







Université du Québec  
à Rimouski

## **Utilisation des énergies renouvelables pour l'alimentation électrique d'une station de télécommunications en site isolé**

Mémoire présenté dans le cadre du programme de maîtrise en ingénierie en vue de  
l'obtention du grade de maître ès sciences appliquées (M.Sc.A.)

PAR

© **Richard Lekene**

**Août 2018**

**Composition du jury :**

**Mohamed Yasser Hayyani, président du jury, UQAR**

**Adrian Ilinca, directeur de recherche, UQAR**

**Marc Lajoie, examinateur externe, Kontron Inc.**

Dépôt initial le 27 août 2018

Dépôt final le 5 Octobre 2018

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À RIMOUSKI  
Service de la bibliothèque

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire « *Autorisation de reproduire et de diffuser un rapport, un mémoire ou une thèse* ». En signant ce formulaire, l'auteur concède à l'Université du Québec à Rimouski une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de son travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, l'auteur autorise l'Université du Québec à Rimouski à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de son travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits moraux ni à ses droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, l'auteur conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont il possède un exemplaire.

Je dédie le présent mémoire à ma  
fille, Keyndal Lekene, à mon oncle, Feu  
Dr Joseph Kengue



## **REMERCIEMENTS**

Le présent mémoire a vu le jour au sein du Laboratoire de Recherche en Énergie Éolienne (LREE) à l'Université du Québec à Rimouski (UQAR), avec un apport technique important d'Audace Technologie Inc (ATI) et de tout son personnel, ainsi que l'opérateur de téléphonie mobile Telus.

Ce travail a eu une contribution également importante des personnes à qui je ne saurais commencer ce travail sans exprimer ma profonde gratitude. Il s'agit en premier de mon directeur de mémoire, professeur à l'Université du Québec à Rimouski et directeur du Laboratoire de Recherche en Énergie Éolienne, M. Adrian Ilinca, à qui j'adresse un remerciement tout particulier pour son soutien inconditionnel, sa confiance et sa disponibilité. Je n'oublierais jamais.

Un remerciement également à M. Ibrahim Hussein pour ses conseils et orientations

Un remerciement à Majed Fantar.

Un remerciement à M. Étienne Michaud, Technicien en travail social / Responsable de l'accueil et l'intégration des étudiants étrangers.

Un remerciement à M. Romain Lavoie, Registraire de l'Université, pour son accueil, écoute et son orientation et à tout son personnel.

Un remerciement à tous les professeurs et personnels du département de mathématique et informatique de l'Université du Québec à Rimouski qui ont aidé à réaliser ce projet, de manière directe ou indirecte.

Un remerciement à ma famille tout entière pour leur soutien de près ou de loin.

Un remerciement a tous mes amies et amis étudiants ou non qui m'ont soutenu pendant mes moments difficiles, afin que je puisse réaliser ce projet.

## **AVANT-PROPOS**

Ma vie scolaire est loin d'être un long fleuve tranquille, j'ai connu des moments difficiles, mais aussi des moments de pur bonheur, et je dis merci à la vie pour cela, car grâce à elle je peux conseiller mes jeunes frères et sœurs et même donner mon point de vue des sujets mondiaux concernant mon domaine d'étude.

## RÉSUMÉ

Dans les communautés isolées, en général l'électricité est produite par des génératrices diesel, car la connexion aux réseaux centraux de distribution est difficile ou onéreuse. Les génératrices diesel dont le fonctionnement requiert l'utilisation de larges quantités de combustibles fossiles posent de sérieux problèmes environnementaux, sociaux et même économiques. Elles contribuent à l'émission des gaz à effet de serre et au réchauffement climatique. La solution proposée par la communauté scientifique est le recours aux énergies renouvelables, disponibles gratuitement, avec un très faible taux de pollution comparé aux génératrices diesel. L'installation d'un système d'énergie renouvelable (SER), tout particulièrement en sites isolés, rencontre des problèmes d'opération, entretien et diagnostic, exigeant le recours à des outils de communication. En effet, il est très important, voire indispensable, de pouvoir diagnostiquer, suivre les performances d'un tel système pour éviter les déplacements fréquents sur le site en cas de panne; ces déplacements sont généralement très coûteux. Par exemple, pour un opérateur de téléphonie cellulaire qui dispose de stations de base en zones isolées avec accès difficile sinon impossible pendant certaines périodes de l'année, le suivi et le contrôle à distance des systèmes hybrides de production électrique à l'aide d'énergies renouvelables sont une nécessité absolue. Le but de ce mémoire est de faire l'étude d'une station hybride d'énergie renouvelable pour alimenter une station de télécom en zone isolée, dans le nord du Québec; plus spécifiquement nous avons fait une étude de la faisabilité pour une alimentation en énergie électrique renouvelable d'une station de base en zone isolée avec un Green Cube et avons conçu un système intelligent d'acquisition, de traitement et de transfert de données, épousant ainsi le concept de l'usine 4.0.

Le premier chapitre est une revue de littérature des systèmes d'alimentation des petites charges en zone isolée, et plus spécifiquement les stations de télécommunication; la deuxième partie présente les détails techniques d'un système de télécom; la troisième partie fait état de la conception et analyse des performances d'un système hybride d'alimentation pour un site de télécommunications; dans la quatrième partie nous faisons la conception d'un système d'acquisition, de traitement et de transmission de données par un microcontrôleur Raspberry PI 3. Nous récupérons les données de production d'énergie via une interface web, et sauvegardons une copie vers une base de données MySQL préalablement installée sur la Raspberry PI. Les données sont consultables sur un serveur web, lui aussi installé sur la Raspberry PI et accessible à distance via une page web développée en PHP. Les données sont transmises en utilisant un réseau cellulaire de téléphonie basé un module GSM, lequel sera équipé d'une puce avec un forfait internet. Les données reçues nous indiquent l'état de la météo sur le site, l'état de charge des batteries, l'état de production électrique renouvelable, le niveau de carburant disponible pour le générateur diesel en cas d'absence prolongée des conditions météo favorisant la production de la fraction énergétique renouvelable; on pourra

alors déterminer si une présence humaine est nécessaire sur le terrain ou non. Tel qu'escompté, l'application de ces résultats réduit le nombre de visites sur le site et permet de faire des économies, d'augmenter le taux de pénétration des énergies vertes et, conséquemment, de réduire les émissions des gaz à effet de serre.

Mots clés : Systèmes embarqués, Raspberry pi, GSM, énergie renouvelables, Green Cube, industrie 4.0, LAMP, Station de base.

## ABSTRACT

In isolated communities, diesel generators usually generate electricity because connecting to central distribution networks is difficult or expensive. Diesel generators whose operation requires the use of large quantities of fossil fuels pose serious environmental, social and even economic problems. They contribute to the emission of greenhouse gases and global warming. The solution proposed by the scientific community is the use of renewable energies, freely available, with a very low pollution rate compared to diesel generators. The installation of a renewable energy system (RES), especially in isolated sites, has problems of operation, maintenance and diagnosis, requiring the use of communication tools. Indeed, it is very important, even essential, to be able to diagnose, monitor the performance of such a system to avoid frequent trips to the site in case of failure; these trips are usually very expensive. For example, for a cellular operator who has base stations in remote areas with difficult or impossible access during certain periods of the year, remote monitoring and control of hybrid power generation systems using renewable energies are an absolute necessity. The purpose of this thesis is to study a hybrid renewable energy station to power a telecom station in a remote area in northern Quebec; more specifically we did a feasibility study for a renewable electric power supply of a base station in isolated area with a Green Cube and designed an intelligent system of acquisition, processing and data transfer, thus marrying the concept of the factory 4.0.

The first chapter is a literature review of small load power systems in isolated areas, and more specifically telecommunication stations; the second part presents the technical details of a telecom system; Part III discusses the design and performance analysis of a hybrid power system for a telecommunications site; in the fourth part we design a system for the acquisition, processing and transmission of data by a Raspberry PI 3 microcontroller. We recover the energy production data via a web interface and save a copy to a MySQL database previously installed on the Raspberry PI. The data is made available on a web server, also installed on the Raspberry PI and accessible remotely via a web page developed in PHP. The data is transmitted using a cellular telephone network based on a GSM module, which will be equipped with a chip with an internet package. The data received tells us the state of the weather on the site, the state of charge of the batteries, the state of renewable electricity production, the level of fuel available for the diesel generator in case of prolonged absence of favorable weather conditions. the production of the renewable energy fraction; it will then be possible to determine whether a human presence is necessary on the ground or not. As expected, the application of these results reduces the number of visits to the site and saves

money, increases the rate of green energy penetration and, as a result, reduces greenhouse gas emissions.

*Keywords:* Embedded Systems, Raspberry Pi, GSM, Renewable Energy, Green Cube, Industry 4.0, LAMP, Base Station.

## TABLE DES MATIÈRES

|  |      |
|--|------|
| REMERCIEMENTS.....   | vi   |
| AVANT-PROPOS.....  | viii |
| RÉSUMÉ.....  | ix   |
| ABSTRACT.....  | xi   |
| TABLE DES MATIÈRES.....  | xiii |
| LISTE DES TABLEAUX.....  | xv   |
| LISTE DES FIGURES.....   | xvi  |
| LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES.....                               | xix  |
| INTRODUCTION GÉNÉRALE.....   | 1    |
| CHAPITRE 1 : LES ZONES ISOLEES ET LEURS PROBLEMATIQUES.....                            | 3    |
| 1.1 INTRODUCTION.....  | 3    |
| 1.1.1 Contexte d'étude des sites isolés au Canada.....                                 | 4    |
| 1.1.2 Production électrique en site isolé : problèmes.....                             | 8    |
| 1.1.3 Solutions proposées aux problèmes liés à l'électrification des sites isolés..... | 9    |
| 1.1.4 Obstacles liés à l'utilisation des générateurs diésels en sites isolés.....      | 9    |
| 1.2 ETUDES DES SYSTEMES HYBRIDES DE PRODUCTION ELECTRIQUES.....                        | 10   |
| 1.2.1 Pourquoi l'hybridation ? Quelle est sa valeur ajoutée ?.....                     | 10   |
| 1.2.2 Pourquoi l'hybridation ?.....  | 11   |
| 1.2.3 Eléments d'un système hybride(solaire-éolien-diesel-batterie).....               | 12   |
| 1.2.4 Répartition des systèmes hybrides de production électrique.....                  | 22   |
| 1.2.5 Selon le régime de fonctionnement.....   | 23   |
| 1.2.6 Selon le contenu du système hybride.....   | 23   |

|  |  |    |
|--|--|----|
| 1.2.7  | Selon le degré de pénétration[4].....  | 24 |
| 1.2.8  | Problème contraignant le développement de l'hybridation en zone isolés ..... | 24 |
| 1.2.9  | Objectifs généraux du projet de ce mémoire.....                              | 25 |
| 1.2.10   | Méthodologie.....  | 25 |
| 1.2.11   | Organisation du mémoire .....  | 25 |
| CHAPITRE 2 : CARACTERISTIQUES TECHNIQUES D'UN SYSTEME DE<br>TELECOMMUNICATION .....  |  | 27 |
| CHAPITRE 3 CONCEPTION ET MODELISATION D'UN SYSTEME<br>HYBRIDE D'ALIMENTATION D'UN SITE DE TELECOMMUNICATION<br>EN SITE ISOLE ..... |  | 33 |
| 3.1.1  | Introduction .....   | 33 |
| 3.3.1  | Composants et applications .....   | 38 |
| 3.3.2  | Opération du Green Cube.....   | 39 |
| 3.3.3  | Spécifications techniques .....  | 39 |
| 3.12.1   | Optimisation et simulation .....   | 54 |
| 3.12.2   | Analyse de sensibilité.....  | 58 |
| CHAPITRE 4 CONCEPTION D'UN SYSTEME D'ACQUISITION ET DE<br>TRANSMISSION DE DONNEES POUR CENTRALE ELECTRIQUE<br>HYBRIDE .....        |  | 60 |
| CONCLUSION GÉNÉRALE.....   |  | 90 |
| RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUE .....   |  | 92 |

## LISTE DES TABLEAUX

|  |    |
|--|----|
| <b>Tableau 1 : collectivité éloignée du Canada et population[5]</b> .....                                | 5  |
| <b>Tableau 2 : puissance des collectivité lointaine du Canada[6]</b> .....                               | 6  |
| <b>Tableau 3 Historique des demandes au fil des ans des réseaux autonomes</b> .....                      | 8  |
| <b>Tableau 4: Liste des centrales des réseaux autonomes d'Hydro-Québec[28]</b> .....                     | 18 |
| <b>Tableau 5: Stockage d'énergie pour le support de réseau de transport et de distribution[34]</b> ..... | 21 |
| <b>Tableau 6: Marché mondial des batteries au Lithium-ion[33]</b> .....                                  | 22 |
| <b>Tableau 7: Classification des systèmes d'énergie hybrides[35]</b> .....                               | 23 |
| <b>Tableau 8: Classification des systèmes éolien-diesel basée sur le taux de pénétration[3]</b> .....    | 24 |
| <i>Tableau 9: General specification of a Green Cube</i> .....  | 40 |
| <i>Tableau 10: station alimentées par le GC [50]</i> .....   | 41 |
| <i>Tableau 11: Estimated electricity demand for the study area</i> .....                                 | 44 |
| <i>Tableau 12: Comparaison RPI A et A+</i> .....   | 63 |
| <i>Tableau 13: Comparaison RPI B, B+ et Modèle 2</i> .....   | 64 |

## LISTE DES FIGURES

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Figure 1 : Page d'accueil de la Base de données sur l'énergie dans les collectivités éloignées.....</b>         | <b>8</b>  |
| <b>Figure 2 : Système hybride de type SHEDACPE[17] .....</b>   | <b>11</b> |
| <b>Figure 3 Principe de production d'électricité[19].....</b>  | <b>13</b> |
| <b>Figure 4 : Coût de la production de l'énergie solaire PV (\$/MWh)[20] .....</b>                                 | <b>14</b> |
| <b>Figure 5 : Evolution de la puissance éolienne totale installée dans le monde 2001-2017 (source: GWEC) .....</b> | <b>16</b> |
| <b>Figure 6: Schéma d'une éolienne. ....</b>   | <b>17</b> |
| <b>Figure 7: Carte des réseaux autonomes alimenté par diesel[30] .....</b>   | <b>19</b> |
| <b>Figure 8: Différentes parties d'un groupe électrogène[31] .....</b>   | <b>20</b> |
| <i>Figure 9: Structure d'un système GSM[39] .....</i>  | <i>28</i> |
| <i>Figure 10: Réseau cellulaire de téléphonie (GSM/GPRS)[38] .....</i>   | <i>29</i> |
| <i>Figure 11: Antenne relais GSM[40].....</i>  | <i>30</i> |
| <i>Figure 12: estimation of power consumption in wireless cellular network and Base station[44] .....</i>          | <i>34</i> |
| <i>Figure 13: Estimation Power consumption of the components of BSs per antenna and sector[50] .....</i>           | <i>36</i> |
| <i>Figure 14: Deux Green Cubes exposés après assemblage .....</i>  | <i>37</i> |
| <i>Figure 15: Eolien hybride[52] .....</i>   | <i>38</i> |
| <i>Figure 16: Monthly average solar radiation .....</i>  | <i>42</i> |

|  |    |
|--|----|
| <i>Figure 17: Monthly average wind speed of the site</i> .....   | 42 |
| <i>Figure 18: Estimation of LTE-macro base station energy consumption model within a smart grid environment [55]</i> ..... | 43 |
| <i>Figure 19: charge mensuelle de la BTS</i> .....   | 46 |
| <i>Figure 20: Profil de charge primaire de la BTS</i> .....  | 46 |
| <i>Figure 21: Profil de charge primaire non critique de la BTS</i> .....   | 47 |
| <i>Figure 22: Profil de charge AC de la BTS</i> .....  | 48 |
| <i>Figure 23: Profil de charge DC de la BTS</i> .....  | 48 |
| <i>Figure 24: Système proposé</i> .....  | 49 |
| <i>Figure 25: Architecture typique d'un Green Cube alimentant une BTS</i> .....  | 49 |
| <i>Figure 26: Données financières, techniques et étude des différents composants</i> .....                                 | 50 |
| <i>Figure 27: Configurations Optimales HOMER</i> .....   | 54 |
| <i>Figure 28: Energie produite par un GC6 avec GD</i> .....  | 55 |
| <i>Figure 29: Energie produite par 3 GC6 avec GD</i> .....   | 56 |
| <i>Figure 30: Système alimenté par GD uniquement</i> .....   | 57 |
| <i>Figure 31: système alimenté hybridation</i> .....   | 57 |
| <i>Figure 32: Analyse de la sensibilité</i> .....  | 58 |
| <i>Figure 33: Raspberry pi</i> .....   | 62 |
| <i>Figure 34: Conext ComBox[62]</i> .....  | 65 |
| <i>Figure 35: Architecture du système de supervision conçu</i> .....   | 67 |
| <i>Figure 36: Configuration wvdial</i> .....   | 73 |
| <i>Figure 37: Page configuration routeur</i> .....   | 74 |

|  |    |
|--|----|
| <i>Figure 38: Nouvel enregistrement conext insight</i> .....                   | 78 |
| <i>Figure 39: Nouvel enregistrement web portal ComBox</i> .....                | 79 |
| <i>Figure 40: Confirmation d'enregistrement Conext Insight</i> .....           | 79 |
| <i>Figure 41:Sommaire de production avec conext Insight en mode démo</i> ..... | 80 |
| <i>Figure 42: Ensoleillement du site en temp réel</i> .....                    | 81 |
| <i>Figure 43: Consommation énergétique batteries</i> .....                     | 82 |
| <i>Figure 44:carte micro SD combox</i> .....                                   | 82 |
| <i>Figure 45: Page web confirmation d'installation d'apache</i> .....          | 84 |
| <i>Figure 46: page de connexion phpmyadmin</i> .....                           | 85 |
| <i>Figure 47:page d'accueil phpmyadmin</i> .....                               | 86 |
| <i>Figure 48: Page d'administration page web via joomla</i> .....              | 89 |

## **LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES**

**3GPP:** Third Mobile Generation Partnership Project

**5G :** 5<sup>e</sup> Génération de téléphonie mobile

**APN:** Access Point Name

**BS:** Base Station

**BSC:** Base Station Controller

**BTS:** Base Transceiver Station

**DHCP:** Dynamic Host Configuration Protocol

**DNS:** Domain Name System

**FTP:** File Transfer Protocol

**GC:** Green Cube

**GD :** Générateur diésel

**GPRS:** General Packet Radio Service

**GSM:** Global System for Mobile communication

**GWh:** Giga Watt heure

**IPv4:** Internet Protocol version 4

**LAMP:** Linux, Apache, MySQL, PHP

**LAN:** Local Area Network

xx

**LTE:** Long Term Evolution

**MS:** Mobile System

**PV:** Panneaux Solaires

**RES:** Renewable Energy System

**RPI:** Raspberry Pi

**SER:** Système d'énergie renouvelable

**TCP/IP:** Transmission Control Protocol/Internet Protocol

**TIC:** Technologie de l'information et de la communication

**UMTS:** Universal Mobile Telecommunication System

**WAN:** Wide Area Network

**WT:** Wind Turbine





## INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'industrie est un secteur de la vie humaine en constante évolution, pour ne pas de dire révolution. On part de l'industrie 1.0 (période de la mécanisation), industrie 2.0 (automatisation de la production), industrie 3.0 (intégration des technologies numériques dans le processus de fabrication) et enfin 4.0 qui est la numérisation de la production avec l'arrivée de l'internet des objets, le « cloud computing » pour fabriquer des produits grâce à des systèmes intelligents tels que les systèmes de simulation et des capteurs.

L'accès à l'information et à la communication est aujourd'hui devenu une nécessité incontournable. Les opérateurs de téléphonie en sont conscients et mettent en place des moyens de déploiement des stations de base partout où le besoin s'en fait sentir. Ils sont la plupart du temps confrontés à d'énormes difficultés en l'absence d'électricité traditionnelle et où le coût du transport de l'électricité vers ces sites n'est pas justifié. L'efficacité énergétique est un élément important pour les opérateurs de téléphonie, les solutions sûres généralement adoptées dans les sites isolés étant l'utilisation du générateur diesel, très nocif pour la santé et l'environnement.

D'après l'article [1], environ 31% de la consommation d'énergie totale se produits par les industries manufacturières, donc un réseau électrique intelligent peut être un outil potentiel pour aider les fabricants à réduire leurs couts énergétiques. Proposer une meilleure architecture d'entreprise basée sur le smart grid utilisant le concept de l'internet des objets permet d'améliorer la qualité de services vu que les échanges d'informations se veulent en temps réel, de même que les prises de décisions pour faciliter l'équilibre entre l'offre et les demande.

Les objectifs à la fin ce travail est de faciliter le déploiement de l'approche typique d'usine 4.0 par l'intégration de ce concept, la réduction du cout des opérations, en adoptant les technologies efficaces et les moins couteuses possibles, en passant par l'internet des objets. La méthodologie à adopter part d'une revue de littérature des sites isolés au Canada, l'étude de la situation existante et de ses limites pour proposer des approches ou architectures simulées, tout cela en tirant profit des logiciels open sources ou en vue d'améliorer un tel système. Ces résultats doivent montrer une fluidité des communications par exemple dans l'industrie 4.0 c.-à-d. du producteur au consommateurs final et vice versa.



# CHAPITRE 1 : LES ZONES ISOLEES ET LEURS PROBLEMATIQUES

## 1.1 INTRODUCTION

Le Canada dénombre près de 300 communautés isolées. Ces communautés sont pour la plupart alimentées par des générateurs diesels, bien qu'étant une source d'énergie sûre, elle n'en reste tout de même pas sans conséquences, compte tenu de l'inflation galopante des prix de carburants, en relation direct avec la distance et les frais liés à la logistique du transport, dépenses qui peuvent être évitées, ou du moins réduites de manière considérables, et servir pour d'autres projets dans la communauté. La problématique des communautés isolées se retrouvent dans d'autres applications qui ont besoin d'énergie électrique comme les stations de télécom, météo, les stations de pompage d'eau, les îles, les sites miniers, les bases scientifiques et militaires, les fermes agricoles, les refuges, etc.... Le développement économique et social du Canada dépend aussi de ces communautés en forte croissance, donc il est important de penser à des solutions pour résoudre les problèmes liés à l'utilisation excessive des générateurs diesel (GD). La technologie la plus appropriée dans la littérature, et à moindre coût en ce moment est l'énergie renouvelable, avec pour avantage de combiner plusieurs sources de production d'énergie (éolien, solaire, GD...) pour accroître leur fiabilité et assurer ainsi une production d'énergie continue malgré les changements climatiques durant l'année.

Avec l'arrivée des réseaux électriques intelligents, nous pouvons assurer et contrôler la consommation et production d'électricité sur ces sites tout en quantifiant le potentiel énergétique renouvelable de chaque communauté. Cette approche technologique permettra ainsi de réduire considérablement les dépenses liées à l'expansion des générateurs diesel, de lutter contre l'augmentation des gaz à effet de serre, d'accroître le taux de pénétration des énergies vertes.

Nous allons dans un premier temps présenter la problématique des sites isolés au Canada, puis faire en second une étude des systèmes hybrides de production d'énergie

renouvelable, puis nous allons faire la conception du système hybride d'alimentation d'un site de télécommunication en zone isolée, et enfin la conception du système d'acquisition de données du site isolé.

### **1.1.1 Contexte d'étude des sites isolés au Canada**

Un site est dit « isolé ou autonome » s'il décrit une production d'énergie électrique indépendamment du réseau de distribution principal, soit par le fait que le réseau de distribution principal n'existe pas à cause des difficultés d'installation, ou alors le coût d'installation d'un tel système n'est pas justifié économiquement, ou même par volonté personnelle[2].

On peut citer entre autres plusieurs catégories de communauté dit isolés[3]

- Les communautés éloignées et isolées
- Les communautés isolées
- Les communautés semi isolées

D'après [4], un site dit autonome ou isolé doit répondre aux critères suivants :

- ✓ Le site n'a aucun lien avec le réseau de distribution principal, que ça soit avec du gaz naturel ou toute autre source d'énergie traditionnelle
- ✓ Le site doit avoir une existence d'au moins 5 ans et avoir un nombre d'habitation supérieur à 10 habitations.

Le Canada est un très vaste pays, avec une population d'à peu près 36.29 millions d'habitants (recensement de 2016 de statistique Canada). La population dans les sites isolés représente un peu plus de 200.000 habitants.

D'après le catalogue No 57-202-X de statistique Canada de 2007[5]

“En 2007, le charbon a représenté 76% de l’ensemble des combustibles consommés pour la production d’électricité au Canada et 35% du coût de ces combustibles. À l’inverse, le gaz naturel a représenté 14% de l’ensemble des combustibles consommés en 2007 mais 48% du coût des combustibles utilisés.

- L’Alberta (45,2%), l’Ontario ( 26,1%) et la Saskatchewan (14,3%) ont été les trois plus grands utilisateurs des combustibles pour la production d’électricité au Canada en 2007.
- Au total, l’Alberta a utilisé 52% du charbon et 36% du gaz naturel consommés au Canada pour la production d’électricité, tandis que l’Ontario a consommé 24% et 34%, respectivement, et la Saskatchewan 17% et 9%, respectivement”. Ces statistiques laissent à désirer.

**Tableau 1 : Collectivités éloignées du Canada et leur population[6]**

| Province ou territoire                     | Type                  | N <sup>b</sup> re de sites | Population     |
|--|-----------------------|----------------------------|----------------|
| <b>Colombie-Britannique (C.-B.)</b>        |                       | <b>86</b>                  | <b>24 068</b>  |
|  | <i>Autochtone</i>     | 25                         | 7 619          |
|  | <i>Non autochtone</i> | 61                         | 16 449         |
| <b>Alberta (Alb.)</b>                      |                       | <b>2</b>                   | <b>533</b>     |
|  | <i>Autochtone</i>     | 0                          | 0              |
|  | <i>Non autochtone</i> | 2                          | 533            |
| <b>Manitoba (Man.)</b>                     |                       | <b>7</b>                   | <b>3 063</b>   |
|  | <i>Autochtone</i>     | 4                          | 2 160          |
|  | <i>Non autochtone</i> | 3                          | 903            |
| <b>Saskatchewan (Sask.)</b>                |                       | <b>1</b>                   | <b>57</b>      |
|  | <i>Autochtone</i>     | 1                          | 57             |
|  | <i>Non autochtone</i> | 0                          | 0              |
| <b>Ontario (Ont.)</b>                      |                       | <b>38</b>                  | <b>21 342</b>  |
|  | <i>Autochtone</i>     | 25                         | 14 236         |
|  | <i>Non autochtone</i> | 13                         | 7 106          |
| <b>Québec (Qc)</b>                         |                       | <b>44</b>                  | <b>34 729</b>  |
|  | <i>Autochtone</i>     | 19                         | 15 452         |
|  | <i>Non autochtone</i> | 25                         | 19 277         |
| <b>Terre-Neuve et Labrador (T.-N.-L.)</b>  |                       | <b>28</b>                  | <b>8,910</b>   |
|  | <i>Autochtone</i>     | 16                         | 5 634          |
|  | <i>Non autochtone</i> | 12                         | 3 276          |
| <b>Yukon (Yn)</b>                          |                       | <b>22</b>                  | <b>30 176</b>  |
|  | <i>Autochtone</i>     | 21                         | 29 840         |
|  | <i>Non autochtone</i> | 1                          | 336            |
| <b>Territoires du Nord-Ouest (T.N.-O.)</b> |                       | <b>38</b>                  | <b>41 950</b>  |
|  | <i>Autochtone</i>     | 33                         | 22 410         |
|  | <i>Non autochtone</i> | 5                          | 19 540         |
| <b>Nunavut (Nt)</b>                        |                       | <b>26</b>                  | <b>29 453</b>  |
|  | <i>Autochtone</i>     | 26                         | 29 453         |
|  | <i>Non autochtone</i> | 0                          | 0              |
| <b>Total général</b>                       |                       | <b>292</b>                 | <b>194 281</b> |

**Tableau 2 : Puissance installée dans les collectivités lointaines du Canada[7]**

| Province ou territoire  | Principale source d'énergie          | Type de combustible fossile | Puissance CF - kW | Nombre de sites |
|-------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------------|
| Alb.                    | Combustible fossile (CF)             | Diesel                      | 1 450             | 1               |
| <b>Total – Alb.</b>     |                                      |                             | <b>1 450</b>      | <b>1</b>        |
| C.-B.                   | CF                                   | Diesel                      | 63 894            | 26              |
|                         |                                      | Diesel, avec restrictions*  | 20                | 1               |
|                         |                                      | Inconnu                     | 3 838             | 35              |
|                         | Hybride (CF et énergie renouvelable) | Diesel                      | 305               | 1               |
|                         | Hydroélectricité                     | Diesel                      | 250               | 1               |
|                         |                                      | Diesel en appoint           | 2 650             | 1               |
| s/o                     | s/o                                  | 0                           | 15                |                 |
| <b>Total – C.-B.</b>    |                                      |                             | <b>70 957</b>     | <b>80</b>       |
| Man.                    | CF                                   | Diesel                      | 1 775             | 2               |
|                         |                                      | Diesel, avec restrictions*  | 5 400             | 4               |
|                         |                                      | Inconnu                     | 0                 | 1               |
| <b>Total – Man.</b>     |                                      |                             | <b>7 175</b>      | <b>7</b>        |
| T.-N.-L.                | CF                                   | Diesel                      | 20 993            | 24              |
|                         |                                      | Inconnu                     | 525               | 2               |
|                         | Hybride                              | Diesel                      | 2 775             | 1               |
| s/o                     | s/o                                  | 0                           | 1                 |                 |
| <b>Total – T.-N.-L.</b> |                                      |                             | <b>24 293</b>     | <b>28</b>       |
| T.N.-O.                 | CF                                   | Diesel                      | 49 559            | 22              |
|                         |                                      | Gaz naturel                 | 2 120             | 1               |
|                         |                                      | Gaz naturel/diesel          | 12 380            | 1               |
|                         | Hydroélectricité                     | Diesel                      | 27 660            | 1               |
|                         |                                      | Diesel en appoint           | 6 150             | 1               |
| Réseau local            | Diesel en appoint                    | 16 812                      | 5                 |                 |
| s/o                     | s/o                                  | 0                           | 3                 |                 |
| <b>Total – T.N.-O</b>   |                                      |                             | <b>114 681</b>    | <b>34</b>       |
| Nt                      | CF                                   | Diesel                      | 50 295            | 25              |
|                         | s/o                                  | s/o                         | 0                 | 1               |
| <b>Total – Nt</b>       |                                      |                             | <b>50 295</b>     | <b>26</b>       |
| Ont.                    | CF                                   | Diesel                      | 21 040            | 21              |
|                         |                                      | Diesel, avec restrictions*  | 2 400             | 3               |
|                         |                                      | Inconnu                     | 1 305             | 7               |
|                         | Hybride                              | Diesel                      | 825               | 1               |

| Province ou territoire | Principale source d'énergie | Type de combustible fossile | Puissance CF - kW | Nombre de sites |
|------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------------|
|                        | s/o                         | s/o                         | 0                 | 6               |
| <b>Total – Ont.</b>    |                             |                             | <b>25 570</b>     | <b>38</b>       |
| Qc                     | CF                          | Diesel                      | 106 395           | 21              |
|                        |                             | Inconnu                     | 530               | 3               |
| <b>Total – Qc</b>      |                             |                             | <b>106 925</b>    | <b>24</b>       |
| Sask.                  | CF                          | Diesel                      | 350               | 1               |
| <b>Total – Sask.</b>   |                             |                             | <b>350</b>        | <b>1</b>        |
| Yn                     | CF                          | Diesel                      | 8 900             | 6               |
|                        | Hydroélectricité            | Diesel en appoint           | 27 000            | 2               |
|                        | Réseau local                | Diesel en appoint           | 15 700            | 5               |
| <b>Total – Yn</b>      |                             |                             | <b>51 600</b>     | <b>13</b>       |
| <b>Total général</b>   |                             |                             | <b>453 296</b>    | <b>251</b>      |

\*Le fonctionnement de la centrale au diesel est limité à quelques heures par jour  
Nota : CF = combustible fossile et ER = énergie renouvelable

La figure 1 suivante donne un aperçu de la position des sites ou communautés éloignée du Canada[6]



**Figure 1 : Page d'accueil de la Base de données sur l'énergie dans les collectivités éloignées****1.1.2 Production électrique en site isolé : problèmes**

La demande en électricité des communautés isolées au Canada est sans cesse au fil des ans[7]. Sachant que ces communautés utilisent essentiellement du diesel et le gaz naturel pour leur production électrique, l'augmentation du réchauffement climatique en est une conséquence directe.

La production d'électricité par des générateurs diesels est passée de 337,4 GWh en 2015 à 445,6 GWh en 2016.

**Tableau 3 Historique des demandes des réseaux autonomes au fil des ans**

|   | 2006           | 2007           | 2008           | 2009           | 2010           | 2011           | 2012           | 2013           | 2014           | 2015           |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>Nombre d'abonnements</b>                         | 14 864         | 15 128         | 16 001         | 16 581         | 16 831         | 17 266         | 17 668         | 18 055         | 18 225         | 18 539         |
| <i>dont résidentiel et agricole</i>                 | 12 460         | 12 714         | 13 420         | 13 997         | 14 233         | 14 644         | 15 024         | 15 367         | 15 510         | 15 819         |
| <b>Ventes (GWh)</b>                                 | 293,2          | 317,2          | 348,9          | 355,5          | 342,2          | 361,8          | 365,9          | 375,7          | 387,4          | 397,3          |
| <i>dont résidentiel et agricole</i>                 | 157,2          | 169,8          | 173,6          | 196,3          | 186,0          | 198,5          | 200,9          | 213,9          | 213,3          | 218,5          |
| Pertes, consommation des centrales et usage interne | 44,2           | 44,9           | 46,8           | 47,9           | 47,4           | 51,2           | 45,8           | 48,9           | 49,8           | 48,3           |
| <b>Besoins en énergie (GWh)</b>                     | 337,4          | 362,1          | 395,7          | 403,3          | 389,6          | 413,0          | 411,7          | 424,6          | 437,2          | 445,6          |
| <b>En MW</b>  | <b>2006/07</b> | <b>2007/08</b> | <b>2008/09</b> | <b>2009/10</b> | <b>2010/11</b> | <b>2011/12</b> | <b>2012/13</b> | <b>2013/14</b> | <b>2014/15</b> | <b>2015/16</b> |
| Besoins en puissance à la pointe                    | 73,6           | 86,1           | 88,4           | 87,2           | 88,6           | 88,0           | 93,1           | 95,2           | 95,9           | 93,5           |
| Puissance installée                                 | 143,3          | 160,3          | 160,3          | 160,8          | 160,8          | 162,5          | 163,9          | 163,7          | 163,7          | 164,8          |

Cela pourrait s'expliquer par une augmentation de la population dans ces communautés, sans compter les stations de base, stations météo, des installations agricoles ou même touristiques, tout cela fonctionne au gaz naturel et au diesel pour des raisons économiques injustifiables pour la liaison de ces communautés au réseau de distribution principal, soit à cause d'un accès impossible au site, avec un risque de déversement lors du transport, et aussi son coût d'exploitation très élevé[8]. Avec ces observations, il est indispensable de penser à d'autres alternatives d'alimentation comme la biomasse, le solaire, la cogénération[9].

### **1.1.3 Solutions proposées aux problèmes liés à l'électrification des sites isolés**

Il est évident que l'insuffisance, voire l'absence d'électricité dans les zones isolées posent problèmes, car l'indice de développement d'un pays en général en dépend. Pour réduire la dépendance au diesel et réduire son coût d'exploitation en zone isolée, plusieurs études ont été menées, une des solutions est le jumelage éolien-diesel avec stockage d'air comprimé[10, 11]. En effet, le système consiste à faire une modélisation du système proposé, d'observer le résultat de l'énergie produite en même temps que celle stockée. Ce système a fait ses preuves en réalisant une économie significative sur les frais d'exploitation (97%), la réduction du temps d'utilisation du diesel de 50%, la réduction des gaz à effet de serre. D'autres études ont été menées en faisant la combinaison Solaire et générateur diesel en site isolé au Bangladesh[12, 13]. Ici, une étude de faisabilité du projet sur plusieurs sites a été menée avec le logiciel Homer. Une étude qui permet aux chercheurs de mieux se situer sur la production d'énergie renouvelable et d'accroître le taux de pénétration des panneaux solaires. La combinaison solaire-éolien-géothermie-diesel est aussi une solution tout aussi importante d'après les résultats obtenus de[14]. L'étude est menée au Baloutchistan, avec un accès d'électricité après simulation avec Homer de 18.4%. Ceci prouve cette solution très bien adaptée l'électrification des communautés éloignée.

### **1.1.4 Obstacles liés à l'utilisation des générateurs diesels en sites isolés**

Le véritable problème lié à l'utilisation du générateur diesel, est son coût d'exploitation[15], car les générateurs diesels sont connus pour être très moins coûteux au moment de son installation, mais devient rapidement cher avec le coût de maintenance. De plus, il a été démontré que les groupes diesels avec une faible charge contribue de manière irréfutable à réduire sa durée de vie, et par la même occasion augmente la consommation en fuel par absence de viscosité du liquide pour lubrification, d'où l'importance de garder le facteur d'utilisation des générateurs diesels au-delà de 30%. Aussi, selon que le site ou la

communauté est accessible ou non par voie terrestre, fluvial ou aérien, le prix d'essence est très supérieur à la normale, par comparaison au prix dans les grandes villes[4].

Le remplacement des générateurs diesel par des solution hybrides d'énergie renouvelable représente une solution quasi certaine qui répond à tous les critères, économique, environnementaux...

## **1.2 ETUDES DES SYSTEMES HYBRIDES DE PRODUCTION ELECTRIQUES**

### **1.2.1 Pourquoi l'hybridation ? Quelle est sa valeur ajoutée ?**

Un système de production hybride d'énergie en général est un système qui combine et exploite plusieurs sources de production d'électricité.

Le terme hybridation peut avoir plusieurs définitions selon le contexte. Pour le cas des énergies renouvelables, un système est dit hybride « s'il s'agit d'un système d'alimentation utilisant une source d'énergie renouvelable et une source d'énergie conventionnelle ou plus d'une renouvelable avec ou sans sources d'énergie conventionnelles, fonctionnant en mode "autonome" ou "connecté au réseau" »[16].

On peut avoir deux types de sources d'énergie d'origine hybride :

- Le système hybride connecté au réseau de distribution conventionnel, généralement plus fiable et robuste.
- Un système hybride de production d'énergie sans connexion au réseau de distribution conventionnel, moins puissant que le premier type, et tend à être un peu moins efficace si le système est mal dimensionné.

### **1.2.2 Pourquoi l'hybridation ?**

Le rôle de l'hybridation est de combiner plusieurs sources d'énergie de manière à compenser de manière stricte le manquement de production d'énergie pouvant provenir d'autres sources tout en optimisant le système tout entier, d'un point de vue financier que technique. Supposons que les pales d'une éolienne ne fonctionnent pas absence de vent ou tout autres problème mécanique, si le système est associé aux panneaux solaires, l'électricité peut être compensée par celle provenant des panneaux solaires, si les panneaux sont incapables de produire la totalité d'énergie qu'il faut, les groupes électrogènes ou même les batteries peuvent apporter le supplément d'énergie de manière que la charge tout entière reçoive l'énergie nécessaire pour son fonctionnement.

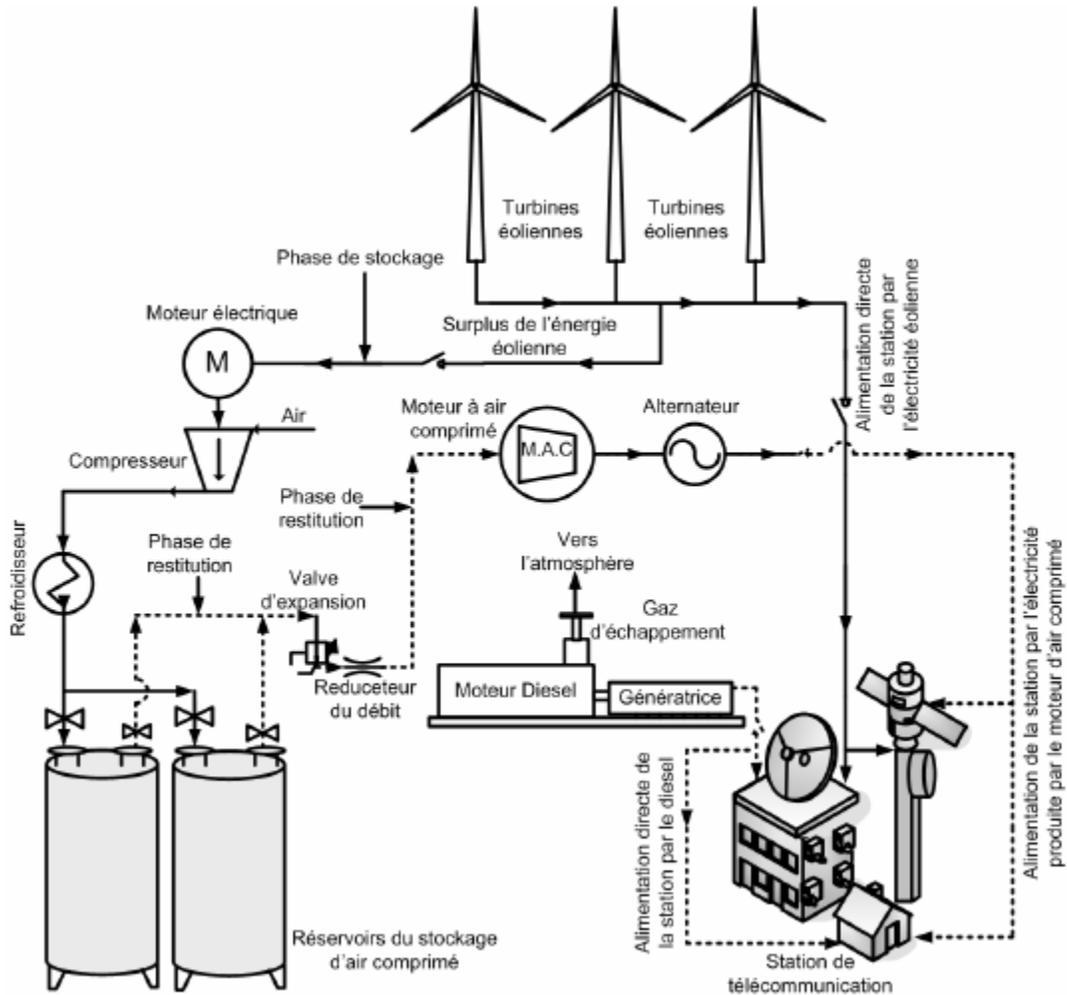


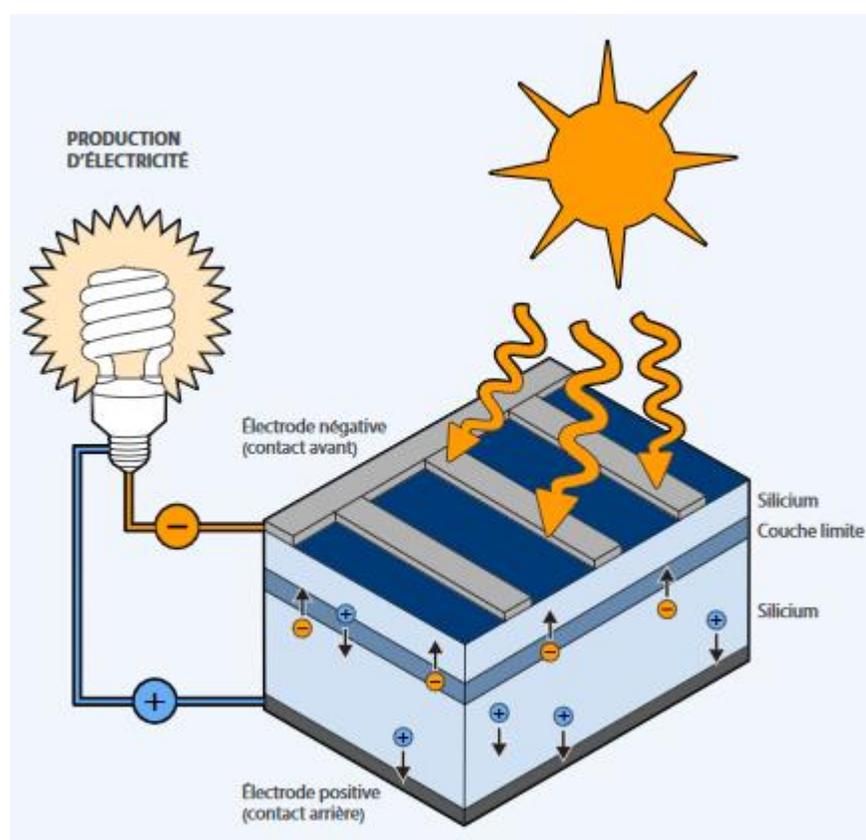
Figure 2 : Système hybride de type SHEDACPE[17]

### 1.2.3 Eléments d'un système hybride(solaire-éolien-diesel-batterie)

- **Les panneaux solaires**

L'énergie solaire photovoltaïque est l'énergie reçue par les panneaux solaires et transformée en électricité grâce au soleil. La cellule photovoltaïque est responsable de la conversion du rayonnement solaire incident en énergie électrique. Donc plusieurs cellules

photovoltaïques forment la panneaux photovoltaïque, en des montages de types série ou parallèles, ou même les deux types combinés[18]. Cette association permet d'augmenter la taille des panneaux solaires, et donc la puissance. Une lamelle de silicium monocristallin est utilisée pour la cellule solaire. Cette cellule est un semi-conducteur constitué d'une couche négative(n) et d'une autre positive(p), l'ensemble forme donc ce que l'on appelle une jonction p-n, voir figure 3.

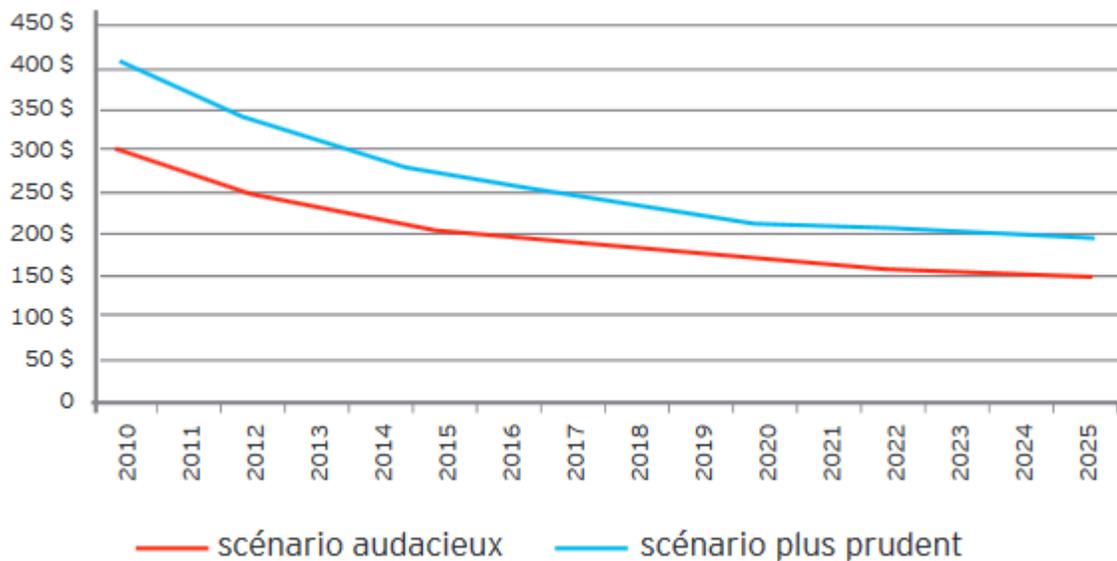


**Figure 3 Principe de production d'électricité[19]**

C'est ainsi qu'un regroupement de 30 à 40 cellules pourrait produire jusqu'à 12 V.

En 1999, on pouvait approximativement avoir une électricité mondiale venant du solaire autour de 200 mégawatts (MW<sub>c</sub>), la vente pouvant coûter jusqu'à 3 milliards de dollars. En 1985, cette production était estimée à 23 MW<sub>c</sub>, nous pouvons remarquer qu'après 14 ans il y a eu une explosion en termes d'installation des systèmes photovoltaïques. On va constater vers les années 2000, une capacité de production électrique via le solaire à environ 1000 MW (Leng et coll 1996, et Maycock 2000).

Les systèmes photovoltaïques ont beaucoup progressé ces dernières années, en termes de coût d'achat des PV et les coûts d'investissement quittant de 1\$/hWh à environ 0,35\$/kWh. Dans la même lancée, d'après le rapport de CanSIA (association regroupant environ 650 entreprises du secteur photovoltaïque, dans le but de promouvoir le développement efficient du solaire au Canada) de 2016, les coûts liés PV seront diminués de moitié aux années 2025 [20].



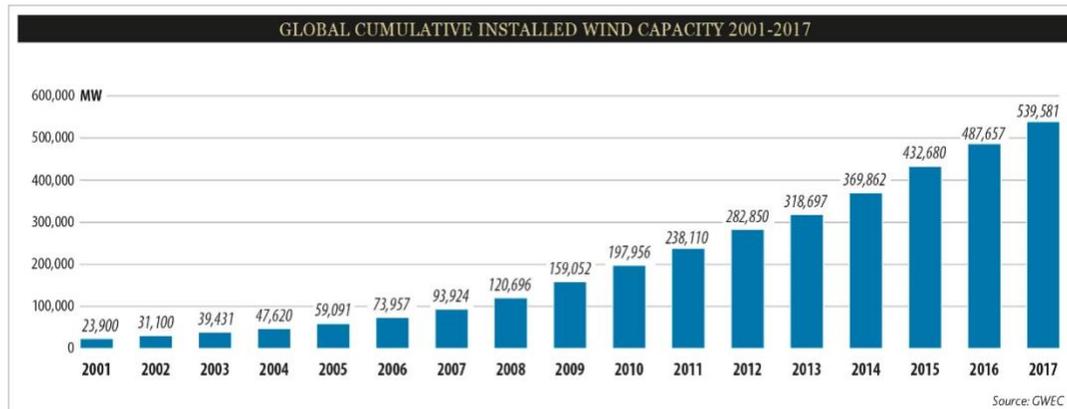
**Figure 4 : Coût de la production de l'énergie solaire PV (\$/MWh)[20]**

Nous pouvons constater deux scénarios différents sur le schéma : un scénario audacieux estime une création de 41000 ETP aux années 2025, tout en espérant l'appui du pouvoir législatif reste constant, sinon augmente et aussi que les entreprises aillent au-delà des défis fixés par le gouvernement, en incitant un recours aux nouveaux intérêts financiers. Le scénario plus prudent suppose que les prévisions ne reflètent pas la réalité[20]

- **L'énergie éolienne**

L'énergie liée au mouvement d'un corps, à l'exemple du vent qui produit de l'énergie électrique renouvelable par sa vitesse, est disponible partout dans le monde et exploitable gratuitement au moyen d'une éolienne, selon la vitesse moyenne du vent du site considéré. Cette énergie n'est pas optimale partout, il est plus intéressant d'installer une éolienne aux côtes, dans les zones dégagées ou même sur les rives du plan d'eau, ainsi que dans les zones montagneuses.

Malgré pas mal de problème observé, la production électrique de source éolienne connaît une haute croissance au fil des ans, soit environ 10 à 40%. Il y a eu un ralentissement notoire en 2013, mais de manière générale dans le monde, la progression d'installation reste à saluer : la capacité de production électrique de source éolienne a atteint 318 GW en 2013, soit une progression de 200 GW sur 5 ans[21].



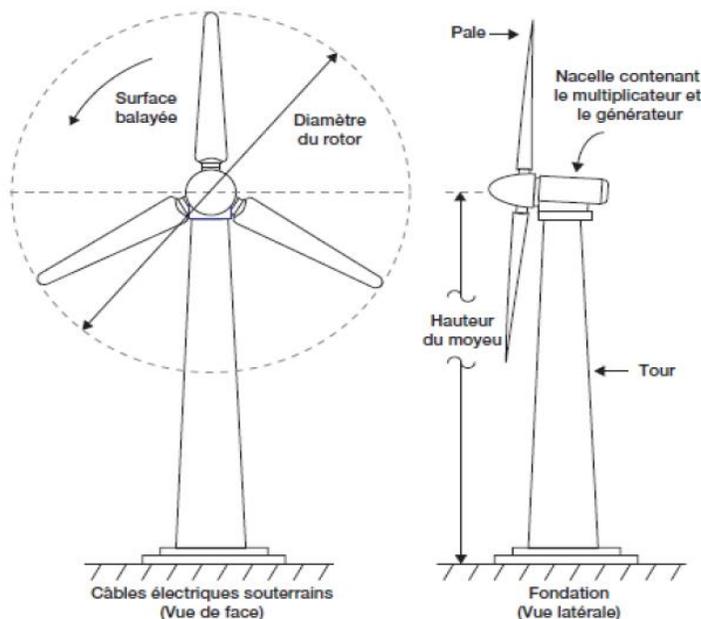
**Figure 5 : Evolution de la puissance éolienne totale installée dans le monde 2001-2017 (source : GWEC)**

En 2014 seulement, la capacité installée en énergie éolienne dans le monde était de 50 GW, ce qui était un record pour une année dans le monde, soit 40% de plus qu'en 2013[22].

Le marché actuel de l'énergie renouvelable par les éoliennes est la propriété de 6 pays : la Chine, les États Unis, l'Allemagne, l'Inde, l'Espagne et l'Angleterre, avec la Chine comme leader[23].

Nous pouvons constater que le Canada brille par son absence au rang des 6 premiers pays producteurs d'énergie éolienne, pourtant dispose de l'un des potentiels éoliens le plus important au monde. Les régions nordiques, à l'exemple du Nunavik, on peut estimer un potentiel éolien pouvant fournir 40% des besoins en électricité au Canada, qui occupe actuellement le 9<sup>e</sup> rang mondial[24]. Néanmoins, des progrès sont en cours de réalisation selon l'Association Canadienne de l'Énergie Éolienne(canWEA), qui a adressé ses félicitations à l'Alberta Energy System Operator(AESO) et son gouvernement pour la mise en place de la première partie du calendrier de la province sur les énergies renouvelables via les éoliennes au plus bas prix jamais obtenu dans le pays[25].

La Figure 6 montre la configuration typique d'une éolienne à axe horizontal. Il existe également des éoliennes à axe vertical, mais ce type de machine n'est pas aussi répandu que celles à axe horizontal dans les projets mis en œuvre dans le monde[26].



**Figure 6: Schéma d'une éolienne.**

- **Le générateur diesel**

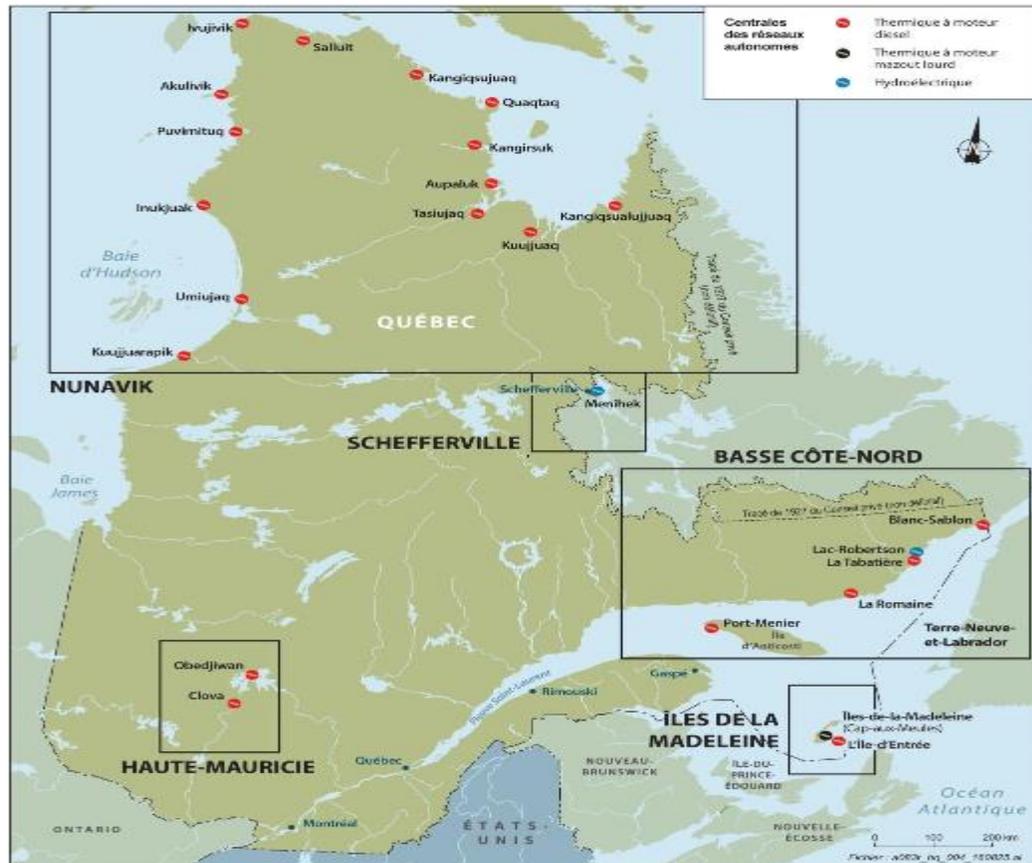
Le générateur diesel est une association, moteur diesel et générateur électrique pour la production d'électricité. Il peut fonctionner au diesel comme à d'autres carburants liquides, ou même au gaz naturel[27].

On retrouve le plus souvent les générateurs diesels principalement dans les régions ou communautés éloignées pour alimenter les centrales électriques. Nous pouvons faire ce constat au Canada, particulièrement dans le Nunavik, la basse-côte-nord, en Haute-Maurice...[28]. Voir tableau 4 ci-dessous.

**Tableau 4: Liste des centrales des réseaux autonomes d'Hydro-Québec[29]**

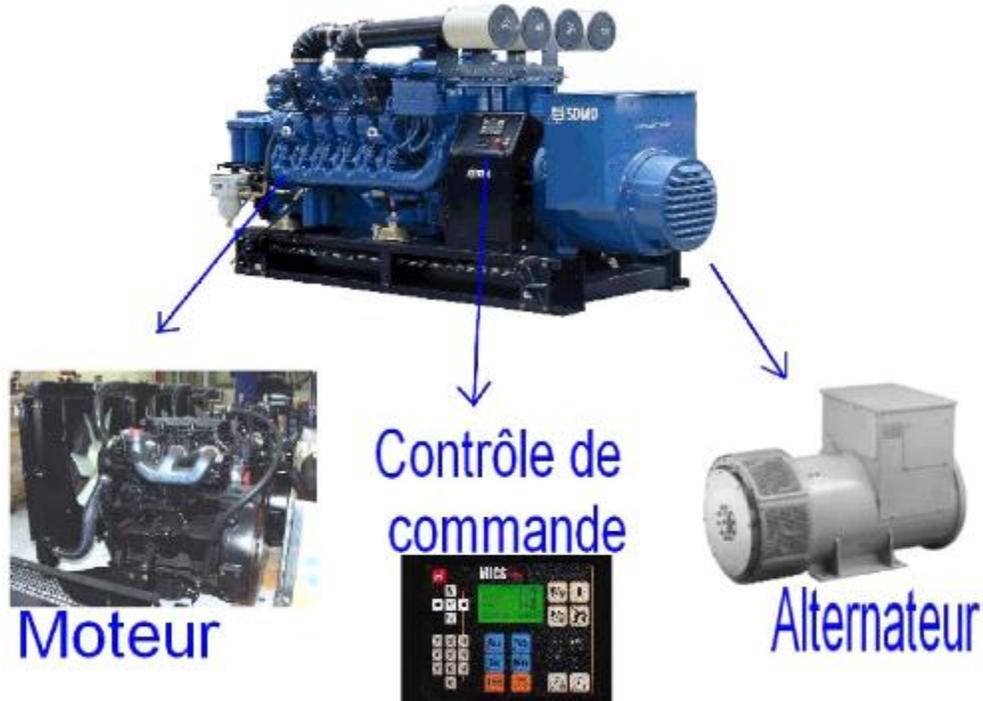
| Nom                              | Mise en service | Puissance (MW) | Lieu   | Type         | Références    |
|----------------------------------|-----------------|----------------|--|--------------|---------------|
| Cap-aux-Meules                   | 1991            | 67,2           | <a href="#">47° 22' 26" N, 61° 53' 07" O</a> | Mazout lourd | <sup>8</sup>  |
| Île-d'Entrée                     | 1991            | 1,2            | <a href="#">Île d'Entrée</a>                 | Diesel       | <sup>9</sup>  |
| Akulivik                         | 2015            | 0,9            | <a href="#">Akulivik</a>                     | Diesel       | <sup>9</sup>  |
| Aupaluk                          | 1986            | 0,8            | <a href="#">Aupaluk</a>                      | Diesel       | <sup>9</sup>  |
| Blanc-Sablon <sup>note 2</sup>   | 1961            | 4,9            | <a href="#">Blanc-Sablon</a>                 | Diesel       | <sup>9</sup>  |
| Clova                            |                 | 0,5            | <a href="#">Clova</a>                        | Diesel       | <sup>9</sup>  |
| Inukjuak                         | 1986            | 3,0            | <a href="#">Inukjuak</a>                     | Diesel       | <sup>9</sup>  |
| Ivujivik                         | 1986            | 1,0            | <a href="#">Ivujivik</a>                     | Diesel       | <sup>9</sup>  |
| Kangiqsualujuaq                  | 1987            | 2,0            | <a href="#">Kangiqsualujuaq</a>              | Diesel       | <sup>9</sup>  |
| Kangiqsujuaq                     | 1979            | 1,5            | <a href="#">Kangiqsujuaq</a>                 | Diesel       | <sup>9</sup>  |
| Kangirsuk                        | 1984            | 1,4            | <a href="#">Kangirsuk</a>                    | Diesel       | <sup>9</sup>  |
| Kuujuuaq                         | 2010            | 6,6            | <a href="#">Kuujuuaq</a>                     | Diesel       | <sup>10</sup> |
| Kuujuarapik                      | 1974            | 3,4            | <a href="#">Kuujuarapik</a>                  | Diesel       | <sup>9</sup>  |
| La Romaine <sup>11, note 3</sup> |                 | 5,8            | <a href="#">La Romaine</a>                   | Diesel       | <sup>9</sup>  |
| La Tabatière <sup>note 2</sup>   | 1980            | 6,8            | <a href="#">La Tabatière</a>                 | Diesel       | <sup>9</sup>  |
| Lac-Robertson                    | 1995            | 21,6           | <a href="#">50° 59' 56" N, 59° 03' 42" O</a> | Hydro        |               |
| Opitciwan                        |                 | 4,9            | <a href="#">Opitciwan</a>                    | Diesel       | <sup>9</sup>  |
| Port-Menier                      | 1984            | 2,8            | <a href="#">Port-Menier</a>                  | Diesel       | <sup>9</sup>  |
| Puvirnîtuk                       | 1977            | 2,9            | <a href="#">Puvirnîtuk</a>                   | Diesel       | <sup>9</sup>  |
| Quaqtaq                          | 1988            | 1,1            | <a href="#">Quaqtaq</a>                      | Diesel       | <sup>9</sup>  |
| Salluit                          | 1983            | 3,0            | <a href="#">Salluit</a>                      | Diesel       | <sup>9</sup>  |
| Schefferville <sup>note 4</sup>  |                 | 6,8            | <a href="#">Schefferville</a>                | Diesel       | <sup>9</sup>  |
| St-Augustin <sup>note 2</sup>    |                 | 0,4            | <a href="#">St-Augustin</a>                  | Diesel       | <sup>9</sup>  |
| Tasiujaq                         | 1990            | 0,9            | <a href="#">Tasiujaq</a>                     | Diesel       | <sup>9</sup>  |
| Umiujaq                          |                 | 1,1            | <a href="#">Umiujaq</a>                      | Diesel       | <sup>9</sup>  |
| Wemotaci <sup>11, note 5</sup>   |                 | 2,2            | <a href="#">Wemotaci</a>                     | Diesel       | <sup>9</sup>  |

Nous pouvons constater qu'à l'exception du Lac-Robertson qui est alimenté par hydro, toutes les autres centrales sont alimentées au diesel.



**Figure 7: Carte des réseaux autonomes alimenté par diesel[30]**

Il est important pour un générateur diesel pour son bon fonctionnement, qu'il y ait une assurance en tout temps sur la qualité d'électricité délivrée, soit une tension stable ainsi que sa fréquence. Pour ce faire, un régulateur de tension triphasé agit sur l'excitation des alternateurs synchrones pour s'opposer aux variations de la tension [4]. Cela se fait couramment en ajoutant un autre signal qui est lié aux changements de la vitesse du rotor. Avec la fréquence, c'est quasiment le même processus qui est observé, sauf que c'est la fréquence du courant alternatif à la sortie qui est maintenue par le gouverneur de vitesse sur le moteur diesel[4].



**Figure 8: Différentes parties d'un groupe électrogène[31]**

- **Les batteries de stockages d'énergie**

Les technologies liées au stockage d'énergie sont des éléments très importants pour les systèmes modernisés de production électrique, que ça soit pour les systèmes de distribution conventionnel ou pour les énergies renouvelables. Le stockage assure une certaine stabilité dans le réseau de production au niveau de la tension et fréquence tout en étant d'énergie fiable, assurant l'augmentation du taux de pénétration des énergies renouvelables[32]. De tout ce qui précède, les éléments clefs qui favorisent le stockage d'énergie sont[33] :

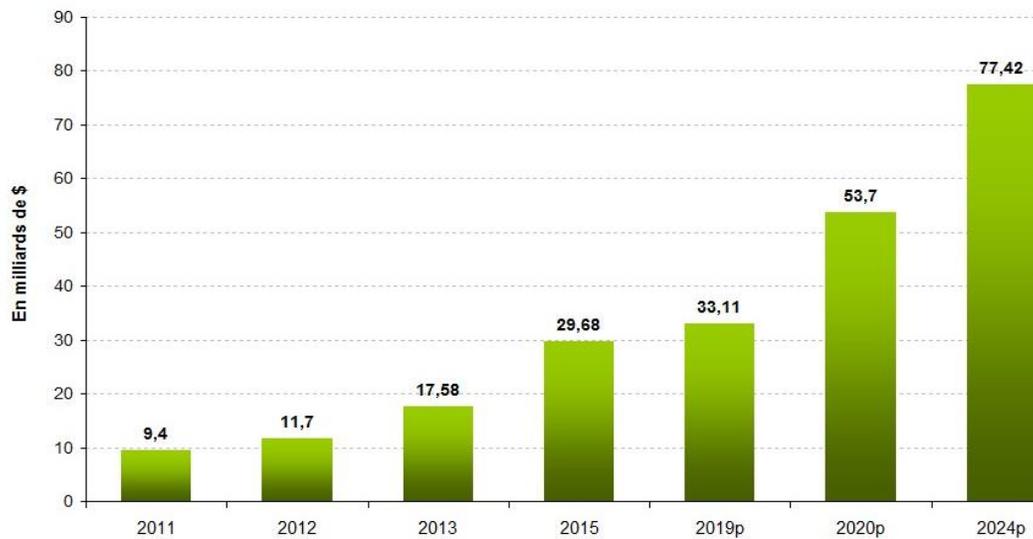
- ✓ Augmentation du taux de pénétration des énergies renouvelables variables(éolien-solaire).
- ✓ Augmentation de l'autoproduction et l'autoconsommation d'énergie.

- ✓ Augmentation des possibilités d'utilisation d'énergie aux populations, surtout celles hors réseau.
- ✓ Augmentation de la stabilité, la fiabilité et la résilience du réseau

Connaissant que les systèmes de stockage nous permettent de sauvegarder de l'énergie pour éventuelle utilisation future, il existe plusieurs modes de stockages d'énergie, cependant il est reconnu que le dispositif de stockage le plus répandu ou le plus déployé pour les véhicules électriques en particulier sont des batteries, elles ont une capacité de stockage supérieure à celle des supercondensateurs par exemple, car la capacité de stockage des supercondensateurs représente les 10% de celle d'une batterie[34]. mais on peut voir avec [35] que le système de stockage dépend fortement des caractéristiques du site, et du financement disponible pour sa réalisation.

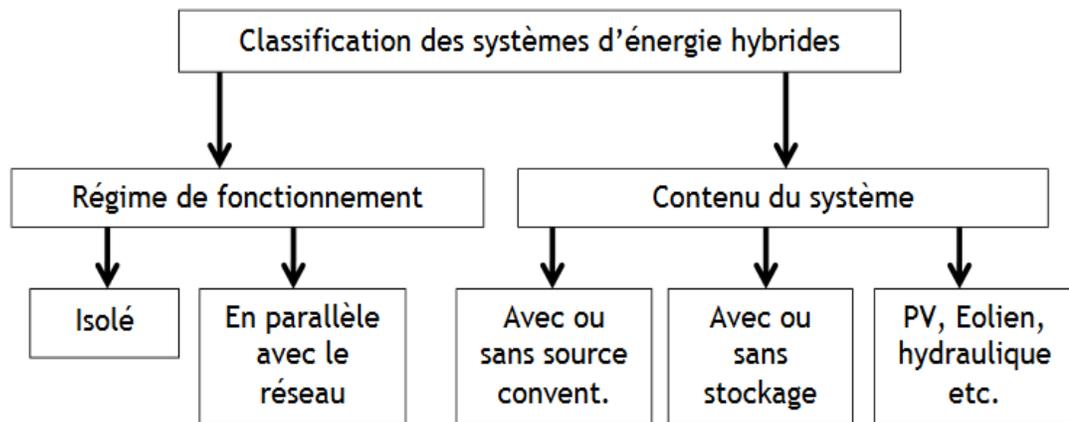
**Tableau 5: Stockage d'énergie pour le support de réseau de transport et de distribution[35]**

| Technology option  | Maturity   | Capacity (MWh) | Power (MW) | Duration (hours) | % Efficiency (total cycles) | Total cost (\$/kW) | Cost (\$/kWh) |
|--------------------|------------|----------------|------------|------------------|-----------------------------|--------------------|---------------|
| CAES (aboveground) | Demo       | 250            | 50         | 5                | (>10,000)                   | 1950–2150          | 390–430       |
| Advanced Pb-acid   | Demo       | 3.2–48         | 1–12       | 3.2–4            | 75–90 (4500)                | 2000–4600          | 625–1150      |
| Na/S               | Commercial | 7.2            | 1          | 7.2              | 75 (4500)                   | 3200–4000          | 445–555       |
| Zn/Br flow         | Demo       | 5–50           | 1–10       | 5                | 60–65 (>10,000)             | 1670–2015          | 340–1350      |
| V redox            | Demo       | 4–40           | 1–10       | 4                | 65–70 (>10,000)             | 3000–3310          | 750–830       |
| Fe/Cr flow         | R&D        | 4              | 1          | 4                | 75 (>10000)                 | 1200–1600          | 300–400       |
| Zn/air             | R&D        | 5.4            | 1          | 5.4              | 75 (4500)                   | 1750–1900          | 325–350       |
| Li-ion             | Demo       | 4–24           | 1–10       | 2–4              | 90–94 (4500)                | 1800–4100          | 900–1700      |

**Tableau 6: Marché mondial des batteries au Lithium-ion[34]**

#### 1.2.4 Répartition des systèmes hybrides de production électrique

Les systèmes de production d'énergie électriques multi sources sont les plus prometteurs aujourd'hui pour assurer une certaine fiabilité et la disponibilité d'énergie en tout temps, partout où le besoin est nécessaire et à moindre cout. À cet effet, les classifications les plus rependues des systèmes hybrides sont les suivantes[36] :

**Tableau 7: Classification des systèmes d'énergie hybrides[36]**

### 1.2.5 Selon le régime de fonctionnement

Dans ce cas, nous verrons en général un système hybride de production relié au centre de distribution conventionnel, les deux fonctionnant en parallèle. Cette configuration peut être adoptée pour apporter un supplément d'énergie à la charge. C'est ainsi que nous aurons aussi un système hybride autonome ou isolé, c'est le cas le plus mis en œuvre dans les communautés éloignées, pour des signalisations routières, pour des stations de télécommunication ou des stations météo.

### 1.2.6 Selon le contenu du système hybride

En effet, il est possible d'avoir un système hybride qui soit connecté ou pas au système de distribution conventionnel. Il pourrait y avoir ou non des dispositifs de stockage d'énergie. Le rôle du stockage étant d'assurer une meilleure gestion de l'énergie pendant les périodes de faible production. Ledit dispositif pouvant être des batteries, de l'air comprimé ... Une autre classification tient compte des types de source d'énergie renouvelable qui sont utilisés pour la production d'énergie électrique. Un tel système pourrait contenir soit des panneaux photovoltaïques uniquement, soit uniquement des éoliennes, soit de l'hydraulique uniquement ou le tout associé.

### 1.2.7 Selon le degré de pénétration[4]

Ce type de classification tient compte en particulier du modèle hybride éolien diesel dans les sites isolés. Cette classification a été effectuée selon trois niveaux, voir tableau 6

**Tableau 8: Classification des systèmes éolien-diesel basée sur le taux de pénétration[4]**

| Niveau de pénétration | Caractéristiques de fonctionnement   | Pénétration    |                  |
|-----------------------|--|----------------|------------------|
|                       |  | Pic instantané | Moyenne annuelle |
| Faible                | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ GD fonctionne sans arrêt</li> <li>▪ La production éolienne réduit la charge du diesel</li> <li>▪ Toute l'énergie éolienne alimente la charge principale</li> <li>▪ Il n'y a pas de système de supervision</li> </ul>  | < 50%          | < 20%            |
| Moyen                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ GD fonctionne sans arrêt</li> <li>▪ Commande relativement simple</li> <li>▪ Pour des niveaux élevés d'énergie éolienne, des charges secondaires sont réparties pour assurer une charge suffisante pour le diesel ou la production éolienne est réduite</li> </ul> | 50% - 100%     | 20% - 50%        |
| Élevé                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ GD peut être arrêté en fonction de la production éolienne</li> <li>▪ Systèmes auxiliaires pour contrôler la tension et la fréquence</li> <li>▪ Commande complexe</li> </ul>   | 100% - 400%    | 20% - 150%       |

### 1.2.8 Problème contraignant le développement de l'hybridation en zone isolés

Outre les problèmes par l'utilisation des générateurs diesel dans les sites isolés avec toutes ses conséquences notoires sur l'environnement, les finances, que sur la société, résolu l'apport des systèmes électriques hybrides, réduisant ainsi considérablement les couts d'exploitation, pour ne citer que cela, l'hybridation malheureusement lorsqu'il n'est pas suivi de près n'est pas suffisamment exploité, par exemple ne résout pas le problème de maintenance entièrement, car demande la présence des techniciens sur le site afin de résoudre

le problème, et suscite encore le problème de transport qui est aussi souvent très difficile à maîtriser. Or avec le développement des nouvelles technologies de l'information, tout cela peut être fait à distance. Surtout lorsqu'il s'agit de l'alimentation d'une station de télécommunication. Ce problème va aussi nécessiter une solution au problème, ce qui constitue aussi un objectif à atteindre tout au long de ce mémoire.

### **1.2.9 Objectifs généraux du projet de ce mémoire**

Tout au long de ce mémoire, nous avons pour objectifs de modéliser un système hybride de production d'énergie électrique avec Homer pour l'alimentation d'une station de base, tout en se référant aux paramètres du Green Cube(GC), afin d'optimiser ou de proposer des solutions alternatives pour une alimentation fiable et durable. Cela permettra aussi de déterminer le nombre de GC nécessaires pour le site de production. D'autres part, nous allons proposer un système de contrôle et de supervision à distance, cela dans le but de limiter les visites sur le site, de prévoir la production et suivre les performances du site en temps réel. Cela permettra aussi de se rassurer si la présence d'un technicien sur le site nécessaire ou non, et de connaître en temps, le problème à résoudre avant tout déplacement.

### **1.2.10 Méthodologie**

L'atteinte des objectifs passeront par plusieurs scénarios, d'abord l'étude de l'existant, l'étude des communautés isolées au Canada en particulier, l'étude énergétique de la station de base, ressortir les problèmes, afin de mettre en place le système de supervision prévu.

### **1.2.11 Organisation du mémoire**

Ce mémoire est divisé en quatre chapitre :

- ✓ Le chapitre 1 fait l'état des zones isolées au Canada et leurs problématiques
- ✓ Le chapitre 2 donne les caractéristiques techniques d'une station de télécommunication.

- ✓ Le chapitre 3 traitera la conception d'un système hybride de production électrique pour une station de base.
- ✓ Le chapitre 4 conçoit le système d'acquisition et de transmission de données à distance.

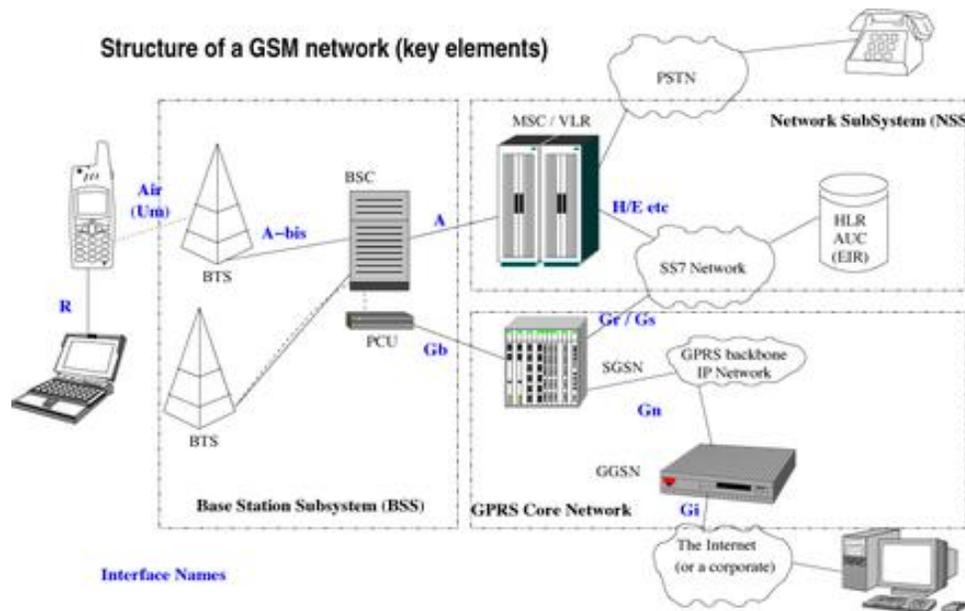
## **CHAPITRE 2: CARACTERISTIQUES TECHNIQUES D'UN SYSTEME DE TELECOMMUNICATION**

### **2.1 Introduction**

L'année 1890 marque le tout début de la radiocommunication, via la première télégraphie présentée par Guglielmo Marconi. Les états unis ont vu apparaître les premières communications mobiles dans les années 40, et plus tard en Europe dans les années 60. C'est alors qu'en 1982 le GSM (Global System for Mobile communication), voit le jour dans le but de spécifier et mettre sur pied un système européen de radiocommunication mobile numérique et prêt à fonctionner en mobilité. Système qui connaîtra un très grand succès dans le monde. Il va subir un important changement en 1990 pour devenir l'UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) après être passé par le 3GPP (Third Mobile Generation Partnership Project). En 2004, le LTE (Long Term Evolution) va succéder à l'UMTS, qui lui aussi va être succéder par la 5G dans un futur très proche, encore en phase de test dans les pays industrialisés[37]. Dans la partie suivante, nous allons nous intéresser au GSM et particulièrement aux BTS (Base Transceiver Station) pour nous limiter au cadre de notre étude.

### **2.2 Global System for Mobile communication**

Un système de télécommunication mobile peut être défini comme étant un ensemble d'équipements permettant les communications entre ses utilisateurs, le plus souvent des terminaux mobiles. Le GSM se présente donc comme une norme ou l'ensemble des règles numériques pour la téléphonie mobile de 2<sup>e</sup> génération. C'est un système qui fonction sur la bande de fréquence 850 et 1900 MHz au Canada et aux États-Unis, et la bande de fréquence 900 et 1800 MHz en Europe, et sur certains cas, la fréquence 450 MHz pour des zones à faible densité de population pour augmenter la qualité su signal[38].



**Figure 9: Structure d'un système GSM[39]**

Les systèmes GSM sont constitués de plusieurs éléments, les terminaux mobiles, les équipements de transmission et bien d'autres.

La conception et la planification d'un système GSM prend en compte toutes les directives nécessaires pour l'implémentation des générations de téléphonie de demain. Le GSM rassemble plusieurs portions de zone de couverture adjacente, et chaque zone représentée par une forme hexagonale est appelée cellule comme on peut le voir sur la figure 10, dans laquelle une station de base (BTS) peut transmettre et recevoir les informations. Les BTS sont conçues pour gérer un certain nombre de terminaux mobile prédéterminés, et à son tour est contrôlée par une unité appelée BSC (Base Station Controller).

La figure 9 nous montre qu'un système GSM est constitué de :

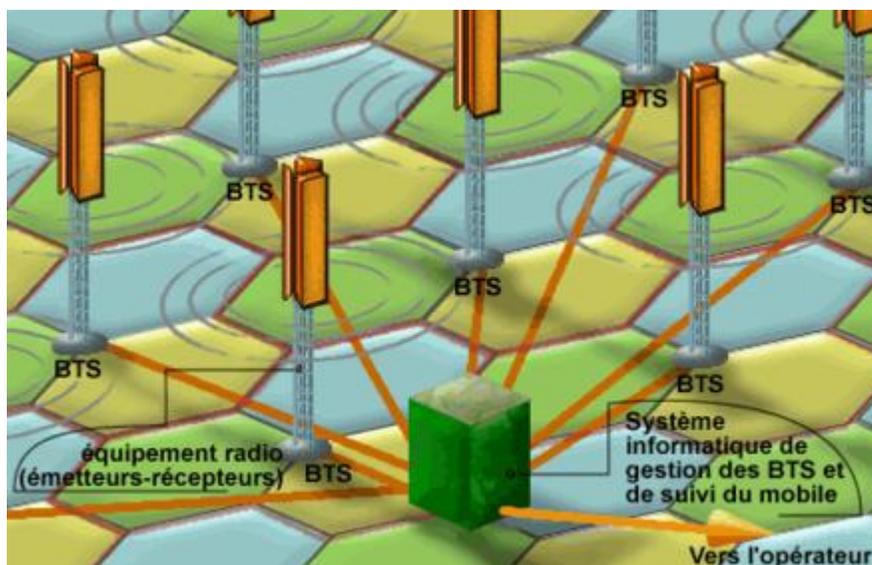
- Des stations mobiles (MS) : Aussi souvent appelé équipement utilisateur, il est responsable de la souscription de la SIM au réseau.

- Sous Système Radio (BSS) : Il regroupe les stations de base et les contrôleurs de stations de base (BSC). Il est responsable de la gestion des ressources radios.

Le cœur du réseau (Core Network) qui regroupe le MSC (Mobile Switching Center), HLR (**H**ome Location Register), VLR (Visitor Location Register), l'AUC (Authentication Center) et le PSTN (Public Land Mobile Network). Le cœur du réseau a un rôle très important pour les systèmes de communications cellulaires. C'est ainsi que lors d'un échange téléphonique, l'appel est routé dans le réseau via ces équipements cités ci-dessus jusqu'à son destinataire. Une fois un numéro composé, l'appel est acheminé vers le MSC, le HLR connaissant l'identité de chaque appelant et en fonction de cela peut servir pour la traçabilité et on pourra savoir de quel MSC (il peut en avoir plusieurs) provient l'appel.

- Le réseau externe : Il est chargé de gérer le trafic et les connexions externes, de les connecter à d'autres réseaux.

Dans la suite de ce travail, nous allons voir un peu plus en détails, les BTS.



*Figure 10: Réseau cellulaire de téléphonie (GSM/GPRS)[38]*

### 2.3 Les stations de Base (BTS)

La BTS ou station de base, est un composant primaire du réseau mobile de type GSM. Les antennes relais UMTS et de type Node B sont de la même famille que les relais GSM, mais offrent de meilleures performances en terme de connectivité réseau et de débit offert.



*Figure 11: Antenne relais GSM[40]*

## 2.4 Fonctions

Les stations de bases assurent les communications radios avec les terminaux mobiles au moyen de l'interface air. Elles sont également connectées à la BSC via l'interface Abis. Elles ont pour principales fonctions de :

- L'inscription et la désinscription d'un terminal mobile au réseau
- Le cryptage et le décryptage des communications
- Filtrage des sauts de fréquences
- Modulation et démodulation des ondes radios
- La surveillance des liaisons et de la puissance de transmission des antennes pour limiter les interférences avec les cellules voisines.

## 2.5 Les composants principaux d'une BTS

- **Les antennes** : ce sont les parties du système GSM couramment observées de l'extérieur. Elles sont utilisées pour transférer vers d'autres entités, par exemple la liaison entre le terminal et la station de base.
- **Les amplificateurs** : ils ont pour rôle d'amplifier le signal pour augmenter leur portée.
- **Les duplexeurs**
- **Les multiplexeurs** : permettent de combiner plusieurs TRX(émetteur récepteur) pour les envoyer en un seul bloc.
- **L'unité de contrôle** : gère les alarmes, contrôle les modules...etc.

## 2.6 Capacité d'une BTS

Les stations de base ne peuvent contenir qu'un nombre limité de communications avec les terminaux mobile, car les TRX (émetteur/récepteur) ne peuvent transporter au maximum 8 communications au même au moment. Et une BTS en général dispose de 12TRX, et par conséquent, un maximum de  $8*12$  communications simultanées en théorie, mais en pratique ce maximum n'est jamais atteint.

Les TRX peuvent changer de fonction selon qu'on se trouve dans les zones urbaines ou rurales, et selon les besoins de l'opérateur. Pour éviter les problèmes d'interférences dans les réseaux cellulaires, au lieu d'ajouter les TRX, les opérateurs préfèrent installer de nouvelles BTS.

## 2.7 Caractéristiques d'une station de base

- Différents types d'antennes relais : ce sont des équipements qui permettent la transmission et la réception des informations via les ondes électromagnétiques. On peut avoir les antennes omnidirectionnelles, couvrant une à 360 degrés, les

antennes sectorielles pouvant couvrir des zones de 180 degrés(bi-sectoriel) ou 120 degré(tri-sectorielle) pour chacune des antennes.

- La taille de la cellule : on peut distinguer les macro BTS, les micro BTS et les pico BTS, qui sont différentes les uns des autres en fonction de leur rayon de couverture dans la zone concernée.

## **2.8 Conclusion**

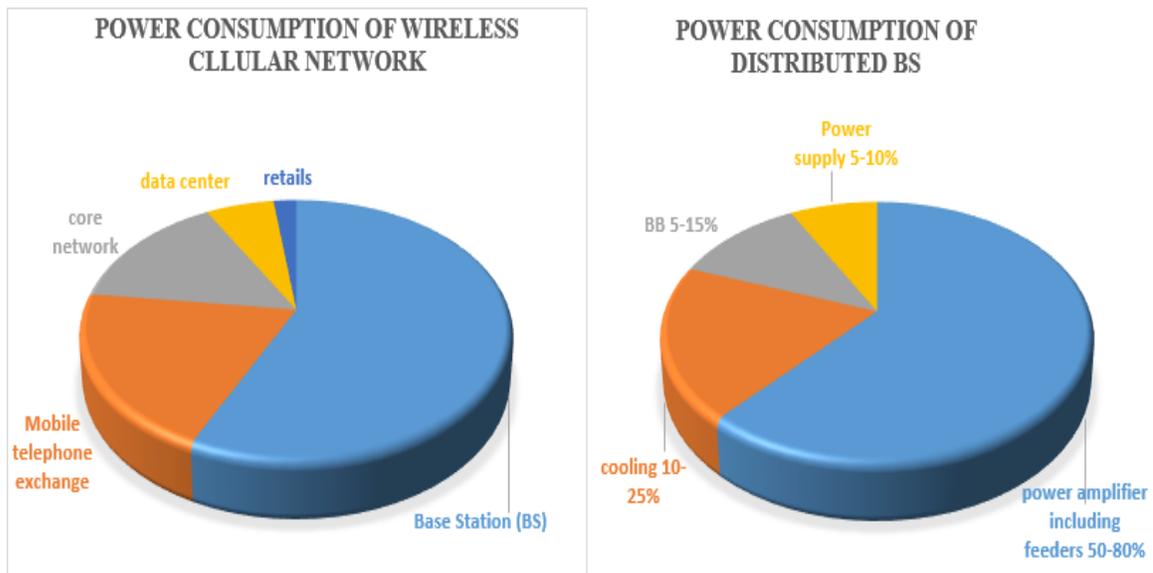
Le but de cette partie était de comprendre et d'avoir un bref aperçu et l'importance de la station à alimenter pour les communications mobiles.

## **CHAPITRE 3 CONCEPTION ET MODELISATION D'UN SYSTEME HYBRIDE D'ALIMENTATION D'UN SITE DE TELECOMMUNICATION EN SITE ISOLE**

### **3.1.1 Introduction**

Les TIC (Technologie de l'information et de la communication) sont nécessaires dans nos vies aujourd'hui. Nous pourrions facilement voir son impact positif sur l'éducation, la santé, la vie sociale via les réseaux sociaux ... partout dans le monde. Pour bénéficier de ces services au quotidien, la nouvelle tendance serait la mise en place d'un réseau de télécommunication, avec une alimentation électrique continue, fiable, à faible coût et surtout respectueuse de l'environnement. L'accès à l'électricité pour les personnes vivant dans des zones reculées est un défi majeur pour les fournisseurs d'électricité, compte tenu des coûts que cela implique lorsque l'installation est possible mais avec une très grande perte d'énergie dans les transports. Les générateurs diesel sont encore utilisés dans le monde dans les zones isolées comme source d'énergie primaire. C'est le cas de notre site d'étude au nord du Québec, ce qui entraîne des coûts énormes en termes de maintenance, une pollution de l'atmosphère. Il est donc important de penser à une alimentation électrique propre[41]. Le générateur diesel à l'achat est très moins cher, mais les coûts d'exploitation au cours de l'année deviennent rapidement très élevés pour une meilleure utilisation. Les réseaux électriques traditionnels sont généralement caractérisés dans des sites isolés par des investissements élevés, des délais de livraison élevés, des pannes fréquentes et une perte de transmission, ce qui se traduit par une qualité de service inférieure à la moyenne[42]. Pour les sites accessibles uniquement par hélicoptère, le prix du transport du carburant augmentera de sorte qu'il sera difficile de récupérer les coûts d'investissement même à long terme, surtout si la hausse du prix du carburant et les éventuels crédits pour la réduction des gaz à effet de serre (GES ) est pris en considération[10]. La plupart de ces stations sont situées dans des zones qui ont une bonne ressource éolienne et solaire. Cette ressource importante pourrait donc réduire les déficits d'exploitation en mettant l'accent sur l'énergie éolienne et solaire, le carburant local plutôt que le diesel, le carburant importé[43]. Selon[44, 45], la station de base est la partie principale

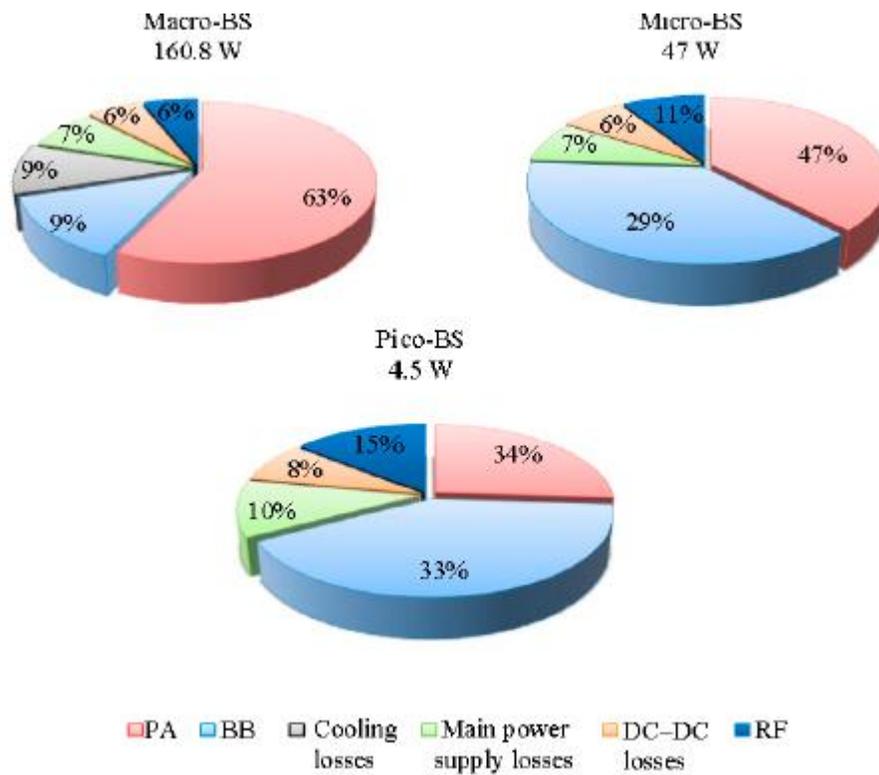
de la consommation d'énergie dans le réseau cellulaire sans fil. Nous pouvons l'observer sur la figure 9, et l'amplificateur de puissance sur la BS consomme la plus grande partie de l'énergie. Tous ces problèmes amènent les chercheurs à se concentrer sur de nouvelles solutions d'énergie verte capables de répondre efficacement aux problèmes. Par exemple, des systèmes appelés Green Cube, un système d'approvisionnement en énergie renouvelable qui sera utilisé pour alimenter la station de base dans notre étude.



**Figure 12: estimation of power consumption in wireless cellular network and Base station[44]**

Plusieurs études ont été menées sur l'énergie verte, des systèmes autonomes d'approvisionnement en énergie renouvelable ont été développés pour une exploitation optimale des ressources naturelles. L'article [10] porte sur une étude réalisée au Canada, précisément à Kuujjuarapik (Grand-Nord du Québec), à environ 1 130 km de Montréal. La vitesse moyenne du vent sur le site d'étude est de 6,2 m/s à 10m d'altitude avec un rayonnement solaire de 2,93 kWh/m<sup>2</sup>/j. l'installation du réseau électrique traditionnel n'est pas économiquement faisable, de sorte que le site fonctionne avec deux générateurs diesel. En conséquence, les émissions de CO<sub>2</sub> et les accidents d'exploitation sont élevés. L'étude de la faisabilité d'un système hybride vent-diesel avec stockage à petite échelle d'air comprimé a été réalisée. La modélisation du système proposé prend en compte le calcul de l'énergie produite et stockée, l'économie des coûts de carburant et de maintenance et la réduction des

GES. Le système proposé consiste en une centrale éolienne en hybridation avec un générateur diesel et un système de compression et de stockage de l'air comprimé. Les résultats montrent une réduction des coûts d'exploitation de près de 97%, une augmentation de la durée de vie de la GD, une réduction des visites annuelles du site de près de 50%, ce qui conduit à un bénéfice de près de 75.000 \$ la 5ème année. L'article[46] montre plusieurs configurations optimales d'un système d'alimentation hybride avec le logiciel HOMER (Hybrid Optimization of Multiple Energy Ressources, qui est logiciel de simulation, d'optimisation et d'aide à la décision en énergie électrique hybride, pour prévoir la production d'énergie électrique sur un site donné), afin de réduire les coûts d'exploitation du site. L'étude est menée pour alimenter une station de télécommunication dans le nord du Nigéria aux coordonnées de latitude (9° 47'N) et de longitude (7° 20'E). L'option hybride économiquement optimale est la combinaison de panneaux solaires de 8 kW, 5,5 kW de GD et 64 unités de batteries dont 6V de tension nominale et une capacité de 255Ah. Dans le même article, il a été montré que le GD était l'option la plus coûteuse et en même temps polluante. On peut conclure que l'intégration des énergies renouvelables hybrides pour la fourniture de stations de télécommunications peut être une solution de premier choix. Dans l'article[47], les auteurs proposent également un système hybride optimal pour l'alimentation d'une station de télécommunication hors réseau en Malaisie aux coordonnées 1° et 7° N, 100° et 120° E, avec HOMER. Cette étude vise à réduire les coûts d'exploitation et les émissions de gaz à effet de serre. Plusieurs analyses sont effectuées sur l'efficacité énergétique du système, l'analyse économique et l'analyse des émissions de gaz à effet de serre. Le système hybride proposé est composé de panneaux solaires, d'éoliennes et de GD. L'étude utilise les données et le profil de charge du site pour effectuer la simulation avec HOMER. Les résultats de la simulation montrent qu'au fur et à mesure que le rayonnement solaire augmente, la part de production d'énergie solaire augmente et donc une diminution de l'utilisation des GD, ce qui contribue à la réduction des gaz à effet de serre, coûts d'exploitation. Ailleurs, le site de Baie-de-Loups s'est révélé être un site BTS dans le monde où la consommation d'énergie est impressionnante. En effet, la consommation d'énergie de certains sites de stations de base est comprise entre 22 kWh / j et 50 kWh/j [46-49] en fonction de la zone et du type d'architecture BTS. Cependant, la consommation de notre étude se situe autour de 88 kWh / j, ce qui pourrait nécessiter plus d'un Green Cubes à la fin de l'étude. La consommation d'énergie électrique des stations de base varie en fonction des générations de cellules, s'étendant de la première à la quatrième génération de cellules. Cette consommation d'énergie est différente selon que l'on soit en présence d'un pico-BS, d'un Micro-BS ou d'un Macro-BS [50] (Figure 13)



*Figure 13: Estimation Power consumption of the components of BSs per antenna and sector[50]*

### 3.2 Système d'alimentation par Green Cube



*Figure 14: Deux Green Cubes exposés après assemblage*

Le concept de développement de réseaux verts dans le réseau de télécommunication pour les stations de base et même d'autres application, afin de réduire la consommation de diesel sur le site concerné, tout en réduisant les coûts d'exploitation et de maintenance du site en assurant une certaine fiabilité. C'est dans cet esprit qu'une entreprise au nord du Québec, a été fondée en 1997 et dont la conception, le développement, l'installation et la surveillance de réseaux électriques pour les sites éloignés et hors réseau par les énergies renouvelables avec des systèmes compacts, faciles à transporter et surtout moins coûteux. La performance du Green Cube a été testée et approuvée, et l'entreprise a un numéro de brevet canadien et américain respectivement 2887923 et US20150318706 [51]. La Figure 11 montre deux Green Cubes après assemblage et fermeture pour utilisation. Comme nous pouvons le voir sur le schéma, il est constitué d'un système hybride PV-éolien-GD-Batteries, détails qui suivront de notre étude. Ce sont des systèmes conçus pour alimenter de petites, de l'ordre de quelques kilowatts. Il existe aussi des systèmes concurrents développés par d'autres entreprises dans le monde entier pour profiter des ressources énergétiques disponibles gratuitement. C'est par exemple le système éolien hybride, qui est un système formé par une éolienne et des panneaux solaires. Le point intéressant ici est l'exploitation simultanées des ressources éoliennes et solaires pour la production d'énergie électrique dans les sites isolés tout particulièrement ou pour les lampadaires en bordure de route[52]. Mais comparé à un GC, ce système reste limité car absence d'un système intelligent de gestion d'énergie qui n'est pas intégré pour la supervision et le contrôle à distance. Absence d'un système de stockage d'énergie. La figure 12 est un exemple d'utilisation d'un système éolien hybride.



*Figure 15:Eolien hybride[52]*

### 3.3 Caractéristiques d'un Green Cube

Le Green Cube est un petit boîtier qui contient des panneaux solaires, de petites éoliennes, GD et batteries, et ajouté à un système de contrôle intelligent à distance, il est décrit comme facile à installer, relativement petit et simple à transporter[51].

#### 3.3.1 Composants et applications

Les énergies renouvelables sont fiables, ininterrompues et durables. L'intérêt principal est de réduire l'utilisation de combustibles fossiles, et donc les gaz à effet de serre et autres coûts associés. Ces systèmes hybrides d'énergies renouvelables sont constitués d'éoliennes, de photovoltaïques, d'hydroélectriques, de biomasse, de batteries, de GD et en particulier d'un système de contrôle intelligent. Certaines des composantes dépendamment de la nature du site étudié peuvent être réduites ou combinées avec tous les ensembles, il serait très probable que le GD ne synthétiserait pas le système hybride compte tenu de l'incertitude des prévisions météorologiques. Le Green Cube est conçu comme requis en intégrant presque toutes les sources renouvelables, dans le cas d'un BTS, il est conçu pour

fonctionner et fournir tout le système d'énergie et de contrôle nécessaire. Le Green Cube peut également être utilisé pour d'autres applications telles que les sites miniers, les petites communautés, les hôpitaux etc ...[51]

### **3.3.2 Opération du Green Cube**

Le Green Cube est une technologie qui ne nécessite pas l'installation de logiciels spécialisés pour fonctionner, en raison d'une erreur de manipulation. Une fois installé sur le site, il vous suffit de l'activer pour le faire fonctionner. Il a un autre avantage d'avoir des systèmes d'énergie renouvelable préinstallés, le montage PV est fait pendant les périodes de neige, il ne peut pas empêcher son fonctionnement. Son installation nécessite de la machinerie lourde et avec l'avantage supplémentaire de la surveillance par satellite à distance [51].

### **3.3.3 Spécifications techniques**

La puissance maximale d'un GC est estimée à environ 6 kW d'énergie renouvelable seulement. Il est possible de monter deux ou trois ou plus de Green Cube en parallèle pour fournir de l'énergie supplémentaire, jusqu'à 100 kW [51]. Le tableau ci-dessous récapitule très bien ces spécifications.

**Tableau 9: General specification of a Green Cube**

|  | GreenCube (general specifications)   |                         |
|--|--|-------------------------|
| Standard renewable energy production equipement (extension possible) | PV pannels   | 8 x 280W                |
|  | Wind Turbines  | 3x600W or 2x1000W       |
| Diesel generator   | Diesel generator with auto-start and variable speed operation for maximum fuel economy | 6 to 15kW               |
| Ouput Power  | 1 to 6 kW using only renewable energy<br>6 to 15kW using diesel generator              |                         |
| Electrical Pannel  | Schneider  |                         |
| Available Outputs  | 24/48 VDC<br>110/220 VAC   |                         |
| Batteries  | • Deep discharge AGM batteries   | 16 x AGM (6 V, 400Ah)   |
|  | • Li-ion Batteries   | 3 x Li-Ion (48 V, 77Ah) |
| Operating temperatures (lower limits)                                | • Without internal heating   | -40°C                   |
|  | • With internal heating  | - 60°C                  |
| SCADA  | Mobile, WiFi or satellite (Options)  |                         |

### 3.4 Vue d'ensemble de la station alimentée par le GC

Le Green Cube est actuellement fait l'objet de plusieurs attractions d'énergie renouvelable, plusieurs projets sont actuellement en cours pour exploiter le Green Cube, et les projets qui ont déjà terminé l'adoption du Green Cube comme source d'énergie. Le tableau ci-dessous énumère certains de ces projets.

**Tableau 10: station alimentées par le GC [51]**

|                  |   |  |  |   |                             |            |
|------------------|---|--|--|---|-----------------------------|------------|
| Mining           | 2 | GreenCube® wind-solar systems with diesel backup | Sept-Iles, Canada                          | Completely autonomous power system, helicopter lifted for radar site to replace diesel generators | Iron Ore, 2014, 2015        |            |
| National Defense | 2 | GreenCube 6<br>GreenCube 6 D                     | Military base, Gagetown, Canada            | Completely autonomous power system for operational deployment containers                          | Canadian Armed Forces, 2017 | In process |
| Telecom          | 1 | GreenCube 6                                      | Baie des Loups, Canada                     | Telecom station as replacement of diesel generators   | Telus, 2016                 | Test phase |
| Parcs Canada     | 2 | GreenCube 6<br>GreenCube 6 D                     | Pond Inlet, Canada<br>Qikiqtarjuaq, Canada | Micro-grid village  | Parcs Canada, 2017          | In process |

### 3.5 BTS system with hybrid architecture

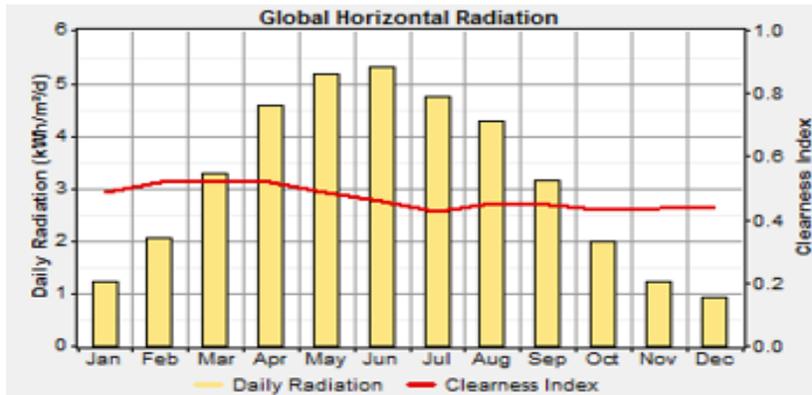
### 3.6 Contexte de la zone d'étude

Le site d'étude où se trouve la station d'étude BTS de notre projet d'installation de Green Cubes est situé au Côte-Nord-du-Golfe-du-Saint-Laurent, Québec, Canada. Le potentiel météorologique du site sera indiqué ci-dessous.

### 3.7 Potentiel énergétique de la zone d'étude

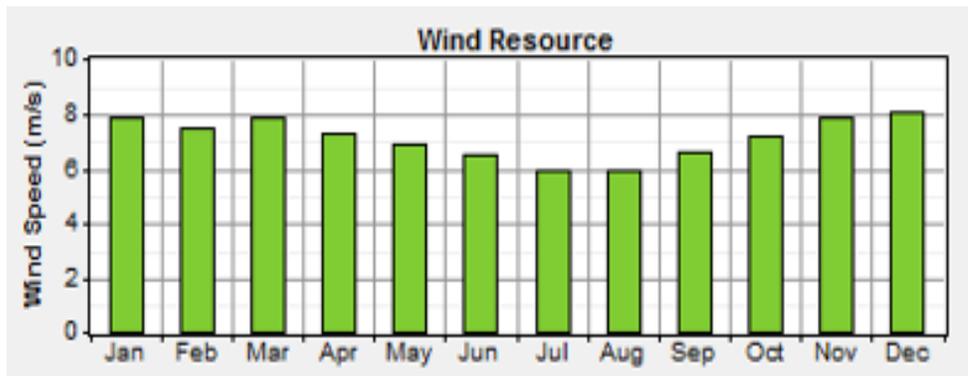
Les données météorologiques du site d'étude sont obtenues via le site de la NASA [53] avec les coordonnées GPS 50.271033 Nord en latitude, et 60.134826 Ouest longitude à 10m au-dessus du sol. Le rayonnement solaire et le vent sont donnés comme suit.

- **Radiation solaire:** les moyennes de rayonnement du site sont de 3,16 kWh/m<sup>2</sup>/j, ce qui pourrait entraîner une faible proportion d'énergie solaire et une faible efficacité énergétique. La moyenne de l'indice de clarté est de 0,441. En outre, le vent montre une tendance plus constante que le rayonnement solaire sur une année, il est souhaitable d'avoir un rayonnement solaire constant et supérieur à 4 kWh/m<sup>2</sup>/j pour avoir une source fiable de rayonnement solaire [54]. Cette faiblesse peut être compensée par une augmentation de la puissance des éoliennes. La figure 13 ci-dessous montre une variation du rayonnement solaire sur une année, elle varie entre 0,92 et 5,18 kWh / m<sup>2</sup> / j.



*Figure 16: Monthly average solar radiation*

- Ressources éolienne :** Les ressources éoliennes du site d'étude sont disponibles via le site de la NASA [53] ou par importation direct de HOMER avec les coordonnées GPS du site. Les mesures sont faites avec un anémomètre à 50m du sol. La vitesse moyenne du vent sur le site est de 7,12 m / s, et varie entre 5,92 et 8,05 m / s sur une période de dix ans, ce qui nous indique qu'une installation éolienne sur le site aurait une bonne efficacité énergétique. La figure 14 ci-dessous montre cette variation de la vitesse du vent. Nous pouvons observer la moyenne de la vitesse du vent pendant un mois et pour une année. Le facteur d'autocorrélation est de 0,85 et la force du diagramme diurne est de 0,25.



*Figure 17: Monthly average wind speed of the site*

### 3.8 Analyse des charges de la station de base

La charge de la station de base est d'environ 3,5 kW, en plus d'une charge moyenne supplémentaire de 1 kW. Contrairement à d'autres stations de base dans la littérature, nous pouvons remarquer qu'il consomme assez d'énergie. Le profil de chargement journalier a été

saisi dans HOMER en tenant compte de cette information. En général, dans une communauté ou un site isolé, la demande d'énergie électrique est faible par rapport à celle observée dans les grandes villes par exemple. Les coûts ont été déterminés en estimant la présence ou l'absence de techniciens sur le site pour des raisons de maintenance pendant un an. Les visites sur le site sont réduites à environ 2 par an en raison des difficultés d'accès au site et du coût de transport de l'équipement. Nous pouvons exprimer le modèle mathématique de la consommation d'énergie dans Macro-BS comme suit par la formule [50].

$$P_{macro-BS} = (N_{Sect} \times N_{TX}) \frac{P_{PA} + P_{BB} + P_{RF}}{(1 - \sigma_{MS})(1 - \sigma_{DC})(1 - \sigma_{cool})} + P_{mw} + P_{au}$$

Where

$P_{PA}$  is power amplifier power

$P_{BB}$  Baseband unit or digital signal processing Power

$P_{RF}$  is transceiver radio frequency power

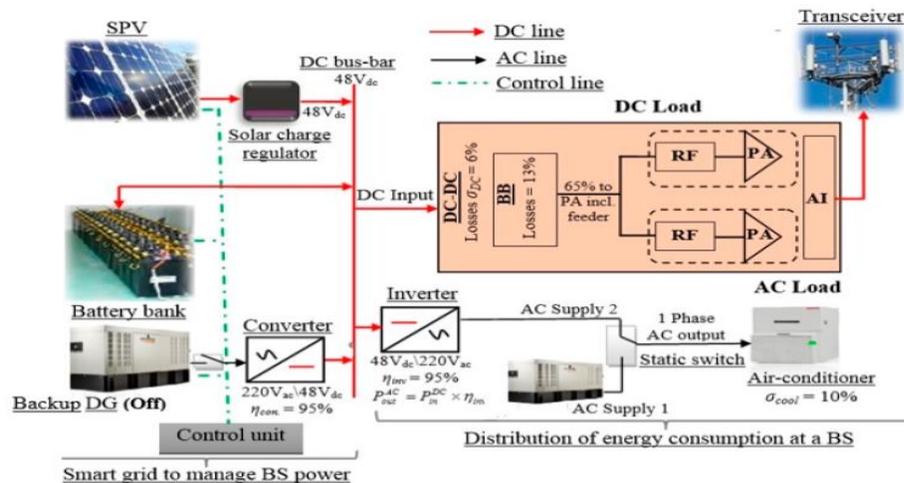
$\sigma_{MS}$ ,  $\sigma_{DC}$  and  $\sigma_{cool}$  are rectifier loss

$P_{mw}$  is microwave backhaul link

$P_{au}$  is auxiliary equipment

$N_{Sect}$  is the number of sectors

$N_{TX}$  is the number of transmitting antenna for one sector



**Figure 18: Estimation of LTE-macro base station energy consumption model within a smart grid environment [55]**

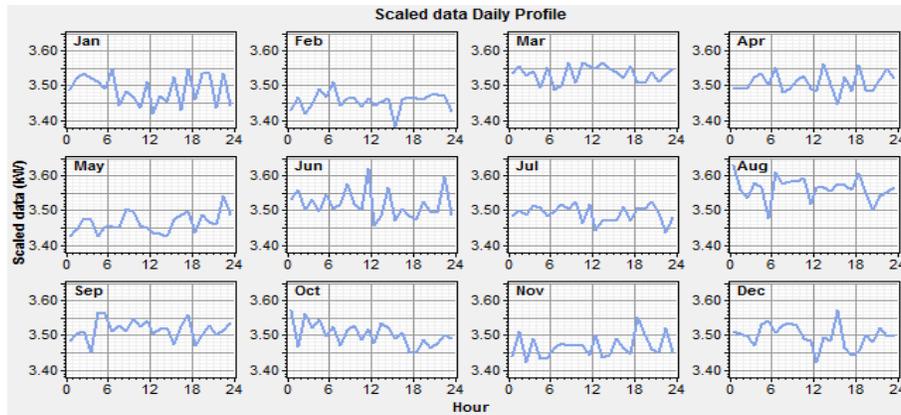
**Tableau 11: Estimated electricity demand for the study area**

| <i>Emplacement</i> | <i>Type</i>   | <i>Quantité</i> | <i>Tension (V)</i> | <i>Conso.(W)</i> | <i>Conso.(W)<br/>Totale</i> |
|--------------------|---------------|-----------------|--------------------|------------------|-----------------------------|
| Cuisine            | convecteur    | 2               | 240                | 1000             | 2000                        |
|                    | Cafetière     | 1               | 120                | 750              | 750                         |
|                    | Grille-pain   | 1               | 120                | 900              | 900                         |
|                    | Micro-onde    | 1               | 120                | 1200             | 1200                        |
|                    | Télévision    | 1               | 120                | 90               | 90                          |
|                    | Réfrigérateur | 1               | 120                | 300              | 300                         |
|                    | Congélateur   | 1               | 120                | 400              | 400                         |
|                    | Four          | 1               | ---                | Propane          | 0                           |
|                    | Hotte         | 7               | 120                | 95.14            | 666                         |
|                    | Lampes        | 16              | 120                | 20.25            | 324                         |
| Salle de Bain      | Chauffe-eau   | 1               | 240                | 4500             | 4500                        |
|                    | Pompe à eau   | 1               | 120                | 850              | 850                         |
|                    | Ventilateur   | 1               | 120                | 100              | 100                         |
|                    | Lampes        | 6               | 120                | 8                | 40                          |
|                    | Convecteur    | 1               | 240                | 500              | 500                         |
| Chambre            | Convecteur    | 1               | 240                | 1500             | 1500                        |
|                    | Lampes        | 7               | 120                | 16               | 112                         |
| Entrée             | Lampes        | 2               | 120                | 22               | 44                          |
|                    | Convecteur    | 1               | 240                | 500              | 500                         |
| Portique           | lampes        | 3               | 120                | 8                | 24                          |

|                 |                     |     |       |       |        |
|-----------------|---------------------|-----|-------|-------|--------|
| Extérieur       | Projecteur LED      | 1   | 120   | 50    | 50     |
| Station         | salle               | 1   | 120   | 176   | 176    |
|                 | Atelier             | 1   | 120   | 100   | 100    |
|                 | Convecteur          | 2   | 240   | 750   | 1500   |
|                 | Rectifieurs         | 4   | ---   | 875   | 3500   |
|                 | Ventilation         | 1   | 120   | 575   | 575    |
|                 | Compresseurs        | 1   | 120   | 1000  | 1000   |
|                 | Éclairage Tour      | --- | ----  | 1000? | 1000   |
| Génératrice     | Pompe carburant     | 2   | ----  | 22    | 44     |
|                 | Lampes Entrepôt     | 3   | ----- | 48    | 144    |
|                 | Lampe Garage        | 4   | ----  | 22    | 88     |
| Production Rive | Ventilation         | 2   | 120   | 575   | 1150   |
|                 | Pompe daytank       | 2   | 120   | 700   | 1400   |
|                 | Chargeurs batteries | 3   | 120   | ----  | ----   |
| Total           |                     |     |       |       | 25.527 |

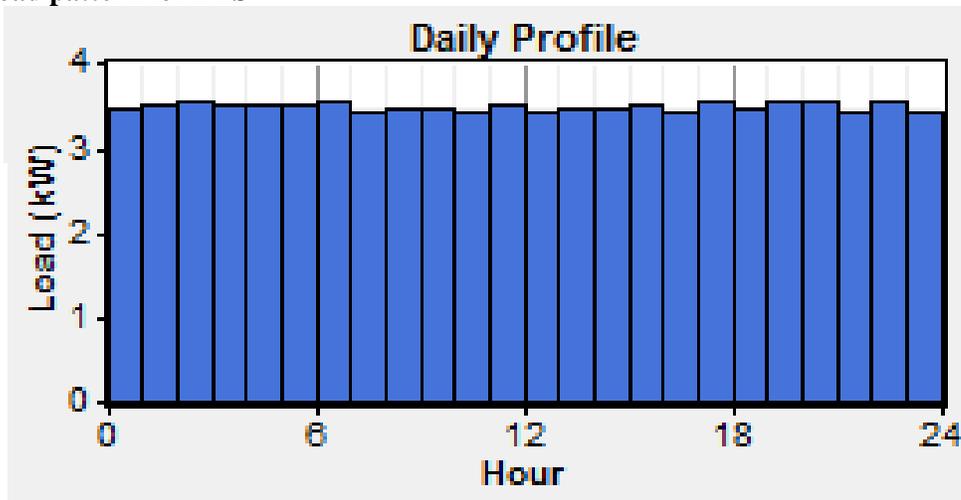
La charge en courant continu au 5 février 2016 est de 58,70 A à une tension alternative de 54V ~ 3,5 kW avec des pertes de conversion. Il y a 5 redresseurs de 4 kW chacun qui convertissent l'énergie AC en courant continu avec une efficacité comprise entre 0,9 et 0,95. Dans notre analyse, nous prenons en compte les redresseurs de 6 kW. Il y a une cabane de subsistance équipée de chauffage électrique, eau chaude, réfrigérateur, télévision par satellite qui sont utilisés seulement en mode occupé. Nous avons 7 séries d'accumulateurs existants, 2 séries ont été installées en 2011 et les 5 autres en 2012. Chaque année, nous consommons

en moyenne 19920 litres de gasoil. Il y a 2 générateurs, 1 en fonctionnement permanent et 1 en cas d'urgence. La charge du site est inférieure à la charge minimale du groupe électrogène, mais un groupe de charge est appliqué au générateur pour éviter les problèmes de "wet tracking".

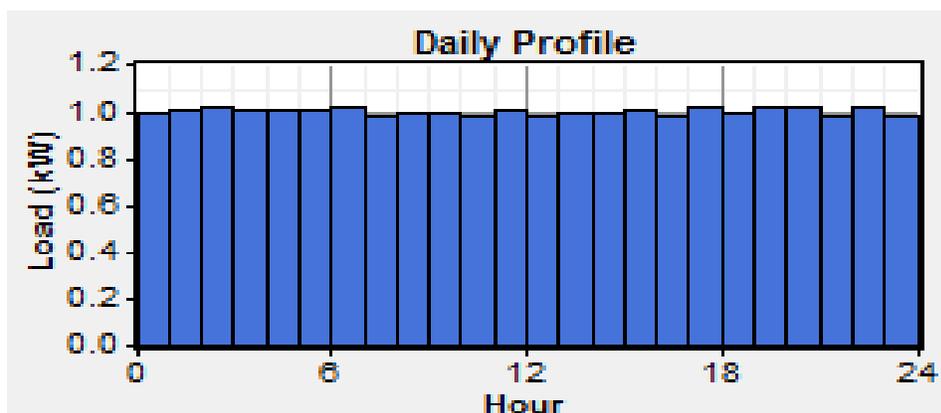


*Figure 19: charge mensuelle de la BTS*

### 3.9 Load pattern for BTS

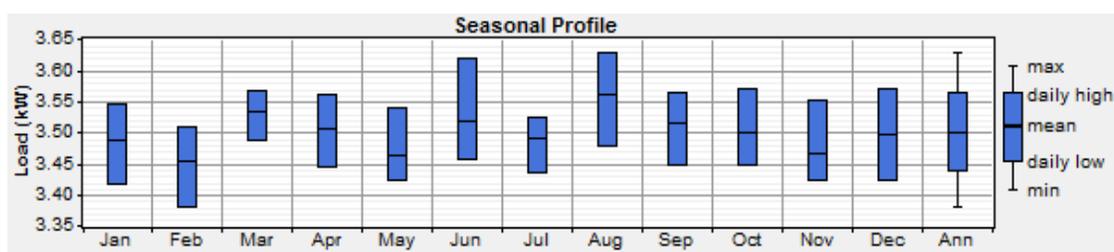


*Figure 20: Profil de charge primaire de la BTS*

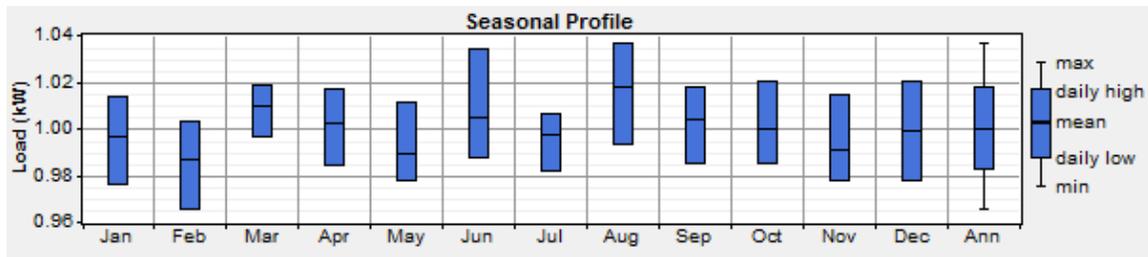


*Figure 21: Profil de charge primaire non critique de la BTS*

La charge du site peut être obtenue à distance via une connexion Internet du système GPRS de la station de base qui transfère les données au centre de supervision et de contrôle. Cette procédure n'a pas été utilisée en raison d'un manque de contrôle préalable et de système de contrôle à distance. Le profil de charge a été défini en fonction des informations fournies sur l'état de consommation de chaque équipement donné par le constructeur, et en fonction des heures de visite du site au cours de l'année, car certains équipements ne fonctionnent qu'en présence de techniciens sur le site par exemple le café, la salle de bain ...

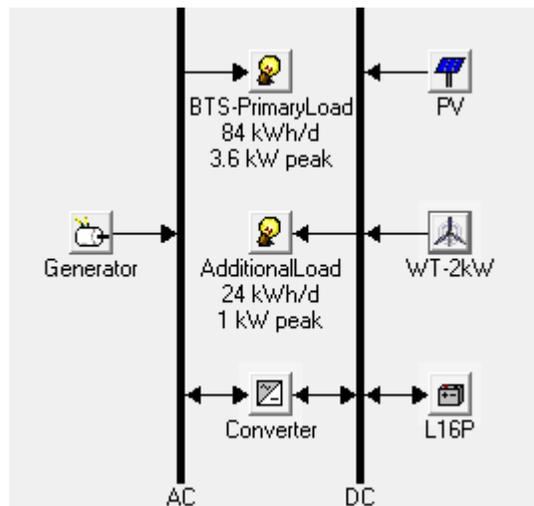


*Figure 22: Profil de charge AC de la BTS*

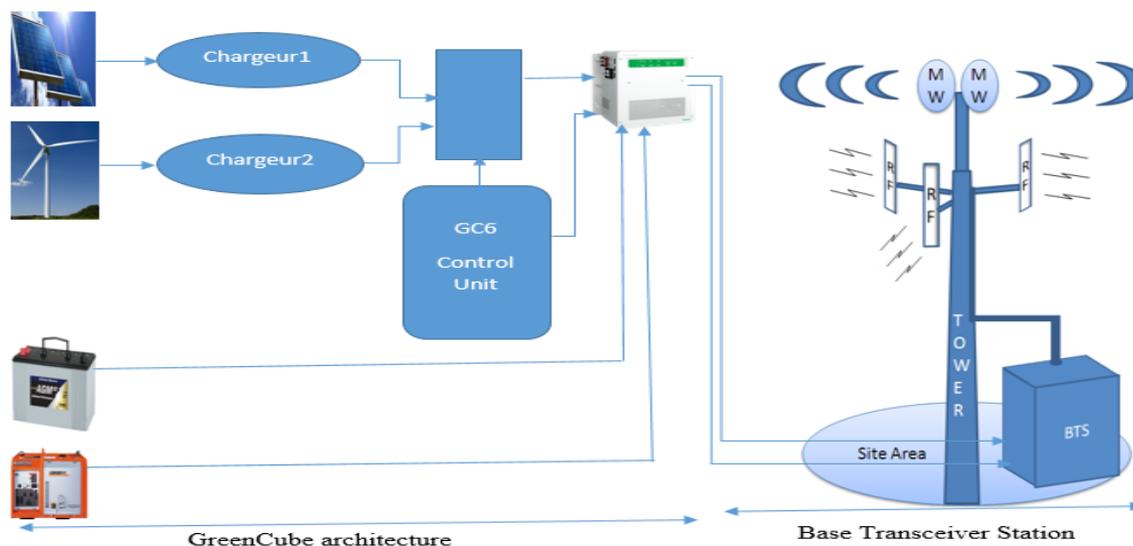


*Figure 23: Profil de charge DC de la BTS*

### 3.10 Système proposé



*Figure 24: Système proposé*



*Figure 25: Architecture typique d'un Green Cube alimentant une BTS*

### 3.11 Cout des composants et spécification

Le Green Cube se compose d'un ensemble de panneaux solaires, de vent, de batteries et éventuellement d'un générateur diesel, le tout formant un système hybride d'énergie renouvelable. Ces différents éléments sont dimensionnés pour donner un résultat optimal à la simulation finale. En plus de cela, HOMER prend en compte plusieurs autres paramètres pour effectuer correctement l'étude.

| <b>PV array</b>           |                    |
|---------------------------|--------------------|
| Capital cost              | 2000\$             |
| Replacement cost          | 2000\$             |
| Sizes consideration in kW | 2, 4, 6            |
| Lifetime                  | 20 yrs             |
| De-rating factor          | 90%                |
| No tracking system        | yes                |
| <b>Wind turbine</b>       |                    |
| Model                     |                    |
| Rated capacity            | 2kW DC             |
| Initial cost per unit     | 1200\$             |
| Replacement cost          | 1200\$             |
| Maintenance cost          | 100/yr             |
| Units consideration in kW | 2, 4, 6            |
| Lifetime                  | 25 yrs             |
| <b>Battery</b>            |                    |
| Model                     | L16P Trojan        |
| Rating                    | 390Ah, 6V, 2.34kWh |
| Initial cost per unit     | 700\$              |
| Replacement cost          | 700\$              |
| Maintenance cost          | 10\$/yr            |
| Units consideration       | 16, 32, 48         |
| Battery string            | 1                  |
| Lifetime                  | 10 yrs             |
| <b>Converter</b>          |                    |
| Capital cost              | 30470              |
| Maintenance cost          | 60\$/yr            |
| Sizes consideration       | 6, 12, 18          |
| Lifetime                  | 20 yr              |
| Efficiency                | 85%                |
| <b>Diesel generator</b>   |                    |
| Rating                    | 10kW               |
| Maximum load ratio        |                    |
| Initial cost per unit     | 15000\$            |
| Replacement cost          | 15000\$            |
| Operational cost          | 0.05\$/hr          |
| Lifetime                  | 15000h             |
| Diesel price              | 0.88\$, 1\$, 1.2\$ |
| Sizes considered          | 10, 20, 30         |

*Figure 26: Données financières, techniques et étude des différents composants*

- **GD** : Un système d'énergie hybride renouvelable dit sérieux, doit pouvoir travailler avec un back-up, compte tenu de la variation du climat, et donc l'incertitude de la météo, surtout pour un opérateur de téléphonie avec des consommateurs très exigeants en qualité de service. D'où la présence du générateur diesel. Les informations utiles pour caractériser le générateur dans HOMER sont : la taille du GD, le coût d'achat, le coût de remplacement et le coût de maintenance. Dans notre cas, un générateur diesel de 10 kW maximum selon le modèle a été soumis dans l'hypothèse de l'utilisation d'un Green Cube. La courbe d'efficacité utilisée est celle de HOMER par défaut, car nous n'avons généralement pas assez d'informations pour tirer notre propre courbe des fournisseurs.
- **Convertisseur** : Tout système d'alimentation fonctionnant à la fois avec un courant continu et un courant alternatif nécessite un convertisseur pour l'équipement. Il peut également jouer le rôle de redresseur. Les informations nécessaires pour une simulation optimale avec HOMER restent presque les mêmes que pour un générateur diesel à savoir : la taille du convertisseur, le coût, le coût de maintenance et le coût de remplacement. HOMER peut prendre en compte plusieurs tailles différentes pendant la simulation. Nous considérons sa durée de vie de 15 ans, avec une efficacité de conversion de l'électricité de AC à DC ou de DC à AC de 85%, et une capacité relative de 100% d'inversion. C'est la capacité nominale du redresseur par rapport à celle de l'onduleur.
- **Batteries** : Dans les systèmes d'alimentation électrique renouvelables, les batteries sont pour la plupart inévitables. Avec HOMER, il est possible de personnaliser sa batterie ou d'en choisir une parmi la bibliothèque de composants fournie par cette dernière. Dans ce cas, vous devez être capable de donner les spécifications uniques à votre batterie, il est nécessaire de connaître alors la capacité, la tension, l'efficacité, l'état de charge minimale, la courbe de capacité et la courbe de vie. Il est également nécessaire de connaître le coût, le nombre de batteries par chaîne et le nombre de chaînes de batteries à modéliser. HOMER propose des exemples de batteries qui

seront certainement suffisantes pour notre site, comme le Li-Ion, 6V d'une capacité nominale de 390Ah. Les quantités à considérer ici sont 0, 16, 32, 48 données par le nombre que chaque green Cube nous impose.

- **PV** : Le choix des panneaux solaires varie en fonction de la taille du site, de sa demande en électricité et de la surface réservée. Mais dans notre cas, nous sommes limités par la taille et le nombre de composants qui peuvent être installés sur un Green Cube. Il est donc important de connaître la puissance du panneau, le nombre de panneaux, et avec cela nous pouvons déterminer le coût d'achat, d'entretien et de remplacement. Nous effectuerons une analyse de sensibilité pour une charge de chantier allant d'un minimum de 80 kWh / j à un maximum de 88 kWh / j.
- **Éoliennes** : Les éoliennes de même capacité peuvent fonctionner différemment pour un même site, en fonction de leur courbe de puissance, de leur vitesse de coupure, de leur vitesse de découplage et de leurs options de montage, mais nous ne prenons en compte que les paramètres du Green Cube. Il est généralement préférable de choisir une éolienne déjà disponible dans la bibliothèque HOMER, il ne restera donc plus qu'à déterminer les caractéristiques de l'éolienne à choisir pour la simulation et ceci afin d'optimiser les résultats de la simulation. Mais nous serons tentés de choisir une éolienne de 2kW car nous utilisons Green Cube GC6 avec 8 panneaux solaires de 250W chacun.
- **Le prix du diesel** : Le prix du diesel a une importance significative dans la simulation avec HOMER d'un système renouvelable fonctionnant avec un moteur diesel. Nous devons donc inclure le prix du diesel dans la zone où nous voulons implémenter le système hybride pour de meilleurs résultats, et nous allons prendre en compte une certaine variation de prix en faisant une analyse de sensibilité au vu de la variation du prix du carburant dans le monde. Le prix du diesel à Rimouski varie en moyenne autour de 1 111 \$ CAN / litre[56], avec une variation entre 1,026 \$ et 1,176 \$.

- **Le module économique :** dans HOMER, des informations telles que le taux d'intérêt annuel est le taux d'actualisation utilisé pour convertir les coûts annualisés et les coûts ponctuels. Il est lié au taux d'intérêt nominal par la formule suivante :

$$i = \frac{i' - f}{i + f}$$

$i$  is interest rates

$i'$  nominal interest rate (rate at which we can have a loan)

$f$  = the annual inflation rate

- **La durée de vie du projet :** Le coût du projet est obtenu pour cette durée. HOMER utilise cette information pour calculer le coût de remplacement annuel et le coût annuel de chaque équipement, ainsi que le coût total du système. Il est estimé à 25 ans dans le cadre de ce projet, principalement en tenant compte du fait que les éléments du Green Cube sont remplaçables, mais les batteries et générateurs diesel ont une durée de vie bien inférieure, selon la qualité de maintenance et les conditions d'utilisation de cet équipement. Le taux d'intérêt annuel est de 6% [57], mais il est d'environ 10% dans les pays en développement. Nous ferons une analyse de sensibilité entre 6 et 10%. Le coût du capital fixe du système est le coût initial du projet, indépendamment de l'architecture du système d'alimentation. Il peut être déterminé par HOMER après simulation. De même pour le coût de maintenance annuel.

### 3.12 Résultats de la simulation et discussion

Le logiciel HOMER calcule toutes les options possibles et les affiche. En fonction des paramètres choisis, nous pouvons faire des comparaisons du diesel avec le modèle hybride de l'énergie renouvelable. Nous produisons des résultats de comparaison avec les solutions existantes sur le site actuellement, qui est une solution d'alimentation diesel. Nous faisons également une analyse de sensibilité sur le prix du diesel et les frais pour connaître à peu près les indicateurs financiers du projet en fonction des différentes particularités.

### 3.12.1 Optimisation et simulation

Le panneau des résultats d'optimisation affiche la liste des configurations disponibles en fonction des données d'entrée que nous avons entrées et classées par le NPC total (coût net actuel). Il est possible d'afficher la liste complète des configurations ou de ne montrer que les meilleures solutions (d'un point de vue économique) par la conception du système.

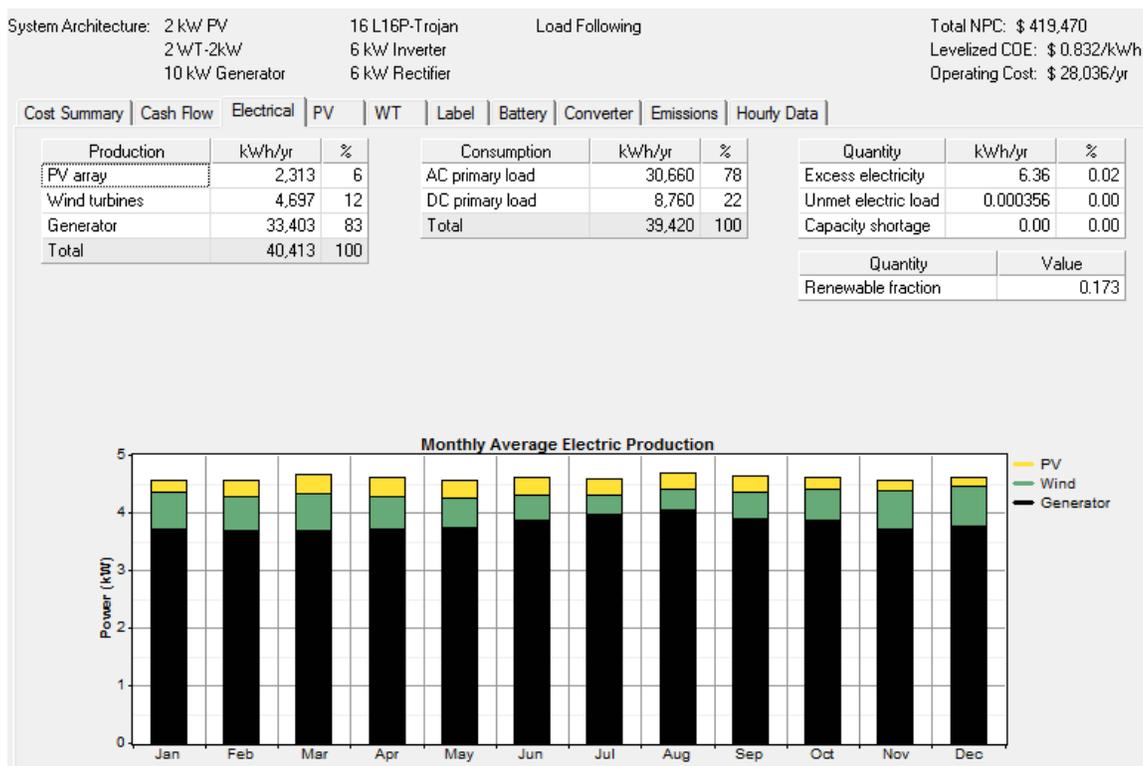
Les analyses suivantes sont liées à la solution ayant l'architecture de système suivante : système photovoltaïque 2 kW, éolienne 2 kW, générateur diesel 10 kW, redresseur 6 kVA, 16 séries de batteries AGM 6V fixant le prix du diesel à 1 \$ US et la charge primaire critique à 84kWh / j .

Voici quelques exemples de données disponibles :

|  | PV (kW) | WT | Label (kW) | L16P | Conv. (kW) | Disp. Strgy | Initial Capital | Operating Cost (\$/yr) | Total NPC  | COE (\$/kWh) | Ren. Frac. | Diesel (L) | Label (hrs) |
|--|---------|----|------------|------|------------|-------------|-----------------|------------------------|------------|--------------|------------|------------|-------------|
|  | 6       | 6  | 10         | 16   | 6          | CC          | \$ 69,870       | 19,387                 | \$ 317,699 | 0.630        | 0.48       | 9,626      | 4,836       |
|  |         | 6  | 10         | 16   | 6          | CC          | \$ 63,870       | 22,520                 | \$ 351,755 | 0.698        | 0.34       | 11,807     | 6,024       |
|  | 6       |    | 10         | 16   | 6          | CC          | \$ 62,670       | 26,242                 | \$ 398,126 | 0.790        | 0.17       | 14,568     | 7,419       |
|  | 6       | 6  | 10         |      | 6          | LF          | \$ 58,670       | 27,241                 | \$ 406,907 | 0.807        | 0.40       | 14,587     | 8,578       |
|  |         |    | 4          | 10   | 6          | CC          | \$ 50,270       | 28,308                 | \$ 412,135 | 0.818        | 0.21       | 15,603     | 8,760       |
|  | 6       |    | 10         |      | 6          | CC          | \$ 51,470       | 28,551                 | \$ 416,441 | 0.826        | 0.16       | 16,078     | 8,760       |
|  |         |    | 10         |      | 6          | CC          | \$ 45,470       | 29,832                 | \$ 426,820 | 0.847        | 0.00       | 17,250     | 8,760       |
|  |         |    | 10         | 16   | 6          | LF          | \$ 56,670       | 30,638                 | \$ 448,331 | 0.890        | 0.00       | 17,242     | 8,756       |

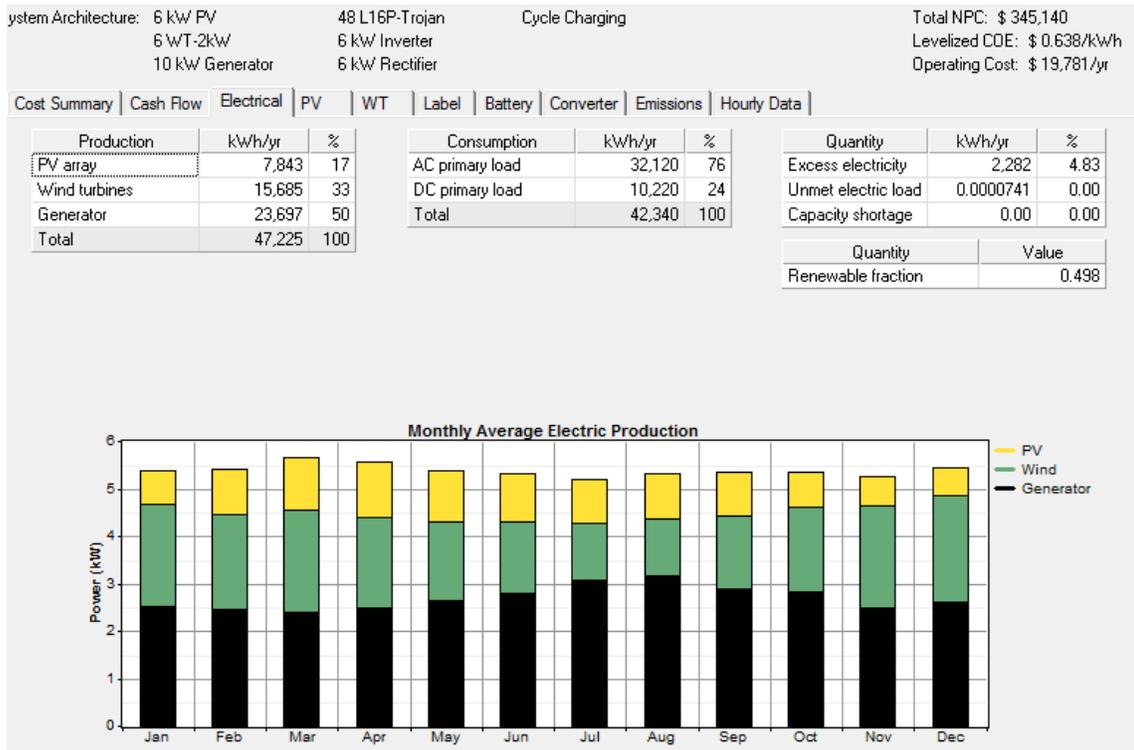
**Figure 27: Configurations Optimales HOMER**

Dans notre exemple, la liste classifiée affiche huit configurations différentes, contrôlées par le NPC le plus efficace. Mais nous allons choisir la configuration qui nous indique à peu près la capacité de production d'énergie du GC6 Green Cube.



*Figure 28: Energie produite par un GC6 avec GD*

Nous pouvons voir la part des énergies renouvelables dans la production totale qui est d'environ 20% sur un an, ceci pour un GC6. En cliquant sur chacune des solutions affichées, nous pouvons accéder à un ensemble complet de données fournissant un niveau de détail élevé sur chaque composant du système. En outre, il est possible d'afficher de nombreuses informations économiques essentielles pour effectuer une analyse approfondie des affaires. Les analyses suivantes sont liées à la solution ayant l'architecture de système suivante : système photovoltaïque de 6 kW, éolienne de 6 kW, générateur diesel de 10 kW, redresseur de 6 kVA, batterie 16 Li-Ion de 6V, qui combine trois GC6, fixant le diesel US \$ 1 prix et charge primaire critique à 84 kWh / j.



*Figure 29: Energie produite par 3 GC6 avec GD*

Les résultats de la simulation donnent un aperçu utile de la production d'électricité totale et mensuelle des différentes sources du système, de l'excès d'électricité produite, etc. Dans notre cas, nous constatons que la production d'électricité à partir du solaire est très limitée, En raison de la faible luminosité et du nombre de panneaux solaires, ainsi que de leur puissance, le générateur diesel contribue pendant ces mois de faible ensoleillement à plus de la moitié de la puissance requise. Nous pourrions augmenter la taille des panneaux solaires pour équilibrer la pénurie de l'énergie solaire en ajoutant un autre Green Cube. Mais d'un point de vue rationnel, il serait plus judicieux d'augmenter le nombre d'éoliennes, le vent étant prédominant. Dans l'exemple retenu, il y a aussi un non-gaspillage de l'énergie

électrique non utilisée (4,83%). L'ajout de plus de chaînes de batterie n'est pas nécessaire dans notre cas.

En ajoutant un autre Green Cube, nous augmentons la taille du système photovoltaïque, améliorant ainsi la performance du système, mais en même temps, nous augmentons les dépenses en capital de l'ensemble du système. Par conséquent, choisir la bonne configuration est un compromis complexe entre les exigences financières, renouvelables, techniques et de conception.

| Pollutant             | Emissions (kg/yr) |
|-----------------------|-------------------|
| Carbon dioxide        | 45,424            |
| Carbon monoxide       | 112               |
| Unburned hydrocarbons | 12.4              |
| Particulate matter    | 8.45              |
| Sulfur dioxide        | 91.2              |
| Nitrogen oxides       | 1,000             |

**Figure 30: Système alimenté par GD uniquement**

| Pollutant             | Emissions (kg/yr) |
|-----------------------|-------------------|
| Carbon dioxide        | 24,262            |
| Carbon monoxide       | 59.9              |
| Unburned hydrocarbons | 6.63              |
| Particulate matter    | 4.51              |
| Sulfur dioxide        | 48.7              |
| Nitrogen oxides       | 534               |

**Figure 31: système alimenté hybridation**

Selon les figures 27 et 28, les émissions de CO<sub>2</sub> ont été réduites de moitié avec l'intégration des énergies renouvelables, allant de 45 424 kg/an à 24 262 kg/an. Nous pouvons faire la même observation en nous référant aux autres indices de consommation de CO<sub>2</sub> de ces chiffres.

### 3.12.2 Analyse de sensibilité

Nous pouvons changer le prix du diesel et la charge principale dans notre analyse de sensibilité et la fenêtre affiche la configuration principale avec des détails techniques et financiers. La vue d'ensemble montre la liste complète des conceptions de système pour une combinaison spécifique de variables de sensibilité. Les modèles sont toujours listés selon la configuration économique la plus performante, mais souvent la meilleure configuration ne répond pas aux exigences de notre système en termes d'autonomie, de contribution renouvelable, de consommation de gasoil, etc. Si tel est le cas, nous devons analyser plusieurs solutions et identifier le modèle qui correspond le mieux à notre besoin de conception.

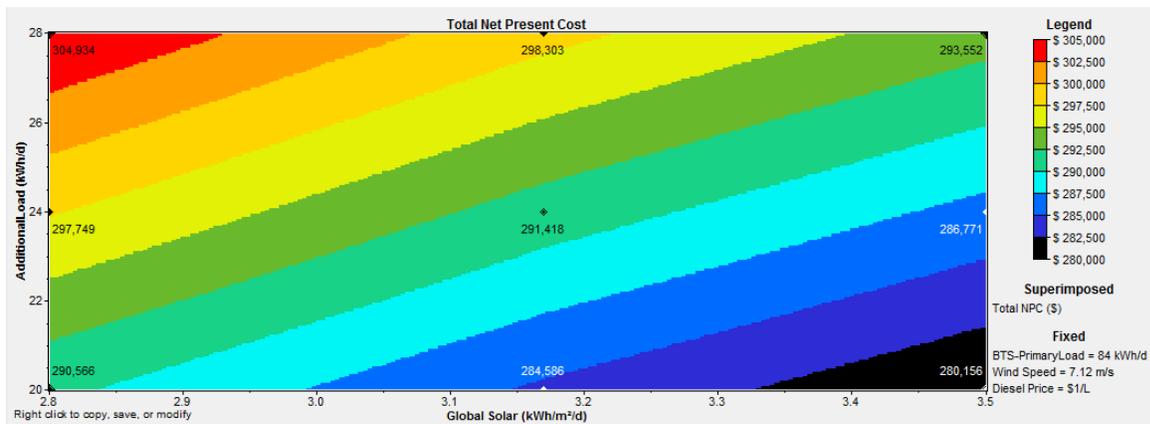


Figure 32: Analyse de la sensibilité

## **Conclusion**

Cette étude nous permet de comprendre l'importance des énergies renouvelables dans la stabilité de l'écosystème mondial auquel les scientifiques devraient accorder une attention particulière. La pollution à l'échelle mondiale est un réel problème qui peut contraindre l'existence de la vie humaine sur Terre. Nous avons vu une réduction significative des émissions de gaz à effet de serre avec l'intégration des énergies renouvelables dans la production d'électricité. En général, HOMER offre la meilleure configuration économique possible dans les résultats de la simulation, mais il peut arriver qu'elle ne corresponde pas aux réalités du terrain et ne l'ignore donc pas aveuglément. Nous devons donc proposer des solutions qui améliorent les performances du système hybride à mettre en œuvre en ajoutant d'autres composants, ce qui conduit également à une augmentation financière voire à la surface à exploiter s'il s'agit de l'ajout de panneaux supplémentaires voire d'éoliennes. Pour la contribution de Green Cube, en fonction des résultats obtenus, il serait très intéressant de fournir deux à trois Green Cubes pour prétendre répondre aux besoins énergétiques du site au nord du Québec, ou dans un autre cas pour changer la configuration du Green Cube en ajout d'un WT par le fait que, en se référant aux résultats, WT produit deux fois plus que des panneaux solaires.

## **CHAPITRE 4 CONCEPTION D'UN SYSTEME D'ACQUISITION ET DE TRANSMISSION DE DONNEES POUR CENTRALE ELECTRIQUE HYBRIDE**

### **Introduction**

Les sites isolés au Canada et dans d'autres régions du monde, comme en Afrique précisément, rencontrent des problèmes d'électricité. L'une des principales raisons étant le coût très élevé d'extension du réseau traditionnel vers ces sites, ensuite une faible population y vivant et donc une faible consommation en électricité. Il Ya aussi la cause d'un accès difficile vers ces sites, voire impossible pour certains cas, et donc le moyen de transport se fait uniquement soit par bateau, ou avion. La solution la plus rapide et peu coûteuse sur le court terme, est le recours au générateur diesel, qui n'est pas sans conséquence sur le réchauffement climatique pour ne citer que ça. Pourtant le Canada dispose d'un potentiel éolien et solaire disponible gratuitement, qui si bien exploité pour un système de production électrique hybride décentralisé serait une meilleure solution qui entrainera une grosse baisse sur le prix d'électricité. Une solution très intelligente si la maintenance et le suivi des performances du site se fait à distance, ce qui limiterait beaucoup les frais d'exploitation du site. De ce fait, un système de télésurveillance serait très intéressant. D'où l'intérêt de cette partie du projet.

### **4.1 Système d'acquisition de données**

Un système d'acquisition de données est la représentation de l'interface entre les capteurs et l'ordinateur. Il est composé de circuits imprimés et de logiciels pour l'acquisition automatique des données numériques ou analogiques venant des capteurs[58]. Cet ensemble d'équipements fonctionnent dans le but de suivre les performances d'un site. Il peut s'agir de collecter les informations telles que :

- Tension, courant et fréquence
- Niveau du carburant

- Pression d'huile
- Température du moteur
- La vitesse du vent
- Les information météo du site
- Les alarmes

## **4.2 Composants essentiels d'un système d'acquisition de données**

Pour mettre sur pied un système d'acquisition, il est important de connaître les données en entrée et sortie pour choisir les types de capteurs à choisir, le choix de serveur de base de données, la connexion des différents capteurs au réseau et la communication entre les différents éléments du système. On peut citer entre autres :

- Les capteurs ou transducteurs
- Les conditionneurs
- Le convertisseur
- Le matériel d'acquisition
- Divers et logiciels d'applications

### **4.2.1 Les capteurs ou transducteurs**

Lorsqu'on parle d'acquisition de données, il est important de connaître le phénomène physique à mesurer, qui peuvent être des éléments cités ci-dessus, c.-à-d. courant, tension, fréquence... ces capteurs se présentent donc comme étant l'élément qui servira à capter et convertir un phénomène en un signal électrique quantifiable ou non. Il peut s'agir de la vitesse du vent, du niveau du fuel, de la pression...

#### 4.2.2 Les conditionneurs

Le but d'utiliser un conditionneur dans le processus d'acquisition de données, est d'apporter des corrections pour obtenir le niveau ou la qualité de signal souhaitée. Il pourrait s'agir de l'amplification du signal trop faible, du filtrage des signaux issus des capteurs[59] dans certains cas pour réduire le bruit.

#### 4.2.3 Les convertisseurs

Ils convertissent du numérique à l'analogique et vice versa.

#### 4.2.4 Le matériel DAQ

Le secteur de l'acquisition de données est convoité dans le monde, surtout industriel, à cet effet fait appel aux applications de bureau, les portatifs et même les systèmes embarqués[60]. Parlant des systèmes embarqués, nous allons nous servir de cette technologie pour réaliser notre système d'acquisition. Nous allons utiliser une plateforme open source, faible cout consommant moins la puissance[61]. A cet effet, le hardware qui sera utilisé est :

- **La Raspberry pi** : C'est un appareil doté de puissance d'un ordinateur, avec la taille d'un portefeuille ou d'une carte de crédit et peut tenir facilement dans la pomme de main.



*Figure 33: Raspberry pi*

Elle est similaire à un ordinateur, mais de taille réduite. Nous comprenons par là qu'elle n'a pas toutes les particularités types d'un ordinateur, comme un lecteur de CD ou disquette, un écran ou même un clavier, mais dispose à son bord tous les accessoires qui peuvent servir à le faire fonctionner comme tel[40]. Elle est livrée comme un circuit imprimé, et nous pouvons acheter tous les accessoires manquants selon notre projet pour la faire fonctionner. Il existe différents modèles de Raspberry pi avec des architectures et tailles différentes. Cette classification peut être facilement comprise en fonction des tableaux 12 et 13[39].

*Tableau 12: Comparaison RPI A et A+*

| <b>Critère</b>             | <b>Modèle A</b>  | <b>Modèle A+</b>   |
|----------------------------|--|--|
| Système sur puce (SoC)     | Broadcom BCM2835 (CPU, GPU et SDRAM)                     | Broadcom BCM2835 (CPU, GPU et SDRAM)                     |
| Processeur (CPU)           | 700 MHz ARM1176JZF-S core (ARM V6)                       | 700 MHz ARM1176JZF-S core (ARM V6)                       |
| Processeur graphique (GPU) | Broadcom VideoCore IV OpenGL ES 2.0 OpenVG 1080p30 H.264 | Broadcom VideoCore IV OpenGL ES 2.0 OpenVG 1080p30 H.264 |
| Mémoire vive (SDRAM)       | 256Mo  | 256Mo  |
| Alimentation               | 300 mA (2.5 W) via micro-USB                             | <b>200 mA (1 W) via micro-USB</b>                        |
| Stockage des données       | Lecteur de carte SD/MMC/SDIO                             | <b>Lecteur de carte micro-SD</b>                         |
| Sortie vidéo               | 1 composite RCA et 1 HDMI                                | 1 composite RCA et 1 HDMI                                |
| Sortie audio               | 3.5 mm jack et HDMI                                      | 3.5 mm jack et HDMI                                      |
| Ethernet                   | 0  | 0  |
| Port USB                   | 1  | 1  |
| Périphériques bas niveau   | 26 GPIO connecteurs                                      | <b>40 GPIO connecteurs</b>                               |
| Taille                     | 85.60 mm × 56.5 mm                                       | <b>65.00 mm × 56.5 mm</b>                                |
| Poids                      | 45g  | <b>23g</b>   |
| Prix                       | \$25   | <b>\$20</b>  |

**Tableau 13: Comparaison RPI B, B+ et Modèle 2**

| <b>Critère</b>             | <b>Modèle B</b>  | <b>Modèle B+</b>   | <b>Modèle 2</b>  |
|----------------------------|--|--|--|
| Système sur puce (SoC)     | Broadcom BCM2835 (CPU, GPU et SDRAM)                     | Broadcom BCM2835 (CPU, GPU et SDRAM)                     | <b>Broadcom BCM2836 (CPU, GPU et SDRAM)</b>              |
| Processeur (CPU)           | 700 MHz ARM1176JZF-S core (ARM V6)                       | 700 MHz ARM1176JZF-S core (ARM V6)                       | <b>900 MHz quad-core ARM Cortex-A7 (ARM V7)</b>          |
| Processeur graphique (GPU) | Broadcom VideoCore IV OpenGL ES 2.0 OpenVG 1080p30 H.264 | Broadcom VideoCore IV OpenGL ES 2.0 OpenVG 1080p30 H.264 | Broadcom VideoCore IV OpenGL ES 2.0 OpenVG 1080p30 H.264 |
| Mémoire vive (SDRAM)       | 512Mo  | 512Mo  | <b>1Go</b>   |
| Alimentation               | 700 mA (3.5 W) via micro-USB                             | <b>600 mA (3.0 W) via micro-USB</b>                      | <b>800 mA (4.0 W) via micro-USB</b>                      |
| Stockage des données       | Lecteur de carte SD/MMC/SDIO                             | <b>Lecteur de carte micro-SD</b>                         | Lecteur de carte micro-SD                                |
| Sortie vidéo               | 1 composite RCA et 1 HDMI                                | 1 composite RCA et 1 HDMI                                | 1 composite RCA et 1 HDMI                                |
| Sortie audio               | 3.5 mm jack et HDMI                                      | 3.5 mm jack et HDMI                                      | 3.5 mm jack et HDMI                                      |
| Ethernet                   | 1  | 1  | 1  |
| Port USB                   | 2  | <b>4</b>   | 4  |
| Périphériques bas niveau   | 26 GPIO connecteurs                                      | <b>40 GPIO connecteurs</b>                               | 40 GPIO connecteurs                                      |
| Taille                     | 85.60 mm × 56.5 mm                                       | 85.60 mm × 56.5 mm                                       | 85.60 mm × 56.5 mm                                       |
| Poids                      | 45g  | 45g  | 45g  |
| Prix                       | \$35   | \$35   | \$35   |

- **Le ComBox** : il s'agit d'un produit de Schneider Electric, conçu pour la supervision et les communications des sites de production d'énergie électrique de type renouvelable, et particulièrement les sites isolés, rendant compte ainsi des informations sur les performances du site en termes de rendement.



*Figure 34: Conext ComBox[62]*

Les caractéristiques physiques de cet équipement nous montre qu'il contient principalement[63] :

- ✓ Un trou de réinitialisation
- ✓ Un port de données SD
- ✓ Un port de données USB
- ✓ Un port de données mini USB

La fiche technique du ComBox nous indique qu'il peut communiquer avec des appareils en réseau local à partir d'une connexion filaire ou non. Une possibilité que nous allons exploiter pour alimenter le ComBox en connexion internet pour son accès à distance. La RPI dans ce cas jouera le rôle de passerelle ou routeur, car il est important que le ComBox soit connecté à internet et ce par l'intermédiaire d'un routeur pour le réacheminement de port. Dans ce cas, pour des raisons de sécurité, un VPN est recommandé, car des données non cryptées sur internet représentent un risque de sécurité majeur.

- **Clef USB 3G/4G :** En l'absence d'un moyen de connexion directe à internet, la présence de la station de base sur le site ou dans les environs, représente un réel atout pour accéder à internet via la clef 3G/4G. il existe également d'autres moyens de connexion :
  - ✓ Le satellite : très coûteux et avec une limite de débit considérable.
  - ✓ Le WiMax : avec des frais d'installation aussi très élevés.

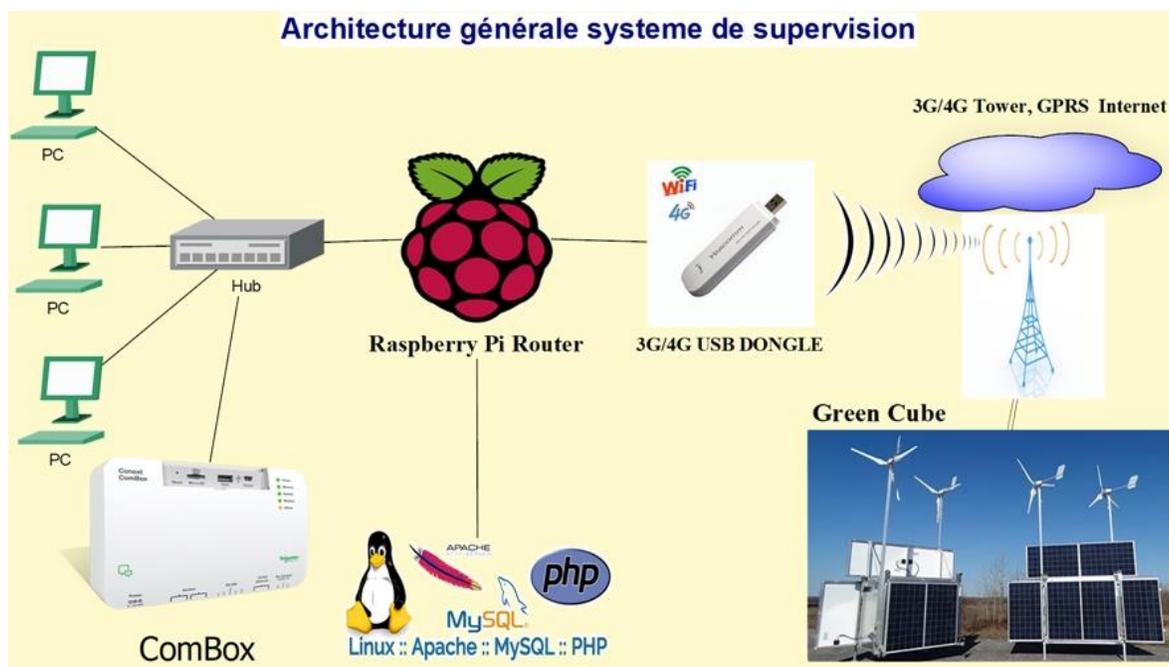
#### **4.2.5 Environnement de programmation**

Pour que notre système d'acquisition soit fonctionnel, un certain nombre de logiciels doivent être installés et utilisés. Nous allons citer quelques-uns de ces logiciels et langage de programmation.

- **Le python :** c'est un langage de programmation ayant deux structures de données de haut niveau et approche efficace de programmation orientée objet. Il est simple, facile à utiliser pour le développement des applications[64]. Il peut fonctionner en parallèle avec plusieurs autres langages de programmation comme le C et le C++.
- **Le système d'exploitation :** Raspbian est le système d'exploitation par excellence conçu pour les Raspberry pi. C'est un logiciel libre et gratuit. Il est facilement montable sur une RPI à partir d'une carte micro SD. Nous en reparlerons un peu plus loin dans le projet.
- **La base de données MySQL :** c'est l'un des serveurs de bases de données libre le plus puissant et populaire au monde, libre c'est-à-dire que tout le monde peut le télécharger gratuitement, le modifier et l'utiliser à sa convenance, et cela sur presque tous les systèmes d'exploitation disponible (Microsoft, Apple, Linux, FreeBSD...). Elle offre aussi une vaste gamme de bibliothèque spécialisées contenant des pilotes pour presque tous les langages de programmation[65].
- **Le serveur Web Apache :** C'est le serveur web le plus smart disponible actuellement sur le net, avec multitude de qualités et fonctionnalités d'hébergement, se basant sur les adresses IP, l'identification des utilisateurs, la négociation des contenus...[62]. C'est un serveur présent sur plus de 65% des serveurs web disponibles, et cela ne cesse de s'accroître au fil du temps.
- **Le PHP :** C'est un langage de programmation complet et mature. Il est le plus rapide de script coté serveur. Il utilise moins de ressources et contient de

puissant support de fichier comme FTP, la compression de données, le téléchargement de fichier et l'accès à d'autres bases de données[62].

### 4.3 Architecture générale du système de supervision conçu



*Figure 35: Architecture du système de supervision conçu*

Le site de à superviser est situé au nord du Québec. Nous pouvons remarquer un système d'alimentation hybride de type solaire, éolien, diesel conçu à cet effet qui doit être implémenter pour l'alimentation de la station de base avec le stockage par batteries. En site isolé, cela représente une très bonne solution surtout pour le futur. Le principal élément à contrôler est le Green Cube.

### 4.4 Mise en place du système de supervision

#### 4.4.1 Installation et configuration du système d'exploitation Raspbian

Maintenant que nous avons parlé de tous équipements nécessaires pour notre système de supervision, nous allons maintenant procéder à sa mise en place. La RPI ne supporte pas le système d'exploitation Windows, mais chose qui est prévu pour les versions avenir de Windows, chose qui ne nous enchante pas de toute façon puisque Windows est payant. Le système d'exploitation le plus utilisé avec la RPI est Linux, nommé Raspbian, développé en python, qui est un langage qui sera très important pour la suite de notre projet.

Alors la première chose à faire est de s'approprier une RPI, il est facile de l'avoir en ligne avec une carte micro SD d'une taille minimale de 16 Go dans le but de laisser assez d'espace pour le bon fonctionnement de notre système d'exploitation. Tout cela réuni, nous pouvons procéder à l'installation de Raspbian. Nous avons utilisé pour notre cas, un ordinateur qui fonctionne sous l'environnement Windows.

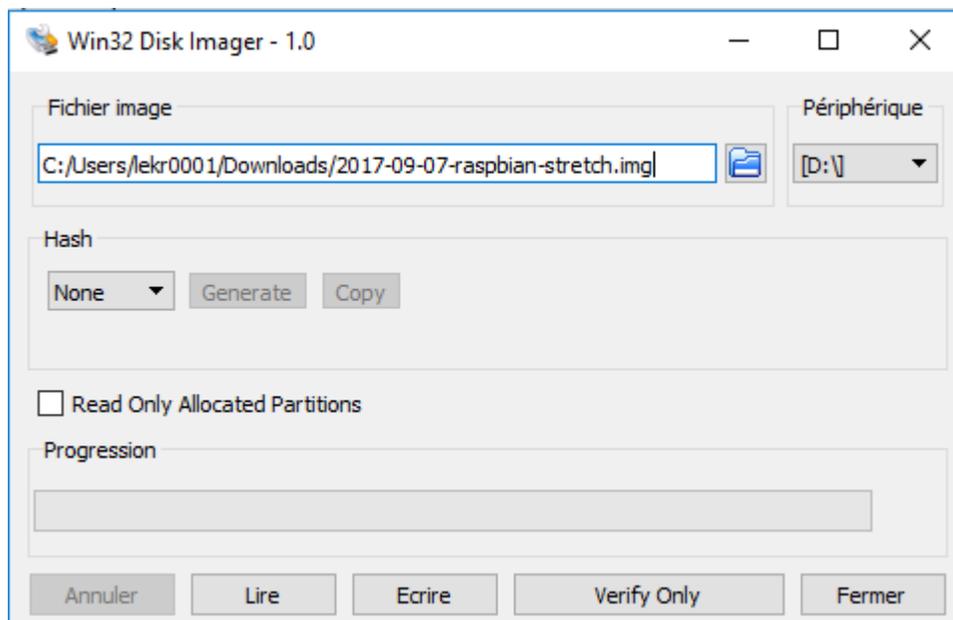
- Télécharger Raspbian ici : [http://downloads.raspberrypi.org/raspbian\\_latest](http://downloads.raspberrypi.org/raspbian_latest) puis décompresser
- Télécharger win32diskmanager ici

<http://sourceforge.net/projects/win32diskimager/files/latest/download> puis décompresser.

- Installer win32diskmanager et l'exécuter et nous aurons la fenêtre suivante :



- Cliquer sur l'explorateur de fichier et choisissez la carte SD et le dossier dans lequel nous avons téléchargé le fichier image Raspbian, puis cliquer sur write,



pour l'écriture des données sur la micro SD. A la fin de l'écriture, le message de confirmation va apparaître. Et Raspbian est prêt à être utilisé sur la RPI.

#### 4.4.2 Premier démarrage du système d'exploitation et paramétrage.

Pour cela, il faut insérer la carte micro SD précédemment configuré dans l'espace réservé à cet effet sur la RPI. Puis brancher un clavier, souris et câble HDMI sur la RPI et le relier au moniteur, alimenter la RPI. En cas de bon fonctionnement, le système va nous demander de renseigner le nom d'utilisateur et le mot de passe. Par défaut le nom d'utilisateur est pi, et le mot de passe raspberry.

Puis il nous faudra configurer le système d'exploitation et cela avec la commande : **sudo raspi-config**.

Nous allons ensuite nous rassurer que le système soit étendu sur toute la carte SD, et cela avec la commande : **Expand Filesystem** en ligne de commande. Le système va faire des ajustements nécessaires et tout est fin prêt. Les manipulations pour le

changement de clavier, changement de langue et autres peuvent s'opérer facilement à cette étape.

Il est important de changer le mot de passe, car celui entré pendant l'installation n'est qu'un mot de passe par défaut. Cela se fait par la commande « **Change User Password** »

Ensuite il faudra activer le SSH pour nous permettre d'accéder à la RPI à distance. Une fois cette étape réussie, nous mettons à jour le système d'exploitation. Il faudra juste quelques lignes de commandes pour réaliser cette tâche : **'sudo apt update -y && sudo apt upgrade -y && sudo reboot'**. Donc par cette ligne, nous recherchons les mises à jour, les installons et redémarrons la RPI. Ainsi donc la RPI est fin prête pour la suite du projet.

#### 4.4.3 Configurer la RPI comme routeur

Ouvrir le logiciel PuTTY et se connecter à la RPI en ligne de commande avec son adresse IP. Le nom d'utilisateur par défaut est pi et le mot de passe est raspberry, mais pour des raisons de sécurité, ce mot de passe a été changé pour un mot de passe personnel. Puis nous allons rechercher les mises à jour et les installer par les commandes suivantes :

- **sudo apt-get update**
- **sudo apt-get upgrade**

Pour réussir notre démarche, il nous faut installer des protocoles de communication, en occurrence le protocole ppp (Point to Point Protocol) qui est un protocole de transmission des informations sur le réseau internet, fournissant des méthodes normalisées sur le transport du datagramme multi-protocoles, obéissant à la norme RFC1661, et faisant partir de la couche numéro 2 du modèle OSI[66, 67].

La commande pour installer ce protocole est :

- **sudo apt-get install ppp**

nous configurons ensuite un agent, appelé sakis3g qui va nous permettre de nous connecter au réseau 3G et gérer les communications. Pour cela, il faut le télécharger avec la commande suivante :

- **wget <http://raspberry-at-home.com/files/sakis3g.tar.gz>**
- **sudo mkdir /usr/bin/modem3g (création d'une archive nommée modem3g pour y placer le fichier sakis3g précédemment téléchargé qui sera stocké dans usr/bin)**
- **sudo chmod 777 /usr/bin/modem3g**
- **sudo cp sakis3g.tar.gz /usr/bin/modem3g (on copie l'archive dans modem3g)**
- **cd /usr/bin/modem3g (on se positionne sur le répertoire)**
- **sudo tar -zxvf sakis3g.tar.gz (on extrait l'archive qui contient sakis3g)**
- **sudo chmod +x sakis3g (nous lui donnons des droits d'exécution pour son utilisation)**

Une fois tous ces éléments téléchargés, il nous faudra ensuite configurer la RPI, et donc aller dans le fichier de configuration avec la commande :

- **Sudo nano /etc/sakis3g.conf**

Il faut créer un fichier que nous allons nommer sakis3g.conf que nous allons sauvegarder dans etc/, puis renseigner les informations de TELUS internet.

```
APN="celui de TELUS"
APN_USER=""
APN_PASS=""
```

A cette étape, nous pouvons nous connecter à la station de base avec la commande

- **sudo ./sakis3g connect info**

Nous aurons affiché l'ID de l'opérateur, le nom de l'opérateur, et l'APN, ainsi que d'autres informations comme l'adresse IP, le masque et la passerelle une fois tous les paramètres bien renseignés.

Donc s'achève la phase de connexion de la RPI à internet via une station de base et passant par une clef 3G. il nous faut ensuite configurer pour qu'il fonctionne comme un routeur. Nous allons encore installer :

- **sudo apt-get install iptables dnsmasq wvdial usb-modeswitch hostapd iw**

**IPTABLES:** il s'agit d'un logiciel libre basé sur linux utilisant le protocole IPv4, il est particulièrement important pour paramétrer les règles de pare-feu.

**DNSMASQ :** ce serveur va se charger de donner des services comme le DHCP, DNS

**WVDIAL :** qui est utilitaire qui va nous permettre de se connecter au réseau internet en utilisant notre clef internet comme modem.

**USB-MODSWITCH :** il permet de changer le mode d'utilisation de la clef internet en modem.

**HOSTAPD:** permet la création d'un point d'accès wifi, et IW pour la gérer.

#### ➤ **Configuration du WVDIAL**

Pour procéder à la configuration, nous avons utilisé la commande sur suivante :

- **sudo nano /etc/wvdial.conf**

La page suivante va s'afficher

```

pi@raspberrypi: ~
GNU nano 2.7.4 File: /etc/wvdial.conf

[Dialer Defaults]
Init1 = ATZ
Init2 = ATQ0 V1 E1 S0=0 &C1 &D2 +FCLASS=0
Modem Type = Analog Modem
Baud = 9600
New PPPD = yes
Modem = /dev/ttyUSB2
ISDN = 0
; Phone = <Target Phone Number>
; Password = <Your Password>
; Username = <Your Login Name>

[ Read 12 lines ]
^G Get Help ^O Write Out ^W Where Is ^K Cut Text ^J Justify ^C Cur Pos
^X Exit ^R Read File ^\ Replace ^U Uncut Text ^T To Spell ^_ Go To Line

```

*Figure 36: Configuration wvdial*

Dans la page de la figure 36, il faut renseigner les informations comme le numéro de téléphone, tout en spécifiant un nom d'utilisateur et un mot de passe. Puis control x pour enregistrer les modifications.

### ➤ Configuration de la RPI en mode routeur

Cela se fait avec la commande : *sudo nano /etc/dnsmasq.conf*

```

pi@raspberrypi: ~
GNU nano 2.7.4 File: /etc/dnsmasq.conf
# Configuration file for dnsmasq.
#
# Format is one option per line, legal options are the same
# as the long options legal on the command line. See
# "/usr/sbin/dnsmasq --help" or "man 8 dnsmasq" for details.
#
# Listen on this specific port instead of the standard DNS port
# (53). Setting this to zero completely disables DNS function,
# leaving only DHCP and/or TFTP.
#port=5353
#
# The following two options make you a better netizen, since they
# tell dnsmasq to filter out queries which the public DNS cannot
# answer, and which load the servers (especially the root servers)
# unnecessarily. If you have a dial-on-demand link they also stop
# these requests from bringing up the link unnecessarily.
#
# Never forward plain names (without a dot or domain part)
#domain-needed
[ Read 670 lines ]
^G Get Help  ^O Write Out  ^W Where Is  ^K Cut Text  ^J Justify    ^C Cur Pos
^X Exit      ^R Read File  ^_ Replace   ^U Uncut Text ^T To Spell  ^_ Go To Line

```

*Figure 37: Page configuration routeur*

Nous allons ensuite mettre une passerelle LAN et WLAN, et pour cela il faut ajouter la ligne de commande suivante :

**domain-needed**

**bogus-priv**

**interface=eth0**

**dhcp-range=192.168.1.1,192.168.1.125,12h**

**interface=wlan0**

**dhcp-range=192.168.2.1,192.168.2.125,24h**

Après cette étape, la RPI est prête à fonctionner comme point d'accès.

Nous allons ensuite modifier le fichier de configuration des interfaces par la commande suivante :

**sudo nano /etc/network/interfaces**

Puis introduire les ligne de commande suivantes et enregistrer :

```
auto lo  
iface lo inet loopback
```

```
auto ppp0
```

```
iface ppp0 inet wvdial
```

```
auto eth0
```

```
iface eth0 inet static
```

```
address 192.168.1.1
```

```
netmask 255.255.255.0
```

```
auto wlan0
```

```
iface wlan0 inet static
```

```
address 192.168.2.1
```

```
netmask 255.255.255.0
```

```
hostapd /etc/hostapd/hostapd.conf
```

Ensuite modifier le fichier **sudo nano /etc/sysctl.conf**.

Il faut juste décommenter la ligne : *net.ipv4.conf.default.rp\_filter=1*, et c'est fait.

➤ Configuration du wlan

```
interface=wlan0  
driver=nl80211 #driver=rtl871xdrv
```

```
ssid= RaspberryPi
```

```
hw_mode=g
```

```
channel=6
```

```
macaddr_acl=0
```

**auth\_algs=1**

**ignore\_broadcast\_ssid=0**

**wpa=2**

**wpa\_passphrase= Cata1988**

**wpa\_key\_mgmt=WPA-PSK**

**wpa\_pairwise=TKIP**

**rsn\_pairwise=CCMP**

Ici les configurations sont terminées, notre RPI peut désormais se connecter à une station de base, se connecter à internet, et distribuer la connexion via les interfaces.

## **4.5 Installation et configuration de la ComBox**

### **4.5.1 Introduction**

Le ComBox a principal but le contrôle des performances des installations électriques hybrides en site isolé, ou au domicile et de gérer les systèmes de télécommunication. Il peut être utilisé comme data logger ou comme passerelle en utilisant la connexion RS485 ou le protocole TCP/IP. Mais pour le contrôle à distance, il nous une connexion au réseau internet, ce qui a fait l'objet d'utilisation de RPI comme routeur pour accéder à internet[63]. Dans cette phase, nous allons configurer le ComBox de manière à suivre les performances du site à distance au moyen d'un navigateur web.

### **4.5.2 Les outils nécessaires**

En admettant que l'emplacement du ComBox est connu, et que l'installation a déjà été faite au mur, les outils nécessaires sont :

- Une unité ComBox
- Le guide de démarrage

- Les connecteurs Modbus RS485
- Câbles Ethernet
- Un ordinateur
- Un navigateur web
- Une RPI connecté à internet
- Un switch

#### **4.5.3 Connexion au réseau Ethernet**

La RPI étant connecté à internet, via la clef USB 3G/4G, nous avons connecté un Hub à la RPI via un câble RJ45, ensuite connecté le ComBox à l'un des ports RJ45 du Hub, le PC lui aussi connecté au Hub. Puis nous assurer que le ComBox a sa version du firmware à jour, sinon le mettre à jour avant toute configuration.

Ensuite, aller dans le menu de configuration de la ComBox, puis paramètres, puis portail web Conext Insight, puis activer le transfert de données vers Conext Insight, cette phase est très importante si nous voulons recevoir les données de production d'énergie sur le site web distants. Enregistrer les réglages. Pour se rassurer de la configuration, il faut cliquer sur le bouton test. Il doit signaler un crochet vert pour indiquer que tout fonctionne correctement. Puis on va ensuite se connecter au site distant avec nos paramètres de connexion, sinon faire un nouvel enregistrement.

Connexion



langue :  English ▼

email :

mot de passe :

souviens-toi de moi

[Mot de passe oublié](#) | [Nouvel enregistrement](#) | [Try now](#)



Recommended browser: Google Chrome 31 ++, Firefox 34 ++, IE 10 ++ onwards.

*Figure 38: Nouvel enregistrement conext insight*

La page d'enregistrement se presente comme suit :

## Enregistrement d'un nouvel utilisateur

\* Ces champs sont requis

|   |  |
|---|--|
| <p>préfixe : <input type="text" value="- Sélectionnez Tout -"/></p> <p>prénom : * <input type="text"/></p> <p>nom de famille : * <input type="text"/></p> <p>Nom de l'organisation : <input type="text"/></p> <p>Type d'utilisateur : * <input type="text" value="- Sélectionnez Tout -"/></p> <p>email : * <input type="text"/></p> <p>mot de passe : * <input type="text"/></p> <p><small>Mot de passe doit contenir atleast 1 alphabet dans le capital et 1 numérique et un minimum de six lettres .</small></p> <p>Confirmez le mot de passe : * <input type="text"/></p> <p>question de sécurité : * <input type="text" value="- Sélectionnez Tout -"/></p> <p>réponse : * <input type="text"/></p> <p>question de sécurité : * <input type="text" value="- Sélectionnez Tout -"/></p> <p>réponse : * <input type="text"/></p> | <p>téléphone : * <input type="text"/> <input type="text"/></p> <p>mobile : <input type="text"/></p> <p>adresse : <input type="text"/></p> <p>ville : * <input type="text"/></p> <p>état : <input type="text"/></p> <p>pays : * <input type="text" value="- Sélectionnez Tout -"/></p> <p>Code postal : <input type="text"/></p> <p>Installer /<br/>Nom de l'organisation <input type="text"/></p> <p>Installer /<br/>organisation Site Web <input type="text"/></p> <p><input type="text" value="Entrez le code affiché dans l'image"/></p> <p style="background-color: #008000; color: white; padding: 2px; display: inline-block;">75369</p> <p>code de vérification de mal, S'il vous plaît essayer à nouveau.</p> <p>* <input type="checkbox"/> J'ai lu, compris et accepté à l' <a href="#">Conditions d'utilisation</a> et l' <a href="#">Protection des données Déclaration</a></p> <p><input type="checkbox"/> Je souhaite recevoir les mises à jour et les nouveaux produits de Schneider Electric.</p> |
|---|--|

**Figure 39: Nouvel enregistrement web portal ComBox**

Il suffira juste de renseigner les informations nécessaires pour la création du compte et enregistrer les modifications. Après quoi nous recevoir un message de confirmation si tout est ok comme suit :

Confirm

---

Registration is successful.Please check Email for activation details.

**Figure 40: Confirmation d'enregistrement Conext Insight**

Il vous faudrait valider l'enregistrement par courriel. Pour suivre les performances du site, il faut renseigner au préalable l'adresse Mac exacte de la ComBox sur le site web. Si tout est correct il faut se connecter sur le site de Schneider Electric. Nous pourrons alors voir les performances du site comme suit :



**Figure 41: Sommaire de production avec conext Insight en mode démo**

Nous pouvons voir une historique de production et consommation d'électricité en temps réel sur le site par jour. On voit l'énergie produite par le solaire, le minimal et le maximal. Ensuite nous voyons également la charge électrique, le maximum consommé pendant cette journée.

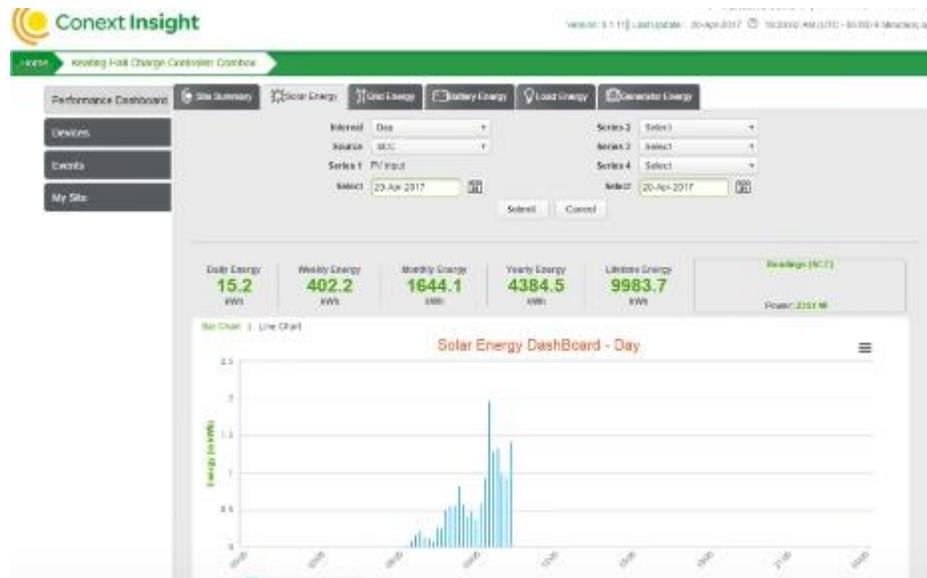
Nous pouvons entre autres ajouter, un ou plusieurs sites que nous voulons contrôler simultanément.

Pour se faire, il faut renseigner les informations suivantes :

- Choisir le type d'appareil à surveiller, par exemple le ComBox
- Le nom du site
- La date de mise en service du site
- La taille des panneaux solaires
- La taille des batteries
- La taille des onduleurs

- L'adresse du site est connue ou importée directement via une carte géographique disponible en ligne.

Nous pouvons également apercevoir d'autres informations comme l'état d'ensoleillement du site. Voir la figure ci-dessous



**Figure 42: Ensoleillement du site en temps réel**

De cela nous pouvons analyser et savoir sur l'état de production des panneaux solaires.

Plus encore nous pouvons avoir les informations détaillées sur les batteries, leurs comportements, l'état de charge et de décharge.



*Figure 43: Consommation énergétique batteries*

Le ComBox est équipé d'un système de stockage qui permet de sauvegarder ces données, mais la capacité de stockage est très limitée, et l'accès à ces informations s'avèrent très complexe. La figure ci-dessous fait état de la présence d'une carte mémoire micro SD disponible dans le ComBox avec ses caractéristiques.



*Figure 44: carte micro SD combox*

Etant donné nous voulons les informations en temps réel et peu coûteuse, nous avons profité de la flexibilité de la RPI en y programmant un système de data logger accessible à distance via les logiciels open source. Dans la partie qui suit, nous allons nous présenter les procédures de programmation et les résultats obtenus.

## **4.6 Le stockage des données**

### **4.6.1 Les options de stockage de la RPI**

La RPI a des options de stockage local et une option de stockage à distance, puisqu'il s'agit d'un mini-ordinateur. Donc elle a la faculté de sauvegarder, écrire et lire dans les fichiers. Le stockage local est semblable à celui du Conext ComBox, donc pas utile de s'attarder là-dessus.

### **4.6.2 Le stockage à distance**

Le système de stockage à distance suppose que les informations sont transmises à un autre système pour la sauvegarde, et ces systèmes doivent être connectés pour la transmission de données, au moyen des logiciels. De ce fait, nous nous proposons de sauvegarder nos données avec un serveur de base de données. Nous pouvons aussi utiliser le cloud comme option de sauvegarde mais il est payant, alors pourquoi payer si nous pouvons l'avoir gratuit.

### **4.6.3 Installation du serveur de base données constitué d'Apache, MySQL et PHP**

- **MySQL** : il s'agit d'un puissant logiciel de base de données open source, c'est-à-dire que tout le monde peut l'utiliser gratuitement, très convoité pour sa robustesse aussi. C'est un logiciel qui fonctionne en mode client-serveur. Pour réussir l'installation de MySQL sur la RPI, nous devons être connecté à internet et l'installation pourra se faire en ligne de commande. Pour cela, il faut tout d'abord commencer par la mise à jour avec la commande.

**Sudo apt-get update**

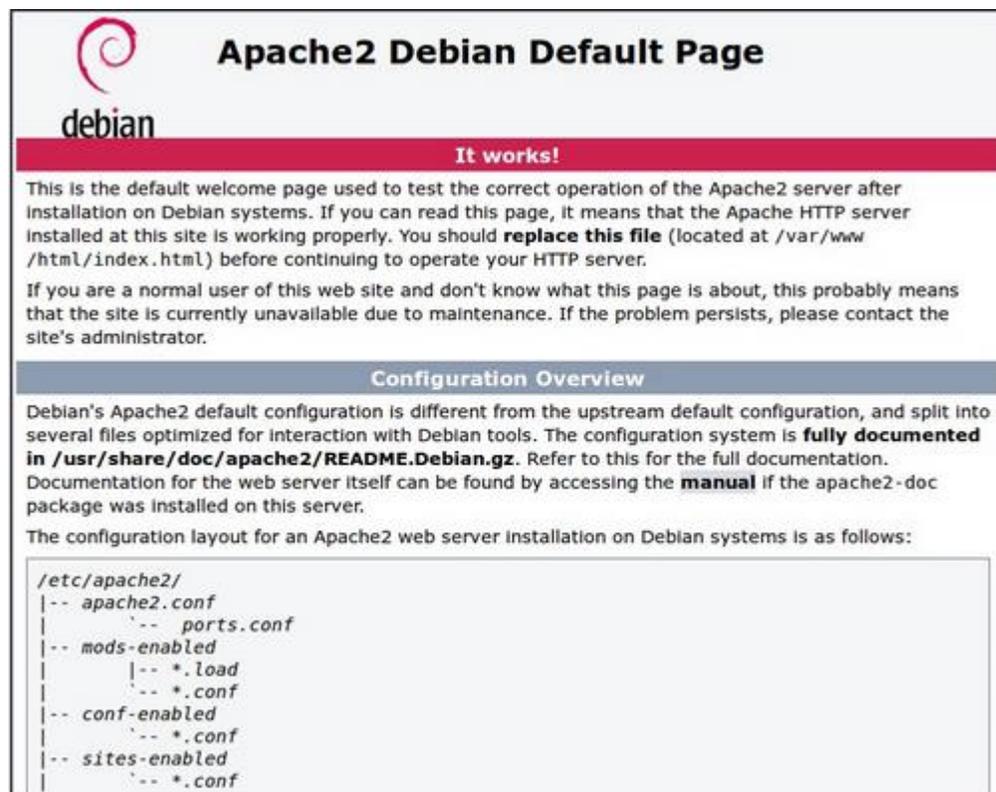
**Sudo apt-get upgrade**

### Sudo apt-get install MySQL-server

Dans notre cas, le serveur MySQL étant déjà installé, cette procédure ne sera pas considérée à cette étape. L'interface de configuration de MySQL peut être obtenu à partir de phpmyadmin qui est logiciel de gestion de base de données, sera installé comme suit.

**Sudo apt-get install phpMyAdmin**, une installation aussi déjà faite dans le passé. Dans la suite il faut installer apache, qui est un serveur web pour faciliter notre accès au site distant via une interface web.

### Sudo apt-get install apache2



*Figure 45: Page web confirmation d'installation d'apache*

Cette page sera modifiée à la convenance pour notre site web. Nous pouvons accéder à MySQL via phpmyadmin à partir du lien suivant : <http://192.168.1.1/phpmyadmin/index.php>

192.168.1.1/phpmyadmin/index.php

Capture Reference

**phpMyAdmin**

**Bienvenue dans phpMyAdmin**

Langue - Language

Français - French

Connexion ?

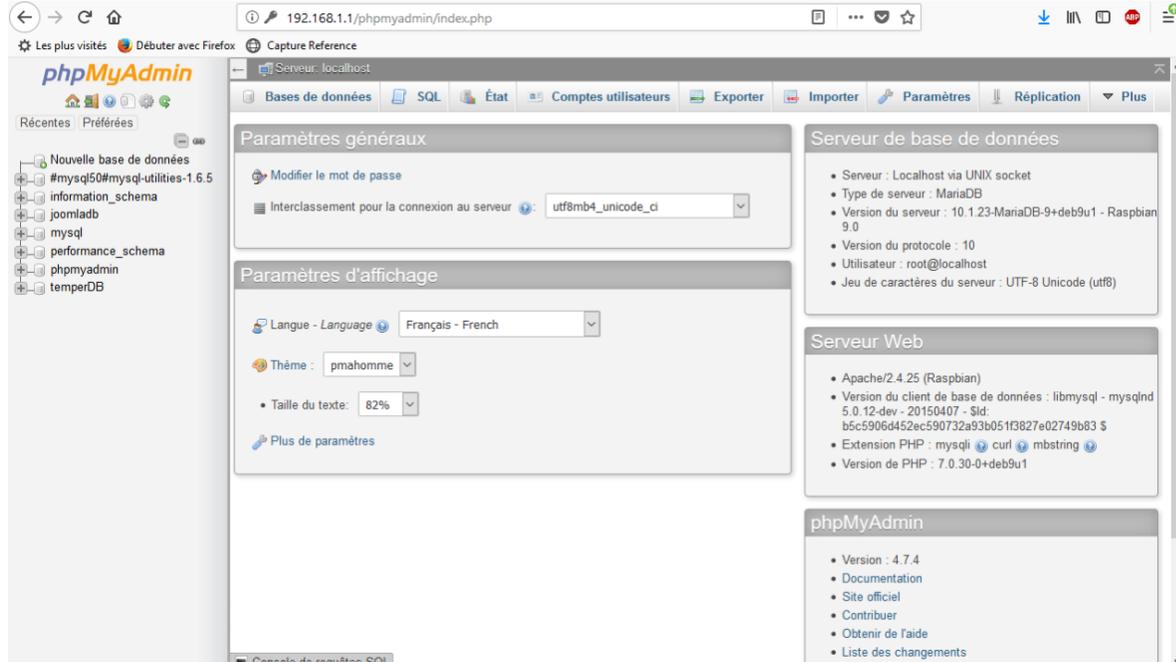
Utilisateur : root

Mot de passe : .....

Exécuter

*Figure 46: page de connexion phpmyadmin*

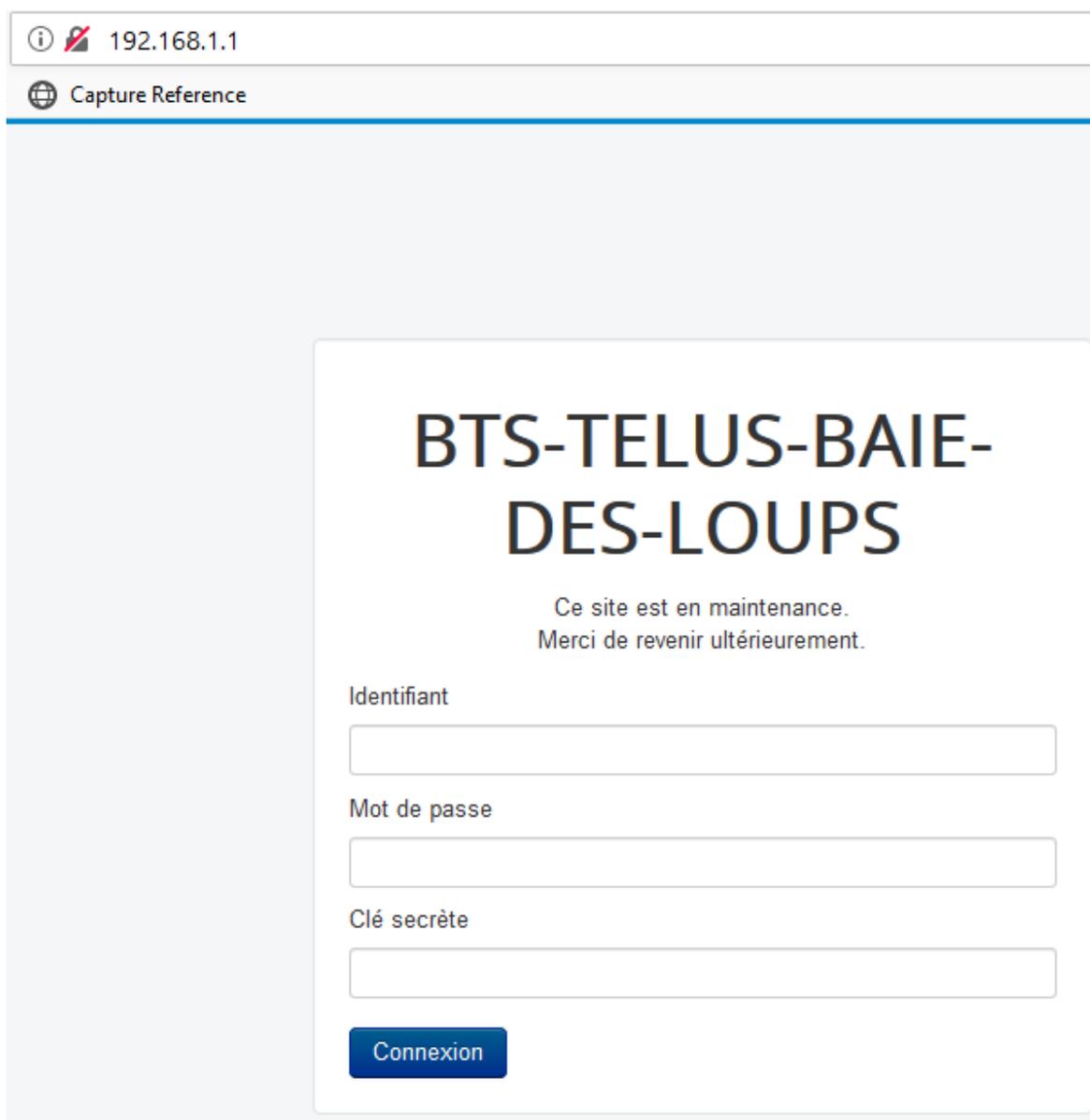
Il faudra alors renseigner les informations de connexion, login et mot de passe créés lors de l'installation.



**Figure 47:page d'accueil phpmyadmin**

La base de données étant disponible, nous pouvons ensuite créer une page web personnalisée propre à notre site. Le site en local est rendu disponible à l'adresse <http://192.168.1.1/>

Là une fois de plus il faut renseigner les informations de connexion pour se logger.



The image shows a browser window with the address bar displaying '192.168.1.1' and the page title 'Capture Reference'. The main content area features a white box with the following text and form elements:

# BTS-TELUS-BAIE-DES-LOUPS

Ce site est en maintenance.  
Merci de revenir ultérieurement.

Identifiant

Mot de passe

Clé secrète

[Connexion](#)

C'est sur cette page que nous pourrons transférer les données pour la sauvegarde.

192.168.1.1

Débuter avec Firefox Capture Reference

# BTS-TELUS-BAIE-DES-LOUPS

## Home

Vous êtes ici : Accueil

### Main Menu

- Home
- Contact

### Login Form

Bonjour, Super User

[Déconnexion](#)

© 2018 BTS-TELUS-BAIE-DES-LOUPS [Haut de page](#)

Ici c'est la page vue coté client. Le coté administrateur est obtenu et contrôlé via le logiciel Joomla, qui est CMS de création de site web gratuit.

Nous pourrons voir par exemple la page contact mise à jour via l'interface d'administration

# BTS-TELUS-BAIE-DES-LOUPS

## TELUS

### Contact

**Fonction:** Administrateur



225 Rue Saint Jean Baptiste E  
Rimouski  
QC  
G5L1Y7  
Canada  
+15144515337  
<http://www.telus.ca>

[Formulaire de Contact](#)

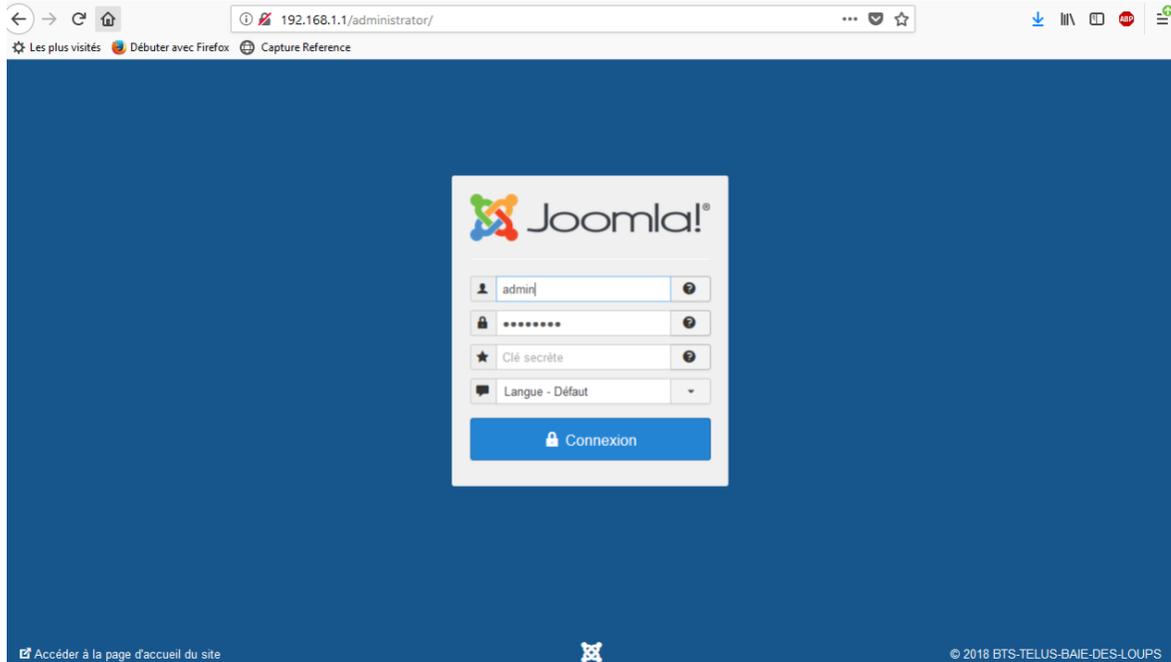
### Main Menu

- Home
- Contact

### Login Form

Bonjour, Super User

[Déconnexion](#)



*Figure 48: Page d'administration page web via joomla*

Une fois connecté en mode administrateur, nous pouvons apporter les modifications à notre page web.

## CONCLUSION GÉNÉRALE

Les stations de télécommunications en sites isolés, représentent une pierre angulaire de liaison entre les populations de ces régions et celles vivant dans les villes. L'électricité traditionnelle étant inaccessible, les énergies renouvelables sont des solutions les plus prometteuses, surtout lorsqu'elles sont combinées ensemble. La gestion d'un tel système est d'autant plus rentable s'il contrôlé en temps réel.

C'est dans cette perspective que nous avons fait cette étude pour l'alimentation d'une station de télécommunication en zone isolée.

Nous avons commencé par une revue littéraire, qui nous a permis comprendre la situation des sites isolé au Canada, les sources d'énergies y existantes, les problèmes liés à leur électrification, question de nous situer l'intérêt de cette étude. Nous avons pu constater que la majorité des sites isolés où l'électricité traditionnelle n'est pas disponible sont alimentées par des sources d'énergies fossiles, de même pour les stations de télécommunications.

Afin de proposer une simulation optimale du système hybride de production d'énergie, nous avons fait une étude sur les caractéristiques techniques du site, l'étude nous a permis de comprendre le principe général de fonctionnement d'une station de base et les principaux éléments constitutifs, qui permet de savoir ou de prévoir la consommation électrique approximative de chaque composant.

Connaissant les besoins en énergie électrique du site, connaissant aussi les données météo, vient l'étude de la faisabilité avec le logiciel HOMER, qui consiste à trouver le bon compromis entre la production électrique et la charge, surtout le nombre de GC nécessaires pour le site, les coûts opérationnels, l'étude de la sensibilité liée aux variations des prix de carburant par exemple.

La proposition d'un système de supervision. Outre le résultat obtenu, l'étude a montré que l'implémentation d'un système de supervision et de contrôle fait un très bon compromis, nous avons pu remarquer pour un cout quasiment nul, basé sur des logiciel open source, nous pouvons réduire significativement les frais d'implémentation d'un tel système.

### **Travaux Futurs**

L'absence des caractéristiques des panneaux solaires, éoliennes et batteries dans le logiciel HOMER, ne nous a pas permis d'optimiser nos résultats. Il serait important à l'avenir que HOMER puisse prendre en compte ces caractéristiques pour nous puissions faire une validation expérimentale

## **RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

1. Park, J. *A smart factory operation method for a smart grid*. in *The 40th International Conference on Computers & Industrial Engineering*. 2010.
2. Moussavi-Harami, S.F., et al., *Characterization of molecules binding to the 70K N-terminal region of fibronectin by IFAST purification coupled with mass spectrometry*. *J Proteome Res*, 2013. **12**(7): p. 3393-404.
3. <https://www.canada.ca/fr/services-autochtones-canada/services/carrieres-soins-infirmiers/vie-communaute-eloignee-ou-isolee/vie-communaute-eloignee-ou-isolee-premieres-nations.html> consulté le 30 mars 2018.
4. IBRAHIM, H., *ETUDE ET CONCEPTION D'UN GENERATEUR HYBRIDE D'ELECTRICITE DE TYPE ÉOLIEN-DIESEL AVEC ÉLÉMENT DE STOCKAGE D'AIR COMPRIMÉ*. THÈSE PRÉSENTÉE À L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI COMME EXIGENCE PARTIELLE AU DOCTORAT EN INGÉNIERIE, juin 2010.
5. Jenkyn, L.R., et al., *Remission of the Lambert-Eaton syndrome and small cell anaplastic carcinoma of the lung induced by chemotherapy and radiotherapy*. *Cancer*, 1980. **46**(5): p. 1123-7.
6. [http://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/canmetenergy/files/pubs/2013-118\\_fr.pdf](http://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/canmetenergy/files/pubs/2013-118_fr.pdf) consulté le 01 avril 2018.
7. Hayward, M.L., Jr., et al., *Hypercalcemia complicating small-cell carcinoma*. *Cancer*, 1981. **48**(7): p. 1643-6.
8. Ibrahim, H., et al., *Study and design of a hybrid wind–diesel-compressed air energy storage system for remote areas*. *Applied Energy*, 2010. **87**(5): p. 1749-1762.
9. [http://centrehelios.org/downloads/studies\\_energies\\_reouvelables/rapport\\_HQ\\_reseaux\\_autonomes.pdf](http://centrehelios.org/downloads/studies_energies_reouvelables/rapport_HQ_reseaux_autonomes.pdf) consulté le 03 avril 2018.
10. Hussein IBRAHIM, M.D., Adrian ILINCA, J PERRON, *Système hybride éolien-diesel avec stockage d'air comprimé pour l'électrification d'une station de télécommunications isolée*. *European Journal of Electrical Engineering, EJEE*, 2009. **12/5** p. 701-731.
11. Lipman, N.H., *Overview of Wind/Diesel Systems*. Rutherford Appleton Laboratory, 1994.
12. Shoeb, M.A., et al. *Analysis of remote PV-diesel based hybrid minigrid for different load conditions*. in *2016 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT-Asia)*. 2016.
13. Manasse, F.K., *Comparaison of Costs for Solar Electric Sources with Diesel Generators in Remote Locations*. *Revue de Physique Appliquée*, 1980. **T.15, N°3**.
14. Ismail, M., et al. *Optimal configuration of Hybrid Renewable Energy System for remote areas of Balochistan*. in *17th IEEE International Multi Topic Conference 2014*. 2014.
15. Hunter R., E.G., *Wind-Diesel Systems: A Guide to the Technology and its Implementation*. Cambridge University Press, 1994: p. 264.

16. Lazarov, V., et al., *Hybrid Power Systems with Renewable Energy Sources – Types, Structures, Trends for Research and Development*. 2005.
17. Ibrahim, H., et al. *Modeling and simulation of a novel small-scale compressed air hybrid system for stand-alone off-grid applications*. in *2013 IEEE Electrical Power & Energy Conference*. 2013.
18. Chahinian, A.P., et al., *Small cell anaplastic carcinoma of the lung. The Cancer and Leukemia Group B Experience*. *Bull Cancer*, 1982. **69**(1): p. 79-82.
19. Eagan, R.T., et al., *Combination chemotherapy and radiation therapy in small cell carcinoma of the lung*. *Cancer*, 1973. **32**(2): p. 371-9.
20. [http://www.vision-solaire.com/Documents/CanSIA\\_Vision\\_du\\_Solaire\\_2025.pdf](http://www.vision-solaire.com/Documents/CanSIA_Vision_du_Solaire_2025.pdf) consulté le 10 avril 2018.
21. Hoefnagel, D., et al., *Retinoblastoma followed by acute lymphoblastic leukemia*. *Lancet*, 1973. **1**(7805): p. 725.
22. Ilinca, A., *Cours énergies renouvelables*. UQAR, 2017.
23. Maurer, L., [*The electroencephalogram in children*]. *Kinderarztl Prax*, 1951. **19**(8): p. 375-85.
24. Brinck-Johnsen, T., et al., *Estrogen production by an established cell line from pulmonary small cell anaplastic-carcinoma*. *J Steroid Biochem*, 1979. **10**(3): p. 339-40.
25. <https://canwea.ca/fr/news-release/2017/12/14/le-programme-deelectricite-renouvelable-de-lalberta-permis-dobtenir-le-prix-le-plus-bas-de-lenergie-eolienne-jamais-vu-au-canada/> consulté le 10 avril 2018.
26. [http://www.regie-energie.qc.ca/audiences/3526-04/MemoiresParticip3526/Memoire\\_CCVK\\_30\\_Chapitre2.pdf?id\\_article=186](http://www.regie-energie.qc.ca/audiences/3526-04/MemoiresParticip3526/Memoire_CCVK_30_Chapitre2.pdf?id_article=186) consulté le 10 avril 2018.
27. contributors, W., Diesel generator [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Diesel\\_generator&oldid=833080039](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Diesel_generator&oldid=833080039) Online; accessed 11-April-2018, 2018.
28. Quebec, H., <http://www.hydroquebec.com/comprendre/autres-sources/fossile.html>. Online; accessed 11-April-2018, 2018.
29. Hydro-Québec, Réseaux autonomes d'Hydro-Québec [http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=R%C3%A9seaux\\_autonomes\\_d%27Hydro-Qu%C3%A9bec&oldid=131622126](http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=R%C3%A9seaux_autonomes_d%27Hydro-Qu%C3%A9bec&oldid=131622126). Wiki pedia, 2018, Avril 7. **Page consultée le Avril 7, 2018.**
30. Quebec, H., <http://www.hydroquebec.com/data/affaires/pdf/aff-reseaux-autonomes-fevrier2017-fr.pdf> consulté le 11 avril 2018. 2017.
31. BOGRE, G.R., *Installation et mise en service d'un groupe electrogene de 550kva a l'ONATEL ZAD*. Ecole Supérieure Polytechnique de Kaya - DUT 2012, 2012.
32. Akinyele, D.B., J. Levron, Y., *Battery Storage Technologies for Electrical Applications: Impact in Stand-Alone Photovoltaic Systems*. *Energies* 2017. **10**(1760).
33. Landry, M. and Y. Gagnon, *Energy Storage: Technology Applications and Policy Options*. *Energy Procedia*, 2015. **79**: p. 315-320.
34. Maurer, L.H., et al., *Lymphocyte transformation observed in sulfamylon agranulocytosis*. *Plast Reconstr Surg*, 1970. **46**(5): p. 458-62.

35. Dunn, B., H. Kamath, and J.-M. Tarascon, *Electrical Energy Storage for the Grid: A Battery of Choices*. Vol. 334. 2011. 928-35.
36. Maurer, L.H., et al., *Combination chemotherapy and radiation therapy for small cell carcinoma of the lung*. *Cancer Chemother Rep* 3, 1973. **4**(2): p. 171-6.
37. Zaki, Y., *Future Mobile Communications - LTE Optimization and Mobile Network Virtualization*. Advanced Studies Mobile Research Center Bremen, 2013.
38. Wikipédia, *Global System for Mobile Communications*. 2018.
39. Phil. *Bien choisir son modèle de Raspberry Pi: consulté en ligne le 30 juillet 2018*. 2015; Available from: <http://raspberrypis.net/bien-choisir-son-modele-de-raspberry-pi/>.
40. LYONS, I., *Amazing Beginners Guide on How to Start Using Raspberry Pi* 2015.
41. Paudel, S., et al. *Optimization of hybrid PV/wind power system for remote telecom station*. in *2011 International Conference on Power and Energy Systems*. 2011.
42. ANI, V.A., *ENERGY OPTIMIZATION AT GSM BASE STATION SITES LOCATED IN RURAL AREAS*. University of Nigeria, FACULTY OF ENGINEERING, juillet 2015.
43. H. Ibrahim, A.I., R. Younes, J. Perron and T. Basbous, *Study of a Hybrid Wind-Diesel System with Compressed Air Energy Storage*. IEEE Canada Electrical Power Conference, Montreal, 2007: p. 320-325.
44. Hasan, Z., H. Boostanimehr, and V.K. Bhargava, *Green Cellular Networks: A Survey, Some Research Issues and Challenges*. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2011. **13**(4): p. 524-540.
45. Wu, J., et al., *Energy-Efficient Base-Stations Sleep-Mode Techniques in Green Cellular Networks: A Survey*. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2015. **17**(2): p. 803-826.
46. Olatomiwa, L.J., S. Mekhilef, and A.S.N. Huda. *Optimal sizing of hybrid energy system for a remote telecom tower: A case study in Nigeria*. in *2014 IEEE Conference on Energy Conversion (CENCON)*. 2014.
47. Alsharif, M.H., R. Nordin, and M. Ismail, *Energy optimisation of hybrid off-grid system for remote telecommunication base station deployment in Malaysia*. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2015. **2015**(1): p. 64.
48. Alsharif, M. and J. Kim, *Hybrid Off-Grid SPV/WTG Power System for Remote Cellular Base Stations Towards Green and Sustainable Cellular Networks in South Korea*. *Energies*, 2017. **10**(1): p. 9.
49. Mulualet T. Yeshalem, B.K., *Design of an off-grid hybrid PV/wind power system for remote mobile base station: A case study*. *AIMS Energy*, 2017. **5**(1): p. 96.
50. Alsharif, M., J. Kim, and J. Hong Kim, *Green and Sustainable Cellular Base Stations: An Overview and Future Research Directions*. Vol. 10. 2017. 587.
51. ATI, *GreenCube, Hybrid Renewable Energy Power Supply for Railway Equipement in Remote Sites*. Technical and Commercial Proposal, Rimouski Qc Canada, 2017.
52. <https://www.eolienne-particulier.info/eolienne-hybride/> consulté le 20 Mai 2018.
53. Zhou, W., H. Yang, and Z. Fang, *A novel model for photovoltaic array performance prediction*. *Applied Energy*, 2007. **84**(12): p. 1187-1198.

54. Kassam, A., *HOMER Software: Training Guide for Renewable Energy Base Station Design*. GSMA Green Power for Mobile, Mai 2010.
55. Kim, M.H.A.J., "Optimal Solar Power System for Remote Telecommunication Base Stations: A Case Study Based on the Characteristics of South Korea's Solar Radiation Exposure. *Sustainability*, MDPI, Open Access Journal, 2016. **8-9**: p. 1-21, septembre.
56. Lamont, E.B., et al., *Differences in clinical trial patient attributes and outcomes according to enrollment setting*. *J Clin Oncol*, 2010. **28**(2): p. 215-21.
57. <http://www.revenuquebec.ca/fr/a-propos/pen-inter/creance.aspx> consulte le 30 juin 2017.
58. Wikipédia, *Système d'acquisition de données* [http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Syst%C3%A8me\\_d%27acquisition\\_de\\_donn%C3%A9es&oldid=109088737](http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Syst%C3%A8me_d%27acquisition_de_donn%C3%A9es&oldid=109088737). En ligne; Page disponible le 13-novembre-2014, 2014.
59. Wikipédia, *Chaîne d'acquisition* [http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Cha%C3%Aene\\_d%27acquisition&oldid=142786395](http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Cha%C3%Aene_d%27acquisition&oldid=142786395) En ligne; Page disponible le 20-novembre-2017. 2017.
60. PERMANENTE, L.E., <https://www.usinenouvelle.com/expo/systemes-d-acquisition-de-donnees-o1824.html> consulté en ligne le 29 juillet 2018. 2018.
61. Nikhade, S.G. *Wireless sensor network system using Raspberry Pi and zigbee for environmental monitoring applications*. in *2015 International Conference on Smart Technologies and Management for Computing, Communication, Controls, Energy and Materials (ICSTM)*. 2015.
62. Electric, S., <https://solar.schneider-electric.com/product/conext-combox/>. 2018.
63. WHOLESALE and SOLAR, <https://www.wholesalesolar.com/cms/schneider-conext-combox-manual-676039452.2430067.pdf>. 2013.
64. Foundation, P.S. *The Python Tutorial — Python 3.7.0 documentation*. 2018; Available from: <https://docs.python.org/3/tutorial/index.html>.
65. Rosebrock, E. and E. Filson, *Setting Up LAMP: Getting Linux, Apache, MySQL, and PHP Working Together*. 2004.
66. <http://abcdrfc.free.fr/rfc-vf/rfc1661.html> consulté le 15 aout 2018.
67. Wikipédia, *Point-to-Point Protocol*: En ligne; Page disponible le 7-février-2017. 2017.