

## TABLE DE MATIERES

TABLE DE MATIERES .....	i
NOMENCLATURE .....	iii
LISTE DES ACRONYMES ET ABREVIATIONS .....	iv
LISTE DES ANNEXES .....	v
LISTE DES FIGURES .....	vi
INTRODUCTION .....	1
<b>CHAPITRE1 : CADRE ET CONTEXTE.....</b>	<b>2</b>
1-Structure météorologique de Madagascar .....	2
1.1 Historique .....	2
1.2 Missions et objectifs .....	3
1.3 Structure et organisation .....	4
1.3.1 Organigramme de la météorologie .....	4
2- Mission de la station météo.....	5
2.1 Description du sujet.....	5
2.2 Etude du projet .....	5
2.2.1 Objectif.....	5
2.2.2 Problématique.....	5
2.2.3 Solutions .....	6
<b>CHAPITRE 2 : MATERIELS ET METHODES.....</b>	<b>7</b>
2.1 Données météorologiques et instruments de mesure.....	7
2.1.1 Instruments météorologiques.....	7
2.1.2 Station météorologiques au sol.....	8
2.2 Instruments de mesure .....	9
2.2.1 Mesure de température .....	9
2.2.2 Mesure de l'humidité.....	10
2.2.3 Mesure de la précipitation .....	11
2.2.4 Mesure de la pression atmosphérique.....	12

2.2.5 Mesure des vitesses et direction du vent .....	14
2.2.6 Mesure de l'ensoleillement.....	15
2.3 Analyse de l'existant et état actuel des lieux .....	16
2.3.1 Station météorologique d'Ampandrianomby .....	16
2.3.2 Station automatique.....	17
2.3.2.1 Mode de fonctionnement.....	17
2.3.2.2 Caractéristiques de la station automatique .....	18
2.3.2.3 AWS datalogger .....	20
<b>CHAPITRE 3 : CHAINE DE NUMERISATION DE DONNEES.....</b>	<b>23</b>
3.1 Principe de numérisation .....	23
3.1.2 Archives.....	23
3.1.3 Principes .....	24
3.2 Outils numériques de traitement.....	25
3.2.1 Interpolation .....	25
3.2.2 Échantillonnage .....	26
3.2.3 Étalonnage .....	27
3.3 Réalisation du projet.....	29
3.3.1 Généralité de la numérisation.....	29
3.3.2 Programmation .....	30
3.3.2.1 Fonction Ouverture.....	31
3.3.2.2 Fonction Etalonnage.....	31
3.4 Résultats .....	38
3.4.1 Tutoriel et mode d'utilisation du logiciel .....	38
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>46</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>47</b>
<b>REFERENCES.....</b>	<b>54</b>

## NOMENCLATURE

cm : centimètre

°F : degré Farad

°C : degré Celsius

Pb : Forme brute

Pc : Forme corrigé

hPa : hectopascals

H : heure

m : mètre

N : newton

Pa : Pascales

V : Volt

## **LISTE DES ACRONYMES ET ABREVIATIONS**

**OMM** : Organisation Météorologique Mondiale

**SMHN** : Services Météorologiques et Hydrologiques Nationaux

**DRDH** : Direction des Recherches et Développements Hydrométéorologiques

**DMA** : Direction de la Météorologie Appliquée

**DEM** : Direction des Exploitations Météorologiques

**SEIL** : Services des Equipements Infrastructures et Logistiques

**SAG** : Services des Affaires Générales

**Scom** : Service de la communication

**SPL** : Services de la Planification et de la Législation

**GSM**: Global System for Mobile communication

**AWS**: Automatic Weather Stations

## **LISTES DES ANNEXES**

**Annexe 1:** MATLAB

**Annexe 2:** AWS DATALOGGER

**Annexe 3:** MICROCONTROLEUR CR1000

## LISTES DES FIGURES

<b><u>Figure 1:</u></b> Localisation cartographique de la Direction Générale .....	2
<b><u>Figure 2:</u></b> Organigramme de la météorologie.....	4
<b><u>Figure 3:</u></b> Thermomètre analogique .....	10
<b><u>Figure 4:</u></b> Hygromètre .....	11
<b><u>Figure 5:</u></b> Pluviomètre .....	12
<b><u>Figure 6:</u></b> Barographe .....	13
<b><u>Figure 7:</u></b> Différents types de Baromètre .....	14
<b><u>Figure 8:</u></b> Anémomètre et girouette.....	14
<b><u>Figure 9:</u></b> Héliographe.....	15
<b><u>Figure 10:</u></b> Station automatique numérique .....	16
<b><u>Figure 11:</u></b> Synoptique de la Station Météorologique Automatique .....	18
<b><u>Figure 12:</u></b> Schémas fonctionnel de la station automatique .....	19
<b><u>Figure 13:</u></b> Schémas du groupement matériel .....	19
<b><u>Figure 14:</u></b> Schémas du AWS- DATA LOGGER.....	20
<b><u>Figure 15:</u></b> Intérieur du coffret .....	21
<b><u>Figure 16:</u></b> Les instruments d'acquisition de la station d'Ampandrianomby .....	22
<b><u>Figure 17:</u></b> Les niveaux de pression en une semaine.....	23
<b><u>Figure 18:</u></b> Les niveaux de température en une semaine.....	24
<b><u>Figure 19:</u></b> Niveau de Pluie en 24H .....	24
<b><u>Figure 20:</u></b> Mode d'échantillonnages d'une fonction sinus.....	26
<b><u>Figure 21:</u></b> Extrait d'une archive en température .....	30
<b><u>Figure 22:</u></b> Illustration mathématique pour un point quelconque.....	32
<b><u>Figure 23:</u></b> Organigramme de détermination de coordonnées x et y .....	34
<b><u>Figure 24:</u></b> Illustration Géométrique pour calculer R.....	35
<b><u>Figure 25:</u></b> Organigramme de correction des valeurs des abscisses.....	36
<b><u>Figure 26:</u></b> Modèle géométrique pour $\Theta$ .....	37
<b><u>Figure 27:</u></b> Angle transposée .....	37

<b>Figure 28</b> : Interface Utilisateur: .....	38
<b>Figure 29</b> : Fonction Ouvrir ou parcourir .....	40
<b>Figure 30</b> : Etalonnage.....	40
<b>Figure 31</b> : Choix des points d'étalonnage .....	41
<b>Figure 32</b> : Pointage par courbe de valeurs .....	42
<b>Figure 33</b> : Pointage par point quelconque .....	42
<b>Figure 34</b> : Courbes de correction .....	43
<b>Figure 35</b> : Enregistrement des données.....	43
<b>Figure 36</b> : Extrait de données numérique en Pression atmosphérique .....	44
<b>Figure 37</b> : Extrait de données numérique en Pluie .....	45
<b>Figure 38</b> : Extrait de données numérique en Température.....	45

## Introduction

**D**epuis la révolution technologique, l'homme a toujours cherché le moyen d'augmenter le confort de son quotidien. Chaque jour, des tonnes de données numériques ou analogiques se partagent dans le monde entier. Mais plus il y a de données, plus les risques de les perdre augmentent.

Aujourd'hui la technologie numérique a pris place dans toutes les sociétés modernes dont la Direction Générale de la Météorologie de Madagascar sise à Ampandrianomby. La Météorologie est une vraie source de traitement de données car elle est équipée de plusieurs capteurs de données climatiques et durant ses 115 années d'existence, la numérique n'a pris place que ces cinq derniers ans. Cette grande lacune a créé des tonnes de stocks de données analogiques ou plus précisément données sur papier au sein de ce département, ce qui nécessite une grande compression et surtout une protection contre la détérioration au cours du temps. D'où le choix de ce sujet de mémoire intitulé "**REALISATION D'UN SYSTEME D'ARCHIVAGE DES DONNEES METEOROLOGIQUES**". Et ce projet constitue une des premières recherches à Madagascar consistant à numériser des images mais aussi d'y soustraire des données numériques.

Mais comment répondre à cette demande ? Quels sont les outils nécessaires pour réaliser ce projet ? Quels sont les contraintes ?

Pour répondre à ces questions et aboutir à ces résultats, il est nécessaire de structurer le manuscrit de mémoire comme suit, en plus des introduction et conclusion générales :

- D'abord, le premier chapitre aborde le contexte général de la météorologie à Madagascar et dans le monde.
- Ensuite, la méthodologie de travail pour réaliser notre projet de numérisation est développée dans le second chapitre.
- Et en dernier lieu, les résultats obtenus ainsi que les perspectives du projet sont détaillés dans le dernier chapitre.

## CHAPITRE 1 : CADRE ET CONTEXTE

### **1-Structure météorologique de Madagascar**

#### **1.1 Historique**

Les dix dernières années de la Direction Générale de la Météorologie à Madagascar ont connu deux étapes de réorganisation distincte. Ses premières années d'existence en tant que Direction Générale étaient assez houleuses en termes d'ajustement structurel fondé sur de multiples tâtonnements trimestriels d'organisation et de changements de tutelle.

Depuis le décret n° 2002-803 du 07 Aout 2002, l'organisation du Ministère des Transports et de la Météorologie a marqué le début de sa stabilité organisationnelle vécue actuellement, bien que son Ministère de tutelle ait dû accomplir différentes missions et changer de secteur sous tutelle à maintes reprises.

Le siège et les contacts de la Direction Générale sont tels que :

- Rue FARAFATY / BP 1254 Ampandrianomby, Antananarivo (101) Madagascar,
- Contacts : +261 20 26 396 32 / +261 20 26 396 32/ +261 20 26 398 04 / +261 20 26 398 04,
- Site web :<http://www.meteomadagascar.mg>.



**Figure 1 : Localisation cartographique de la Direction Générale [1].**

## **1.2 Missions et objectifs [2]**

Comme l'atmosphère ignore toute forme de frontière, le métier dans le domaine de la météorologie et connexes est accompli à caractère tant intergouvernemental que interrégional et sous une coordination mondiale à travers l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM).

Afin de remplir pleinement sa mission, Madagascar y a adhéré le 15 décembre 1960. La Convention de l'OMM, adoptée le 11 octobre 1947 et révisée en 2007, a réaffirmé cette mission des Services Météorologiques, Hydrométéorologiques et Hydrologiques nationaux ou Services Météorologiques et Hydrologiques Nationaux (SMHNs) dont la Direction Générale de la Météorologie est en charge.

Ses fonctions revêtent une importance décisive en ce qui concerne l'observation et la compréhension des conditions météorologiques et climatiques ainsi que la prestation de services météorologiques, hydrologiques et connexes nécessaires pour répondre aux besoins nationaux correspondants. Le renforcement des infrastructures et la mise à disposition des intrants découlent des termes de sa mission principale dictée par le décret n°2011-738 du 24 Janvier 2012.

Ses obligations en tant que levier du développement exigent sa contribution internationale au développement durable, ce qui implique sa contribution aux activités de développement économique et social. Cette mission devrait ainsi couvrir les domaines suivants:

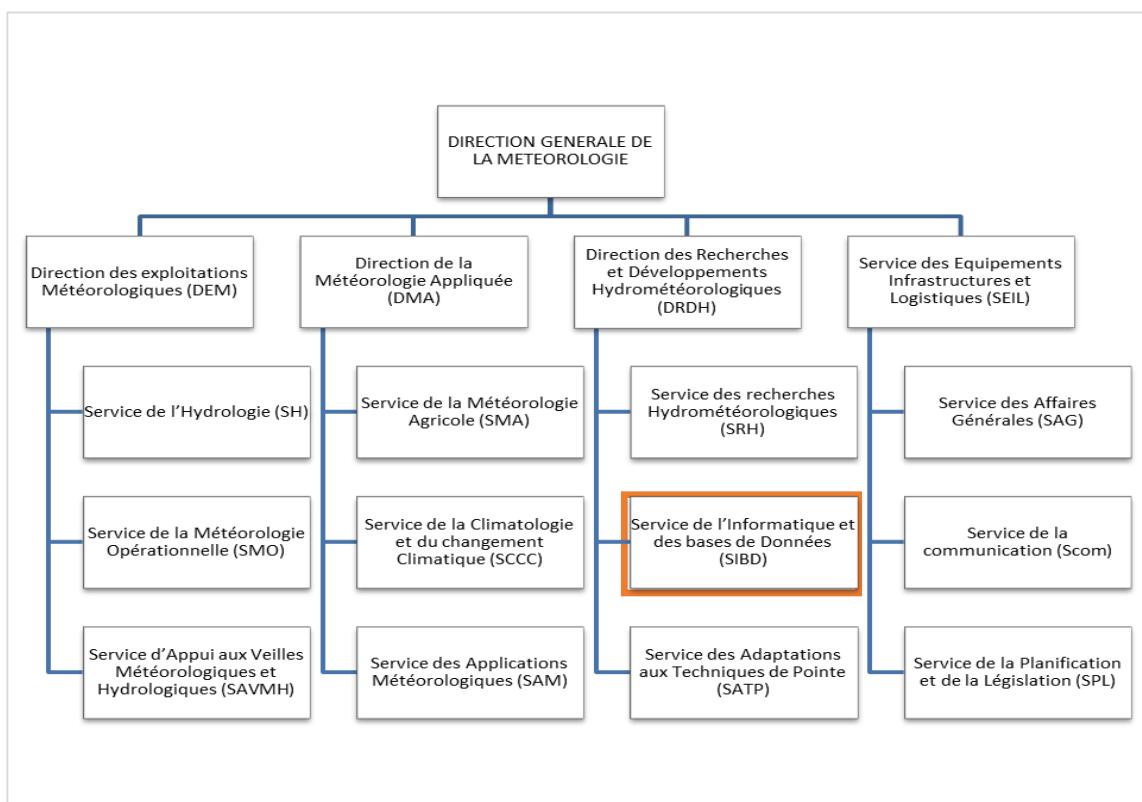
- Sauvegarde des personnes et des biens,
- Protection de l'environnement,
- Acquisition de données météorologiques, hydrologiques, climatologiques et environnementales connexes sur de longues périodes,
- Incitation au renforcement endogène des capacités,
- Définition de mesures d'adaptation et d'atténuation face aux catastrophes et changements climatiques,
- Exécution des engagements internationaux,
- Coopérations internationale et multisectorielle.

### **1.3 Structure et organisation**

#### **1.3.1 Organigramme de la météorologie**

Actuellement, la Météorologie est connue sous le nom de la Direction Générale de la Météorologie sise à Ampandrianomby Antananarivo et est composée de trois directions et quatre services rattachés, à savoir :

- DRDH : Direction des Recherches et Développements Hydrométéorologiques,
- DMA : Direction de la Météorologie Appliquée,
- DEM : Direction des Exploitations Météorologiques,
- SEIL : Service des Équipements Infrastructures et Logistiques,
- SAG : Service des Affaires Générales,
- Scom : Service de la Communication ;
- SPL : Service de la Planification et de la Législation.



**Figure 2 : Organigramme de la météorologie [3]**

## **2- Mission au sein de la station météorologique**

### **2.1 Description du sujet**

Le sujet abordé durant notre stage consiste à établir et à réaliser un système de numérisation des archives de données météorologiques stockées depuis des dizaines d'années.

Effectivement, depuis plusieurs dizaines d'années, nos stations météorologiques ont été démunies de matériels de numérisation et de schématisation synoptiques. La Direction Générale nous a ainsi invités à lui proposer une solution adéquate pour pouvoir remédier à cette lacune.

### **2.2 Étude du projet**

#### **2.2.1 Objectif**

En général, ce projet a pour but de rendre numérique toutes les données synoptiques ou analogiques au sein des stations météorologiques de Madagascar. Ces données sont enregistrées et imprimées sur des papiers millimétrés spéciaux suivant les normes internationales.

#### **2.2.2 Problématique**

Actuellement, dans les grandes sociétés, le temps est réellement précieux. Or la collecte des données se fait manuellement sur papier et non par voie numérique. Cela pose un problème de déplacement à chaque fois qu'un besoin d'échange d'information se manifeste et peut ainsi causer les risques de pertes, à la fois, de données et surtout de temps.

Notre problématique se repose sur les questions suivantes :

- Comment numériser des fichiers en format d'images, lire et collecter les valeurs de chaque point alors qu'une image est constituée de plusieurs pixels.
- Quelle est l'utilité de cette numérisation ?

### 2.2.3 Solutions

De nos jours, plusieurs scientifiques et chercheurs ont déjà développé des logiciels et ont réalisé des matériels pouvant procéder à la numérisation. Mais jusqu'ici, dans la plupart des cas, on a eu recours à la numérisation des fichiers textes pouvant ensuite être modifiés ou édités. Il y a aussi le scanner pouvant scanner plusieurs formes de données, comme les papiers, pour les convertir en image par la suite. Notre problème est de savoir comment combiner les deux, c'est-à-dire scanner une image et la transformer en données brutes pouvant être exploitées.

Nous avons eu recours au grand logiciel de traitement mathématique de chez Math Works, MATLAB [cf. annexe 1], qui possède plusieurs plateformes de traitement de signal que ce soit sonore, image mais surtout mathématique.

Après les études et recherches effectuées sur les possibilités de la numérisation, nous avons décidé de développer une application à base du logiciel MATLAB pouvant répondre à nos besoins.

Utilité ? Oui, ce logiciel a une grande utilité car la station météorologique d'Antananarivo abrite des milliers d'archives depuis une vingtaine d'années et ces données prennent de grands risques de se détériorer par l'humidité, les parasites etc.

## CHAPITRE 2: MATERIELS ET METHODE

### **2.1Données météorologiques et instruments de mesure**

#### **2.1.1 Instruments météorologiques**

Jusqu'au milieu du XXème siècle, le relevé météorologique au sol était le seul moyen dont disposait le météorologue pour déterminer le climat. La seconde guerre mondiale a été un facteur de progrès pour la météorologie car l'importance des facteurs climatiques pour la réussite des opérations aériennes a entraîné une évolution des moyens utilisables.

Malgré ces progrès très importants, la mesure au sol est restée fondamentale pour la prévision météorologique, d'où l'existence de toutes ces stations dont les rôles consistent à mesurer la température et l'humidité de l'air, la pression atmosphérique, les précipitations, l'ensoleillement et les vitesses et direction du vent.

Voyons maintenant quels relevés ont été effectués, comment est conçue une station météorologique au sol et quels sont les instruments qui la composent.

Les paramètres météorologiques à mesurer pour préciser un climat à un moment donné pour un lieu précis sont au nombre de sept (07) :

- Trois d'entre eux sont des descriptions thermodynamiques de l'air :
  - La température de l'air : c'est la grandeur physique qui caractérise de façon objective la sensation subjective de chaleur ou de froid sentie par le contact de l'air.
  - L'humidité de l'air : c'est le rapport de la pression effective de la vapeur d'eau à la pression maximale.
  - La pression atmosphérique : il s'agit de la pression exercée par la colonne d'air se situant au-dessus d'une surface.
- Deux d'entre eux sont des descriptions dynamiques de l'air :
  - La direction du vent : c'est la direction d'où vient l'air en mouvement.
  - La vitesse du vent : il s'agit de la vitesse à laquelle se déplace l'air en mouvement.

- Enfin, les deux derniers s'intéressent à la couverture nuageuse :
  - Les précipitations : ce sont les diverses chutes d'eau (pluie, neige, grêle).
  - L'ensoleillement : il résulte d'une part de l'intensité du rayonnement solaire et d'autre part, de l'absorption de ce rayonnement par l'atmosphère.

### **2.1.2 La station météorologique au sol**

Les stations météorologiques sont des ensembles d'instruments qui permettent, en un point, de connaître précisément un climat.

Les stations météorologiques comprennent les instruments suivants :

- Cinq thermomètres mesurant la température et l'humidité,
- Un baromètre donnant la pression atmosphérique,
- Un ensemble d'anémomètre - girouette mesurant la direction et la vitesse du vent,
- Un pluviomètre qui mesure les précipitations,
- Un héliographe qui mesure l'ensoleillement.

Ces instruments sont de préférence enregistreurs. Les détails sur chacun de ces instruments sont donnés.

Les stations au sol ne sont pas installées au hasard. En effet, afin de pouvoir permettre les comparaisons, des règles strictes sont à appliquer, comme :

- La station doit être placée dans un endroit dégagé, sur de l'herbe tondue rase.
- Les instruments doivent être placés à l'ombre, à moins de 2 mètres du sol.
- L'air doit circuler librement à l'intérieur de la station.
- La station doit être peinte en blanc pour réduire l'absorption du rayonnement solaire.

## **2.2 Instruments de mesure [5]**

### **2.2.1 Mesure de température**

La température est mesurée à l'aide d'un thermomètre qui utilise le plus souvent la dilatation d'un corps (alcool généralement) placé dans un tube fin (qui amplifie l'effet de dilatation). L'unité utilisée dans le système international est le degré Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ). Dans ce système, la différence entre le niveau du liquide au point de congélation (physique) de l'eau et au point d'ébullition de l'eau est de  $100^{\circ}$  (pour une pression atmosphérique standard). L'échelle Fahrenheit est, elle aussi, utilisée dans l'intervalle  $0^{\circ}\text{C} = 32^{\circ}\text{F}$  et  $100^{\circ}\text{C} = 212^{\circ}\text{F}$ .

D'autres types de thermomètre existent, comme le thermomètre à résistance électrique, le thermomètre à bilame... Le thermomètre à alcool peut être aussi à minima, à maxima ou à minima - maxima.

Une station météorologique comprend 5 thermomètres :

- Un premier thermomètre qui mesure la température de l'air,
- Un second thermomètre vertical dont la pointe est entourée d'un tissu et un bout trempé dans l'eau mesure la température humide. La différence entre ces deux températures permet de calculer le taux d'humidité de l'air.
- Un troisième thermomètre, oblique, mesure la température maximale : il est conçu comme un thermomètre médical. Il possède ainsi un étranglement du capillaire au-dessus du réservoir, ce qui empêche le liquide de redescendre quand la température baisse après avoir atteint sa valeur maximale.
- Un quatrième thermomètre, horizontal, mesure la température minimale. Il comporte un index noyé dans le liquide. L'index descend avec le liquide, mais ne remonte pas.
- Un cinquième thermomètre, à minimum, mesure la température minimale au sol. Il est placé hors de la station, à 5 cm du sol.

Ces thermomètres peuvent être remplacés par un thermomètre enregistreur dans la station, un thermomètre enregistreur au sol et un hygromètre enregistreur dans la station.



**Figure 3 : Thermomètre analogique**

### **2.2.2 Mesure de l'humidité**

Deux définitions de l'humidité sont adoptées :

- L'humidité absolue qui donne le nombre de grammes de vapeur d'eau contenues dans un mètre cube d'air,
- L'humidité relative qui est le rapport de la pression effective de la vapeur d'eau à la pression maximale.

C'est cette seconde définition qui intéresse le météorologue. L'humidité relative, exprimée en pourcentage (%) indique la teneur en vapeur d'eau de l'air. Schématiquement, à 0 %, l'air est absolument sec. A 100 %, l'air est saturé en eau, il ne peut en contenir plus de vapeur d'eau et la formation de gouttelettes d'eau est imminente.

Nous avons vu dans le paragraphe consacré à la mesure de la température que l'humidité peut être calculée à partir de la différence entre une température mesurée de façon classique et une température mesurée dite température humide. C'est la méthode du psychromètre. Il est aussi possible de mesurer l'humidité directement, à l'aide d'hygromètres.

Les hygromètres à absorption utilisent la propriété du cheveu humain qui s'allonge lorsqu'il devient humide. L'hygromètre de condensation mesure le point de

condensation (physique) de l'humidité de l'air par le refroidissement d'une surface métallique.



**Figure 4 : Hygromètre**

### **2.2.3 Mesure des précipitations**

Les précipitations sont les chutes d'eau au sol : pluie, neige, grêle. Leur mesure s'appelle la pluviométrie. Les précipitations sont mesurées à l'aide d'un pluviomètre. Celui-ci mesure l'épaisseur d'eau tombée en un lieu et en millimètres (l'eau ne devant ni s'écouler, ni s'infiltrer, ni s'évaporer). Une épaisseur d'un millimètre correspond à un litre réparti sur un mètre carré.

Un pluviomètre est un récipient conique, en forme d'entonnoir, gradué en millimètre d'eau et ses graduations sont ainsi plus larges dans la partie basse et plus étroites la partie haute.

Les précipitations solides (neige ou grêle) sont fondues pour être mesurées.

En dehors des périodes de gel, on peut utiliser le pluviomètre enregistreur. Ce dernier mémorise chaque volume d'eau reçu. L'étude du pluviogramme donne ainsi une représentation précise des précipitations, à la fois, en termes de quantité et de répartition temporelle.



**Figure 5 : Pluviomètre**

#### **2.2.4 Mesure de la pression atmosphérique**

La pression atmosphérique est la pression exercée par la colonne d'air se situant au-dessus d'une unité de surface. Elle dépend des conditions météorologiques et elle diminue avec l'altitude. Elle est couramment mesurée en hectopascals (hPa ou centaines de Pascal) et vaut en moyenne 1013 hPa au niveau de la mer.

On mesure la pression à l'aide d'un baromètre. Le baromètre à colonne de mercure est le plus connu. Mis au point par Torricelli en 1643, il comprend un tube de verre d'environ 80 cm de longueur et fermé à une de ses extrémités. Lors de son expérience, Torricelli l'a rempli de mercure et l'a retourné. Le mercure s'est alors abaissé sans toutefois s'écouler. Ce phénomène est une conséquence directe de la pression atmosphérique et l'abaissement est d'autant plus fort que la pression est faible. Les baromètres actuels utilisent toujours cette méthode. La seule différence est que la partie ouverte est maintenant recourbée vers le haut. Certains baromètres de Torricelli ont aussi un étranglement qui accroît localement l'amplitude du déplacement du mercure et permet une mesure plus précise (de l'ordre du dixième de millimètre de mercure). Enfin, la valeur mesurée est corrigée de l'altitude (pour

ramener la pression au niveau de la mer, 10hPa pour 80m d'altitude) et de la température (le mercure possède un important coefficient de dilatation).

Il est à noter que les indications comme « pluie, variable, beau » placées sur certains baromètres n'ont guère de sens car l'évolution de la pression importe plus que sa valeur stricte : une pression qui monte est signe de beau temps, même si la pression est basse en valeur absolue. De même, une pression haute mais en baisse est signe de dégradation de la situation météorologique.

Un autre type de baromètre, le baromètre enregistreur, est aussi utilisé et est composé d'un récipient métallique dans lequel on fait le vide. Il réagit aux variations de la pression. Sa paroi subit alors des mouvements qui, communiqués à un stylet appliqué à un cylindre rotatif, permettent de tracer l'évolution de la pression. Certains baromètres utilisent le principe du récipient vide mais ne sont pas enregistreurs.

La pression moyenne est de l'ordre de  $10^5 \text{ N/m}^2$  et ceci est autrefois appelé le bar (son millième est le millibar) et valait  $10^5 \text{ Pa}$ , soit 1000 hPa.



**Figure 6 : Barographe**



**Figure 7 : Différents types de Baromètre**

### **2.2.5 Mesure des vitesses et direction du vent**

Le vent est un mouvement horizontal de l'air sur la surface de la Terre. Il naît d'une différence de pression et se propage perpendiculairement aux isobares, des pressions hautes vers les basses, de façon à réduire les écarts de pression. Le vent peut être défini par sa direction (le plus souvent son origine) et par sa vitesse (en Beaufort, kilomètre par heure, mètre par seconde...).

On utilise une girouette pour déterminer la direction du vent et un anémomètre, pour mesurer sa vitesse.



**Figure 8 : Anémomètre et girouette.**

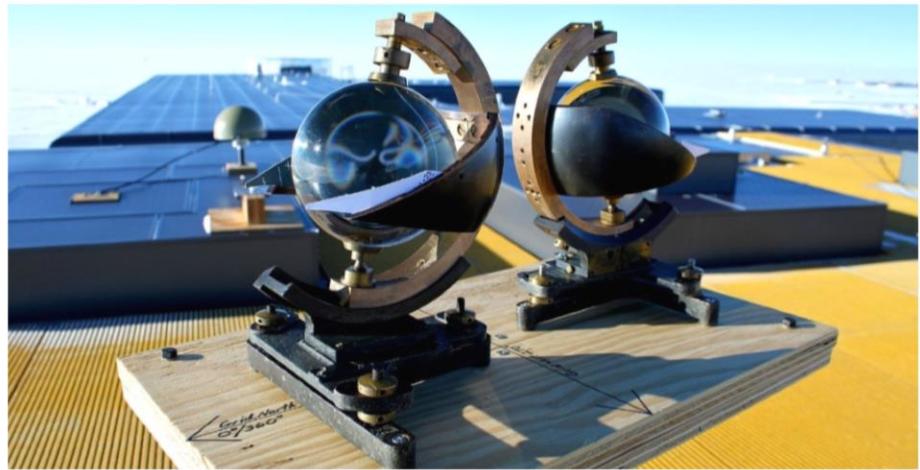
La girouette est une plaque de forme variable, mobile autour d'un axe vertical et placée au sommet d'un toit ou d'un mat. Sous l'effet du vent, la girouette se place dans le sens du vent (la plaque du côté opposé à l'origine du vent). La lecture de la position angulaire de la girouette, à l'œil ou de manière électronique, donne la direction du vent.

L'anémomètre est un instrument qui sert, de manière générale, à mesurer la vitesse d'écoulement d'un fluide gazeux. Il peut être constitué d'une simple hélice munie d'un capteur de vitesse (qu'il faut orienter alors dans le sens du vent) ou d'un rotor supportant trois demi-sphères placées à 120° l'une de l'autre et muni d'un capteur de fréquence.

### **2.2.6 Mesure de l'ensoleillement**

La densité de la couverture nuageuse est importante pour le climat local et son évolution. Elle est aussi appelée nébulosité et est mesurée en octet : un ciel à 8/8 est complètement couvert et un ciel à 4/8 est à moitié couvert.

L'instrument utilisé pour mesurer la nébulosité est l'héliographe, instrument qui indique la durée de l'ensoleillement du lever au coucher du soleil. Il est constitué d'une boule de verre qui, en agissant comme une loupe, concentre les rayons solaires sur une bande de papier où ils brûlent localement la surface. Cette bande de papier est graduée en heure et son étude permet de connaître, à chaque instant de la journée si les rayons solaires franchissent ou non la couverture nuageuse.



**Figure 9 : Héliographe**

## **2.3Analyse de l'existant et état actuel des lieux**

### **2.3.1Station Météorologique d'Ampandrianomby**

Depuis des années, la station météorologique de Madagascar dont le centre se situe à Ampandrianomby s'est équipée de tous les matériels nécessaires pour suivre les normes internationales en termes de station au sol. Aujourd'hui elle compte vingt et six stations dans tout Madagascar localisées dans les terrains d'aviation où les agences de transport aérien s'installent.

Une station au sol doit comprendre plusieurs instruments de mesure normalisés pour effectuer les prévisions météorologiques et celle d'Ampandrianomby est bien équipée de tous ces matériels.

Cette station comporte une nouvelle station au sol automatique et numérique pouvant communiquer avec des satellites pour répartir les données numériques vers le monde entier et sur tout Madagascar. Cette station automatique est équipée de tous les instruments météorologiques nécessaires pour un centre, ce qui la spécifie est que toutes les données en sortie de la station sont tous numériques.



**Figure 10 : Station automatique numérique**

### **2.3.2 Station automatique**

La station automatique de la station d'Ampandrianomby est acquise depuis trois ans par la Direction Générale d'Antananarivo. Cette station automatique est très fiable et économique car elle procure en temps réel toutes les données météorologiques sous forme numérique. Ces données sont totalement consultables dans tous les sites existants à Madagascar et dans le monde entier.

En ce jour, Madagascar est équipé de neuf stations automatiques situées à Sainte-Marie, Nosy-Be, Morondava, Mananjary... Toutes ces stations peuvent se communiquer entre elles par voies satellitaire et GSM.

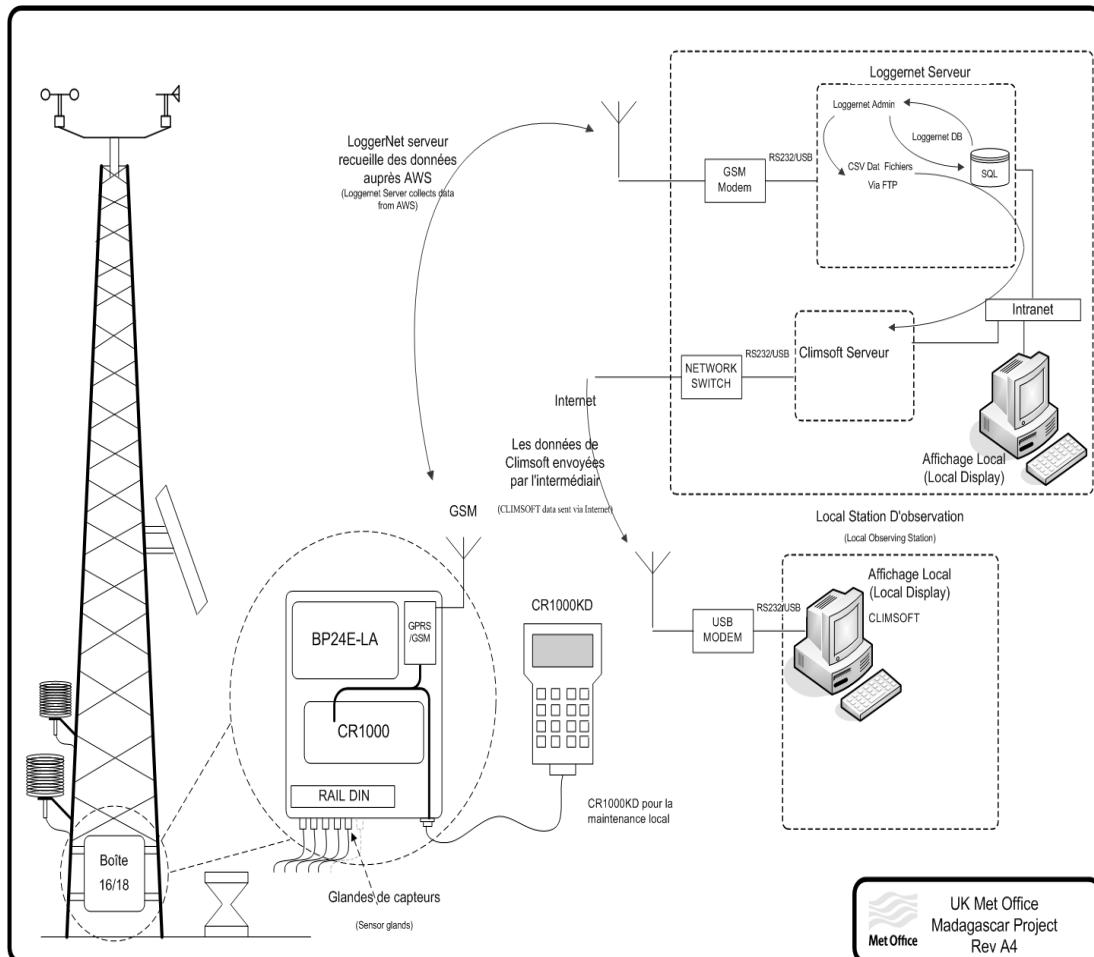
#### **2.3.2.1 Mode de fonctionnement**

L'équipement est un matériel procuré par la société anglaise CAMPBELL SCIENTIFIC, ce matériel est déjà utilisé dans tous les continents du monde et il est de précision, robustesse, fiabilité et d'une large gamme de mesure (température et pression). Il offre une possibilité de modifier facilement les configurations de chaque capteur et permet les opérations de traitement de données avec stockage et d'options de récupération.

La station météorologique peut être utilisée pour les stations de recherches climatiques et/ou hydro-météorologiques tout en effectuant des études structurales.

### 2.3.2 Caractéristiques de la station automatique

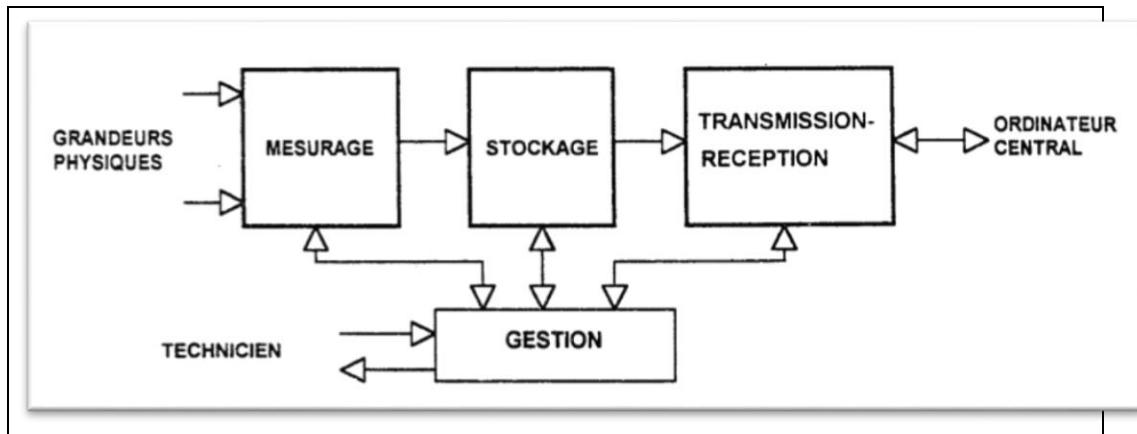
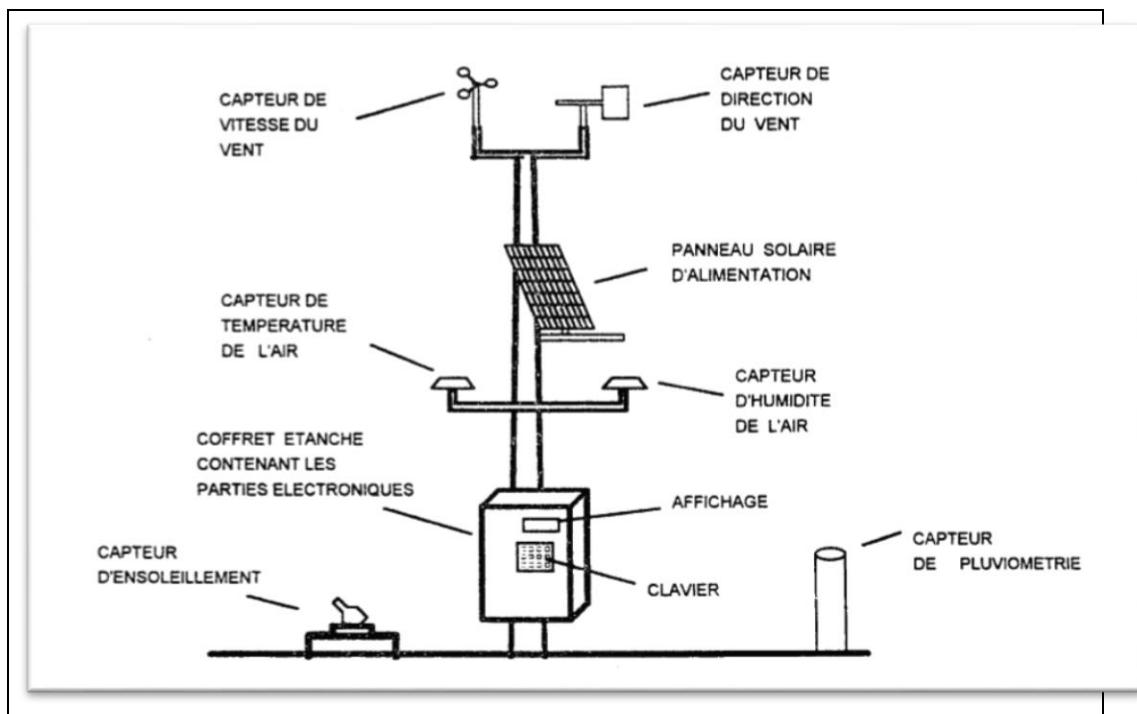
La figure 11 montre le schéma synoptique d'une Station Météorologique Automatique [4]



**Figure 11 : Synoptique de la Station Météorologique Automatique[4]**

Concernant son principe de fonctionnement, en général, la station automatique est équipée de deux grandes parties qui sont : la partie "pilonne" qui retient tous les capteurs et celle "boitier" équipée d'un AWS- datalogger [6] qui reçoit et traite les données captées par les capteurs en les convertissant et en les mettant en bloc de fichiers textes pour être envoyés vers le serveur central qui les héberge en temps réel par la suite.

Comme le présente son schéma fonctionnel indiqué par la figure 12, les grandeurs physiques qui sont mesurées et ensuite converties puis stockées, sont ensuite transmises vers le serveur central d'où les techniciens peuvent s'en procurer.

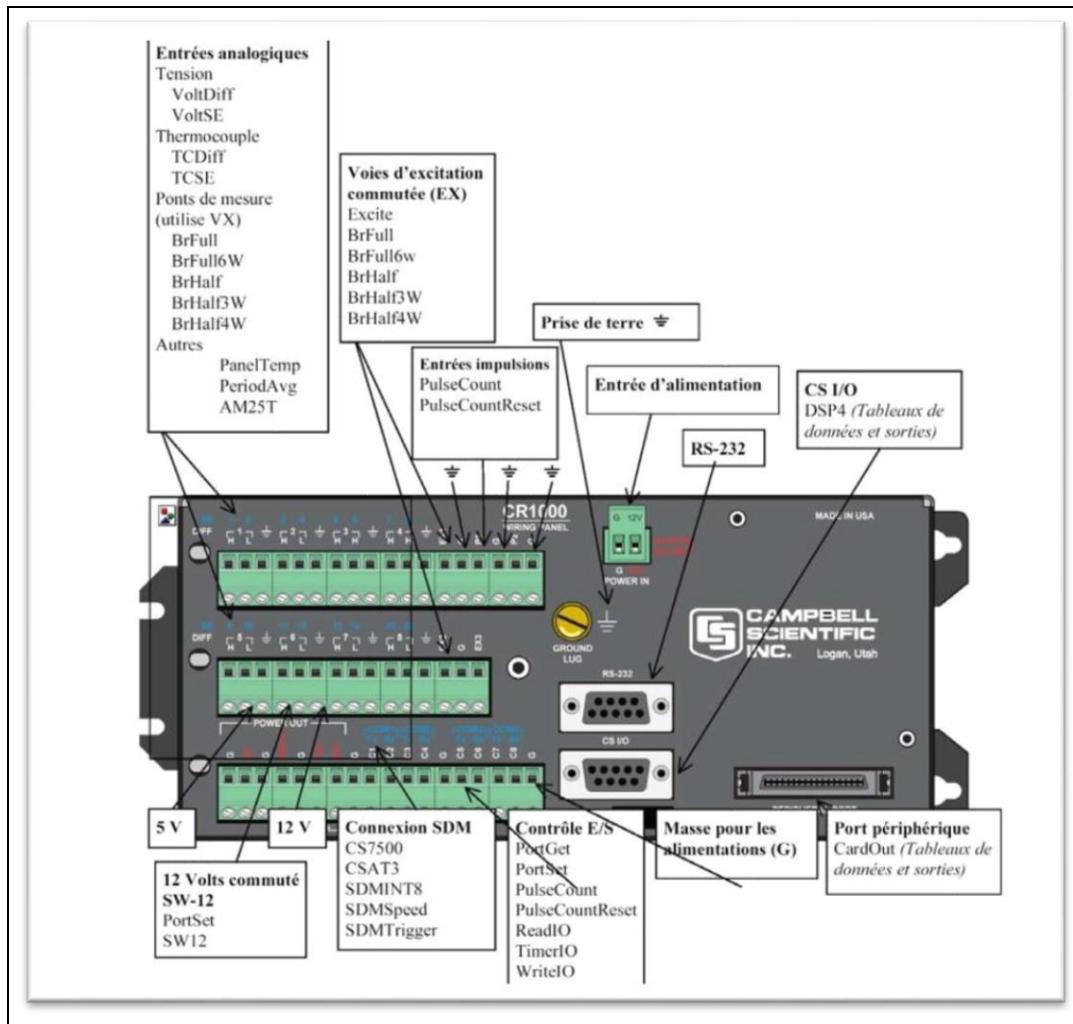
**Figure 12 : Schémas fonctionnel de la station automatique****Figure 13 : Schémas du groupement matériel**

La figure 13 présente le schéma du groupement matériel simplifié et on peut y voir effectivement la station automatique équipée de tous ses différents capteurs possibles.

On constate aussi qu'elle n'est alimentée que par un panneau solaire fournissant la tension de 12V et la batterie est enfermée dans un coffret. La batterie Gel 12V a une caractéristique bien particulière de garder sa température quasiment constante. La robustesse du coffret est testée au préalable et ainsi sa longévité est de 15 ans.

### 2.3.2.3 AWS DATA LOGGER [cf. annexe 2]

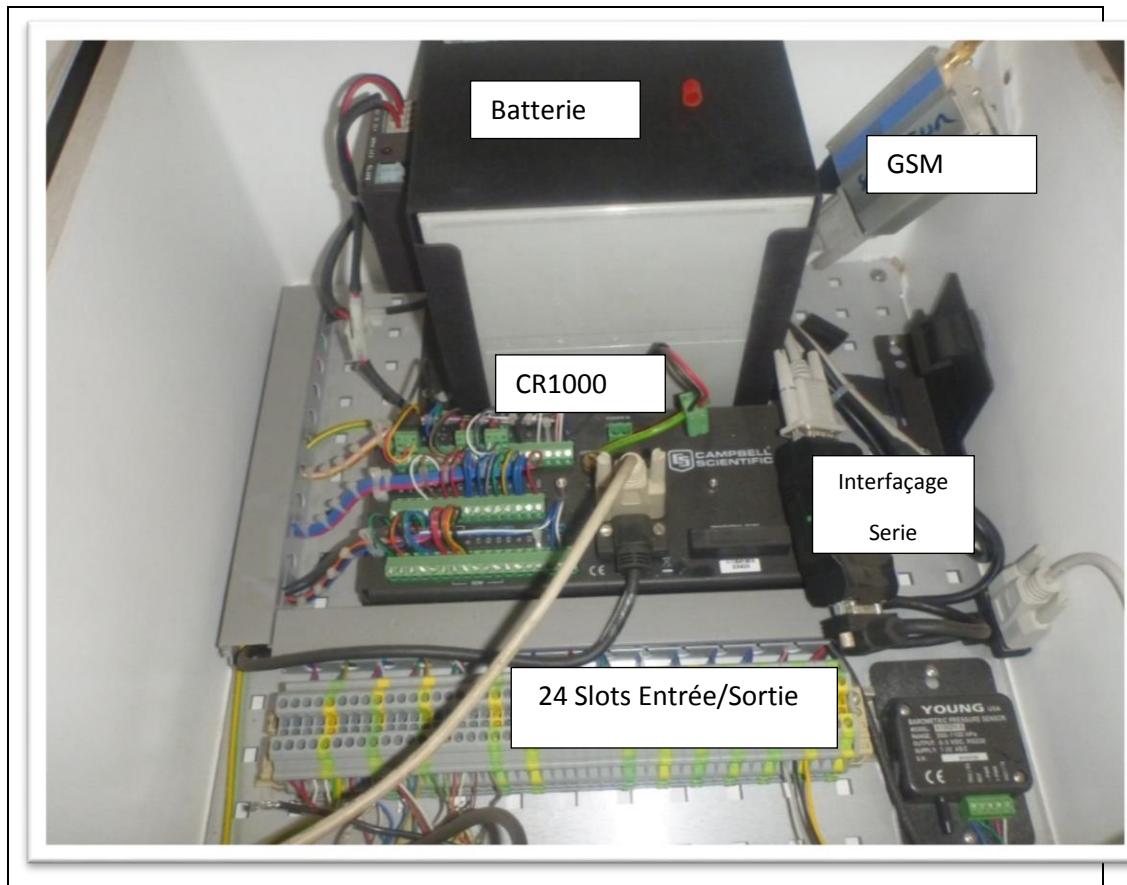
Le cerveau de la station automatique se trouve dans le coffret (voir figure 15). Dans notre cas, il est équipé d'un AWS- DATA LOGGER muni d'un processeur CR1000. La figure 14 montre les détails de la carte.



**Figure 14 : Schémas du AWS- DATA LOGGER**

Ce matériel d'acquisition automatique, alimenté de 12V<sub>cc</sub>, est équipé de :

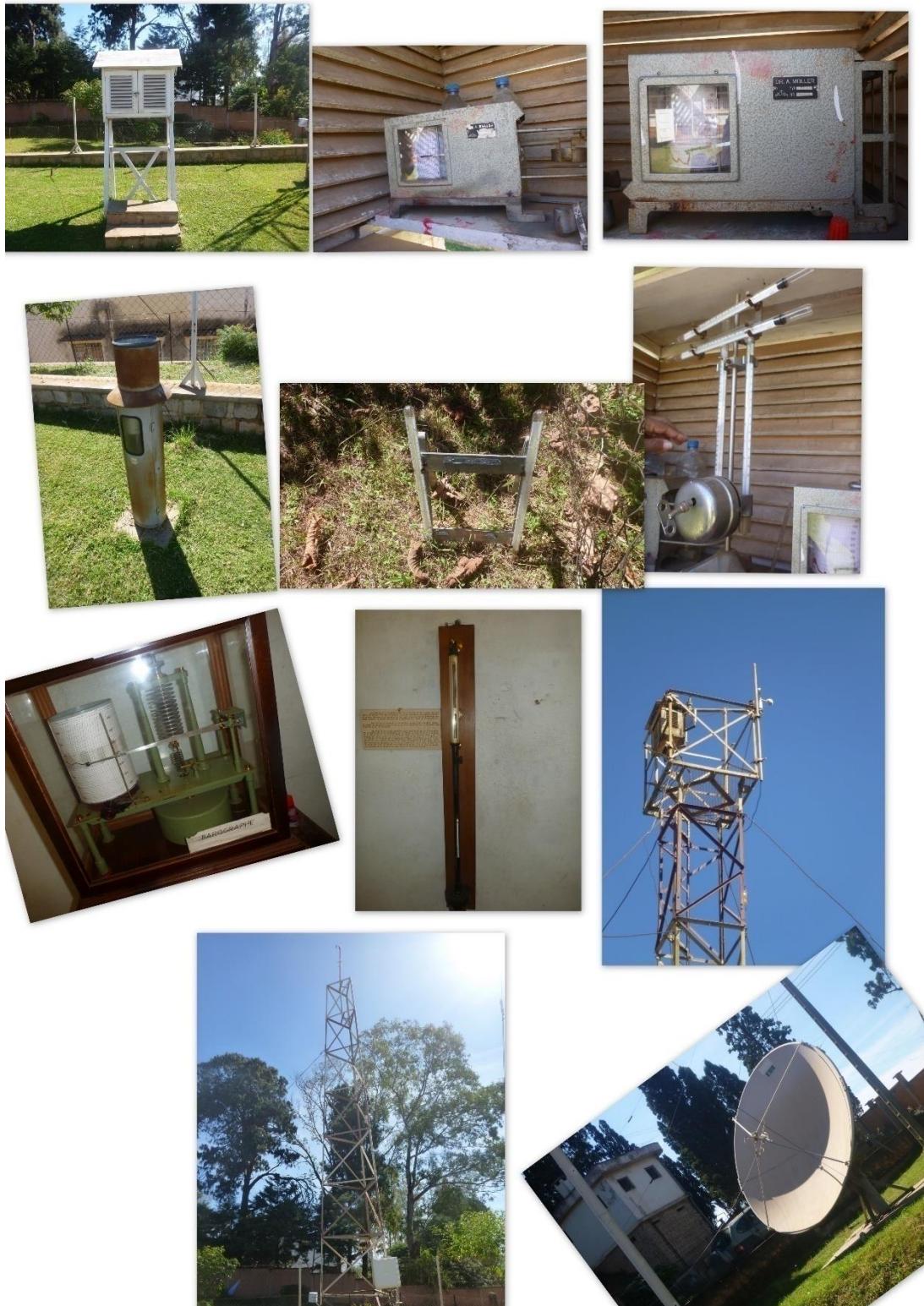
- Huit (08) entrées/sorties,
- Un port RS-232,
- Un CS I/O.



**Figure 15 : Intérieur du coffret**

Les stations météorologiques sont basées autour d'un enregistreur de type CR10X ou CR23X. Cet enregistreur stocke les données acquises par les capteurs selon leurs unités (par exemple, la vitesse du vent en miles par heure ou mètres par seconde, nœuds). Ces données horaires (par exemple, maxima, minima, moyennes) sont stockées sous forme de tableaux quotidiens. Les sorties conditionnelles, telles que l'intensité des précipitations, peuvent également être traitées et stockées.

La figure 16 présente la panoplie des instruments d'acquisition de la station d'Ampandrianomby.



**Figure 16 : Les instruments d'acquisition de la station d'Ampandrianomby**

### **CHAPITRE 3 : CHAINE DE NUMERISATION DE DONNEES**

#### **3.1 Principe de numérisation**

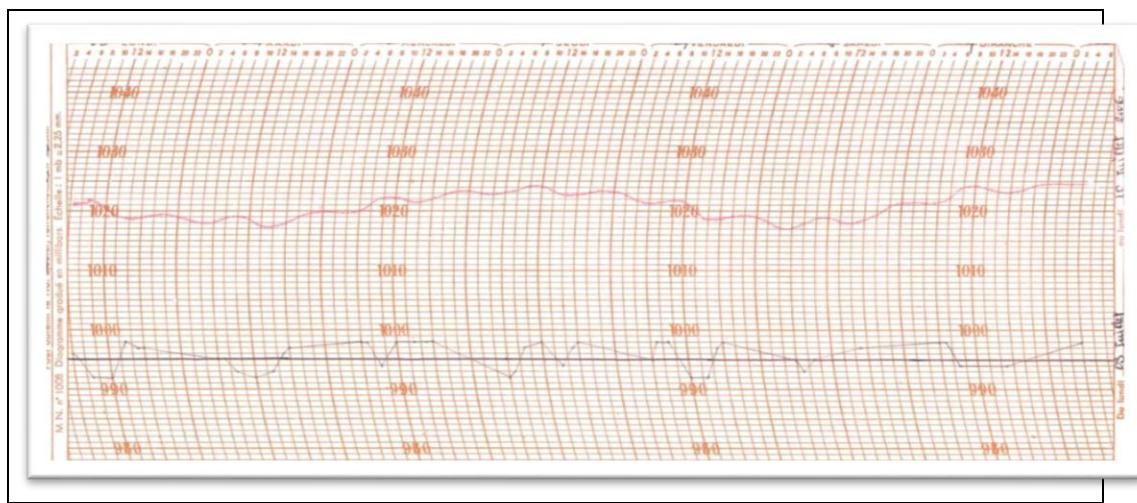
Comme décrit dans l'objectif, ce projet a pour but de réaliser un nouveau système de numérisation des archives au sein de la Direction Générale Météorologique de Madagascar. Ces archives sont des données enregistrées sous forme de courbes gravées sur des papiers millimétrés spéciaux lors de leur enregistrement.

Durant des années, la station ne faisait pas appel à la numérisation. Suite à la défaillance de leurs anciens matériels et face aux risques de détérioration des papiers provenant de divers facteurs comme l'humidité, l'eau, les parasites ou quelques animaux rongeur, il est primordial actuellement de stocker ces données de manière fiable et durable.

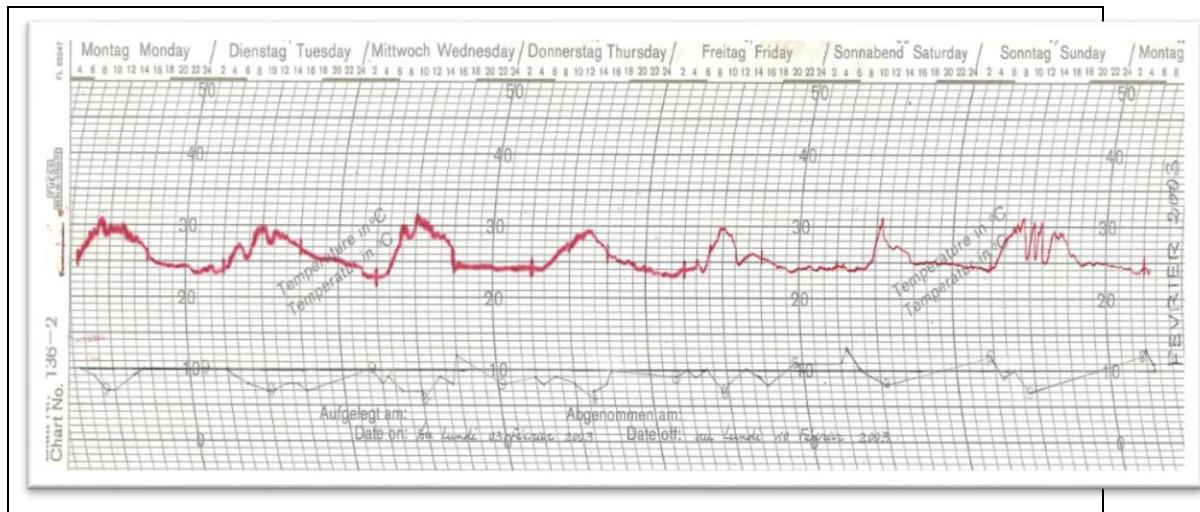
Aussi, dans ce projet, nous avons réalisé un logiciel pouvant numériser ces courbes et les enregistrer sous forme d'une base de données numériques.

#### **3.1.2 Archives**

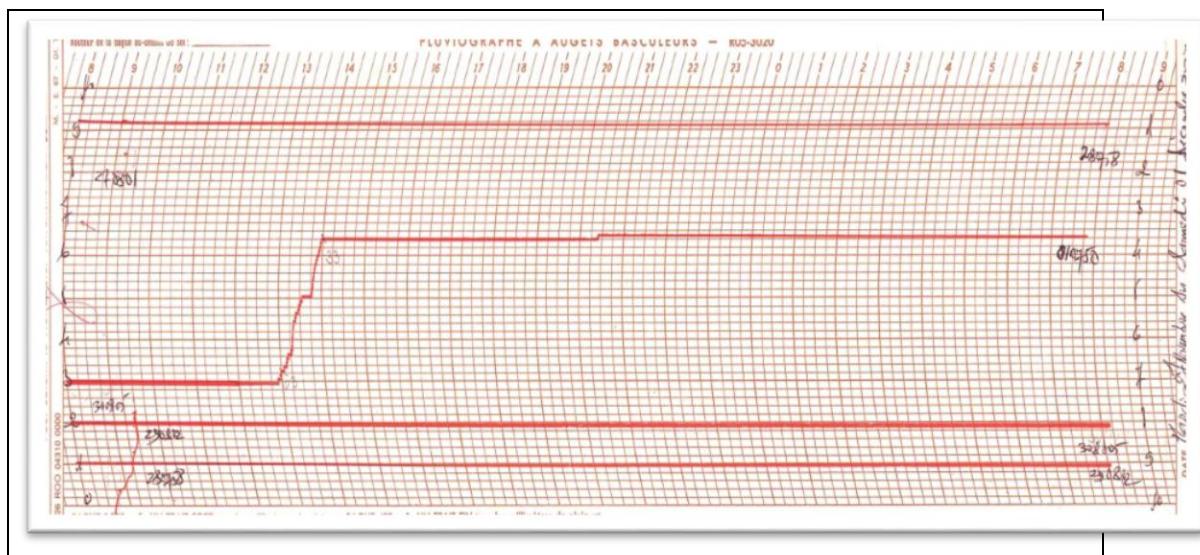
Les figures 17, 18, 19 montrent les différentes présentations des archives existantes au sein du Département :



**Figure 17 : Les niveaux de pression en une semaine.**



**Figure 18 : Les niveaux de température en une semaine.**



**Figure 19 : Niveau de Pluie en 24H**

### **3.1.3Principes**

Nous avons sélectionné trois types de courbe archivés correspondant aux différents capteurs que la station automatique utilise ou traite en ce jour. Nous sommes obligés de nous référer par rapport à la station automatique parce que les données numérisées doivent être archivées au sein du serveur central.

Le principe de base de cette réalisation est d'abord de passer à la numérisation des documents à l'aide d'un scanner, puis les transformer en données numériques.

Puisqu'il faut recueillir les informations à partir de la numérisation d'image formée de plusieurs pixels, nous devons recourir aux systèmes de pointage, d'étalonnage, d'échantillonnage et surtout d'interpolation pour obtenir les coordonnées exactes.

Pour nos simulations, nous avons utilisé le logiciel Matlab de chez Mathworks. Pour cela, voyons d'abord les principes mathématiques nécessaires à savoir pour réaliser ce projet.

### **3.2Outils numérique de traitement[7]**

#### **3.2.1Interpolation**

En analyse numérique, (dans son application algorithmique discrète pour le calcul numérique), l'interpolation est une opération mathématique permettant de construire une courbe à partir des données de points de nombre fini ou une fonction à partir toujours des données de valeurs de nombre fini. La solution du problème d'interpolation passe par les points prescrits et suivant le type d'interpolation, une vérification des propriétés supplémentaires est faite.

Ainsi le type le plus simple d'interpolation est l'interpolation linéaire qui consiste à « joindre les points » donnés. Une table trigonométrique peut servir à estimer les valeurs intermédiaires entre les données successives.

L'interpolation doit être distinguée de l'approximation de fonction, qui consiste à chercher la fonction la plus proche possible, selon certains critères, d'une fonction donnée. Dans le cas de l'approximation, il n'est en général plus imposé de passer exactement par les points donnés initialement. Ceci permet de mieux prendre en compte le cas des erreurs de mesure et c'est ainsi que l'exploitation de données expérimentales pour la recherche de lois empiriques relève plus souvent de la régression linéaire ou plus généralement de la méthode des moindres carrés.

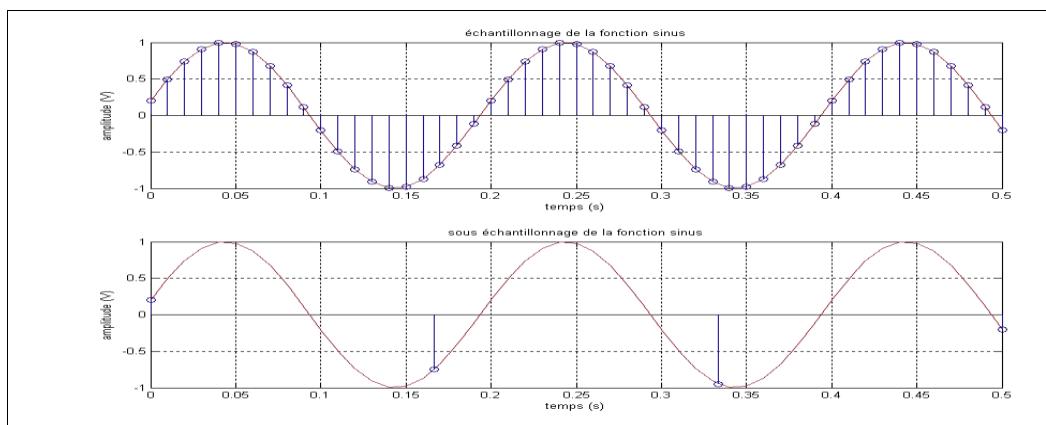
### **3.2.2 Échantillonnage**

L'application la plus courante de l'échantillonnage est aujourd'hui la numérisation d'un signal variant dans le temps et son principe est ancien.

Le traitement numérique du signal par ordinateur exige que le signal soit converti en une suite de nombres pouvant être 0 ou 1. Cette conversion se décompose, sur le plan théorique, en trois opérations qui sont :

- L'échantillonnage qui prélève, le plus souvent à intervalles réguliers, la valeur du signal,
- La quantification transformant une valeur quelconque en une valeur prise dans une liste finie de valeurs valides pour le système,
- Le codage fait correspondre à chaque valeur valide pour le système un code numérique.

La théorie de l'échantillonnage s'applique à tout système capturant des valeurs à intervalles définis, y compris quand il y a codage sans quantification, comme dans le cas du relevé des valeurs par une personne, quand il n'y a ni quantification ni codage et que les valeurs échantillonnées restent analogiques. Les grandeurs correspondantes sont à une seule ou plusieurs dimensions. La plupart du temps, l'intervalle entre chaque échantillonnage est constant. Pour déterminer la méthode d'échantillonnage, il faut avoir une connaissance préalable du signal. Il faut au moins déterminer une fréquence maximale susceptible d'y être présente.



**Figures20 : Mode d'échantillonnages d'une fonction sinus**

Le nombre d'échantillons par unité de temps s'appelle cadence d'échantillonnage ou taux d'échantillonnage. Quand l'échantillonnage se fait à intervalle régulier, on parle de fréquence d'échantillonnage.

L'objectif de l'échantillonnage est la transmission de l'information codée dans un signal. Ainsi, la question du choix de la fréquence d'échantillonnage se pose immédiatement :

- Si la fréquence d'échantillonnage est trop faible, les acquisitions sont trop espacées et si le signal comporte des détails pertinents entre deux positions de capture, ceux-ci sont perdus.
- Plus la fréquence d'échantillonnage est élevée, plus la transmission coûte en puissance de traitement, en capacités de transmission et en espace de stockage.

Pour choisir une fréquence d'échantillonnage qui soit suffisante, il faut que la connaissance des échantillons suffise pour calculer la valeur du signal dans tous les points intermédiaires. Claude Shannon a montré à quelle condition cela était possible, connaissant la largeur de bande de l'information codée dans le signal à transmettre.

### **3.2.3 Étalonnage**

D'après le Vocabulaire International de Métrologie (VIM), édition 2008, l'étalonnage est une « opération qui, dans des conditions spécifiées, établit en une première étape une relation entre les valeurs et les incertitudes de mesure associées qui sont fournies par des étalons et les indications correspondantes avec les incertitudes associées, puis dans une deuxième étape, utilise cette information pour établir un résultat de mesure à partir d'une indication ».

En d'autres termes, cette opération consiste à mesurer la même grandeur avec l'équipement à étalonner et l'équipement étalon et à comparer les indications des deux instruments et à exploiter les résultats de cette comparaison.

Prenons par exemple l'étalonnage d'un thermomètre, que nous allons simplifier. Dans un milieu homogène, à une température d'équilibre (four ou bain thermostaté), nous plongeons deux instruments, l'un à étalonner (thermomètre) et

l'autre, l'étalon (thermomètre de référence, accompagné d'un certificat d'étalonnage). Nous mesurons la température du milieu (bain ou four). Le thermomètre étalon (ajusté) indique 25,30 °C, le thermomètre à étalonner indique 24,10 °C. Nous avons alors la relation :

$$T^{\circ} \text{ thermomètre} = T^{\circ} \text{ étalon} - 1,20 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (1)$$

Cette relation relie les indications et les valeurs fournies par un étalon. C'est la première étape de la définition.

La seconde étape dont parle le VIM, consiste à exploiter les résultats de la première. Il peut s'agir de trois actions :

- La correction « manuelle » du résultat lu,
- La vérification du matériel,
- L'ajustage du matériel.

La correction « manuelle » consiste à modifier la valeur lue. Dans l'exemple précédent, si le thermomètre mesure 20,6°C, alors la température à prendre en compte est de  $20,6 + 1,20 = 21,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

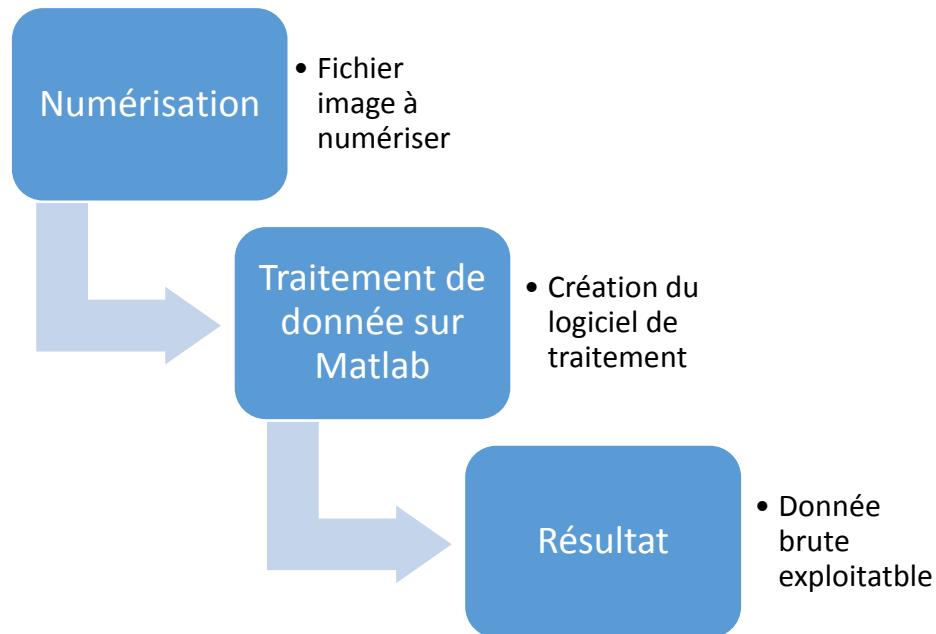
La vérification métrologique consiste à apporter la preuve à partir de mesures (étalonnage) que des exigences spécifiées comme les erreurs maximales tolérées (EMT) sont satisfaites. Le résultat d'une vérification se traduit par une décision de conformité (suivie d'une remise en service) ou de non conformité (suivie d'un ajustage ou d'une réparation ou d'un déclassement ou d'une réforme de l'appareil).

L'ajustage est un « ensemble d'opérations réalisées sur un système de mesure pour qu'il fournisse des indications prescrites correspondant à des valeurs données des grandeurs à mesurer ».

Si, par exemple, l'appareil de mesure est réglable, alors cela peut consister à régler l'appareil. Si le résultat est exploité par un ordinateur, la correction peut être faite par le logiciel. Dans le cas d'une balance, l'opération consiste à placer une masse étalon, dont la valeur et la classe d'exactitude sont définies et à suivre une certaine procédure telle qu'indiquée par la documentation "fournisseur" (en général, pour un ordinateur : l'appui sur deux touches en même temps).

### **3.3Réalisation du projet**

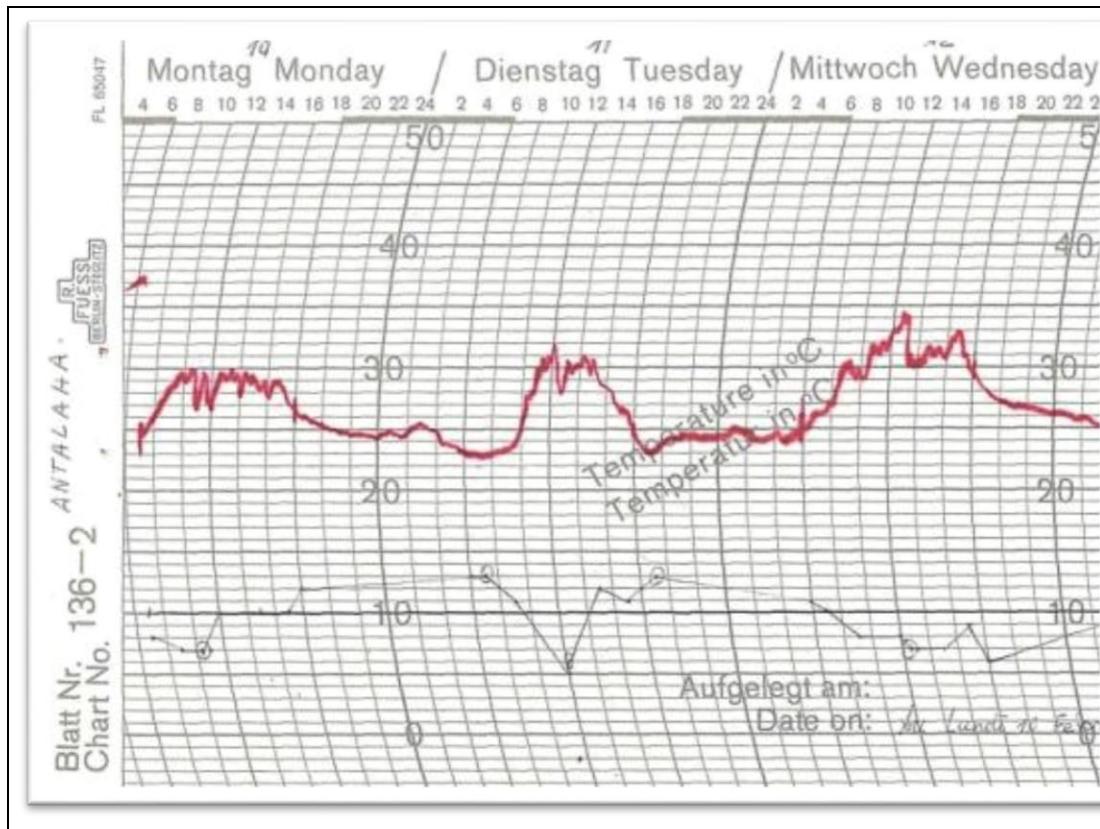
D'après les principes présentés, nous allons entrer maintenant dans le vif du sujet.



Comme dit, les pixels compliquent la procédure et, en plus, les tracés au niveau du papier millimétré sont des courbes curvilignes. Pour cela, la technique d'interpolation est nécessaire pour obtenir les valeurs exactes des points. Puisque les rayons sont courbés, les valeurs doivent être corrigées après.

#### **3.3.1 Généralités de la numérisation**

Prenons l'exemple de la figure 21 qui est un extrait de photographie originale après numérisation qui est le relevé de température de trois jours.



**Figure 21 : Extrait d'une archive en température**

Nous pouvons nous apercevoir que nous avons un pas de deux heures pour chaque journée et un étalon de  $-5^{\circ}\text{C}$  minimum et de  $50^{\circ}\text{C}$  maximum. Pour effectuer un relevé d'un point quelconque sur notre image, nous devons prendre en compte ses paramètres caractéristiques sur le nombre de pas et l'étalon de température.

### **3.3.2 Programmation**

Voici donc les démarches que nous avons suivies pour obtenir les valeurs numériques à travers chaque pointage effectué :

- OUVERTURE
- ETALONNAGE
- CORRECTION
- CHOIX DU MODE DE POINTAGE
- ENREGISTREMENT ET EXPORTATION.

Détaillons par point ces différentes démarches :

### **3.3.2.1Fonction ouverture**

Avant tout, il faut lancer le programme, ensuite bien enregistrer chaque fichier numérisé selon les paramètres suivants leur nom : temp pour température, press pour pression et pluv pour pluie sinon le programme ne reconnaît pas le fichier. Si on y ajoute d'autre type de fichier à numériser il faut juste modifier le programme en y ajoutant de nouvelle variable par rapport au traitement voulu.

Les fichiers reconnus doivent avoir une taille pas supérieure à 1024x768 et le format doit être soit de type JPG ou bmp ou tif.

Maintenant, en cliquant sur le bouton ouvrir, nous allons être redirigé vers le dossier principal du programme où les images sont enregistrées.

Nous donnons une partie du programme pour cette première partie comme suit :

```
[f,r] = uigetfile(...  
{'*.jpg','figure uniquement (*.jpg)';...  
'*.bmp','toute la fenêtre (*.bmp)'; ...  
'*.tif','figure uniquement (*.tif)'}, ...  
  
img = imread(fic);  
ifstrncmp(f,'temp',4), vg = 1;  
elseifstrncmp(f,'pres',4), vg = 2;  
elseifstrncmp(f,'pluv',4), vg = 3;  
end
```

### **3.3.2.2Fonction étalonnage**

Maintenant, c'est la partie la plus importante de notre programme car c'est ici que nous fixons la zone de pointage, les valeurs maximum et minimum et le rayon de courbure.

Pour cela, nous étalonnons à partir du haut à gauche puis de la droite en bas, pour chaque variable météorologique et nous fixons dans le programme les valeurs minimum et maximum à l'aide des instructions suivantes :

Température

```
set(vmi,'string','-5 °C'); set(vma,'string','50 °C')
set(tco,'string','3.50 h','enable','on'); set(sco,'value',3.5)
set(thr,'string','6 h'); set(rcc,'enable','on')
```

Pression

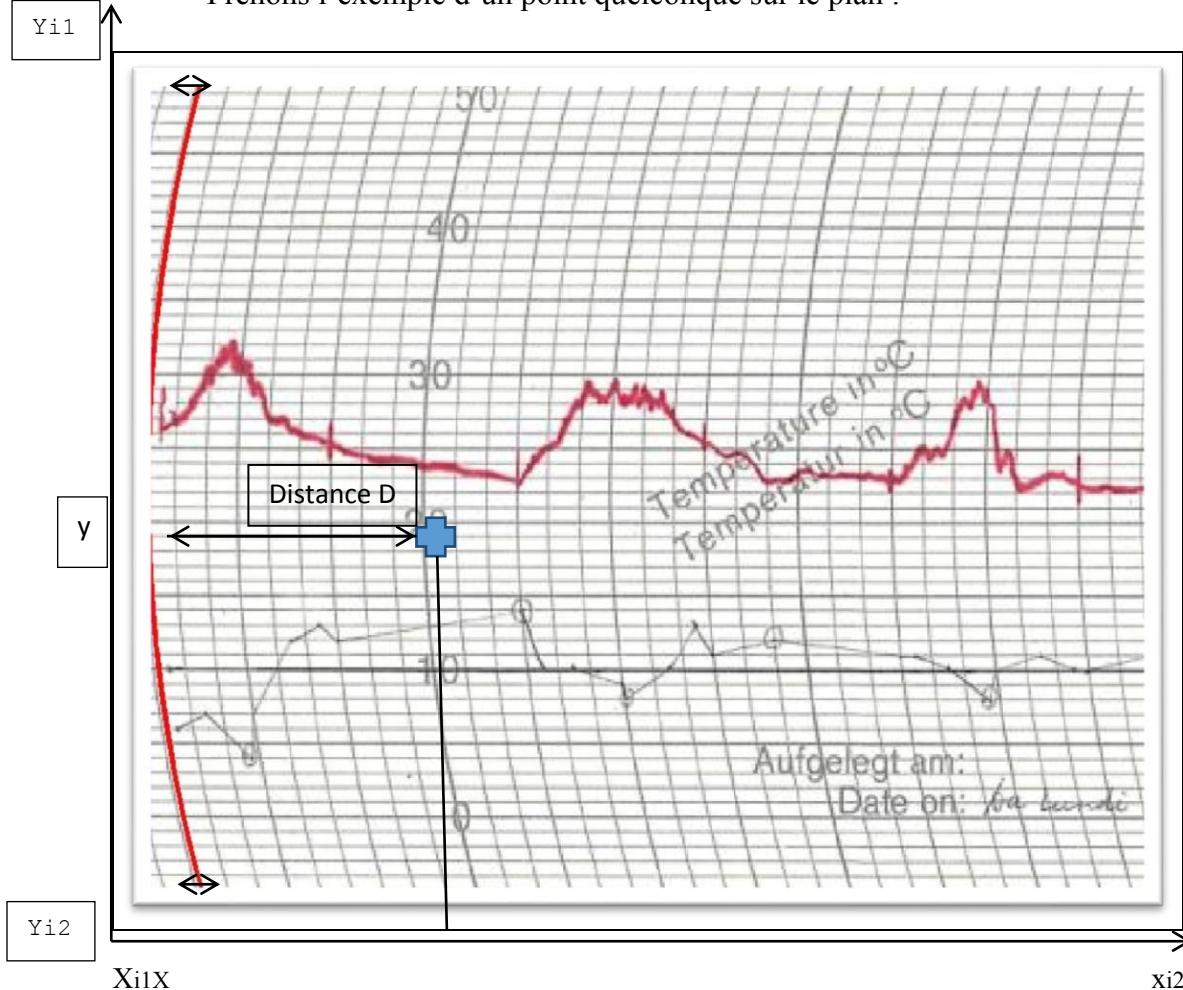
```
set(vmi,'string','977 mbar'); set(vma,'string','1044 mbar')
set(tco,'string','4.70 h','enable','on'); set(sco,'value',4.7)
set(thr,'string','6 h'); set(rcc,'enable','on')
```

Pluie

```
set(vmi,'string','0 mm'); set(vma,'string','10 mm')
set(tco,'string','0.55 h','enable','on'); set(sco,'value',0.55)
set(thr,'string','8 h'); set(rcc,'enable','off')
```

Si nous choisissons une variable  $x$  pour représenter un point quelconque dans le plan, cette valeur n'est pas vraiment exacte car Matlab la repère dans le plan que nous avons étalonné. Par contre, tous nos papiers millimétrés suivent plusieurs courbures et c'est pour cela que nous avons mis une courbure de repère ayant un rayon de courbure proportionnel à chaque fichier.

Prenons l'exemple d'un point quelconque sur le plan :



**Figure 22 : Illustration mathématique pour un point quelconque.**

Nous devons alors avoir recours à la méthode d'étalonnage pour corriger et avoir la valeur exacte. Nous adoptons la méthode des moindres carrés et nous avons l'équation d'une droite :

$$y = ax + b \quad (2)$$

Avec pour notre cas :

$$x_v = ax \cdot x_i + bx \quad (3)$$

$$y_v = ay \cdot y_i + by \quad (4)$$

Où  $x_i$  et  $y_i$  sont les coordonnées du point en pixel donc sur une image,

$x_v$  et  $y_v$  par contre sont les vraies valeurs,

$ax$ ,  $bx$ ,  $ay$ ,  $by$ , les inconnues. Lorsque nous avons ces valeurs, nous obtenons les vraies valeurs  $x_v$  et  $y_v$

Pour la détermination des paramètres  $a$  et  $b$ , nous partons des relations suivantes :

$$x_{v2} = ax \cdot x_{i2} + bx \quad (5)$$

$$x_{v1} = ax \cdot x_{i1} + bx \quad (6)$$

$$y_{v2} = ay \cdot y_{i2} + by \quad (7)$$

$$y_{v1} = ay \cdot y_{i1} + by \quad (8)$$

Nous pouvons déterminer  $ax$  et  $ay$  par la méthode d'élimination et nous reportons ces valeurs dans l'une des deux équations pour avoir  $bx$  et  $by$ . En procédant à la différence membres à membres des (5) et (6) et (7) et (8), nous obtenons respectivement les équations suivantes :

$$x_{v2} - x_{v1} = ax \cdot x_{i2} - ax \cdot x_{i1} \quad (9)$$

$$y_{v2} - y_{v1} = ay \cdot y_{i2} - ay \cdot y_{i1} \quad (10)$$

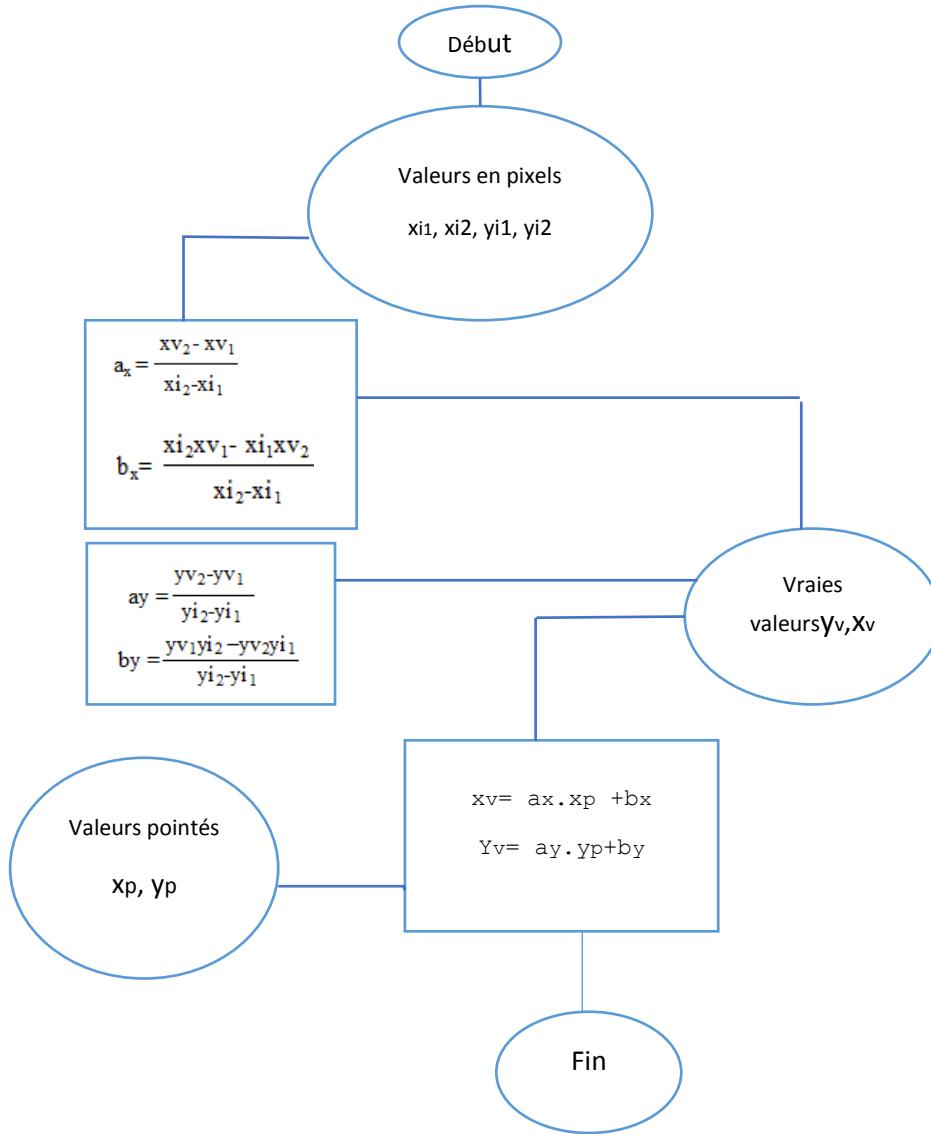
$$ax = \frac{x_{v2} - x_{v1}}{x_{i2} - x_{i1}} \quad (11)$$

$$bx = \frac{x_{i1} \cdot x_{v1} - x_{i2} \cdot x_{v1}}{x_{i2} - x_{i1}} \quad (12)$$

$$ay = \frac{y_{v2} - y_{v1}}{y_{i2} - y_{i1}} \quad (13)$$

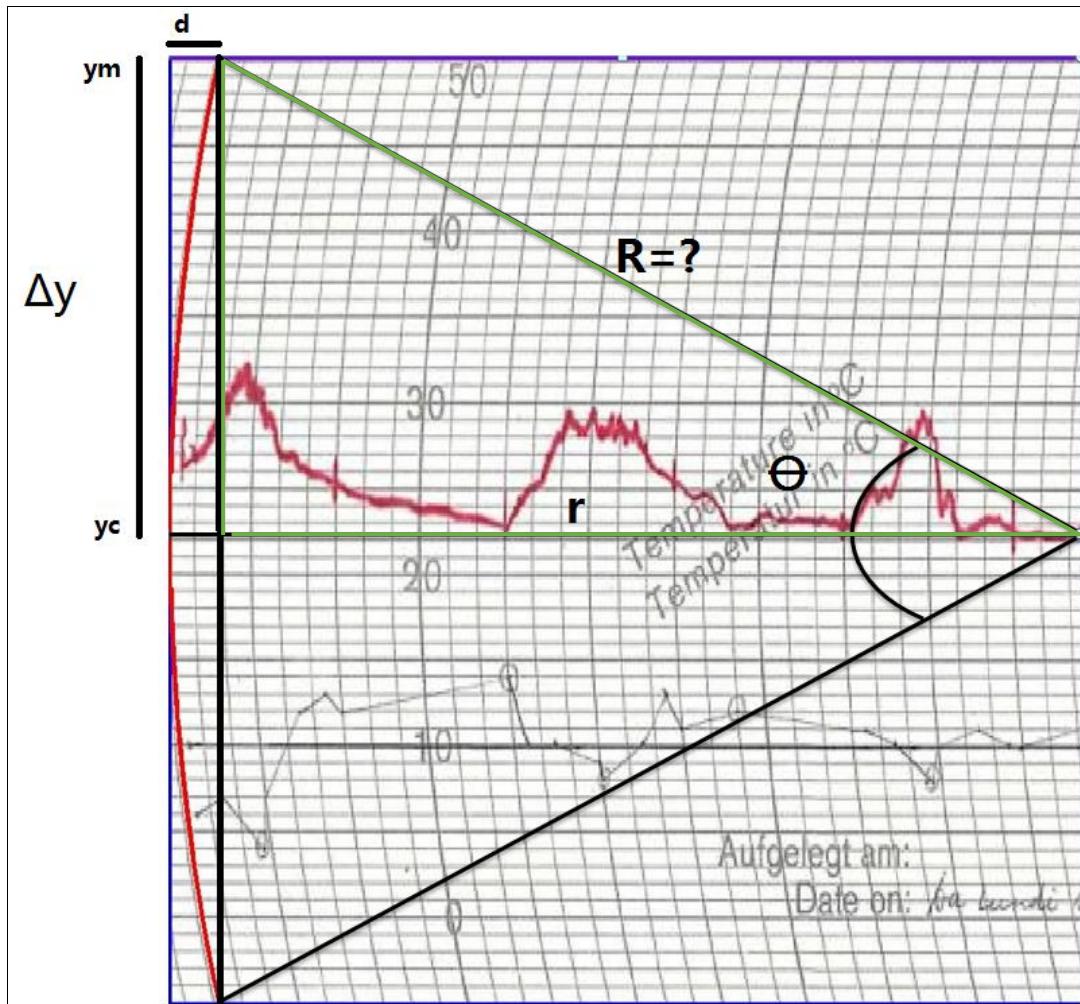
$$by = \frac{y_{v1} \cdot y_{i2} - y_{v2} \cdot y_{i1}}{y_{i2} - y_{i1}} \quad (14)$$

Voici l'organigramme qui nous explique la démarche suivie pour trouver les vraies valeurs des coordonnées x et y



**Figure 23 : Organigramme de détermination decoordonnées x et y.**

Ici, d'après les formules adoptées et calculs suivis, nous pouvons avoir les vraies valeurs des points  $x_v$  et  $y_v$  mais pas encore par rapport à la courbure et par la suite, nous devons faire appel à la géométrie.



**Figure 24 : Illustration Géométrique pour calculer R**

Lors de la détermination de R, nous partons des équations :

$$R = d + r \quad (15)$$

$$\Delta y^2 + r^2 = R^2 \quad (16)$$

L'égalité de ces relations donne R.

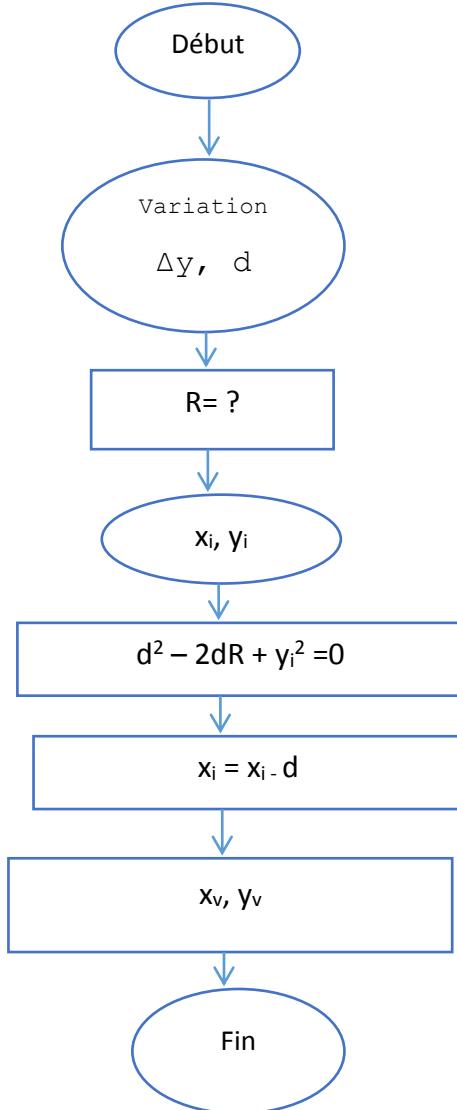
$$\Delta y^2 + r^2 = d^2 + 2dr + r^2 \quad (17)$$

$$R = d + \frac{\Delta y^2 - d^2}{2d} \quad (18)$$

$$R = \frac{\Delta y^2 + d^2}{2d} \quad (19)$$

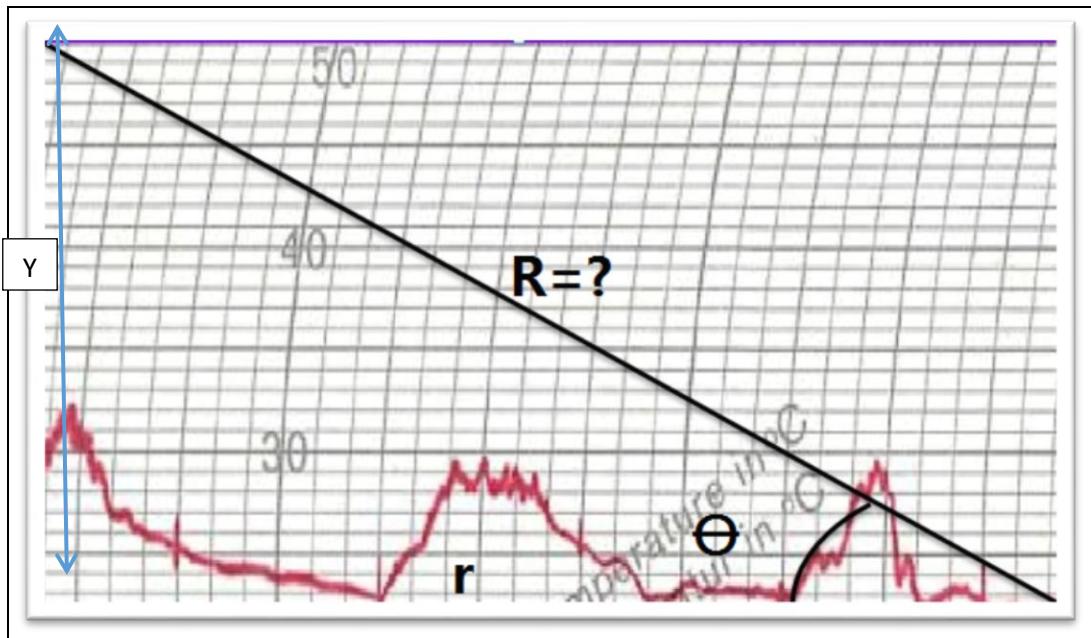
L'organigramme correspondant est présenté sur la figure 25. Le point  $x_i$  à corriger doit être égal à  $[x_i \text{ pointé} + d(y_i)]$  et  $y_i \approx \Delta y$ .

D'après l'équation (19) ci-dessus, on obtient  $d^2 - 2dR + \Delta y^2 = 0$  tel que d est égal à  $\min(d)$ .



**Figure 25 : Organigramme de correction des valeurs des abscisses**

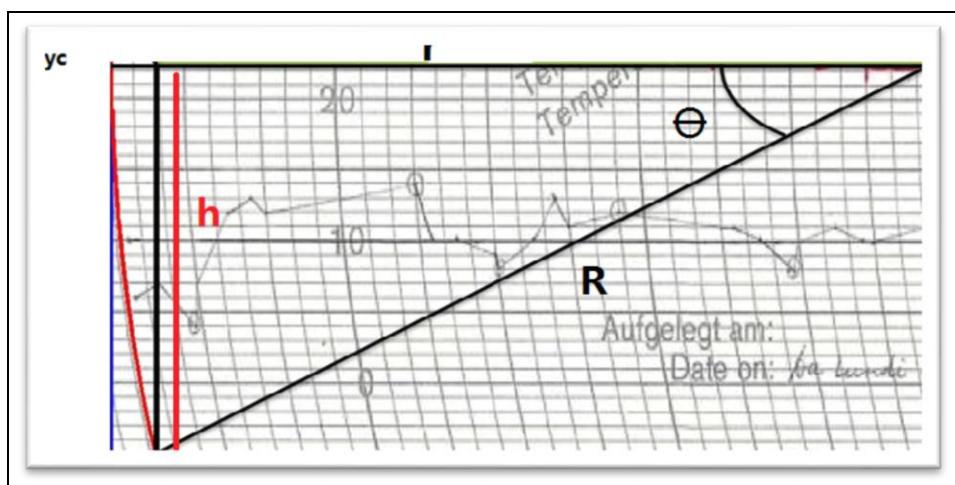
- Détermination de  $\Theta$  :



**Figure 26 : Modèle géométrique pour  $\Theta$**

$$\tan \Theta = y/r$$

$$\Theta = \arctan(y/r)$$



**Figure 27 : Angle transposée**

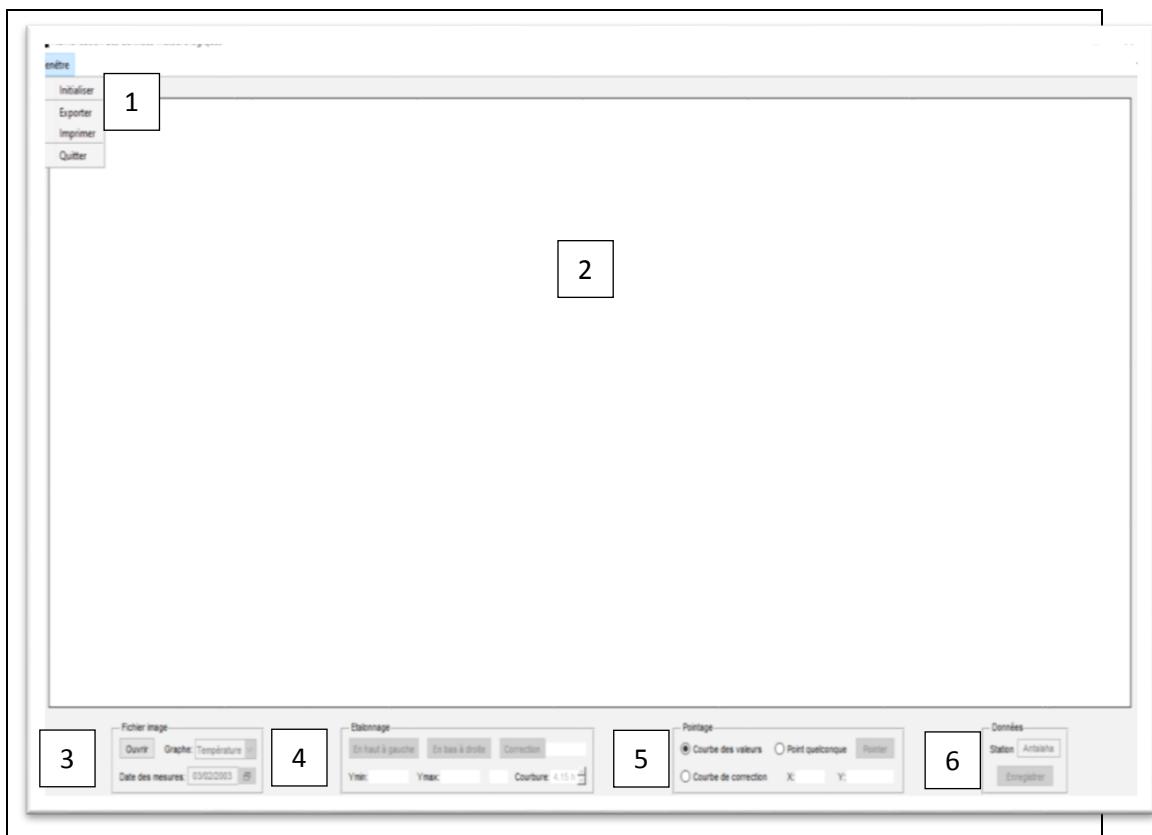
### 3.4 Résultats

Suite à nos recherches, nous avons abouti à cette application de numérisation d'image mais principalement aux différentes archives météorologiques d'Antananarivo. L'application est 100% codée à base du puissant logiciel de développement et traitement mathématique qu'est Matlab.

#### 3.4.1 Tutoriel et mode d'utilisation du logiciel

- Interface utilisateur

Lorsque nous lançons notre application, voici la première interface qui s'affiche, nous avons un affichage standard de 1024\*768 compatible sur la généralité des moniteurs.



**Figure 28: Interface Utilisateur**

(1) **Fenêtre**, ici nous avons un menu Fenêtre contenant les sous menus : **Initialiser/Exporter/Imprimer/Quitter**.

(2) C'est ici que nos images sont affichées.

(3) **Fichier Image**, Le bouton **Ouvrir** permet de parcourir l'emplacement de nos images numérisées, **Graphe** permet de choisir quel type d'image ou de donnée va être numérisé. Nous pouvons aussi modifier la **date des mesures** en utilisant le calendrier par défaut de chaque système d'exploitation.

(4) **Etalonnage**, cette partie permet de faire l'étalonnage, c'est-à-dire de sélectionner la zone de travail à numériser à l'aide des boutons **En haut à Gauche** et **En Bas à droite**.

Les valeurs maximum et minimum et le rayon de courbure s'affichent automatiquement par rapport à la variable sélectionnée à travers **Ymin:/Ymax : / Courbure :**

(5) **Pointage**, c'est ici que nous faisons le choix de notre type de pointage, que ce soit par **Courbe de valeurs**, **Point quelconque** ou faire **une courbe de correction**.

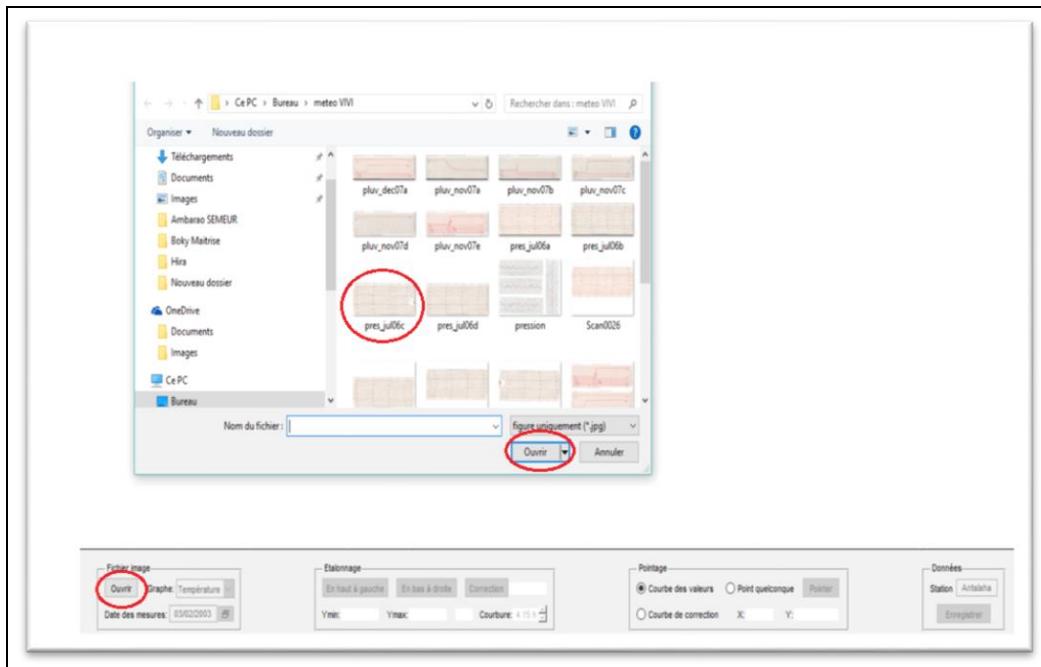
**X :** et **Y :** affiche les coordonnées d'un point quelconque.

(6) **Données, Station** permet de choisir le lieu où les données ont été collectées.

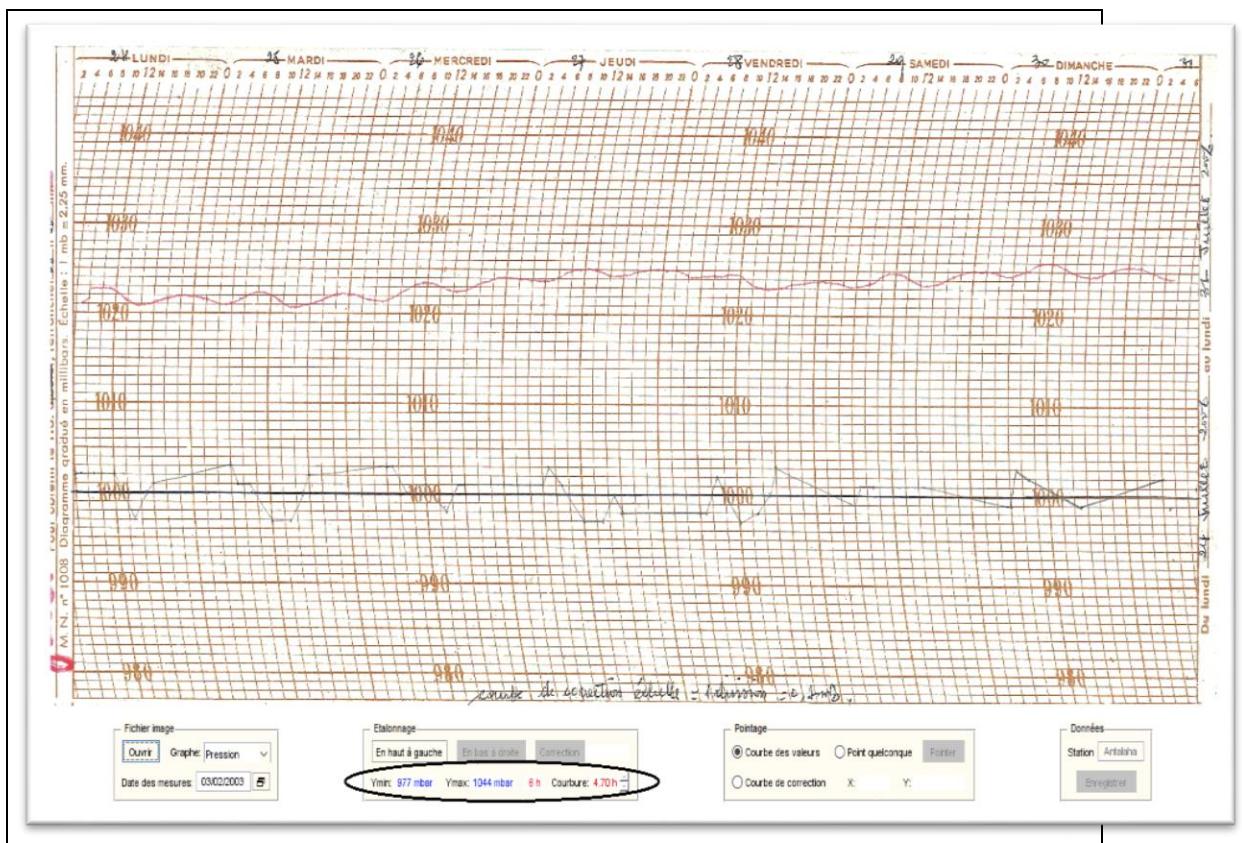
- **ETAPE 1 :**

Premièrement, cliquer sur le bouton ouvrir de notre application, ensuite une fenêtre s'ouvre pour pouvoir parcourir notre dossier source, ensuite sélectionner l'image à numériser et préciser toujours que les fichiers doivent être toujours précédé des quatre premiers lettres de chaque variables : **pres** pour Pression, **temp** pour Température, **pluv** pour Pluviomètre.

Ensuite cliquer sur ouvrir après avoir fait la sélection et entrer maintenant dans la deuxième étape.

**Figure 29:** Fonction Ouvrir ou parcourir

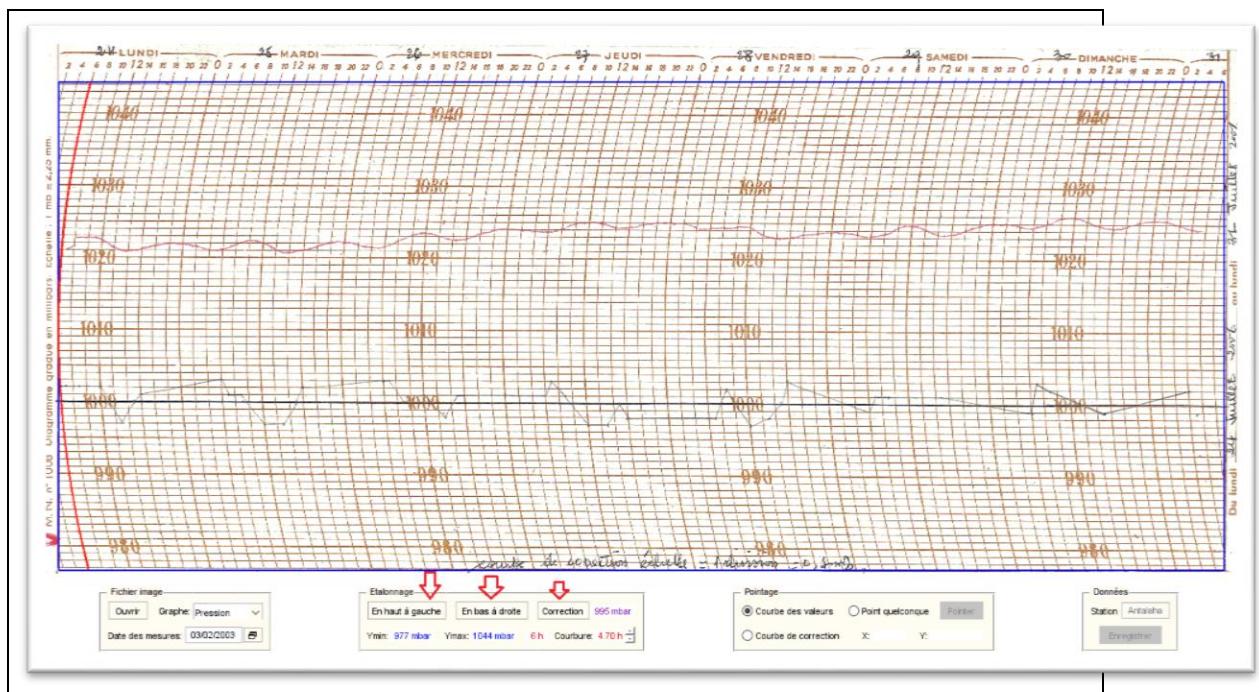
- ETAPÉ 2**

**Figure 30 :** Étalonnage

Dans notre exemple, nous avons choisi de numériser le relevé de pression en une semaine, nous avons pu déjà nous apercevoir que les champs Ymin, Ymax et courbure sont remplies automatiquement par rapport au type de graphe à numériser. Donc les champs de mesures ne peuvent excéder ces valeurs max et min.

Ensuite, nous avons fait l'étalonnage e en cliquant d'abord le bouton **En Bas à gauche** et en choisissant le coin supérieur gauche, après **En Bas à droite** en sélectionnant le coin inférieur droite.

Par contre, nous constatons que notre rayon de courbure se montre automatiquement après que la sélection est faite.



**Figure 31 : Choix des points d'étalonnage**

### • ETAPE 3

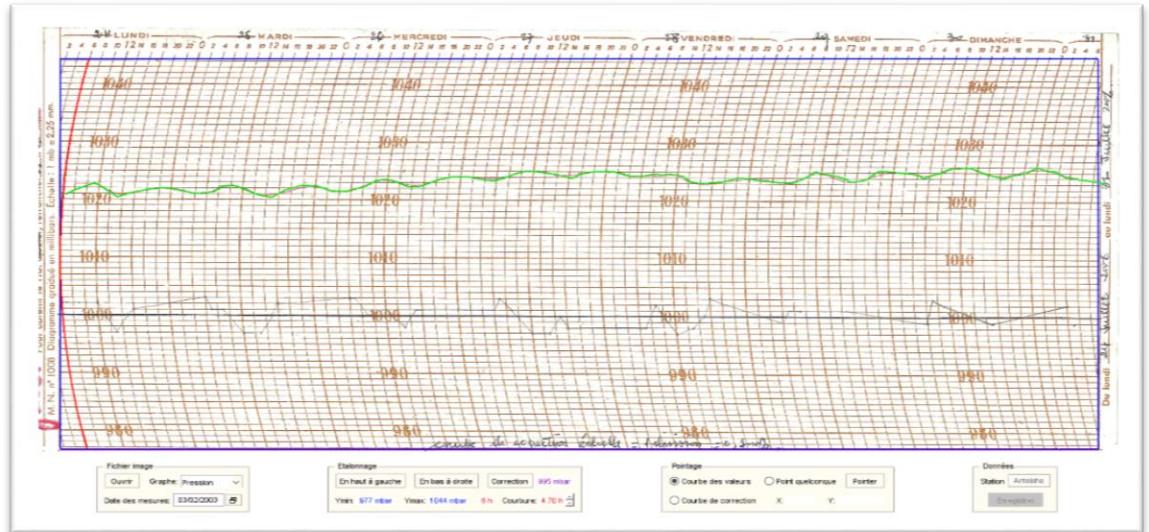
Maintenant entrons dans la numérisation ou le pointage, il y a trois types de pointage :

Il faut choisir sur quel type de pointage le travail

est fait, et à chaque fois, il faut cliquer sur le bouton pointer avant de commencer.

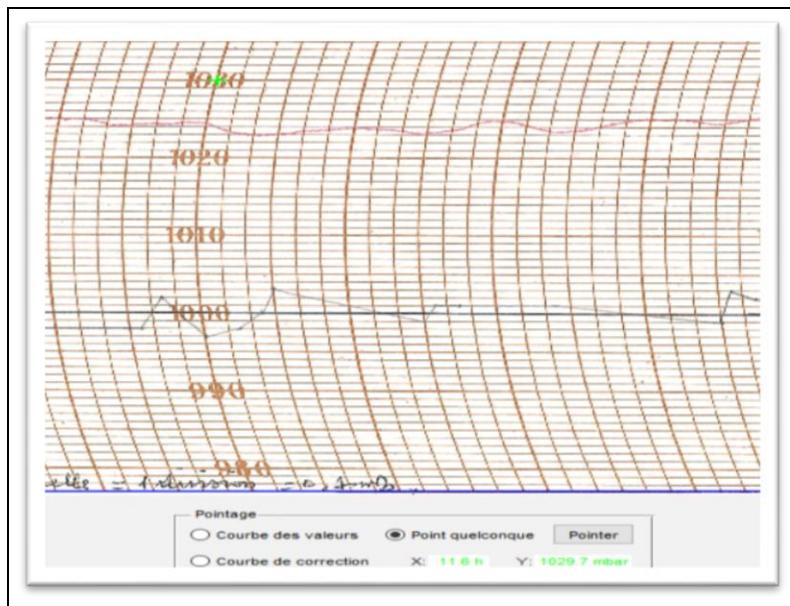
#### - Pointage par courbe de valeurs

Ce type de pointage permet de faire le pointage suivant toute forme de courbe voulue. Il suffit de commencer par un point de départ et continuer jusqu'à la fin. Pour terminer le pointage, il faut toujours sortir le curseur du champ de travail et cliquer n'importe où.

**Figure 32 : Pointage par courbe de valeurs**

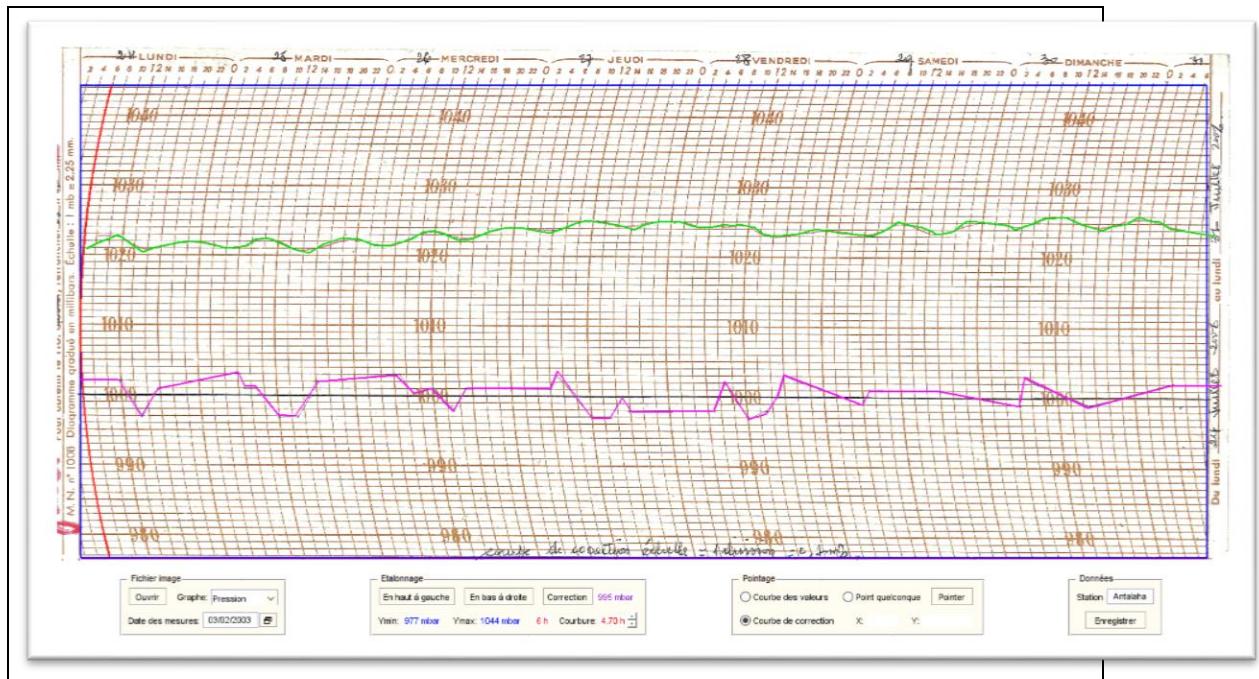
- Pointage par point quelconque

Ici, nous obtenons juste comme dit précédemment les coordonnées x et y d'un point quelconque dans la zone de travail et qui sont affichées dans les deux champs X et Y en bas.

**Figure 33 : Pointage par point quelconque**

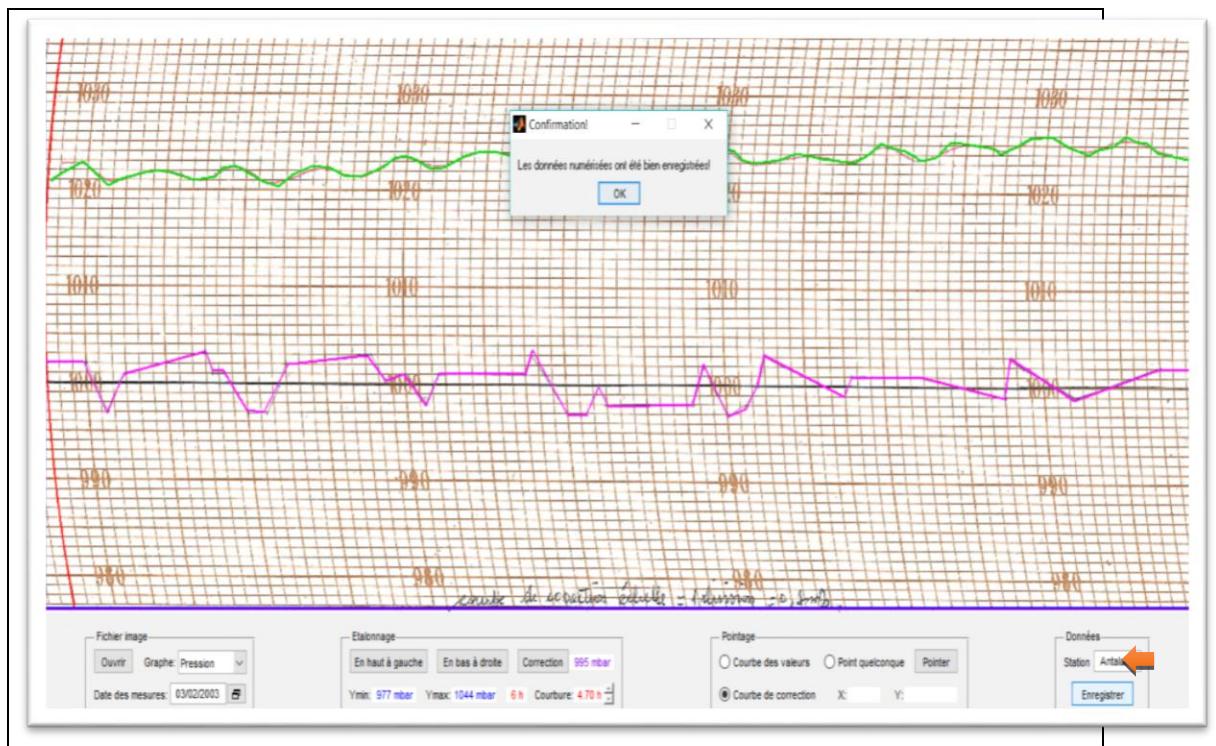
- Pointage des courbes de correction(voir figure 34)

Ce dernier type permet de faire le pointage des courbes de correction dont la plupart de nos données en ont une comme celles de la pression et de la température. Notre courbe de correction est de couleur violette.

**Figure 34 : Courbes de correction**

- ETAPE 4**

La dernière étape est l'enregistrement des données, elle nous permet d'enregistrer dans un fichier texte toutes nos données après leurs pointages. Nous pouvons modifier le type de station après numérisation ensuite nous cliquons sur enregistrer et une boîte de dialogue s'affiche pour confirmer l'enregistrement en cliquant sur OK.

**Figure 35 : Enregistrement des données**

Nous avons pu tout de suite consulter notre base de données dans le même dossier où nous avons sauvegardé nos images en l'ouvrant à l'aide d'un éditeur de texte. Elle s'ouvre sous cette forme :

HH:MM	Pb (mbar)	Cor (mbar)	Pc (mbar)
07:00	1021.10	-0.02	1021.1
07:01	1021.11	-0.03	1021.1
07:02	1021.11	-0.03	1021.1
07:03	1021.11	-0.03	1021.1
07:04	1021.11	-0.03	1021.1
07:05	1021.12	-0.04	1021.1
07:06	1021.12	-0.04	1021.1
07:07	1021.12	-0.04	1021.1
07:08	1021.12	-0.04	1021.1
07:09	1021.13	-0.04	1021.1
07:10	1021.13	-0.05	1021.1
07:11	1021.13	-0.05	1021.1
07:12	1021.13	-0.05	1021.1
07:13	1021.14	-0.05	1021.1
07:14	1021.14	-0.06	1021.1
07:15	1021.14	-0.06	1021.1
07:16	1021.14	-0.06	1021.1
07:17	1021.15	-0.06	1021.1
07:18	1021.15	-0.06	1021.1
07:19	1021.15	-0.07	1021.1
07:20	1021.16	-0.07	1021.1
07:21	1021.16	-0.07	1021.1
07:22	1021.16	-0.07	1021.1
07:23	1021.16	-0.08	1021.1
07:24	1021.17	-0.08	1021.1
07:25	1021.17	-0.08	1021.1
07:26	1021.17	-0.08	1021.1

**Figure 36 : Extrait de données numérique en Pression atmosphérique**

Nous nous apercevons que le fichier est bien enregistré pour la région d'Antalaha avec la date d'enregistrement et nous pouvons bien voir que les relevés se font bien par minute. **Pb** est la forme brute et **Pc**, la forme corrigée. Nous avons pratiquement pris des marges de correction pour avoir avec précision les valeurs exactes.

Les deux figures 37 et 38 nous montrent les autres résultats qui sont la température et la pluie :

<b><u>Figure 37 : Extrait de données numériques en Pluie</u></b>	<b><u>Figure 38 : Extrait de données numériques en Température</u></b>

Puisque le pluviomètre n'enregistre que toutes les 24 heures, donc nous n'avons que des relevés d'une journée.

La base de la température est semblable à celle de la pression, c'est-à-dire pour des relevés durant une semaine entière, les valeurs sont corrigées par rapport à celles de la courbe de correction.

## **CONCLUSION**

La numérisation est devenue un concept incontournable dans le monde moderne du troisième millénaire. En effet, avoir recours à cette nouvelle technologie vise aussi à réduire l'intervention humaine par usage des outils informatiques.

De même, au vue de l'apparition de différents outils de traitement de données, l'implantation de ce nouveau système de numérisation a bien facilité les travaux des membres du personnel du département de la Météorologie d'Antananarivo car aujourd'hui les archives peuvent êtres numérisées sur quelque support de données de juste quelques méga-octets.

Notre parcours au niveau de la formation MISEI (Master d'Ingénierie en Systèmes Electroniques et Informatiques) et le travail effectué au sein de la Direction General de la Météorologie de Madagascar nous ont beaucoup enrichis en connaissance, recherche et relation. Surtout la réalisation de ce nouveau système de réalisation à travers le logiciel Matlab nous a fait basculer vers un nouvel horizon de recherche et de travail pour un avenir meilleur.

L'évolution et l'extension sont réalisables mais elles dépendent des contraintes de disponibilité des outils de conception adéquats, de besoins à satisfaire et du progrès pouvant apparaître dans les années à venir.

## **ANNEXES**

### **Annexe 1 : MATLAB**

MATLAB est une abréviation de Matrix LABoratory. Écrit à l'origine, en Fortran, par C. Moler, MATLAB était destiné à faciliter l'accès au logiciel matriciel développé dans les projets LINPACK et EISPACK. La version actuelle, écrite en C par the MathWorks Inc., existe en version professionnelle et en version étudiant. Sa disponibilité est assurée sur plusieurs plates-formes : Sun, Bull, HP, IBM, compatibles PC (DOS, Unix ou Windows), Macintosh, iMac et plusieurs machines parallèles.

MATLAB est un environnement puissant, complet et facile à utiliser destiné au calcul scientifique. Il apporte aux ingénieurs, chercheurs et à tout scientifique un système interactif intégrant calcul numérique et visualisation. C'est un environnement performant, ouvert et programmable qui permet de remarquables gains de productivité et de créativité.

MATLAB est un environnement complet, ouvert et extensible pour le calcul et la visualisation. Il dispose de plusieurs centaines (voire milliers, selon les versions et les modules optionnels autour du noyau Matlab) de fonctions mathématiques, scientifiques et techniques. L'approche matricielle de MATLAB permet de traiter les données sans aucune limitation de taille et de réaliser des calculs numériques et symboliques de façon fiable et rapide. Grâce aux fonctions graphiques de MATLAB, il devient très facile de modifier interactivement les différents paramètres des graphiques pour les adapter selon nos souhaits.

L'approche ouverte de MATLAB permet de construire un outil sur mesure. On peut inspecter le code source et les algorithmes des bibliothèques de fonctions (Toolboxes), modifier des fonctions existantes et ajouter d'autres.

MATLAB possède son propre langage, intuitif et naturel qui permet des gains de temps de CPU spectaculaires par rapport à des langages comme le C, le TurboPascal et le Fortran. Avec MATLAB, on peut faire des liaisons de façon dynamique, à des programmes C ou Fortran, échanger des données avec d'autres applications (via la DDE : MATLAB serveur ou client) ou utiliser MATLAB comme moteur d'analyse et de visualisation.

MATLAB comprend aussi un ensemble d'outils spécifiques à des domaines, appelés Toolboxes (ou Boîtes à Outils). Indispensables à la plupart des utilisateurs, les Boîtes à Outils sont des collections de fonctions qui étendent l'environnement MATLAB pour résoudre des catégories spécifiques de problèmes. Les domaines couverts sont très variés et comprennent notamment le traitement du signal, l'automatique, l'identification de systèmes, les réseaux de neurones, la logique floue, le calcul de structure, les statistiques, etc.

MATLAB fait également partie d'un ensemble d'outils intégrés dédiés au Traitement du Signal. En complément du noyau de calcul MATLAB, l'environnement comprend des modules optionnels qui sont parfaitement intégrés à l'ensemble :

- 1) une vaste gamme de bibliothèques de fonctions spécialisées (Toolboxes)
- 2) Simulink, un environnement puissant de modélisation basée sur les schémas-blocs et de simulation de systèmes dynamiques linéaires et non linéaires
- 3) Des bibliothèques de blocs Simulink spécialisés (Blocksets)
- 4) D'autres modules dont un Compilateur, un générateur de code C, un accélérateur,...
- 5) Un ensemble d'outils intégrés dédiés au Traitement du Signal : le DSP Workshop.

### **Quelles sont les particularités de MATLAB ?**

MATLAB permet le travail interactif soit en mode commande, soit en mode programmation ; tout en ayant toujours la possibilité de faire des visualisations graphiques. Considéré comme un des meilleurs langages de programmations (C ou Fortran), MATLAB possède les particularités suivantes par rapport à ces langages :

- la programmation facile,
- la continuité parmi les valeurs entières, réelles et complexes,
- la gamme étendue des nombres et leurs précisions,
- la bibliothèque mathématique très comprehensive,
- l'outil graphique qui inclus les fonctions d'interface graphique et les utilitaires,
- la possibilité de liaison avec les autres langages classiques de programmations (C ou Fortran).

Dans MATLAB, aucune déclaration n'est à effectuer sur les nombres. En effet, il n'existe pas de distinction entre les nombres entiers, les nombres réels, les nombres complexes et la simple ou double précision. Cette caractéristique rend le mode de programmation très facile et très rapide. En Fortran par exemple, une subroutine est presque nécessaire pour chaque variable simple ou double précision, entière, réelle ou

complexe. Dans MATLAB, aucune nécessité n'est demandée pour la séparation de ces variables.

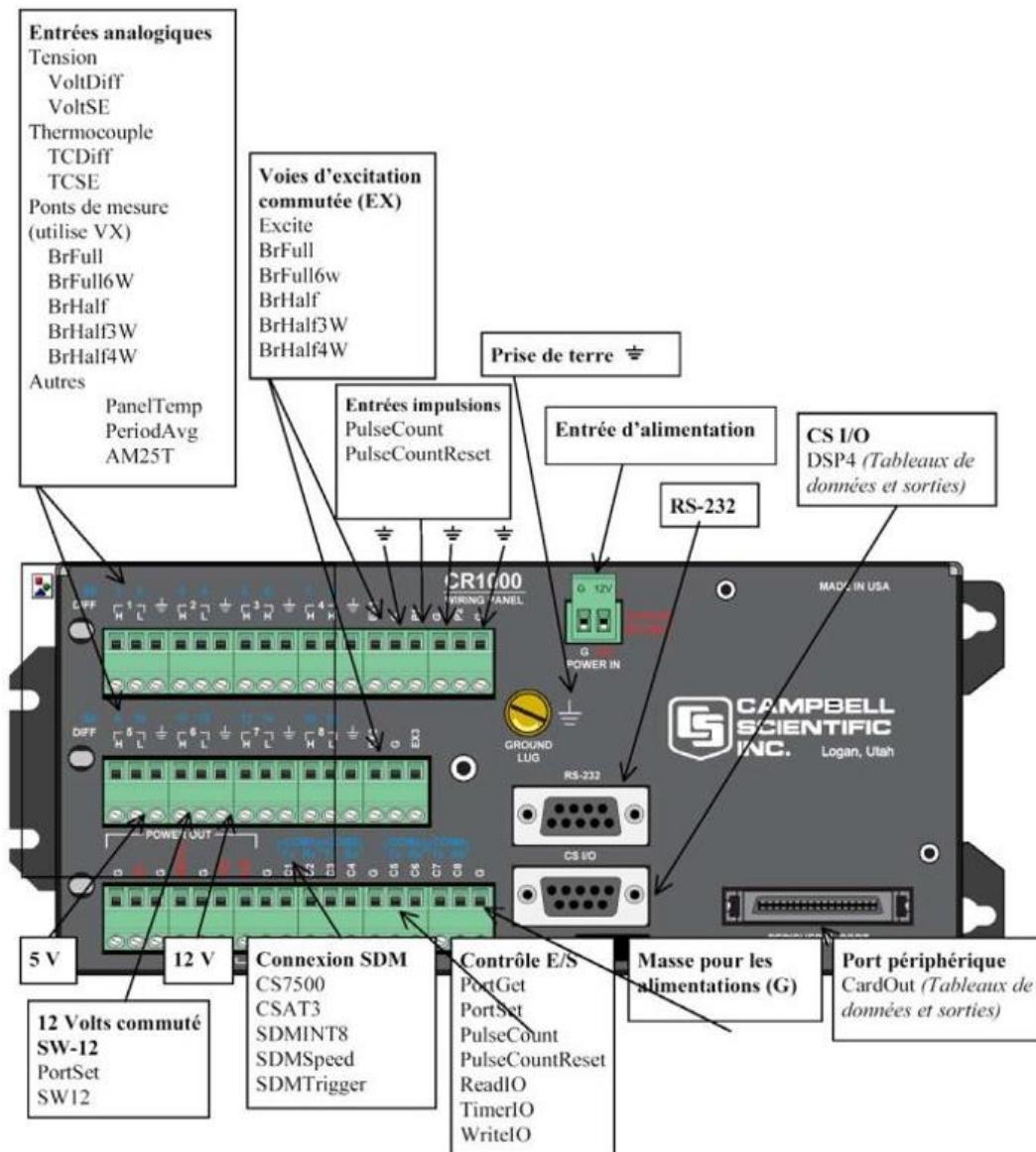
La bibliothèque des fonctions mathématiques dans MATLAB donne des analyses mathématiques très simples. En effet, l'utilisateur peut exécuter dans le mode commande n'importe quelle fonction mathématique se trouvant dans la bibliothèque sans avoir à recourir à la programmation.

Pour l'interface graphique, des représentations scientifiques et même artistiques des objets peuvent être créées sur l'écran en utilisant les expressions mathématiques. Les graphiques sur MATLAB sont simples et attirent l'attention des utilisateurs, vu les possibilités importantes offertes par ce logiciel.

MATLAB peut-il s'en passer de la nécessité de Fortran ou du C ?

La réponse est non. En effet, le Fortran ou le C sont des langages importants pour les calculs de haute performance qui nécessitent une grande mémoire et un temps de calcul très long. Sans compilateur, les calculs sur MATLAB sont relativement lents par rapport au Fortran ou au C si les programmes comportent des boucles. Il est donc conseillé d'éviter les boucles, surtout si celles-ci est grande.

## Annexe 2 : AWS DATALOGGER



**OV1.1.2 Signal / masse et blindage (Signal / Shield Grounds ) (≈)**

Les voies marquées ≈ sont utilisées pour connecter les références de mise à la terre et les fils de blindage.

**OV1.1.3 Masse d'alimentation / G (Power Ground / G)**

Les voies G (masse d'alimentation) sont utilisées pour relier les masses des alimentations délivrées par les voies 5V, SW-12, 12V, et C1 à C8.

**OV1.1.4 Prise de terre (Ground Lug) ≈**

La prise de terre est utilisée afin de relier un câble de section importante, à la terre. Une bonne connexion à la terre est nécessaire afin de fixer le potentiel de masse de la centrale de mesure, et pour transmettre à la terre les transitoires qui proviennent des voies du bornier, ou qui sont dirigées vers la masse lorsqu'ils sont déviés par les éclateurs à gaz, qui protègent les autres voies d'entrée.

**OV1.1.5 Entrée d'alimentation (Power In)**

Les voies G et 12V de la prise d'entrée d'alimentation, sont là afin de connecter à la CR1000 une alimentation provenant d'une batterie externe. C'est le seul emplacement où l'on peut amener de la tension en entrée ; les autres voies (12V et SW-12V) sont uniquement des sorties.

**OV1.1.6 12V commuté (Switched 12 Volts SW-12)**

La voie SW-12 fournit une alimentation 12V non régulée qui peut être commutée sous contrôle du programme.

**OV1.1.7 Voies d'excitation commutée (Switched Voltage Excitation) EX**

Trois sources d'excitation commutée permettent d'obtenir des tensions d'excitation précises et programmables jusqu'à ±2,5V afin d'effectuer des mesures de ponts de mesure. Chaque sortie analogique fournira jusqu'à 25mA à ±2,5 V.

**OV1.1.8 Entrées / Sorties numériques (Digital I/O)**

Il y a 8 voies d'entrées / sorties numériques (0V à l'état bas, 5V à l'état haut) permettant d'effectuer des mesures de fréquence, du comptage d'impulsion, du contrôle numérique et du changement d'état (triggering). En plus des fonctions associées à l'ensemble des voies d'entrée / sortie numérique, il y a certains groupes de voies qui ont des fonctions supplémentaires associées.

Les voies C1, C2 et C3, associées à 12V et G, permettent de connecter des capteurs ou des périphériques utilisant le protocole SDM (Synchronous Device for Measurement).

Les groupements COM peuvent être utilisés afin d'effectuer des communications série ou pour des entrées de capteurs intelligents.

**OV1.1.9 Entrées d'impulsion (Pulse Inputs)**

Deux voies d'entrée impulsion peuvent compter des impulsions à haut niveau (signal carré à 5V), des contacts sec ou du courant alternatif bas niveau.

### Annexe 3 : Microcontrôleur CR1000

## Technical Description

The CR1000 consists of a measurement and control module and a wiring panel. This datalogger uses an external keyboard/display and power supply. Low power consumption allows the CR1000 to operate for extended time periods on a battery recharged with a solar panel—eliminating the need for AC power. The CR1000 suspends execution when primary power drops below 9.6 V, reducing the possibility of inaccurate measurements.

The CR1000's module measures sensors, drives direct communications and telecommunications, reduces data, controls external devices, and stores data and programs in on-board, non-volatile storage. The electronics are RF shielded and glitch protected by the sealed, stainless-steel canister. A battery-backed clock assures accurate timekeeping. The module can simultaneously provide measurement and communication functions. The on-board, BASIC-like programming language supports data processing and analysis routines.

The CR1000WP is a black, anodized aluminum wiring panel that is compatible with all CR1000 modules. The wiring panel includes switchable 12 V, redistributed analog grounds (dispersed among analog channels rather than grouped), unpluggable terminal block for 12 V connections, gas-tube spark gaps, and 12 V supply on pin 8 to power our COM-series phone modems and other peripherals. The control module easily disconnects from the wiring panel allowing field replacement without rewiring the

## CR1000 Specifications

- Maximum Scan Rate: 100 Hz
- Analog Inputs: 16 single-ended or 8 differential individually configured
- Pulse Counters: 2
- Switched Excitation Channels: 3 voltage
- Digital Ports<sup>1</sup>: 8 I/Os or 4 RS-232 COM<sup>2</sup>
- Communications/Data Storage Ports:
  - 1 CS I/O, 1 RS-232, 1 parallel peripheral
- Switched 12 Volt: 1
- Input Voltage Range: ±5 Vdc
- Analog Voltage Accuracy: ±(0.06% of reading + offset), 0° to 40°C
- Analog Resolution: 0.33 µV
- A/D Bits: 13
- Temperature Range Standard: -25° to +50°C Extended: -55° to +85°C
- Memory:
  - 2 MB Flash (operating system), 4 MB (CPU usage, program storage, and data storage)
- Power Requirements: 9.6 to 16 Vdc
- Current Drain: 0.7 mA typical; 0.9 mA max. (sleep mode)  
1 to 16 mA typical (w/o RS-232 communication)  
17 to 28 mA typical (w/RS-232 communication)
- Dimensions:  
23.9 x 10.2 x 6.1 cm  
(9.4" x 4.0" x 2.4")
- Dimensions with CFM100 or NL115 attached:  
25.2 x 10.2 x 7.1 cm  
(9.9" x 4.0" x 2.8")
- Weight: 1.0 kg (2.1 lb)

sensors.

Originally, the standard CR1000 had 2 MB of data/program storage, and an optional version, the CR1000-4M, had 4 MB of memory. In September 2007, the standard CR1000 started having 4 MB of memory, making the CR1000-4M obsolete. Dataloggers that have a module with a serial number greater than or equal to 11832 will have a 4 MB memory. The 4 MB dataloggers will also have a sticker on the canister stating “4M Memory”.

- ProtocolsSupported: PakBus, Modbus, DNP3, FTP, HTTP, XML, POP3, SMTP, Telnet, NTCIP, NTP, SDI-12, SDM
- CE Compliance Standards to which Conformity is Declared: IEC61326:2002
- Warranty: 3 years

<sup>1</sup>*Certain digital ports*

## **REFERENCES**

- [1] Vue de la station sur Google Maps
- [2] [www.meteomadagascar.mg](http://www.meteomadagascar.mg), 04/04/2016
- [3] Documentation dans les archives de la Direction Générale de la Météorologique d'Antananarivo
- [4] Documentation Station technique de la Météorologie d' Ampasapito, 2p
- [5] <http://www.futura-sciences/environnement/les-20-instruments-classiques>, 21/04/2016
- [6] ANDRIAMBELOSOA Haja, Mon manuel de l'AWS MetOffice, 33p
- [7] [http://www.Étalonnage\(métrie\)-Wikipédia.html](http://www.Étalonnage(métrie)-Wikipédia.html), 15/06/2016

**Intitulé du mémoire : « REALISATION D'UN SYSTEME DE NUMERISATION DES ARCHIVES DE DONNEE METEOROLOGIQUE »**

**RESUME**

Cet ouvrage propose la réalisation d'un système de numérisation de données analogiques en numériques au sein du département de la météorologie de Madagascar, plus précisément pour le compte du service de l'informatique et des bases de données.

L'étude est basée sur diverses techniques telles que : la maîtrise des instruments météorologiques, l'étude du fonctionnement d'une station automatique ainsi que la technologie de programmation logicielle, le tout ayant pour but de transformer tous les archives du département en données numériques manipulables et éditables.

Le projet dans son ensemble a été implémenté en se basant sur un processus de numérisation. Egalemente, la réalisation de cette mission a fait appel à l'utilisation d'outils de développement des logiciels intelligents et perfectionnés comme MATLAB.

Enfin, les objectifs fixés sur cette mission ont été globalement atteints. Ainsi les détails fixés au préalable par le projet dans son ensemble ont été respectés sans réfuter l'ensemble des contraintes rencontrées au cours de ladite mission.

**Mots clés :** Numérisation, image, Matlab, météo Madagascar, station météorologique automatique.

**ABSTRACT**

This book offers the realization of an analog data system to convers these to the digital in Department of Meteorology of Madagascar, specifically on behalf of IT services and databases.

The study is based on various techniques such as: the maitrises of weather instruments, the study of operation of an automatic station and software programming technology. All in order to transform all of the archives department handled or editable to digital data.

The whole project was implemented based on scanning process. Also, the realization of this mission calls for the use of smart and perfected software development tools such as MATLAB.

Finally, the objectives of this mission have been overall achieved. So the time limits set beforehand to complete the project is respected. Without refuting all the constraints encountered during this mission.

**Keys words:** Scanning, image, Matlab, weather station of Madagascar, automatic weather station.

<b>Encadreur</b> : RANDRIAMANANTANY Zely Arivelo Professeur Titulaire	<b>Auteur</b> : RADAFISON Tsiloarana Roussel <b>Adresse</b> : II I 29 Morarano Alarobia, Antananarivo 101 <b>Contact</b> : 034.37.600.38/ 033.04.456.32 <b>E-mail</b> : <a href="mailto:radafisonzay@gmail.com">radafisonzay@gmail.com</a> <b>Lieu de stage</b> : Direction Générale de la Météorologie de Madagascar
---	---