lors de mes cours d'informatique et d'électronique. Cependant, cette approche a été mise à l'épreuve lors de mon immersion dans le monde professionnel.

Au cours de mon stage, j'ai réussi à mener à bien la plupart des missions qui m'ont été confiées, bien que certaines aient été plus complexes que prévu. Il me reste à ce jour à résoudre le problème du dysfonctionnement du mode veille, à assembler tous les composants dans le boîtier et à mettre le projet en service sur le parc éolien. Au début de cette expérience, j'éprouvais des appréhensions à l'idée de me familiariser avec un projet existant, de comprendre les raisons de son non-fonctionnement et de trouver des solutions aux défis rencontrés.

Un point clé de mon expérience a été le soutien de mon tuteur, Frank. Il n'a jamais hésité à me motiver et à m'encourager, même dans les moments où j'avais du mal à trouver des idées. Grâce à ses conseils et à sa disponibilité, j'ai pu surmonter mes doutes et progresser dans mes missions. Cette relation a été déterminante pour ma confiance et mon intégration dans l'équipe.

Cette expérience m'a également permis de réaliser l'importance d'une collaboration avec mes collègues. En sollicitant leur avis sur des tâches que je ne savais pas comment aborder, notamment les notions de photographie et de Linux, j'ai optimisé mon temps de travail. Mon intégration a été facilitée par une équipe accueillante et ouverte, créant ainsi une atmosphère de travail positive et stimulante. J'ai pu me rapprocher d'eux à travers des sorties d'équipe, dont une visite d'un parc éolien offshore à Saint-Nazaire et des déjeuners en groupe, ce qui m'a permis de m'exprimer progressivement.

Sur le plan technique, ce stage a été une occasion d'évolution. J'ai approfondi mes compétences tout en acquérant de nouvelles connaissances sur des technologies que je ne maîtrisais pas auparavant. J'ai cherché à appliquer mes connaissances théoriques aux tâches quotidiennes, ce qui m'a permis de mieux répondre aux attentes de mon équipe.

En matière de gestion de projet, cette expérience a été particulièrement formatrice. Elle m'a permis de développer mes compétences en organisation dans un cadre professionnel réel. J'ai appris à prioriser mes tâches, à respecter des délais et à collaborer efficacement au sein d'une équipe.

En résumé, mon passage chez Géophom a marqué une transformation significative de ma mentalité et de ma méthodologie de travail, directement liée à ma première immersion dans le milieu professionnel. Grâce à l'encouragement de Frank et au soutien de mon équipe, j'ai renforcé mes compétences techniques tout en améliorant mes aptitudes en communication et en gestion de projet. Je me sens désormais mieux préparé à relever de futurs défis professionnels.

## VIII. CONCLUSION

Ce stage de quatre mois a marqué le début de mon parcours professionnel et m'a permis de découvrir le fonctionnement quotidien d'une entreprise. J'ai pu mettre en pratique ce que j'ai appris en classe dans un cadre dynamique, ce qui m'a motivé à m'investir davantage dans mes missions. Cette expérience m'a également aidé à identifier et à comprendre mes points faibles, tout en valorisant mes points forts.

J'ai eu l'opportunité d'explorer des enjeux importants liés aux installations éoliennes, notamment leur impact sur le paysage. Cela m'a permis de m'intéresser à la photographie et de mener une étude environnementale basée sur les données météorologiques pour évaluer la visibilité des éoliennes, enrichissant ainsi mon projet. Grâce à un capteur météo et à un appareil photo, le système doit prendre des photos régulièrement tout en étant économe en énergie. L'analyse des données météorologiques, comme la température, l'humidité et la pression, aide à établir des liens avec la visibilité des éoliennes, un élément pertinent dans le cadre des discussions publiques.

Au cours de cette expérience, j'ai approfondi mes connaissances techniques et renforcé mon intérêt pour les domaines abordés : l'électronique, l'informatique, le traitement et l'analyse d'image. Le projet génère des données précieuses pour les prévisions météorologiques et la création de photomontages. De plus, il ouvre plusieurs pistes d'amélioration dans les aspects mécaniques, électroniques et informatiques, tant pour le boîtier que pour le traitement des données. Chaque angle de prise de vue pourrait révéler des aspects uniques. Par ailleurs, si le projet était étendu aux éoliennes offshore, il pourrait permettre d'observer des phénomènes intéressants liés à l'environnement marin.

En résumé, ce projet démontre l'importance de l'innovation technologique dans le domaine des énergies renouvelables. Il pose des bases solides pour de futures recherches sur l'impact des conditions environnementales sur la visibilité des éoliennes.

## IX. ANNEXES

### A. CV



## ZINSOU-PLY ORNEL

Actuellement étudiant en **deuxième année** de cycle ingénieur à l'École Supérieure d'Électronique de l'Ouest (ESEO) et passionné par l'informatique, je souhaite poursuivre une carrière dans les domaines du **Cloud, des systèmes et de la sécurité**. J'ambitionne de contribuer activement à l'innovation dans le secteur informatique.

#### CONTACT

- +33 6 89 75 34 39
- zinsouplyornel@gmail.com
- Ornel ZINSOU-PLY
- Angers 49100, 30 rue Marie Marvingt
- Permis B

#### LANGUES

- Anglais niveau B1
- Français (langue maternelle)

#### COMPETENCES

**FORMATIONS**  
Gestion de projet-MOOC

**LANGAGE INFORMATIQUES**  
C, C++, PYTHON, JAVA

**OUTILS INFORMATIQUES**  
MobaXterm, Cisco, Geany, LibreOffice  
Calc, FileZilla, DB Browser

#### SAVOIR-ÊTRE

- Curiosité
- M'organiser et prioriser les tâches
- M'adapter aux situations
- Savoir travailler en autonomie et en équipe
- Savoir communiquer
- Leadership

#### PASSIONS

Musique, Football, Voyage

#### EXPERIENCE PROFESSIONNELLE

**Geophom - FRANCE (15/07/2024 à 29/11/2024)**  
**Stage en développement de systèmes embarqués autonomes :**  
 axés sur la conception et l'optimisation d'un système de prise de vue automatisé basé sur Raspberry Pi pour la surveillance de turbines éoliennes, mobilisant des compétences en programmation embarquée, électronique, traitement d'image, transmission de données et de gestion de l'énergie.

#### PROJETS SCOLAIRES

**Ecole Supérieure d'Electronique de l'Ouest-France (2023)**

- Projet sur la création et le développement** d'un jeu en JAVA (Jeu Des Aventuriers du Rails)
- Projet en cybersécurité** intégrant des clés asymétriques pour signer et authentifier des documents, chiffrer/décrypter des fichiers, et sécuriser un site Web via HTTPS.
- Projet en CISCO Packet tracer** d'une réalisation de réseau d'infrastructure pour une société
- Projet électronique :**  
 \*portant sur la détection de fonction de proximité (manipulation d'un HCSR-04)  
 \*conception d'une voiture autonome avec arrêt automatique à la détection d'obstacles (manipulation du logiciel altium, STM32Cube)

**Bénin-Cours Préparatoire ISAO (2021-2023)**  
**Projet en langage C :**

- d'un logiciel de gestion des livres d'une bibliothèque
- d'un logiciel de gestion de parc de voitures

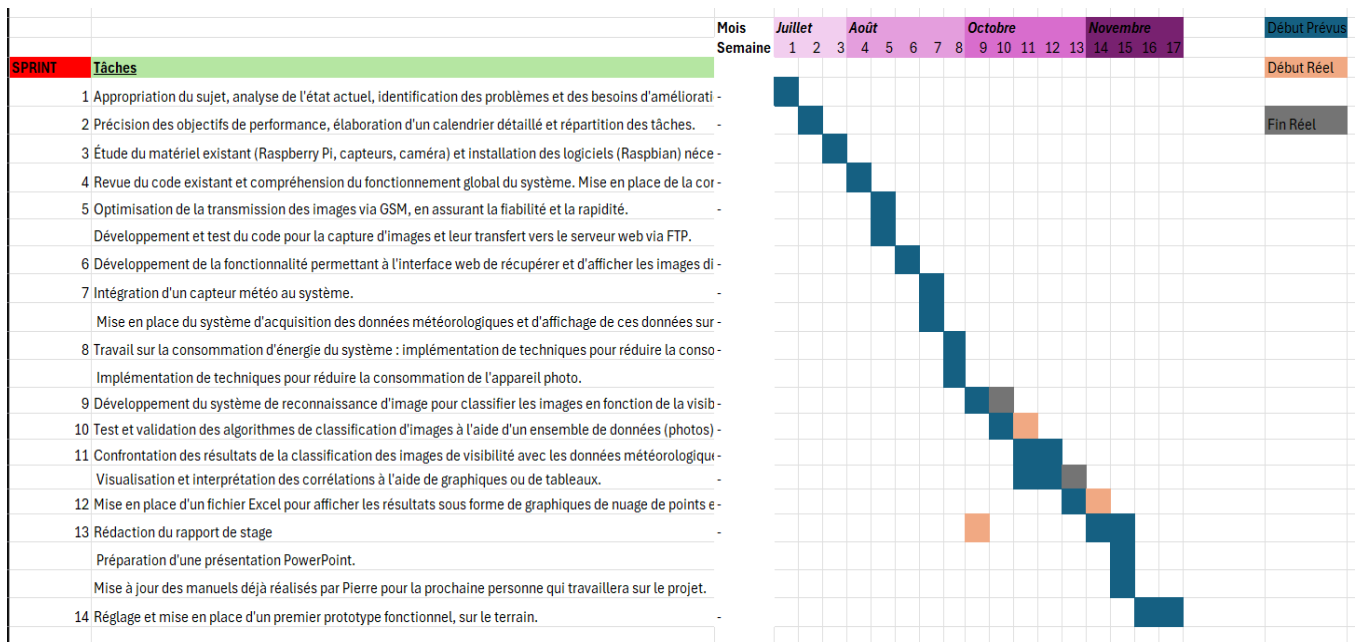
#### PARCOURS SCOLAIRE

**ECOLE SUPERIEURE D'ELECTRONIQUE DE L'OUEST (ESEO)**  
 Angers, 2023-2024: 1ere année d'ingénieur  
 Angers, 2024-2025: 2e année d'ingénieur

**INSTITUT SUPERIEURE DE L'AFRIQUE DE L'OUEST ( ISAO )**  
 Cotonou, Bénin, 2021-2023: année 1 et 2 en cours préparatoire

**COLLEGE CATHOLIQUE NOTRE DAME DE LOURDES**  
 Porto Novo, Bénin, 2020-2021: Baccalauréat scientifique série C

## B. Planning détaillé de la mission de stage



**Tableau 3: Planning prévisionnel détaillé réalisé sous excel**

L'écart entre le planning prévisionnel et le planning effectif s'explique par une méconnaissance initiale des démarches à suivre et une prise de connaissance progressive du travail réalisé par les anciens stagiaires, ce qui a entraîné des retards dans l'accomplissement des tâches. De plus, l'attente de composants essentiels tels que le Raspberry Pi et le Witty Pi a également ralenti l'avancement du projet. Par ailleurs, un dysfonctionnement lié à la mise en veille est apparu, et bien qu'aucune solution n'ait pu être trouvée, j'ai dû poursuivre les travaux pour rester fidèle à mon planning sur le reste des missions à exécuter.



### C. Références bibliographiques utilisées, sources internes et externes

#### **Entreprise:**

Geophom

#### **Composants:**

Buy Raspberry Pi 3 Model B+

Raspberry Pi Imager

Installation Raspberry Pi OS

Buy Witty Pi4

Buy Capteur Météo

Cône modifié

#### **Documentations:**

Raspberry WikiPedia

Point de rosée

Ecart type Visibilité

#### **Manuels:**

Manuel Raspberry

Manuel WittyPi4

#### **Forums:** Assistance technique / Discussion

Forums Aide Raspberry

Forums assistance technique Witty Pi4

#### **Outils et Libraries:**

FileZilla

DB Browser for SQLite

Geany

CALC

FreeCAD

PHP

Package python

#### **Impression cône:** Société exprezis

## D. Glossaire des définitions et acronymes utilisés

**OMM:** Organisation météorologique mondiale

**EED:** Espace Éolien Développement

**FTP:** Le protocole FTP (File Transfer Protocol) est un protocole de communication conçu pour partager des fichiers sur un réseau TCP/IP. Il permet de copier des fichiers d'un ordinateur vers un autre sur le même réseau, ainsi que de supprimer ou modifier des fichiers sur cet ordinateur distant. FTP est souvent utilisé pour transférer des fichiers vers un serveur d'hébergement de site web.

**SSH:** Le protocole Secure Shell (SSH) est une technique qui permet d'envoyer des commandes en toute sécurité à un ordinateur via un réseau non sécurisé. Grâce à la cryptographie, SSH authentifie les utilisateurs et chiffre les connexions entre les appareils.

**Réseau GSM:** Ce type de réseau, appelé GSM (Global System for Mobile Communications), est une norme mondiale principalement conçue pour les communications vocales. Bien qu'initialement développé pour la transmission de voix, il permet également l'envoi et la réception de SMS (limités en nombre de caractères) et offre désormais la possibilité de se connecter à Internet.

**I<sub>max</sub> et I<sub>min</sub>:** Intensité maximum et Intensité minimum

**Processeur ARM:** est un CPU basé sur l'architecture ARM, optimisé pour une faible consommation d'énergie et utilisé dans les appareils mobiles, les systèmes embarqués, et les Raspberry Pi. Son architecture RISC permet un traitement rapide et économe, ce qui en fait un choix populaire pour des applications nécessitant efficacité et performance.

**Interfaces GPIO:** (General Purpose Input/Output) permet aux microcontrôleurs et aux ordinateurs, comme le Raspberry Pi, d'interagir avec divers composants matériels. Elle offre des broches configurables pour lire des signaux d'entrée (comme des boutons) ou envoyer des signaux de sortie (comme activer des LED), facilitant ainsi la communication entre le matériel et les logiciels. Les GPIO sont largement utilisés dans l'électronique pour le prototypage et le contrôle d'appareils.

**Les broches SCL et SDA:**

Les broches SDA (Serial Data Line) et SCL (Serial Clock Line) sont essentielles pour le protocole I2C :

\***SDA:** Ligne de données bidirectionnelle qui transporte les informations entre le maître et les esclaves.

\***SCL:** Ligne d'horloge bidirectionnelle qui synchronise les transmissions de données.



Ces lignes permettent une communication efficace entre les composants électroniques.

**bus I2C:** Inter-Integrated Circuit, est un bus série synchrone bidirectionnel half-duplex utilisé pour relier plusieurs dispositifs, qu'ils soient maîtres ou esclaves. Sur un Raspberry Pi, par exemple, la communication se fait entre un unique maître (le Raspberry Pi) et plusieurs périphériques esclaves, comme des capteurs ou des afficheurs. Le maître initie la communication, tandis que les esclaves répondent sans interaction directe entre eux. Cependant, les rôles peuvent changer, permettant à certains composants de devenir maître ou esclave selon les besoins de l'application.

**Raspberry Pi:** La Raspberry Pi est un nano-ordinateur monocarte, ce qui signifie qu'il s'agit d'un ordinateur compact, de la taille d'une carte de crédit, et coûtant environ 35 €. Avec son prix abordable, sa faible consommation d'énergie et ses connecteurs adaptés à l'électronique, la Raspberry Pi se révèle être un excellent choix pour apprendre la programmation, réaliser des projets d'électronique, ou explorer la domotique.

**Witty Pi:** est une carte d'extension qui intègre une horloge en temps réel et des fonctionnalités de gestion de l'alimentation pour votre Raspberry Pi. Elle permet de programmer la séquence d'allumage et d'extinction de l'appareil, tout en optimisant sa consommation d'énergie.

**UUGear:** est un groupe d'électronique, dédié à la conception et à la vente de cartes d'extension pour Raspberry Pi et d'accessoires Arduino, afin de simplifier nos projets. Fondée en 2014 à Prague sous le nom UUGear, cette entreprise a évolué en 2021 avec la création de Dun Cat B.V. aux Pays-Bas, tout en continuant d'utiliser UUGear comme marque. Notre boutique en ligne est gérée par Dun Cat B.V. depuis juillet 2021.

**Sauron:** C'est la base de donnée crée par Pierre.

**releves:** Première table de la base de donnée nommée Sauron.

**stddev values:** Deuxième table de la base de donnée nommée Sauron.

**PHP:** C'est un langage de programmation côté serveur principalement utilisé pour générer des pages web dynamiques. Lorsqu'un utilisateur demande une page, le serveur exécute le code PHP pour adapter le contenu en fonction de l'utilisateur et créer des expériences interactives.

**Python:** est un langage de programmation interprété, haut niveau. Ce langage de programmation interprété est connu pour sa simplicité et sa lisibilité. Il offre une large gamme de bibliothèques et de frameworks disponibles en ligne, ce qui le rend particulièrement adapté à des domaines variés tels que le développement web, l'analyse de données, l'intelligence artificielle et l'automatisation des tâches.

**La vue 3D:** permet de visualiser des objets dans un espace tridimensionnel, offrant une perspective réaliste et immersive, utilisée dans l'architecture, le design et la modélisation de maquettes.

**Exprezis:** est une société qui offre un soutien complet pour les modélisations 3D, les impressions 3D, ainsi que pour l'acquisition de matériel et de consommables.

## E. Table des figures et illustrations utilisées dans le rapport

### **Table de figures**

**Figure 1:** Localisation de Géophom

**Figure 2:** Boitier

**Figure 3:** Nikon D5300

**Figure 4:** Fausse batterie d'alimentation

**Figure 5:** Raspberry Pi B3+

**Figure 6:** Clef 4G

**Figure 7:** Capteur BME280

**Figure 8:** Witty Pi 4

**Figure 9:** panneau solaire

**Figure 10:** Régulateur solaire « BlueSolar » 12V

**Figure 11:** Convertisseur Buck Boost 1-40V

**Figure 12:** Raspberry Pi modèle B3+

**Figure 13:** Raspberry Pi B3+ PinOut

**Figure 14:** Mise à jour du système

**Figure 15:** Configuration du Raspberry Pi

**Figure 16:** Version du Python et environnement virtuel

**Figure 17:** Détection du modem

**Figure 18:** Vérification de l'interface réseau

**Figure 19:** Connexion active via 4G

**Figure 20:** la connectivité à Internet

**Figure 21:** BME280 Branchement

**Figure 22:** BME280

**Figure 23:** table '*releves*' de la base de donnée Sauron

**Figure 24:** table '*stddev\_values*' de la base de donnée Sauron

**Figure 25:** Une prise de vue consultée sur la visionneuse

**Figure 26:** Witty Pi4

**Figure 27:** Software du Witty Pi4

**Figure 28:** Présentation du Witty Pi4

**Figure 29:** Circuit Numérique de la commutation

**Figure 30:** Photos d'éoliennes invisibles

**Figure 31:** Photos d'éoliennes visibles

**Figure 32:** Phase de transition comportant les incohérences

**Figure 33:** Diagramme montrant une corrélation simple

**Figure 34:** Évolution de la visibilité des éoliennes basée sur l'écart-type

**Figure 35:** Diagramme montrant une corrélation simple entre la température de rosée et l'indice de visibilité

**Figure 36:** Visibilité d'éolienne perçue aux environs de 5000

**Figure 37:** Graphique de Visibilité en fonction de la température de rosée

**Figure 38:** Graphique de Visibilité en fonction de la température

**Figure 39:** Graphique de corrélation simple entre Température et la visibilité

**Figure 40:** Graphique de Visibilité en fonction de l'humidité

**Figure 41:** Graphique de corrélation simple entre l'humidité et la visibilité

**Figure 42:** Graphique de Visibilité en fonction de la pression

**Figure 43:** Graphique de corrélation simple entre la pression et la visibilité

**Figure 44:** Vue 3D du cône de protection contre la pluie (ancien modèle)

**Figure 45:** Vue 3D du cône de protection contre la pluie (nouveau modèle)

### **Table de tableaux**

**Tableau 1:** Information général sur Géophom

**Tableau 2:** Matrice SWOT du projet (*Réalisé sous excel*)

**Tableau 3:** Planning prévisionnel de travail (*Réalisé sous excel*)

**Tableau 4:** Planning prévisionnel détaillé (*Réalisé sous excel*)