



## Conception de système de pilotage de centrale hybride PV/Diesel sans stockage d'énergie.

### MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT – INGENIEUR ZIE OPTION : ENERGIE ET PROCEDES INDUSTRIELS.

Présenté et soutenu publiquement le 14 juin 2011 par

**SANKARA Moussa**

Travaux dirigés par : **Dr. Yao AZOUMAH**

**M. Henri KOTTIN**

**M. Daniel YAMEGUEU**

#### Jury d'évaluation du mémoire :

Présidente : **Dr. Mariam Sido PABYAM**

Membres et correcteurs : **Dr. Yao AZOUMAH**

**M. Henri KOTTIN**

## **REMERCIEMENTS**

Je n'aurais sans doute pas pu réussir cette formation, sans le concours et l'assistance des personnes bienveillantes ; qu'elles trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude. Je remercie particulièrement :

Monsieur Yao AZOUMAH, directeur du LESEE, mon directeur de mémoire, à qui je témoigne toute ma reconnaissance ; je formule, à son intention, mon vœu de réussite dans sa lourde mission ;

Monsieur Henri KOTTIN et Monsieur Daniel YAMEGUEU, mes encadreurs de stage, qui m'ont consacré leur temps et leur énergie ; je leur souhaite bon courage dans leur travaux en particulier de thèse pour ce qui est de monsieur Daniel ;

Toute l'équipe sympathique et disponible du LESEE ;

L'ensemble des stagiaires du LESEE ;

Tous ceux qui m'ont apporté leur aide

Ma famille et mes amis ont été les leviers qui m'ont permis d'atteindre mes objectifs ; soyez en remerciés et que Dieu vous bénisse.

## **RESUME**

L'étude réalisée porte sur la gestion des flux énergétiques au sein d'un système hybride autonome PV/Diesel sans stockage d'énergie. Il s'agit d'une optimisation énergétique en vue de mieux adapter le fonctionnement du système en site isolé. Cette étude s'est portée à cet effet sur l'automatisation du fonctionnement du système en vue de son pilotage automatique en élaborant des modules de programme. Pour mieux intégrer tous les aspects liés aux variations des flux énergétiques, une étude préalable a été faite sur les différents composants du système. Cette étude a permis de dégager les différentes contraintes liées à ces composants. Les modules de programme sont élaborés sur la base d'un système hybride composé d'un champ PV en série avec un onduleur, le tout en parallèle avec deux groupes électrogènes également en parallèles. Les équipements utilisés pour la conception du système sont de l'entreprise SIREA. Les modules de programme élaborés sont par conséquent fait dans les langages propres à ces équipement (langage Ladder et C). Il s'agit des programmes gérant le démarrage de la centrale, la gestion des charges et des groupes et l'arrêt du fonctionnement de la centrale.

**Mots Clés:** système hybride, groupe électrogène, langage Ladder, langage C, flux énergétiques.

## **ABSTRACT**

The study carried out deals with the management of the energy fluxes within an autonomous PV/Diesel hybrid system without storage of energy. The proposed energy optimization will permit a good operation of the system in isolated sites. This study treats for this purpose on automation of operation of the system for its automatic management by working out modules of program. For a better integrating of all the aspects related to the variations of the energy fluxes, a preliminary study was made on the various components of the system. This study permit to identify the different constraints related to these components. The hybrid system considered for this study is composed by a PV field in series with an inverter, the whole in parallel with two power generating units also in parallel. The equipments used for the systems design are from the SIREA Company. The elaborated program modules (programs managing the starting of the installation, the management of the loads and the diesel generator and the stop of the operation of the installation) are consequently made in the specific languages of these equipments (Ladder language and C).

**Key words:** hybrid system, power generating unit, Ladder language, language C, radiant energy fluxes.

## **LISTE DES ABREVIATIONS**

**LESEE : Laboratoire Energie Solaire et Economie d'Energie**

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

**GE : Groupe Electrogène**

**PV : Photovoltaïque**

**Ed : Energie demandée**

**PRP : Puissance Principale Disponible**

## SOMMAIRE

REMERCIEMENTS.....	I
RESUME.....	II
ABSTRACT .....	III
LISTE DES ABREVIATIONS .....	IV
SOMMAIRE .....	V
LISTE DES TABLEAUX .....	VII
LISTE DES FIGURES.....	VIII
<b>I. INTRODUCTION GENERALE.....</b>	<b>9</b>
I.1. Contexte de l'étude.....	9
I.2. Objectifs de l'étude.....	11
I.3. Méthodologie et organisation du travail.....	11
I.4. Présentation de la structure d'accueil : 2IE et LESEE .....	12
<b>II. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE .....</b>	<b>15</b>
II.1. Système hybrides PV/diesel .....	15
II.2. Les différentes configurations des systèmes hybrides PV/diesel .....	16
II.3. Problématiques de fonctionnement et automatisation .....	16
<b>III. CONCEPTION DU SYSTEME D'ACQUISITION DE DONNEES ET DE PILOTAGE.....</b>	<b>21</b>
III.1. Le système d'acquisition de données.....	21
III.2. Le système de pilotage.....	22
<b>IV. ELABORATION DES MODULES DE PROGRAMME. ....</b>	<b>38</b>
IV.1. Le GRAFCET.....	38
IV.2. Les algorithmes.....	39
IV.3. Le langage C associé au programme.....	48

IV.4.	les différents équipements pour une application au « flexy-energie ».....	48
IV.5.	recommandation .....	51
V.	SIMULATION DU PROGRAMME.....	52
V.1.	Matériels utilisés .....	52
V.2.	Mode opératoire .....	53
V.3.	Résultats .....	53
	CONCLUSION ET PERSPECTIVES .....	55
VI.	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	56
VII.	ANNEXES .....	57

## **LISTE DES TABLEAUX**

<b>Tableau 1: Accès à l'électricité dans le monde en 2009[1].....</b>	<b>9</b>
<b>Tableau 2 : Axes de recherche du LESEE .....</b>	<b>13</b>
<b>Tableau 3: Contraintes de fonctionnement et solutions existantes .....</b>	<b>18</b>
<b>Tableau 4: Caractéristiques de la centrale « Flexy-Energy ».....</b>	<b>24</b>
<b>Tableau 5: Contribution du groupe et du champ solaire à la satisfaction de la demande.....</b>	<b>24</b>
<b>Tableau 6: Différentes périodes pour le démarrage des groupes électrogènes.....</b>	<b>31</b>
<b>Tableau 7: Contraintes de fonctionnement des groupes (catalogue SDMO).....</b>	<b>31</b>
<b>Tableau 8: Gestion arrêt des groupes.....</b>	<b>32</b>
<b>Tableau 9: liste des équipements .....</b>	<b>49</b>
<b>Tableau 10: Connexions entre les équipements.....</b>	<b>50</b>

## LISTE DES FIGURES

Figure 1: Installation hybride PV/GE classique.....	15
Figure 2: Système hybride sans stockage et isolé du réseau.....	22
Figure 3 : variation du courant en fonction de l'ensoleillement d'un module PV[6].....	23
Figure 4: onduleur SUNNY BOY.....	25
Figure 5: Schéma simplifié d'un moteur Diesel[7].....	26
Figure 6 : Courbe de variation de la fréquence en fonction de la puissance appelée.....	26
Figure 7 : courbe de variation de la consommation en fonction de la puissance appelée.....	27
Figure 8 : consommation horaire groupe électrogène de 9.2 kW SDMO.....	27
Figure 9: profil de charge pour zone rurale.....	30
Figure 10: Contrôle manuel de la centrale.....	33
Figure 11: Transducteur CE-AJ.....	34
Figure 12: Schéma de connexion du transducteur.....	34
Figure 13: Automate programmable $\mu$ Arm.....	35
Figure 14: Schéma de raccordement de l'automate (voir schéma détaillé en annexe 4).....	36
Figure 15: Schéma global du système.....	37
Figure 16: Schéma synoptique.....	49
Figure 17: Banc d'essai.....	53
Figure 18: schéma de connexion de l'automate.....	58

## I. INTRODUCTION GENERALE

### I.1. CONTEXTE DE L'ETUDE

De récentes études ont montré qu'actuellement près de 2.2 milliards d'individus vivant sur des sites isolés ne sont pas raccordés aux grands réseaux d'électricité[1]. Ce qui rend problématique le développement de ces sites. Cette population est pour la plupart située dans les pays du tiers monde (voir tableau1). La forte croissance de la population prévue dans les années à venir devrait augmenter ces chiffres et donc les besoins en énergie. Des études réalisées estiment à environ deux milliards d'habitants en Afrique subsaharienne en 2050[2].

**Tableau 1: Accès à l'électricité dans le monde en 2009[1]**

	<b>Population n'accédant pas à l'électricité million</b>	<b>Taux d'électrificati on %</b>	<b>Taux d'électrification urbaine %</b>	<b>Taux d'électrific ation rural %</b>
Afrique	587	41.9	68.9	25.0
Afrique du nord	2585	99.0	99.6	98.4
Afrique subsaharienne		30.5	59.9	14.3
Pays développés d'Asie	799	78.1	93.9	68.8
Chine et Asie de l'Est	186	90.8	96.4	86.5
Asie de l'ouest	612	62.2	89.1	51.2
Amérique Latine	31	93.4	98.8	74.0
Moyen orient	22	89.5	98.6	72.2
Pays développés	1.438	73.0	90.7	60.2
Niveau mondial	1.441	78.9	93.6	65.1

La faible densité de la population associée au coût élevé de l'extension du réseau électrique fait des systèmes décentralisés de production d'énergie électrique la solution pour ces sites. C'est ainsi que l'utilisation des groupes électrogènes diesels s'est développée pour ces sites. Mais l'utilisation de ceux-ci s'est confrontée au coût élevé du prix du baril de pétrole qui ne cessera de croître, du fait de la ressource fossile en stock limité et la pollution engendrée par les gaz à effet de serre émis. Face à l'épuisement prévisible de la ressource fossile, et l'augmentation de l'effet de serre aux conséquences climatiques catastrophiques, il était donc impératif de trouver des solutions alternatives de ressources "durables. C'est ainsi que se sont développées l'utilisation des sources d'énergies propre et renouvelables telles que: l'énergie solaire, l'énergie éolienne, l'énergie géothermique... Malheureusement, par rapport aux groupes électrogènes, cette forme d'énergie est handicapée par son coût d'investissement initial très élevé. Comme alternative se sont développés les systèmes d'énergie hybride combinant les sources d'énergie renouvelable comme l'éolienne, le photovoltaïque ou les petites centrales hydroélectriques aux énergies fossiles. Cette solution constitue une offre attractive du point de vue économique et environnemental, incluant des réductions considérables de consommation de carburant et de production de CO<sub>2</sub> [3].

A l'instar de l'ensemble des pays de l'Afrique subsaharienne, le Burkina Faso bénéficie d'un ensoleillement particulièrement favorable avec une irradiation globale moyenne d'environ 5.5 kWh/m<sup>2</sup>/an. A cet effet se sont développés dans ces pays, à travers les projets d'électrification rurale les systèmes d'énergie hybride photovoltaïque/Diesel avec stockage d'énergie dans les batteries d'accumulateurs. Cependant les batteries représentent une part importante dans le coût de réalisation de ces systèmes et constituent un véritable problème environnemental pour ce qui est de leur recyclage. Dans le souci de rendre plus compétitives ces filières et permettre leur essor, des améliorations technologiques sont proposées dans leur conception. C'est ainsi qu'on parle des systèmes d'énergie hybride Photovoltaïque/Diesel sans stockage dont le concept Flexy Energy initié par le LESEE est un bel exemple. Dans ces systèmes le Photovoltaïque présente des capacités de production incertaines, fluctuantes et non corrélées à l'évolution de la charge. Il se pose alors le problème de fonctionnement, donc de la gestion des flux énergétiques.

## **I.2. OBJECTIFS DE L'ETUDE**

Cette étude, porte particulièrement sur les systèmes hybrides PV/groupe électrogènes sans stockage d'énergie destinés aux sites isolés avec pour objectif principal, automatiser le fonctionnement du système en vue d'assurer un équilibre entre l'énergie demandée par la charge et celle produite. Et dans la mesure du possible, rendre maximale dans le bilan, la part d'énergie provenant des sources d'énergies renouvelables. Spécifiquement, il s'agira de livrer des modules de programme pour le pilotage d'une installation hybride PV/diesel.

## **I.3. METHODOLOGIE ET ORGANISATION DU TRAVAIL**

Pour atteindre les objectifs fixés, quatre étapes seront suivies successivement:

- 1) Etude bibliographique détaillée des technologies d'automatisation existantes et des systèmes auxquels ceux-ci sont appliqués.
- 2) Etude détaillée du système hybride PV /Diesel sans stockage dégageant la nécessité et les contraintes liées à son automatisation.
- 3) Conception du système automatisé : étude détaillée des composants ;
- 4) Définition des commandes et élaboration des modules pour le pilotage.

#### **I.4. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL : 2iE ET LESEE**

L'**Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement** (2iE) est une école Inter-États créée sur l'initiative de 14 États d'Afrique francophone (Bénin, Burkina Faso, Cameroun, Centrafrique, Congo, Côte d'Ivoire, Gabon, Guinée, Mali, Mauritanie, Niger, Sénégal, Tchad, Togo), implanté sur 2 sites, à Ougadougou et Kamboinsé.

Le 2iE est né des transformations d'une fusion de deux écoles Inter-Etats : l'EIER (École Inter-États d'Ingénieurs de l'Équipement Rural) et de l'ETSHER (École Inter États des Techniciens Supérieurs de l'Hydraulique et de l'Équipement Rural).

Un bref historique :

1968 : création de l'École Inter-États d'Ingénieurs de l'Équipement Rural (EIER)

1972 : création de l'École Inter États des Techniciens Supérieurs de l'Hydraulique et de l'Équipement Rural (ETSHER)

2001 : rapprochement des 2 écoles sous le sigle Groupe ETSHER-EIER

2005 : fusion et restructuration du groupe

2006 : changement de nom, le Groupe ETSHER-EIER devient Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE)

2007 : création de la Fondation 2iE, reconnue d'utilité publique en 2008

2008 : création du LESEE

Le **2iE** est un établissement d'enseignement et de recherche spécialisé dans les domaines de l'Eau, de l'Energie, de l'Environnement et du Génie Civil. C'est la seule école d'ingénieur africaine dont les diplômes sont reconnus par la Commission française des Titres de l'Ingénieur (CTI).

Reconnu dans le reste du monde, le 2iE est un pôle d'excellence de l'UEMOA, de la CEDEAO et du NEPAD et membre associé de la Conférence des Grandes Ecoles de France.

Le 2iE travaille en partenariat avec de grandes écoles et universités (Science Po Paris, EPFL, Princeton...), des centres de recherche (CIRAD, IRD...) ainsi qu'avec de grandes entreprises (Bolloré, Total, Bouygues DTP, Atlantis...).

Le **Laboratoire Energie Solaire et Economie d'Energie** (LESEE) situé sur le site de Kamboinsé à environ 15 km de Ouagadougou, fait partie des six laboratoires de recherche de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE). Il dépend de l'Unité Thématique de Recherche et d'Enseignement Génie Energétique et Industrielle (UTER GEI). Créé en novembre 2008, le LESEE est depuis lors dirigé par le docteur Yao AZOUMAH.

L'objectif scientifique du LESEE est de contribuer à l'innovation industrielle dans le domaine du solaire pour une production et une utilisation rationnelle d'énergies électrique / thermique en Afrique.

Les travaux effectués au laboratoire sont relatifs à quatre grands axes de recherche. Chaque axe comprend plusieurs thèmes de recherche, résumé dans le tableau 1 ci après.

**Tableau 2 : Axes de recherche du LESEE**

<b>Axe de recherche</b>	<b>Thème de recherche</b>	<b>Partenariats</b>
<b>Evaluation précise et continue de la ressource solaire et des besoins en énergie en Afrique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elaboration de base de données et des cartes de DNI en Afrique (ensoleillement direct)</li> <li>- Elaboration des cartes des besoins en énergie pour l'Afrique (au sud du Sahara)</li> </ul>	IRSAT & LPCE (Burkina), KNUST (Ghana), University of Pretoria (South Africa), Stations météo (CEDEAO)
<b>Etude des centrales solaires à concentration</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elaboration de base de données et des cartes de DNI (ensoleillement direct) en Afrique</li> <li>- Elaboration des cartes des besoins en énergie pour l'Afrique (au sud du Sahara)</li> <li>- Test des composants des centrales solaires à concentration (héliostats, miroirs de Fresnel, boucles thermiques)</li> <li>- Conception optimale de nouveaux modèles de centrales solaires thermodynamiques (couplage &amp; hybridation solaire/biomasse)</li> </ul>	MicroSow (Burkina), KNUST (Ghana), PROMES-CNRS (France), Bertin Technologies
<b>Habitat, architecture bioclimatique et systèmes solaire PV/thermique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conception des habitats bioclimatiques (économiques en énergie)</li> <li>- Intégration fonctionnelle et architecturale des systèmes</li> </ul>	IRSAT, LPCE & MicroSow (Burkina), PROMES-CNRS (France), INES (France),

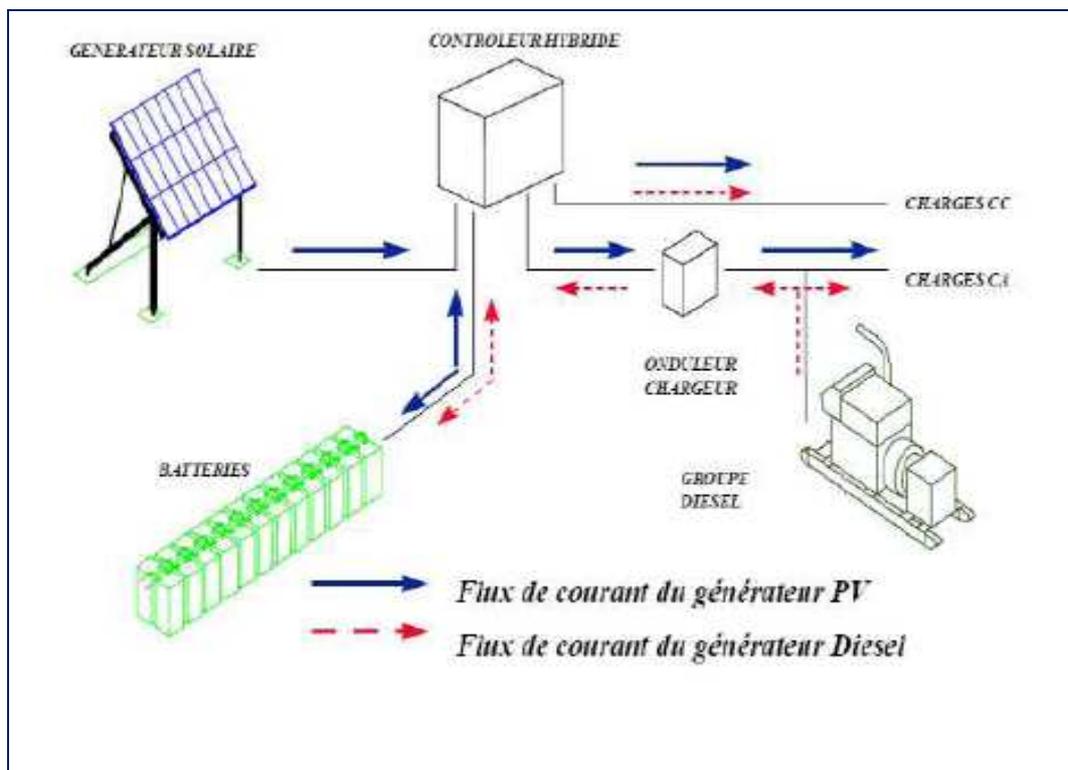
Conception de système de pilotage de centrale hybride PV /Diesel sans stockage d'énergie.

<p>(basse température)</p>	<p>solaires PV thermique dans les habitats</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pompage photovoltaïque</li> <li>- Production d'énergie photovoltaïque à grande échelle: Procédé hybride Solaire PV/Diesel, Couplage au réseau/ Production électrique décentralisée.</li> </ul>	<p>LOCIE (France), KNUST (Ghana), CETC-Varenes (Canada)</p>
<p>Conception optimale et optimisation thermodynamique des systèmes énergétiques</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Optimisation thermodynamique des procédés énergétiques (pinch tech, analyse exergetique)</li> <li>- Conception optimale des procédés en utilisant des outils thermodynamiques couplés aux approches géométriques multi-échelles (Approche constructale...)</li> </ul>	<p>Duke University (USA), PROMES-CNRS (France)</p>

## II. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

### II.1. SYSTEME HYBRIDES PV/DIESEL

Le système hybride de production d'énergie dans sa vue la plus générale, est celui qui combine et exploite plusieurs sources. Le système qui nous intéresse regroupe deux parties pour la production d'énergie : une partie solaire et une partie thermique (Fig. 1).



**Figure 1: Installation hybride PV/GE classique**

Il s'agit de mini-réseaux destinés à la production d'énergie avec pour objectifs :

- Alimenter les charges électriques sans interruption, avec une bonne qualité de tension au moindre coût.
- Maximiser l'utilisation des énergies renouvelables (utiliser au mieux la ressource solaire)
- Minimiser la consommation en combustible fossiles
- Pouvoir être connectés facilement au réseau national.

## **II.2. LES DIFFERENTES CONFIGURATIONS DES SYSTEMES HYBRIDES PV/DIESEL**

Pour atteindre les objectifs ci-dessus définis, se posent les problèmes suivants dans la conception des systèmes hybrides :

- Rechercher la configuration optimale, c'est-à-dire celle ayant un coût de production minimal;
- Optimiser la gestion de l'énergie au sein du système.

Selon les besoins de fonctionnement de la centrale, quatre types de configuration sont possibles avec pour chacune des avantages et des inconvénients [2].

- Configuration série ;
- Configuration commuté ;
- Configuration parallèle avec stockage ;
- Configuration parallèle sans stockage.

Nous avons dans des tableaux donnés en annexe 1 les différentes configurations et leurs modes de fonctionnement.

### Remarque

Pour une optimisation de la gestion de l'énergie, l'automatisation de ces différentes configurations est indispensable afin de rendre plus sûre et plus aisée leur exploitation.

## **II.3. PROBLEMATIQUES DE FONCTIONNEMENT ET AUTOMATISATION**

Compte tenu de la variabilité de la ressource solaire, les variations de la demande en énergie, et du régime de fonctionnement des GE, il se pose les problèmes suivants dans les systèmes hybrides :

- Déséquilibre entre puissance produite et puissance appelée ;
- Fonctionnement du groupe électrogène en dehors de son régime nominal ;
- Nécessité d'arrêt et de démarrage du groupe GE ;
- Interruptions de la production d'énergie lors du passage d'une source à l'autre ce qui constitue un danger pour la sécurité des équipements;
- Sous exploitation de la production solaire ;

## Conception de système de pilotage de centrale hybride PV /Diesel sans stockage d'énergie.

La gestion de la production énergétique est donc un élément déterminant dans la rentabilité et l'efficacité des systèmes PV/Diesel.

Selon la configuration du système, nous avons ci-dessous les contraintes liées au fonctionnement des systèmes hybrides PV/GE et les solutions existantes.

**Tableau 3: Contraintes de fonctionnement et solutions existantes**

<b>TYPE DE CONFIGURATION</b>	<b>CONTRAINTE DE FONCTIONNEMENT</b>	<b>SOLUTION EXISTANTE</b>
<b>Série :</b>	Les batteries doivent être maintenues à un niveau de charge suffisant pour une bonne alimentation des récepteurs. Par conséquent il est nécessaire que le groupe électrogène démarre automatiquement en cas de décharge anormale des batteries et qu'il s'arrête dès que celles-ci sont complètement chargées.	Les pertes engendrées par le redressement suivi de l'ondulation constituent le grand inconvénient de cette technique. Actuellement les onduleurs bidirectionnels remplacent avantageusement cette configuration, d'où on se retrouve dans le cas « parallèle avec stockage ».
<b>Commutée :</b>	La mise en marche d'une source doit se faire simultanément avec l'arrêt de l'autre et cela sans coupure. Selon le niveau de charge de la batterie, il faut arrêter ou mettre en marche automatiquement le GE ou le champ PV (inversion de source).	L'inversion de source se fait manuellement.
<b>Parallèle avec stockage :</b>	Les deux sources d'énergie étant dimensionnées pour des pourcentages bien définis de la charge, celles-ci ne peuvent satisfaire toute la demande séparément. Dans le fonctionnement il faudra donc : - Arrêter automatiquement le groupe lorsque la demande devient faible et peut être satisfaite par le solaire ;	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Automatisme intégré dans certains onduleurs PV comme le SUNNY Island de SMA. La grandeur surveillée en permanence est le niveau de charge des batteries.</li> </ul>

TYPE DE CONFIGURATION	CONTRAINTE DE FONCTIONNEMENT	SOLUTION EXISTANTE
	<p>Redémarrer le groupe lorsque la charge ne peut-être satisfaite par le solaire seul ;</p> <p>Délester certaines charges lorsque la production solaire est telle que les deux sources ne peuvent couvrir tous les besoins.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilisation d'automates programmable pour le contrôle commande ainsi que la surveillance à distance du fonctionnement du système. Voir figure2.</li> </ul>
<p><b>Parallèle sans stockage :</b></p>	<p>Les deux sources sont également dimensionnées pour des pourcentages biens définis de la charge. La complexité de cette configuration réside dans le fait que le champ solaire ne peut fonctionner tout seul. En cas d'absence de la ressource solaire, l'appel de puissance sur le GE est plus intense.</p> <p>A cause de la possibilité d'absence totale de la ressource solaire, les choix techniques suivants sont possibles :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Soit le (ou les) GE est dimensionné de façon à pouvoir satisfaire toute la demande sans surcharge dangereuse ;</li> <li>2. Soit certaines charges sont délestées ; cependant cette solution n'est pas à l'avantage de l'utilisateur de l'installation.</li> </ol> <p>Comme le rendement du GE diminue dès que ce dernier n'est pas à son régime nominal, on observe dans tous les cas une fluctuation du rendement du GE, ce qui a globalement un impact négatif sur les frais</p>	<p><b>néant</b></p>

TYPE DE CONFIGURATION	CONTRAINTE DE FONCTIONNEMENT	SOLUTION EXISTANTE
	<p>d'exploitation du système ; d'où les choix techniques suivants sont possibles :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Soit un seul GE est utilisé et dimensionné de façon à pouvoir satisfaire toute la <b>demande sans surcharge dangereuse</b> ; économique en investissement, cette solution engendre des frais d'exploitation plus élevé et une sous exploitation de la ressource solaire;</li> <li>2. Soit plusieurs groupes sont installés en parallèle et utilisés en fonction de la demande.</li> </ol> <p>Dans ce dernier cas, il est nécessaire de :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Définir de façon optimisée les puissances de chacun des GE en fonction du profil de charge ;</li> <li>2. Piloter la marche/arrêt des groupes avec une bonne précision dépendant de la charge et de l'ensoleillement, de façon à ce que la majorité des GE fonctionnent autour de leur plage nominale.</li> </ol>	

### **III. CONCEPTION DU SYSTEME D'ACQUISITION DE DONNEES ET DE PILOTAGE**

Le système objet de cette étude est constitué d'un champ PV en série avec un onduleur le tout en parallèle avec deux groupes électrogènes en parallèles également.

#### **III.1. LE SYSTEME D'ACQUISITION DE DONNEES**

C'est un dispositif permettant de suivre le fonctionnement de la centrale. Plus particulièrement il s'agit d'un enregistrement des informations relatives à l'évolution de certaines données sur le groupe électrogène et le champ de modules PV.

- ❖ Sur les groupes électrogènes : il s'agit des paramètres suivants
  - Fréquence, tension, intensité
  - Compteur horaire du temps de fonctionnement
  - Tension et intensité batterie
  - Températures d'huile et liquide de refroidissement
  - Pression d'huile
  - Niveau de fuel
  - Liste des défauts
- ❖ Sur chaque module du champ PV : il s'agit des paramètres suivants
  - Courant
  - Tension
  - Température.

La mesure de ces paramètres permet d'évaluer la performance du champ PV en comparant sa production réelle par rapport à sa production théorique. Egalement suivre le fonctionnement de chaque module en vue de détecter les anomalies éventuelles : défaillance d'un module dans le champ PV etc.

L'accès à ces informations peut se faire à distance ou de façon locale par un stockage sur une carte mémoire. Cette étude se fera sur un stockage local et se limitera aux grandeurs électriques.

L'acquisition des données à pour avantage :

- De permettre un contrôle et une analyse permanente des équipements ;

- D'effectuer un pré-diagnostic avant une intervention sur site pour les besoins d'entretien ;
- De permettre une gestion prévisionnelle de la maintenance par anticipation des pannes grâce à l'analyse des données stockées par le système ;
- Optimisation des tournées d'approvisionnement en carburant grâce au contrôle de niveau de fuel et aux calculs prévisionnels de consommation.

### III.2. LE SYSTEME DE PILOTAGE

#### III.2.1. Le système hybride PV/Diesel sans stockage

✚Caractère innovant du système

D'un point de vue général, un système hybride de production d'énergie PV/Diesel sans stockage d'énergie est celui qui combine le solaire photovoltaïque avec une ou plusieurs autres sources d'énergie thermiques. Dans ces systèmes, le groupe électrogène permet de réduire la taille du champ photovoltaïque, pendant que le système PV permet de réduire le temps de fonctionnement du groupe, sa consommation en gasoil, les coûts d'exploitation et de maintenance. Il s'agit de mini-réseaux destinés aux sites isolés. Le caractère innovant de ce système réside dans le fait qu'il est autonome et sans stockage d'énergie.

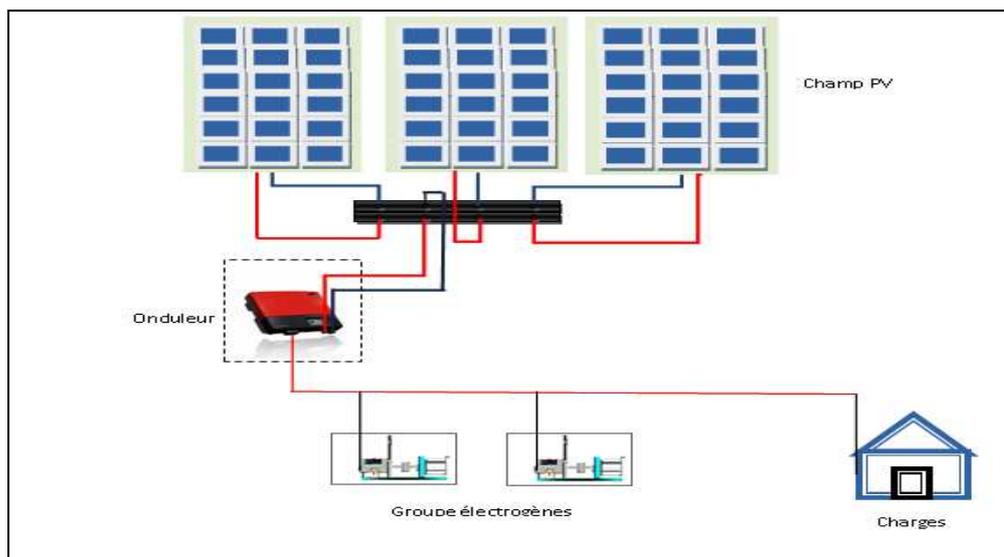


Figure 2: Système hybride sans stockage et isolé du réseau

## ⚡ Dimensionnement

Les deux sources étant en fonctionnement parallèles, l'injection du PV est faite selon un certain pourcentage. Quelque soit le pourcentage de PV injecté, il s'agit dans cette étude de réguler les flux énergétiques de telle manière à avoir un fonctionnement des groupes électrogènes autour de leur point de charge optimale. Mais pour des systèmes sans stockage, l'injection du PV doit être faible (inférieur à 50% de la charge) pour minimiser l'impact de l'injection sur le système groupe+réseau[5]. Pour cette étude les pourcentages suivants sont retenus pour le dimensionnement du système[3] :

- Le champ PV est dimensionné pour une puissance crête égale à 30% de la puissance nominale des groupes électrogènes.
- Le générateur thermique est dimensionné pour des charges correspondant à sa puissance nominale.

Nous avons ci-dessous les principaux composants du système et les contraintes liées à leur fonctionnement :

- 1) Le champ photovoltaïque
  - L'intermittence de la production solaire

Le champ photovoltaïque est composé de plusieurs modules interconnectés en série et/ou en parallèles. Ces modules sont constitués de cellules dont le courant produit dépend de l'ensoleillement.

Quand l'ensoleillement décroît:

- Courant décroît proportionnellement
- La tension diminue légèrement

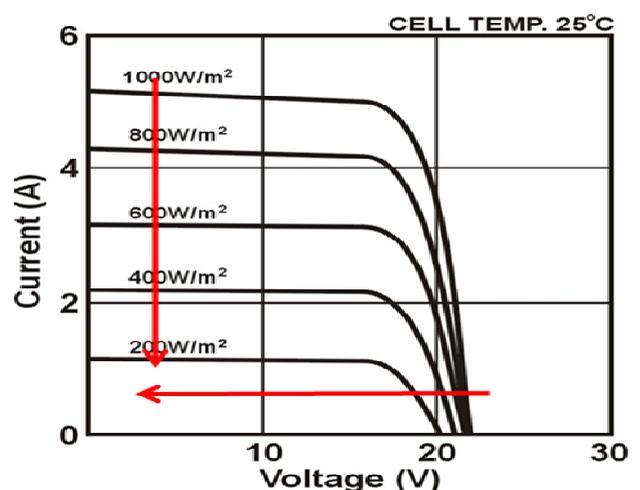


Figure 3 : variation du courant en fonction de l'ensoleillement d'un module PV[6]

Avec la variation de l'ensoleillement au cours de la journée en fonction des périodes de l'année, il va s'en suivre une intermittence de la production solaire. L'énergie solaire ne sera disponible que pendant certaine période de la journée.

➤ Impact de l'injection du PV sur la production thermique

Dans le fonctionnement de la centrale, le système PV contribue à baisser la puissance demandée aux groupes électrogènes. Le point de fonctionnement de celui-ci dépend donc non seulement des variations de la demande mais aussi de l'ensoleillement. En effet, une étude réalisée sur le prototype « Flexy-Energy » a donné les résultats suivants [3].

**Tableau 4: Caractéristiques de la centrale « Flexy-Energy »**

	<b>Puissances installées</b>	<b>Consommation spécifique groupe électrogène seul en fonctionnement nominal.</b>	<b>Pourcentage solaire injecté</b>
GE	9.2 kW	0.3311/kWh	
PV	2.85 kWc		30%

**Tableau 5: Contribution du groupe et du champ solaire à la satisfaction de la demande.**

Charges	Ensoleillement (W/m <sup>2</sup> )	Contribution GE			Contribution PV	
		kW	%	Cons-spéc (l/kWh)	kW	%
20% PN	536	1.79	0.99	0.689	0.22	12.7
60% PN	627	4.37	80	0.393	1.549	28.6
<b>100% PN</b>	534	<b>8.27</b>	<b>89</b>	<b>0.336</b>	<b>1.341</b>	<b>14.6</b>

Pour un fonctionnement optimal des groupes électrogènes, ceux-ci doivent fonctionner dans les périodes où la charge correspond à entre 70 et 90% de la puissance nominale.

## 2) L'onduleur

L'onduleur, en plus de la conversion du courant continu en alternatif doit permettre une synchronisation des tensions. Dans la configuration de notre système, le champ PV et l'onduleur sont en série et l'ensemble est en parallèle avec les groupes électrogènes. Il y'a donc nécessité d'une synchronisation. L'onduleur doit également permettre une déconnexion du champ PV en cas d'arrêt total des groupes électrogènes. Cela à l'avantage d'éviter une alimentation des charges par le solaire seul donc de les protéger contre les fluctuations de l'énergie produite par celui-ci. Les onduleurs SUNNY BOY peuvent être utilisés à cet effet. Voir la fiche caractéristique donnée en annexe 1.



**Figure 4: onduleur SUNNY BOY**

## 3) Les groupes électrogènes

L'un des objectifs de l'automatisation est d'assurer un équilibre entre l'énergie produite et l'énergie demandée. Pour réaliser cet équilibre, il faut un lien entre la demande et la production. Dans les systèmes d'énergie hybride PV/Diesel la production de la source solaire est indépendante de la demande. Seuls les groupes électrogènes permettent d'assurer le lien entre la production et la demande. Le groupe électrogène est composé d'un moteur diesel et d'une machine synchrone. La gestion des flux énergétiques sera donc réalisée en ajustant l'énergie produite par les groupes électrogènes.

Le moteur diesel produit de l'énergie mécanique par combustion du carburant. La génératrice synchrone transforme cette énergie mécanique en énergie électrique. La fréquence est régulée à travers la régulation de la vitesse du moteur diesel. Quant à l'amplitude, elle est régulée via l'excitation de la machine synchrone.

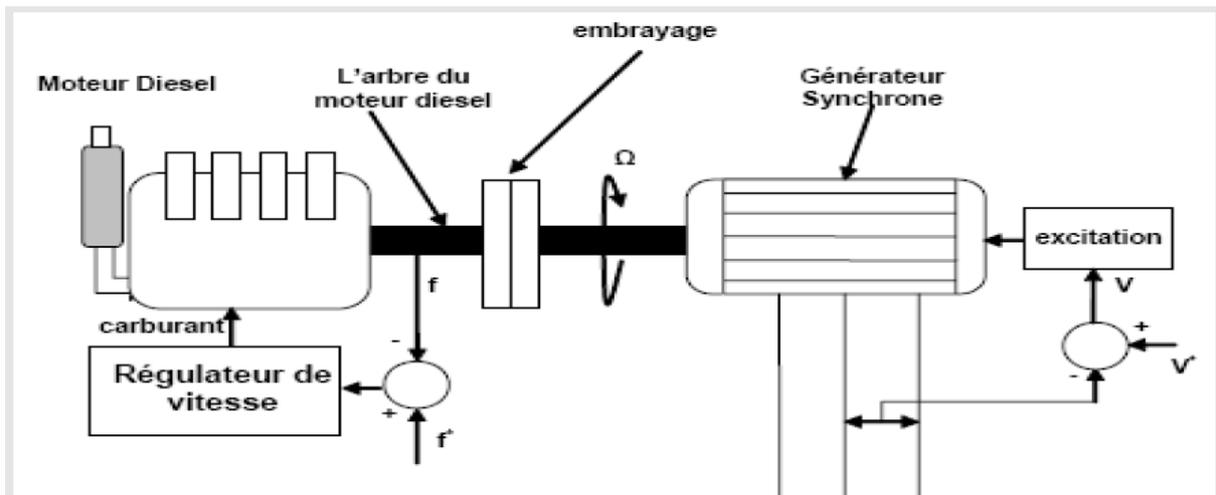


Figure 5: Schéma simplifié d'un moteur Diesel[7]

Certaines contraintes sont liées au fonctionnement du groupe électrogène, de ce fait celui-ci doit être maintenu dans une certaine plage correspondant à son régime nominal. Figure 6

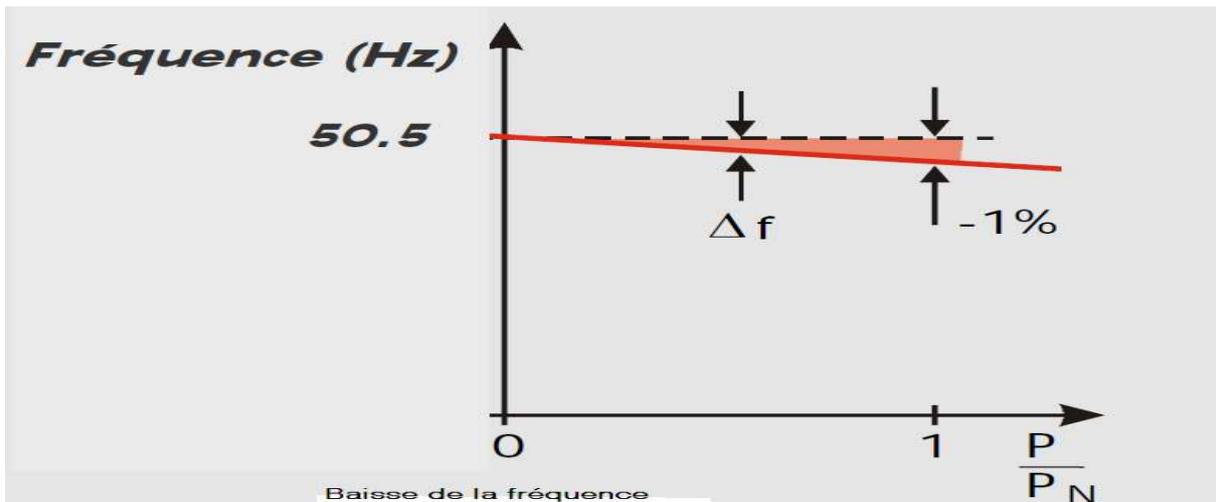


Figure 6 : Courbe de variation de la fréquence en fonction de la puissance appelée

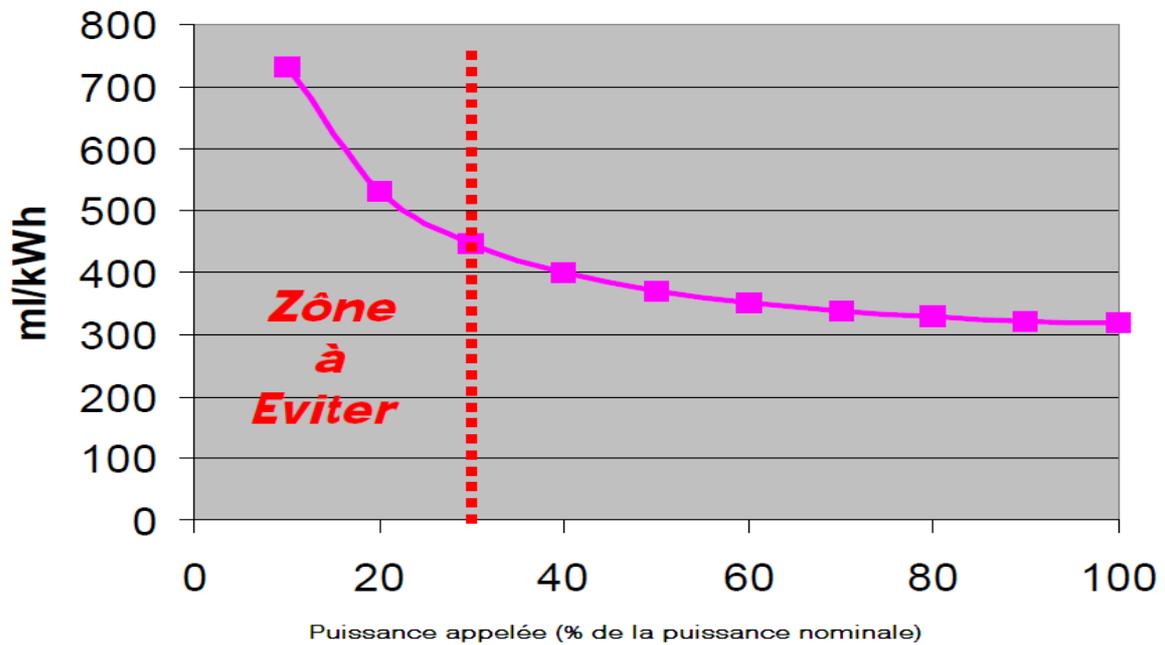


Figure 7 : courbe de variation de la consommation en fonction de la puissance appelée

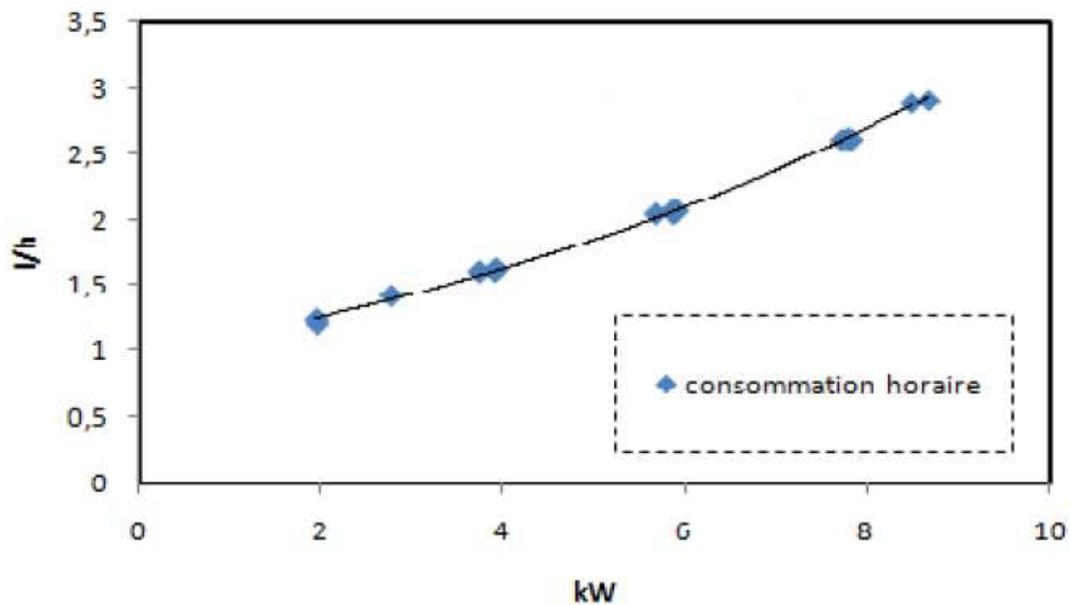


Figure 8 : consommation horaire groupe électrogène de 9.2 kW SDMO

Comme le montre les figures ci-dessus :

- On a une baisse de la fréquence et une augmentation de la consommation horaire lorsque le groupe est surchargé (charge supérieure à la puissance nominale)
- Une augmentation de la consommation spécifique du groupe en fonctionnement à faible charge : charge inférieure à 30% de la puissance nominale.
- Le passage d'une source à l'autre peut entraîner une variation momentanée de la fréquence donc de la stabilité du réseau.

Pour optimiser le fonctionnement des groupes, ceux-ci doivent fonctionner dans une certaine plage de puissance en dessous de leur puissance maximale.

Pour le constructeur de groupe SDMO, cela correspond à environ 90% de la puissance maximale pour un fonctionnement en continu sous charge variable pendant un nombre d'heures illimité par an avec une surcharge de 10% une heure toutes les 12 heures. (Voir caractéristiques en annexe 2)

En plus, un fonctionnement en dehors de la plage optimale a des répercussions néfastes sur la durée de vie du moteur (encrassement du moteur qui conduit à une accélération de son usure).

#### ⚡Complexité du système.

La difficulté principale du système est de pouvoir produire à chaque instant l'énergie demandée par la charge malgré les grandes variations de l'énergie produite tout en maintenant la fréquence et la tension dans des limites acceptables.

### **III.2.2. Stratégies de commande du système**

Le système objet de cette étude est composé de deux groupes électrogènes. Ces deux groupes sont en parallèles avec l'onduleur alimenté par le champ solaire sans stockage. Il s'agit de concevoir un système d'automatisme pour optimiser la gestion des flux énergétiques.

Deux aspects principaux doivent être pris en compte dans la commande.

- La stratégie de gestion du fonctionnement qui implique des décisions liées aux flux d'énergie à l'échelle de plusieurs heures ou jours et des actions pour améliorer le fonctionnement du système ;
- La qualité de l'énergie, cela concerne la stabilité de la fréquence et de la tension, les protections etc.

### III.2.2.1. La stratégie de gestion du fonctionnement

C'est un algorithme qui va permettre de décider d'une part de la mise en marche ou arrêt des générateurs, et d'autre part de la déconnexion ou pas des charges. Le fonctionnement dépend des paramètres suivants :

- Le profil de charge ;
  - Les caractéristiques du champ solaire : fonction des variations de l'ensoleillement ;
  - Les caractéristiques des générateurs : les limites de fonctionnement ;
  - Les normes de qualité de l'énergie : les exigences en ce qui concerne les variations de fréquence et de puissance.
- ❖ La gestion des charges.

Avec la configuration adoptée la gestion des charges en vue d'équilibrer la production et la demande n'interviendra que pendant les périodes à forte demande par rapport à la puissance disponible. On procédera à cet effet à des délestages de certaines charges pour équilibrer la production et la demande.

❖ La gestion des groupes électrogènes.

Il s'agit de commander la mise en marche/arrêt des groupes en tenant compte des exigences suivantes :

- Le temps de fonctionnement minimal à vide après démarrage et avant arrêt: En effet, le fonctionnement à vide (charge inférieur à 30%), comme dit précédemment a des conséquences néfastes, de même qu'un démarrage ou un arrêt en pleine charge. On définit alors un temps maximal pour le fonctionnement à vide ; temps inférieur à 10 minutes pour les groupes SDMO.
- Surcharges admissibles : 10% pendant une heure sur toutes les douze heures pour le constructeur SDMO.
- La température de l'eau de refroidissement, le niveau de fuel et la pression de l'huile de lubrification.
- Et le fonctionnement autant que possible en régime nominal.

### III.2.2.2. Qualité de l'énergie électrique produite

La qualité de l'énergie électrique fait référence à la stabilité de la tension, à la stabilité de la fréquence du réseau et à l'absence, dans le réseau électrique, de différents phénomènes électriques (comme par exemple les flickers ou des distorsions harmoniques).

### III.2.3. Fonctionnement du système de commande

#### Hypothèses :

- La stratégie de fonctionnement est faite en considérant deux groupes.
- La plage de fonctionnement des groupes est maintenue autour de leur point de puissance optimale
- Le seuil minimum à ne pas franchir est de 50% de la puissance maximale

Ed : énergie fournie par les GE à la charge ;

PRP : Puissance principale disponible en continu sous charge variable pendant un nombre d'heures illimité par an en accord avec ISO 8528-1, une surcharge de 10 % une heure toutes les 12 heures est disponible en accord avec ISO 3046-1 ;

#### 1) Démarrage de l'installation

La gestion des flux énergétiques dépend essentiellement du profil de la charge et de l'ensoleillement. Le démarrage des groupes est fait en fonction de la puissance moyenne appelée par la charge pendant certaine période définie à partie du profil. Pour cette étude nous allons considérer le profil de charge suivant commun aux zones rurales.

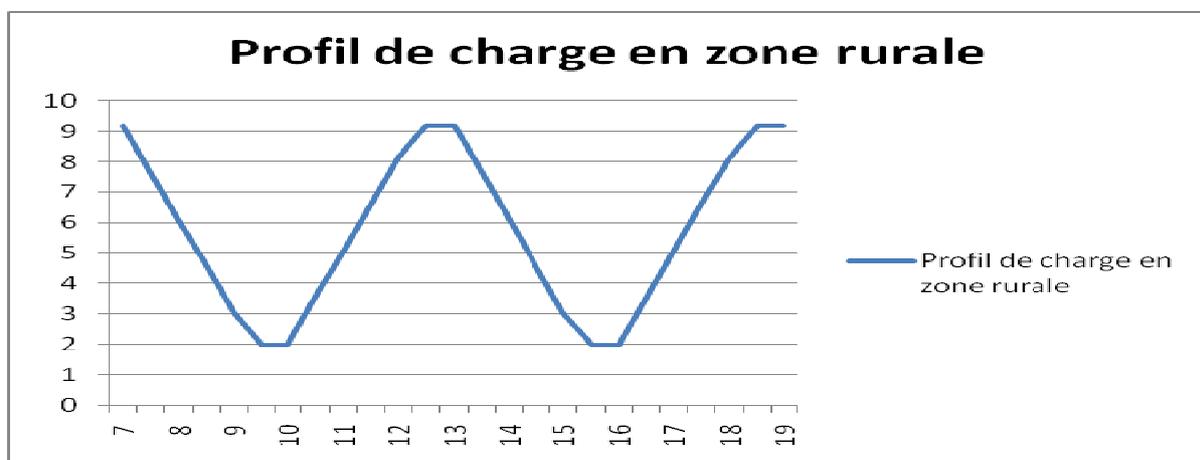


Figure 9: profil de charge pour zone rurale

Suivant ce profil de charge, trois périodes sont définies pour le démarrage des groupes.

**Tableau 6: Différentes périodes pour le démarrage des groupes électrogènes**

Périodes	Groupe(s) à solliciter	Plages de temps
Période A	GE1	9h à 11h, 15h à 17h et 20h à 6h30mn
Période B	GE2	8h à 9h, 11h à 12h, 14h à 15h et de 17h à 18h.
Période C	GE1 et GE2	6h30mn à 8h, 12h à 14h et 18h à 20 h

Le démarrage sera effectué après vérification des conditions minimales suivantes :

- niveau de carburant,
- température et pression d'huile,
- température de l'eau

2) La gestion des groupes et des charges

- ▣ Gestion des groupes

Elle est effectuée en fonction du niveau d'énergie demandé aux groupes électrogènes et prend en compte les contraintes résumées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 7: Contraintes de fonctionnement des groupes (catalogue SDMO)**

	Temps maximum de fonctionnement à vide après démarrage	Temps maximum de fonctionnement à vide après décharge
GE1	10 minutes	10 minutes
GE2	10 minutes	10 minutes

Selon le niveau d'énergie demandée les groupes électrogènes sont mis en arrêt comme indiqué dans le tableau suivant.

**Tableau 8: Gestion arrêt des groupes**

Périodes	Période A	Période B	Période C
Groupes à arrêter	GE1	GE2	GE1 et GE2
Condition d'arrêt : groupe surchargé	$Ed \geq 1.1PRP1$	$Ed \geq 1.1PRP2$	$Ed \geq 1.1$ ( $PRP1+PRP2$ )
Conditions d'arrêt : charges partielles	$Ed \leq 0.5PRP1$	$Ed \leq 0.5PRp2$	$Ed \leq 0.5$ ( $PRP1+PRP2$ )

Les groupes sont également mis en arrêt pour les problèmes suivants :

- Basse pression d'huile : besoin de maintenance ;
- Température élevée : Problème de refroidissement;
- Niveau bas du fuel : Pour éviter un arrêt brusque pour défaut de carburant.

La gestion du démarrage des groupes est faite selon la période et du niveau de demande en énergie.

#### Gestion des charges

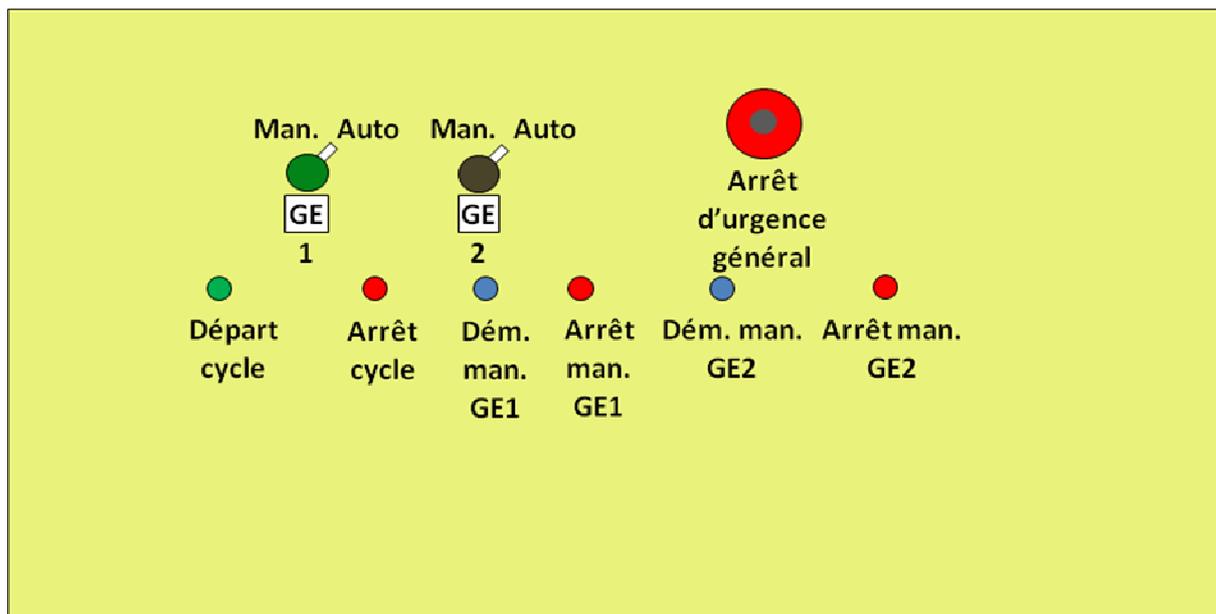
Il s'agit de délester certains circuits en fonction du niveau de la production par rapport à la demande, des périodes et des groupes en marches. Deux types de circuits sont définis à cet effet :

- TC1 : pour permettre un fonctionnement normal du groupe GE2 en période C
- TC2 : pour permettre un fonctionnement normal du groupe GE1 en période C

### 3) Arrêt du fonctionnement de l'installation

Dans le fonctionnement normal de l'installation, son arrêt total est réalisé lorsque l'énergie demandée est en dessous du seuil minimum (0.5 fois la puissance nominale du plus petit groupe) et au-delà du maximum de tous les groupes comme défini dans la partie gestion des groupes.

En cas de dysfonctionnement majeur une intervention manuelle et ou automatique est prévue pour mettre l'installation hors fonctionnement ou pour prendre son contrôle. L'arrêt du fonctionnement de l'installation est résumé sur la figure ci-dessous.



**Figure 10: Contrôle manuel de la centrale**

Man : Manuelle

Auto : Automatique

Dém.man : démarrage manuel

Arrêt.man : Arrêt manuel

Départ cycle et Arrêt cycle : sont utilisés lorsque les groupes sont en position gestion automatique.

Dém.man et Arrêt.man : sont utilisés lorsque les groupes sont en position gestion manuelle.

Arrêt d'urgence général : pour mettre toute l'installation en arrêt à travers les boutons d'arrêt d'urgence de chaque groupe.

### III.2.4. Les composants du système de commande

Le système de commande est constitué des éléments principaux suivants : les transducteurs, les capteurs et l'automate.

#### III.2.4.1. Les transducteurs

Ils sont utilisés pour la lecture des données électriques sur les circuits AC des deux groupes électrogènes et le circuit AC d'alimentation des charges. Les modèles à utiliser sont ceux délivrant en sortie les valeurs numériques de la fréquence F, de la puissance P, du cos phi et de Q sur une sortie RS485/RS232 (protocole modbus). Le model utilisé est le CE-AJ42-34DS (voir caractéristiques en annexe 3).



Figure 11: Transducteur CE-AJ

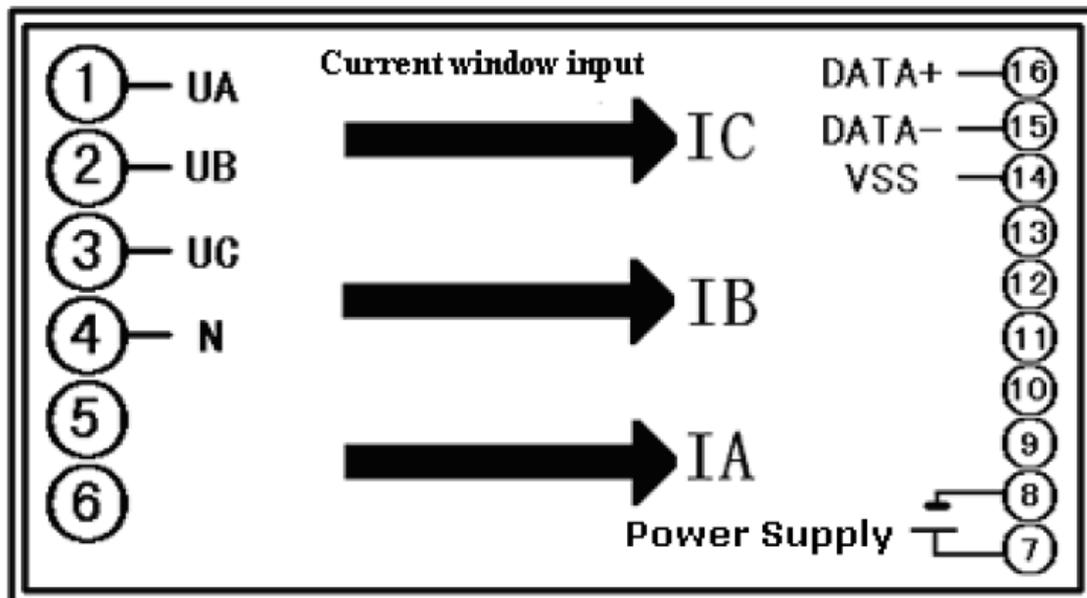


Figure 12: Schéma de connexion du transducteur.

Borne 1: phase tension A

Borne 2: phase tension B

Borne 3: phase tension C

Borne 4: neutre

Borne 7 : alimentation +24VCC. Consommation 20mA.

Borne 8 : alimentation 0VCC

Borne 14 : 0V du bus de communication.

Borne 15 : bus de communication DATA-. Raccorder cette borne aux autres capteurs et à la borne A du COM3 de l'unité de comptage.

Borne 16 : bus de communication DATA+. Raccorder cette borne aux autres capteurs et à la borne B du COM3 de l'unité de comptage.

Remarque : pour les modules monophasés, les bornes 2 et 3 ne sont pas utilisées. De même il n'y a qu'un seul tore pour passer le courant de la phase A (IA).

#### **III.2.4.2. Les automates (le $\mu$ arm).**

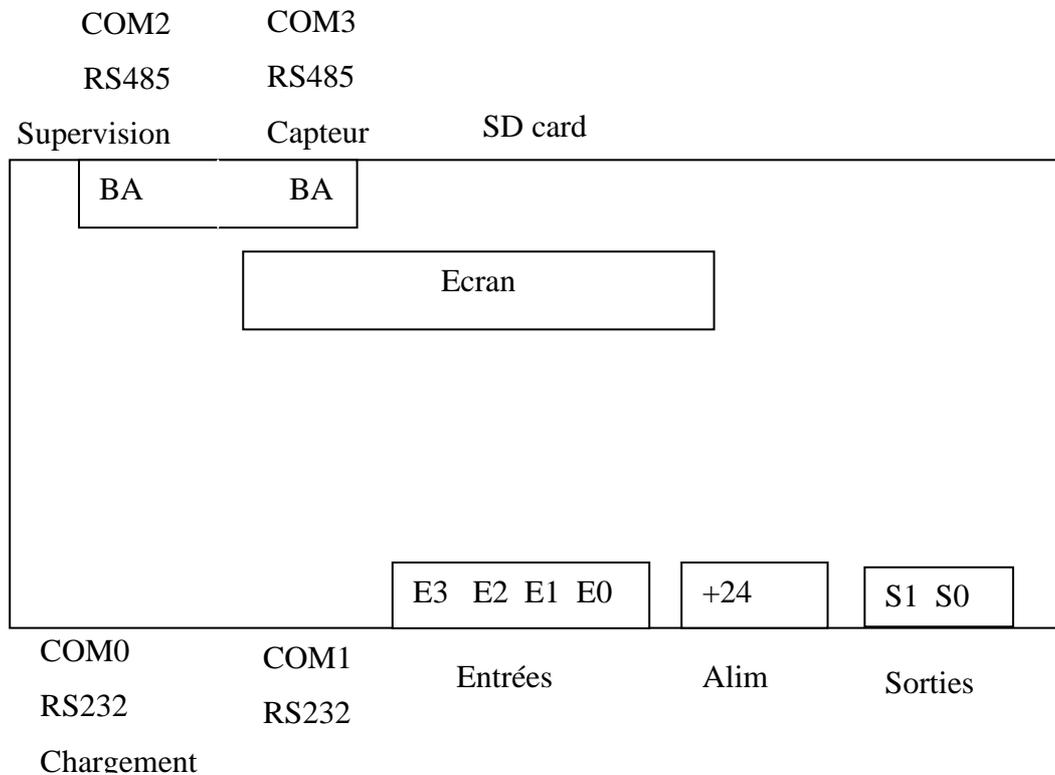
L'automate utilisé est le  $\mu$ Arm de la gamme des produits SIREA. Il assure le contrôle-commande des équipements et la télégestion du système. Cet automate offre les potentialités suivantes :

- Il intègre sur une seule carte des ports USB, une mémoire SD-CARD permettant un stockage local des données.
- Il intègre de multiple interface de communication (Ethernet, des liaisons séries RS485, RS232, bus de terrain...)
- Il permet la gestion de données sur 255 transducteurs et capteurs. (voir caractéristiques et en annexe 4)



**Figure 13: Automate programmable  $\mu$ Arm**

Le schéma de raccordement de l'automate est donné ci-dessous :



**Figure 14: Schéma de raccordement de l'automate (voir schéma détaillé en annexe 4)**

COM2 : bus de communication RS485 avec protocole Modbus vers la supervision.

COM3 : bus de communication RS485 avec protocole propriétaire. Raccorder la borne A aux bornes DATA- des capteurs et la borne B aux bornes DATA+des capteurs.

Alimentation : alimenter en 24VCC.

1) Des capteurs utilisés pour :

- Pour la détection du niveau de fuel dans le réservoir ;
- Température d'huile de l'eau et du moteur ;
- Pression d'huile.

Dans le cadre de cette étude, ces éléments ne seront pas intégrés dans le système à réaliser

### **III.2.4.3. Alimentation des équipements : Power-pack**

Power-pack est une alimentation à découpage avec une batterie en tampon adapté à l'alimentation des automates et des transducteurs. Cette alimentation fournit une tension fixe

de 24 Vcc avec une autonomie en cas de coupure secteur (pas de microcoupure). (Voir caractéristiques en annexe 5).

#### III.2.4.4. Les éléments de protection

Il s'agit de sécuriser toute l'installation contre les risques suivants :

- Surtensions en utilisant des parafoudres ;
- Les foudres par l'utilisation de paratonnerre ;
- Surintensités (surcharge, court-circuit) en utilisant des fusibles et/ou des disjoncteurs dans l'installation.

#### III.2.4.5. Schéma global du système à réaliser.

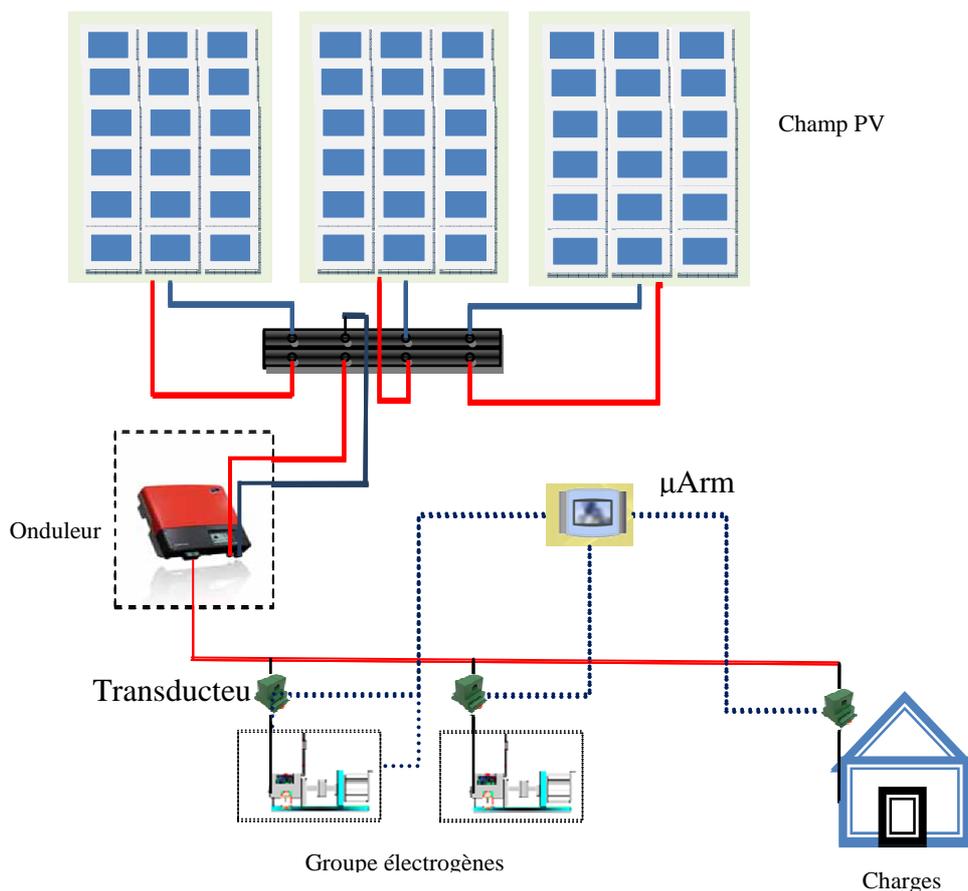


Figure 15: Schéma global du système

## IV. ELABORATION DES MODULES DE PROGRAMME.

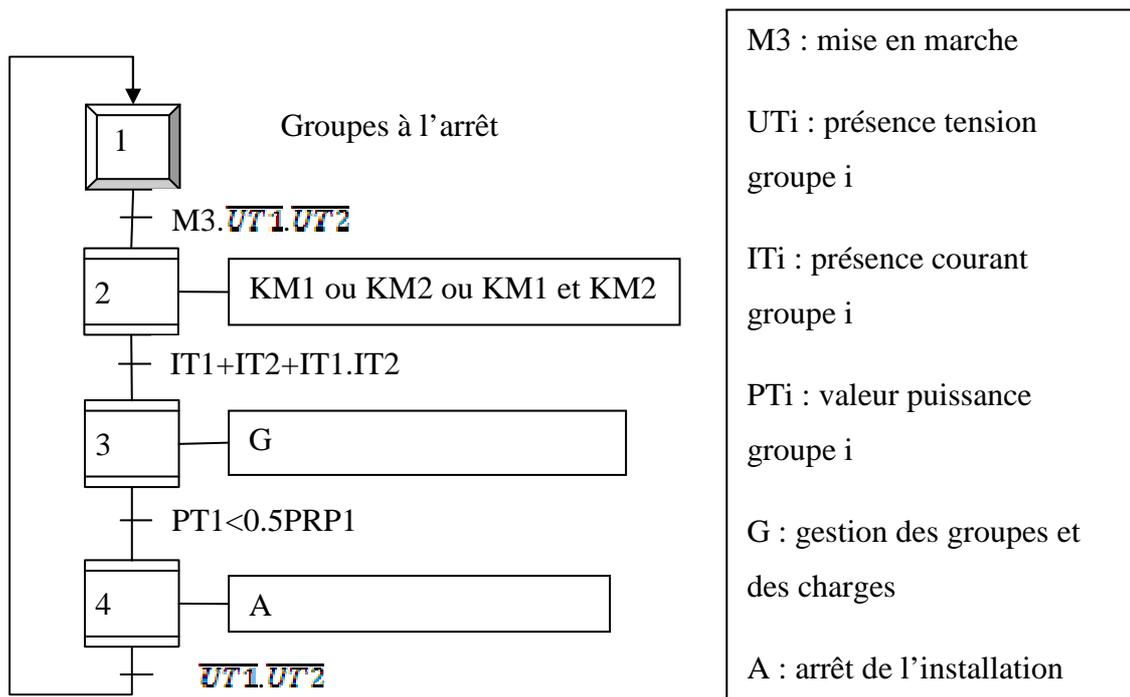
La construction des modules de programme est fonction du langage de programmation propre à l'automate. La programmation de l'automate  $\mu arm$  se fait avec le logiciel  $\mu Ladder$  qui utilise le langage Ladder et le langage C.

Avant la conversion des commandes en langage Ladder, nous avons élaboré un graphe fonctionnel de commande étape transition (GRAFCET) donnant une illustration générale des différentes séquences du programme de commande.

### IV.1. LE GRAFCET

#### IV.1.1.Représentation globale du système

Compte tenu du grand nombre d'étapes à décrire dans le GRAPHCET, nous avons fait une représentation progressive en utilisant les macro-étapes. Le GRAFCET avec les détails des différentes macro-étapes est donné dans le document « modules de programmes ».



#### IV.1.2.Décomposition des macro-étapes

Les conditions initiales pour le démarrage du programme correspondent à l'état où tous les groupes électrogènes sont à l'arrêt. L'ordre de démarrage correspond au lancement du programme et cette réceptivité est faite à partir d'un ordinateur connecté au  $\mu arm$  par une

liaison série (RS485/RS232) ou à partir d'un bouton poussoir permettant l'activation d'une entrée de l'automate.

#### ✚ Macro-étape démarrer l'installation (la centrale)

Le démarrage de l'installation est fait selon les périodes de la journée comme définies précédemment et selon que les conditions pour le démarrage des groupes soient réunies. Il s'agit du niveau de carburant dans le réservoir, la température de l'eau de refroidissement et la pression de l'huile de lubrification.

#### ✚ Macro-étape : Gérer les groupes et les charges

En fonction du niveau de consommation d'énergie le programme gère l'arrêt, le redémarrage des groupes électrogènes, la déconnexion et la reconnexion des charges.

Après les signaux d'erreur on fait un retour sur l'étape 201. La réceptivité « ordre d'arrêt » est incluse dans la macro-étape « Gérer GE et charges ». Cette réceptivité peut être aussi exécutée de façon manuelle pendant le fonctionnement mode automatique ou pas des groupes électrogènes.

#### ✚ Etape : Arrêt de l'installation

Après cette étape, l'exécution du programme repart à l'étape initiale sans aucune condition.

Remarque : Le GRAFCET ci-dessus réalisé est assez complexe en ce sens qu'il présente un très grand nombre de boucles. Cela pourrait conduire à un langage Ladder très complexe dont la compilation n'est pas évidente à cause du nombre de retour très élevé. Comme alternative, un ensemble de mini-programmes fait en algorithmes a été réalisé.

## **IV.2. LES ALGORITHMES**

Vue la complexité des commandes à exécuter, un programme principal a été élaboré. Ce programme dans son exécution fait appel aux sous programmes suivants :

- Séquences de démarrage ;
- Appeler Gestion GE1 ;
- Appeler Gestion GE2 ;
- Gestion normale des charges ;
- Gestion secours des charges ;

- Signaler défaut général ;
- Gestion secours des charges (avec délestage) ;
- Gestion des charges avec délestage.
- Gestion ordre de démarrage manuel après dépannage

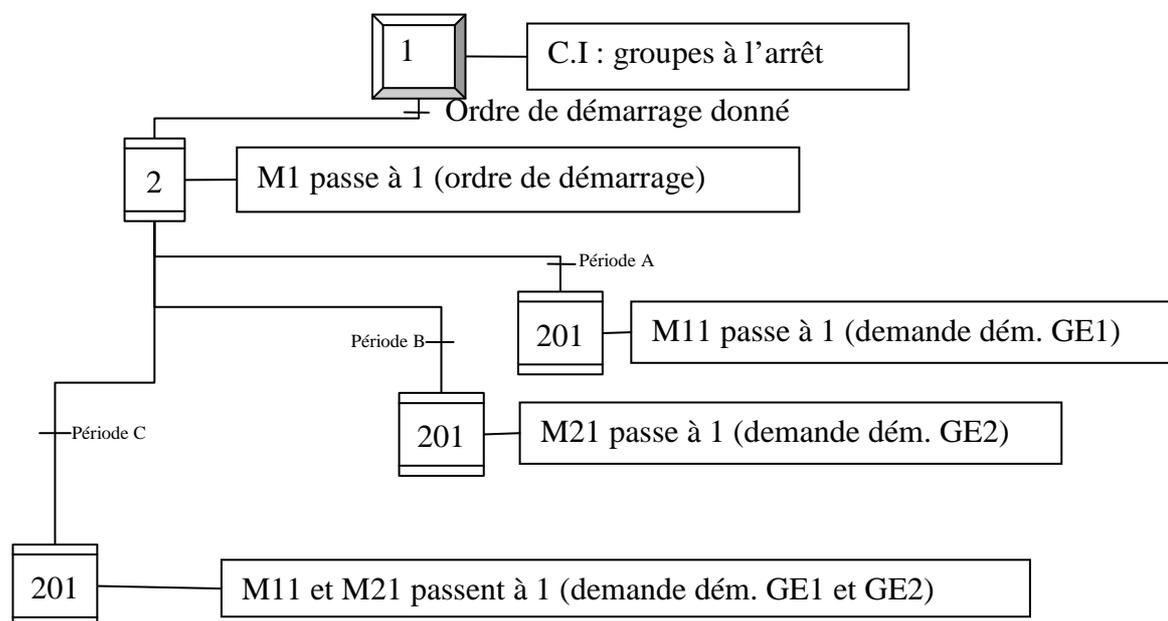
Dans ces algorithmes les « M » et les « MW » sont des mémoires tout ou rien non physiques et les « Q » des mémoires physiques tout ou rien. En annexe 9 est donné une définition de ces grandeurs.

Dans le programme principal l'ordre de démarrage est donné en activant M3. Une fois les conditions d'arrêt des groupes réunies l'automate active M1.

Pour plus de simplification les conditions sur le niveau de carburant dans le réservoir, le niveau d'eau dans le radiateur et la température de l'eau ne seront pas prises en compte dans ce qui suit.

#### IV.2.1.Algorithme « Séquences de démarrage »

Les séquences de démarrage sont basées sur le GRAFCET suivant :



Les « M » sont les sorties de l'automate. Son algorithme est donné ci-dessous :

Si M1=1

Si Période A, alors M11 passe à 1

Si Période A et M12=1, alors M50 (Gestion normale des charges) passe à 1 et M1 et M11 passent à 0

Si Période A et M13=1, alors M21 (demande dém. GE2) passe à 1

Si Période A et M13=1 et M22=1 alors M51 (Gestion secours des charges) passe à 1 et M1, M11 et M21 passent à 0

Si Période A et M13=1 et M23=1 alors M52 (Signaler défaut général) passe à 1 et M1, M11 et M21 passent à 0

Si Période B, alors M21 passe à 1

Si Période B et M22=1, alors appeler M50 (Gestion normale des charges) passe à 1 et M1 et M21 passent à 0

Si Période B et M23=1, alors M11 (demande dém. GE1) passe à 1

Si Période B et M23=1 et M12=1, alors appeler M53 (Gestion secours des charges avec délestage) passe à 1 et M1, M11 et M21 passent à 0

Si Période B et M23=1 et M13=1, alors M52 (Signaler défaut général) passe à 1 et M1, M11 et M21 passent à 0

Si Période C, alors M11 et M21 passent à 1

Si Période C et M12=1 et M22=1, alors M50 (Gestion normale des charges) passe à 1 et M1, M11 et M21 passent à 0

Si Période C et M13=1 et M22=1, alors M50 (Gestion normale des charges) et M74 (ouvrir TC1) passent à 1 et M1, M11 et M21 passent à 0

Si Période C et M12=1 et M23=1, alors M50 (Gestion normale des charges) et M72 (ouvrir TC2) passent à 1 et M1, M11 et M21 passent à 0

Si Période C et M13=1 et M23=1, alors M52 (Signaler défaut général) passe à 1 et M1, M11 et M21 passent à 0

#### **IV.2.2.Algorithme « appeler gestion GE1 »**

Gestion GE1

Sur front montant de M11, activer la fermeture permanente du contact K1 de démarrage de GE1 (passage de Q100 à 1)

Quelques secondes après la fermeture de K1 (temps de fonctionnement à vide)

Si  $U > 220V$  et  $U < 235V$  et  $f [49Hz ; 51Hz]$ , alors M11, M12 et M321 (charger GE1) passent à 1, M81 (décharger GE1) et M11 passent à 0 si non M13 et M201 (ouvrir K1) passe à 1 et M11 et Q100 passent à 0

Si  $U < 220V$  ou  $U > 235V$  ou  $f$  non  $[49Hz ; 51Hz]$ , alors M13 et M201 (ouvrir K1) passent à 1 et M11 et Q100 (fermer contact K1) passent à 0

#### **IV.2.3.Algorithme « Appeler gestion GE2 »**

Gestion GE2

Sur front montant de M21, activer la fermeture permanente du contact K2 de démarrage de GE2 (passage de Q101 à 1)

Quelques secondes après la fermeture de K2 (temps de fonctionnement à vide)

Si  $U > 220V$  et  $U < 235V$  et  $f [49Hz ; 51Hz]$ , alors M22 et M322 (charger GE2) passent à 1, M80 (décharger GE2) et M21 passent à 0 si non M23 et M203 (ouvrir K2) passe à 1 et M21 et Q101 passent à 0

Si  $U < 220V$  ou  $U > 235V$  ou  $f$  non  $[49Hz ; 51Hz]$ , alors M23 et M203 (ouvrir K2) passent à 1 et M21 et Q101 (fermer contact K2) passent à 0

#### IV.2.4.Algorithme « gestion normale des charges »

Si  $M50=1$  alors exécuter Gestion normale des charges

Si période B et  $E_d \geq 1.1PRP2$  alors M11 passe à 1 (on démarre GE1)

Si période B et  $E_d \geq 1.1PRP2$  et  $M13=1$  alors M60 (gestion arrêt GE2) et (Signaler défaut général) passent à 1

Si période B et  $M13=1$  et  $E_d \leq 0.5PRP2$ , alors (gestion arrêt GE2) passe à 1

Si période B et  $E_d \leq PRP1$ , alors M11 passe à 1 (on démarre GE1)

Si période B et  $Ed \leq PRP1$  et  $M12=1$ , alors M60 (gestion arrêt GE2) passe à 1

Si période B et  $Ed \leq 0.5PRP1$  et  $M12=1$ , alors M60 (gestion arrêt GE1) passe à 1

Si période A et  $Ed \geq 1.1PRP1$ , alors M21 passe à 1 (on démarre GE2)

Si période A et  $Ed \geq 1.1PRP1$  et  $M23=1$ , alors M60 (gestion arrêt GE1) et (Signaler défaut général) passent à 1

Si période A et  $Ed \leq 0.5PRP1$ , alors M60 (gestion arrêt GE1) passe à 1

Si période C et  $M12$  et  $M22=1$  et  $Ed \geq 1.1 (PRP1+PRP2)$ , alors M74 (ouvrir TC1) passe à 1

Si période C et  $M12$  et  $M22=1$  et  $Ed \geq 1.1 (PRP1+PRP2)$  et  $M74$  (ouvrir TC1)=1, alors M60 (gestion arrêt GE1 et GE2) et (Signaler défaut général) passent à 1

Si période C et  $M12$  et  $M22=1$  et  $Ed \leq PRP2$ , alors M60 (gestion arrêt GE1) passe à 1

Si période C et  $M13=1$  et  $M74$  (ouvrir TC1)=1 et  $Ed \geq 1.1 PRP2$ , alors M60 (gestion arrêt GE2) passe à 1

Si période C et  $M13=1$  et  $M74$  (ouvrir TC1)=1 et  $Ed \leq 0.5PRP2$ , alors M75 (fermer TC1) passe à 1

Si période C et  $M13=1$  et  $M75$  (fermer TC1)=1 et  $Ed \leq 0.5PRP2$ , alors M60 (gestion arrêt GE2) et (Signaler défaut général) passent à 1

Si période C et  $M23=1$  et  $M72$  (ouvrir TC2)=1 et  $Ed \geq 1.1PRP1$ , alors M60 (gestion arrêt GE1) passe à 1

Si période C et  $M23=1$  et  $M72$  (ouvrir TC2)=1 et  $Ed \leq 0.5PRP1$ , alors M73 (fermer TC2) passe à 1

Si période C et  $M23=1$  et  $M73$  (fermer TC2) =1 et  $Ed \leq 0.5PRP1$ , alors M60 (gestion arrêt GE1) et (Signaler défaut général) passent à 1

#### IV.2.5.Algorithme « gestion secours des charges »

M51 (Gestion secours des charges)

Si  $Ed > 1.1PRP2$ , alors M50 (Gestion normale des charges) passe à 1(3)

Si  $Ed \leq PRP1$ , alors M11 passe à 1(4)

Si  $Ed \leq PRP1$  et  $M12=1$ , alors M60 (gestion arrêt GE2) et M50 (Gestion normale des charges) passent à 1(5)

Si  $Ed \leq 0.5PRP2$  et  $M13=1$ , alors M60 (gestion arrêt GE2) et M52 (Signaler défaut général) passent à 1(7)

#### IV.2.6.Algorithme « Signaler défaut général »

M52 (Signaler défaut général)

Si  $M52=1$ , alors M17 (fermer contact alarme KS) passe à 1

30 secondes après fermeture de KS ou M18 (action manuelle), alors M17 (fermer contact alarme KS) passe à 0.

#### IV.2.7.Algorithme « Gestion secours des charges (avec délestage) »

M53 (Gestion secours des charges avec délestage)

Si M53=1, alors M72 (ouvrir TC2) passe à 1(3)

Si  $E_d \geq 1.1PRP1$  et M72 (ouvrir TC2)=1, alors M60 (gestion arrêt GE1) passe à 1

Si M21=1(activation manuelle de M21 après dépannage) et M322 alors M73 (fermer TC2), M60 (gestion arrêt GE1) passent à 1 et M21 passe à 0

Si M21 (activation manuelle de M21 après dépannage) et M23=1 alors M52 (signaler défaut) passe à 1

Si période A, alors M73 (fermer TC2) passe à 1

#### IV.2.8.Algorithme « Gestion arrêt GE1 et/ou GE2 »

M60 (gestion arrêt GE1 et/ou GE2)

Si période B et  $E_d \geq 1.1PRP2$  et M13=1, alors M80 (décharger GE2) passe à 1

Y secondes après M203 (ouvrir K2) passe à 1 et M21, M22 et M322 (charger GE2) passent à 0

Si période B et  $E_d \leq 0.5PRP2$  et M13=1, alors M80 (décharger GE2) passe à 1

Y secondes après M203 (ouvrir K2) passe à 1 et M21, M22 et M322 (charger GE2) passent à 0

Si période B et  $E_d \leq PRP1$  et M12=1, alors M80 (décharger GE2) passe à 1

Y secondes après, M203 (ouvrir K2) passe à 1 et M21, M22 et M322 passent à 0

Si période B et  $E_d \leq 0.5PRP1$  et M12=1, alors M81 (décharger GE1) passe à 1

Y secondes après, M201 (ouvrir K1) passe à 1 et M11, M12 et M321 passent à 0 ()

Si période A et  $E_d \geq 1.1PRP1$  et  $M23=1$  ou  $E_d \leq 0.5PRP1$ , alors M81 (décharger GE1) passe à 1

Y secondes après, M201 (ouvrir K1) passe à 1 et M11, M12 et M321 (charger GE1) passent à 0

Si période A et  $M321$  (charger GE1)=1, alors M80 (décharger GE2) passe à 1

Y secondes après, M203 (ouvrir K2) passe à 1 et M21, M22 et M322 passent à 0

Si période C et  $M12$  et  $M74$  et  $M22=1$  et  $E_d \geq 1.1 (PRP1+PRP2)$ , alors M83 (décharger GE1 et GE2) passe à 1

Y secondes après, M201 (ouvrir K1) et M203 (ouvrir K2) passe à 1 et M11, M12, M21, M22, M321 et M322 passent à 0

Si période C et  $M12$  et  $M22$  et  $E_d \leq PRP2$ , alors M81 (décharger GE1) passe à 1

Y secondes après, M201 (ouvrir K1) passe à 1 et M11, M12 et M321 passent à 0

Si période C et  $M23$  et  $M72$  et  $E_d \geq 1.1PRP1$ , alors M81 (décharger GE1) passe à 1

Y secondes après, M201 (ouvrir K1) passe à 1 et M11, M12 et M321 passent à 0

Si période C et  $M23$  et  $M73$  et  $E_d \leq 0.5PRP1$ , alors M81 (décharger GE1) passe à 1

Y secondes après, M201 (ouvrir K1) passe à 1 et M11, M12 et M321 passent à 0

Si période C et  $M13$  et  $M74$  et  $E_d \geq 1.1PRP2$ , alors M80 (décharger GE2) passe à 1

Y secondes après, M203 (ouvrir K2) passe à 1 et M21, M22 et M322 passent à 0

Si période C et  $M13$  et  $M75$  et  $E_d \leq 0.5PRP2$ , alors M80 (décharger GE2) passe à 1

Y secondes après, M203 (ouvrir K2) passe à 1 et M21, M22 et M322 passent à 0

Si  $E_d \geq 1.1PRP1$  et  $M72=1$ , alors M81 (décharger GE1) passe à 1  
Y secondes après, M201 (ouvrir K1) passe à 1 et M321 (charger GE1) passe à 0  
Si M21, M322 et M73, alors M81 (décharger GE1) passe à 1  
Y secondes après, M201 (ouvrir K1) passe à 1 et M321 passe à 0

#### **IV.2.9. Algorithme « ordre de démarrage manuel après dépannage »**

Si M55 (ordre de démarrage manuel GE2), alors M21 passe à 1  
Si M102 (période C) et M322 (charger GE2), alors M73 (fermer TC2)  
Si M56 (ordre de démarrage manuel GE1), alors M11 passe à 1  
Si M100 (période A) et M321 (charger GE1), alors M60 (arrêter GE2) passe à 1  
Si M102 (période C) et M321 (charger GE1), alors M75 (fermer TC1) passe à 1

La conversion en langage Ladder correspondant à ces algorithmes et les différents programmes en langage C sont donnés dans le document « modules de programmes ».

### **IV.3. LE LANGAGE C ASSOCIÉ AU PROGRAMME**

Le langage C est utilisé pour définir des fonctions intervenant dans l'exécution du programme en langage ladder. Dans notre cas présent il s'agit essentiellement des fonctions suivantes :

- Lecture des données dans les registres des transducteurs ;
- Conversion de ces données en grandeurs électriques lisibles ;
- Un programme nommé global contenant la déclaration des variables globales ;

### **IV.4. LES DIFFÉRENTS ÉQUIPEMENTS POUR UNE APPLICATION AU**

#### **« FLEXY-ENERGIE »**

#### **IV.4.1. Schéma synoptique du système automatisé.**

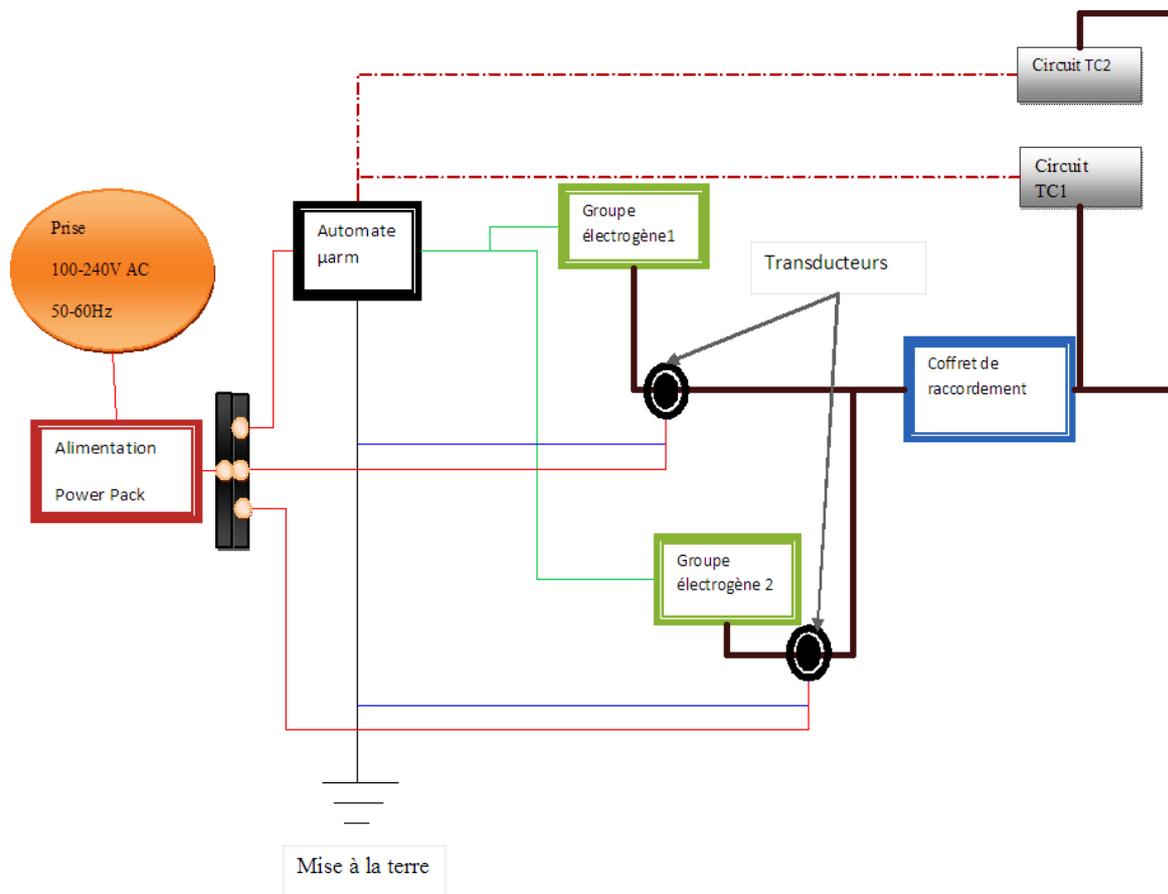


Figure 16: Schéma synoptique

#### IV.4.2. Liste des différents équipements

Tableau 9: liste des équipements

Equipements	Caractéristiques	Quantité
Automate $\mu$ arm	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nombre de sortie : 4</li> <li>- Nombre d'entrée : 7</li> </ul>	1
Transducteurs de mesure	CE-AJ42 : tétraphasé, triple isolation, 15 paramètres, boîtier S3, version B	2
Power pack	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entrée 100 à 240V AC 50 à 60 Hz</li> <li>- Sortie : 24V DC</li> </ul>	1

#### Remarque :

Les 4 sorties du  $\mu$ arm consistent à :

- Ouvrir ou fermer les circuits de démarrage des deux groupes électrogènes.
- Connecter ou déconnecter les deux types de charges définies (TC1 et TC2).

Les 7 entrées du  $\mu$ arm correspondent aux :

- Bouton d'arrêt d'urgence ;
- Basculement en mode automatique ;
- Redémarrage manuel des deux groupes ;
- Départ manuel cycle.

En option deux entrées doivent être prévues pour les capteurs de température des groupes électrogènes.

Le  $\mu$ arm étant limité à 4 entrées et 2 sorties il faut soit utilisé une carte d'extension ou faire une commande spéciale d'une version prenant en compte les spécifications définies.

Les équipements suivants doivent également être prévus :

- Un bouton d'arrêt d'urgence ;
- Un bouton pour le redémarrage manuel ;
- Le basculement en mode automatique ;
- Un bouton pour le départ cycle.
- Une alarme

Les différents câblages sont définis dans le tableau suivant :

**Tableau 10: Connexions entre les équipements**

<b>Câblage</b>
Alimentation du $\mu$ arm et des transducteurs
Connexion automate et transducteurs : câbles blindés
Connexion automate groupes électrogènes
Connexion automate et contact des circuits à délester
Connexion automate et ordinateur de supervision (interface RS485 et port COM pour la connexion à l'ordinateur)
Connexion aux différents boutons et l'entrée automate

#### **IV.5. RECOMMANDATION**

En complément aux modules réalisés, il faudra faire un programme C pour la définition des trois périodes (période A, B et C).

## V. SIMULATION DU PROGRAMME

Pour tester l'exécution des différents programmes un banc d'essai a été réalisé.

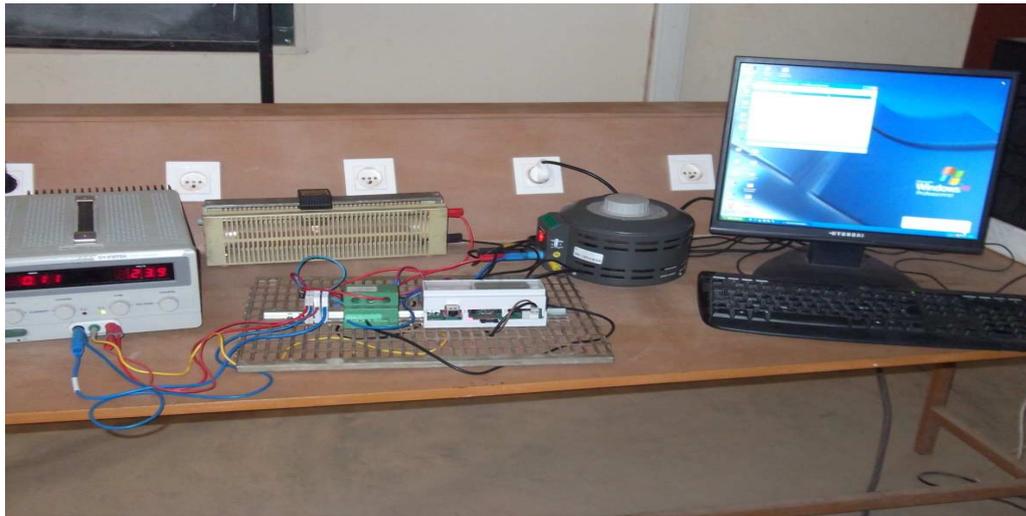
### V.1. MATERIELS UTILISES

Le banc réalisé est composé des éléments suivants :

- Un transducteur CEAJ42 ;
- Un automate  $\mu$ arm ;
- Un générateur courant continu de marque gwinstek GPR-3060D (voir caractéristiques en annexe 7);
- Un générateur courant alternatif monophasé de marque Langlois 33 173 gradignan (voir caractéristiques en annexe 8) ;
- Une charge résistive variable représentant la charge (rhéostat) avec pour caractéristiques : ( $I_{\max}=7.98A$ ,  $U_{\max}=600V$  et  $R=10\Omega$ ).

**Remarque :** le transducteur CEAJ42 est un transducteur triphasé quatre fils, qui normalement doit-être utilisé avec un générateur triphasé. Ou bien à la place du transducteur triphasé utilisé un transducteur monophasé qui s'utilise normalement avec notre générateur monophasé. Techniquement, l'utilisation d'un transducteur triphasé avec un générateur monophasé ne cause aucun problème pour la réalisation des essais.

Nous avons ci-dessous le schéma du système réalisé.



**Figure 17: Banc d'essai**

## V.2. MODE OPERATOIRE

Il s'agit de faire varier la résistance et à travers l'écran de l'ordinateur lire les valeurs du courant, de la tension et de la puissance délivrée par le générateur monophasé. En fonction des conditions prédéfinies dans le programme, simuler le démarrage et l'arrêt des groupes électrogènes à travers le logiciel  $\mu$ contrôl. Les conditions prédéfinies sont les valeurs du courant pour lesquelles les groupes électrogènes doivent démarrer ou arrêter de fonctionner. Le tableau ci-dessous regroupe ces conditions :

	Plage du courant appelé (A)	Groupes électrogènes en marche
Période A	0.4-0.8	GE1
Période B	0.8-1.2	GE2
Période C	1.2-2	GE1 et GE2

## V.3. RESULTATS

Il s'agit à l'aide du logiciel  $\mu$ control d'observer l'état de marche ou arrêt des groupes avec ou sans charges. Ces états correspondent à l'activation des bits qui passe de 0 à 1 sur le logiciel  $\mu$ control lorsque les états suivants sont réalisés :

Conception de système de pilotage de centrale hybride PV /Diesel sans stockage d'énergie.

- GE démarré ou arrêté ;
- GE chargé ou déchargé ;
- Circuit TC1 ou TC2 délesté.

Les autres états définis dans le programme peuvent aussi être observés dans ce logiciel.

## CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Du fait de l'intermittence de l'énergie solaire et de la variabilité de la demande en énergie, les systèmes autonomes PV/Diesel sont confrontés à une forte fluctuation de l'énergie produite. L'utilisation de ces systèmes en site isolé nécessite donc une automatisation de leur fonctionnement en vue d'établir un équilibre entre la production et la demande en énergie.

Lorsque bien automatisé c'est-à-dire, la gestion des flux énergétiques maîtrisés, les centrales hybrides PV/Diesel sans stockage deviennent donc les mieux compétitives pour faire face aux problèmes énergétiques des sites isolés. Cependant pour mieux appréhender les avantages liés à ses systèmes, ceux-ci doivent être objet d'une étude pratique. Cette étude permettra donc de mieux constater, par rapport aux autres systèmes leurs avantages tant sur le plan économique, environnemental que technique afin de dégager des grands axes pour leur intégration aux grands projets de développement des sites isolés.

Cette étude s'est portée particulièrement sur un système comportant deux groupes électrogènes en parallèles. L'objectif étant d'élaborer des programmes modulables pour le pilotage de tout système quelque soit le nombre de groupe utilisé. Les modules de programme ont donc été élaborés à cet effet. Cependant dans le but d'un perfectionnement, les conditions suivantes restent à être intégrées aux programmes réalisés :

- Pour le démarrage des groupes : vérifier le niveau de carburant dans le réservoir ; la température de l'eau de refroidissement ; la pression et la température de l'huile de lubrification.
- Faire un programme pour : le stockage local des données ; la gestion et l'affichage des données sur l'interface graphique de l'automate.

Dans la perspective de substituer le Diesel utilisé dans les moteurs par de l'huile végétale, il faudra intégrer au programme la mesure de la température du moteur en vue de gérer de façon automatique le basculement du fonctionnement en mode « fonctionnement au biocarburant » ou en mode « fonctionnement au Diesel » lors du démarrage et l'arrêt du moteur.

## VI. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Agency, I.E. World Energy Outlook. [en ligne]. Mis à jour en 2011. Disponible sur <http://www.worldenergyoutlook.org/electricity.asp>. [Consulté 20 Mars 2011]
- [2] Guengant, J.M.e.J.-P. Afrique : le grand rattrapage démographique. [en ligne]. Mis à jour le 15 décembre 2007. Disponible sur [http://www.lemonde.fr/afrique/article/2007/12/15/afrique-le-grand-rattrapage-demographique\\_990230\\_3212.html](http://www.lemonde.fr/afrique/article/2007/12/15/afrique-le-grand-rattrapage-demographique_990230_3212.html). [Consulté le 20 Mai 2011]
- [3] Sibiri Judicaël Noël Zongo. Etude et analyse expérimentale d'une centrale hybride PV/groupe électrogène (Diesel ou biocarburant) sans stockage. Mémoire pour l'obtention du master en ingénierie de l'eau et de l'environnement. Institut internationale d'ingénierie de l'eau et de l'environnement (2iE). Présenté le 15 juillet 2010, 81 p.
- [4] L.Stoyanov, G.Notton et V.Lozarov. Revue des énergies renouvelables. [En ligne]. Mis à jour le 25 mars 2007. Disponible sur [http://www.cder.dz/download/Art\\_10-1\\_1.pdf](http://www.cder.dz/download/Art_10-1_1.pdf). [Consulté le 20 Avril 2011].
- [5] l'énergie, A.A.i.d. Injection de photovoltaïque en réseau diesel isolé. [en ligne]. Octobre 2007. Disponible sur [www.iea-pvps.org/index.php](http://www.iea-pvps.org/index.php). [consulté le 15 Mai 2011]
- [6] Amhed . O. BAGRE, cours LES BASES DE L'ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAIQUE. Institut internationale d'ingénierie de l'eau et de l'environnement (2iE). 2011.
- [7] Vandenberg, M. Systèmes hybrides PV/Diesel pour l'électrification rurale. [en ligne] 26 Mai 2011. Disponible sur <http://www.club-er.org/upload/DOCAT296.pdf> [consulté le 27 Février 2011]

## **VII. ANNEXES**

ANNEXE 1 : Différentes configurations des systèmes hybrides

ANNEXE 2 : Caractéristiques de l'onduleur SUNNY BOY

ANNEXE 3 : Caractéristiques groupe SDMO

ANNEXE 4 : Caractéristiques transducteur CE-AJ42 34DS

ANNEXE 5 : Caractéristiques et schéma de connexion automate  $\mu$ arm.

ANNEXE 6 : Caractéristiques du power pack

ANNEXE 7 : caractéristiques du gwinstek GPR-3060D

ANNEXE 8 : caractéristiques du Langlois 33 173 gradignan

ANNEXE 9 : définition des grandeurs utilisées dans les algorithmes.

## ANNEXE 1 : Différentes configurations des systèmes hybrides

<b>Cas où le PV est dimensionné pour satisfaire toute la charge et le groupe électrogène (ou les groupes électrogènes) est utilisé en appoint si nécessaire.</b>	<b>Configuration série :</b>  <u>Le champ PV est dimensionné pour satisfaire toute la charge et le GE (ou les GE) est utilisé en appoint en fonction de la demande et du niveau de charge de la batterie :</u>  En effet, La charge est alimentée exclusivement par le champ solaire et les batteries, via un onduleur dimensionné à cet effet. En cas d'insuffisance de ressource solaire, le courant fourni par le(s) GE est converti en courant continu via un redresseur pour alimenter les batteries puis en alternatif par l'onduleur pour alimenter la charge.
	<b>Configuration commutée :</b>  <u>Le champ PV et le (ou les) GE ne peuvent fonctionner simultanément et sont dimensionnés à cet effet pour satisfaire chacun toute la charge.</u>  Lorsque le niveau de charge des batteries est tel que la demande ne peut être satisfait par le champ solaire, celui-ci est déconnecté de l'alimentation des charges et est utilisé uniquement pour charger les batteries. Le (ou les) GE est alors mis en marche pour alimenter directement la charge. En cas de surplus d'énergie, il complète la charge de la batterie. Le (ou les) GE est arrêté lorsque la demande peut être satisfaite par le champ solaire et les batteries. Dans cette configuration les pertes de conversion sont réduites par rapport à la précédente car le (ou les) GE alimente directement la charge. Il y'a une coupure instantanée lors de la commutation des sources.

<b>Cas où le système PV est dimensionné pour seulement une partie de la charge.</b>	<b>Configuration parallèle avec stockage [4] :</b>  <u>La charge est alimentée par un onduleur bidirectionnel avec possibilité de synchronisation avec le GE.</u>  L'énergie est fournie à la charge simultanément par un champ PV (via des batteries et un onduleur) et le (ou les) GE. Suivant la disponibilité de la ressource solaire, il est possible de faire marcher ou non le (ou les) GE. En outre, ce dernier peut également recharger les batteries. Cette configuration est beaucoup utilisée actuellement pour l'électrification décentralisée ; cependant, la faible durée de vie des batteries et l'inexistence des structures de recyclage posent des problèmes économiques et environnementaux
	<b>Configuration parallèle sans stockage[3]:</b>  <u>La charge est alimentée simultanément par un (ou les) GE et un champ solaire sans stockage.</u> Dans ce cas un onduleur-synchroniseur est obligatoire. En cas d'absence de la ressource solaire, le (ou les) GE subit un appel de puissance plus fort. Par ailleurs, il n'est pas possible d'alimenter la charge uniquement avec la ressource solaire ; l'onduleur déconnecte automatiquement le champ solaire en absence de tension extérieure sur le bus AC.

## ANNEXE 2 : Caractéristiques de l'onduleur SUNNY BOY

Caractéristiques techniques		
		Sunny Boy 3300
<b>Performant</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Refroidissement Opticool</li> <li>• Rendement maximal de 95,6 %</li> </ul>	<b>Valeurs d'entrée</b> Puissance DC max. ( $P_{DC, max}$ ) Tension DC max. ( $U_{DC, max}$ ) Plage de tension PV, MPPT ( $U_{MPP}$ ) Courant d'entrée max. ( $I_{PV, max}$ ) Tension DC résiduelle ( $U_{SS}$ ) Nombre max. d'entrées (parallèles) Dispositif d'interruption DC Varistors à surveillance thermique Contrôleur d'isolement Protection inversion des pôles	3820 W 500 V 200 V - 400 V 20 A < 10 % 3 connecteur à fiche, ESS Oui Oui diode en court-circuit
<b>Sécurité optimale</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Interrupteur sectionneur DC intégré ESS</li> <li>• Séparation galvanique</li> </ul>	<b>Valeurs de sortie</b> Puissance AC max. ( $P_{AC, max}$ ) Puissance nominale ( $P_{AC, nom}$ ) Coeff. dist. harm. courant réseau Tension nominale AC ( $U_{AC, nom}$ ) Fréquence nominale ( $f_{AC, nom}$ ) Coefficient de puissance ( $\cos \phi$ ) Résistance aux courts-circuits Raccordement au réseau	3600 W 3300 W < 4 % 220 V - 240 V 50 Hz / 60 Hz 1 oui, régulation du courant connecteur à fiche AC
<b>Solution fiable</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Service et assistance téléphonique SMA</li> <li>• Garantie SMA : 5 ans, extension jusqu'à 20 ans</li> </ul>	<b>Rendement</b> Rendement maximal Euro-eta	95,2 % 94,4 %
	<b>Indice de protection</b> selon DIN EN 60529	IP65
	<b>Caractéristiques mécaniques</b> largeur / Hauteur / Profondeur (mm) Poids	450 / 352 / 236 41 kg

## ANNEXE 3 : Caractéristiques groupe SDMO

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES				GROUPES MONOPHASES				GAMME PACIFIC								
Caractéristiques 50 Hz 230 V			Caractéristiques 60 Hz 240 V			Caractéristiques communes										
GROUPES (7)	kVA Cos 0,8		Cons 3/4 L/h	GROUPES	kWe ISO 8528*		Cons 3/4 L/h	Moteur				Alternateur Type	Version Compact (5)			
	PRP (3)	ESP (4)			PRP (3)	ESP (4)		Type Moteur	Cyl	Alésage (mm)	Course (mm)		Cyl (L)	Dimensions Lxlxh (m)	Poids(6) (kg)	Réservoir (L)
T11,5HKM	-	11,5	4,2	-	-	-	-	L3E SDH	3L	76	70	0,95	ECO3-2L	1,41x0,72x1,03	318	50
T5,5KM	5	5,5	1,7	-	-	-	-	L3E SD	3L	76	70	0,95	ECO3-2S	1,41x0,72x1,03	307	50
T9KM	7,8	8,6	2,5	T11UM	9,1	10	3,2	S3L2 SD	3L	78	92	1,30	ECO3-2L	1,41x0,72x1,05	396	50
T12KM	11	12,1	3,4	T16UM	14	15	4,2	S4L2 SD	4L	78	92	1,75	ECO28-1L	1,41x0,72x1,05	452	50
T17KM	15,6	17,2	4,7	T20UM	18	20	5,6	S4Q2 SD	4L	88	103	2,50	ECO28VL	1,70x0,90x1,12	580	100
-	-	-	-	T30UM	27	30	8,2	S4S SD	4L	94	120	3,33	ECO28VL	1,70x0,90x1,14	660	100

(1) Disponibles également dans les tensions suivantes : 415/240 V - 380/220 V - 220/127 V - 200/115 V  
 (2) Disponibles également dans les tensions suivantes : 440/254 V - 220/127 V - 208/120 V  
 (3) PRP : Puissance principale disponible en continu sous charge variable pendant un nombre d'heures illimité par an en accord avec ISO 8528-1, une surcharge de 10 % une heure toutes les 12 heures est disponible en accord avec ISO 3046-1  
 (4) ESP : Puissance Stand-by disponible pour une utilisation secours sous charge variable en accord avec ISO 8528-1, pas de surcharge disponible dans ce service.  
 (5) Les dimensions et poids s'entendent pour un groupe défini au tarif, hors options  
 (6) Poids à vide - hors carburant  
 (7) Disponibles également dans les tensions suivantes : 220 V - 240 V  
 \*ISO 8528 : puissances exprimées conformément à la législation en vigueur

## ANNEXE 4 : caractéristiques du transducteur CE-AJ

### Spécifications:

**Entrée / Mesure (AC) 45-65Hz :** calibre:

0---> 110V, 220V, 380V, 500V, 1000V

0---> 1A, 5A, 15A, 25A, 50A, 80A

**Valeurs mesurées:** U, I, P, Q, F, cos phi, (en volt, ampère, W, kWh et kvarh).

- **Sortie de données:** Tension et Intensité des trois phases, fréquence F, P puissance active (positive ou négative) de chacune des trois phases et la puissance active totale, puissance réactive Q (positif ou négatif), Cos phi facteur de puissance (positif ou négatif), énergie active kWh (positive ou négative) et énergie réactive kvarh (positive ou négative) soit 15 paramètres.

Les données de sortie de F et Cos phi indiquent la valeur réelle de la fréquence et du facteur de puissance mesuré.

Les données de sortie des autres paramètres sont présentées sous la forme d'un pourcentage égal au rapport entre la valeur réelle et la valeur maximale de la plage de mesure (pleine échelle).

**Sortie / signal:** RS-485, RS-232C

**Précision:** fréquence= 0.05 Hz. Voltage, Intensité, facteur de puissance, puissance active, Puissance réactive, énergie active, réactive = 0.5%.

**Transmission des données:** 1200, 2400, 4800, 9600, 19.2K bps

**Rafraichissement:** 250ms

**Isolation (v):** 2500V DC

**Alimentation:** +24VDC

**Calcul de puissance :**

$$P = 3 * (X_p * (5 * 380)) / 10000 \text{ (W)}$$

$$P = 3 * (X_P * (5 * 380)) / 10000 \text{ (W)}$$

$$Q = 3 * (X_q * (5 * 380)) / 10000 \text{ (Var)}$$

$$Q = 3 * (X_q * (5 * 380)) / 10000 \text{ (Var)}$$

Dans ce cas:

$X_p$  = donnée de la puissance active reçue par l'équipement maître. (2 octets, un octet de poids fort, le MSB est le bit de signe.)

$X_q$  = donnée de puissance réactive reçue par l'équipement maître. (2 octets, un octet de poids fort a venir, le MSB est le bit de signe.)

**Calcul de l'énergie active:**

$$N = n * (5 * 380) / (10000 * 3600) \text{ (kWh)}$$

Dans ce cas:

$n$  = donnée de l'énergie active reçue par l'équipement maître. (4 octets, un octet de poids fort, le MSB est le bit de signe.)

**Calcul de la fréquence :**

$$f = F / 1000 \text{ (Hz)}$$

Dans ce cas:

$F$  = donnée de fréquence reçue par l'équipement maître. (2 octets, pas de bit de signe.)

### **Calcul du courant et tension :**

5

Dans ce cas:

U = donnée de la tension reçue par l'équipement maître. (2 octets, un octet de poids fort, le MSB est le bit de signe.)

$i = I/10000$  (A)  $i = I/10000$  (A)

Dans ce cas:

I= donnée de courant reçu par l'équipement maître. (2 octets, un octet de poids fort, le MSB est signe.)

### **ANNEX 5 : caractéristiques et schéma de connexion de l'automate $\mu$ Arm**

- Micro-processeur ARM 7 TDMI @ 60 Mhz
- Mémoire Ram sauvegardée de 512 Ko
- Horloge : date et heure sauvegardée
- Support carte mémoire type SDCARD
- 1x port RS485, 1x port RS232 (Modbus)
- 1x port Ethernet (Modbus-TCP)
- Afficheur LCD 2 lignes de 16 caractères
- 2x boutons poussoirs, 1x buzzer type EI242
- 4 entrées logiques
- 2 sorties logiques à relais
- Alimentation 12-24VDC

Cartes d'extensions : logiques, analogiques

Programmation: Atelier logiciel µLadder

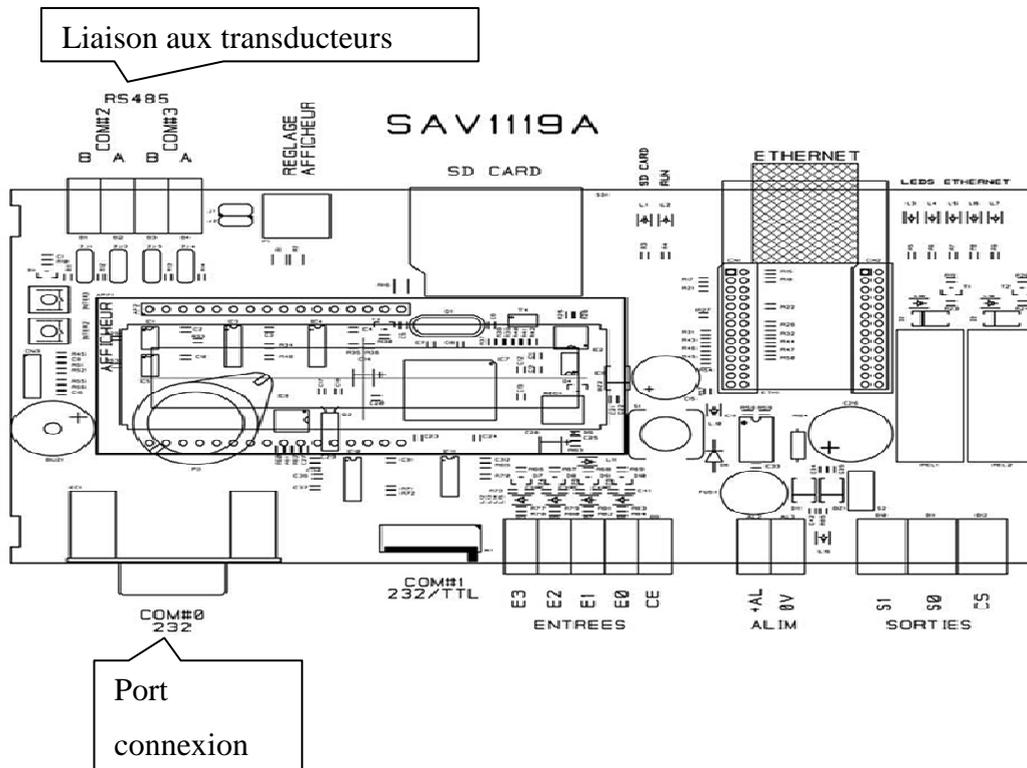


Figure 18: schéma de connexion de l'automate

### ANNEXE 6 : caractéristiques du Power-pack

<b>Power-pack</b>
Alimentation permanente secours
Entrée 100 à 240 V <sub>AC</sub> +/-15%
50/60Hz
Sortie 24 Vcc, 4A
Alimentation à découpage, filtrée
Alimentation secourue par batterie à plomb étanche
Batterie 7 Ah
Température ambiante de fonctionnement de -10°C à + 40°C
Signalisation de fonctionnement par LED
Dim. (mm) 255x180x185

### **ANNEXE 7 : caractéristiques du gwinstek GPR-3060D**

Référence	GPR3060D
Affichage	Type DD
Tension	0 à 30 V
Intensité	0 à 6 A
TENSION Réglable par 2 boutons - GROS et FIN - de 0 à la tension max	
COURANT Deux gammes commutables : 0 à $I_{max}/2$ et 0 à $I_{max}$ . Réglage par deux boutons GROS et FIN.	
REGULATION :	
Variation maximum de la tension de sortie : $< 0,01\% + 3mV < 0,2\% + 3mA$	
pour variation secteur de 15% ou variation de la charge de 0 à 100%.	
BRUIT DE FOND 0,5mVeff.	
PROTECTION Electronique par limitation de courant contre les surcharges prolongées ou courts-circuits répétés	
Alimentation secteur 120-240V - 50/60Hz	

### **ANNEXE 8 : caractéristiques du Langlois 33 173 gradignan**

Tension et courant d'entrée (secteur)	220 V AC et 7A
Tension sortie AC	0 à 270 V 7A

## ANNEXE 9 : définition des grandeurs utilisées dans les algorithmes

%M17: alarme	%M80:décharger GE2
%M18: bouton manuel	%M81:décharger GE1
%M21: ordre de démarrage GE2	%M83:décharge rGE1 et GE2
%M22:GE2 démarre OK	%M90:énergie demandée supérieur 1,1 fois PRP2
%M23: échec démarrage GE2	%M91: énergie demandée supérieur à 1,1 PRP1
%M50:gestion normale des charges	%M92: énergie demandée inférieur à 50% de PRP1
%M51:gestion secours des charges	%M93: énergie demandée inférieur à 0,5PRP2
%M52:signaler défaut général	%M95:énergie demandée inférieur à PRP2
%M53:gestion secours avec délestage	%M96:énergie demandée inférieur à PRP1
%M54:gestion charge avec délestage	%M97:énergie demandée supérieur à 1,10(PRPP1 + PRP2)
%M60:gestion arrêt GE1 et ou GE2	%M98:énergie demandée inférieur à 0,5PRP2
%M70:tension entre 220 et 235	%M100:période A
%M71: fréquence entre 49 et 51	%M101:période B
%M72:délester circuit TC2	%M102 période C
%M73:connecter les charges TC2	%M103:Automate Hors Tension
%M74:déconnecter les charges TC1	%M104:Automate Sous Tension
%M75:connecter les chargesTC1	
%M201: ouvrirK1	%M304: Etape Ecriture
%M203: ouvrirK2	%M305: Fin Conversion Données
%M300: Lancement Lecture	%M321: charger GE1
%M301: Etape Conversion	%M322 : charger GE2
%M302: Etape Lecture	%MW0: CLIGNOTEUR
%M303: Fin Lecture	%MW2: arrêt Alarme

Conception de système de pilotage de centrale hybride PV /Diesel sans stockage d'énergie.

%MW4: Fonctionnement à Vide
%MW6 : Fonctionnement à Vide
%MW8 : Fonctionnement à Vide
%MW11 : Fonctionnement à Vide
%MW13 : Fonctionnement à Vide
%MW15 : Fonctionnement à Vide
%MW17 : signale lumineux
%MW19 : alarme
%MW20 : Fonctionnement à Vide
%MW22 : Fonctionnement à Vide
%MW24 : Fonctionnement à Vide
%MW26 : Fonctionnement à Vide
%MW28 : Fonctionnement à Vide
%MW31 : Fonctionnement à Vide
%MW32 : Fonctionnement à Vide
%MW33 : Fonctionnement à Vide
%MW34 : Fonctionnement à Vide
%MW50 : Numéro Esclave

(Transducteur)
%MW51 : Numéro Registre du Transducteur
%MW100 : Tension entre phase et neutre du GE1
Y : temps de fonctionnement à vide avant arrêt
M55 : ordre de démarrage manuel GE2
X : temps de fonctionnement à vide après démarrage
%MW166 : Tension entre phase et neutre du GE1
%MW200 : Tension entre phase et neutre du GE2
%MW266 : Tension entre phase et neutre du GE2
%MW366 : Tension entre phase et neutre du GE1
M56 : ordre de démarrage manuel GE1