



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

AUTOMATISATION ET OPTIMISATION DU FONCTIONNEMENT D'UN GROUPE ELECTROGENE FONCTIONNANT AUX HUILES VEGETALES

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR DE L'EQUIPEMENT RURAL

Présenté et soutenu publiquement le 30 Juin 2008 par

Martin Francis SOBGUI MIAFO

Travaux dirigés par : Dr. Yao AZOUMAH et Dr. Joël BLIN
Enseignant-chercheur à la fondation 2iE.
UTER-GEI

Jury d'évaluation du mémoire :

Président : **Prof. Yézouma COULIBALY**

Membres et correcteurs : **Dr. Yao AZOUMAH**
Dr. Joël BLIN
Mr. Francis SEMPORE

Promotion 2007/2008

DEDICACES

A mon père **MIAFO Etienne** et à ma maman **MAKEMDJEU Monique**
que j'aime tant,

A mon grand père **SOBDONG Léon** et à mes grands-mamans **Suzanne,**
Pauline et Anne,

A mon tuteur **TSEMZANG Jean Noël** et à ma Nourrisse **TEUFACK Julienne,**

A mon oncle **AZEMTSA René,**

A mes frères et sœurs,

A mes nièces,

Aux **défunts de ma famille,**

Je dédie ce mémoire.

Remerciements

Arrivé au terme de ce mémoire, j'ai le plaisir d'adresser ma reconnaissance à toutes les personnes sans qui ce travail n'aurait pas pu être réalisé.

Pour leur disponibilité, leur investissement, leurs conseils judicieux et très avisés, je tiens tout d'abord à remercier mes encadreurs **Dr. Yao AZOUMAH** et **Dr. Joël BLIN**. Leurs interpellations multiformes au cours de ce second semestre de l'année académique 2007/2008, n'ont en rien perturbé leur disponibilité dans mon encadrement. C'est donc avec force et fierté que je revendique d'être leur disciple.

La partie automatisme de ce mémoire a bénéficié de la très grande contribution de **Messieurs Henri KOTTIN** et **Justin BASSOLE**. Je tiens à les remercier grandement.

Je remercie **tous les enseignants de la fondation 2iE** pour toutes les connaissances qu'ils m'ont permis d'acquérir tout au long de ces trois années de formation.

Un grand merci à l'égard de l'ensemble du personnel du 2iE et plus particulièrement à Madame **Bernadette OUATTARA**, secrétaire de l'UTER/GEI.

Ma profonde gratitude va à l'égard de tous **mes camarades de promotion** ainsi qu'à l'ensemble de la communauté estudiantine du 2iE pour tous les moments de dur labeur et de joies passés ensemble.

Je serai à jamais redevable à mes parents et à ma famille. Qu'ils puissent apprécier le sens de leurs sacrifices et de ce juste combat que je mène depuis des années. Ma profonde gratitude va plus particulièrement à l'égard de mes frères **Simplice** et **Guy** ainsi que de mes sœurs **Charlie** et **Florence** pour toutes leurs assistances en dépit de la grande distance qui nous a séparée ces trois dernières années.

Pour tous les durs moments passés à Dschang ensemble, que mon cousin **Lionnel LATELA** trouve en ce mémoire un motif de fierté, de légitime orgueil, un modèle de persévérance et de témérité et surtout un exemple à dépasser. Merci cousin, de toujours penser à moi.

Que toutes celles et tous ceux qui ont bien voulu m'aider d'une manière ou d'une autre dans la réalisation de ce travail acceptent le témoignage de ma profonde gratitude. Je pense particulièrement à **Apolline BASSINGA** ainsi qu'à mes compatriotes du **C.E.E.C.B.F (Cercle des Elèves et Etudiants Camerounais au Burkina Faso)** et de l'**AECAGRO (Association des Etudiants Camerounais en Génie Rural à Ouagadougou)** qui m'ont aidé et soutenu pour vaincre la solitude et l'éloignement.

C'est l'occasion pour moi de dire un MERCI particulier à tous ceux et/ou celles qui m'ont soutenu tout au long de ma formation. Je pense ainsi :

Aux **quatre mousquetaires du groupe P.A.Y.S. (Prudence KOPA, Audrey SOFO, Yanick TEKEL, Sonia CHIAGO)**, veuillez acceptez à travers ce mémoire le témoignage de ma profonde gratitude a votre égard. Vos soutiens multiformes à mes côtés aussi bien pendant les moments de joies que de tristesses restera à jamais gravé dans mes pensées. Merci et merci encore.

A **Pélagie KEUBOU**, pour son soutien sans faille et sa grande générosité à mon égard.

A **Carine NGUFACK** et à **Nadine MIAFFO** mes plus que sœurs, camarades d'enfance et amis depuis tout petits et ce, pour toute la vie.

A **Ignas NZEDONG** mon frangin, **Léocadie NGUIAMBOU** et **Adolphe KOUEFOUET** qui m'ont tellement manqués durant ces trois dernières années.

Je tiens également à dire un grand merci à tous les **enseignants du département de Physiques, faculté des Sciences de l'Université de Dschang au Cameroun** ainsi qu'à tous ceux qui ont contribué soit directement ou indirectement (à travers les publications scientifiques et/ou diverses informations) à la rédaction de ce document.

SOMMAIRE

| | |
|---|----|
| Dédicaces | i |
| Remerciements | ii |
| LISTE DES FIGURES | 3 |
| LISTE DES TABLEAUX | 3 |
| LISTE DES PHOTOS | 3 |
| Liste des abréviations | 4 |
| GLOSSAIRE | 5 |
| RESUME | 7 |
| ABSTRACT | 8 |
| CHAPITRE I : INTRODUCTION & GENERALITES | 9 |
| I.1 Objectifs de l'étude | 13 |
| I.2 Démarche suivie (méthodologie de recherche) | 14 |
| I.3 Justification de l'étude | 16 |
| CHAPITRE II : OPTIMISATION DU FONCTIONNEMENT DU GROUPE ELECTROGENE | 19 |
| II.1 Introduction | 19 |
| II.2 Détermination de la température de la chambre de combustion | 19 |
| II.3 Résultats obtenus | 23 |
| CHAPITRE III : AUTOMATISATION DU FONCTIONNEMENT DU GROUPE ELECTROGENE | 25 |
| III.1 Introduction | 25 |
| III.2 Mise en œuvre d'un problème d'automatisme | 27 |
| | 29 |
| III.3 Les langages d'automates | 30 |
| III.4 APPLICATION | 35 |
| III.5 Choix d'un API | 37 |
| III.6 Exploitation du grafcet dans un automate | 39 |
| III.7 ETAPES POUR LA SUITE DU PROJET | 40 |
| CHAPITRE IV : CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS | 41 |
| IV.1 Conclusions | 41 |
| IV.2 Recommandations | 42 |

| | |
|---|----|
| BIBLIOGRAPHIE | 43 |
| ANNEXES | 45 |
| Annexe 1 : Evolution des importations d'hydrocarbures de 1993 à 2003 | 46 |
| Annexe 2 : Les différents cycles du moteur Diesel du point de vue thermodynamique..... | 47 |
| Annexe 3 : Températures d'échappement et de la chambre de combustion en fonction de la charge | 48 |
| Annexe 4 : Procédure de démarrage du groupe électrogène du LBEB..... | 49 |
| Annexe 5 : Procédure d'arrêt du groupe électrogène du LBEB..... | 50 |
| Annexe 6 : Tableau récapitulatif des thermocouples standard..... | 51 |
| Annexe 7 : Choix d'un thermocouple | 52 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|---|----|
| Figure 1 : Equipe de recherche de l'UTER GEI | 15 |
| Figure 2: Schéma du dispositif expérimental | 17 |
| Figure 3 : Diagramme a) T-S et b) P-V d'un cycle Diesel Idéal..... | 21 |
| Figure 4 : T_{comb} en fonction de $T_{échap}$ | 23 |
| Figure 5 : logigramme du fonctionnement du groupe électrogène | 26 |
| Figure 6 : Grafcet Niveau 1 | 29 |
| Figure 7 : Grafcet Niveau 2..... | 30 |
| Figure 8 : diagramme d'échelle (LD) | 32 |
| Figure 9 : L'automate de base Télémécanique TSX 17-20..... | 33 |
| Figure 10 : Guide de saisie des codes opérations et opérandes PL7 | 35 |
| Figure 11 : Zelio logic..... | 38 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|--|----|
| Tableau 1 : Propriétés physico-chimiques des huiles et du gazole utilisés..... | 11 |
| Tableau 2 : Spécifications du groupe électrogène..... | 15 |
| Tableau 3 : Valeur de la puissance électrique du moteur en fonction de la charge. | 21 |
| Tableau 4 : Rendement thermique du moteur en fonction de la charge appliquée | 22 |
| Tableau 5 : valeur de r_{of} en fonction de la charge appliquée | 22 |
| Tableau 6 : Principales commandes du langage L.I..... | 32 |
| Tableau 7 : Quelques commandes d'activation et de désactivation d'étapes en L.I..... | 33 |
| Tableau 8 : Température d'échappement en fonction de la charge..... | 48 |
| Tableau 9 : Température de la chambre de combustion en fonction de la charge | 48 |

LISTE DES PHOTOS

| | |
|--|----|
| Photo 1 : Photo du dispositif expérimental | 17 |
|--|----|

LISTE DES ABREVIATIONS

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

API : Automate Programmable Industriel

CIRAD : Centre International de Recherche Agronomique pour le Développement

GRAFCET : Graphe Fonctionnel de Commande Etapes Transitions

LBEB : Laboratoire Biomasse Energie et Biocarburants

PCI : Pouvoir Calorifique Inférieur

PME : Petite et Moyenne Entreprise

PMI : Petite et Moyenne Industrie

SN-CITEC : Société Nouvelle Compagnie Industrielle Textile et Cotonnière

SOCAPALM : Société Camerounaise des Palmeraies

UTER / GEI : Unité Thématique d'Enseignement et de Recherche / Génie Energétique et Industriel

GLOSSAIRE

A

Automate : dispositif se comportant de manière automatique, c'est-à-dire sans intervention humaine.

Automate programmable industriel (API) : appareil électronique programmable, adapté à l'environnement industriel, qui réalise des fonctions d'automatisme pour assurer la commande de pré actionneurs et d'actionneurs à partir d'informations logique, analogique ou numérique.

B

Biomasse : ensemble de la matière organique d'origine végétale ou animale.

H

Huile : terme générique désignant des matières grasses qui sont à l'état liquide à température ambiante et qui ne se mélangent pas à l'eau.

Huile végétale : huile extraite de la graine ou du fruit oléagineux et obtenue par première pression à froid.

I

Indice de Cétane: mesure l'aptitude à l'auto-inflammation d'un carburant pour moteur diesel. Un carburant à haut indice de cétane est caractérisé par sa facilité à s'auto-allumer.

P

Point éclair: température à laquelle un fluide émet assez de vapeurs pour qu'elles puissent s'enflammer au contact d'une flamme.

Point de trouble : température à laquelle un produit liquide se trouble par l'apparition de cristaux paraffines lorsque le produit est refroidi dans des conditions normalisées.

Point d'écoulement : température la plus basse à laquelle un produit peut encore couler lorsqu'il est refroidi dans des conditions prescrites.

Point de fusion : température à laquelle une substance passe de l'état solide à l'état liquide sous la pression atmosphérique.

Pouvoir calorifique : quantité d'énergie dégagée par unité de carburant, lors de la réaction chimique de combustion complète conduisant à la formation de CO_2 et H_2O .

Pouvoir calorifique inférieur (PCI) suppose que l'eau obtenue par combustion se trouve à l'état gazeux.

RESUME

L'après pétrole est inéluctable car depuis la fin des années 80 les découvertes couvrent à peine l'augmentation de la demande mondiale. Dans ce contexte de forte croissance des prix du baril de pétrole et de préoccupations environnementales, une attention de plus en plus importante est accordée à l'utilisation des huiles végétales comme alternative partielle aux énergies d'origine fossile. Dans cette perspective, des travaux de recherche sont menés au sein du laboratoire biomasse énergie et biocarburant (LBEB) du 2iE. L'un de ces travaux concerne l'adaptation d'un groupe électrogène pour fonctionner aux huiles végétales pures telles que les huiles de coton et de palme. Il s'agit d'un groupe de 6kW, type Lombardini 9LD 561-2L, quatre temps, injection indirecte, double cylindre. L'étude du comportement thermique du moteur vis-à-vis des huiles utilisées nous a permis de fixer la température de basculement du circuit gazole au circuit huile végétale à 370°C. Nous avons proposé un basculement automatique à l'aide d'un automate Zelio logic à 8 entrées, dont 4 entrées analogiques et 4 entrées TOR, et 4 sorties qui répond bien aux exigences de cette automatisation.

Mots Clés : Automatisation ; Automate ; Optimisation ; Groupe électrogène ; Huile végétale.

ABSTRACT

Since the end of the years 80, petroleum's discoveries hardly cover the increase of the world demand. In this context of exponential growth petroleum barrel price and environmental concerns, an important attention is given to the use of vegetable oils as partial alternative to fossil energies. In this perspective, research works are undertaken within the Laboratory of Biomass Energy and Biofuel (LBEB) of 2iE. One of this works deal with the adaptation of a power generating to be running with pure vegetable oils such as palm oil and cotton seed oil. The power of this generator is 6kW, Lombardini 9LD 561-2L type, four strokes, indirect injection, double cylinder. A two-tank system, one tank holds the vegetable oil and the other holds the diesel, allows problems such as high viscosity and weak lower calorific value related to the direct use of these oils in the diesel engines. The study of the thermal behaviour of the engine with respect to oils used enabled us to fix the temperature of switching from diesel circuit to vegetable oil one at 370°C. We then propose an automatic switch through the use of a Zelio logic automaton having 8 inputs (4 analogical and 4 All Or Nothing) and 4 outputs that correctly fits the requirements of this automation.

Key words: Automation; Automaton; Optimization; Power generating; Vegetable oil.

CHAPITRE I : INTRODUCTION & GENERALITES

« Le pétrole étant de la biomasse végétale fossile, enfouie depuis 200 millions d'années, comme le gaz et le charbon, on peut dire que les biocarburants sont en fait du « pétrole frais » qui repousse, puisque les plantes qui les produisent sont cultivées chaque année ».

Claude Roy, *Coordinateur interministériel français pour la valorisation de la biomasse*

L'épuisement à moyen terme des ressources pétrolières a encouragé la recherche d'alternatives énergétiques durables car l'après pétrole, unique fournisseur de carburants liquides, est inéluctable parce que depuis la fin des années 80 les découvertes couvrent à peine l'augmentation de la demande mondiale [1]. Cette prise en considération de l'épuisement des ressources énergétiques révèle un état d'inquiétude générale au sein des pouvoirs publics. A ceci, vient s'ajouter la prise en compte de préoccupations environnementales. Or il ne fait aucun doute que pour se développer il faut consommer de l'énergie. D'autre part, l'Afrique reste le continent de la pauvreté énergétique : 13% de la population mondiale, mais seulement 3% de la consommation d'électricité [2].

La consommation annuelle par habitant est de 24.000 kWh pour la Norvège, 15.000 kWh pour l'Amérique du Nord, 7.600 kWh pour la France et seulement 750 kWh pour l'Afrique. La puissance maximale par habitant est ainsi de 3.200 W en Norvège, de 1.800 W aux Etats-Unis, de 1.000 W en France et seulement de 85 W pour l'Afrique [2]. (*Ces données datent du début des années 2000*)

A l'instar de la quasi-totalité des pays sahéliens de l'Afrique au Sud du Sahara, le Burkina Faso a vu ses importations de gazole passer de 62 565 à 198.477 tonnes [3] en l'espace de 10 ans (de 1993 à 2003). De même les évolutions des ventes de gazoles sont passées de 43.759 à 114.392 tonnes [3] pendant la même période (voir annexe 1). La volonté des Etats à réduire la dépendance au pétrole et le souhait de promouvoir des énergies à faible contenu en carbone sont les principaux moteurs de recherches des énergies alternatives.

Les biocarburants, carburants synthétisés à partir de la biomasse, sont depuis quelques années portés en avant des recherches pour trouver les substituts aux produits pétroliers. Dans la

pratique, il existe trois grandes filières pour le biocarburant : La filière alcool (méthanol et éthanol), La filière biodiesel et la filière huiles végétales. C'est sur cette dernière filière que portera notre étude intitulée « l'automatisation et l'optimisation du fonctionnement d'un groupe électrogène fonctionnant aux huiles végétales ».

L'utilisation des biocarburants présentent un bon nombre d'avantages car contrairement au pétrole, les biocarburants sont totalement et rapidement biodégradables, donc ne pourraient en aucun cas provoquer une marée noire. Les huiles végétales ne contiennent pas d'azote, ne contiennent pas, ou alors contiennent très peu, de soufre (qui retombe sous forme d'acide sulfurique et agresse les toitures et dégradent notamment les façades des monuments). Le soufre est également responsable des pluies acides. Les huiles végétales ne contiennent pas de métaux lourds et pas de benzène. Ainsi, carburer aux huiles végétales entraîne une diminution immédiate de la pollution générée par les gaz d'échappements des moteurs. D'autre part, le protocole de Kyoto impose des restrictions, concernant les émissions de CO₂, qui peuvent être satisfaites, puisque le CO₂ rejeté par la combustion d'huiles végétales dans les moteurs a déjà été absorbé lors de la croissance de la plante, contrairement à l'utilisation des produits fossiles [4]. En circuit court (production locale d'électricité, pompage, etc.), l'usage de 1000 litres d'huiles végétales permet d'atteindre 3,2 tonnes de CO₂ évité [1].

Ainsi, l'emploi généralisé d'huiles végétales - comme carburants – permettra de réduire la **dépendance** énergétique des pays qui pourront produire sur place leur propre carburant « vert » [4].

Il convient tout de même de souligner que l'emploi des huiles végétales comme combustibles diesel ne date pas d'aujourd'hui. En effet, **Rudolf DIESEL**, l'inventeur du moteur qui porte son nom, lequel nom est écrit et prononcé des milliers de fois par jour dans le monde entier, avait conçu et vérifié le bon fonctionnement dudit moteur à l'huile végétale (plus précisément à l'huile d'arachide) en 1892. Ce moteur fût exposé à Paris en 1900 lors de l'exposition coloniale [1].

Avant de prédire en 1912 que « *l'utilisation d'huiles végétales comme carburant pour moteurs peut sembler insignifiante aujourd'hui, mais ces huiles deviendront bientôt aussi importantes que le pétrole et le goudron de charbon* », **Rudolf DIESEL** déclarait la même année que : « *le moteur diesel peut être alimenté avec des huiles végétales et sera en mesure de contribuer fortement au développement de l'agriculture des pays qui l'utiliseront* ».

C'est l'évolution économique et industrielle mondiale qui a spécialisé les moteurs vers le pétrole, ressource plus abondante et, hier, plus facile d'accès que d'autres comme les huiles végétales par exemple [1].

Il y a eu des essais isolés mais également des utilisations pratiques et de longue durée des huiles végétales dans les moteurs au début de la deuxième guerre mondiale. Notamment dans le port d'Abidjan (Côte d'Ivoire) où le ravitaillement en carburants classiques devenant difficile, la Société de Construction du port utilisa, dans ses moteurs de 50 à 800 chevaux (37 à 590 kW), de l'huile de palme filtrée au filtre-presse à raison de 100 tonnes par mois [1].

Il est aussi utile de rappeler que durant la dernière guerre, un convoi de 30 à 40 camions militaires de l'armée française effectuait chaque semaine la liaison Dakar-Alger (3 500 km). Ces camions fonctionnaient à l'huile d'arachide ainsi que tous les autobus de Dakar (Sénégal) à la même époque [1].

Utiliser les huiles végétales dans les moteurs Diesel ne devrait pas à priori être un choix économique, c'est avant tout un choix écologique et politique, c'est un choix de vie qui d'après nous, fait parti intégrante du concept de développement durable qui est un **« développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs »**.

Le tableau 1 présente les caractéristiques physico-chimiques des huiles végétales et du gazole utilisés au LBEB.

Tableau 1 : Propriétés physico-chimiques des huiles et du gazole utilisés

| Carburant | Diesel | Huile de coton | Huile de palme |
|---|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Formule chimique | $\text{CH}_{1,73}$ | $\text{CH}_{1,81}\text{O}_{0,10}$ | $\text{CH}_{1,84}\text{O}_{0,11}$ |
| Masse volumique à 20°C (kg/m^3) | 844 | 921 | 915 |
| Viscosité à 37,8°C (mm^2/s) | 4 | 38 | 60 ^a |
| PCI (kJ/kg) | 42750 | 36780 | 36920 |
| Indice de cétane | 50 | 35-40 | 38-40 |
| Point de trouble (°C) | <-5 | 0 | 31 |
| Point de fusion (°C) | -18 | -3 | 23/50 |
| Point éclair (°C) | 93 | 243 | 280 |

^a Viscosité à 40 °C

Les constatations marquantes qui ressortent de ce tableau sont les suivantes :

- la structure chimique des huiles végétales contient de l'oxygène tandis que celle du gazole n'en contient pas du tout;
- la viscosité des huiles végétales est très élevée : plus de 10 fois celle du gazole, à température égale ;
- le PCI et l'indice de cétane des huiles végétales sont plus faibles que ceux du gazole ;
- le point éclair, le point de fusion et le point de trouble des huiles végétales sont élevés comparés à ceux du gazole.

De ces constatations, il en découle que :

- les huiles végétales présentent des indices de cétane, certes faibles, mais suffisants pour obtenir une combustion de type Diesel acceptable, dans certains cas [5].
- pour une même température de la chambre de combustion, les huiles végétales s'enflammeront moins facilement que le diesel vu leur point éclair élevé.
- du fait de la présence d'oxygène et de l'insuffisance de carbone dans leur structure chimique, les écarts de PCI des huiles végétales par rapport au gazole sont de l'ordre de 15%.

Les observations précédentes indiquent que l'utilisation d'huiles végétales telles quelles comme carburants diesel est, non pas impossible, mais difficile, en ce qui concerne essentiellement :

- le **démarrage à froid**;
- le **déroulement de la combustion** (viscosité très élevée des gouttelettes d'huiles

végétales) ;

- les **risques d'encrassement** des injecteurs et de la chambre de combustion des moteurs [5].

Notons également que le problème de la cire peut se poser selon le procédé utilisé pour l'extraction de l'huile de coton.

La **cire** est une substance contenue dans la coque des graines de coton. Etant donné que l'extraction de l'huile de coton se fait par pressage direct, la cire soluble dans l'huile à la température ambiante se trouve dans toute la chaîne de production de l'huile végétale. La cire pose trois problèmes principaux au niveau du moteur :

- i) **Problème piston-chemise**
- ii) **Problème segment-piston**
- iii) **Problème soupape-culasse**

Pour tous ces problèmes posés par la cire, il faut noter que non seulement l'usure du moteur, ainsi que son amortissement est accéléré, mais aussi une quantité non moins négligeable de combustible est perdue dans les mélanges avec les gaz brûlés.

Le problème de cire se pose en particulier aux PME/PMI produisant de l'huile de coton. L'huile de coton provenant des grandes industries comme la SNCitec par exemple, ne possède pas de la cire car le procédé d'extraction de l'huile se fait par séparation préalable de l'amande et de la coque.

I.1 OBJECTIFS DE L'ETUDE

L'objectif général de cette étude est l'optimisation et l'automatisation du fonctionnement d'un groupe électrogène fonctionnant aux huiles végétales. Plus précisément il s'agit des huiles de palme et de coton vu leur disponibilité et leur accessibilité locale.

Plus spécifiquement, le stage proposé ici a consisté dans un premier temps à étudier le comportement thermique du moteur vis-à-vis des huiles végétales, à proposer une température optimale des gaz d'échappement à laquelle le basculement au circuit d'huiles

végétales interviendra et dans un second temps à concevoir un procédé de commande automatique pour réaliser le basculement.

I.2 DEMARCHE SUIVIE (METHODOLOGIE DE RECHERCHE)

Dans un premier temps, il a été question pour nous de mener une étude bibliographique approfondie traitant du sujet. Pour cela, nous nous sommes servi des bibliothèques de 2iE et du Centre International de Recherche Documentaire (CIRD). Ensuite, nous avons mené des expériences au LBEB qui dispose du matériel adéquat pour la recherche dont entre autre un groupe électrogène dont les caractéristiques du moteur et du générateur sont données dans le tableau 2.

Les principaux axes de recherches de ce laboratoire sont :

- 1) la conversion des énergies renouvelables (biomasse énergie spécialement...) en d'autres formes d'énergie (énergie thermique, mécanique et/ou électrique) ;
- 2) l'économie d'énergie (sobriété énergétique, efficacité énergétique,...).

L'équipe de recherche de ce laboratoire placé sous la responsabilité de l'UTER GEI comprend entre autres des enseignants chercheurs et des ingénieurs de laboratoires comme le montre la figure 1.

Tableau 2 : Spécifications du groupe électrogène

| | Caractéristique | Spécification |
|--------------------|-----------------------------------|---|
| Moteur | Type | Lombardini 9LD 561-2/L, quatre temps, refroidissement à air |
| | Combustion | Injection directe |
| | Nombre de cylindres | 2 |
| | Alésage | 90 mm |
| | Course | 88 mm |
| | Cylindrée | 1120 cm ³ |
| | Puissance maximale (constructeur) | 12 kW à 2200 tr/min |
| | Taux de compression | 17,5 :1 |
| Génératrice | Type | Genelec |
| | Puissance | 8kVA |
| | Cosφ | 0,8 |
| | RPM | 1500 |

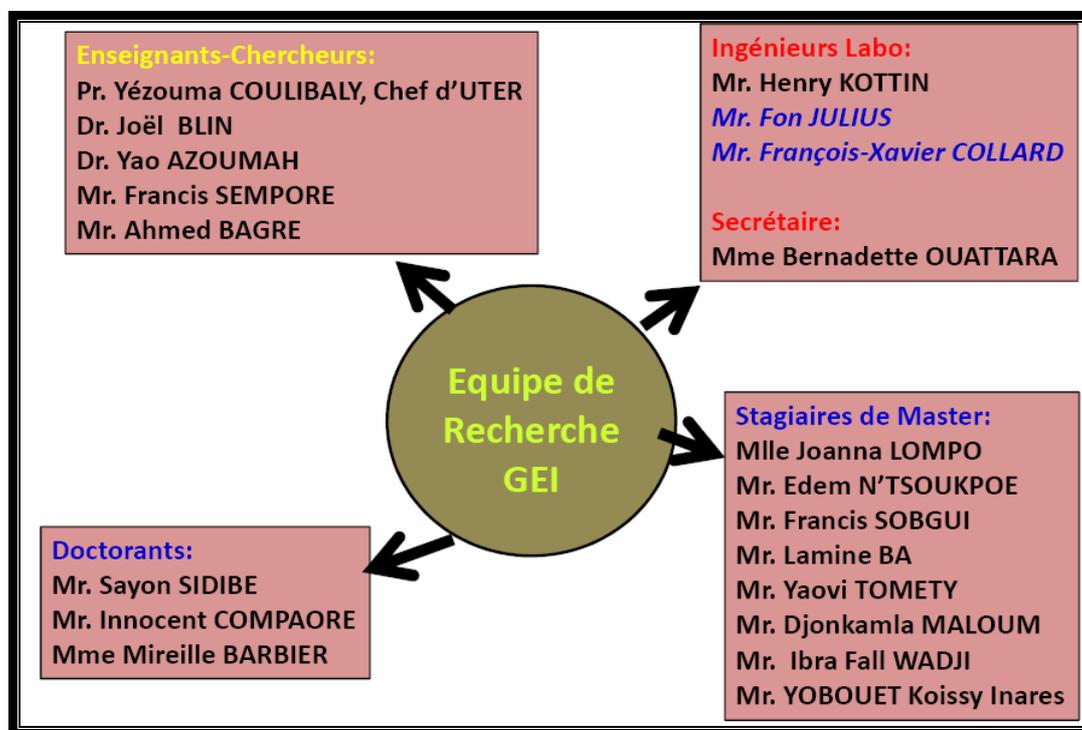


Figure 1 : Equipe de recherche de l'UTER GEI

I.3 JUSTIFICATION DE L'ETUDE

Pour une température élevée de la chambre de combustion ($> 500^{\circ}\text{C}$) les délais d'inflammation du gazole et de l'huile végétale sont quasi identiques et les huiles végétales carburant brûlent complètement avec de bons rendements globaux et des niveaux d'émissions polluantes similaires à celles du gazole [6].

Pour les moteurs Diesel à injection indirecte cette condition est satisfaite dès le ralenti où on a $T_{\text{moy}} > 500^{\circ}\text{C}$. Tandis que pour des moteurs Diesel à injection directe, la condition $T > 500^{\circ}\text{C}$ est satisfaite si la puissance utilisée est supérieure à 70% de la puissance maximale. Sinon il faut avant tout une modification du moteur [6].

Pour un moteur à injection directe, le fonctionnement en bicarburation ou les modifications mécaniques des pistons et pièces internes au moteur permet de s'assurer d'un niveau de température suffisant des chambres de combustion.

Pour des raisons de coût et de facilité de mise en œuvre, c'est la première solution qui a été retenue au niveau du LBEB. Pour l'adaptation, le moteur dispose aujourd'hui de deux circuits d'alimentation en combustibles. Un circuit d'alimentation au gazole et un circuit d'alimentation aux huiles végétales (voir le schéma du dispositif expérimental à la figure 2).

Rappelons tout d'abord que le fonctionnement d'un groupe électrogène se base sur le principe suivant lequel l'énergie mécanique est produite par un moteur à gaz ou moteur diesel (moteur thermique) qui entraîne un alternateur produisant de l'électricité.

Pour des problèmes liés à l'utilisation directe des huiles végétales telles que leur viscosité élevée et leur faible pouvoir calorifique inférieur (PCI), le basculement au circuit huile végétale se fait toujours après un préchauffement de la chambre de combustion en mode gazole. Cependant jusqu'aujourd'hui, au niveau du LBEB, le basculement se fait de façons intuitive et manuelle, ne permettant pas donc d'optimiser le fonctionnement du moteur.

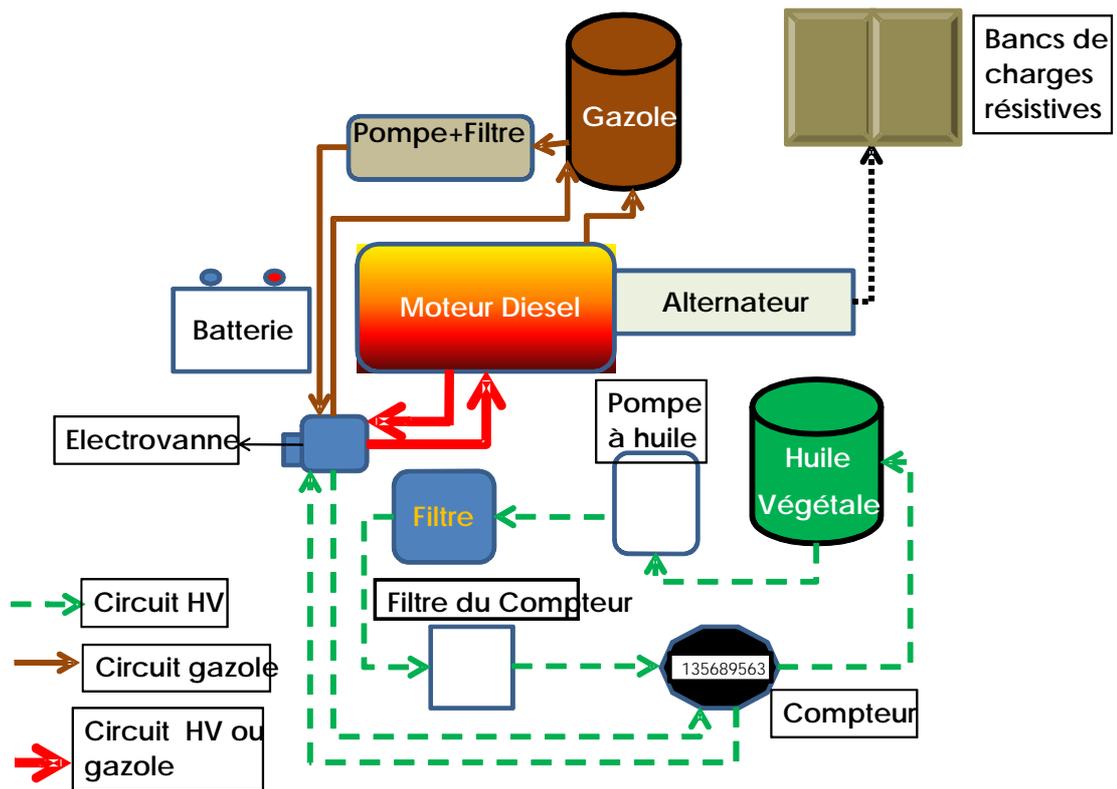


Figure 2: Schéma du dispositif expérimental

La photo 1 présente ce dispositif expérimental en image.



Photo 1 : Photo du dispositif expérimental

Après avoir réalisé des essais sur le groupe du LBEB, nous avons minutieusement pris connaissance du rapport des travaux effectués au LBEB par Tizane DAHO [7], du 1^{er} Octobre au 30 Novembre 2007. Des résultats obtenus, nous avons fait l'optimisation du fonctionnement du groupe et avons fixé la température d'échappement à laquelle le basculement sera effectué.

Pour finir nous avons conçu un procédé de commande pour réaliser le basculement de façon automatique.

CHAPITRE II : OPTIMISATION DU FONCTIONNEMENT DU GROUPE ELECTROGENE

« Il n'y a pas de crise de l'Energie, mais simplement une crise d'Ignorance »

B. Fuller

II.1 INTRODUCTION

L'optimisation c'est l'action de réguler un système dans le but d'obtenir la plus grande efficacité possible.

Dans ce deuxième chapitre du présent mémoire, il est question pour nous de déterminer la température optimale des gaz d'échappement à laquelle aura lieu le basculement de notre groupe électrogène adapté à fonctionner en bicarburation.

II.2 DETERMINATION DE LA TEMPERATURE DE LA CHAMBRE DE COMBUSTION

La température des gaz d'échappement varie de façon linéaire avec la charge pour l'ensemble des carburants [7]. Cela justifiera, par la suite, le choix de la température des gaz d'échappement comme un indicateur de la charge du moteur dans le cadre de l'automatisation du système de basculement entre le circuit gazole et celui de l'huile végétale.

La température, T_{comb} , de la chambre de combustion est estimée à partir des mesures de la température d'échappement. Pour cette estimation, on admettra l'approximation selon laquelle le moteur du groupe électrogène est à cycle Diesel idéal. La figure 3 montre les diagrammes T-S et P-V pour un cycle Diesel idéal. En annexe 2, nous présentons les différents cycles du moteur Diesel du point de vue thermodynamique.

Dans ces diagrammes de la figure 3, T_{comb} est représentée par T_3 et T_4 est la température des gaz d'échappement ($T_{échap}$). Entre les états 3 et 4 de ce cycle, il y a une détente isentropique des gaz (considérés comme gaz parfait). Par conséquent T_3 et T_4 sont liées comme suit :

$$T_3 = T_4 \left(\frac{r_c}{r_{of}} \right)^{\gamma-1} \quad (1)$$

Où $\gamma = C_p/C_v = 1,4$ est la constante des gaz parfait et $r_c = 17,5$ est le taux de compression du moteur.

$$\text{Or, } r_c = \frac{\text{Volume du piston au PMB}}{\text{Volume du piston au PMH}} = \frac{V_1}{V_2} \quad \text{i.e}$$

$$r_c = \frac{V_1}{V_2} \quad (2)$$

r_{of} représente le quotient du rapport :

$$r_{of} = \frac{\text{Volume du cylindre après le procédé de combustion}}{\text{Volume du cylindre avant le procédé de combustion}} \quad \text{i.e}$$

$$r_{of} = \frac{V_3}{V_2} \quad (3)$$

Contrairement au taux de compression r_c , le quotient r_{of} n'est pas une constante; puisqu'il varie avec le rendement thermique η_{eff} (qui dépend de la charge du moteur) et dont une autre expression est :

$$\eta_{eff} = 1 + \frac{1 - r_{of}^\gamma}{r_c^{\gamma-1} \gamma (r_{of} - 1)} \quad (4)$$

Puisque $T_{échap}$, γ , r_c , η_{eff} sont connus, T_{comb} et r_{of} sont facilement déduits des équations (1) et (4).

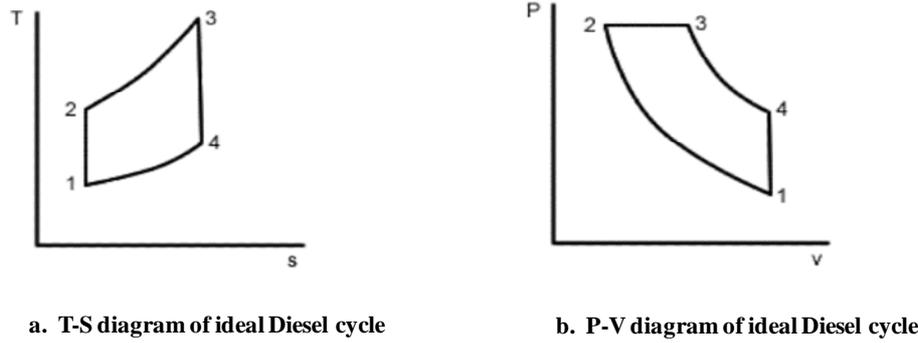


Figure 3 : Diagramme a) T-S et b) P-V d'un cycle Diesel Idéal

Soit P_{elec} et P_{dispo} respectivement la puissance électrique et la puissance disponible.

On a:

$$P_{elec} = \frac{P_m}{\eta} = \frac{P_m}{0.8} \quad (5)$$

Où P_m et η sont respectivement la puissance mécanique et le rendement mécanique du moteur. P_m dépend de la charge appliquée au moteur.

Dans notre cas de figure, P_{elec} prend les valeurs consignées dans le tableau 3.

Tableau 3 : Valeur de la puissance électrique du moteur en fonction de la charge.

| Charge [%] | 100 | 90 | 80 | 70 | 60 | 50 | 40 | 30 |
|-----------------|-----|------|----|------|-----|------|----|------|
| P_{elec} [kW] | 7.5 | 6.75 | 6 | 5.25 | 4.5 | 3.75 | 3 | 2.25 |

$$P_{dispo} = \text{Débit [Kg / s]} \times \text{PCI [kJ / Kg]} \quad (6)$$

$$P_{dispo} = \frac{\text{Consommation du moteur [l / h]} \times \text{masse volumique du carburant [kg / m}^3]}{1000 \times 3600} \times \text{PCI [kJ / Kg]}$$

$$\text{Consommation [g / kWh]} = \frac{\text{Consommation [l / h]} \times \text{masse volumique du carburant [kg / m}^3]}{\text{Puissance électrique [kW]}}$$

Le rendement thermique du moteur est donnée par:

$$\eta_{eff} = \frac{P_{elec}}{P_{dispo}} \quad (7)$$

D'après les travaux précédemment effectués au LBEB par Daho [7], le rendement thermique en fonction de la charge est donné dans le tableau 4.

De l'équation (4), nous obtenons les valeurs du quotient r_{of} qui sont consignés dans le tableau 5.

Tableau 4 : Rendement thermique du moteur en fonction de la charge appliquée

| Charge [%] | | 100 | 90 | 80 | 70 | 60 | 50 | 40 | 30 |
|---------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Rendement thermique | Diesel | 0,316 | 0,317 | 0,316 | 0,309 | 0,296 | 0,278 | 0,247 | 0,229 |
| | Huile de coton | 0,315 | 0,313 | 0,311 | 0,304 | 0,291 | 0,277 | 0,258 | 0,234 |
| | Huile de palme | 0,304 | 0,309 | 0,306 | 0,299 | 0,285 | 0,271 | 0,256 | 0,230 |

Tableau 5 : valeur de r_{of} en fonction de la charge appliquée

| Charge [%] | | 100 | 90 | 80 | 70 | 60 | 50 | 40 | 30 |
|-------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| quotient r_{of} | Diesel | 13,86 | 13,81 | 13,86 | 14,31 | 15,03 | 16,13 | 18,11 | 19,33 |
| | Huile de coton | 13,95 | 14,05 | 14,18 | 14,58 | 15,34 | 16,20 | 17,39 | 18,93 |
| | Huile de palme | 14,56 | 14,28 | 14,44 | 14,87 | 15,67 | 16,58 | 17,50 | 19,26 |

$$T_{comb}[K] = T_{échap}[K] \times \left(\frac{r_c}{r_{of}} \right)^{(\gamma-1)} = T_{échap}[K] \times \left(\frac{17,5}{r_{of}} \right)^{0,4} \quad (8)$$

$$T_{échap} [^{\circ}C] = \left\{ T_{comb} [^{\circ}C] + 273.15 \right\} \times \left(\frac{17.5}{r_{of}} \right)^{-0.4} \quad (9)$$

T_{comb} [°C] est la température de la chambre de combustion en °C.

$T_{échap}$ [°C] est la température des gaz d'échappement en °C.

II.3 RESULTATS OBTENUS

La figure 4 donne les représentations de la température de la chambre de combustion en fonction de la température des gaz d'échappement pour chaque type de carburant utilisé.

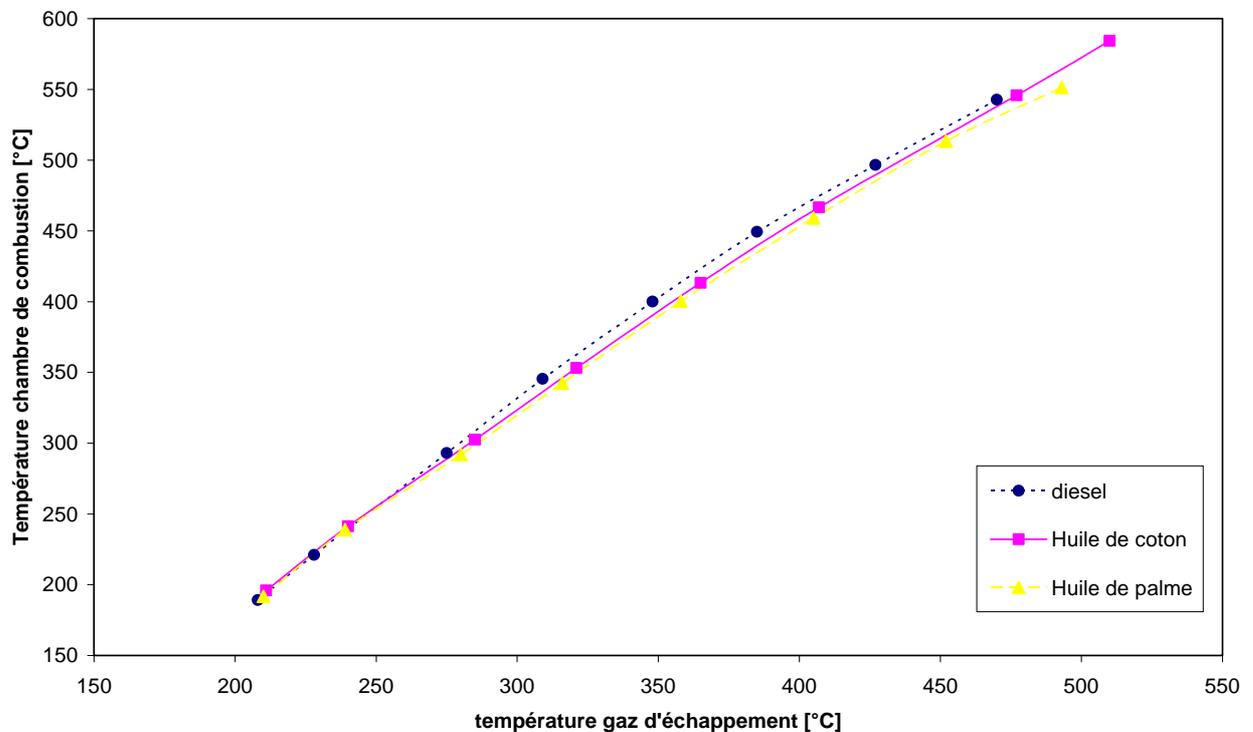


Figure 4 : T_{comb} en fonction de $T_{échap}$

D'après les graphiques de la figure 4, Il ressort que pour atteindre un minimum de 500°C dans la chambre de combustion, il faudra avoir au moins 430°C à l'échappement. Ce qui correspond à une charge d'au moins 90% pour le moteur du groupe du LBEB. (Voir Annexe 3)

Comme nous l'avons mentionné plus haut, nous avons déduit la température de la chambre de combustion du moteur à partir des mesures de la température des gaz d'échappement en supposant, pour simplifier les calculs, que le cycle était considéré comme parfait, ce qui dans la réalité n'est pas vrai.

D'autre part, nous avons vu précédemment que pour des moteurs Diesel à injection directe, la condition $T_{comb} > 500^{\circ}C$ est satisfaite si la puissance utilisée est supérieure à 70% de la puissance maximale du moteur. Ainsi, fixer la température d'échappement de notre moteur à 430°C, ce qui correspond à une puissance utilisée égale à 90% de la puissance maximale de notre moteur, n'est pas pratique.

Au vu de tout ceci, **nous nous proposons de fixer la température de consigne de basculement à 370°C qui correspond à une charge du moteur d'environ 75%.**

NOTA : Pour un groupe électrogène de la SOCAPALM de type OLYMPIAN GEP 110 de puissance 100 KVA – 80 kW, fonctionnant à l'huile de palme brute, Libert [8] propose dans un premier temps de basculer à une température à l'échappement d'au moins 400°C et ensuite note la difficulté d'obtenir les 400°C à l'échappement et propose enfin de descendre la consigne de basculement à 380°C.

CHAPITRE III : AUTOMATISATION DU FONCTIONNEMENT DU GROUPE ELECTROGENE

« La connaissance est de deux sortes. Nous connaissons un sujet nous-mêmes, ou nous savons où nous pouvons trouver l'information là-dessus »
Samuel Johnson

III.1 INTRODUCTION

L'automatisation peut être perçue comme l'exécution et le contrôle de tâches techniques des machines fonctionnant sans intervention humaine, ou à l'aide d'une intervention réduite.

Les automates programmables industriels (API) sont apparus à la fin des années soixante, à la demande de l'industrie automobile américaine (GM), qui réclamait plus d'adaptabilité de leurs systèmes de commande. Leur première fonction a consisté à assurer les logiques séquentielles nécessaires au fonctionnement des machines et des processus.

A la figure 2, nous avons présenté le schéma du dispositif expérimental du groupe électrogène. Le logigramme de la figure 5 ci-dessous nous décrit de façon plus détaillée, le fonctionnement dudit groupe électrogène.

L'arrêt du moteur pour le moment au niveau du LBEB se fait de façon mécanique en tirant sur la manivelle d'arrêt à l'aide d'un fil de fer situé sous le boîtier de commande du groupe près de l'alternateur. (La procédure actuelle d'arrêt du groupe est décrite plus en détail en annexe 5 tandis que l'annexe 4 nous présente la procédure de démarrage). Aussi, prévoyons-nous dans la conception du procédé automatique du fonctionnement du groupe, faire de telle sorte que l'arrêt du groupe se fasse aussi automatiquement, exception faite aux arrêts d'urgence car la défaillance d'un automate pouvant avoir de graves répercussions en matière de sécurité, les normes interdisent la gestion des arrêts d'urgence par l'automate ; les arrêts d'urgence doivent être directement câblés dans le circuit électrique du groupe électrogène.

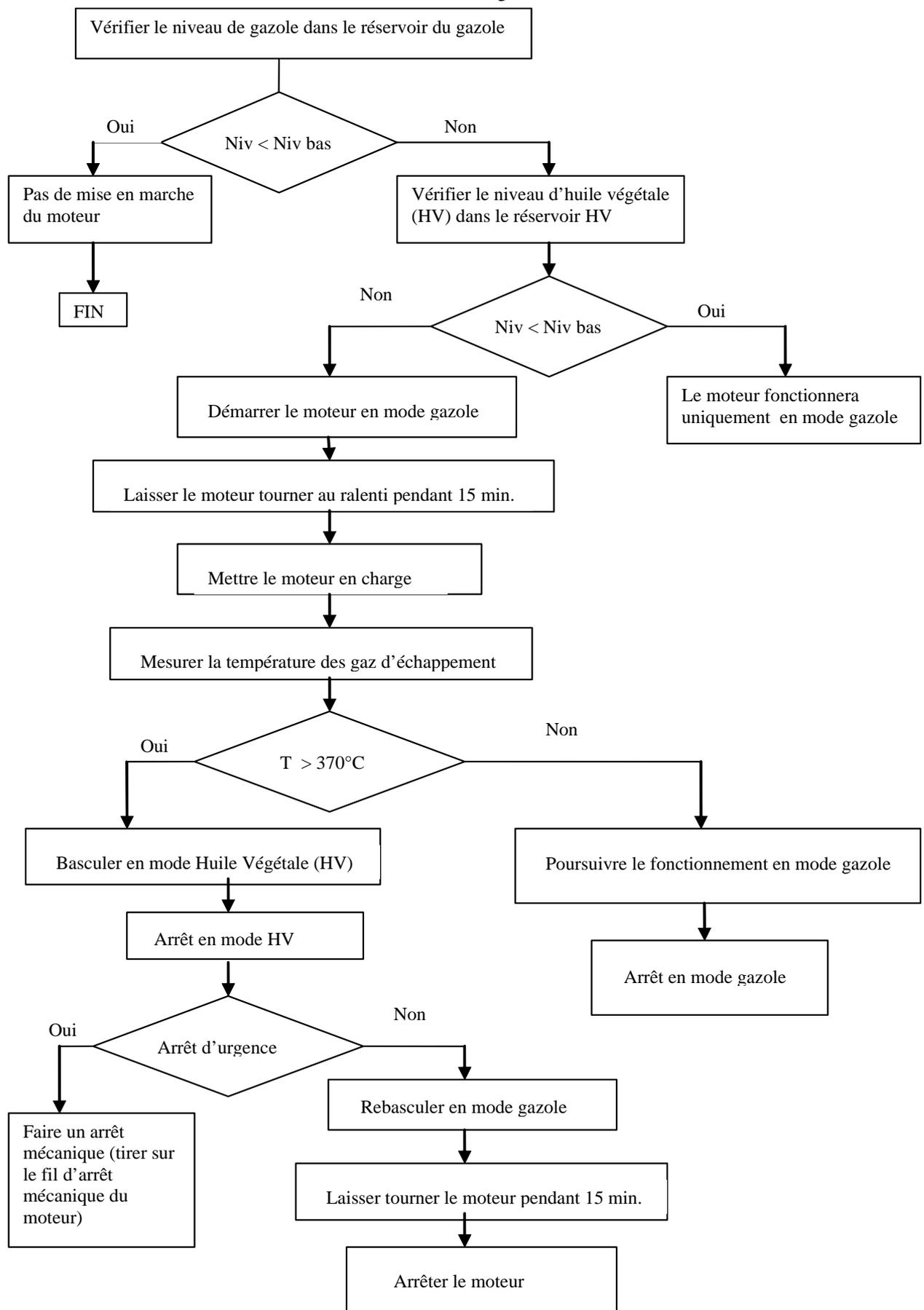


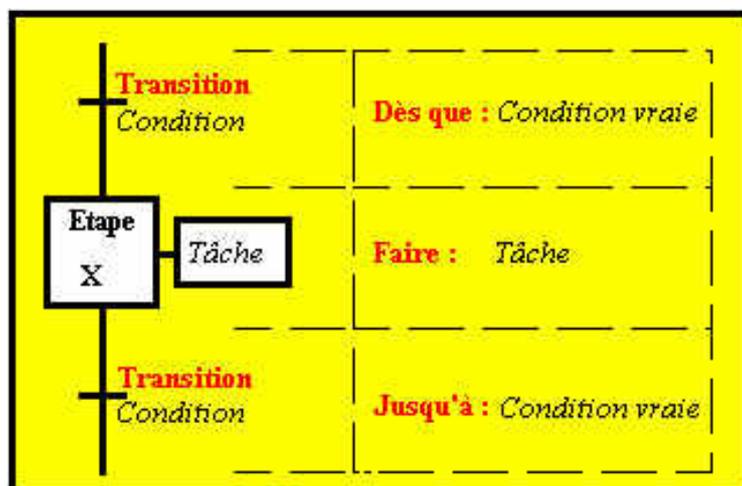
Figure 5 : logigramme du fonctionnement du groupe électrogène

III.2 MISE EN ŒUVRE D'UN PROBLEME D'AUTOMATISME

A partir d'un problème d'automatisme donné, dans lequel on a défini les commandes, les capteurs et le processus à réaliser, il faut [11]:

- Etablir le GRAFCET (ou l'organigramme, logigramme, équations logiques, ...);
- Ecrire le programme (écriture des instructions);
- Rentrer le programme à l'aide de la console de programmation;
- Transférer le programme dans l'unité centrale de l'automate;
- Tester à vide (mise au point du programme);
- Raccorder l'automate à la machine

A partir du logigramme de la figure 5, nous allons écrire le GRAFCET (**G**raphe **F**onctionnel de **C**ommande, **E**tapes **T**ransitions). Il s'agit d'un diagramme fonctionnel qui permet de décrire les comportements attendus de l'automatisme en imposant une démarche rigoureuse, évitant des incohérences dans le fonctionnement.



Le modèle est défini par un ensemble constitué :

- d'éléments graphiques de base ;
- d'une interprétation ;
- de cinq règles d'évolution ;
- d'hypothèses sur les durées.

Les cinq règles d'évolution du Grafcet sont les suivantes :

R₁ : Les étapes INITIALES sont celles qui sont actives au début du fonctionnement.

R₂ : Une TRANSITION est soit validée, soit non validé. Elle est validée lorsque toutes les étapes immédiatement précédentes sont actives. Elle ne peut être FRANCHIE que lorsqu'elle est validée et que sa réceptivité est vraie.

R₃ : Le FRANCHISSEMENT d'une transition entraîne l'activation de TOUTES les étapes immédiatement suivantes et la désactivation de TOUTES les étapes immédiatement précédentes. (TOUTES se limitant à 1 s'il n'y a pas de double barres).

R₄ : Plusieurs transitions SIMULTANEMENT franchissables sont simultanément franchies.

R₅ : Si une étape doit être à la fois activée et désactivée, elle RESTE active.

On peut utiliser trois niveaux successifs de spécifications :

GRAFCET niveau 1 : spécifications fonctionnelles. On décrit l'enchaînement des étapes sans se préjuger de la technologie.

GRAFCET niveau 2 : on ajoute les spécifications technologiques et opérationnelles. Autrement dit, on met les appellations des équipements. Exemple : Electrovanne (EV) ; Thermocouple (C) ; Capteurs de gazole (Gz) ; etc.

GRAFCET niveau 3 : On remplace les appellations des équipements par les numéros de Inputs et de Outputs de l'automate.

Conçu au départ comme outil de spécification du cahier des charges entre l'automaticien et son client, le GRAFCET est devenu également un outil pour la synthèse de la commande et un langage de programmation des automates programmables.

Les figures 6 et 7 représente le fonctionnement du groupe électrogène par un Grafcet niveau 1 et un Grafcet niveau 2 respectivement.

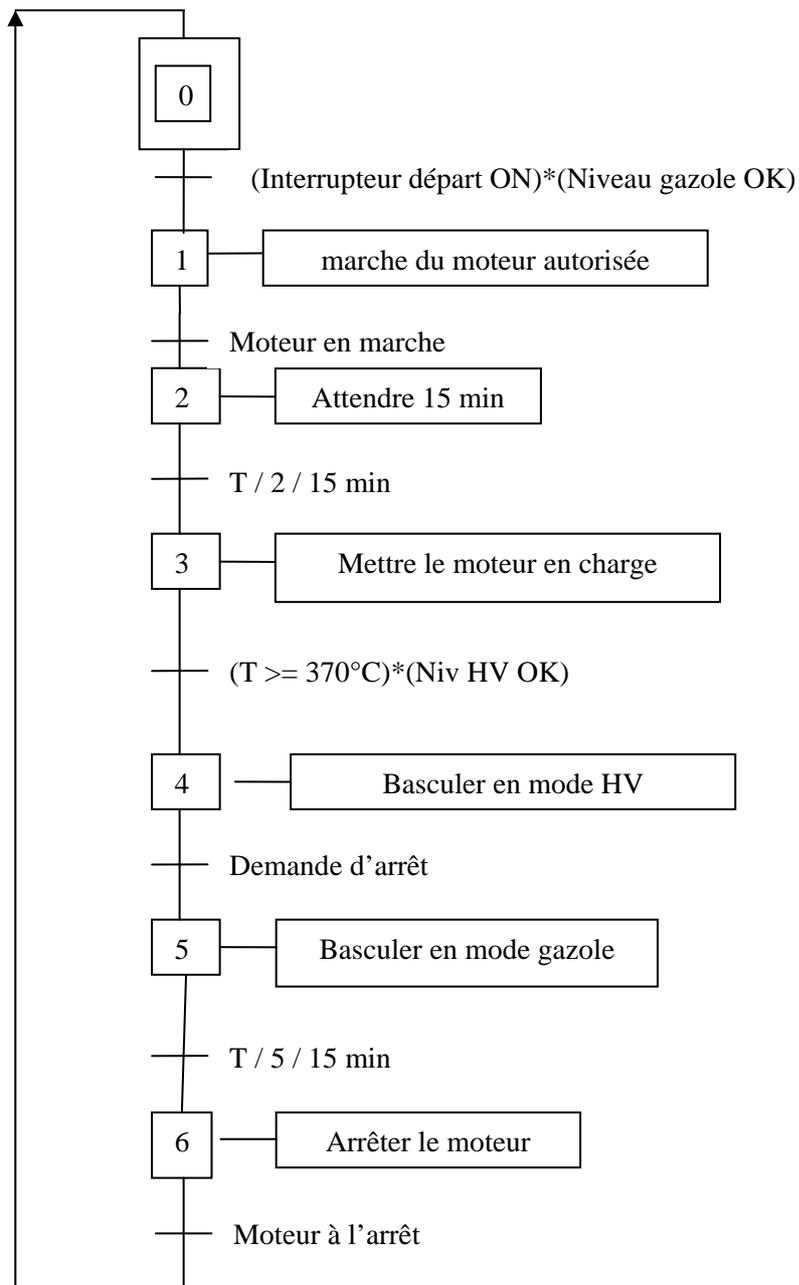


Figure 6 : Grafcet Niveau 1

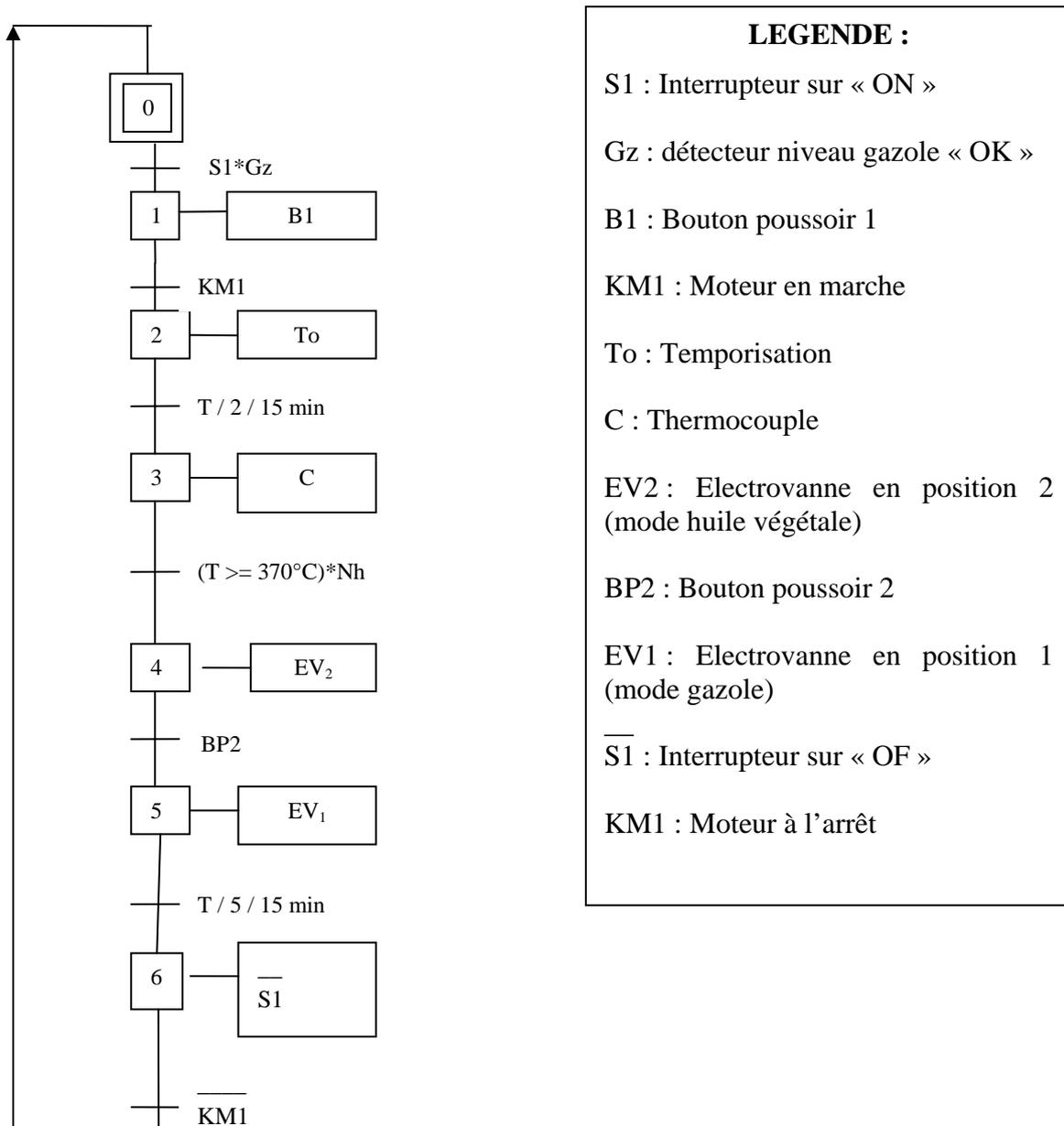


Figure 7 : Grafcet Niveau 2

III.3 LES LANGAGES D'AUTOMATES

Un API est programmé à l'aide de langages spécialisés, fournis par son constructeur et utilisables au travers d'une interface (un logiciel sur PC, un pupitre,...). La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) ou IEC en anglais, a élaboré la norme IEC 61131 pour

les automates programmables qui dans sa partie 3 (IEC 61131-3) classe ces langages en cinq grandes familles. Il s'agit de [9] :

- liste d'instruction (IL) : un langage textuel de type assembleur ;
- texte structuré (ST) : un langage textuel structuré similaire au Pascal ;
- diagramme d'échelle (LD) : un langage graphique, très utilisé en milieu industriel, car il s'inspire des circuits de commande basés sur la logique électrique, les équations combinatoires étant câblées à l'aide de contacts et de relais ;
- Schéma fonctionnel de fonction (FBD) : un langage graphique permettant d'exprimer le comportement des fonctions, des blocs fonctionnels ou des programmes comme un ensemble de boîtes noires interconnectées (à la manière des portes logiques en électronique) ;
- Diagramme séquentiel de fonction (SFC) : un langage graphique permettant de structurer tout comportement séquentiel pouvant être décrit dans l'un des quatre autres langages de la norme.

L'utilisation de ces langages évolués facilite la portabilité des programmes et permet d'exploiter sur tout type d'automate le programme source (dans la limite des performances de l'API) moyennant la mise en oeuvre d'un traducteur spécifique (Post-processeur).

Les langages définissent une grammaire permettant de spécifier au système la façon dont on souhaite qu'il se comporte.

III.3.1 Le langage de programmation diagramme d'échelle (L.D)

Un schéma « Ladder » est constitué de plusieurs réseaux [10] comme le montre la figure 8. Chaque réseau possède une ligne d'alimentation gauche, une ligne d'alimentation droite et des branches reliant les entrées situées à gauche et les sorties situées à droites.

L'évaluation de chaque réseau se fait de la gauche vers la droite.

L'évaluation de l'ensemble des réseaux se fait du haut vers le bas.

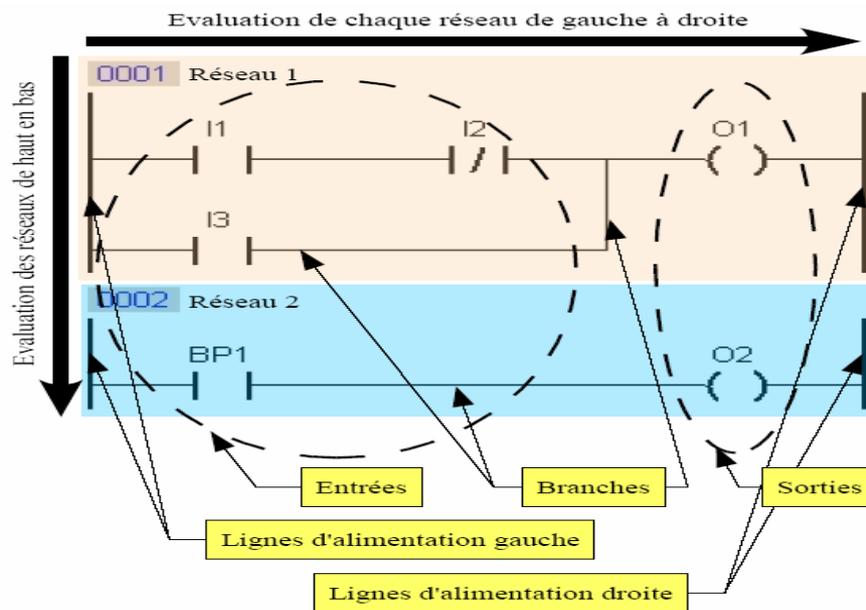


Figure 8 : diagramme d'échelle (LD)

III.3.2 Le langage de programmation Liste d'Instructions (L.I)

Ce langage se différencie du Grafset et du Ladder en ce qu'il présente les processus automatisés sous forme de TEXTE. C'est un langage simple qu'on retrouve toujours dans beaucoup de logiciels modernes de programmations d'automates.

Les principales commandes du langage L.I sont résumées dans le tableau 6.

Tableau 6 : Principales commandes du langage L.I

| COMMANDE | DEFINITION | RÔLE |
|-----------|------------|---------------------------------------|
| L | Load | Sert à lancer une étape |
| A | And | Opérateur « ET » |
| O | Or | Opérateur « OU » |
| = | | Activation d'une sortie de l'automate |
| AN | Nand | Opérateur « NON ET » |
| ON | Nor | Opérateur « NON OU » |

Le tableau 7 présente quelques commandes d'activation et de désactivation d'étapes en LI.

Tableau 7 : Quelques commandes d'activation et de désactivation d'étapes en L.I

| COMMANDE | RÔLE |
|-------------|---|
| =*= i | Représente initiale l'étape i |
| -----*----- | Précède les conditions de désactivations de l'étape i |
| # i | Active l'étape i |
| =*= POST | Indique le début du traitement postérieur |

Dans l'industrie, il existe de nombreux fabricants d'automates programmables (Allan Bradley, Siemens, Télémécanique, etc....) et chaque fabricant développe un grand nombre de produits (exemple pour Télémécanique : TSX 17, 27, 37, 47, MICRO, NANO, etc.....) La figure 9 présente l'automate TSX 17 disponible dans notre laboratoire d'accueil.

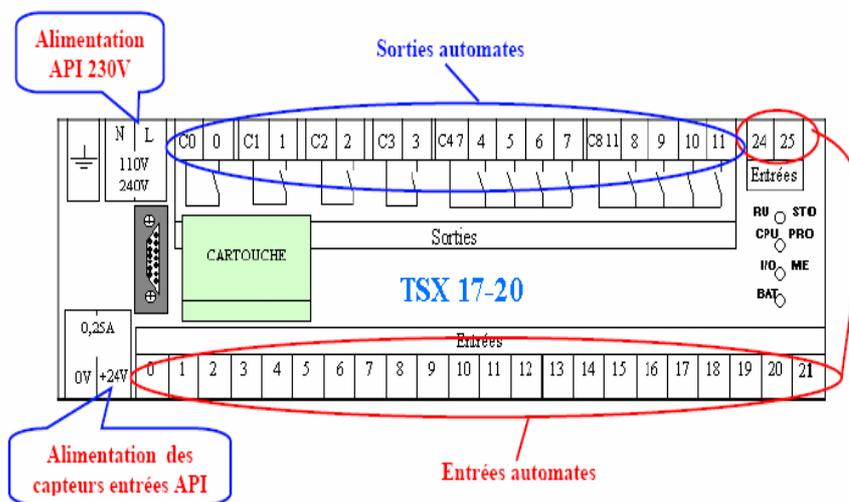
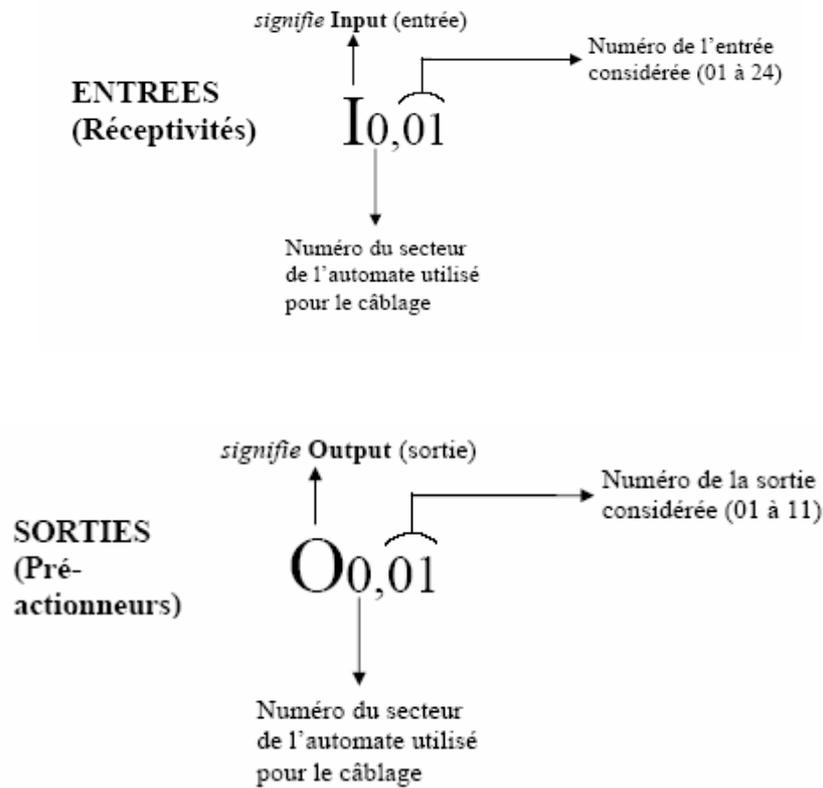


Figure 9 : L'automate de base Télémécanique TSX 17-20

La fonction temporisatrice permet de commander avec retard des actions spécifiques. La valeur de ce retard est programmable et peut être modifiée par le terminal TSX T317 en mode REGLAGE (ADJ).

Désignation des entrées et sorties de l'automate TSX17



La console de programmation assure le dialogue entre l'opérateur et l'automate, enregistre le programme et le transfère dans l'automate.

Pour un automate TSX 17, la console de programmation est un Terminal TSX T317 dont le guide de saisie des codes opérations et opérandes PL7-1 est représenté à la figure 10.

| Codes Opérations | Action sur touche | Codes Opérandes | Action sur touche |
|------------------|---|-----------------|---|
| L / LN .. |  /   | Ii,j |  |
| A / AN . |  /   | Oi,j |  |
| O / ON .. |  /   | Bi |  |
| XO |  | SYi |  |
| P |  | Sx,i |  shift |
| S |  | Ti |  |
| R |  | Ci |  |
| S* |   | SCi [SC] . |  shift |
| R* |   | SCi,j |  |
| = / = N .. |  /   | SRi [SR] . |  shift |
| =* |   | SRi,j |  |
| CU |   | IM |  shift |
| CD |   | Xi |  |
| H |   | | |
| JMP |   | | |
| LAB ... |   | | |
| EP |   | | |
| NOP |  | | |
| =* = "i" . |   | | |
| -* = "i" . |    | | |
| # |    | | |
| =* = POST |    | | |

Remarques

- . La virgule est positionnée automatiquement,
- . 2 actions consécutives sur une même touche peuvent être remplacées par :  et 

Shift Touche

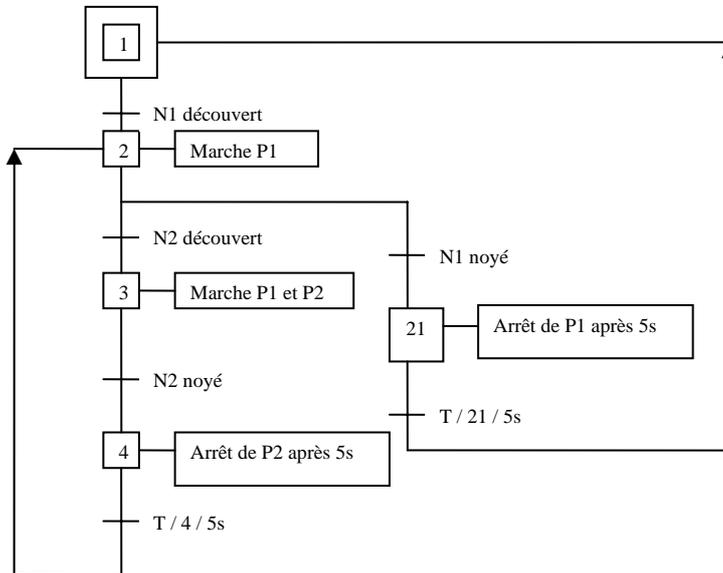
Figure 10 : Guide de saisie des codes opérations et opérandes PL7

III.4 APPLICATION

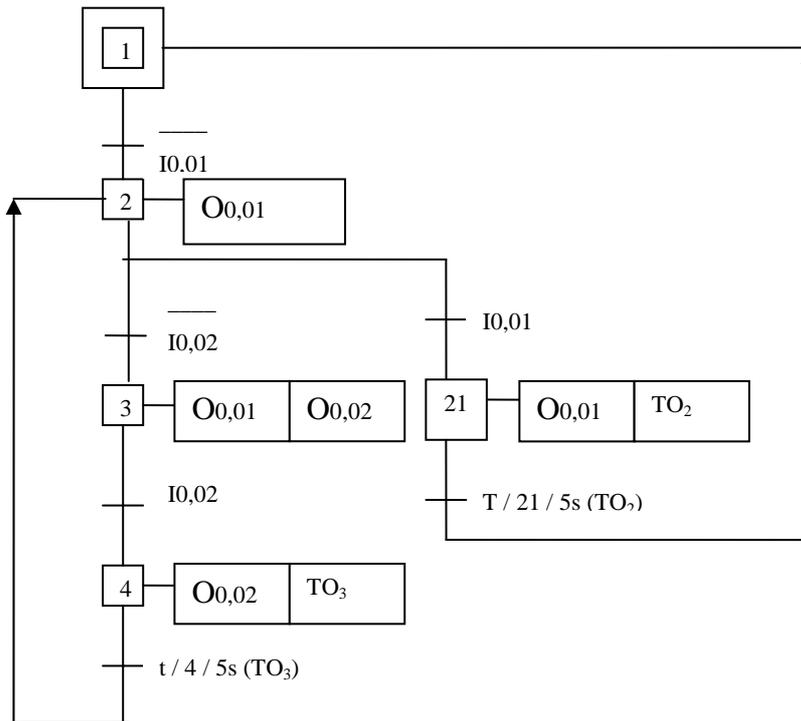
Afin de bien cerner la programmation séquentielle à l'aide de l'automate TSX 17 disponible dans notre laboratoire d'accueil, nous avons fait la mise en œuvre d'un grafcet sur cet

automate. Une application a été faite à une station de pompage.

Le grafcet niveau 1 mis en œuvre se présentait comme suit :



Au niveau 3, ce grafcet se représente de la manière suivante :



⁽¹⁾ C'est ce programme que nous avons entré dans la console de programmation de l'automate TSX 17

Programme⁽¹⁾ LI correspondant:

```

==* 01
LN I0,01
#2
-----*----- 2
LN I0,02
#3
L I0,01
#21
-----*----- 21
L TO2
#1
-----*----- 3
L I0,02
# 4
-----*----- 4
L TO3
#2
==* POST
LX 2
OX3
OX4
OX21
= O0,01
LX3
OX4
= O0,02
LX21
= TO2
LX4
= TO3
EP
    
```

III.5 CHOIX D'UN API

III.5.1 Critères généraux

Les critères généraux de choix essentiels d'un automate programmable industriel sont [11]:

- les compétences/expériences de l'équipe d'automaticiens en mise en oeuvre et en programmation de la gamme d'automate;
- les capacités de traitement du processeur (vitesse, données, opérations, temps réel...);
- le nombre et le type des entrées/sorties nécessaires;
- la qualité du service après-vente. Etc.

III.5.2 Sélection d'un API pour le projet

Le nombre d'informations à capter n'est pas très élevé (quatre informations). Pour des raisons de coût, nous nous sommes orientés vers le plus petit automate de TELEMECANIQUE. Le Zelio vu que cet automate dispose également des fonctions analogiques dont nous avons besoin pour le thermocouple.

Après le zelio on retrouve le twido suivit de TSX micro qui comprend beaucoup plus d'entrées/sorties et beaucoup plus de fonctions : c'est comme les unités centrales des ordinateurs.

Rappelons que les TSX nano ne sont plus fabriqués et toutes les fonctions des nanos sont mises dans les twidos.

Les automates prennent deux types de signaux en entrée. Pour les signaux comme la température, le courant, on utilise les entrées analogiques tandis que pour les TOR (Tout Ou Rien) on utilise les cartes mémoire.

Quelques fois l'entrée analogique est déjà intégrée dans l'automate et dans d'autres cas, il s'agit d'un bloc à part qu'il faut intégrer à l'automate.

D'après le catalogue des Modules logiques Zelio Logic, nous avons choisi un module logique compact avec afficheur dont les caractéristiques sont:

| Nombre d'E/S | Entrées TOR | Dont entrées analogiques 0-10 V | Sorties à relais | Sorties à transistors | Horloge | Référence | Masse kg |
|---|----------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|-------------|------------|-------------|
| Alimentation 12 V | | | | | | | |
| 12 | 8 | 4 | 4 | 0 | Oui | SR2 B121JD | 0,250 |
| Convertisseurs pour thermocouples types J et K | | | | | | | |
| Tension alimentation 24 V ± 20 %, non isolée | | | | | | | |
| Type | Gamme de température | | Signal de sortie commutable | Référence | Masse kg | | |
| | °C | °F | | | | | |
| Type K | 0...600 | 32...1112 | 0...10 V, 0...20 mA, 4...20 mA | RMT K80BD | 0,120 | | |

Il nous faudra également un redresseur de tension 220V alternatif / 24V continu.

En annexe 6, nous présentons le tableau récapitulatif des thermocouples standard. En annexe 7, nous décrivons la procédure pour le choix d'un thermomètre.



Figure 11 : Zelio logic

Remarque : Lorsque le groupe électrogène est à l'arrêt, aucune source n'est disponible pour alimenter l'automate hors mise la tension de la batterie : d'où il était nécessaire de choisir un API alimenté en 12V continu (qui correspond à la tension délivré par la batterie) afin qu'il soit fonctionnel avant le démarrage du groupe.

III.6 EXPLOITATION DU GRAFCET DANS UN AUTOMATE

Le grafcet peut être exploité directement ou indirectement selon que l'on dispose d'un logiciel de programmation ou non.

III.6.1 Exploitation directe du grafcet avec un logiciel

Lorsqu'un logiciel adapté à l'automate est disponible, la procédure à suivre pour implanter le programme est le suivant [11]:

- établir le grafcet conformément au cahier des charges;
- utiliser le 'module graphique' du logiciel pour insérer la version schématisée du grafcet;
- sauvegarder puis compiler le programme conformément au manuel;
- procéder à diverses simulations pour tester les étapes, transitions, et valider ainsi le modèle;
- transférer vers l'automate;
- tester.

III.6.2 Exploitation indirecte du grafcet

Lorsqu'on ne dispose pas d'un logiciel adapté à l'automate, il reste la possibilité de [11]:

- convertir le grafcet en langage Ladder (ou schémas à contact);
- convertir le grafcet en langage LI (Liste d'instructions);
- convertir le grafcet en langage Ladder puis LI.

Il n'est pas possible pour nous de réaliser le Grafcet de niveau 3 car les noms des entrées et des sorties varient d'un automate à l'autre. Donc le Grafcet de niveau 3 sera réalisé, une fois l'automate acquis, en tenant compte de sa documentation spécifique.

Rappelons que pour le **GRAFCET niveau 3**, on remplace les appellations des équipements par les numéros de Inputs et de Outputs de l'automate.

III.7 ETAPES POUR LA SUITE DU PROJET

Après acquisition de l'automate programmable industriel (API),

- réaliser le câblage API – Sonde thermocouple type K ;
- utiliser les commandes propres à l'API pour configurer la reconnaissance en température ;
- écrire le programme complet dans l'un des langages utilisés par l'automate et le tester ;
- concevoir l'ensemble du circuit de raccord.

CHAPITRE IV : CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

« Vous trouvez que le savoir coûte cher ?

Essayer donc l'ignorance ! »

Abraham Lincoln, 1809-1865

IV.1 CONCLUSION

L'accès à l'énergie que ce soit pour des applications thermiques, mécaniques ou électriques est un problème majeur en Afrique et les sources d'énergies fossiles sont très chères.

La dépendance est plus importante dans les zones rurales où l'absence de ressources énergétiques se pose avec acuité. Plusieurs actions (plateformes multifonctionnelles, installations photovoltaïques décentralisées, électrification rurale décentralisée, biomasse énergie, ...) sont entreprises pour remédier à ce problème.

Le coût de plus en plus élevé des hydrocarbures (pétroles et ses dérivés) et la perspective d'un épuisement de cette ressource naturelle énergétique non renouvelable a amené les pays à sérieusement réfléchir au développement de nouvelles sources d'énergie. Les huiles végétales et leurs dérivés (biodiesel,...) font partie des solutions de remplacement et/ou de compléments des produits pétroliers. Il faut néanmoins réaliser des adaptations ou des modifications des moteurs pour assurer un bon fonctionnement avec ces huiles. Ceci étant fait, les puissances sont identiques avec des surconsommations de l'ordre de 5 à 8% [7] en volume. La longévité des moteurs est au moins égale à celle observée avec des produits pétroliers.

Notre travail a consisté à optimiser et à automatiser le fonctionnement d'un groupe électrogène adapté à fonctionner en bicarburation. Les essais nous ont amené à fixer la température de basculement du groupe électrogène à 370°C. Ledit basculement se fera automatiquement à l'aide d'un automate Zelio logic comprenant quatre (04) entrées tout ou rien, quatre (04) entrées analogiques et quatre (04) sorties.

IV.2 RECOMMANDATIONS

Cette étude, pour des raisons indépendantes de notre volonté n'a pas atteint l'un de ses objectifs qui était entre autre de monter l'automate sur le groupe électrogène afin que le basculement se fasse automatiquement. Ceci est dû à ce que après le choix de l'automate et des accessoires nécessaires, la procédure a immédiatement été engagée pour son achat. Malheureusement, le fournisseur après réception du bon de commande nous a informé qu'il faudra attendre six à huit semaines avant de rentrer en possession de l'automate choisi ainsi que des accessoires.

Ceci étant, nous recommandons :

- qu'après avoir monté l'automate, une autre étude du comportement thermique du moteur soit faite. Ceci afin de vérifier qu'effectivement, la température de 370°C est bien la température optimale du basculement.
- d'éviter la gestion des arrêts d'urgence par l'automate car les normes l'interdisent.
- de prendre toutes les dispositions pour assurer la sécurité de l'automate (protéger l'automate contre les chocs mécaniques et l'humidité en le plaçant dans un coffret métallique thermiquement isolé et ventilé écarté d'au moins 50 cm du groupe électrogène)

BIBLIOGRAPHIE

*Si vous avez la connaissance, laissez
d'autres allumer leurs bougies à elle.*

Margaret plus plein

Ouvrages et articles

- [1] Gilles VAITILINGOM, Communication à la Conférence internationale sur le Enjeux et Perspectives des Biocarburants pour l'Afrique : « *Extraction, conditionnement et utilisation des Huiles Végétales Pures Carburant* », 27-29 Novembre 2007 Ouagadougou, Burkina Faso
- [2] Michel DIEBOLT, « *Alimentation des sites sites isolés* », Polycopié du cours d'électrification Rurale de EFI & M2 à l'Institut International d'Ingénierie de l'eau et de l'Environnement. Mise à jour le 29/12/2006
- [3] André AKONO, mémoire de fin d'étude d'Ingénieur de l'Équipement Rural: « *Biomasse énergie dans les stratégies de lutte contre la pauvreté et opportunités de développement des biocarburants au Burkina Faso* », Juin 2006, Groupe EIER/ETSHER, Burkina Faso
- [4] Barthélemy DE THEUX, Mémoire de fin d'étude d'Ingénieur Industriel Section Electromécanique: « *Utilisation de l'huile de palme comme combustible dans les moteurs Diesel* », 2003-2004, ECAM, Belgique,
- [5] J.-C. GUIBET, « *Carburants et Moteurs* » tome 1 et 2, publications de l'Institut Français du Pétrole/ Ed. Technip 1987, Paris. ISBN 2-7108-0704-1 (édition complète)
- [6] Gilles VAITILINGOM « *Les possibilités d'utilisation d'huiles végétales pures comme biocarburants* », 29 avril 2005- Lyon.
- [7] Tizane DAHO, *Rapport des travaux effectués au Laboratoire de Biomasse Energie et Biocarburants (LBEB) du 2IE* 1^{er} Octobre 2007 au 30 Novembre 2007
- [8] Jean-Marie LIBERT, Communication à la Conférence internationale sur le Enjeux et Perspectives des Biocarburants pour l'Afrique : « *Utilisation de l'Huile de Palme Brute dans un groupe électrogène* », 27-29 Novembre 2007 Ouagadougou, Burkina Faso
- [9] Mohamed El Mongi BEN GAID, Rapport de stage de DEA Informatique Distribuée « *Modélisation et vérification des aspects temporisés des langages pour automates programmables industriels* » 1^{er} Avril au 31 Juillet 2003, Université Paris Sud – XI

[10] Philippe VULLIEZ « *Ladder Diagram (LD) – Function Bloc Diagram (FBD)* »

[11] Philippe LE BRUN « *Automates programmables industriels : technologie, choix et mise en œuvre des automates programmables industriels* », Lycée Louis ARMAND, 173 Bd de strasbourg.

Sites Internet

www.telemecanique.com

<http://www.wikipedia.org>

<http://www.compete-bioafrica.net>

ANNEXES

Annexe 1 : Evolution des importations d'hydrocarbures de 1993 à 2003

Annexe n°1 : Evolution des importations d'hydrocarbure de 1993 à 2003

| IMPORTATION (en tonnes) | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| PRODUITS | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 |
| SUPER | 12213 | 9 166 | 9 703 | 10984 | 9500 | 15353 | 14011 | 12031 | 9313 | 10157 | 11142 |
| ESSENCE | 52603 | 58 605 | 72551 | 62794 | 75867 | 66808 | 77956 | 68652 | 79518 | 89779 | 85721 |
| PETROLE | 21888 | 20 037 | 18714 | 27019 | 23269 | 30076 | 32626 | 34806 | 29982 | 31621 | 36259 |
| GAZOLE | 62565 | 34 760 | 78923 | 74812 | 85403 | 107663 | 142466 | 115904 | 167756 | 170978 | 198477 |
| DDO | 8793 | 8 280 | 9346 | 7200 | 5000 | 4500 | 6500 | 8697 | 2600 | 1900 | 3483 |
| FUEL | 30352 | 37 000 | 15500 | 36038 | 43330 | 55030 | 5700 | 42009 | 24374 | 22590 | 27740 |
| JET A1 | 8638 | 9 398 | 13413 | 14083 | 18994 | 14548 | 14584 | 13642 | 21507 | 19243 | 20545 |
| BUTANE | 3668 | 3 687 | 3738 | 5041 | 6000 | 5900 | 8858 | 7523 | 8985 | 9436 | 9651 |
| TOTAL | 200720 | 180 933 | 221888 | 237971 | 267363 | 299847 | 299701 | 303262 | 344035 | 355704 | 393019 |

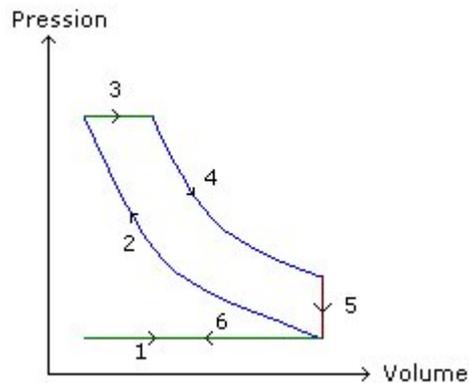
Source : SONABHY

Evolution des Ventes de 1993 à 2003

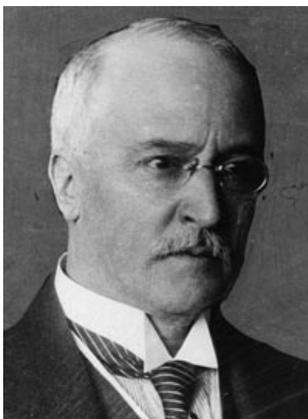
| évolution des ventes en m3 | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| PRODUITS | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 |
| SUPER | 15606 | 13038 | 13508 | 14730 | 15977 | 16816 | 17713 | 17098 | 13932 | 12648 | 12557 |
| ESSENCE | 75149 | 74533 | 83089 | 88564 | 96884 | 99589 | 102467 | 104376 | 107686 | 104152 | 111912 |
| PETROLE | 20342 | 26217 | 28158 | 30321 | 34249 | 33382 | 361010 | 36910 | 39455 | 40999 | 44550 |
| GAZOLE | 43759 | 42483 | 48638 | 56635 | 69042 | 80351 | 85775 | 100678 | 112456 | 114366 | 114392 |
| DDO | 29469 | 24770 | 35035 | 42133 | 34444 | 44684 | 59999 | 70363 | 71430 | 74516 | 90373 |
| FUEL | 33248 | 32719 | 24280 | 25287 | 49650 | 43630 | 16360 | 40622 | 23610 | 24874 | 24620 |
| JET A1 | 10623 | 11390 | 13849 | 15455 | 18032 | 21159 | 19930 | 23276 | 21810 | 17058 | 17502 |
| BUTANE | 6240 | 6217 | 7013 | 7844 | 9633 | 351040 | 12296 | 15133 | 15056 | 16010 | 18596 |
| TOTAL | 234436 | 231367 | 253570 | 280969 | 327911 | 690651 | 675550 | 408456 | 405435 | 404623 | 434502 |

(Extrait du mémoire de AKONO André [2])

Annexe 2 : Les différents cycles du moteur Diesel du point de vue thermodynamique



| | | |
|---|---|---|
| 1 | Aspiration de l'air | Transformation isobare (pression constante) |
| 2 | Compression de l'air élevé à la température de 600°C. | Transformation adiabatique (sans échange de chaleur avec le milieu extérieur) |
| 3 | Injection du gazole qui s'enflamme spontanément (combustion) grâce à la chaleur dégagée lors de la compression. | Transformation isobare |
| 4 | Détente fournissant un travail moteur | Transformation adiabatique |
| 5 | Diminution de la pression | Transformation isochores (volume constant) |
| 6 | Echappement des gaz brûlés | Transformation isobare |



Hulton Archive/Getty Images

Rudolf Diesel,
inventeur du moteur diesel

Annexe 3 : Températures d'échappement et de la chambre de combustion en fonction de la charge

Tableau 8 : Température d'échappement en fonction de la charge

| Charge [%] | T _{échap.} (°C) | | |
|------------|--------------------------|----------------|---------------|
| | diesel | Huile de coton | Huile de palm |
| 100 | 470 | 510 | 493 |
| 90 | 427 | 477 | 452 |
| 80 | 385 | 407 | 405 |
| 70 | 348 | 365 | 358 |
| 60 | 309 | 321 | 316 |
| 50 | 275 | 285 | 280 |
| 40 | 228 | 240 | 239 |
| 30 | 208 | 211 | 210 |

Tableau 9 : Température de la chambre de combustion en fonction de la charge

| Charge [%] | T _{comb.} (°C) | | |
|------------|-------------------------|----------------|---------------|
| | diesel | Huile de coton | Huile de palm |
| 100 | 543 | 584 | 551 |
| 90 | 497 | 546 | 513 |
| 80 | 449 | 467 | 459 |
| 70 | 400 | 413 | 400 |
| 60 | 346 | 353 | 343 |
| 50 | 293 | 302 | 292 |
| 40 | 221 | 241 | 239 |
| 30 | 189 | 196 | 192 |

Annexe 4 : Procédure de démarrage du groupe électrogène du LBEB

1. vérifier le carburant : les deux réservoirs doivent contenir du gazole pour un essai au gazole. pour un essai à l'huile végétale, le réservoir d'origine doit contenir du gazole et l'autre de l'huile végéta
2. vérifier le niveau de l'huile moteur
3. vérifier les raccordements de carburant (éventuelles fuites)
4. vérifier la position du commutateur de l'électrovanne (elle doit être en position 1)
5. mettre le disjoncteur général en position « off » au niveau de la sortie alternateur
6. brancher les deux bancs de charges résistives en parallèle (triphase)
7. vérifier la position des commutateurs des bancs de charges, elles doivent être en position arrêt
8. connecter le démarreur, l'alimentation (+12v) du groupe et le compteur a la batterie
9. vérifier qu'il n'y a aucun objet dispose sur le groupe électrogène
10. démarrer le moteur a l'aide de la clef de contact
11. laisser tourner le moteur au ralenti pendant 15 minutes

Annexe 5 : Procédure d'arrêt du groupe électrogène du LBEB

1. basculer le commutateur de l'électrovanne en position 1 (gazole) puis laisser tourner le moteur pendant 5 minutes
2. décharger le moteur en mettant tous les commutateurs des bancs de charges en position arrêt et mettre le disjoncteur général en position « off »
3. laisser tourner le moteur au ralenti pendant 5 minutes
4. arrêter le moteur en tirant sur la manivelle d'arrêt à l'aide du fil de fer situé sous le boîtier de commande du groupe près de l'alternateur
5. débrancher le câble d'alimentation des bancs de charges
6. débrancher la batterie
7. laisser refroidir les bancs de charges
8. ranger le matériel (batterie, outils, bancs de charges etc.)
9. vérifier si tout est rangé puis fermer le laboratoire
10. arrêt d'urgence : mettre le commutateur de l'électrovanne en position 1 et le disjoncteur générale en position « off » avant de tirer sur la manivelle d'arrêt

Annexe 6 : Tableau récapitulatif des thermocouples standard

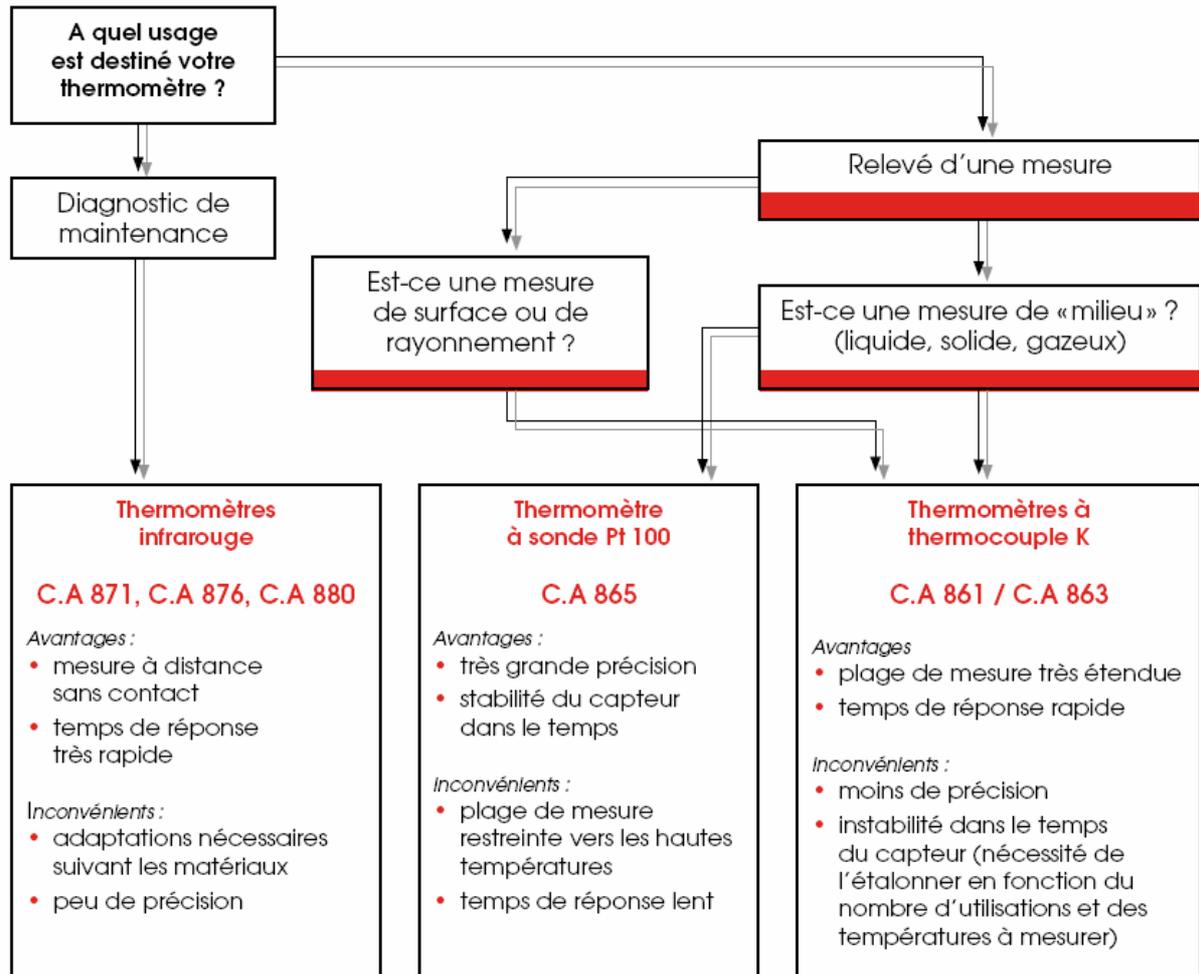
| TYPE DE THERMOCOUPLE | CONDUCTEUR + | CONDUCTEUR - | COULEUR CÂBLE COMPENSATION |
|----------------------|---|----------------------------------|-----------------------------------|
| K | Nickel-Chrome 10% | Nickel-Aluminium 5% -Silicium | Couleur ext + = VERT, - = BLANC |
| T | Cuivre | Cuivre-Nickel | Couleur ext + = BRUN, - = BLANC |
| J | Fer | Cuivre-Nickel | Couleur ext + = NOIR, - = BLANC |
| N | Nickel 84,4% Chrome 14,2% Silicium 1,4% | Nickel 95,6% Silicium 4,4% | Couleur ext + = ROSE, - = BLANC |
| R | Platine-Rhodium 13% | Platine | Couleur ext + = ORANGE, - = BLANC |
| S | Platine-Rhodium 10% | Platine | Couleur ext + = ORANGE, - = BLANC |
| B | Platine-Rhodium 30% | Platine-Rhodium 6% | Couleur ext + = GRIS, - = BLANC |

(Extrait de www.kimo.fr)

Annexe 7 : Choix d'un thermocouple

Comment choisir votre thermomètre ?

Afin de déterminer quels instruments de mesure sont adaptés à votre demande, posons-nous préalablement les questions suivantes :



(Extrait de www.chauvin-arnoux.fr)