



ZiE
Fondation ZiE

Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
International Institute for Water and Environmental Engineering

**CONTRIBUTION A LA DETERMINATION DU POTENTIEL EN
ENERGIES RENOUVELABLES DU MALI PAR LA MISE EN
PLACE DES STATIONS DE TELEMESURE AUTONOMES**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER SPECIALISE EN GENIE
ELECTRIQUE, ENERGETIQUE ET ENERGIES
RENOUVELABLES.**

Option : Electricité

Présenté et soutenu publiquement le 13 Décembre 2011 par

MAMADOU DIALLOU DABO

Travaux dirigés par : **Dr. Ing. Ahmed Ousmane BAGRE**
Enseignant, chercheur

UTER: *Génie Energétique et Industriel*

Encadreur :

Dr. Ing. Ahmed Ousmane **BAGRE**

Maîtres de stage :

Dr. Alhousseini **MAIGA**

Ing. Famakan **KAMISSOKO**

Jury d'évaluation :

Président :

Ing. Henry **KOTTIN**

Membres et Correcteurs:

Ing. Justin **BASSOLE**

Ing. Madieumbé **GAYE**

Ing. Ahmed **SANKARA**

Promotion 2010 - 2011

DEDICACES

✚ A mon père, monsieur Diallou DABO et à ma mère Sira SOUCKO

Pour tout ce que vous avez fait pour ma Réussite, pour l'amour que vous avez porté à mon égard ;

Pour l'esprit de tolérance et d'humilité que vous m'avez inculqué ;

✚ A mes frères Mady, Mamadou dit Vieux Dabo, mes sœurs Dioula Mousso et Kadidia Dabo;

Pour la tendresse et l'affection fraternelles et inconditionnelles dont je fais l'objet de votre part jusqu'à ce jour ;

✚ A tous ceux qui partout sur cette planète, nourrissent des bonnes ambitions pour un développement paisible, équitable et durable pour tous les êtres vivants de ce monde ;

Je dédie le fruit de ce travail.

REMERCIEMENTS

Je remercie Dieu l'éternel et le tout puissant de m'avoir guidé jusqu'à ce niveau.

Aucune bonne œuvre scientifique ou technique n'est élaborée dans la solitude. C'est le lieu et l'occasion de remercier toutes les personnes qui ont concouru, de près ou de loin, à la réalisation du présent ouvrage.

Mes sincères remerciements s'adressent à mes encadreurs et mon directeur de projet :

Dr. Alhousseini I. MAIGA, Chercheur et chef de section Production au CNESOLER ;

M. Famakan KAMISSOKO, Chercheur et chef de section Bioconversion et énergie éolienne au CNESOLER ;

M. Ahmed Ousmane BAGRE, Enseignant Chercheur à 2IE de OUAGADOUGOU ;

Je pense à M. Pierre Yves ROCHAT, professeur d'informatique industrielle à l'EPFL en suisse, et au Dr. Abdoulaye BAYOKO, Professeur d'acquisition et traitement des données à l'ENI_ABT pour leurs appuis et disponibilités sans réserve pour la réussite de ce projet ;

Je n'oublie pas le corps professoral du 2IE qui nous a dispensé des connaissances qui nous accordent le mérite d'être élevé dignement au titre d'Ingénieur, chers professeurs veuillez recevoir à travers ces lignes l'expression de ma profonde et totale reconnaissance.

Je remercie tout le personnel du CNESOLER et particulièrement M. Moussa KEITA, Technicien dans la section énergie éolienne du CNESOLER pour leur accueil et leur bon esprit de bonne collaboration ;

Chers amis Ing. Boni YAROHOUBALE et Ing. Gilbert KAZIENGA, avec vos familles, vous avez rendu mon séjour au FASO un souvenir inoubliable, soyez en remerciés ;

Je ne peux terminer sans remercier tous mes amis et camarades de classe et de l'AESMO, qui m'ont toujours témoigné leur amitié et leur fraternité.

Sommaire

DEDICACES	i
REMERCIEMENTS	ii
Sommaire	iii
LISTE DES TABLEAUX.....	v
LISTE DES FIGURES	vi
SIGLES ET ABREVIATIONS	vii
PRESENTATION DU LIEU DE STAGE, LE CNESOLER	ix
RESUME.....	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCTION GENERALE.....	1
I-Contexte et justification	1
II-Méthodologie.....	4
CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE.....	5
I- Généralités sur Les différentes sources d'énergies renouvelables.....	5
I-1 Energie solaire.....	5
I-2 Energie de la biomasse	7
I-3 Energie hydroélectrique	7
I-4 Energie éolienne	8
I-5 L'énergie du gradient thermique des mers	8
I-6 L'énergie des vagues (Houle).....	8
I-7 L'énergie des courants marins.....	9
I-8 Energie marémotrice	9
I-9 Energie géothermique.....	9
II- Les méthodes d'évaluation des potentiels en énergies renouvelables.....	9
II-1 L'énergie solaire	10
II-2 L'Energie de la biomasse :.....	11
II-3 L'hydroélectricité :.....	11
II-4 L'Energie éolienne :.....	11
III- Les difficultés liées à l'évaluation des potentiels en énergies renouvelables	12
III-1. Les contraintes liées à l'étendue de la zone à évaluer :	13
III-2. Les contraintes liées aux types des sources d'énergie renouvelable présentent dans la zone :	13
III-3. Les contraintes liées aux irrégularités du climat de la zone considérée	13

IV- Les difficultés rencontrées pour l'évaluation du potentiel des sources d'énergies renouvelables du Mali	13
V- Les solutions palliatives à ces contraintes	14
VI- Les indicateurs environnementaux du potentiel en énergies renouvelables d'un milieu	15
VI-1- Les indicateurs mesurés par le CNESOLER.....	15
VI-2- Les outils utilisés par le CNESOLER	15
Chapitre II : L'étude des systèmes de télémesure et choix des organes et conception du système d'acquisition, de traitement et de transmission d'une station distante	17
I- Les systèmes de télégestion	17
I-1- La structure générale d'un système de télémesure.....	17
I-2- Rôles des différents organes	18
I-3- Critères de choix des organes.....	23
II- Choix des organes et conception du système d'acquisition, de traitement et de transmission d'une station distante	24
I-1- Les capteurs et leurs caractéristiques techniques.....	24
I-2- L'organe d'acquisition et de traitement des données et ses caractéristiques techniques	25
I-3- L'organe de transmission des données et ses caractéristiques techniques.....	27
II- Conception et réalisation du système d'acquisition de traitement et de transmission des données d'une station distante	28
II-1- Les schémas détaillés du système d'acquisition et de transmission	29
II-2- L'organigramme et le programme de fonctionnement du système	29
II-3- Réalisation et tests du système d'un site pilote	31
Chapitre III : Mise en place d'un mode de centralisation des données des stations distantes .	33
I- Synoptique du système de centralisation :	33
II- Fonctionnement :	34
II-1 Méthode de création de la base de données des mesures :.....	34
II-2 Mise en place de l'interface d'exploitation des mesures :	34
III- Résultats obtenus dans la réalisation du système de centralisation :	34
Chapitre IV : Outils Utilisés et Estimation financière du projet	36
I- Les logiciels utilisés :	36
I-1- AVR Studio 4 :	36
I-2 Win AVR :	36
I-3 AVR ISP :	36
I-4 SDS et TCI :	37

I-5 HyperTerminal, Real Term etPutty:.....	37
II- Le langage C et les commandes AT:.....	37
II-1 Le langage C :.....	37
II-2 Les commandes AT:.....	37
II-3 Le langage Python.....	38
III- EVALUATION FINANCIERE DU PROJET.....	38
IV- CONCLUSIONS, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES.....	39
BIBLIOGRAPHIE.....	41
ANNEXE 1 : L'organigramme du CNESOLER.....	42
ANNEXE2 : Les différentes familles de microcontrôleur.....	43
ANNEXE 3 : Détails sur les commandes AT.....	44
ANNEXE 4 : Notes de Calcul des composants de polarisations des entrées sorties (numériques et analogiques).....	47
ANNEXE 5 : Quelques modules développés en C traduisant l'organigramme.....	48
ANNEXE 6 : Descriptions des interfaces graphiques des logiciels utilisés.....	53
ANNEXE 7 : Les fiches techniques des capteurs du CNESOLER.....	55
ANNEXE 8 : Photo d'un mât de mesure avec ses accessoires du CNESOLER.....	59
ANNEXE 9 : Comparaison des coûts en 1 an du système conçu et du système existant pour une exploitation en temps réel (transmission horaire des données).....	60
ANNEXE 10 : Mode opératoire du système de télémesure conçu.....	61

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Estimation financière.....	38
Tableau 2 : Spécifications du capteur de température.....	52
Tableau 3 : Spécifications du capteur de pression.....	54
Tableau 4 : Spécifications d capteur de vitesse et de direction.....	55

LISTE DES FIGURES

Figure 2.1 : Structure générale d'un système de télémessure.....	18
Figure 2.2 : Structure interne d'un microcontrôleur.....	19
Fig.2.3. Diagramme de conversion de signaux de sortie des capteurs.....	24
Figure 2.4 : Synoptique d'un système de transmission.....	28
Figure 2.5 : Schéma détaillé de la carte d'acquisition et de transmission d'un site distant..	29
Figure 2.6 : Organigramme du cahier de charges.....	30
Figure 2.7 : Face cuivre de la carte.....	31
Fig.2.8 : Face composant de la carte.....	31
Figure 2.9 : Photo de la carte conçue.....	32
Figure 3.1 : Synoptique du système de centralisation des mesures.....	33
Figure 4.1 : Structure générale entités de transfert d'une commande AT.....	37
Figure A.1 : Organigramme CNESOLER.....	42
Figure A.2 : Trajet d'une commande AT.....	44
Figure A.3 : syntaxe de commande d'une commande AT étendue.....	46
Figure A.4 : syntaxe de réponse d'une commande AT.....	46
Figure A.5 : Fenêtre de programmation d'AVR STUDIO 4.....	50
Figure A.6 : Fenêtre de transfert du programme avec AVR ISP.....	51
Figure A.7 : Fenêtre de communication avec le modem sous Hyper Terminal.....	51
Figure A.8 : Fenêtre de communication avec le modem sous Real Term	52
Figure A.9 : Photo d'un anémomètre Girouette.....	55
Figure A.10 : Photo d'un mât de mesure avec ses appareils.....	56

SIGLES ET ABBREVIATIONS

2IE : Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

AC : alternative current

ADC: Analogique and Digital Converter

ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Line

AESMO: Association des Elèves, Etudiants et Stagiaires du Mali à Ouagadougou

API : Automate Programmable Industriel

ASECNA : Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar

AT : Attention (standard de communication avec les modems GSM)

CNESOLER: Centre National d'Energie Solaire et des Energies Renouvelables

CPU : Central Processing Unit

CAN : Convertisseur Analogique Numérique

CAO : Conception Assistée par Ordinateur

CEI : Commission Electrotechnique Internationale

DC : Direct Current

EPFL : Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne

ENI_ABT : Ecole Nationale d'Ingénieurs Abderhamane Baba TOURE

ENR : Energies Nouvelles et Renouvelables

ETM : Energie thermique des Mers

ER : Energies Renouvelables

EEPROM : Electrical Erasable Programmable Read Only Memory

FH: Faisceau Hertzien

GSM : Global System for Mobile communication

GPS: Global Positioning System

GPRS : General Packet Radio Service

ISP : In System Programming

ILS : Interrupteur à Lame Souple

LESO: Laboratoire d'Energie Solaire

OTEC: Ocean thermal energy conversion

P-RM: Primature de le République du Mali

PMI : Petite et Moyenne Industrie

PME: Petite et Moyenne Entreprise

PLC : programmable logic controller

PO: Partie Opérative

PC : Partie Commande

PDU: Protocol Data Unit

ROM : Read Only Memory

RAM : Random Access Memory

RS232 : Recommended Standard 232

RTC : Réseau Téléphonique Commuté

SBEE : Section Bioconversion et Energie Eolienne

SMS : Short Message Service

SDS : Saisie De Schéma électronique

SMSC : Short Message Service Center

TCP/IP : Transmission Control Protocol/ Internet Protocol

TCI: Tracé de Circuit Intégré

USART : Universal Serial Asynchronous Reception Transmission

USB : Universal Serial Bus

UTER: Unité Thématique d'Enseignement et de Recherche

PRESENTATION DU LIEU DE STAGE, LE CNESOLER

Le Centre National de l'Énergie Solaire et des Énergies Renouvelables (CNESOLER) est un service rattaché à la Direction Nationale de l'Énergie du Mali. Il a été créé par Ordonnance n° 90-45/P-RM du 04 Septembre 1990 en remplacement du Laboratoire de L'Énergie Solaire (LESO) qui menait les recherches en énergie solaire depuis 1963.

Il comprend une direction couvrant cinq sections pour un personnel total de 39 personnes (voir organigramme en annexe 1):

1. Solaire Photovoltaïque ;
2. Solaire Thermique ;
3. Bioconversion et Énergie Éolienne ;
4. Production ;
5. Promotion Commerciale et Comptable.

Il a pour missions principales :

- La collecte des données de base, l'établissement d'un inventaire des potentialités des ressources en énergie renouvelables ;
- La recherche, la mise au point, la production et la commercialisation en vue de la vulgarisation de technologies adaptées et d'équipements ;
- L'ingénierie associée à la mise en œuvre des programmes nationaux ;
- L'évaluation des équipements d'énergie renouvelable ;
- La formation et l'encadrement de groupes d'artisans et la protection de PMI et PME.

Le centre dispose d'un atelier et d'un terrain d'essai de fabrication, d'expérimentation de prototypes et d'exposition de technologies d'énergies renouvelables.

Le CNESOLER est la structure principale de R&D du pays sur les énergies renouvelables et depuis sa création il a mis au point et expérimenté les technologies suivantes :

- le séchoir type familial d'une capacité de 15 à 20 kg de produit frais ;
- le séchoir d'une capacité de 25 à 30 kg de produit frais ;
- le séchoir semi-industriel d'une capacité de 150 à 200 kg de produit frais ;
- le chauffe-eau solaire ;
- le cuiseur boîte solaire ;
- le cuiseur parabole,
- le distillateur solaire ;
- l'éolienne multi pâle ;
- les équipements de biocarburant ;

- les briquettes combustibles etc.

Tout cela dans le but de faciliter l'accès des couches à faible revenu aux services énergétiques propres et moins chers.

Notre stage s'est déroulé pendant la période du 15 Mai au 15 Novembre principalement dans deux sections : la section production et la section bioconversion et énergie éolienne.

RESUME

L'élève ingénieur du 2IE, en sa phase finale de formation, effectue une période de stage dans une entreprise ou un laboratoire. Ce stage ayant pour objet d'apporter des solutions ou des améliorations à des thèmes bien définis, est aussi l'occasion de confronter ses connaissances qui sont jusque là quasiment théoriques, aux réalités socioprofessionnelles de son domaine.

La résolution proposée au thème qu'il y traite, constitue un projet qu'il étudie et ou réalise. Ce projet est défendu publiquement par l'élève en vue de l'obtention de son diplôme de Master.

Nous avons eu à effectué dans ce cadre un stage de six (6) mois au Centra National d'Energie Solaire et des Energies Renouvelables (CNESOLER) du Mali.

Dans sa vision d'augmenter la part des énergies renouvelables dans le bilan énergétique globale et de faciliter l'accès des populations rurales aux services énergétiques à faible coût, le CNESOLER souhaite avoir une évaluation plus ponctuelle des potentielles en énergies renouvelables de l'ensemble du territoire malien au travers des mesures locales et en temps réel des paramètres environnementaux. Cela, afin de réaliser une cartographie SIG dynamique de ces potentialités et rendre plus pertinentes les données utilisées lors de l'élaboration des projets d'approvisionnement énergétique des localités rurales en particuliers. Le centre a d'ailleurs déployé sur le territoire national malien une quinzaine de stations de mesure avec des enregistreurs électroniques dont certains sont munies de transmetteurs satellitaires qui lui permettent déjà d'avoir des mesures locales pouvant servir de base à l'établissement de l'inventaire des potentialités des ressources en énergies renouvelables.

Dans l'optique de multiplier ces stations tout en diminuant leurs coûts d'exploitation, le centre a voulu avoir une contribution de notre part pour la mise en place d'un système pouvant leur servir à atteindre ces objectifs mentionnés précédemment.

A l'issue de notre étude sur leurs dispositifs de mesure et de transmission actuels, il ressort qu'on peut effectivement, en remplaçant ceux – ci par un système utilisant le réseau GSM, arriver à déployer plus de station partout au Mali à des coûts globaux ne dépassant pas 20% de ceux qu'ils utilisent actuellement.

Le temps imparti pour ce projet ne nous a pas été suffisant pour finaliser l'échantillon de ce nouveau système proposé mais nous a permis néanmoins de confirmer sa faisabilité.

MOTS et EXPRESSIONS CLES

- | | |
|-----------------------------------|---|
| 1 – Energies renouvelables ; | 4 – Télémesure ; |
| 2 – Paramètres environnementaux ; | 5 – Automate programmable industriel (API); |
| 3 – Microcontrôleur ; | 6 – Modem. |

ABSTRACT

The 2IE's student in Master level has to do, in his final year of study, a training period in a company or a laboratory. This training period aims to propose solutions or improvements to specific duties. It's also an opportunity for the student to compare his knowledge which is merely theoretical to the professional realities of his field.

The solution given to the specific theme in the company is a project plan which will be analyzed and or realized by him. This project plan is publicly defended by the student with a view to obtaining his Master diploma.

The six (6) months training period we have done at the National Center of Solar Energy and Renewable Energies (CNESOLER) form part of this duty.

In its vision to increase the part of renewable energies in its global energetic balance sheet and make easier rural people access to low cost energy services, CNESOLER want to have a fine evaluation of the whole Malian territorial potential in renewable energies; this, by doing real-time and local measurements of environmental parameters. The purpose is to realize a dynamic mapping of these potentialities to make more relevant data used by project planners using renewable energies to supply rural localities. About fifteen forecast stations provided with electronic recorders and some with a satellite transmitter had almost been deployed by the center which allows it to get some local measurements of the territory renewable energies potential.

To increase the number of these stations and decrease their global cost, CNESOLER has apologized our contribution in the settlement of a system which can allows them to achieve their project.

After analyzing their actual devices of measurement and transmission, it come out that we can effectively, by changing the actual system by a one which using GSM network, help them to deploy more low-cost stations anywhere in Mali with 80% of reduction on the actual cost.

This training period hasn't been sufficient for us to finalize a sample of this new system proposed but has nevertheless allowed us to confirm that its realization is possible.

KEY WORDS AND STATEMENTS

1 – Renewable energies;
2 – Environmental parameters;
3 – Controller;

4 – Telemeasurement;
5 – Programmable Logic Controller (PLC)
6 – Modem.

INTRODUCTION GENERALE

I-Contexte et justification

La maîtrise de l'énergie avec ses deux composantes, efficacité énergétique et énergie renouvelable, est aujourd'hui une nécessité pour le Mali, compte tenu de sa situation énergétique et de sa dépendance structurelle dans ce domaine. Il y va de sa sécurité énergétique, de sa compétitivité économique et de sa stabilité sociale.

Pour permettre le maintien ou le développement des activités économiques avec moins de consommation d'énergie fossile, l'effort doit porter sur trois domaines : la sobriété énergétique, à la fois dans les comportements individuels et dans les organisations ; l'efficacité énergétique et le recours aux énergies renouvelables.

La Lettre de cadrage du 23 octobre 2003, adressée par le Président de la République du Mali au Premier Ministre, souligne l'importance accordée à « la valorisation du secteur rural » qui doit être « le moteur de l'économie du Mali en participant au décollage de l'agro-industrie ». Cette lettre précise également que la mise en valeur du monde rural passe par un effort dans le renforcement des infrastructures dont « l'élargissement du parc énergétique, sa diversification et son extension aux zones rurales ».

Le Mali a signé la convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques en 1992 à Rio de Janeiro et l'a ratifiée le 28 Décembre 1994. Comme la plupart des pays africains, la préoccupation du Mali dans le cadre de la convention porte moins sur la réduction de ses émissions mais plutôt sur la prévision et la gestion des impacts potentiels à cause de la grande vulnérabilité du pays aux effets de ce changement climatique (sécheresse, désertification, famine...). C'est ainsi qu'un des principes de base de sa politique de protection de l'environnement repose sur la responsabilisation et la participation de tous les acteurs dans les actions de protection, de restauration et de conservation des écosystèmes et de l'environnement.

A ces exigences nationales s'ajoutent le poids du contexte international marqué par un engagement collectif de plus en plus contraignant en faveur de la réduction des émissions de gaz à effet de serre. La dernière réunion de Copenhague a confirmé l'engagement de la Communauté internationale à maintenir, à moins de deux degrés Celsius (2°C), l'augmentation de la température de la planète à l'horizon 2100. Dans ce cadre, des ressources

financières importantes sont entrain d'être mobilisées et de se mettre en place en faveur de projets d'atténuation et d'adaptation dans les pays en développement : trente milliards de dollars par an entre 2010 et 2012 avec une augmentation à cent milliards de dollars par an à l'horizon 2020.

Afin d'arriver à faire face à ces défis, les efforts doivent se traduire d'abord par une politique volontariste, claire, stable et de long terme en faveur de la maîtrise de l'énergie. Et pour cela, les principaux objectifs (non exhaustifs) retenus par l'Etat malien sont les suivants:

- gérer durablement l'offre d'énergie traditionnelle par la mise sous gestion communautaire de 1,5 millions d'hectares en 2010 et 3 millions en 2015;
- sécuriser et accroître la couverture électrique du pays de 14% en 2004 à 45% en 2010 et 55% en 2015 ;
- porter le taux d'électrification rurale de 1% en 2005 à 12% en 2010 et 55% en 2015;
- Encourager et pérenniser l'intervention des investisseurs et opérateurs privés dans le secteur ;
- promouvoir une large utilisation des technologies et équipements d'énergie renouvelable (ENR) pour accroître la part des ENR dans la production nationale d'électricité de moins de 1% en 2004 à 6% en 2010 et 10 % en 2015;
- créer les meilleures conditions de pérennisation des services d'énergies renouvelables ;
- rechercher des mécanismes de financement durables et adaptés aux énergies renouvelables.
- créer et mettre à jour un système d'information et une banque de données énergétiques fiables ;^[7]

Pour l'atteinte de ces objectifs, la mise en place d'un cadre d'information actualisé à la fois temporel et spatial des potentialités en énergies renouvelables s'imposent en premier lieu.

Par ailleurs, actuellement, les télécommunications dont l'homme a toujours cherché à dompter et à rendre plus efficaces et disponibles pour sa satisfaction, sont de plus en plus impliquées dans toutes ses activités. Aussi, les développements effectués dans le domaine de l'électronique et de l'automatisme appuyés par l'essor de l'informatique nous montrent bien que les circuits électroniques peuvent remplacer l'homme dans l'exécution de plusieurs de ses tâches dont l'une des plus importantes en météorologie est la mesure des paramètres climatiques.

Cependant, malgré toutes ces ressources disponibles, les stations de mesure des paramètres climatiques restent encore dans nos pays largement en deçà du nombre nous permettant d'établir une cartographie nationale des potentiels en énergies renouvelables de façon dynamique et ponctuelle. Une des causes de cette insuffisance est sans doute la charge de gestion des types des stations de mesure utilisées de nos jours.

Face à cette problématique prise en charge à moindre coût de ces stations et couverture optimale du territoire national par des points d'observation des paramètres climatiques, le

Centre National d'Energies Solaires et des Energies Renouvelables (CNESOLER) a voulu saisir les opportunités offertes par les nouvelles technologies de l'information et de la communication pour nous proposer dans le cadre de notre projet de fin d'études au 2IE, le thème suivant :

«Contribution à la détermination du potentiel en énergies renouvelables du Mali par la mise en place des stations de télémesure autonomes»

Le cahier de charges de ce projet a pour exigence :

- proposer un système de télémesure en temps réel, suffisamment autonome, utilisable sur une grande partie du milieu rural malien et à faible coût de réalisation ;
- réaliser le système proposé sur quelques sites pilotes afin d'évaluer ses performances et ses limites réelles

II-Méthodologie

La démarche à suivre se veut avant tout progressive.

Dans un premier temps, nous effectuons :

- une synthèse à l'étude bibliographique sur les énergies renouvelables et les modes d'évaluation des potentiels énergétiques ;
- le recensement des paramètres nécessaires pour l'évaluation du potentiel en énergies renouvelables.
- et Le descriptif des outils de mesure des paramètres environnementaux disponibles au CNESOLER ;

La seconde étape qui nous fera rentrer dans le vif du sujet, consiste à :

- l'étude des systèmes de télémesure et la proposition faite de l'organe d'acquisition et de traitement des données fournies par les appareils de mesure disponibles au CNESOLER;
- la conception et la réalisation du système intelligent d'acquisition, de traitement et de transmission des données d'une station distante de mesure;

La troisième partie du projet sera consacrée:

- au choix d'un mode de centralisation des données fournies par les stations distantes ;
- à la réalisation du lien entre les systèmes intelligents des stations distantes de mesure adoptés et le système de centralisation.

En quatrième et dernière étape, nous ferons le point sur:

- les différents outils ayant été impliqués pour atteindre les résultats obtenus en fin de réalisation du projet ;
- l'estimation financière du projet.

Ainsi dans ce document rapport, le chapitre un donnera les détails de la manière dont on s'est familiarisé avec les composantes de base sur lesquelles s'appuie le projet. Le deuxième et le troisième traitent la conception de notre système dont la caractérisation et les moyens de bord nécessaires sont décrits dans le quatrième et dernier chapitre de cet ouvrage.

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I- Généralités sur Les différentes sources d'énergies renouvelables

On range sous le terme d'énergies renouvelables un ensemble d'énergies inépuisables à l'échelle humaine, la plupart issue de l'activité solaire, mais qui se manifeste à travers des phénomènes physiques très divers. Les énergies renouvelables couvrent un champ assez large qui va de l'hydraulique aux énergies de la mer dont la liste complète est donnée ci-dessous

I-1 Energie solaire

Définition

Donner une définition de l'énergie solaire n'est pas chose aisée vue que la plupart des énergies renouvelables découlent d'elle. Selon qu'on veut se placer dans un contexte global ou restreint, l'énergie solaire peut avoir une panoplie de définitions. Parmi toutes ces définitions, celle de l'encyclopédie britannique « The colombiaencyclopedia » attire plus notre attention. De cette encyclopédie, on tire « *l'énergie solaire est toute forme d'énergie rayonnée par le soleil, y compris la lumière, les ondes radio et rayons X, bien que le terme se réfère généralement à la lumière visible du soleil.* »^[18]

Cette énergie provient du soleil par rayonnement, directement ou de manière diffuse à travers l'atmosphère. Le rayonnement arrivant à la terre directement à partir du Soleil est appelé rayonnement direct. Le rayonnement global est tout rayonnement solaire incident sur la surface, y compris direct et diffus.

A l'exception de l'énergie nucléaire, de la géothermie et de l'énergie marémotrice, l'énergie solaire est à l'origine de toutes les énergies sur Terre.

Grâce à divers procédés, elle peut être transformée en une autre forme d'énergie utile pour l'activité humaine, notamment en chaleur, en électricité ou en biomasse. Par extension, l'expression " énergie solaire " est souvent employée pour désigner l'électricité ou la chaleur obtenue à partir de cette dernière.

Techniques pour capter l'énergie solaire

Les techniques pour capter directement une partie de cette énergie sont disponibles et sont constamment améliorées. On peut distinguer le *solaire passif*, le *solaire photovoltaïque* et le *solaire thermique*.

Énergie solaire passive

La plus ancienne utilisation de l'énergie solaire consiste à bénéficier de l'apport direct du rayonnement solaire, c'est-à-dire l'énergie solaire passive. Elle est utilisée depuis très longtemps pour sécher les peaux des animaux et les vêtements, conserver la viande, sécher les produits des récoltes et évaporer l'eau de mer pour extraire du sel.

Dans les bâtiments dont la conception est dite bioclimatique, l'énergie solaire passive permet aussi de chauffer tout ou partie d'un bâtiment et de faire des économies d'énergie importantes.

Énergie solaire photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque désigne l'électricité produite par transformation d'une partie de la lumière du rayonnement solaire à l'aide d'une cellule photovoltaïque.

La cellule photovoltaïque est un composant électronique qui, exposé à la lumière « photons », génère une tension électrique « volt » (cet effet est appelé l'effet photovoltaïque).

Le courant obtenu est un courant continu et la tension obtenue est de l'ordre de 0,5 V/cellule. Plusieurs cellules sont reliées entre elles sur un module solaire photovoltaïque. Plusieurs modules sont regroupés pour former une installation solaire chez un particulier ou dans une centrale solaire photovoltaïque, qui alimente un réseau de distribution électrique.

Le terme *photovoltaïque* peut désigner soit le phénomène physique - l'effet photovoltaïque - ou la technologie associée. ^[18]

Énergie solaire thermique

La haute atmosphère de la Terre reçoit environ $1,5 \times 10^{21}$ wattheures (thermiques) du rayonnement solaire par an. Cette grande quantité d'énergie est plus de 23.000 fois supérieure à celle utilisée par la population humaine de cette planète, mais celle - ci n'est que d'environ un à deux milliardièmes de l'énergie totale qui jaillit du Soleil ($3,9 \times 10^{20}$ MW).

Malgré les atténuations que subit ce rayonnement par une atmosphère qui supprime ou modifie une partie de l'énergie incidente par la réflexion, la diffusion et l'absorption, le reste frappant la surface de la Terre chaque année est encore plus de 10.000 fois la consommation d'énergie dans le monde. ^[20]

Le solaire thermique consiste à utiliser des équipements adéquats pour concentrer ce rayonnement solaire afin de maximiser la chaleur résultante.

Il se décline de différentes façons : centrales solaires thermodynamiques, chauffe-eau et chauffage solaires, rafraîchissement solaire, cuisinières et sècheurs solaires.

I-2 Energie de la biomasse

L'énergie de biomasse est l'énergie solaire stockée dans la matière végétale et animale. Grâce à la photosynthèse des plantes, l'énergie provenant du soleil transforme des éléments simples de l'air, l'eau et du sol en complexe de glucides. Ces hydrates de carbone peuvent être utilisés directement comme carburant (par exemple, la combustion du bois) ou transformés en liquides et de gaz (par exemple, l'éthanol ou le méthane).

Ainsi on différencie deux types de ressources, les ressources agricoles (huiles, sucres,...) et les ressources forestières (bois, copeaux, ...). Une troisième ressource de biomasse est disponible dans les déchets, mais elle est plus difficilement exploitable car souvent polluée. La biomasse a deux avantages par rapport aux autres énergies renouvelables: on la stocke facilement et elle permet de produire différentes formes d'énergie (chaleur, électricité...). La biomasse est une ressource d'énergie renouvelable car elle peut être récoltée périodiquement et convertie en combustible. Actuellement cette source d'énergie occupe une place centrale (81%) dans la consommation énergétique nationale du Mali.

I-3 Energie hydroélectrique

De l'eau en altitude possède une énergie potentielle de pesanteur. Cette énergie peut être alors captée et transformée, lors des mouvements de l'eau qui retourne vers les océans.

L'énergie hydraulique peut être directement utilisée sous forme d'énergie mécanique, l'eau d'un ruisseau faisant tourner la roue d'un moulin à eau. L'énergie hydraulique peut également être convertie en énergie hydroélectrique pour la production d'électricité, cela via une centrale hydroélectrique.

L'énergie hydroélectrique est une énergie électrique obtenue par conversion de l'énergie hydraulique des différents flux d'eau (fleuves, rivières, chutes d'eau, courants marins ...). L'énergie cinétique du courant d'eau est transformée en énergie mécanique par une turbine, puis en énergie électrique par un alternateur.

L'hydroélectricité représente 16 % de la production mondiale d'électricité et possède des nombreux atouts. ^[18]

I-4 Energie éolienne

C'est l'énergie cinétique des masses d'air mises en mouvement entre des régions de l'atmosphère où résident des pressions inégales provoquées par des inégaux de chauffage de la surface de la Terre par le Soleil.

L'énergie éolienne consiste ainsi à utiliser cette énergie cinétique. Elle peut être utilisée de plusieurs manières :

Conservation de l'énergie mécanique: le vent est utilisé pour faire avancer un véhicule, pour pomper de l'eau ou pour faire tourner la meule d'un moulin.

Production d'énergie électrique : l'éolienne est alors couplée à un générateur électrique pour fabriquer du courant continu ou alternatif.

La filière éolienne connaît depuis plusieurs années, dans le monde, un essor remarquable. Avec une croissance moyenne de 26% par an au cours des années 2000 à 2004, la puissance mondiale a dépassé les 47000 MW à la fin de 2004 (Wind Power Monthly, 2005). De plus, l'industrie projette que cette puissance totalisera non moins de 194000 MW en 2013.

I-5 L'énergie du gradient thermique des mers

L'énergie thermique des mers (ETM) ou énergie maréthermique est produite en exploitant la différence de température entre les eaux superficielles et les eaux profondes des océans. Un acronyme souvent rencontré est OTEC, pour Ocean thermal energy conversion.

Le principe se base sur le fait que pour les eaux marines, les couches froides ne se mélangent pas aux couches chaudes. En effet, la densité volumique de l'eau s'accroît lorsque la température diminue ce qui empêche les eaux profondes de se mélanger et de se réchauffer.

Cette différence de température peut être exploitée par une machine thermique. Cette dernière ayant besoin d'une source froide et d'une source chaude pour produire de l'énergie, utilise respectivement l'eau venant des profondeurs et l'eau de surface comme sources.

I-6 L'énergie des vagues (Houle)

L'énergie des vagues est une énergie marine utilisant la puissance du mouvement des vagues de houle. On l'appelle aussi parfois *énergie houlomotrice*.

La faisabilité de son exploitation a été étudiée, en particulier en Angleterre : le système couplé à des dispositifs flottants ou des ballons déplacés par des vagues dans une structure en béton en forme d'entonnoir, produirait de l'électricité.

I-7 L'énergie des courants marins

L'énergie des courants marins est, sous la surface des eaux, comparable à ce qu'est le vent au-dessus. Pour en tirer de l'électricité, on a recours à des hydroliennes.

Une hydrolienne est une turbine sous-marine (ou subaquatique, ou posée sur l'eau et à demi-immergée) qui utilise l'énergie cinétique des courants marins ou de cours d'eau, comme une éolienne utilise l'énergie cinétique de l'air.

La turbine de l'hydrolienne permet la transformation de l'énergie hydraulique en énergie mécanique, qui est alors transformée en énergie électrique par un alternateur.

I-8 Energie marémotrice

Energie issue du mouvement de l'eau créée par les marées, (causées par l'effet conjugué de gravitation de la lune et du soleil). L'énergie de la marée peut être utilisée comme dans un barrage hydroélectrique. Elle est exploitée à l'aide d'une turbine réversible qui tourne dans un sens en marée haute et dans l'autre en marée basse.

I-9 Energie géothermique

Elle est l'énergie provenant du centre (des entrailles) de la terre. Le manteau terrestre étant chaud, la croûte terrestre laisse filtrer un peu de cette chaleur. La plus grande partie de la puissance géothermique obtenue en surface (87%) est produite par la radioactivité des roches qui constituent la croûte terrestre : Radioactivité produite par la désintégration naturelle de l'uranium, du thorium et du potassium.

Il existe dans la croûte continentale, épaisse en moyenne de 30 km, un gradient de température. Le site a une potentialité géothermique lorsque le taux de ce gradient est en moyenne de 3 °C par 100 mètres.

II- Les méthodes d'évaluation des potentiels en énergies renouvelables

Dans cette partie, parmi toutes les sources d'énergies renouvelables cités aux paragraphes I, nous nous intéresserons à celles qui sont disponibles au Mali de part sa situation géographique et plus particulièrement à celles qui font l'objet des recherches accentuées par l'Etat malien.

Celles – ci sont l'énergie solaire; l'énergie éolienne ; l'énergie hydroélectrique et l'énergie de la biomasse. Bien que des potentiels en énergie géothermique soient identifiés dans certaines zones du territoire malien, cette dernière fait l'objet de peu de recherche actuellement.

II-1 L'énergie solaire

L'énergie solaire pour la production de chaleur et d'électricité est la technologie d'énergie renouvelable la mieux connue.

En vue d'identifier les potentiels en cette source d'énergie d'un site, une collecte d'informations a lieu sur les caractéristiques du rayonnement solaire sur ce site. Ces données sont recueillies par les stations météorologiques, d'autres valeurs d'ensoleillement peuvent être lues sur la carte produite pour la région du site concerné.

C'est donc à partir des données fournies par les différentes stations météorologiques réparties dans le pays et les valeurs lues sur les cartes que le potentiel énergétique solaire est évalué. Ces caractéristiques à prendre en compte dépendent beaucoup du mode de transformation adopté. Ainsi :

Pour le solaire photovoltaïque :

Les paramètres à mesurer vont être à ce niveau :

- Eclairement (E)= flux (puissance) de rayonnement reçu par unité de surface ;
- L'insolation = la durée effective pendant laquelle le soleil a brillé (éclairement > à un seuil) ;
- Les composantes du rayonnement solaire c'est-à-dire :
 - ✓ Le rayonnement direct (I) = l'éclairement reçu par une surface réceptrice normale aux rayons solaires ;
 - ✓ Le rayonnement diffus (D) = l'éclairement provenant de tout objet irradié ;
 - ✓ Albédo du sol = rayonnement solaire réfléchi par le sol ;
- La température ambiante.

Pour le solaire thermique

C'est celle qui provient de l'énergie calorifique contenue dans le rayonnement direct émis par le soleil. Ainsi ici, la composante diffuse et l'albédo du sol auront une influence quasi nulle sur le potentiel.

II-2 L'Energie de la biomasse :

Les domaines de production qui génèrent les résidus organiques sont l'agriculture, l'élevage, la foresterie et les ménages. La quantification des résidus produits par ces domaines constitue l'évaluation des potentialités en énergie biomassique.

En effet l'énergie contenue dans la biomasse est donnée par :

$Q = M \cdot C$ avec M : La masse de biomasse brûlée et C : Sa chaleur spécifique

II-3 L'hydroélectricité :

La puissance mécanique disponible au niveau d'un barrage est donnée par $P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$ à laquelle il faut appliquer un rendement global de l'installation voisin de 0,8.

Finalement la puissance électrique disponible dans un barrage hydroélectrique peut-être estimée par $P = 8 \cdot Q \cdot H$ (en kW).

Le potentiel hydroélectrique des rivières (ou fleuves) dépend alors des facteurs tels que la pluviométrie, l'hydrologie, la géologie, le relief et le couvert végétal.

Les données pluviométriques existent pour les stations météorologiques principales du pays et au niveau des services de l'ASECNA. L'analyse de ces données permet de localiser les zones du pays recevant les plus fortes pluies et donc les zones ayant un potentiel hydrologique acceptable (par rapport au relief, la nature des sols et du couvert végétal). Ainsi pour un cours d'eau, les potentialités seront exactement déterminées et les sites choisis en fonction:

- de la durée de l'écoulement;
- du débit moyen suffisant;
- de la hauteur de chute suffisante;
- de l'accessibilité au site.

II-4 L'Energie éolienne :

Lorsque l'on s'intéresse au potentiel éolien d'un site, l'on tient compte essentiellement du comportement des vents dans la couche limite, soit dans la couche entre 0 et 100 m d'altitude au-dessus du sol. Dans cette couche atmosphérique, la topographie et le type de surface terrestre de la région concernée influencent de façon significative les vitesses du vent qui y sont enregistrées.

Ainsi le souci de valoriser de l'énergie éolienne sur un site nous amène à déterminer dans cette région, le profil vertical du vent, c'est-à-dire la vitesse du vent à différentes hauteurs.

En effet, l'énergie cinétique du vent est évaluée par

$$E_c = \frac{1}{2} \rho V^2 \text{ (en J/m}^3\text{)}$$

La puissance maximale récupérable sur une surface S par une éolienne est donnée par la loi de Betz : $P = \frac{1}{2} C_p \rho S V^3 = \frac{1}{2} 0,6 \rho S V^3$ Watts

La loi de Betz indique qu'aucune éolienne ne peut récupérer plus de 60% de l'énergie contenue dans le vent.

Le vent étant dû à la différence des pressions atmosphériques, les prévisions sur ses caractéristiques seront également liées aux mesures de pression.

Ainsi les paramètres nécessaires ici sont :

- la vitesse du vent et sa provenance (direction) ;
- et la pression atmosphérique.

Pour les aérogénérateurs il faut des vents de 4 m/s minimal.

Les éoliennes oasis de pompage démarrent pour des vents plus faibles.

III- Les difficultés liées à l'évaluation des potentiels en énergies renouvelables

Les contraintes liées à l'évaluation des potentiels en énergies renouvelables d'une zone donnée sont principalement :

- la superficie de la zone d'étude;
- les types des sources d'énergie renouvelable présent dans la zone ;
- les irrégularités du climat de la zone considérée.

En effet, les contraintes internes à ces trois points sus mentionnés sont à la base du faible rythme de développement que connaissent aujourd'hui les sources d'énergie renouvelable dans le bilan énergétique global de notre planète.

III-1. Les contraintes liées à l'étendue de la zone à évaluer :

Plus la surface est grande plus il faut des points de mesure des paramètres environnementaux. Cette multiplication des points de mesure peut être soit pour s'assurer de l'uniformité des paramètres environnementaux pour une zone ayant une géographie monotone ou pour connaître plus précisément les différences qui existent entre les valeurs des points avec des géographies différentes.

III-2. Les contraintes liées aux types des sources d'énergie renouvelable présentées dans la zone :

Si certaines sources d'ER comme l'énergie solaire directe n'exigent que des appareils simples (Thermomètre, pyranomètre ...) disposés à l'air libre, d'autres comme l'énergie géothermique nécessitent des moyens coûteux allant de l'enfouissement des sondes à la réalisation des véritables forages pour bien estimer leurs potentiels. L'évaluation du potentiel d'une source donnée sera plus prise en premier lieu lorsqu'elle nécessite peu d'investissement de base.

III-3. Les contraintes liées aux irrégularités du climat de la zone considérée

Ce point est celui qui est déterminant dans la durée à consentir pour une connaissance plus concise du potentiel de la source à évaluer. Comme l'étendue détermine le nombre de station de mesure, la régularité définit la durée des mesures avant de statuer sur le potentiel en une source d'ER donnée. La durée minimale est une année.

IV- Les difficultés rencontrées pour l'évaluation du potentiel des sources d'énergies renouvelables du Mali

Les difficultés recensées dans l'évaluation du potentiel malien en énergies renouvelables se répartissent évidemment entre les trois groupes de contraintes générales cités dans le paragraphe I-3. Mais en se penchant vers les sources d'énergie renouvelable dont les exploitations sont ciblées par la politique énergétique du pays, nous pouvons nous retrouver avec les difficultés liées principalement à l'étendue territoriale et l'irrégularité climatique.

En effet, parmi les sources d'énergies renouvelables, la politique énergétique du Mali met beaucoup plus l'accent sur le développement de l'énergie solaire (thermique et photovoltaïque), de la biomasse, de l'hydroélectricité et de l'énergie éolienne. Il ressort que toute initiative tendant à exploiter les énergies renouvelables au Mali aura en face d'elle les principales contraintes suivantes :

- manque d'une banque de données fiables et régulièrement à jour sur les valeurs des paramètres environnementaux des zones recevant les initiatives;
- l'énormité de la superficie du territoire (1.240.000Km²) dans la mise en œuvre des stations d'information sur les paramètres environnementaux;
- la longue durée nécessaire à une exploitation fiable des informations délivrées par ces nombreuses stations.

En d'autre terme il se pose actuellement un problème de coût d'exploitation de plusieurs stations sur une longue période nécessaire pour la constitution d'une base de données fiables pour l'estimation du potentiel en sources d'énergies renouvelables de l'ensemble du territoire.

V- Les solutions palliatives à ces contraintes

Afin de pouvoir estimer le potentiel en énergies renouvelables, la structure de recherche principale du Mali qu'est le CNESOLER a initié un projet d'étude de gisement éolien à travers lequel des mesures d'ensoleillement sont également effectuées. Le projet est exécuté par la Section Bioconversion et Energie Eolienne (SBEE). Quatre (04) sites ont été retenus dans la première phase du projet qui sont essentiellement au Centre et à l'Est du pays, il s'agit de Sévaré, Hombori, Gossi et Gao. Afin d'étoffer la carte de gisements solaire et éolien du Mali, le projet a récemment étendu les mesures à treize (13) autres sites (Bamako, San, Bandiagara, Koro, Niafunké, Goundam, Tombouctou, Kadiolo, Kayes, Nioro, Kangaba, Sikasso, Ségou) passant ainsi de quatre à dix-sept sites.

Ces stations sont des mâts de mesure munis des appareils de mesure sur l'ensoleillement, le vent (vitesse et direction), la pression atmosphérique et la température. Les valeurs mesurées sont enregistrées sur une carte mémoire sur site par un data logger et leurs consultations se passe deux fois par an.

Il y a aussi les données météorologiques fournies pour la plus part par les différentes stations de mesure de la météo nationale et de l'ASECNA. A ces données, s'ajoutent les informations lues sur les cartes d'ensoleillement et des courants d'air fournies par les satellites d'observation terrestre. Ces solutions même si elles restent moins fiables que les mesures locales, sont utilisées de nos jours par la majeure partie des pays comme le Mali ne disposant pas d'assez des points de mesures pour l'ensemble de leurs territoires.

VI- Les indicateurs environnementaux du potentiel en énergies renouvelables d'un milieu

Les indicateurs qui font l'objet des mesures au niveau des centres de recherche en énergies renouvelables sont essentiellement la pression atmosphérique ; la température ambiante ; l'humidité relative ; le vent (vitesse et direction) ; le rayonnement solaire (global, diffus, insolation etc.); les précipitations ; les débits et le niveau de remplissage des cours d'eau. On ajoute à ces indicateurs, le couvert végétal (naturel et produit par l'exploitation agricole) pour l'estimation du potentiel biomassique.

VI-1- Les indicateurs mesurés par le CNESOLER

Les stations pilotes développées par le CNESOLER s'intéressent à la mesure de beaucoup de ces indicateurs mentionnés au paragraphe précédent. Actuellement les stations de mesure du CNESOLER sont équipées pour la mesure des paramètres suivants :

- l'ensoleillement global ;
- la température ambiante moyenne ;
- la vitesse et la direction du vent ;
- ainsi que la pression atmosphérique.

VI-2- Les outils utilisés par le CNESOLER

Les appareils de mesure utilisés au CNESOLER sont ceux de la plupart de nos stations météorologiques conventionnelles. Ce sont les appareils suivants :

VI-2-1 Le pyranomètre :

Un pyranomètre est un capteur de flux thermique utilisé pour la mesure de la quantité d'énergie solaire en lumière naturelle et est notamment utilisé en météorologie. Il permet la mesure de la puissance du rayonnement solaire total en watts par mètre carré. Le dispositif utilisé est un module solaire dont le courant délivré varie linéairement en fonction de l'ensoleillement global. L'unité du rayonnement est le watt par mètre carré (W/m^2).

VI-2-2 Le thermomètre :

Un thermomètre est un appareil qui sert à mesurer et à afficher la valeur des températures. Les stations de mesure du CNESOLER sont équipées de thermomètre délivrant des signaux électriques analogiques (voir annexe 7 pour spécifications techniques). En effet, le capteur intégré à ce thermomètre est un circuit intégré qui convertit la variation de la température en une tension analogique selon la fonction de transfert suivante :

$$\text{Temp} = (\text{Voltage} \times 55.55) - 86.38 \text{ } ^\circ\text{C}. \text{ } ^{[19]}$$

VI-2-3 L'anémomètre :

Anémomètre - terme du XVIII^e siècle, composé du préfixe anémo- en grec άνεμος, anemos, « vent » et du suffixe -mètre, « mesure » - est un appareil permettant de mesurer la vitesse ou la pression du vent. ^[18] Les anémomètres peuvent être divisés en deux classes : ceux qui mesurent la vitesse et ceux qui mesurent la pression du vent. Cependant, il y a une relation étroite entre la vitesse et la pression. Ainsi, un appareil prévu pour une mesure fournira des informations sur les deux quantités. L'anémomètre est un ILS qui réagit au passage d'un aimant. La formule de calcul est la suivante :

$$V \text{ (miles/h)} = 2,25 * N \text{ à } 7\% \text{ près} \text{ }^{[19]}$$

Avec N: Nombre de tour par seconde des coupelles

Ainsi, mesurer la vitesse du vent revient à compter le nombre d'impulsions électriques par unité de temps.

VI-2-4 La girouette :

Une girouette (mot provenant du vieux normand *wire-wite*) est un dispositif généralement métallique, la plupart du temps installé sur un toit, constitué d'un élément rotatif monté sur un axe vertical fixe. Sa fonction est de montrer la provenance du vent ainsi que, contrairement à la manche à air, son origine cardinale.

La girouette donne une variation résistive comprise entre 0 et 20 kOhms. 0 Ohms pour une direction de 0° et 20 kOhms pour 360° avec une précision de 5 %. ^[19]

L'acquisition de la direction du vent consiste à ce niveau à appliquer une tension aux bornes de cette résistance et à lire la tension se trouvant entre la masse et le curseur du potentiomètre formée.

VI-2-5 Le baromètre :

Le baromètre est un instrument de mesure, utilisé en physique et en météorologie, qui sert à mesurer la pression atmosphérique.

Pour la détermination de la valeur de la pression atmosphérique des stations, le baromètre utilisé est aussi un circuit intégré. La tension de sortie de ce capteur varie linéairement en fonction de la pression atmosphérique dans l'intervalle 15kPa à 115kPa donnant les tensions analogiques comprises entre 204mV et 4,79V selon la fonction de transfert ci – dessous :

$$\text{Pression absolue (kPa)} = (\text{Voltage} \times 21.79) + 10.55 \text{ }^{[19]}$$

Chapitre II : L'étude des systèmes de télémesure et choix des organes et conception du système d'acquisition, de traitement et de transmission d'une station distante

I-Les systèmes de télégestion

Une station technique ou un équipement situé à distance peut être :

télesurveillé, télémesuré, télécommandé télé-réglé ou télé-exploité.

Les cinq actions précitées constituent la télégestion.

- télésurveillance : transmission à distance d'une information de l'état de fonctionnement ou d'arrêt d'un système par un procédé de télécommunication.
- télémesure : transmission à distance d'une ou plusieurs mesures.
- télécommande : réalisation à distance, par ordre binaire, de la commande du fonctionnement d'un équipement.
- télé-réglage : modification à distance des réglages d'un équipement
- télé-exploitation (ou télégestion) : télémesure + télésurveillance + télécommande.

Les données à transmettre peuvent être véhiculées par différents supports de communication : réseau téléphonique, GSM, liaison spécialisée, ADSL, satellite, canalisation, GPRS....

En terme, pour chaque équipement, c'est le concepteur qui définit celles qu'il souhaite retenir pour son système.

I-1- La structure générale d'un système de télémesure

Un système de télémesure doit être capable de :

- enregistrer au minimum une fois par jour un état de fonctionnement des grandeurs et des équipements sélectionnés,
- en cas de défaillance avérée de l'équipement d'un site télémétré, transmettre les informations au gestionnaire de l'ensemble dans un délai maximum fixé par celui-ci,
- en cas de fonctionnement normal, transmettre les informations de bon fonctionnement au gestionnaire dans un délai maximum fixé par celui-ci.

Ainsi un système de télémessure quelque soit la fin à laquelle il est destiné à la structure générale de la figure 2.1.

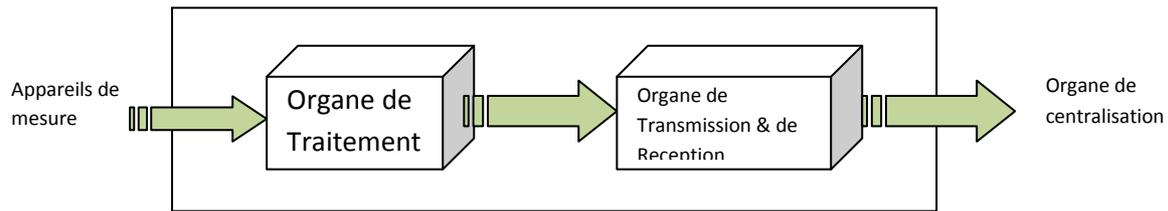


Figure 2.1 : Structure générale d'un système de télémessure

I-2- Rôles des différents organes

I-2-1 L'organe de mesure :

Constitué principalement des appareils de mesure des différents phénomènes et des détecteurs de l'état des différents équipements du système téléométré, il est l'élément de base d'une chaîne d'acquisition et de traitement de données. C'est l'organe de « sens » d'un système de télémessure.

I-2-2 L'organe de traitement des données:

Cet organe cœur interprète et répond aux requêtes venues du point de centralisation pour commander des équipements ou avoir l'état des éléments de l'organe de mesure. Une place occupée pour la plupart des systèmes de télémessure par un élément à microprocesseur (automate programmable ou microcontrôleur), l'organe de traitement des données a en charge le rassemblement des données issues des appareils de mesure, leur organisation afin de fournir les informations destinées à la transmission au centre de centralisation.

I-2-2-1 Le microcontrôleur :

Définition et structure interne:

Un microcontrôleur se présente comme étant une unité de traitement de l'information de type microprocesseur contenant tous les composants d'un système informatique, à savoir microprocesseur, des mémoires et des périphériques (ports, timers, convertisseurs...). Chaque fabricant a sa ou ses familles de microcontrôleurs. ^[4]

Une famille se caractérise par un noyau commun (le microprocesseur, le jeu d'instruction...). Ainsi les fabricants peuvent présenter un grand nombre de pins qui s'adaptent plus au moins à certaines tâches. Mais un programmeur connaissant une famille n'a pas besoin d'apprendre à utiliser chaque membre, il lui faut connaître juste ces différences par rapport au père de la famille. Ces différences sont souvent, la taille des mémoires, la présence ou l'absence des périphériques et leurs nombres. La figure 2.2 donne la structure interne d'un microcontrôleur.

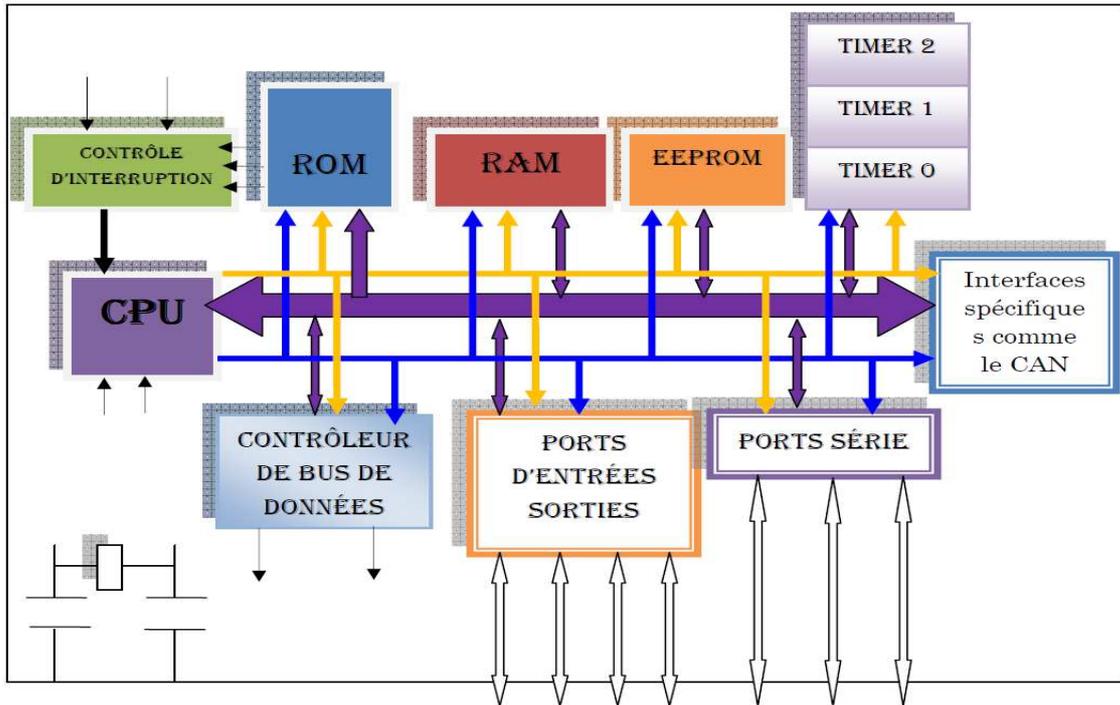


Figure 2.2 : Structure interne d'un microcontrôleur

Les avantages d'un microcontrôleur :

L'utilisation des microcontrôleurs pour les circuits programmables à plusieurs points forts et bien réels. Il suffit pour s'en persuader, d'examiner la spectaculaire évolution de l'offre des fabricants de circuits intégrés en ce domaine depuis quelques années.

Le microcontrôleur :

- intègre dans un seul composant ce qui, avant nécessitait une dizaine d'éléments séparés ;
- simplifie le tracé du circuit imprimé ;
- contribue à réduire les coûts à plusieurs niveaux :
 - moins cher que les autres composants qu'il remplace ;
 - diminuer les coûts de main d'œuvre ;
- réalisation des applications non réalisables avec d'autres composants.

I-2-2-2 L'automate programmable industriel :

Définition :

Un automate programmable industriel (API) est un dispositif électronique programmable destiné à la commande de processus industriels par un traitement séquentiel. Il envoie des ordres vers les préactionneurs (partie opérative ou PO côté actionneur) à partir de données d'entrées (capteurs) (partie commande ou PC côté capteur), de consignes et d'un programme informatique. ^[18]

Les programmes des API sont traités selon un cycle précis : acquisition de toutes les entrées (recopie dans une mémoire image) - traitement des données (calculs) - mise à jour des sorties. Le temps d'un cycle d'API varie selon la taille du programme, la complexité des calculs et de la puissance de l'API.

Les avantages d'un API sont les suivants:

- il est robuste ;
- il possède des circuits électroniques optimisés pour s'interfacer avec les entrées et les sorties physiques du système,
- les envois et réceptions de signaux se font très rapidement avec l'environnement.
- il permet d'assurer un temps d'exécution maximal, respectant un déterminisme temporel et logique, garantissant un temps réel effectif (le système réagit forcément dans le délai fixé).

En contrepartie, ils sont beaucoup plus chers que des solutions informatiques classiques mais restent à l'heure actuelle les seules plateformes d'exécution considérées comme fiables en milieu industriel (avec les ordinateurs industriels). De plus ils nécessitent la maîtrise de langages spécifiques conformes à la norme CEI 61131-3 qui reprennent dans leur forme la logique d'exécution interne de l'automate. Le prix est souvent dépendant de la mémoire dont on veut disposer pour réaliser un programme.

En faisant une brève comparaison entre le microcontrôleur et l'API, nous nous rendons compte de ce qui suit :

L'API convient mieux lorsque :

- les niveaux de tension des équipements à connecter sont relativement élevés (12V à 220V) ;
- le programme développé est fait pour réaliser des actions d'automatisation simples ;
- il n'y a pas assez d'exigence sur l'encombrement que le système provoquera.

Par ailleurs, le microcontrôleur fera le jeu lorsque :

- on veut réaliser des systèmes suffisamment intelligents et moins encombrants ;
- le système doit revenir moins cher (un microcontrôleur bien choisi avec tout ce qu'il faut autour peut être 10 à 100 fois moins cher qu'un bon automate)
- nous souhaitons aussi que la réalisation faite soit suffisamment flexible.

I-2-3 L'organe de transmission/réception des données:

Il a en charge la transmission des données de la station télémesure à la station de centralisation et la réception des commandes et requêtes venant de cette dernière pour les faire suivre vers l'organe de traitement du système de télégestion d'un site. Dans bon nombre de système de télégestion, cet organe à un comportement transparent aux données qu'il véhicule c'est-à-dire n'apporte aucune modification aux informations reçues mais se charge de les livrer aux adresses de destination qui lui sont indiquées.

Les différentes techniques de transmission les plus utilisées sont :

I-2-3-1 La Transmission par Satellite :

Cette technique utilise deux stations terriennes qui sont reliées l'une à l'autre par des canaux radiofréquences d'un satellite mis en orbite. Chaque station terrienne est constituée :

- d'une antenne parabolique pour la concentration, la transmission et la réception du signal;
- d'un circuit de filtrage et d'amplification ;
- et d'un modem.

Le modem est relié à l'organe de traitement de données de chaque station terrienne par un lien de communication série asynchrone (selon le protocole RS232 le plus souvent).

Les contraintes auxquelles est confronté un projet de transmission sont essentiellement le coût élevé des équipements de transmission et l'énormes frais de location d'un canal radiofréquence. Une bonne raison de l'utilisation de cette technique est la possibilité de sa réalisation partout sur le globe.

I-2-3-2 La transmission par ADSL :

Cette transmission s'effectue par le biais du Réseau Téléphonique Commuté (RTC) filaire. La communication se fait ici aussi selon le mode série asynchrone (avec le protocole RS232) avec l'attribution d'une ligne téléphonique fixe par un opérateur téléphonique. Sa chaîne est composée:

- de la ligne téléphonique ;
- et du modem à connecter à l'organe de traitement de données de la station de télémesure.

Les difficultés à la mise en place d'une transmission ADSL se situent au niveau du coût d'acquisition de la ligne téléphonique filaire et celui du modem. Il a l'avantage d'offrir des très hauts débits de communication une fois le lien établi.

I-2-3-3 La transmission par GSM/GPRS :

Une des techniques les plus utilisées par les systèmes de télégestion actuels, cette méthode consiste à l'utilisation d'un modem GSM connecté à l'organe de traitement des données qui transmet les données à une station de centralisation selon diverses techniques qui sont entre autre :

- par envoi des messages courts (SMS) ;
- par l'envoi d'emails (GPRS) ;

Son point faible reste encore l'indisponibilité de relais partout où on peut le souhaiter.

Les avantages clés de son utilisation se trouvent au niveau de sa facilité de mise en œuvre et le faible coût de son modem dont le rôle peut être joué d'ailleurs par n'importe quel type de terminal GSM.

I-2-3-4 La transmission par liaison filaire :

Le mode de transmission par liaison filaire consiste à relier directement les organes de traitements des données par deux ports ayant le même protocole de communication pour l'échange des données entre les deux systèmes. C'est la technique de télégestion la plus ancienne, la plus efficace en terme de débit et demandant le moins d'équipements d'interfaçage entre les systèmes mais la plus limitée en terme de distance de communication.

I-2-3-5 La transmission par Faisceau hertzien :

La transmission par FH se fait entre deux stations avec des ondes électromagnétiques rayonnées par des antennes directives (transmission point à point) ou omnidirectionnelles (transmission multipoint). La chaîne est aussi constituée par des éléments d'amplification du signal, de modulation et démodulation (modem) et de filtrage.

C'est le modem qui est toujours connecté à l'organe de traitement des données par le biais d'une liaison série asynchrone (RS232). L'avantage de l'utilisation d'une telle technique est de pouvoir transporter le signal loin, à haut débit et sans fil mais elle aussi se trouve confrontée

à une problématique d'utilisation de plusieurs stations relais (Répéteurs) lorsque la distance est assez longue ou est trop accidentée.

I-3- Critères de choix des organes

L'objectif d'application des critères particuliers dans le choix des différents organes d'un système de télégestion est d'une part de constituer un système suffisamment performant mais aussi d'aboutir à un ensemble simple à réaliser et à un coût relativement moindre. Ainsi pour les différents organes, certaines exigences d'évaluation du ratio performance/coût s'imposent.

I-3-1 Critères sur l'organe de mesure :

Cet organe assurant le rôle d'interface entre le « monde physique » et le « monde électrique » est choisi selon les critères portant sur :

- l'étendue de sa mesure
- sa sensibilité, linéarité et sa résolution ;
- sa précision, justesse et sa fidélité ;
- et selon la disponibilité et le coût des éléments électroniques permettant sa réalisation.

I-3-2 Critères sur l'organe de traitement des données:

Afin d'opter pour un organe de traitement de données parmi tant d'autres, il faut prendre en compte les critères de choix suivants:

- nombre de canaux à traiter et sa vitesse d'échantillonnage demandée par canal ;
- utilisation ou non de circuit de prétraitement des signaux à acquérir;
- le taux d'intégration des éléments qui le constituent;
- la simplicité dans son interfaçage avec les autres organes ;
- sa disponibilité sur le marché et surtout son coût d'acquisition.

I-3-3 Critères sur l'organe de transmission/réception des données:

L'organe de transmission, le dernier de la chaîne de télégestion accomplit la tâche qui donne au système de télégestion tout son sens. Il ressort que la lucidité faite dans son choix est déterminante quant à l'aboutissement d'une conception de système de télégestion. Les exigences sur ses éléments constitutifs portent essentiellement sur :

- la simplicité dans son interfaçage avec l'organe de traitement des données ;
- le type de lien de transmission qu'il utilise (câble, faisceau hertzien, ...) ;
- la malléabilité de son lien de communication avec l'organe de traitement des données ;
- la rapidité dans ses phases de transfert des données
- sa disponibilité dans le marché et également son coût d'acquisition.

II-Choix des organes et conception du système d'acquisition, de traitement et de transmission d'une station distante

Les choix des organes de traitement des données et de transmission sont fortement subordonnés aux types de signaux délivrés par les capteurs intégrés dans les différents appareils de mesures qui se trouveront dans nos stations de mesure.

I-1- Les capteurs et leurs caractéristiques techniques

Toutes les stations de mesure du CNESOLER sont munies des appareils de mesure délivrant des signaux électriques. De l'étude descriptive faite sur ces capteurs au VI-2 du §I, nous aboutissons au diagramme de la figure 2.3 résumant les signaux des sorties de ces appareils de mesure. Les fiches techniques de ces capteurs sont données en annexe 6.

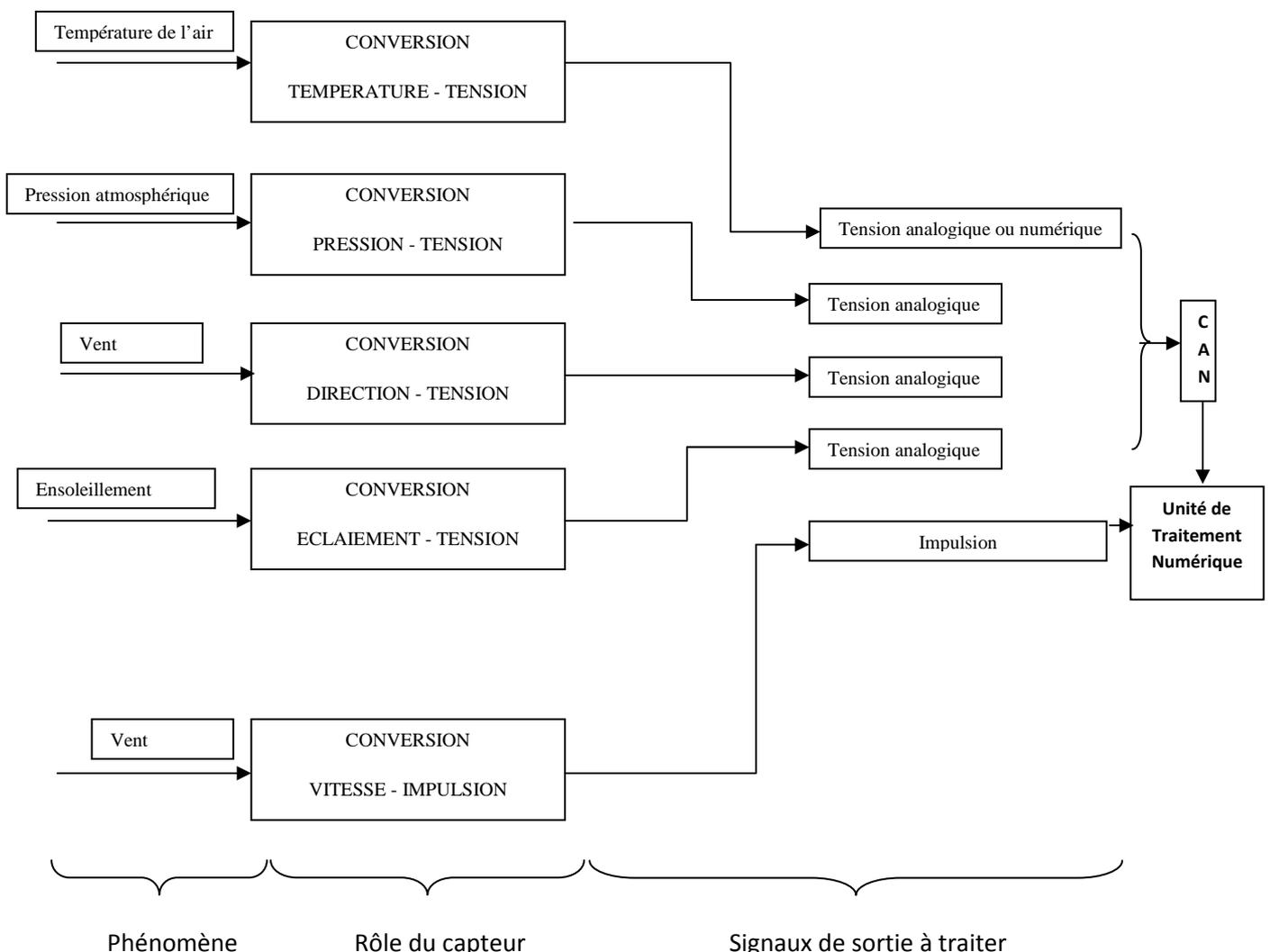


Fig.2.3. Diagramme de conversion de signaux de sortie des capteurs

I-2- L'organe d'acquisition et de traitement des données et ses caractéristiques techniques

L'étude détaillée des différents appareils de mesure d'une station de mesure du CNESOLER nous a bien éclairés sur les différentes grandeurs et les types de signaux à acquérir. De ces signaux, nous avons retenu deux points essentiels dont l'organe de traitement doit être à mesure de gérer.

Il s'agit de :

- transformer les signaux analogiques de certains capteurs en données numériques ;
- pouvoir numériser le signal tout ou rien délivré par l'anémomètre dans sa rotation.

Ce rôle peut être exécuté par l'un des deux organes électroniques de traitement de données évoquées au I-2-2 du §II, le microcontrôleur et l'automate programmable industriel "API".

Pour notre projet, nous avons opté pour un microcontrôleur.

I-2-1 Les motivations pour le choix du microcontrôleur retenu :

Il est à noter qu'il existe une multitude de fabricant de microcontrôleur. Parmi les plus utilisés par les développeurs isolés, nous avons:

- les microcontrôleurs PIC de MICROCHIP.
- les microcontrôleurs ATMEGA d'ATMEL;
- les microcontrôleurs MOTOROLA ;
- les microcontrôleurs d'INTEL.

En tout, nous relevons une vingtaine de famille de microcontrôleurs (Voir Annexe 2).

Parmi toutes ces familles, nous avons opté pour celle des ATMEGA et le type de microcontrôleur choisi est l'ATMEGA 168.

Le microcontrôleur ATMEGA 168 s'identifie comme tous les autres microcontrôleurs d'ATMEL par son nom mentionné clairement sur le dos du circuit.

Le choix du microcontrôleur ATMEGA 168 est motivé par les particularités suivantes :

- sa disponibilité sur le marché à très bas coût (entre 2500Fcfa et 10000Fcfa);
- son logiciel de développement qui est accessible gratuitement avec les tutoriels sur le site du fabricant ;

- son environnement de développement qui est très simple à utiliser et qui offre un choix entre deux types de langage de programmation (évolué et de bas niveau) qui sont le C et l'assembleur.

1-2-2 Les spécifications techniques du microcontrôleur ATMEGA 168 :

En plus de ces avantages liés à l'environnement de développement, il a des caractéristiques techniques qui lui permettent d'être le cœur des systèmes assez complexe et suffisamment intelligents. Les plus remarquables de ces caractéristiques qu'il a sont ^[11] :

- ses mémoires avec une FLASH RAM de 16 Ko (Flash Programmable), une EEPROM de 512 Octets et une SRAM de 1 Ko,
- 28 lignes d'entrée-sortie universelles (Port B, C, D),
- 32 registres de travaux universels qui dialoguent directement avec l'unité centrale (ALU),
- une horloge en temps réel (RTC),
- trois timer/compteurs flexibles avec comparateur, interruptions internes et externes,
- un comparateur analogique (entrée sur PD6, PD7),
- un convertisseur Analogique/Numérique ADC de 6 canaux à 10 bits,
- une interface série USART programmable & périodique (série asynchrone et synchrone),
- une interface série SPI à trois modes sélectionnables (série synchrone),
- une interface I2C pour la gestion d'un bus à 2 fils,

Le microcontrôleur ATMEGA 168 considéré à travers :

- la fréquence de son unité de contrôle, son CAN ;
- ses mémoires de programme et de données ;
- ses ports de communication en mode série ;

a été vu comme le composant qui est le mieux à mesure d'assurer l'acquisition des données des appareils de mesure des stations du CNESOLER avec un minimum d'élément dans la chaîne et à un coût de réalisation presque infime. Quant à la transmission, ses ports séries laissent une large gamme de communication avec des périphériques de transmission comme les modems GSM, ADSL, et même les modems satellitaires et hertziens.

I-3- L'organe de transmission des données et ses caractéristiques techniques

Pour la transmission des données, parmi les nombreuses solutions passées à revu I-2-3 du §II, nous avons opté pour la technique de transmission par réseau GSM avec l'utilisation d'un modem GSM. Le mode de transmission retenu est le mode SMS.

I-3-1 Les motivations du choix de la technique GSM :

- disponibilité à faible coût de son modem (car tout téléphone portable peut jouer le rôle) ;
- coût du service SMS très abordable (à 10F/SMS souvent) ;
- le taux de couverture territoriale des réseaux GSM assez important (toutes les stations actuelles du CNESOLER se trouvent dans des zones de couverture).

I-3-2 Les avantages et spécifications techniques du modem choisi :

Le modem que nous avons retenu pour faire les transferts des données de notre station de mesure est un téléphone portable ordinaire de marque SONY ERICSSON T28S.

Les avantages de notre choix sont les suivants :

- c'est un modem disponible presque partout ; car se trouve en vente chez la plus part des revendeurs de téléphone portable ;
- ses accessoires de connexion (câble de liaison, connecteur, ...) sont aussi disponibles et leurs montages se fait sans démanteler le modem.

Techniquement, c'est un modem qui ^[10]:

- possède trois bandes GSM (900MHz ; 1800MHz et 1900MHz) ;
- Supporte les commandes AT (voir Annexe 3) ;
- une faible consommation en communication (GSM classe 4 : 2W et classe 1 : 1W) ;
- a une connectivité GPRS avec le protocole TCP/IP intégré ;
- température de fonctionnement de -30°C à 80°C ;
- la rédaction des SMS en mode PDU;
- transmission par fax de groupe 3 classe 1
- un mode d'économie d'énergie limitant la consommation en veille à 2,5mA sous une tension de 5V DC.

II-Conception et réalisation du système d'acquisition de traitement et de transmission des données d'une station distante

Afin de satisfaire aux exigences de notre cahier de charges, nous concevons une carte dont le schéma synoptique est indiqué sur la figure 2.4. La carte adoptée est munie de plusieurs unités qui assurent une bonne facilité d'acquisition et fournissent une large gamme de communication avec le milieu extérieur. Les détails sur la carte suivent ce schéma.

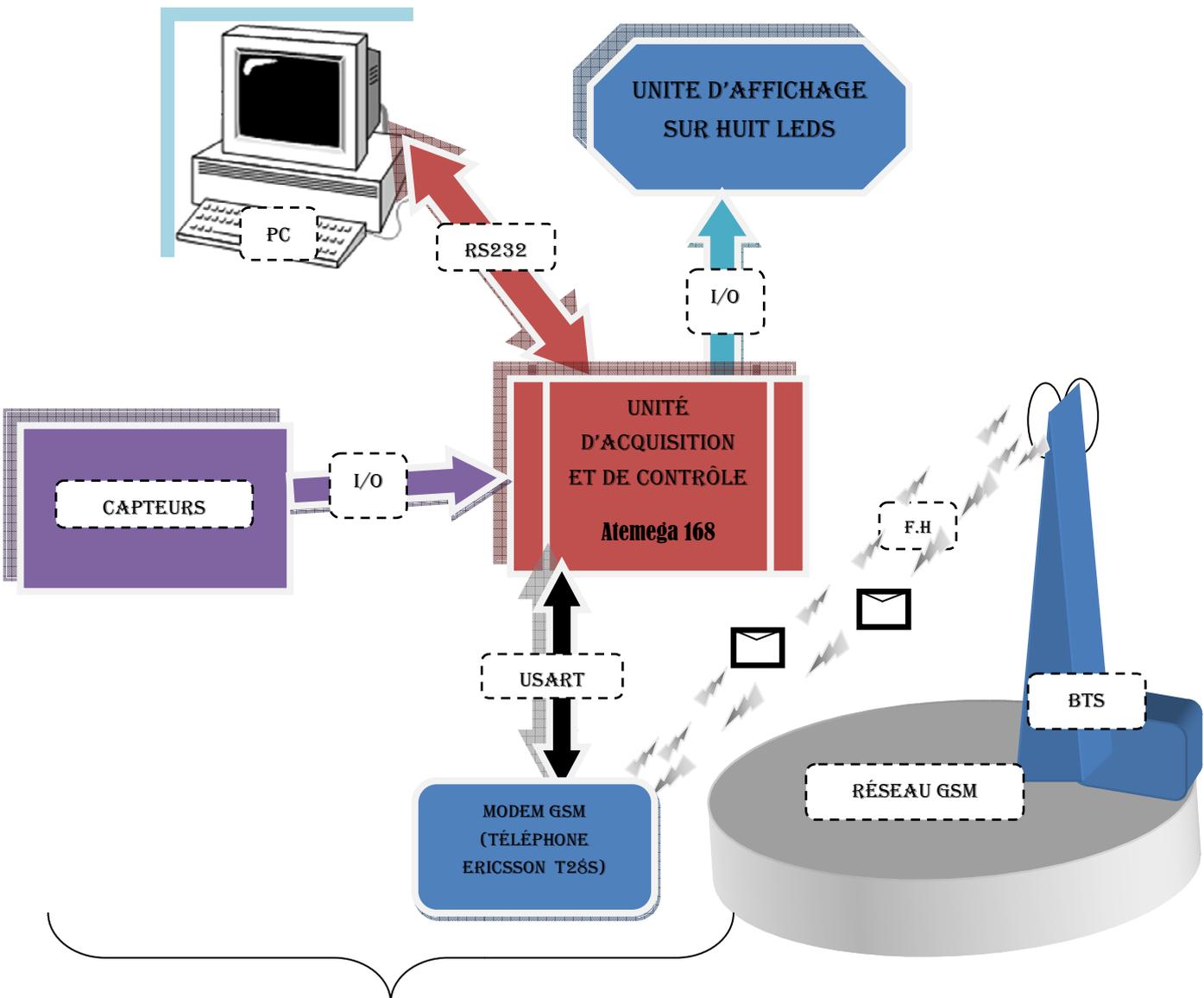


Figure 2.4 : Synoptique d'un système de transmission

STATION DE MESURE

En effet, nous trouvons sur la carte :

- une unité de traitement et de contrôle qui est le microcontrôleur ATMEGA 168 ;
- un afficheur à huit (8) LEDs lié à la carte par l'intermédiaire d'un registre à décalage pour afficher différents états du processus en cours d'exécution;

- un téléphone mobile de marque ERICSSON T28s utilisé comme modem pour la transmission et la réception des messages SMS à travers le réseau GSM et l’affichage sur place et qui est commandé par le microcontrôleur à travers son port USART selon le protocole RS232;
- une liaison asynchrone vers le PC pour la consultation des états des appareils de mesure sur site avec un micro-ordinateur ;
- des connecteurs pour les liaisons avec les capteurs à travers les unités d’adaptation ;

II-1- Les schémas détaillés du système d’acquisition et de transmission

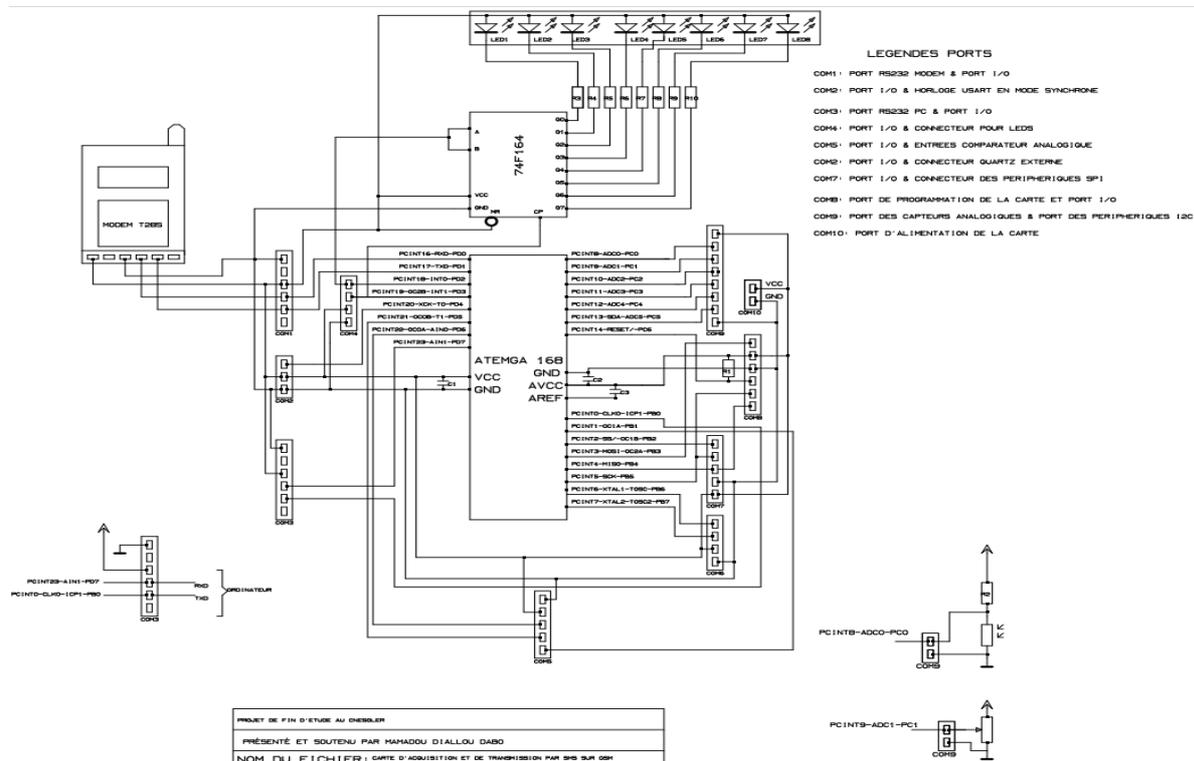


Figure 2.5 : Schéma détaillé de la carte d’acquisition et de transmission d’un site distant

II-2- L’organigramme et le programme de fonctionnement du système

II-2-1 Description du fonctionnement du système adopté :

La carte électronique dont nous concevons ici se comporte comme suit :

Elle mesure tous les paramètres de la station à chaque 2 secondes pour actualiser les valeurs de ceux – ci dans la mémoire du microcontrôleur.

Le microcontrôleur incruste à chaque instant le modem GSM s’il n’y a pas de SMS ou d’appel entrant ; dans le cas où l’un de ceux – ci est détecté, il rédige un SMS contenant toutes les mesures de tous les paramètres de la station et l’envoi au numéro de centralisation préalablement enregistré dans sa mémoire.

Lorsqu'aucune demande n'est faite, un SMS est rédigé à chaque heure et transmis au numéro de centralisation donnant les valeurs actuelles des paramètres de la station.

Un visiteur sur le site peut se connecter à la carte électronique pour lire, enregistrer les valeurs des paramètres ou modifier l'intervalle d'émission des SMS et le numéro de centralisation de ces SMS.

II-2-1 L'organigramme du programme régissant le fonctionnement de la carte :

Une fois la carte conçue ses actions seront régité par un code. L'organigramme de la page suivante indique l'agencement du code à écrire en C (voir annexe 5) qu'on lui transmettra afin de répondre complètement à la partie de notre cahier de charge concernant l'acquisition et la transmission des données d'une station distante.

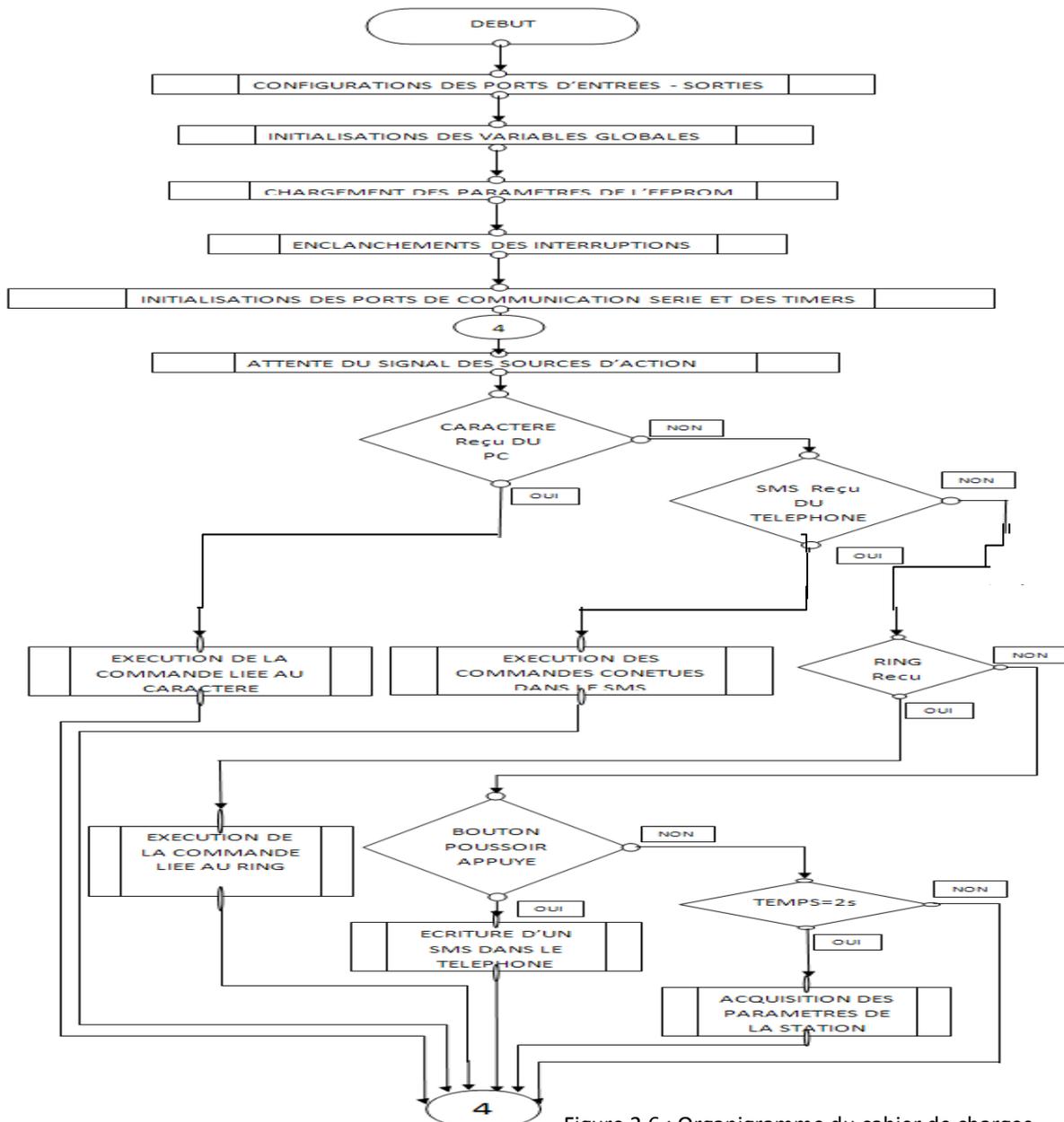


Figure 2.6 : Organigramme du cahier de charges

II-3- Réalisation et tests du système d'un site pilote

II-3-1 Implantation des circuits sur une carte :

Pour la réalisation de la carte conçue pour un site pilote, nous avons choisi d'implanter les composants de la figure 2.5 sur un PROTOBOARD.

Le PROTOBOARD est une plaque perforée avec une face contenant des lignes parallèles en cuivre. Son utilisation comme support de nos composants est motivée pour les avantages suivants :

- la facilité de fabrication pour le montage n'exigeant pas beaucoup de composants ;
- son faible coût et son outillage de mise en œuvre réduit;
- sa disponibilité.

Partant d'un PROTOBOARD, nous traçons le circuit de commande avec le logiciel TCI et il sera imprimé en double face pour des raisons de complexité des connexions entre les composants utilisés. Le logiciel TCI a été d'une importance remarquable car la distance entre les points de sa page peuvent être réglée à celle entre les points du PROTOBOARD. Ainsi on peut imprimer les deux faces sur une même page et fixer celle – ci sur la plaque pour ensuite souder les composants.

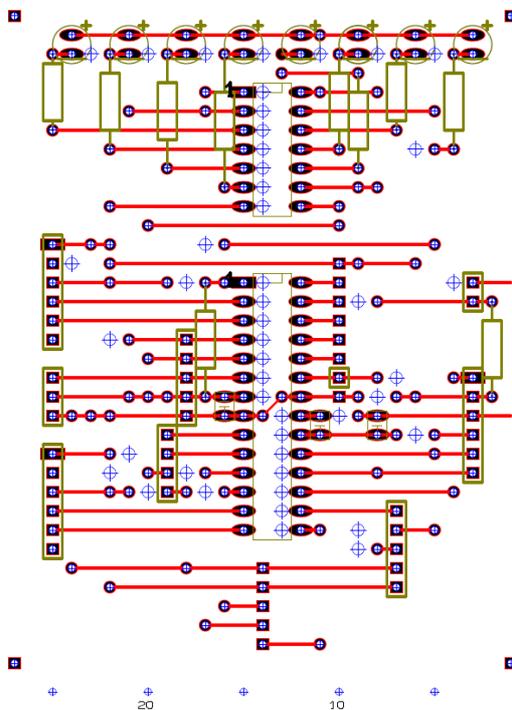


Figure 2.7 : Face cuivre de la carte

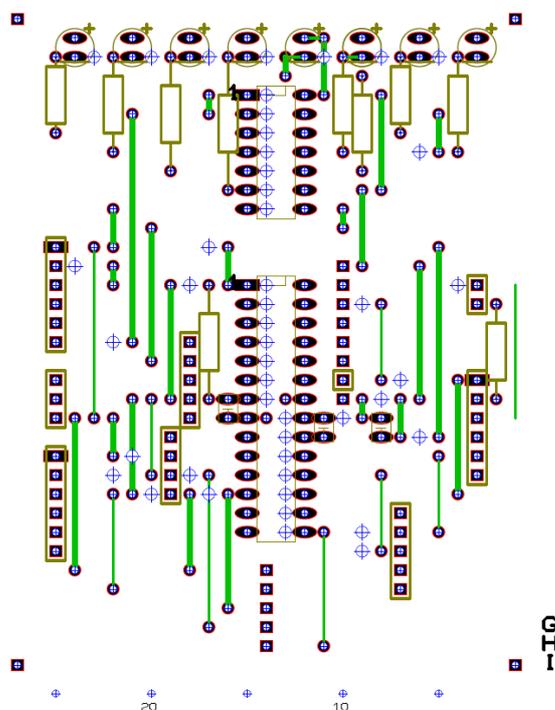
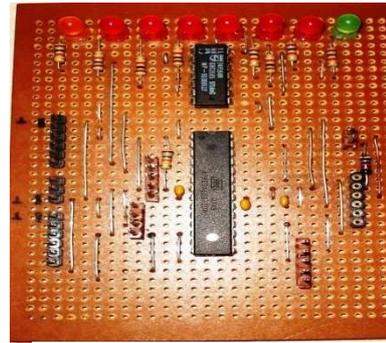


Fig.2.8 : Face composant de la carte

II-3-2 Carte Réalisée

En choisissant les composants nécessaires pour l'interfaçage du microcontrôleur (selon les notes de calcul données en annexe 4), nous réalisons notre carte électronique d'acquisition des données d'une station de mesure CNESOLER (fig. 6.3). A l'aide des schémas ci – dessus,



nous procédons impérativement à la vérification de la continuité de toutes les pistes, ainsi que l'absence de court circuit entre pistes.

La soudure des composants s'est faite dans un ordre croissant de taille.

Ainsi nous transférons, à l'aide du logiciel AVR ISP, le code C écrit avec le logiciel AVR STUDIO 4.

II-3-3 Résultats obtenus avec le site pilote du CNESOLER :

Une fois la carte connectée aux appareils de mesure du CNESOLER, nous avons fait les actions suivantes :

II-3-3-1 Test de performance de la carte à l'acquisition des données :

A ce niveau, nous avons utilisé des dispositifs simulant le fonctionnement des différents type des signaux délivrés par les appareils de mesure du CNESOLER ; cela pour éviter de déconnecter ces appareils du data logger et amener des erreurs dans la base qu'il crée. Les valeurs lues ont bien reflétés la logique du programme établi.

II-3-3-1 Test de performance de la carte à la transmission des données :

Ici, une fois tout le câblage effectué avec le modem T28S, nous avons inséré des cartes SIM de deux opérateurs téléphoniques du Mali (Orange Mali et Malitel) et l'envoi des SMS au numéro préenregistré a toujours fonctionné selon le programme transféré dans le microcontrôleur.

II-3-3-1 Test de performance de la carte dans la communication des données avec un microordinateur:

Cette liaison a bien fonctionné aussi, et elle nous a permis de :

- consulter les valeurs des paramètres via une liaison USART en mode RS232 ;
- commander l'envoi des SMS au numéro enregistré ;
- lire les SMS contenus dans la mémoire du modem.

Chapitre III : Mise en place d'un mode de centralisation des données des stations distantes

L'objectif de cette troisième partie est l'étude de la proposition faite du système dont nous avons mis en place afin de regrouper les données transmises par les stations distantes éparpillées partout sur le territoire malien au niveau d'un quelconque centre du CNESOLER où pour leurs traitements et exploitations aux besoins nécessaires.

Pour cela, nous avons opté pour un système très simple constitué essentiellement d'un microordinateur, d'un modem GSM (n'importe quel téléphone mobile ayant le module Bluetooth intégré en mode RS232) et d'un logiciel dont nous concevons.

I- Synoptique du système de centralisation :

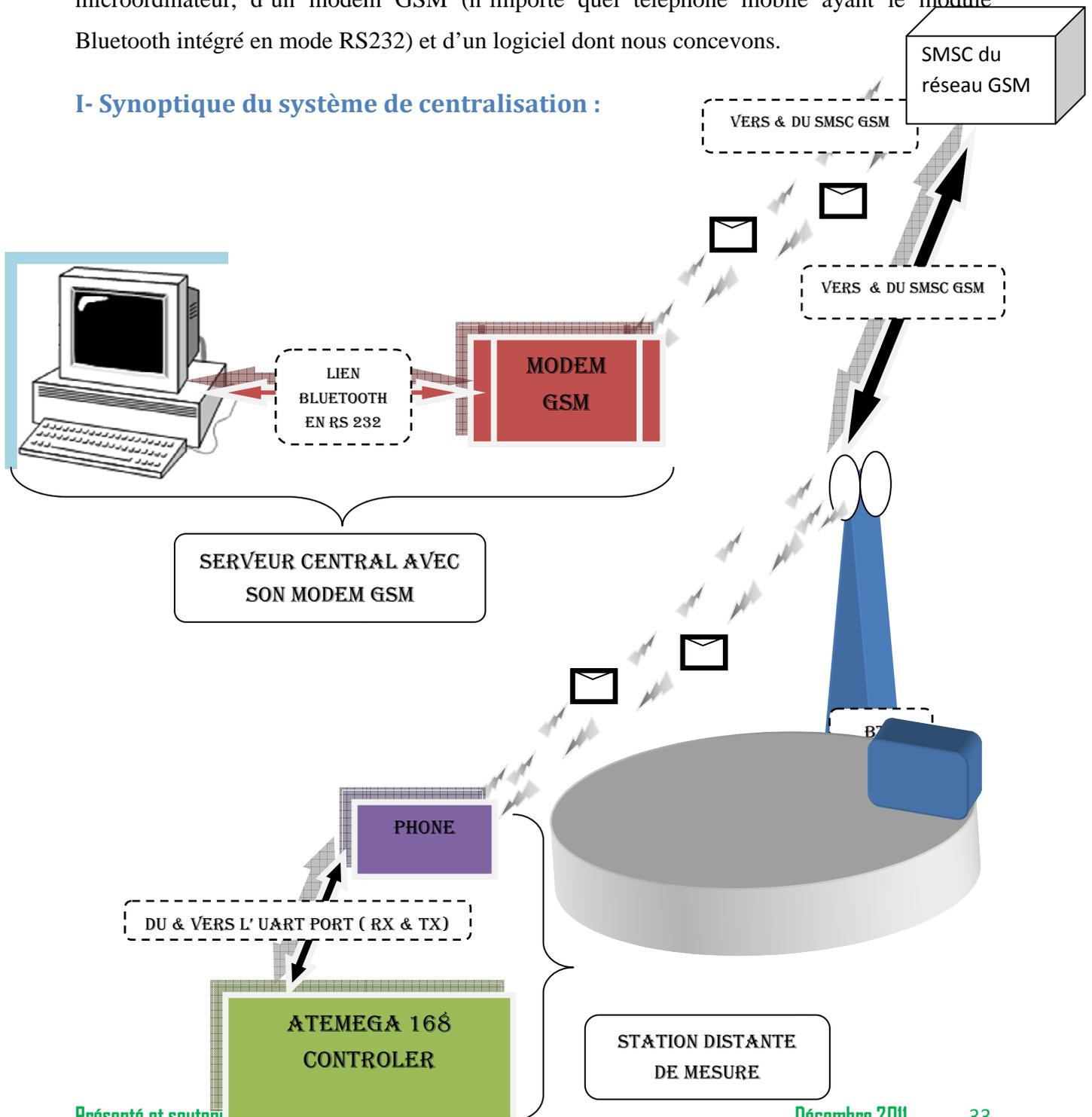


Figure 3.1 : Synoptique du système de centralisation des mesures

II- Fonctionnement :

La centralisation se passe en deux (2) étapes principales ; une phase de création d'une base de données contenant les mesures de toutes les stations distantes et une autre qui consiste à l'affichage de celles – ci dans l'interface créée pour ce rôle.

II-1 Méthode de création de la base de données des mesures :

Tous les SMS émis par les stations distantes, en direction de la centralisation, sont récupérés par un logiciel de Telnet (qui ont été Hyper Terminal, Real Term et Putty lors de nos tests) à travers le lien Bluetooth créé entre le modem de centralisation et le microordinateur d'exploitation selon la norme de communication RS232 et en utilisant des commandes AT (voir détails en annexe 3). Ce logiciel Telnet génère ensuite un fichier texte (d'extension « .txt ») contenant les mesures. Ce texte est analysé par le programme source de notre logiciel d'exploitation pour ne prendre que les paramètres mesurés avec leurs valeurs.

II-2 Mise en place de l'interface d'exploitation des mesures :

L'exploitation des mesures reçues est assurée par le logiciel dont nous concevons avec un programme source fait dans le langage Python. Ce logiciel assure principalement :

- l'analyse des contenus des fichiers textes générés par le logiciel telnet de lecture ;
- l'affichage des mesures selon divers options comme :
 - ✓ tableau des mesures horaires, quotidiennes ou mensuelles de tous les paramètres ;
 - ✓ tableau des mesures d'un paramètre sélectionné ou d'un site choisi;
 - ✓ tracés des courbes des mesures effectués dans l'interface graphique ;
- l'envoi des requêtes vers les stations pour la transmission des SMS en dehors des heures programmées dans les cartes d'acquisition de ces stations ;
- impression sur support papier ;

III- Résultats obtenus dans la réalisation du système de centralisation :

Après avoir effectué le design du logiciel et procéder à des tests sur la méthode de récupération des données transmises au modem de centralisation, parmi les objectifs fixés, nous avons pu donner suite aux points suivants :

- le lien Bluetooth modem-microordinateur a pu être configuré en mode RS232 pour la communication série asynchrone ;

- les commandes AT ont permis de générer des bases de données en fichier texte contenant tous les échanges du modem central à l'aide de chacun de logiciel Telnet utilisé (Hyper Terminal, Real Term, Putty) ;
- aussi un code a pu être fait permettant la réalisation des interfaces graphiques avec Python, par contre le logiciel répondant à notre objectif n'a pas pu être finalisé.

Chapitre IV : Outils Utilisés et Estimation financière du projet

Tous les schémas et les matériels vus jusque-là ont été dessinés et câblés suivants des indications faites dans des logiciels.

Parler à un circuit électronique se fait selon un programme rédigé pour lui donner des ordres dans un langage qu'il comprend. La rédaction de ce programme nécessite d'autres programmes conçus pour jouer ce rôle (les logiciels de programmation). Une fois le programme prêt, nous retrouvons les logiciels de communications d'abord pour programmer le circuit et ensuite s'enquérir de l'état d'exécution des ordres données.

Ce chapitre parle de ces différents logiciels utilisés dans notre projet pour assurer ces tâches pré – citées et de ces langages de communication avec les circuits et estime le coût du projet.

I- Les logiciels utilisés :

I-1- AVR Studio 4 :

Pour le développement des programmes, nous avons utilisés l'AVR Studio 4. Ce compilateur nous évite la programmation de bas niveau souvent très délicate donc il offre une méthode rapide de produire un code efficace via le langage C.

La compilation d'un programme avec ce logiciel génère des fichiers dont l'extension est .hex, .o, .lss, .elf etc. ...

C'est avec le fichier .hex que génère le compilateur C que nous arrivons à programmer l'AVR Studio 4 directement via un programmeur ISP et l'AVR ISP.

I-2 Win AVR :

Win AVR est un petit logiciel qu'on installe après l'installation d'AVR Studio 4 pour permettre de faire la compilation des programmes édités dans ce dernier.

I-3 AVR ISP :

AVR ISP est le logiciel de transfert du code programme de l'ordinateur vers le microcontrôleur.

I-4 SDS et TCI :

SDS est le logiciel de dessin des différents de câblage illustrés dans le document. Le dessin qui a été reporté sur la carte a réalisé avec le logiciel TCI

I-5 HyperTerminal, Real Term etPutty:

Ce sont ces logiciels qui permettent dans notre projet de communiquer des données ou paramètres et visualiser les résultats des traitements en cours dans notre microcontrôleur. Il communique avec la carte à travers un modem sur une liaison série asynchrone RS 232.

II- Le langage C et les commandes AT:

II-1 Le langage C :

C'est le langage de haut niveau dont nous avons utilisé pour transcrire l'organigramme de notre cahier de charge en langage informatique compréhensible par le microcontrôleur.

II-2 Les commandes AT:

Les commandes AT sont définies dans la norme GSM 07.07 (pour les SMS cf. GSM 07.05). AT est l'abréviation d'Attention et elles sont utilisées pour éviter aux développeurs d'application pour téléphone mobile la rédaction des codes plus complexes dans un autre langage de programmation. Ces 2 caractères sont toujours présents pour commencer une ligne de commande sous forme de texte (codes ASCII). Les commandes permettent la gestion complète du mobile. Trois entités sont définies :

- TE : Terminal Equipment (envoi et affiche les commandes).
- TA : Terminal Adaptator (interface entre l'utilisateur et le mobile).
- ME : Mobile Equipment.

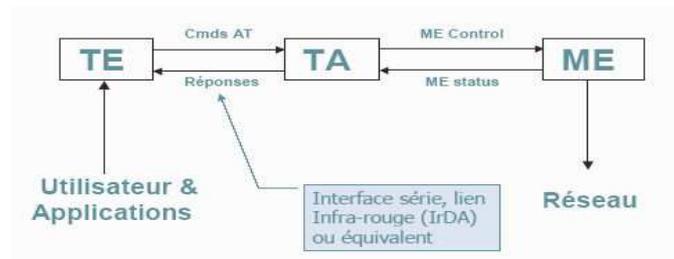


Figure 4.1 : Structure générale entités de transfert d'une commande AT [15]

II-3 Le langage Python

C'est un langage de haut niveau permettant de concevoir de programme interactif de base jusqu'au logiciel d'application les plus complexe du traitement des bases de données, d'internet et de traitement de texte et même de CAO.

III- EVALUATION FINANCIERE DU PROJET

Tableau 1 : Estimation financière.

DESIGNATIONS	QUANTITE	COÛT UNITAIRE	MONTANT
Menuiserie	1	15 000	15 000
Proto – board	1	1 000	1 000
Atemega 168	1	2 000	2 000
Modem Ericsson T28	1	10 000	10 000
Registre à décalage 74F164N	1	500	500
Le circuit de programmation	1	20 000	20 000
Convertisseur série / USB TTL232R	1	35 000	35 000
Condensateur	3	100	300
Capteur à Hall	1	1000	1000
Connecteur	5	250	1250
Résistance	12	100	1200
Led	8	100	800
Boutons poussoir	1	500	500
Potentiomètre	1	400	400
Adaptateur AC/DC	1	2000	2000
Module solaire de 20W	1	40 000	40 000
Batterie d'accumulateur	1	4 500	4 500
Achat du mât + Datalogger+ accessoires	1	1 125 000	1 125 000
Main d'œuvre et Installation du mât sur site	1	1 275 750	1 275 750
Total			2 560 450

N.B :

Dans le calcul des coûts (voir annexe 9), nous avons pris 1USD = 450FCFA

Les crédits de recharge du téléphone dépendront de la demande du propriétaire.

Cette estimation est faite selon le marché malien.

La compréhension des détails de ce dernier chapitre est très nécessaire afin de lever le mystère et la panique qu'on peut être sujet en voulant se lancer dans la micro – informatique.

Enfin, nous voyons que contrairement à ce qu'on peut penser, la maîtrise des logiciels de développement des dispositifs à microcontrôleur est souvent plus facile que celle des logiciels de traitement de texte à condition de s'adonner seulement et surtout à retenir que tous ces logiciels sont disponibles gratuitement sur internet.

IV- CONCLUSIONS, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES

Dès l'annonce de ce thème de projet, nous avons mesuré à juste titre l'envergure des travaux qui nous attendaient pour sa réalisation.

En effet, pour faire face à la conception d'un tel système, il nous a fallu décomposer le projet en plusieurs modules afin de maîtriser leurs principes et par suite établir un synoptique fonctionnel de la solution apportée. Ces modules ont permis de décrire toutes les composantes de base du projet qui sont : Les Sources d'énergies renouvelables, l'acquisition et le traitement de données des paramètres météorologiques, les microcontrôleurs et les modems de transmission plus particulièrement ceux du réseau GSM.

La réalisation pratique a été effectuée suite à des analyses des comportements des circuits, des études complètes des codes et protocoles, des visualisations des échanges entre modules, des mesures des signaux et à des interprétations de résultats.

Cependant, grâce à une analyse approfondie et technique de la structure générale du cahier de charges, nous avons pu aboutir au terme de tous ces travaux à de nombreux résultats :

- conception de la carte à base de microcontrôleur permettant de mesurer en temps réel les paramètres d'une station de mesure du CNESOLER ;
- conservation temporaire des données mesurées ;
- transmission des mesures des paramètres climatiques voulus, au numéro souhaité selon un horaire préétablie ou à la demande de l'administrateur de la station de centralisation des mesures.

Grâce à la flexibilité de l'ensemble carte réalisée et programme conçu, nous avons les options suivantes :

- possibilités d'extension du nombre d'appareil
- changement d'un appareil par un autre plus performant.
- l'utilisation de la carte pour d'autres systèmes de contrôle ou de commande à distance.

En répondant à certains points de notre cahier de charges défini dans l'introduction générale, nous restons conscients que tout l'objectif n'a pas été atteint pendant cette période de stage parmi lesquels on peut évoquer la non finalisation du logiciel d'exploitation devant être implémenté au microordinateur de centralisation pour une interaction plus conviviale.

Néanmoins, nous espérons que ce projet sera un outil utile permettant d'augmenter les capacités du service de mesure du CNESOLER et son intégration à ses stations de mesure dans l'établissement d'une base de données et une cartographie de notre climat qui exploitent les mesures locales verra le jour d'ici peu.

La réalisation complète de ce logiciel est et restera pour nous un devoir quotidien dont l'atteinte dans les mois à venir ne nous fait aucun doute.

Les connaissances acquises sur des outils comme les microcontrôleurs, les modems des téléphones mobiles, les différents circuits électroniques et surtout leurs langages de programmation lors de la réalisation de ce projet nous ont permis de lier les théories acquises au cours de notre formation d'ingénieur au sein du 2IE avec les pratiques de la vie industrielle et particulièrement avec celles des nouvelles technologies de l'information et de la communication.

Nous sollicitons enfin une intégration de ce domaine des nouvelles technologies notamment l'utilisation des composants micro-informatiques aux modules de formation dispensés par 2IE afin d'outiller d'avantage ses ingénieurs à être en phase avec ce monde de plus en plus technologique.

BIBLIOGRAPHIE

1. LIVRES

- [1] Michael Tischer, 1993 : La bible du PC, Edition Micro Application, Paris.
- [2] Isabelle GUERIN LASSOUS : Principe des Réseaux Mobiles Chapitre 3 Réseau GSM Architectures de Réseaux de Services
- [3] © Sony Ericsson Mobile Communications, 2001 : Mobile Phone T68i Developers. Guidelines AT Commands; Online Reference

2. RAPPORTS DE PROJETS

- [4] KEITA Mamadou, 2008 : Réalisation d'une plateforme pour l'acquisition de signaux analogique et numérique et pour la commande de processus industriel architecturé autour d'une interface parallèle programmable (ppi). ENI_AB7
- [5] SILGA Joseph, 2008 : Mise au point de routines en langage C sous l'environnement ARDUINO pour la commande d'un ascenseur : cas d'un bâtiment R +2 ; ENI_AB7
- [6] ZARANI Mohamed Ben H., 1995 : Adaptation matérielle de la station de mesures radiométriques du laboratoire E.E.A de l'E.N.I – Modélisation du rayonnement solaire au sol.
- [7] TRAORE Sékou Oumar et KAMISSOKO Famakan, 2009 : Le développement des énergies renouvelables au Mali. CNESOLER
- [8] Groupe de la Banque Africaine de Développement, 2010 : Stratégie de développement de la maîtrise de l'énergie au Mali. Département Régional Ouest Africain II ORWB.
- [9] Ministère de l'énergie et de l'eau du Bénin et le PNUD, 2010 : Rapport du Projet développer le Bénin à partir des énergies renouvelables; BENIN

3. SITES WEB

- [10] www.sonyericsson.com
- [11] www.atmel.com
- [12] Www.Dreamfabric.com/sms
- [13] Www.riccibitti.com/tinyplanet
- [14] www.meteonet.org
- [15] www.technologuepro.com
- [16] www.davis-meteo.com
- [17] www.usbdeveloper.com
- [18] www.wikipedia.org/wiki/
- [19] www.nrgsystems.com/allproducts/
- [20] www.planetoscope.com/developpement-durable

ANNEXES

ANNEXE 1 : L'organigramme du CNESOLER

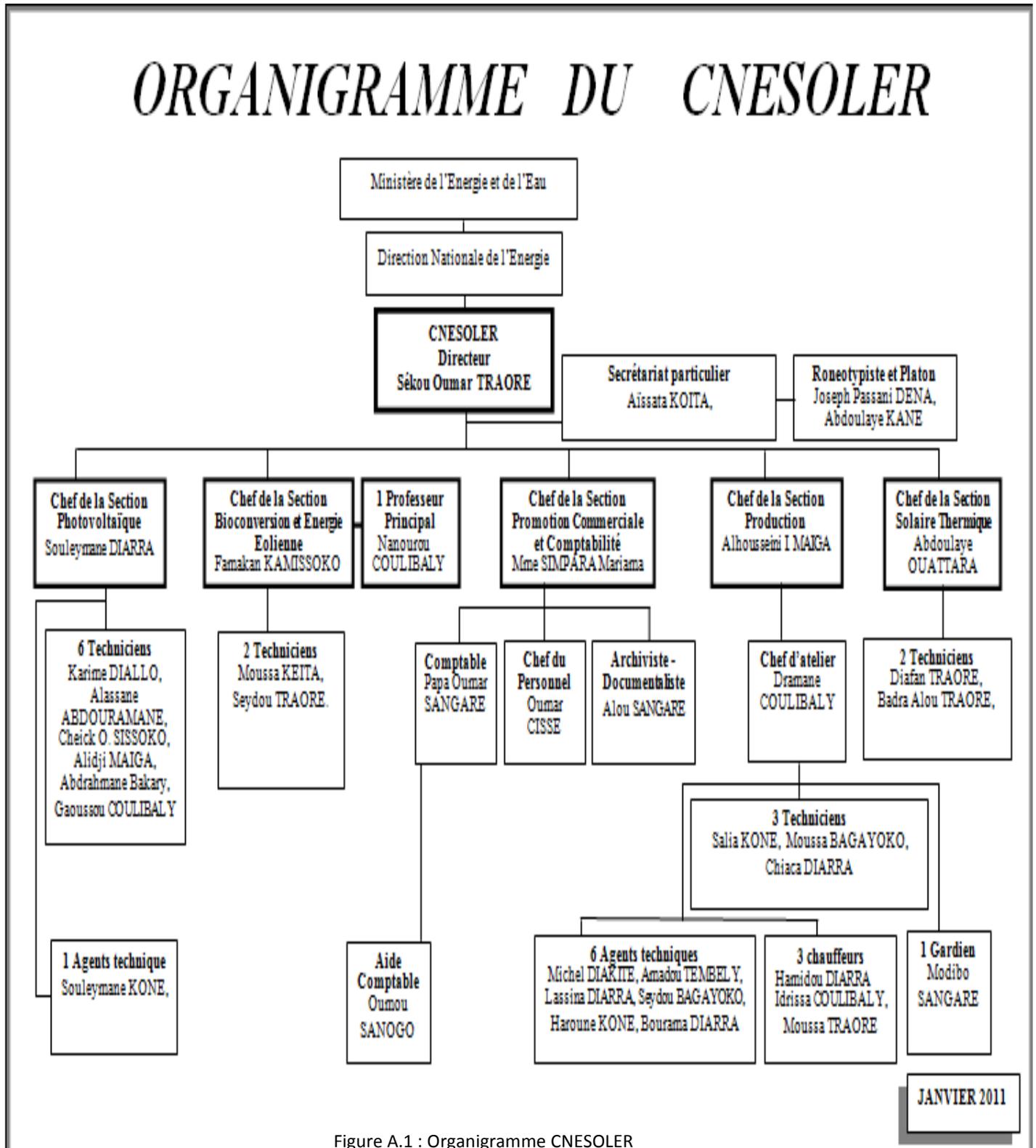


Figure A.1 : Organigramme CNESOLER

ANNEXE2 : Les différentes familles de microcontrôleur

- la famille Atmel AT91; ^[18]
- la famille Atmel AVR (utilisée par des cartes ARDUINO) ;
- le C167 de Siemens/Infineon ;
- la famille Hitachi H8 ;
- la famille Intel 8051, qui ne cesse de grandir ; de plus, certains processeurs récents utilisent un cœur 8051, qui est complété par divers périphériques (ports d'E/S, compteurs/temporisateurs, convertisseurs A/N et N/A, chien de garde, superviseur de tension, etc.) ;
- l'Intel 8085, à l'origine conçu pour être un microprocesseur, a en pratique souvent été utilisé en tant que microcontrôleur ;
- le Freescale 68HC11 ;
- la famille Freescale 68HC08 ;
- la famille Freescale 68HC12 ;
- la famille des PIC de Microchip ;
- la famille des dsPIC de Microchip ;
- la famille des ST6, ST7, STM8, ST10, STR7, STR9, STM32 de STMicroelectronics ;
- la famille ADuC d'Analog Devices ;
- la famille PICBASIC de Comfile Technology;
- la famille MSP430 de Texas Instruments ;
- la famille 8080, dont les héritiers sont le microprocesseur Zilog Z80 (désormais utilisé en tant que contrôleur dans l'embarqué) et le microcontrôleur Rabbit ;
- la famille PSoC de Cypress ;
- la famille LPC21xx ARM7-TDMI de Philips ;
- la famille V800 de NEC ;
- la famille K0 de NEC.

ANNEXE 3 : Détails sur les commandes AT

Cette partie décrit les commandes AT et comment elles sont utilisées pour échanger des informations avec le téléphone mobile.

Les commandes AT sont définies dans la norme GSM 07.07 (pour les SMS cf. GSM 07.05). AT est l'abréviation d'Attention et elles sont utilisées pour éviter aux développeurs d'application pour téléphone mobile la rédaction des codes plus complexes dans un autre langage de programmation. Ces 2 caractères sont toujours présents pour commencer une ligne de commande sous forme de texte (codes ASCII). Les commandes permettent la gestion complète du mobile.

Trois entités sont définies :

- TE : Terminal Equipment (envoi et affiche les commandes).
- TA : Terminal Adaptator (interface entre l'utilisateur et le mobile).
- ME : Mobile Equipment.

Schéma de fonctionnement

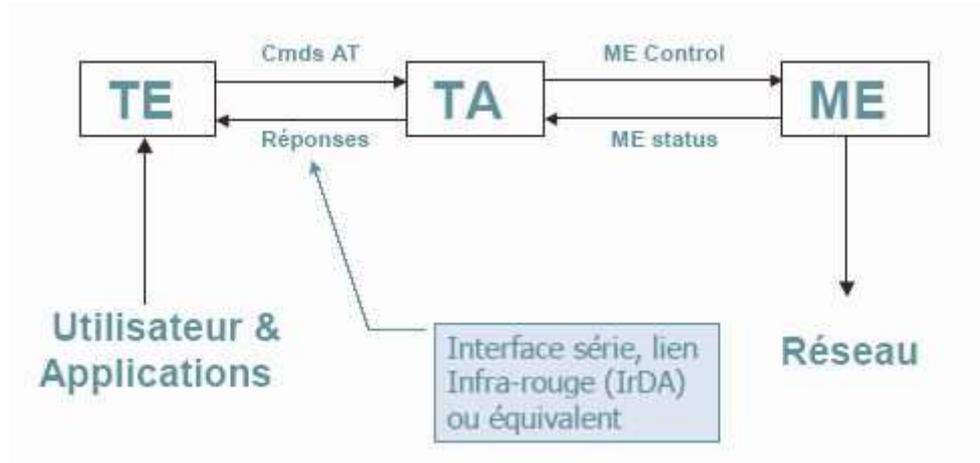


Figure A.2 : Trajet d'une commande AT ^[15]

En général, il faut taper les commandes AT en MAJUSCULES (65,0x41,A et 84,0x54,T). La commande AT tout cours doit donner la réponse "OK".

Structures des commandes AT :

En mode commande, quatre types de commande peuvent être effectués :

La commande de réglage pour ajuster des paramètres du modem du téléphone ;

La commande d'exécution qui actionne le téléphone sans envoyer des paramètres ;

La commande de lecture pour visualiser le réglage courant ;

La commande de test pour s'enquérir des paramètres disponibles pour une commande donnée.

Ainsi tous les modes AT supportent ces quatre types de commande.

Structure d'une commande de Réglage :

Le format standard pour faire entrer une commande de réglage est le suivant :

AT<commande>=<paramètre><CR> où

<commande> est le nom de la commande à faire rentrer ;

<paramètre> les valeurs à utiliser par la commande ;

<CR> termine chaque ligne de commande AT. Il correspond la touche entrée ou retour.

Structure d'une commande d'exécution :

Les commandes d'exécution sont similaires aux commandes de réglages à la différence qu'elles n'exigent pas de paramètre à préciser.

Par exemple pour savoir le niveau de la batterie, on envoie AT+CBC.

Le modem répond par +CBC : 0,60

Où le (0) indique que sa propre batterie est connectée et le (60) veut dire qu'elle est chargée à 60%.

Lors de la réception d'un appel, on envoie ATA pour dire au téléphone de répondre à l'appel.

Structure d'une commande de lecture :

On met le (?) devant le nom de la commande pour voir le réglage courant.

Ainsi par l'envoi de la commande AT+CPMS ? Pour demander comment les messages sont stockés, le modem peut donner comme réponse :

+CPMS : ME, 0,15 ; SM, 1,10 ; ME, 0,15

ME, 0,15 : indique que les messages pouvant être lus ou supprimés sont dans la mémoire du téléphone. Il y a actuellement 0 message sur un total possible de 15 emplacements de message.

SM, 1,10 : indique que les messages pouvant être écrits ou envoyés à partir de la mémoire de la carte SIM. Il y a actuellement 1 message sur un total possible de 10 emplacements de message.

ME, 0,15 : indique que les messages reçus sont mis dans la mémoire du téléphone. Il y a actuellement 0 sur un total possible de 15 emplacements de message.

Structure d'une commande de test :

Cette fois – ci on met (= ?) devant le nom de la commande. Il détermine si une commande donnée est prise en charge par le modem ou non et si oui, quels sont les paramètres possibles.

Comme exemple, l'envoi de AT+CMGF=? Pour demander quels sont les formats de message SMS qu'il prend en compte ;

Le mobile peut répondre +CMGF : 0 pour dire le format PDU seulement.

Nous avons la possibilité aussi de mettre dans une chaîne plusieurs commandes AT et la réponse sera donnée dans le même ordre. Une chaîne contenant plusieurs types de commande AT est une commande étendue.

Les schémas A.3 et A.4 illustrent la syntaxe de commande et de réponse de commande étendue.



Figure A.3 : syntaxe de commande d'une commande AT étendue [15]

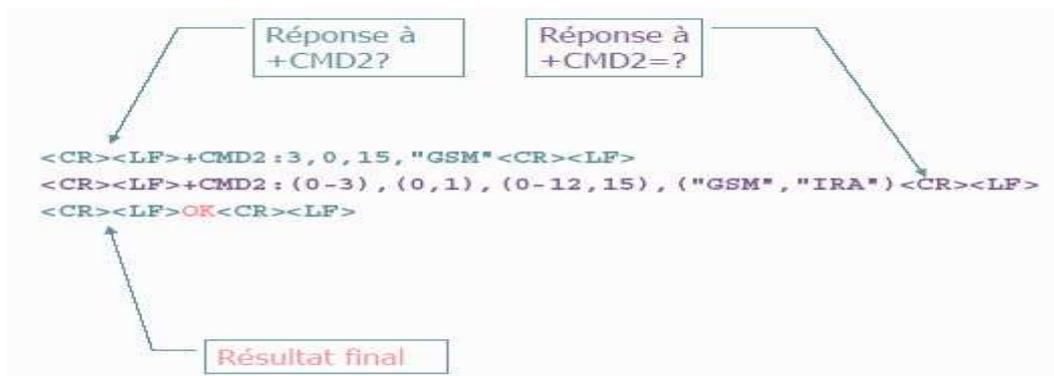


Figure A.4 : syntaxe de réponse d'une commande AT [15]

ANNEXE 4 : Notes de Calcul des composants de polarisations des entrées sorties (numériques et analogiques)

Les composants d'interfaçage utilisés sont très peu variés du fait de la disponibilité des modules d'adaptation au sein du microcontrôleur lui – même. Ces composants sont essentiellement des résistances et des capacités.

- **Pour les résistances des entrées et sorties numériques:**

$U = 5V$ et le courant maximum en sortie d'une broche est $20mA$

$$\text{Alors } R_{\text{minsortie}} = 5 / (20 \cdot 10^{-3}) = 250 \Omega$$

En entrée, le courant maximum accepté par une broche est $40mA$, ainsi :

$$R_{\text{minentrée}} = 2 * R_{\text{minsortie}} = 500 \Omega$$

- **Pour les capacités :**

Nous mettons des 10nF aux bornes de l'alimentation pour filtrer d'avantage des harmoniques qui se retrouveront dans l'alimentation redressé.

- **Pour la précision de conversion analogique/numérique :**

Le microcontrôleur a sept (7) entrées analogiques de 10bits.

La référence du CAN peut être VCC (tension d'alimentation 5V du microcontrôleur), une référence interne au microcontrôleur de valeur 2,6V ou une autre référence donnée par le concepteur. Selon les cas, nous avons les pas (ou précisions) de conversion suivants :

➤ Pour $AV_{\text{réf}} = AV_{\text{CC}} = V_{\text{CC}} = 5V$:

$$\text{Pas} = (5 / 2^{10}) = 5 / 1024 = 4,8mV$$

➤ Pour $AV_{\text{réf}} = AV_{\text{réf_in}} = 2,6V$:

$$\text{Pas} = (2,6 / 2^{10}) = 2,6 / 1024 = 2,5mV$$

➤ Pour $AV_{\text{réf}} = V_U = V \in [0V ; 5V]$:

$\text{Pas} = (V_U / 2^{10}) = V_U / 1024$; ainsi en choisissant des faibles valeurs pour V_U , nous pouvons obtenir des précisions de l'ordre du μV .

ANNEXE 5 : Quelques modules développés en C traduisant l'organigramme

Le programme principal conçu est essentiellement composé des sous – programmes. Chaque sous – programme traite en général une fonction spéciale comme l'acquisition de données de la station météorologique, le codage du SMS en PDU, etc.

Nous présentons ci – après quelques modules de ce programme principal.

// Quelques exemples d'initialisation des ports

```
DDRB= (1<<PORTB0)|(1<<PORTB6)|(1<<PORTB7); // PORTB0, PORTB6, PORTB7 en sortie et le reste des broches du port B en entrée.
```

```
DDRC=(1<<PORTC5); // PORTC5 mis en sortie
```

```
PORTC=~(1<<PORTC5); // pull-up sur toutes les entrées à part le PORTC5
```

```
DDRD=0xFF; // Tout le port D en sortie
```

//le module d'écriture dans l'EEPROM :

```
void EcrireEeprom (int adr, char data) {
```

```
    if (LireEeprom(adr)!=data) { // si aucune lecture n'est en cours
```

```
        while (EECR & (1<<EEPE)); //attendre l'ordre d'écriture
```

```
        EEAR = adr; EEDR = data; // écrire la donnée data à l'adresse adr
```

```
EECR = (1<<EEMPE); EECR = (1<<EEPE); // déclenche l'écriture
```

```
    } }
```

//le module d'écriture dans l'EEPROM :

```
char LireEeprom (int adr) {
```

```
    while (EECR & (1<<EEPE)); // ne pas lire durant une écriture !
```

```
    EEAR = adr; // la donnée est. A l'adresse adr
```

```
    EECR = (1<<EERE); // déclenche la lecture
```

```
    return (EEDR); // retourne la donnée qui est maintenant dans EEDR
```

//Le module de chargement des données de l'EEPROM vers la RAM :

```
void charge_de_Eeprom () {  
  
    int i; val_max=8; unsigned char val [val_max];  
  
    for (i=0; i< val_max; i++) val[i]=LireEeprom(i); //mettre dans val[i] l'octet d'adresse i.}
```

//Le module de chargement des données de l'EEPROM vers la RAM :

```
void charge_dans_Eeprom () {  
  
    int i; val_max=8; unsigned char val[val_max]; // definition des variables locales  
  
    for (i=0; i< val_max; i++) val[i]= EcrireEeprom (i); // écrire val[i] à l'adresse i }
```

//Le module d'initialisation de l'USART et du SPI :

```
Void_init_USART() {  
  
    UBRR0= (8000000/16/9600-1); // vitesse de transmission réglée à 9600 bauds  
  
    UCSR0C=(1<<USBS0)|(3<<UCSZ00); // clock/?  
  
    UCSR0B=(1<<TXEN0)|(1<<RXEN0); // uart ON }
```

// Le module d'initialisation de l'ADC :

```
void InitAnalo() {  
  
    ADMUX=(0<<REFS1)|(1<<REFS0); // ref= AVcc,  
  
    ADCSRA=(1<<ADEN)|(0b111<<ADPS0); // prediv 8}
```

//activation des Timers

```
TCCR0B=(DivTimer<<CS10); // timer 0 activé  
  
TCCR1B=(DivTimer<<CS10); // timer 1 activé
```

//enclenchement de l'interruption de fin de comptage du Timer 1 (Timer 1 over flow)

```
TIMSK1|=(1<<TOIE1); // timer 1 overflow interrupt activé
```

//Le module d'acquisition des paramètres de la station de mesure :

//Mesure de l'ensoleillement avec une photo – cellule, de la température, de la pression ou de la direction avec le potentiomètre:

```
unsigned int ReadAnalo(char canal) {

    InitAnalo();// routine d'initialisation de l'ADC

    ADMUX&=~ (0b111);// canal 0 par défaut

    ADMUX|=canal;// choix d'un canal

    ADCSRA|=(1<<ADSC); // start conversion

    while(ADCSRA&(1<<ADSC));// attendre la fin de conversion

    return ADC;// retourne le résultat de la conversion }

void lireenso(){Enso=ReadAnalo(0); }

//interruption par flanc montant sur INT1 permettant de mesurer la période du disque

ISR (INT1_vect) { V++;} // routine exécution avec l'activation de l'interruption INT1

//Mesure de la vitesse par un disque tournant

void Vitesse(){

    unsigned long int i=0;

    while(i<16000000){ i++; EIMSK= (1<<INT1); // active l'interruption et compte

        EICRA= (~(1<<ISC11)|(1<<ISC10));// les passages pendant 2s.

        sei();}

    EIMSK&=~ (1<<INT1); Vit=V; V=0;}

void lire_vit(){ Vitesse(); }
```

Le programme d'acquisition et de transmission est un rassemblement de routines de ces différents sous – programmes, selon l'organigramme du cahier de charge pour aboutir à ce programme principal.

```
// Programme principal
```

```
int main () {
```

```
char Com; // commande reçue de la console (PC)
```

```
// Initialisation des ports
```

```
DDRB=(1<<PORTB0)|(1<<PORTB6)|(1<<PORTB7); // TxConsole, sorties 1 et 2, autres bits en entrée
```

```
PORTB=(unsigned char)~((1<<PORTB6)|(1<<PORTB7)); // stop bit et pull-up aux entrées
```

```
DDRC=(1<<PORTC5); // PORTC5 (LED) mis en sortie
```

```
PORTC=~(1<<PORTC5); // pull-up sur toutes les entrées
```

```
DDRD=(1<<PIND3)|(1<<PIND5)|(1<<PIND6); // sortie tél + sorties 3 et 4
```

```
PORTD=(1<<PORTD3); // "stop bit" =1
```

```
PORTD|=~((1<<PORTD3)|(1<<PORTD5)|(1<<PORTD6)); // pull-up sur toutes les entrées
```

```
    // Affichage à 8 LED
```

```
    ValLeds=0;
```

```
    // Initialisation des variables globales
```

```
Temps=0; EnvoiSms=0; StatusTel=0; // statut de la communication avec le modem GSM
```

```
    Ring=0; // détection des "ring"
```

```
    SendOrWrite='S'; Bavard=0; // mode sans écho du modem GSM
```

```
    Texte[0]=0; NoDernierSms=0; // pas de "dernier" SMS
```

```
    LoadEeprom (); //lit les paramètres dans l'EEPROM
```

```
    // Timer et interruptions
```

```
    TCCR0B=(DivTimer<<CS10); // timer 0 source
```

```
    TCCR1B=(DivTimer<<CS10); // timer 1 source
```

```
    TIMSK1|=(1<<TOIE1); // timer 1 overflow interrupt enable
```

```
    UBRR0=UartFreq; UCSR0C=(1<<USBS0)|(3<<UCSZ00); // clock/?
```

```
UCSR0B=(1<<TXEN0)|(1<<RXEN0); // uart ON

InitRxCons(); // lance la lecture des car sur la console

Init_Vit(); ini_temp(); sei(); // Autorisation des interruptions

PutChar (CR); PutChar (LF);

PutChar ('A'); PutChar ('.'); PutChar ('T'); PutChar ('_'); PutChar ('M');

PutChar (MajVer); PutChar ('.'); PutChar (MinVer); PutChar ('#');

// Attente des caractères de la console (PC)

while (1) {

    PutCr(); PutChar('?'); PutSpace(); Com=Majuscule(GetCarEchoTel());

    switch (Com) {

        case LF: break; // ignore les LF

        case 'D': ComD(); break; // affiche le destinataire

        case 'O': ComO(); break; // affiche l'opérateur

        case 'T': ComT(); break; // Compose et affiche le texte du SMS

        case 'I': ComI(); break; // Affiche les mesures des paramètres de la station

        case 'R': ComR(); break; // Affiche le dernier SMS reçu

    case 'W': EnvoiSms='W'; break; // écriture d'un SMS dans le modem GSM modem GSM

        case 'S': EnvoiSms='S'; break; // envoi d'un SMS

        case 'A': PutChar (SendInitPdu()); // init PDU

        case 'X': ComX(); break; // Choisir le mode "Ecrire" ou "envoyer"

        case 'B': ComB(); break; // Bavard ou non

        case 'V': // Modifie une valeur dans l'EEPROM

        case 'E': // Modifie un paramètre dans l'EEPROM

        case 'M': GetComTel(Com); ExecCom(); break; // composition d'un message

        case 'Z': ComZ(); break; // envoi ctrl-Z au modem GSM

        case 'C': ComC(); break; // dialogue direct avec le modem GSM

        default: break; } } }
```

ANNEXE 6 : Descriptions des interfaces graphiques des logiciels utilisés

Logiciels utilisés :

AVR Studio 4:

Dans ce logiciel on trouve toutes les familles d'AVR disponible sur le marché, on peut aussi les configurer selon l'application demandée à savoir :

- La fréquence de l'oscillateur.
- Les entrée /sorties.
- Les bibliothèques etc. ...

La compilation d'un programme avec ce logiciel génère des fichiers dont l'extension est .hex, .o, .lss, .elf etc. ...

C'est avec le fichier .hex que génère le compilateur C que nous arrivons à programmer l'AVR Studio 4 directement via un programmeur ISP et l'AVR ISP.

On ouvre un nouveau projet en rentrant dans le logiciel et faisant les nominations et choix de microcontrôleur à utiliser.

Voici la zone de travail du logiciel



Figure A.5 : Fenêtre de programmation d'AVR STUDIO 4

AVR ISP :

AVR ISP est le logiciel de transfert du code programme de l'ordinateur vers le microcontrôleur.

Le transfert de programme se fait par File -> LOAD FLASH ; Device ->Erase -> FLASH ; Device ->Program -> FLASH et enfin Device ->Run pour l'exécution du programme dans le circuit.

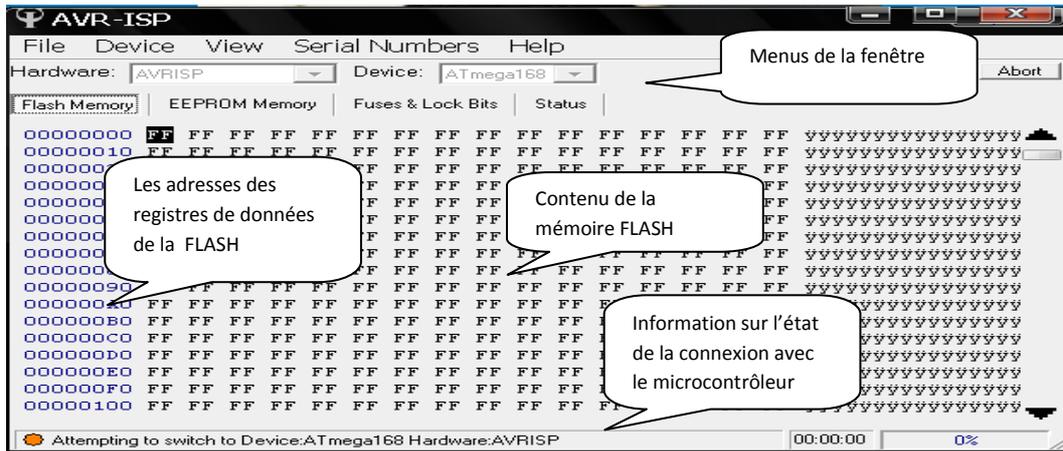


Figure A.6 : Fenêtre de transfert du programme avec AVR ISP

HyperTerminal :

HyperTerminal est le logiciel qui permet dans notre projet de communiquer des données ou paramètres et visualiser les résultats des traitements en cours dans notre microcontrôleur. Il communique avec la carte à travers une liaison série asynchrone RS 232. Il nécessite seulement quelques paramétrages simples à l'accès de son espace de travail comme le choix du nom du fichier, de la vitesse de communication, etc.

HyperTerminal est en effet intégré aux systèmes d'exploitation Windows dans le sous menu accessoires -> communications -> HyperTerminal.

Voilà l'espace de travail d'HyperTerminal.

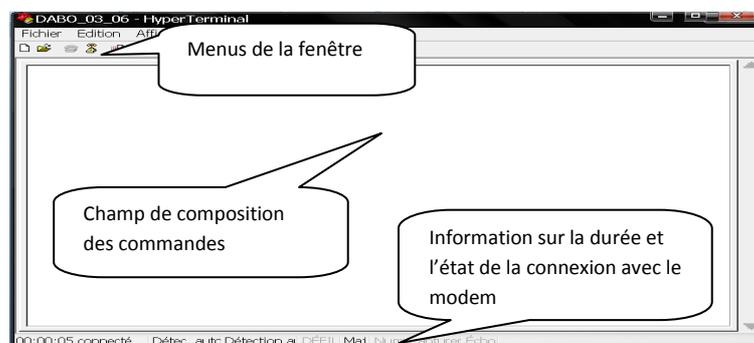


Figure A.7 : Fenêtre de communication avec le modem sous Hyper Terminal

RealTerm :

RealTerm joue pratiquement le même rôle qu'HyperTerminal. Il s'ouvre en double – cliquant sur son icône se trouvant sur le bureau après installation.

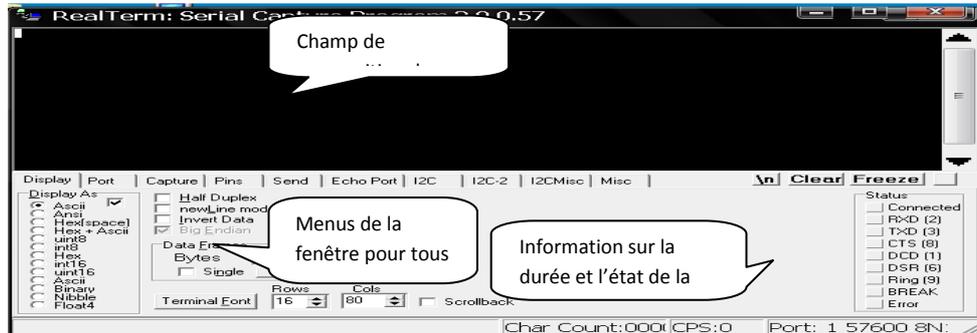


Figure A.8 : Fenêtre de communication avec le modem sous Real Term

ANNEXE 7 : Les fiches techniques des capteurs du CNESOLER

Tableau 2 : Spécifications du capteur de température ^[19]

Description	
Sensor type	integrated circuit temperature sensor with six plate radiation shield
Applications	<ul style="list-style-type: none"> wind resource assessment meteorological studies environmental monitoring
Sensor range	-40 °C to 52.5 °C (-40 °F to 126.5 °F)
Instrument compatibility	all NRG loggers
Output signal	
Signal type	linear analog voltage
Transfer function	$Temp = (Voltage \times 55.55) - 86.38$ °C $[Temp = (Voltage \times 100) - 123.5$ °F]
Accuracy	<ul style="list-style-type: none"> offset is +/- 0.8 °C (1.4 °F) maximum nonlinearity is +/- 0.33 °C (+/- 0.6 °F) maximum total error +/- 1.1 °C (2 °F) maximum
Electrical time constant	250 μs
Output signal range	0 V to 2.5 V DC
Response characteristics	
Thermal time constant	10 minutes
Power requirements	

Supply voltage	4 V to 35 V DC
Supply current	300 µA max. (no load on output)

Installation

Mounting	attaches to tower with included hose clamps
Tools required	<ul style="list-style-type: none">• 8mm (5/16 inch) nut driver or flat blade (-) screwdriver (to install hose clamps)• sheet metal shears or similar (for trimming hose clamps)

Environmental

Operating temperature range	-40 °C to 52.5 °C (-40 °F to 126.5 °F)
Operating humidity range	0 to 100% RH
Lifespan	10 years +

Physical

Connections	wire leads: <ul style="list-style-type: none">• signal (clear wire)• ground (black wire)• excitation (red wire)• shield wire for earth ground
Cable length	5 m (16 feet)
Weight	0.47 kg (1.04 pounds)
Dimensions	<ul style="list-style-type: none">• sensor only: 30.5 mm (1.2 inches) height x 12.7 mm (0.5 inch) diameter• sensor with radiation shield: 127 mm (5 inches) diameter x 127 mm (5 inches) height

Materials

Cable	3 conductor 22 AWG, with overall foil shield and drain wire, chrome PVC jacket
Probe	aluminum, epoxy filled
Shield	UV-stabilized thermoplastic solar radiation shield

Tableau 3 : Spécifications du capteurs de pression ^[19]

Description	
Sensor type	micromachined integrated circuit absolute pressure sensor
Applications	<ul style="list-style-type: none"> • wind resource assessment • meteorological studies • environmental monitoring
Sensor range	15 kPa to 115 kPa (4.43 inches to 34.0 inches Hg)
Instrument compatibility	<ul style="list-style-type: none"> • NRG Symphonie equipped with a BP SCM + any iPack
Output signal	
Signal type	linear analog voltage
Transfer function	Absolute Pressure in kPa = (Voltage x 21.79) + 10.55 typical
Accuracy	+/- 1.5 kPa (15 mb) max. uncorrected offset (+/- 0.443 inches Hg)
<u>Calibration</u>	calibration sheet included with each sensor specifies offset correction
Turn on time	15 ms
Power requirements	
Supply voltage	7 V to 35 V DC
Supply current	15 mA max. (8 mA typical)
Installation	
Mounting	mounts directly to tower or inside steel shelter box with hose clamps (included)
Tools required	8mm (5/16 inch) nut driver or flat blade screwdriver
Environmental	
Operating temperature range	<ul style="list-style-type: none"> • 10 C to 50 C at full accuracy • At cold temperatures, offset increases by 3 kPa (30 mb) worst case at -30 C.
Physical	
Connections	wire leads, 3 conductor shielded cable: <ul style="list-style-type: none"> • Red: sensor power • White: output signal • Black: sensor ground • Shield wire: to earth ground
Cable length	<ul style="list-style-type: none"> • 1.5 m (5 feet) • cable diameter 4.8 mm (3/16 inches)

Weight	0.1 kg (0.2 pounds)
Dimensions	<ul style="list-style-type: none"> • 57 mm (2.25 inches) diameter • 112 mm (4.4 inches) length (including cable bushing)
Materials	
Cable	3 conductor 22 AWG, with overall foil shield and drain wire, chrome PVC jacket
Enclosure	weatherproof black ABS

Tableau 4 : Spécifications d capteur de vitesse et de direction^[19]

N°7911S / 7911L **Anémomètre Girouette** bras droit avec 12 m de câble 4 conducteurs (version S pour petites coupelles et version L pour larges coupelles).

Figure A.9 : Photo d'un anémomètre Girouette^[19]



Caractéristiques		Référence 7911
Dimensions en mm		470 x 191 x 121
Longueur de câble		12 m
Longueur maximum	Wizard III et Monitor II	42 m
Console<=>anémomètre	GroWeather	2 x 75 m
Prolongateur à utiliser		n°7876-040 de 12m ou n°7876-100 de 30 m - câble standard 4 conducteurs
Direction du vent - résolution (<i>précision 7 %</i>)		1°
Direction du vent - gamme (<i>précision 7 %</i>)		0 - 360°
Vitesse du vent - (<i>précision : 5 %</i>)		0,1 m/s 0,9- 78 m/s 1km/h 4 à 280 km/h

ANNEXE 8 : Photo d'un mât de mesure avec ses accessoires du CNESOLER



Figure A.10 : Photo d'un mât de mesure avec ses appareils^[19]

ANNEXE 9 : Comparaison des coûts en 1 an du système conçu et du système existant pour une exploitation en temps réel (transmission horaire des données)

En partant du coût d'implantation du mât de mesure avec ses accessoires aux coûts d'exploitation nous avons:

Pour le système existant muni de datalogger avec transmission par satellite :

La tarification sur le rapatriement des données est donnée par temps de connexion à raison de 3000 USD pour 400min soit 7,5USD/min. En prenant 1 minute comme temps de connexion pour une lecture des données sur le distant (1 min est temps moyen estimé ; car le temps de connexion dépend du débit internet à disposition du lecteur), nous obtenons :

$$T_{\text{connexion annuel}} = 1 * 24 * 365 = 8760 \text{ min}$$

Le coût d'achat du Mât + Datalogger+ Accessoires s'élève à 2500USD selon les informations obtenues du CNESOLER. Le matériel pour le Génie Civil, le transport sur site et la main d'œuvre d'implantation est évaluée à 2835USD

Ainsi :

$$C_{\text{INVESTISSEMENT}} = (2500+2835) \times 450 = 2\,400\,750 \text{ FCFA}$$

$$C_{\text{exploitation annuelle}} = 8760 \times 7,5 = 65\,700 \text{ USD} \rightarrow C_{\text{exploitation annuelle}} = 29\,565\,000 \text{ FCFA}$$

$$C_{\text{Total_Sat.}} = 2\,400\,750 + 29\,565\,000 = \mathbf{31\,965\,750 \text{ FCFA}}$$

Pour le système GSM conçu sur une station:

Avec une actualisation horaire des mesures transmises, le coût se présente ainsi :

$$\text{Investissement : Modems+Carte+Câblage} = 60\,000 + 10\,000 + 35\,000 = 105\,000 \text{ FCFA}$$

$$\text{Mât + accessoires + main d'œuvre} = (2500+2835) \times 450 = 2\,400\,750 \text{ FCFA}$$

$$\text{SMS envoyé en 24H : } 20F * 24 = 240F \rightarrow \text{en une année on a } C_A = 365 * 240 = 87\,600 \text{ FCFA}$$

$$C_{\text{Total_SMS.}} = 105\,000 + 87\,600 + 2\,400\,750 = \mathbf{2\,593\,350 \text{ FCFA}}$$

$$\text{Gain sur l'existant} = ((2\,593\,350 * 100) / 31\,965\,750) - 100 = \mathbf{91,89\%}$$

$$\mathbf{\underline{\text{Gain sur l'existant} = 91,89\%}}$$

ANNEXE 10 : Mode opératoire du système de télémétrie conçu

Mode opératoire de la station de mesure :

1. Compiler le programme avec AVR STUDIO 4 et le transférer dans la mémoire du microcontrôleur à l'aide du programmeur ISP ;
2. Relier les différents capteurs à la carte ainsi que le modem au port UART de l'Atmega 168 ;
3. Mettre sous – tension la carte (Avec une source continue de 5V) ;
4. Connecter l'ensemble carte et modem au microordinateur. Les paramètres du port com sont :
 - Vitesse de transmission : 9600bauds
 - Numéro du port utilisé ;
 - Les bits de stop, de parité et de démarrage sont garder par défaut ;
5. Régler le numéro destinataire et le numéro du centre de messagerie de l'opérateur avec le logiciel telnet utilisé ;
 - Mettre « ED » suivi du numéro destinataire voulu et « EO » suivi de celui du centre de SMS ;
6. Régler le mode d'envoi (horaire systématique ou sur demande avec un appel) ;
7. Pour la consultation des paramètres, taper la lettre « I » dans l'interface telnet ;
8. Pour les tests du modem en direct, taper la lettre « C » pour rentrer en mode commande AT puis « # » pour en sortir.
9. Taper « S » pour commander l'envoi d'un sms avec le microordinateur ou « W » pour en écrire dans la mémoire du modem
10. Déconnecter le microordinateur après les réglages ci – dessous et l'ensemble est autonome. Un SMS est envoyé à chaque appel du numéro de la station ou à l'arrivée d'une heure précise.

Mode opératoire du serveur de centralisation :

1. Ouvrir les ports Bluetooth du modem et du PC et les connecter entre eux ;
2. Choisir la communication RS232 (ou mode COM ou Serial port COM) ;
3. Ouvrir le logiciel telnet à disposition et se connecter au port COM Bluetooth du modem ;
4. Lancer la capture vers un fichier texte dans le logiciel telnet ;
5. A l'aide des commandes AT, appeler une station distante à chaque fois qu'on veut lire ses valeurs ;
6. Lire le SMS reçu après l'appel à l'aide de la commande AT « AT+CMGL= "REC UNREAD" » ;
7. A la fin des lectures, fermer le logiciel telnet ;
8. Ouvrir le fichier de capture pour copier les valeurs envoyées par paramètres.