



Par :

Abdoul MODAGARA

Président : Henri KOTTIN

Membres et correcteurs : M.KADRI
 G.MADIEUMBE

Promotion [2012/2013]

Dédicace/Remerciement :

Mes Parents : Mr HASSEYE Badou et Mme née Fatima Tinni

Ma famille : mon Mari Mr Issoufou KASSARI et mes enfants Abdoul Hakim et Abdallah

Remerciements

Au terme de ce travail nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à toutes les personnes physiques ou morales qui ont contribué à sa réussite. Ainsi nos remerciements vont : à

- La coopération Française qui a bien voulu nous octroyé une bourse d'étude pour le Master Energie .C'est donc grâce à elle que cette étude a été possible ;
- Mr Henri KOTTIN pour son encadrement et sa disponibilité tout au long de cette formation malgré ses multiples obligations
- Mr Abdoul MODAGARA qui malgré ses lourdes tâches administratives a accepté avec détermination et patience de diriger ces travaux. Vos différentes remarques et corrections nous ont permis de finaliser ce document, trouvez ici toute notre reconnaissance
- A Mr SAMAKE Ibrahim pour son aide précieuse malgré ses lourdes tâches .Qu'il reçoit tous nos remerciements.
- Mr Hamidou MAMOUDOU pour avoir accepté de nous aider tout au long de ce mémoire.
- Aux agents et chercheurs de la NIGELEC pour l'aide qu'ils nous ont apporté dans la documentation ;
- A tous les enseignants qui nous ont encadrés dans le suivi du programme de ce master, qu'ils reçoivent ici notre profonde gratitude;
- À ma famille, aux amis et étudiants de notre promotion qui se sont manifesté de différentes manières pour nous soutenir tout au long de ce travail ;
- Enfin, à tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre ont contribué à la conduite de ce travail.

Résumé

Le Niger, pays enclavé de l'Afrique de l'ouest, se trouve parmi; les plus ensoleillés de la planète. Les centrales thermiques qui utilisent les groupes électrogènes représentent la majeure partie de la production électrique du pays. L'exploitation de ces groupes électrogènes nécessite un suivi minutieux de ses performances pour accroître leurs rendements.

Cette étude nous a révélé pour l'exploitation des groupes électrogènes de la centrale de Goudel les différents points forts et les failles du système de gestion. Tout au long de ce mémoire nous avons trouvés les éléments de mauvaise gestion parmi lesquels les plus importants sont :

-  L'indisponibilité des documents constructeurs des groupes MTU et comme solution nous avons consulté le fournisseur pour les trouver et les mettre à leur disposition.
-  Le manque de vérification de la qualité des combustibles avant leur utilisation Pour ce problème nous préconisons une vérification de la qualité des combustibles avant toute utilisation dans les moteurs.

L'utilisation des documents constructeurs a pour avantage de voir si les groupes électrogènes fonctionnent selon les prescriptions du constructeur.

La qualité des combustibles joue un rôle très important dans la qualité de la combustion et surtout le rendement du moteur.

Les différentes solutions proposées suivies permettront une meilleure exploitation des groupes électrogènes et une hausse du rendement des moteurs pour finalement réduire les coûts des intrants Elles permettront aussi au Niger d'être indépendant du point de vue énergétique mais aussi la pérennité de l'approvisionnement de l'énergie électrique.

Mots clés : Gestion ; Production électrique ; Centrale thermique ; moteur diesel ; groupes électrogènes

Abstract:

Niger, a landlocked country of western Africa is one of the sunny countries in the world. In This country, the thermal stations which use generators is the main source of electricity production. Exploitation of generators requires meticulous follow up of one's performance to increase their efficiency.

This study reveals us that the exploitation of Goudel station generators the different strength and flaw points of management systems. That allow us to numerate the most important problems:

The unavailability of manufacturer documents, for resolution of this problem we consult manufacturer to receive documents and give them to the right place..

The lack of verification of fuel quality before using in engines. We suggest the verification of the quality of fuel before utilization to resolve the problem enumerate. The utilization of the manufacturer documents will permit to know if generators work when the manufacturer's given.

Fuel quality plays a main role to provide best combustion which allow to attend the engine efficiency.

Our propositions will permit a better exploitation of engines and to increase this efficiency .Thus that the station will reduce the input's cost and permit to Niger to become independent in term of electricity for a sustainable production .

Keywords: Management; Electric Production, Thermal station, Diesel engine, generator electricity

Liste des abréviations :

Zie : Institut International de L'Eau et de l'Environnement

Hbts: habitants

INS : Institut national de la statistique

KW: Kilowatt

KWh: Kilowatt heure

MW: Mégawatt

NIGEEC : Société nigérienne d'électricité

Pci : Pouvoir calorifique inférieur

PMC: Puissance maximale continue

PHCN: Power holding company of Nigeria

PSC : Puissance de service continu

PSU : Puissance de surcharge uni horaire

SAE: Society of automotive engineers

SEMT : Société d'Etudes de Machines Thermiques

SONIDEP : Société Nigérienne des produits pétroliers

Tep :tonne équivalent pétrole

Table des matières

Introduction	2
I. Contexte.....	4
Chapitre I : Synthèse bibliographique.....	5
I. Principe de fonctionnement des groupes électrogènes.....	5
1 Généralités	5
a. Groupe électrogène :	5
b. Moteur diesel.....	5
II. Fonctionnement des groupes électrogènes	8
III. Impact environnementale	10
IV. Optimisation du fonctionnement des groupes électrogènes.....	10
1. Consommation spécifique :	10
2. Relation entre le rendement et la consommation spécifique indiqués	11
3. Le combustible	11
4. Entretien :	12
V. Gestion de la production électrique.....	15
CHAPITRE II : ETUDE EXPERIMENTALE	16
A. Exploitation Groupe PC4.....	16
B. Exploitation Groupes MTU :	18
C. Analyse des méthodes de calcul des performances des groupes électrogènes	20
1. Calcul de consommation spécifique des combustibles et lubrifiants.	20
2. Le combustible	22
Chapitre III : Méthodologie d'exploitation des groupes.....	25
I. Méthodologie d'une bonne gestion de centrale.....	25
II. Méthodologie de gestion de la centrale de Goudel.....	26
A. Organisation de la centrale de Goudel.....	26
B. Les éléments de coût de la centrale	27
a. La gestion de combustibles et Lubrifiants.....	27
c. La gestion du personnel	28
C. Des Performances réalisées en 2012	28
Chapitre IV : Analyse et discussion.....	30
Conclusion :	32

Liste des tableaux

TABLEAU1: TABLEAU DES OPERATIONS D'ENTRETIEN (7).....	14
Tableau2 : Production d'énergie par les groupes MTU et PC4 en 2012	19
Tableau3 : Calcul de consommation spécifique combustibles pour la journée du 30 Juillet 2013 ...	20
Tableau5 : Consommation spécifique combustibles des groupes MTU et PC4 en Avril Mai Juin juillet 2013	21
Tableau6: Consommation spécifique lubrifiants PC4 et MTU en Avril Mai Juin et juillet 2013	23
Tableau7: Taux de disponibilité des groupes en 2012	28
Tableau 8 : Consommation de la centrale de Goudel en 2012.....	28
Tableau9: Récapitulatif de l'énergie livrée par la centrale de Goudel en 2012.....	29
Tableau10: Autres données et frais de la centrale.....	29

Liste des figures

Figure 1: Cycle mixte (Réel et théorique) représenté sur un diagramme (P – V).....	7
Figure 2: Relation entre quantité injectée et utile à la combustion (6)	8
Figure 3: Variation du rendement indiqué en fonction du coefficient d'excès d'air	11
Figure 4: Comparaison entre les conditions ISO et actuelles du PC4	17
Figure5 : Comparaison des consommations spécifiques combustibles du constructeur et exploitant en 2012	19
Figure 6: Proportion de fourniture de l'énergie des différents groupes de la centrale de Goudel sur le réseau en 2012.....	19
Figure 7 : Consommation spécifique combustibles MTU et PC4 le 30 Juillet 2013.....	21
Figure 8: Consommation spécifique lubrifiants 2012 des groupes MTU et PC4	21
Figure 9 : Consommation spécifique combustibles des groupes MTU et PC4 en Avril Mai et Juin et Juillet 2013.....	22
Figure10: Consommation spécifique lubrifiants PC4 et MTU en Avril Mai et Juin Juillet 2013.....	23
Figure 11 : Organigramme du site de la centrale de Goudel	26
Figure12: Disponibilité des groupes en 2012	28

Avant propos

Le Niger est un pays d'Afrique occidentale couvrant une superficie de 1 267 000 km² dont la moitié est désertique (désert du Sahara et du Ténéré). L'énergie électrique au NIGER provient de trois principales sources : -Les lignes d'interconnexions en provenance du Nigeria, -les installations techniques de la NIGELEC et-les producteurs indépendants(AGGREKO).

La NIGELEC (Société Nigérienne d'Electricité) crée le 07 septembre 1968 est une société anonyme d'économie mixte au capital de **3 356 500 000 F CFA** dont l'état du Niger est le principal actionnaire avec 94.7% des parties. Elle est placée sous la tutelle du ministère de l'Energie et du pétrole Elle a son siège à Niamey. Au moment de la construction de la centrale de GOUDEL l'ensemble du besoin en énergie électrique de la ville de NIAMEY et des localités environnantes était entièrement couvert par l'importation du NIGERIA, à travers la ligne BIRNIN 'KEBBI-NIAMEY, sur laquelle la NIGELEC a souscrit en son temps un contrat de fourniture pour une puissance de **30MW**, puissance couvrant les besoins de l'époque en énergie électrique de la ville de NIAMEY et ses alentours La centrale de NY II qui était équipée de deux turbines à gaz de capacité totale de **24MW** et des groupes électrogènes de puissance totale avoisinant les **12MW** assuraient le secours en cas d'indisponibilité de cette ligne. L'accroissement de la population et l'état vieillissant des turbines à gaz et des groupes de cette centrale NYII avaient commandé la construction de la centrale de GOUDEL. La centrale de Goudel est équipée d'un groupe PIELSTICK PC4-2 depuis 1985 et de sept groupes MTU en 2009, pour faire face à la demande croissante de la fourniture d'énergie électrique.

Introduction

Le Niger, à l'instar des autres pays du tiers monde est confronté à un sérieux problème d'équipement en infrastructure de développement et particulièrement dans le sous secteur de l'électricité. Le faible niveau de desserte électrique constitue un handicap pour l'amélioration de la qualité de vie et le développement économique du pays(5) La NIGELEC (La société nigérienne d'électricité) société publique, est l'unique actrice et détentrice du monopole de la production, du transport et de la distribution de l'énergie électrique au Niger. Les combustibles et partant les technologies de conversion sont devenus de nos jours un enjeu stratégique de grande importance pour le développement durable de l'humanité.[1]

L'électricité est un des premiers objectifs du millénaire pour le développement auxquelles le Niger à adhérer. C'est pourquoi la NIGELEC a toujours déployé des efforts pour étendre sa couverture dans tout le pays. Consciente de son rôle dans la satisfaction de ces besoins en énergie, la NIGELEC doit assurer à la fois la qualité et la continuité de service à sa clientèle tout en assurant l'entretien, le renouvellement et l'extension de ses capacités de production et d'infrastructures de desserte de l'énergie électrique . Une grande partie de l'approvisionnement électrique du Niger se fait à travers des interconnexions au réseau électrique de la PHCN (Power Holding Company of Nigeria)

L'énergie électrique est un élément déterminant pour le développement économique du pays Elle contribue non seulement à l'amélioration de l'éducation, de la santé, des conditions de vie en particulier des femmes, mais et surtout au développement des activités génératrices de revenus et par conséquent à la limitation de l'exode rural.

Les enjeux pour le fournisseur d'énergie

- Réduire le pic de consommation et réduire l'impact environnemental et le coût de production d'énergie.
- Optimiser le plan de production d'énergie en anticipant les demandes des consommateurs.

Enjeux par le consommateur :

Assurer son confort en prenant en compte les contraintes de ressources et d'environnement

- Mieux maîtriser sa consommation et sa production d'énergie locale(2)

Les conditions d'exploitation n'étant pas les mêmes les groupes diesel ont des indicateurs de performance données par les constructeurs qui diffèrent de la réalité.

On observe cependant dans certaines de ces localités des faiblesses de performances sur le système électrique d'une part et sur le plan organisationnel de l'exploitation d'autre part. Pour tenter de mieux cerner le problème, nous nous proposons d'étudier sur le thème : **Diagnostic du fonctionnement de la centrale de Goudel.**

Problématique :

La centrale de Goudel fonctionne avec des groupes électrogènes .Les indications de ces groupes électrogènes données par les constructeurs sont celles des conditions idéales à savoir :

Fonctionnement en solo

Charge stable et calibré à la puissance nominale du groupe

Dans la réalité les groupes fonctionnent en couplé à d'autres qui ne sont pas de même caractéristiques techniques pour des charges fluctuantes et dans un environnement climatique sévère.

Objectifs de l'étude

Aider la NIGELEC à réduire les coûts d'exploitation de la centrale en leur fournissant :

- De nouvelles méthodologies pour la gestion et la maintenance du parc des groupes électrogènes.
- Des propositions sur la gestion des combustibles.

Notre travail consistera à faire en premier lieu une synthèse bibliographique, en second point nous analyserons les principes de gestion de la dite centrale en troisième point nous ferons le recensement des anomalies de gestion et en dernier lieu nous verrons les solutions proposées.

I. Contexte

La centrale de Goudel est construite en 1985 dans la partie ouest de la ville de Niamey au Niger qui elle-même est située entre 13°28 et 13°35 de latitude Nord et 2°03 et 2°10 de longitude Est et est destinée à participer à l'alimentation de la ville de NIAMEY et des localités alentours dont les besoins actuels en électricité sont de **120MW**.

La ligne d'interconnexion du Nigéria la centrale de Niamey II et celle de Goudel assure l'alimentation en énergie électrique de la zone Ouest du pays à savoir la région de Dosso Tillabéry et la communauté urbaine de la ville de Niamey.

Niamey la capitale du Niger compte en Décembre 2012 une population de 1 011 267 hbts selon l'INS.

Cette **centrale électrique** équipée au début uniquement d'un groupe **Alstom Pielstick de type PC4-2, de 12,8MW** a vu l'installation en 2011/2012 de sept autres groupes de type MTU de puissance unitaire de **2,2MW** chacun, soit une adjonction de puissance de **15,4MW**. La puissance actuelle disponible du **PC4-2 est 9MW**. Ainsi la puissance totale disponible à ce jour sur ce site est de **24.4MW**.

Une autre centrale diesel appelée NYII dont le site est localisé dans la partie est de la ville de NIAMEY est équipée de deux turbines à gaz. Ces turbines fonctionnent sur le principe d'une turbine entraînée par les gaz de combustion d'un combustible qui se trouve être du gasoil dans le cas d'espèce. Chacune des deux turbines d'une puissance installée de **12MW** sont vétustes et une seule est, depuis, 2011 en état de marche pour une puissance disponible de **9MW**.

Une interconnexion de Birnin N'Kebbi au NIGERIA au moyen d'une ligne 132KV et de capacité **52.5MW** aboutissant au site de la centrale de NYII complète le dispositif de fourniture en électricité de la ville de NIAMEY et de ses localités alentours.

Ainsi le bilan énergétique de ces trois moyens de fourniture de l'énergie à la ville de NIAMEY, à savoir les deux centrales de GOUDEL et NYII et de la ligne 132Kv s'élève à $(24,4+9+52,5)$ **89,7MW**. Ceci révèle un déficit de $(120-89,7)$ **34,1MW**. C'est pourquoi, depuis 2012 la NIGELEC a recouru à un producteur indépendant pour la fourniture du gap pour un complément de **20MW en 2012** et de **30MW en 2013**. Ce qui fait que la centrale de Goudel initialement construit pour travailler en réserve froide fonctionne en plein temps. Des pannes au niveau d'un ou de plusieurs groupes peuvent être constatées à n'importe quel moment et la réparation peut aller de plusieurs jours à plusieurs mois. ..

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I. Principe de fonctionnement des groupes électrogènes :

1 Généralités

a. Groupe électrogène :

Un groupe électrogène est un dispositif autonome capable de produire de l'électricité.

C'est une machine permettant de transformer en électricité un combustible primaire comme le fioul ou le gasoil. Il est constitué de deux composants principaux :

- un moteur thermique transformant l'énergie primaire en énergie mécanique
- un alternateur transformant l'énergie mécanique développée par le moteur thermique en énergie électrique(3)

Un *moteur thermique* est une unité mécanique à combustion interne qui fonctionne à partir d'un combustible et dans lequel l'énergie calorifique obtenue par la combustion est convertie en énergie mécanique faisant tourner l'arbre du moteur (ou vilebrequin). Les combustibles les plus fréquents sont l'essence, le gazole, le gaz de pétrole liquéfié (GPL), les biocarburants et pour les plus puissants du fioul lourd.

L'*alternateur* est un générateur de tension électrique. Il est constitué d'un rotor composé d'enroulements entraînés par le moteur et d'un stator fixe comportant un deuxième circuit magnétique. En tournant, le rotor crée dans le stator un flux magnétique transformé au niveau du stator en énergie électrique

b. Moteur diesel

Le **moteur Diesel** est reconnu pour présenter l'un des meilleurs rendements énergétiques avec une remarquable flexibilité d'utilisation. Ses performances, qu'il s'agisse de sa puissance, de son rendement ou de ses émissions de polluants, sont particulièrement sensibles à la qualité de la combustion. Celle-ci est essentiellement liée au choix du système de combustion, à la forme de la chambre ou préchambre de combustion ainsi qu'à la façon dont le combustible y est introduit.(6)

Les objectifs peuvent être atteints par la combinaison de l'injection et de la chambre de combustion qui permet de maîtriser avec précision le mélange du combustible à l'air contenu dans la chambre de combustion.

La combustion est généralement assimilée à une phase ou à l'enchaînement de phases de :

- **Combustion à volume constant** qui, si l'on fait abstraction des contraintes thermiques ou mécaniques, offre, pour un même volume de fin de compression, le meilleur rendement. Dans ce cas, la pression et la température en fin de combustion sont particulièrement élevées.
- **combustion à pression constante** qui, si l'on fait abstraction des contraintes thermiques, offre, pour une même pression maximale de combustion, le meilleur rendement. Pour que le rendement soit bon, il est nécessaire de choisir un rapport volumétrique de compression important ;
- **combustion à température constante** qui, si l'on fait abstraction des contraintes mécaniques, offre, pour une même température maximale de combustion, le meilleur rendement. Pour que le rendement soit bon, il est nécessaire de choisir un rapport volumétrique de compression très important qui induit une pression en début de combustion démesurée (6)

Les principales caractéristiques du brevet de Rudolf DIESEL (1892) portent sur l'introduction progressive de combustible et sur la compression de l'air jusqu'à une température supérieure au point d'inflammabilité du combustible utilisé. Il en résulte, en particulier, que le moteur diesel échappe aux limitations imposées au taux de compression par le risque d'un allumage spontané du combustible. De plus, le fonctionnement de ce moteur n'exige aucun dispositif d'allumage tel qu'une bougie. Le combustible, qui est finement pulvérisé, est injecté dans l'air comprimé et s'enflamme sous l'effet de l'échauffement subi par l'air au cours de la compression(4)

Dans le cas d'un cycle mixte d'un moteur Diesel, le cycle comprend les temps suivants :

Premier temps : Admission

- Ouverture de la soupape d'admission au point mort haut (PMH) mise à la pression à l'entrée du cylindre,
- Descente du piston (entraîné par l'inertie du cycle précédent),
- Remplissage du cylindre par le mélange gazeux,
- Fermeture de la soupape d'admission au point mort bas (PMB),
- *Cycle : Augmentation du volume à pression constante (droite AB).*

Deuxième temps : Compression

- Les soupapes d'admission et d'échappement sont fermées,
- Le piston remonte vers le point PMH d'où une forte élévation de pression due à la diminution de volume accompagnée par une élévation importante de la température (celle-ci doit atteindre, au PMH, au minimum 500°C pour assurer l'inflammation spontanée du mélange au moment d'injection),

- Cycle : *Montée en pression (courbe BC).*

Troisième temps : Combustion – Détente

- Les soupapes d'admission et d'échappement sont fermées,
- Le combustible est injecté dans le cylindre au PMH avant que la pression maximum du cycle soit atteinte,
- Temps de combustion : Au PMH, une combustion primaire à volume constant se déclenche par auto-inflammation permet d'atteindre la pression maximum dans le cylindre et qui sous laquelle se déclenche une deuxième combustion (à pression constante),
- Temps de détente : Le piston propulsé vers le bas par la forte pression fait tourner le vilebrequin (temps moteur),
- Cycle : *Montée en pression à volume constant (droite CD), augmentation du volume à pression constante (droite DE), Chute de pression (détente : courbe EF).*

Quatrième temps : Échappement

- Ouverture de la soupape d'échappement,
- Le piston remonte et chasse vers l'atmosphère les gaz brûlés,
- Cycle : *Échappement primaire à volume constant (droite EB), Échappement secondaire à pression constante (droite BA).*

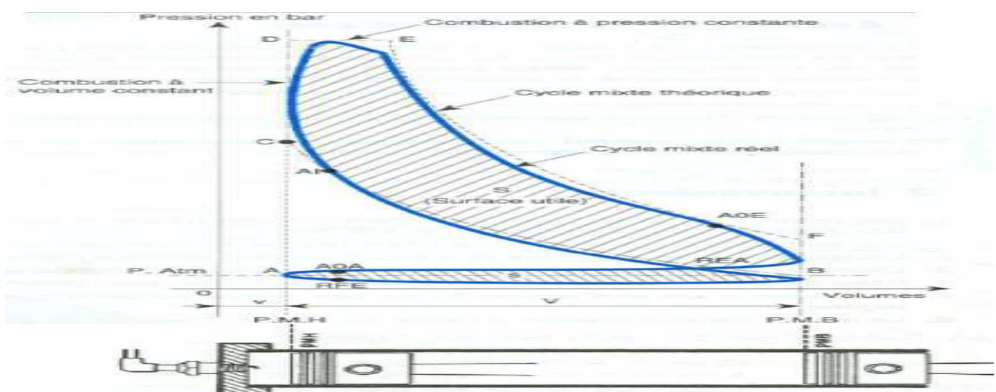


Figure 1: Cycle mixte (Réel et théorique) représenté sur un diagramme (P – V)

Le meilleur rendement du moteur est systématiquement obtenu avec la version à injection directe. Ce résultat est acquis grâce :

- à de moindres pertes thermiques, du fait que la surface des parois du cylindre en contact avec les gaz chauds est minimisée (à l'exception des chambres très profondes) ;
- à la quasi-inexistence de pertes de transvasement entre le cylindre et la chambre de combustion, la communication étant très perméable.(6)

La combustion idéale (à pression constante) correspond à un taux de dégagement d'énergie constamment croissant à partir du passage au point mort haut du piston et qui se terminerait de façon nette sans queue de combustion. Cette forme de loi, sensiblement en triangle, rectangle sur la

fin, ne peut être réalisée compte tenu des délais de mélange et d'inflammation. A défaut de réaliser l'idéal, il convient donc de s'en approcher :

- en introduisant le combustible à **débit croissant** pendant toute la durée de l'injection principale ;
- en fermant l'injecteur le plus nettement possible après l'obtention de la pression maximale d'injection, donc du débit instantané maximal ;
- en ajoutant éventuellement une très petite quantité de combustible pour obtenir l'inflammation juste au début de l'injection principale. Cette quantité de combustible correspond à une pré injection séparée ou accolée à l'injection principale, selon le délai d'inflammation.

Pour que le profil de loi d'injection apporte les résultats souhaités, le choix du nombre, de l'orientation et du diamètre des trous d'injection doit être effectué de manière à **minimiser le délai de mélange**, faute de quoi les efforts risquent d'être vains.(6)

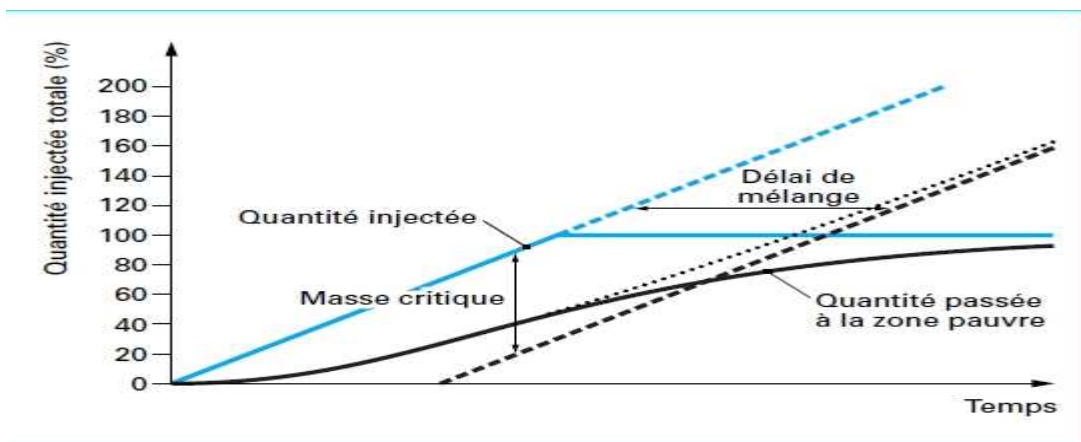


Figure 2: Relation entre quantité injectée et utile à la combustion (6)

II. Fonctionnement des groupes électrogènes

Tous les appareils ont des conditions pour lesquelles ils fonctionnent à leur rendement optimal. Toute fluctuation de ces conditions peut amener les appareils à fonctionner à un rendement plus faible. Les groupes électrogènes ne font pas exception à cela. Ils sont généralement conçus pour fonctionner plus efficacement au niveau de la mer dans les conditions standards de référence. Ces conditions tel que spécifié par la norme **ISO 3046-1-2002** sont : une pression atmosphérique de **100kPa**

- ✓ Une température d'air de l'ambiance de **25°C**
- ✓ Une humidité relative de **30%**
- ✓ Une température du liquide de refroidissement de l'air de suralimentation de **25°C**

Un groupe électrogène peut fonctionner suivant deux modes de régulation définissant la chute de vitesse entre un fonctionnement à vide et un fonctionnement en plein charge.

Il y a **fonctionnement isochrone** lorsque la vitesse et donc la fréquence restent constantes quelle que soit la charge, en dehors des variations transitoires dues aux variations brutales de cette charge. Cette disposition est surtout applicable dans le cas d'un groupe fonctionnant en solo. Dans le cas de groupes fonctionnant en parallèle, il est nécessaire de prévoir un dispositif de répartition de puissance assurant un équilibrage des puissances relatives entre les groupes.

Il y a **fonctionnement avec statisme** lorsque l'on impose une baisse de vitesse entre le fonctionnement à vide et le fonctionnement en charge. Elle permet d'assurer un fonctionnement stable de plusieurs groupes couplés en parallèle.

Pour assurer une fréquence constante, il est nécessaire de prévoir un dispositif de centrage de fréquence. Le statisme est défini par rapport à la vitesse nominale et calculé par

$$\text{statisme} = (100 - N_0 - N) / N_0$$

La formule dans laquelle N_0 et N représentent respectivement la vitesse à vide et la vitesse à pleine charge.

Ce statisme a une valeur comprise entre 3 et 5 %.

Toute fluctuation de ces conditions peut affecter les groupes et provoquer une baisse de la production. Dans des circonstances extrêmes, les groupes peuvent cesser de fonctionner entièrement.

Un des problèmes le plus fréquemment rencontré dans la définition d'un groupe électrogène réside dans le **dimensionnement optimal** du groupe en fonction de l'impact de charge qu'il est appelé à assurer.

Les centrales de secours demandent des temps de réalimentation rapide des installations secourues. Il est donc indispensable de prévoir des systèmes de couplage automatique qui nécessitent la mise en œuvre des composants suivants :

- **un synchroniseur** qui amène les tensions au synchronisme par action sur la consigne de vitesse du régulateur.
- **un égaliseur de tension** qui assure l'ajustage de la tension de l'alternateur à celle de la source de référence ; cette fonction est très souvent intégrée au régulateur de tension et est couramment appelée fonction $U = U$.
- **un coupleur** qui effectue le contrôle de l'ensemble des conditions de couplage et qui délivre l'ordre de fermeture de l'organe de coupure du groupe électrogène.

Le groupe électrogène dans ses applications « secours », présente des avantages liés à :

- un large éventail de puissance.
- la rapidité de sa mise en œuvre.
- sa capacité à fonctionner pendant de longues périodes.

Ces avantages lui confèrent une position prépondérante loin devant toutes les autres sources de remplacement. Il est donc permis d'affirmer que le groupe électrogène est toujours un produit d'autant que les performances du moteur diesel s'améliorent constamment dans les domaines du rendement de la fiabilité et de la pollution.

Outre l'utilisation du groupe électrogène en source de secours, sa souplesse d'installation, sa modularité et son coût en font le moyen de production d'électricité idéal pour des zones sous équipées et pour lesquelles l'énergie électrique constitue un facteur de développement incontournable ou pour des régions dont la faiblesse des besoins ne justifie pas la mise en œuvre de moyens plus lourds. (3)

Pour un groupe fonctionnant en solitaire la mise en charge sera faite en un ou plusieurs paliers. Les variations de fréquence et de tension dépendront des charges appliquées à chaque palier. Ainsi un chargement à 90% peut être appliqué à un groupe électrogène sans que la fréquence varie de plus de 10% et la tension de plus de 15%. (9)

Avant d'arrêter un groupe électrogène, il faut réduire son débit à zéro en transférant la charge sur d'autres sources, puis ouvrir le disjoncteur. Le groupe devra tourner quelques minutes à vide pour permettre son refroidissement avant son arrêt. Dans certains cas il est nécessaire de continuer le système de refroidissement après l'arrêt afin d'éliminer la chaleur latente de la machine. Il faudra suivre les recommandations indiquées par le fabricant pour la mise hors service du groupe.

III. Impact environnementale

Les deux formes de pollution liées au fonctionnement des groupes électrogènes sont :

- La pollution par le rejet d'effluents gazeux dans l'atmosphère.
- Le bruit (3)

IV. Optimisation du fonctionnement des groupes électrogènes

Pour une optimisation du fonctionnement des groupes différents paramètres sont à considérer :

1. Consommation spécifique :

C'est la quantité de combustible nécessaire à la production par le groupe d'une quantité d'énergie d'un kWh.

La consommation spécifique du moteur définit la qualité de la transformation de l'énergie au sein du moteur. C'est la quantité du combustible d'un pouvoir calorifique donné qui doit être dépensée pour la production d'une unité d'énergie la consommation horaire (consommation du carburant par heure) désignée par C_h (en kg/h), on obtient la consommation spécifique indiquée sous la forme

$$g_i = \frac{C_h \cdot 10^3}{P_i} \quad (1)$$

P_i en KW

2. Relation entre le rendement et la consommation spécifique indiqués

Soit Q_h (en kWh) la quantité de chaleur apportée pendant une heure de combustion, où elle s'écrit comme suit :

$$Q_h = C_h \cdot P_{CI} \quad (2)$$

C_h , consommation horaire en kg/h,

P_{CI} , pouvoir calorifique inférieur du carburant, en kJ/kg.

$$Q_h = g_i \cdot P_i \cdot P_{CI} \cdot 10^{-3}$$

dans le cas où P_{CI} est exprimé en MJ/kg, g_i est égale à :

$$g_i = \frac{3600}{\eta_i \cdot P_{CI}} \cdot (5)$$



Figure 3: Variation du rendement indiqué en fonction du coefficient d'excès d'air

3. Le combustible

Dans les moteurs Diesels, le combustible est injecté dans l'air préchauffé grâce à la compression dans le cylindre. L'exigence principale que le gazole doit satisfaire est la facilité d'auto-inflammation par contact avec l'air comprimé. La durée de temps du moment d'injection de combustible jusqu'à son auto inflammation est nommé délai d'allumage. Le délai dépend de plusieurs facteurs, en particuliers, de la nature de combustible ou de son indice de cétane.(4)

- **L'indice de cétane** est le pourcentage en volume de cétane dans un combustible de référence qui a le même délai d'allumage que le gazole à éprouver.

L'indice de cétane (IC) pour les moteurs Diesels doit être supérieur à 50. (5)

- **Pouvoir calorifique du combustible** P_c

On appelle pouvoir calorifique du combustible la quantité de chaleur dégagée par une unité de masse ou de volume de ce dernier par suite de sa combustion complète. (4)

4. Entretien :

Comme toute mécanique un moteur diesel demande pour un bon fonctionnement et une bonne longévité un entretien régulier de tous les éléments qui le compose ainsi que le remplacement des pièces soumises à l'usure. (7)

A titre d'exemple les deux tableaux ci dessous sont des exemples de planning d'entretien des éléments électriques et mécaniques d'une centrale thermique.

Moteur	Tous les jours	Toutes les 50h	Toutes les 100 h	Toutes les 200 h	Toutes les 500 h	Toutes les 1000 h
Vérification du niveau d'huile	■					
Vidange d'huile moteur			■			
Remplacement du filtre à huile			■			
Nettoyage de la gatte moteur			●	●		
Vérification et réglage éventuel des culbuteurs						
Nettoyage du filtre à air			●			
Examen couleur fumée d'échappement	●					
Refroidissement						
Contrôle du niveau d'eau	●					
Nettoyage du filtre à eau de mer	●					
Vidange du circuit d'eau(échangeur)					■	
Contrôle des anodes			●	●		
Contrôle de la turbine de la pompe à eau de mer						
Remise en état de la pompe à eau de mer					■	
Contrôle du thermostat				●		
Nettoyage de l'échangeur					●	
Alimentation						
Contrôle du niveau du carburant	●					
Echange des éléments filtrants				■		
Vérification et réglages des injecteurs					●	
Réglage du point d'injection					●	

Electricité						
Vérification de la charge de la batterie (tableau de bord)	●					
Contrôle de la tension de la courroie		●				
Echange de la courroie					■	
Contrôle du niveau de l'électrolyte de la batterie		●				
Vérification des connexions				●		
Echange des balais de l'alternateur						■
Echange des balais du démarreur						■
Inverseur réducteur						
Contrôle du niveau d'huile			●			
Vidange d'huile inverseur					■	
Installation						
contrôle du presse étoupe			●			
Contrôle de la bague hydrolube			●			
Contrôle de l'alignement de l'arbre d'hélice			●			●
Vérification de la ligne d'échappement (collier durit, pot mélangeur)						
Vérification des commandes à distance, graissage, réglage					●	
Vérification du serrage des boulons de fixation du moteur					■	

■ Remplacement
 ● Vérification et
 ● réglage éventuel

TABLEAU1: TABLEAU

DES

OPERATIONS

D'ENTRETIEN

(7)

V. Gestion de la production électrique

La gestion d'un outil de production ou de façon générale comme celle de tout système de production vise la production d'un bien ou service de bonne qualité et au coût le plus bas possible.

L'étude économique du coût de production du kWh électrique a montré que celui-ci variait beaucoup et que le meilleur système était celui qui permettait d'obtenir un kWh au plus bas prix. (8)

Pour le gestionnaire d'une centrale thermique, les performances énergétiques les plus à suivre sont: la consommation spécifique exprimée en g/kWh, la consommation totale annuelle de combustible (en g ou kg) et la production thermique totale (kWh), la conception même du moteur (essence ou diesel, la forme de la chambre de combustion, le système d'injection), la qualité des carburants utilisés et leurs adéquations avec le moteur, le nombre de cétane ou d'octane respectivement pour les moteurs diesel et à essence, les rendements thermiques effectif et la puissance effective délivrée] (1)

La gestion des réseaux électriques recouvre des problématiques avec différentes échelles de temps le dimensionnement et l'investissement [année].La supervision sur le long terme qui a pour objectif de déterminer le plan de production pour maximiser les profits[journée].La supervision sur le moyen terme qui a pour objectif la détermination des puissances de référence des sources pour maximiser les profits [1/2 heure ,1heure] et enfin la supervision en temps réel qui a pour objectif de fournir la puissance de référence et des services systèmes [secondes ,minutes]](11)

L'équilibre du système électrique est d'autant plus important que, d'une part, l'électricité ne se stocke pas, et que d'autre part, tout déséquilibre physique peut avoir de graves répercussions économiques et sociétales. Ainsi, lorsque le gestionnaire du réseau cherche à se procurer de l'énergie pour atteindre son équilibre, il va activer l'offre d'ajustement à la hausse dont le prix est le plus faible. Et lorsque le système connaît un surplus de production, le gestionnaire active une offre d'ajustement à la baisse, qui correspond au paiement par les acteurs de l'énergie excédentaire soutirée au prix proposé pour leur offre. Ainsi, le gestionnaire de réseau vend de l'énergie et choisit l'offre dont le prix de vente est le plus élevé possible](10)

CHAPITRE II : ETUDE EXPERIMENTALE

Dans cette partie, il sera question de faire une présentation générale du cadre d'étude et de tous les équipements de mesures utilisés. Une présentation générale des résultats obtenus et surtout des méthodes utilisées seront aussi faites.

Dispositif expérimental

Les données que nous aurons à traiter tout au long de ce mémoire concernent la centrale de Goudel.

Elle est équipée d'un groupe PC4-2 de sept groupes MTU et du fournisseur indépendant AGGREKO.

Nous précisons que les données d'AGGREKO n'entrent pas dans le cadre de cette étude.

Les valeurs de consommations spécifiques et de consommation de combustibles des groupes pour chaque journée sont prises à minuit. Il y a deux salles pour les groupes. Les groupes MTU sont dans deux demi blocs et le groupe PC4 dans une salle à part.

Le moteur du groupe PC4 est situé à un niveau élevé. Les accessoires sont situés dans la salle en dessous.

Présentation générale des résultats

Nous présenterons ici de façon succincte les résultats qui sont à la base de cette étude.

L'analyse de ces résultats et les discussions éventuelles seront faites dans les parties suivantes. Nous allons voir d'abord l'exploitation qui est faite des différents groupes et les comparer avec celle prescrite par les fournisseurs de ces groupes.

A. Exploitation Groupe PC4

Le groupe PC4-2 est acquis en **1985**.

Pour le fournisseur du PC4-2 nous allons voir en annexe les puissances et les consommations garanties.

La puissance en service continu garantie par le fournisseur = **11, 230MW** contre une puissance actuelle disponible de **9MW** (puissance maximale à laquelle le groupe peut tourner permanemment sans subir ni surchauffe ni détérioration d'un quelconque de ses organes).

La consommation spécifique garantie par le fabricant est de **188 g/kWh** pour un combustible ayant un P_{CI} de **42 000 kJ/kg** contre une consommation spécifique actuelle de **225,44 g/kWh (Avril 2013)** et **221.925 g/kWh en 2012** avec un combustible dont on ignore le pouvoir calorifique inférieur.

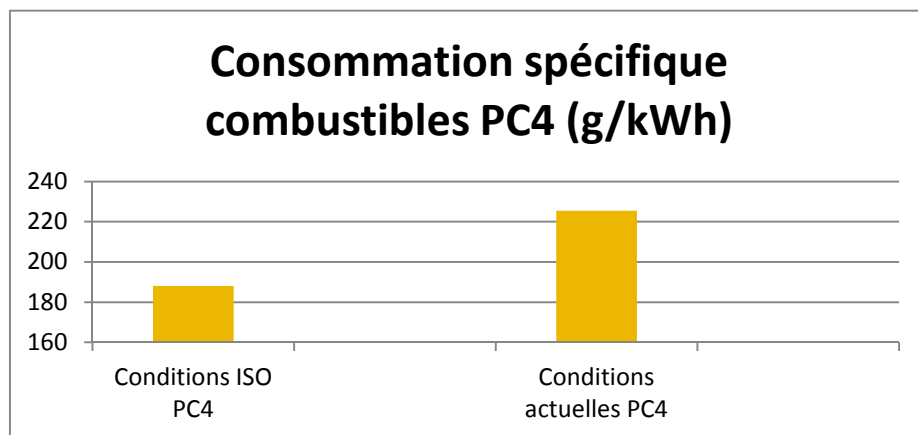


Figure 4: Comparaison entre les conditions ISO et actuelles du PC4

Nous constatons une nette différence entre la consommation spécifique donnée par le constructeur en consommation de combustibles et celle actuelle de l'exploitant.

Le suivi de l'exploitation de cette Centrale nous a révélé que le groupe PC4-2 une fois démarré et couplé au réseau présente un fonctionnement normal et stable. Il fonctionne à la puissance de 9 MW qui lui est assignée.

L'injection du combustible dans la chambre de combustion est directe.

Les combustibles utilisés sont le gasoil et le fuel lourd. On fait démarrer le moteur au gasoil une fois le moteur chaud on le permute au fioul lourd.

Gasoil (gazole) : C'est un mélange d'hydrocarbures qui compte 12 à 22 atomes de carbone utilisé dans les moteurs diesels à combustion interne.

Les **fiouls lourds** sont des combustibles à haute viscosité souvent utilisés par les gros moteurs Diesel.

Fioul lourd : Désigne de façon générale un résidu de distillation du pétrole formé d'un mélange de carbure solide et liquide très visqueux utilisé souvent par les gros moteurs diesel.

Ils contiennent toujours des impuretés plus ou moins nocives au bon fonctionnement des moteurs : Par ailleurs, la grande viscosité du fioul lourd rend l'injection à température ambiante impossible.

Pour ces raisons, plusieurs traitements sont nécessaires avant d'introduire des fuels lourds dans un moteur tel que la décantation permettant d'éliminer la boue et l'eau par gravité ; le réchauffage (jusqu'à 90 °C) pour faciliter la centrifugation; la centrifugation afin d'éliminer les impuretés solides et l'eau, complétée par une filtration, le réchauffage final (piloté par un contrôleur de viscosité) afin d'obtenir la viscosité nécessaire pour l'injection. On doit le maintenir lors de son transport, son stockage et son utilisation à une température de 70°C pour qu'il soit utilisable à l'état liquide.

B. Exploitation Groupes MTU :

Les groupes MTU sont acquis en **2009**.

Tous les moyens mis pour trouver les fiches techniques données par le constructeur sont restés vains. La centrale de Goudel n'a aucun document à sa disposition pour l'exploitation de ces groupes. Il n'y a donc aucun moyen de comparaison. Il y a sept groupes électrogènes MTU de **2,2 MW**. La consommation spécifique déterminée est toujours générale par l'exploitant. Elle est celle des sept groupes MTU ensemble plutôt que groupe par groupe. Les consommations spécifiques en 2012 sont de **218,569 g/kWh** et en Avril 2013 elles restent identiques. Les groupes MTU fonctionnent uniquement au gazole.

L'injection du combustible dans la chambre de combustion est directe.

Les exploitants se contentent d'exploiter les groupes MTU à 80% de leur charge. Au maximum à chaque groupe est assigné une puissance (**80% de 2,2MW**) soit **1,76MW**. L'exploitation des sept groupes MTU pose beaucoup de problèmes. Tout d'abord compte tenu de la charge à prendre, après démarrage il faudrait procéder au couplage d'au moins quatre des sept groupes avant la prise de charge. Mais compte tenu de leur vitesse de fonctionnement élevée (**1500tours/minute**) il arrive très fréquemment qu'avant la prise en charge un ou même deux des groupes se désaccouplent obligeant l'exploitant à reprendre plusieurs fois la même opération. Pendant ce temps de marche sans charge il se produit de la consommation inutile de combustibles. Durant notre séjour à la NIGELEC tous les groupes MTU n'ont jamais fonctionné pendant une journée il arrive toujours qu'un ou deux groupes ait un quelconque problème.

Pour une comparaison de l'exploitation de la performance des groupes MTU avec celle du constructeur nous nous sommes adressés au constructeur pour avoir la consommation spécifique de ces groupes électrogènes. Il nous donne dans son document les consommations spécifiques données en annexes. Pour avoir la consommation spécifique suivant l'exploitation actuelle il nous a fallu faire le calcul ci-dessous.

A 80% de charge :

100% $\Longrightarrow$ 190 g/kWh

80% $\Longrightarrow$ x

75% $\Longrightarrow$ 193g/kWh

La consommation spécifique fournit par le constructeur est de :

$$\frac{80 - 100}{75 - 100} = \frac{x - 190}{193 - 190}$$

$$x = 190 + \frac{20}{25} * 3$$

$$x = \frac{192.4g}{kWh}$$

Cs=192.4g/kWh

Pour un combustible de PCi supérieur ou égal à **42 800kJ/kg**

❖ Comparaison des consommations spécifiques combustibles du constructeur et exploitant en 2012

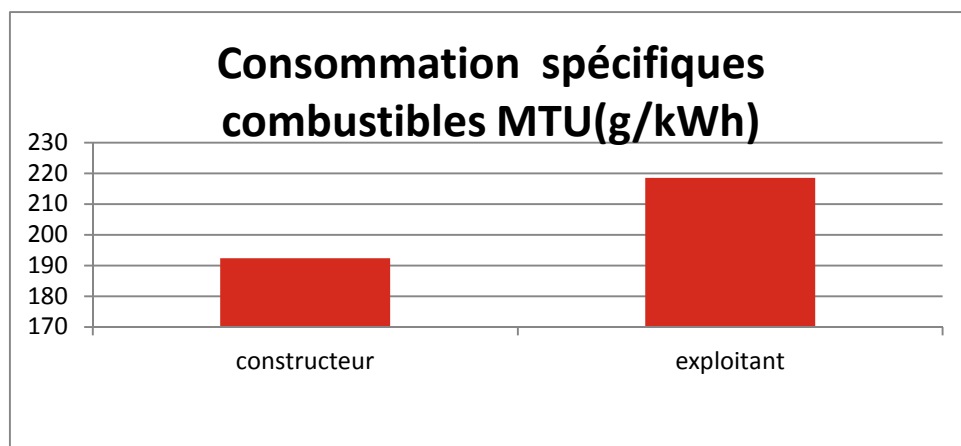


Figure5 : Comparaison des consommations spécifiques combustibles du constructeur et exploitant en 2012

Nous constatons une nette différence entre ce que le constructeur prescrit et les réalités sur le terrain.

❖ Production d'énergie par les groupes MTU et PC4 en 2012

	PC4	MTU
Energie (KWh)	33 157 000	22 645 708

Tableau2 : Production d'énergie par les groupes MTU et PC4 en 2012

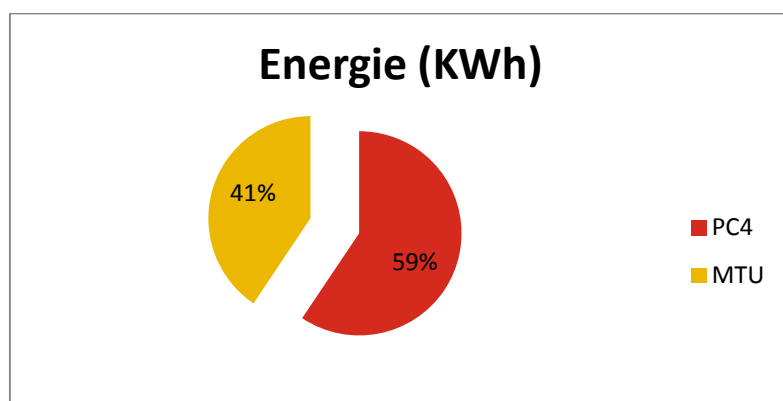


Figure 6: Proportion de fourniture de l'énergie des différents groupes de la centrale de Goudel sur le réseau en 2012

Le groupe PC4 fournit la majeure partie de l'énergie bien que n'ayant que 9MW de disponible contre les 12.32MW des sept groupes MTU.

Consommation de lubrifiants

En Avril 2013

PC4

$1909.80/384.6=4.96\text{Kg/h}$

MTU

$$1156.5/346=0.33\text{Kg/h}$$

C. Analyse des méthodes de calcul des performances des groupes électrogènes.

Les calculs des consommations spécifiques comme nous l'avons vu plus haut dépend de plusieurs paramètres tels que le rendement des groupes électrogènes le P_{CI} des combustibles livrés. Mais ici au niveau de la centrale de Goudel dans le bon de livraison des combustibles livrés il n'est fait aucune mention du P_{CI} de ces combustibles que ce soit pour le fuel lourd ou pour le gasoil. Il ne figure que la densité des combustibles. Pour ces différents calculs la NIGELEC prend un chiffre standard de la densité de 0.8207 pour le gasoil et 0.93 pour le fuel.

1. Calcul de consommation spécifique des combustibles et lubrifiants.

Comme nous l'avons vu plus haut la consommation spécifique est la quantité de combustible ou lubrifiants nécessaire au groupe électrogène pour la production d'une énergie d'un kWh.

Le calcul des consommations spécifiques se fait à partir du calcul suivant :

$$g = \frac{C}{Ei}$$

Avec C la quantité de combustible ou lubrifiant consommés durant un temps t en gramme et Ei l'énergie livrée au réseau durant le même temps t en **kWh**.

❖ Année 2012

Comme illustration d'analyse des méthodes de calculs des consommations spécifiques nous avons pris les relevés du **30 Juillet 2013**.

Il y a une grande cuve pour alimenter ces sept groupes en combustibles. La consommation en gasoil de cette journée est de **37800l**.

	MTU1	MTU2	MTU3	MTU4	MTU5	MTU6	MTU7	
Energie(KWh)	21977		22156	18002	26125	26246	26286	140792
Cons gasoil(l)								37800
Cons spécifique(g/KWh)								220,342491

Tableau3 : Calcul de consommation spécifique combustibles pour la journée du 30 Juillet 2013

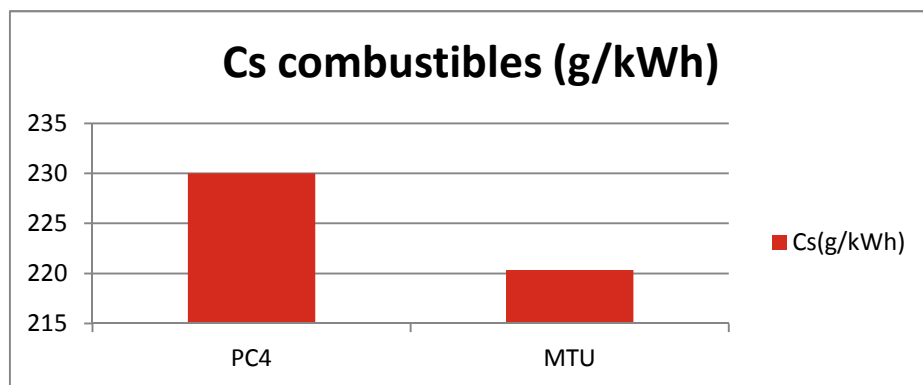


Figure 7 : Consommation spécifique combustibles MTU et PC4 le 30 Juillet 2013

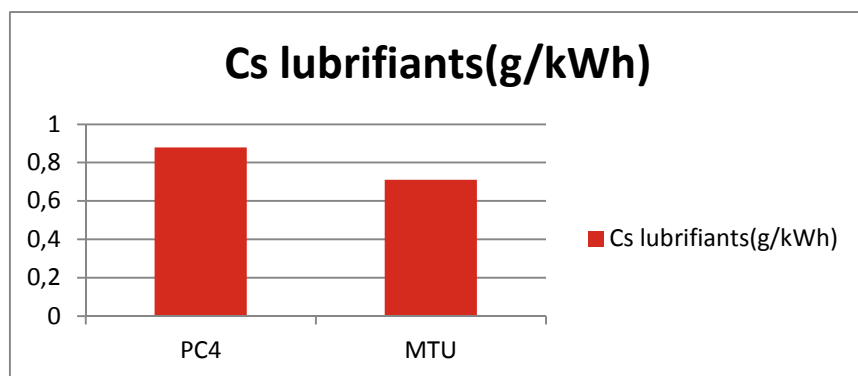


Figure 8: Consommation spécifique lubrifiants 2012 des groupes MTU et PC4

Ce tableau nous donne directement la performance du PC4 en consommation combustible. Pour les groupes MTU nous ne disposons que de la consommation globale de tous les groupes MTU mais non la performance individuelle de chacun des groupes.

❖ Année 2013

	avril-13	mai-13	juin-13	juillet-13
Cs MTU(g/kWh)	218,56	222,75	222,1	0
Cs PC4(g/kWh)	225,44	232,34	217,01	218,86

Tableau5 : Consommation spécifique combustibles des groupes MTU et PC4 en Avril Mai Juin juillet 2013

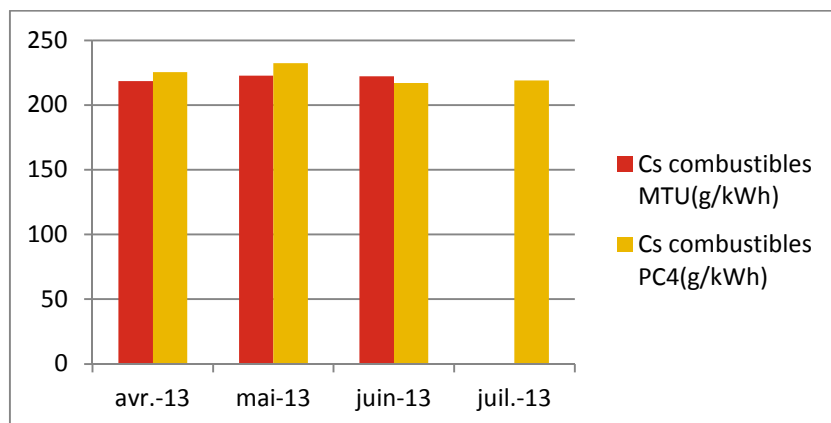


Figure 9 : Consommation spécifique combustibles des groupes MTU et PC4 en Avril Mai et Juin et Juillet 2013

Notons que le groupe PC4 est tombé en panne durant le mois de Juillet 2013.

2. Le combustible

Dans le bon de livraison des combustibles livrés au niveau de la centrale de Goudel aucune information par rapport aux éléments importants sur la qualité des combustibles n'est mentionnée.

La qualité des combustibles se résume par l'amélioration de propriétés suivantes :

- Le Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI) du combustible. Cette propriété est importante dans la détermination de l'indicateur de consommation spécifique combustible. En effet cette propriété indique le niveau du pouvoir énergétique d'un combustible.
- L'indice de cétane indique la capacité d'un combustible à s'enflammer.

En plus il n'est fait aucun contrôle de la qualité des combustibles livrés à la centrale. La NIGELEC ne fait que consommer les combustibles du seul fournisseur qui est la SONIDEP.

3. Lubrifiants :

Les huiles de qualité supérieure garantissent la sécurité et la longévité du moteur une température trop élevée réduit le pouvoir lubrifiant et provoque l'usure du moteur. Le choix d'un lubrifiant adapté est donc très important.

✚ Pour le groupe électrogène PC4

La viscosité de l'huile à utiliser est SAE 40 selon le fabricant.

Les huiles utilisées sont huile mobil 430.

✚ Pour les groupes électrogènes MTU

La viscosité de l'huile à utiliser est SAE 15W40 selon le fabricant.

L'huile utilisée est mobil 15W40.

L'huile est le sang du moteur et joue plusieurs rôles pour le bon fonctionnement du moteur.

- La lubrification : L'huile fournit une pellicule résistante entre les surfaces des pièces moteur de façon à prévenir ou réduire l'usure et assure l'étanchéité.
- Le refroidissement : L'huile entraîne vers l'extérieur la chaleur dégagée par les pistons chemises les coussinets.
- Le nettoyage : l'huile élimine les particules du à l'usure et de dépôts occasionnés par le passage de gaz de combustion dans le carter. La neutralisation : l'huile neutralise l'acide provenant de la combustion du carburant formant des dépôts boueux et des laques. .

Pour les lubrifiants également les centrales n'ont aucun moyen de vérifier la qualité assurée par le fournisseur.

Le calcul des consommations spécifiques se fait à l'aide de la formule suivante :

$$g = \frac{C}{Ei}$$

	avr-13	mai-13	juin-13	juil-13
Cons spé huile PC4	0,7	0,91	0,46	0
Cons spé huile MTU	0,55	0,49	0,71	0,37

Tableau6: Consommation spécifique lubrifiants PC4 et MTU en Avril Mai Juin et juillet 2013

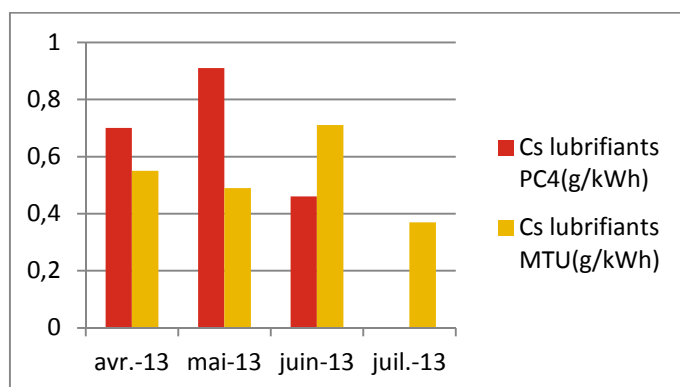


Figure10: Consommation spécifique lubrifiants PC4 et MTU en Avril Mai et Juin Juillet 2013

Synthèse : L'étude expérimentale faite a permis de recenser les différents problèmes afin de voir les moyens qui peuvent être mis en œuvre pour les résoudre.

Cette étude a permis de voir durant la période du stage (mois d'Avril Mai Juin Juillet 2013) les différentes consommations combustibles et lubrifiants des groupes électrogènes PC4 et MTU et aussi de faire une comparaison de la production d'énergie des différents groupes électrogènes afin de voir lequel produit plus d'énergie par rapport à l'autre. Pour les MTU le calcul de consommation spécifique des lubrifiants pour une comparaison avec celui du constructeur pose un problème car chaque groupe MTU a son heure de marche alors que seule la consommation globale en lubrifiants des MTU est connue.

Conclusion partielle : Au terme de cette étude expérimentale nous pouvons dire que du point de vue production d'énergie le groupe PC4 fournit la majeure partie de l'énergie. Les groupes MTU bien que plus neufs que le groupe PC4 ont une consommation spécifique élevée surement du à la non utilisation des guides d'utilisation qui se trouve être indisponible. Le nombre élevé de groupes électrogènes de petite puissance n'est pas un choix pertinent.

Chapitre III : Méthodologie d'exploitation des groupes

I. Méthodologie d'une bonne gestion de centrale

La gestion d'un outil de production ou de façon générale comme celle de tout système de production vise la production d'un bien ou service de bonne qualité et au coût le plus bas possible. La mise en application de ce principe de base consistera à la réduction au minimum du coût de tous les intrants et autres services consommés entrant dans la production de l'énergie électrique. C'est pourquoi pour chaque système de production il est nécessaire de disposer d'une procédure consistante. Elle permet de décrire les différentes étapes de combinaisons des intrants comme des autres services concourant à la production de l'énergie électrique. Aussi est- il nécessaire de :

- ❖ Disposer d'un outil de production adapté à savoir des groupes diesel servant à produire de l'énergie électrique. Leur nombre et leur puissance productive doivent être choisis en fonction de la puissance totale à fournir.
- ❖ Augmenter l'efficacité, réduire les dépenses de combustible
- ❖ Diminuer la durée d'indisponibilité des équipements
- ❖ Optimiser le cycle de maintenance préventive
- ❖ Optimiser les ressources humaines:
 - ✓ Personnel d'opération
 - ✓ Personnel de maintenance.

C'est la satisfaction aux exigences de ces cinq points sus mentionnés qui constitue le cadre d'une bonne gestion d'un système de production. Mais au préalable de cette procédure il est indispensable d'établir un recensement exhaustif de tous les éléments de coûts entrant dans le processus de production, puis la conception de la manière la plus appropriée de leur combinaison en termes de pertinence, d'efficacité et d'efficience.

L'augmentation des performances de fonctionnement des groupes électrogènes passe d'abord par l'accroissement du rendement de ces groupes. Ceci nécessite: premièrement, la réalisation d'une combustion aussi complète que possible, ce qui suppose le choix d'un carburant de bonne qualité ayant un nombre de cétane compatible avec le type de moteur utilisé, le choix d'un injecteur performant et finalement, un mécanisme de distribution en très bon état et réglé de manière convenable pour réaliser un cycle mécanique optimum; deuxièmement, la diminution de la puissance des frottements qui demande d'abord un bon équilibrage du moteur, l'utilisation de lubrifiant de bonne qualité, tout en veillant au suivi, à l'entretien et à la révision périodique des groupes, par la détection et le remplacement des pièces usées.

II. Méthodologie de gestion de la centrale de Goudel

A. Organisation de la centrale de Goudel

Tout d'abord nous verrons l'organisation de la centrale :

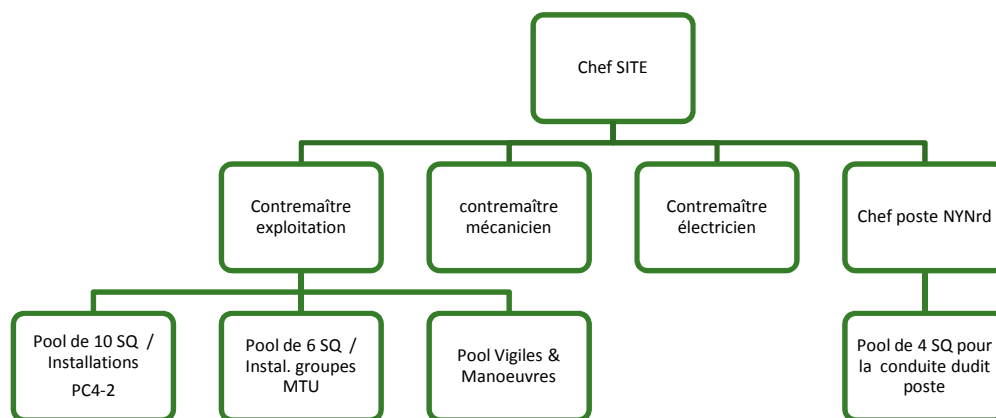


Figure 11 : Organigramme du site de la centrale de Goudel

Ainsi au niveau de la centrale de GOUDEL l'exploitation est assurée par une équipe structurée suivant l'organigramme ci haut :

Cette structure assure l'exploitation de la centrale de GOUDEL. Dans l'organigramme général de la NIGELEC elle est, comme les autres centrales de NIAMEY rattachée à la Direction Régionale de NIAMEY. Par contre les fonctions d'élaboration stratégique du système de production, le choix des moyens de production et de leur exploitation c'est à dire de leur gestion sont confiées à la Direction centrale de la Production et du Transport.

La Direction de la Production et du Transport (dénommée DPT qui assure ces fonctions à travers deux de ses services dénommés Service de la Production (SPRO) et Service de Maintenance et Entretien Matériel (SMEM).

Le service SPRO assure la fonction de coordination des activités de toutes les centrales de production à l'échelle de toute l'Entreprise. C'est au niveau de ce service que sont effectuées la collecte et la compilation des toutes les données de l'exploitation de toutes les centrales à l'échelle du territoire national. C'est aussi ce service qui doit édicter les procédures d'exploitation, définir et divulguer les indicateurs de gestion, collecter les données de production et les compiler.

Le service SMEM assure quant à lui les tâches de maintenance d'importance qui ne peuvent être effectuées par le personnel des autres centrales du pays, dans l'optique d'optimiser les compétences en ressources humaines.

B. Les éléments de coût de la centrale

La gestion de la centrale se résume à la gestion de tous les éléments de coûts de la centrale de Goudel :

Les éléments de coûts auxquels fait face la centrale de Goudel se résument en cinq points :

- ❖ Les combustibles/Lubrifiants
- ❖ Les charges salariales
- ❖ Les impôts et taxes
- ❖ Les pièces matériels et entretien
- ❖ Les inscriptions aux amortissements

a. La gestion de combustibles et Lubrifiants

Le chef site établit et assure l'approvisionnement de la centrale en combustibles et lubrifiants ainsi que la gestion des stocks de ces deux produits. Ces stocks, comme la consommation de ces produits sont régulièrement suivis et presque en temps réel. Les données de production d'énergie et la consommation de ces deux intrants sont disponibles à tout moment de même que les indicateurs de performances que sont les consommations spécifiques qui sont régulièrement calculés et ajoutés à la base des données.

Par contre il n'est fait aucun contrôle de la qualité des combustibles livrés à la centrale.

Ainsi l'absence de toute vérification de qualité du combustible fourni peut concourir à des mauvais indicateurs de performance de l'outil de production.

Pour les lubrifiants également les centrales n'ont aucun moyen de vérifier la qualité assurée par le fournisseur. L'injection du combustible dans la chambre de combustion est directe au niveau des MTU et PC4.

b. La gestion des pièces, matériels et entretien

Il faut préciser ici que l'engagement de toutes les acquisitions et des consommations en tous genres du site est assuré par le Service SPRO. Or ce service n'étant pas le centre des coûts de ces engagements, il transmet mensuellement et globalement tous les documents de sorties faites pour toutes les centrales de NIAMEY à la Direction Comptable et Financière (DCF). Les sorties des pièces, matériels et fournitures en stock transmises à la DCF ne sont valorisées ni par les services le magasin des stocks, ni par le service SPRO, car les stocks sont gérés par un logiciel informatique logé à la Direction Comptable et Financière (DCF). Or c'est seulement à la fin de l'année que la Direction DCF valorise ses consommations, pour ses besoins de documents bilanciers. Ainsi du fait de la multiplicité des intervenants dans cette tâche la mise à disposition du matériel les tâches d'enregistrement, de valorisation, de traitement et de contrôle des consommations des pièces de rechange et autres produits des centrales de NIAMEY ne sont prises en

charge par aucune structure de l'Entreprise . Tout ceci a fait que nos recherches de trouver les coûts des consommations en 2012 en matériel et fournitures de la centrale ont été vaines.

La NIGELEC ne dispose pas de fiches de maintenance claires et précises des groupes électrogènes.

c. La gestion du personnel

Les personnels d'opération et de maintenance doivent être optimisés.

d. Disponibilité des groupes

	PC4	MTU1	MTU2	MTU3	MTU4	MTU5	MTU6	MTU7
Nombre d'heures	6968,78	6054,92	7265,04	5675	4548,92	3832,57	7236,5	7233
Taux de disponibilité annuel	94,89%	82,45%	98,92%	77,27%	61,94%	52,19%	98,54%	98,49%

Tableau7: Taux de disponibilité des groupes en 2012

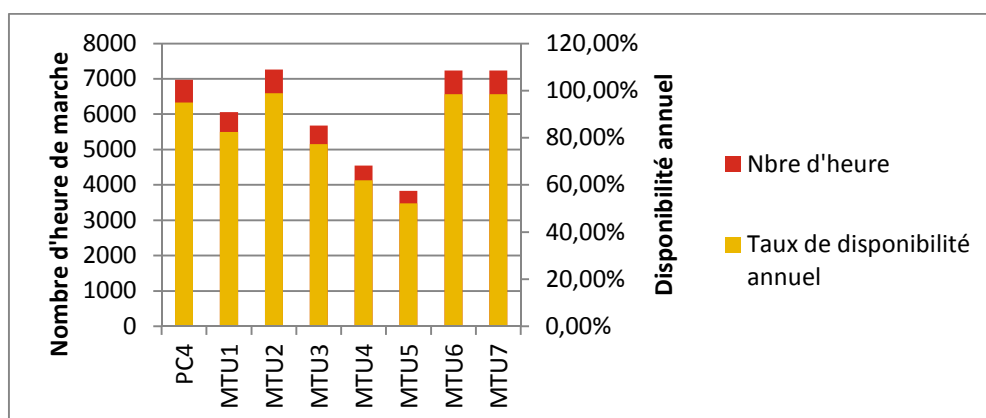


Figure12: Disponibilité des groupes en 2012

C. Des Performances réalisées en 2012

Pour bien voir les méthodologies de gestion de la dite centrale nous analyserons les différentes consommations en 2012

	Consommation combustible			
	PC4-2	Groupes MTU	Prix unitaire	Prix totale
Gasol(l)	3 862 748	6 031 002	415,7466	4 113 292 924
Fuel lourd(l)	4 503 454	0	406,7336	1 831 706 058
Lubrifiants(l)	32 438	17 885	2538,22	127 730 845
				6 072 729 827

Tableau 8 : Consommation de la centrale de Goudel en 2012

Pour ce qui est de l'énergie livrée :

	Energie produite(KWh)	Prix unitaire	Prix totale
PC4-2	33 157 000	79,67	2 641 618 190
MTU	22 645 708	79,67	1 804 183 556
Totale Energie	55 802 708	79,67	4 445 801 746
Energie livrée	52 098 582	79,67	4 150 694 028

Tableau9: Récapitulatif de l'énergie livrée par la centrale de Goudel en 2012

Coût salarial (F CFA)	238 548 593
Montant dotation aux amortissements (F CFA)	20 603 280
Coût maintenance et entretiens (F CFA)	Indisponible
Taxes et patentes(F CFA)	261 754 572

Tableau10: Autres données et frais de la centrale

- Masse volumique gasoil : 1 litre = 0.8207Kg
- Masse volumique fuel lourd 1 litre=0.93 Kg
- Masse volumique huile 1 litre =0.90Kg
- ✓ Coût de revient moyen gasoil 1litre=415.74F CFA
- ✓ Coût de revient moyen fuel lourd 1 litre=406.7336 F CFA
- ✓ Coût de revient moyen huile 1l=2538.22F CFA
- 🚦 Prix unitaire moyen de vente en 2012, du KWh produit à NIAMEY = 79,67 Frs CFA

❖ **Commentaire**

Au vu des chiffres susmentionnés nous constatons qu'en 2012 le prix de vente de l'énergie produite à la centrale de Goudel ne compense même pas les dépenses effectuées en combustibles et lubrifiants.

Les coûts de maintenance et entretiens ne sont pas connus.

Seules les quantités de combustibles consommés sont connues avec exactitude ainsi que la quantité d'énergie produite.

Chapitre IV : Analyse et discussion

Les éléments de bonne gestion

- Les consommations combustibles et lubrifiants sont correctement suivies et connues à tout moment.
- Les quantités d'énergie produite, livrée et consommée au niveau auxiliaires sont régulièrement enregistrées et archivées.
- Les indicateurs de performances sont régulièrement calculés

Les éléments de mauvaise gestion

- les coûts d'entretien ne sont pas connus ; les informations relatives aux pièces d'entretiens et rechanges, comme des prestations tierces au site ne sont ni collectées, ni analysées et encore moins contrôlées à aucun niveau de la structure NIGELEC.
- Le site Goudel n'a pas en sa possession le document constructeur déterminant les caractéristiques techniques des groupes MTU ; ce qui fait que l'exploitant ne dispose d'aucun élément de référence pour apprécier la performance de ces groupes à l'exploitation.
- L'ignorance de la qualité des combustibles livrés (pouvoir calorifique inconnu, indice de cétane, teneur en éléments corrosifs, etc..); En plus l'ignorance de la teneur en éléments corrosifs ne rassure pas sur la fiabilité de notre planning d'entretien (les éléments corrosifs accélèrent la destruction des pièces soumises à leurs effets)
- Le manque de vérification de la qualité des combustibles livrés.
- Indisponibilité des fiches de maintenance des groupes électrogènes.
- La continuation de l'utilisation du fuel lourd en dépit de son prix élevé.

Ainsi l'absence de toute vérification de la qualité du combustible fourni peut concourir à des mauvais indicateurs de performance de l'outil de production et surtout entraîner des usures de certains organes des moteurs plus rapidement que ne le prévoit le planning d'entretien. Ceci aurait comme conséquences fâcheuses éventuelles des pannes avant l'avènement d'un entretien régulièrement prévu et peut être même au moment où, les pièces ne soient pas encore disponibles.

Bien plus, la forte variation de l'énergie appelée par le réseau de distribution crée une instabilité au niveau des groupes .Tous ces désagréments contribuent également à dégrader les performances des groupes en terme d'efficacité et d'efficience.

Analyse technico économique de l'utilisation du gasoil uniquement au niveau du PC4

Nous verrons dans cette dernière partie l'analyse technico économique du fait de l'utilisation du gasoil uniquement au niveau du PC4 contre le gasoil et le fioul.

Tout ceci a pour objectif de voir l'ampleur du gain qu'aurait fait la centrale de Goudel en faisant ce choix.

✓ Du point de vue énergétique

Tout d'abord nous allons analyser les pouvoirs énergétiques des deux combustibles

Gazole ⇒ **1,035 tep/t**

Fioul lourd ⇒ **0,960 tep/t**

1tep = 41,8 GJ (Giga Joule) (10^9 J)

Le gazole a un pouvoir énergétique plus élevé que le fuel lourd.

Ce qui nous permet d'affirmer que 1 litre de gazole produit plus d'énergie qu'1 litre de fuel lourd.

✓ Du point de vue économique

❖ **Utilisation du gasoil et du fuel lourd au niveau du PC4**

📅 **Avril 2013**

		Prix unitaire (F CFA)	Prix total
Consommation gasoil(l)	98590	391	38 548 690
consommation fioul (l)	571611	400	228 644 400
			267 193 090

❖ **Utilisation du gasoil uniquement**

	Groupe PC4	Prix unitaire	Prix total
consommation gasoil(l)	670201	391	262 048 591,00

➤ **Gain réalisé en Avril 2013**

5 144 499 F CFA

Soit un gain de plus de 5 millions de FCFA en un seul mois.

✓ **Du point de vue disponibilité**

Le gasoil représente 59% de la production pétrolière du pays Avec une consommation journalière actuelle du tiers de la production du pays la NIGELEC pourra s'approvisionner en gasoil selon le besoin.

Conclusion :

Au Niger, l'un des moyens de production de l'énergie électrique est l'utilisation des groupes électrogènes. La centrale électrique de Goudel est l'une des plus importantes du pays. Mais cette dernière est confrontée à une mauvaise gestion dont les conséquences entraînent une production inefficace de l'énergie électrique.

Les groupes électrogènes de la centrale de Goudel fonctionnent avec des charges fluctuantes et dans un environnement climatique sévère. Les conditions de fonctionnement diffèrent ainsi des conditions données par les constructeurs.

L'objectif pour nous était d'aider la NIGELEC à réduire les coûts d'exploitation de la centrale de Goudel. Au terme de notre travail nous sommes satisfaits d'avoir atteint cet objectif. Nous avons mis à leur disposition les fiches techniques des groupes MTU. Ensuite nous leur avons proposé l'abandon de l'utilisation du fioul lourd au niveau du PC4 et fait une analyse technico économique pour voir ce qu'ils auraient gagné en utilisant uniquement le gasoil. Ce bénéfice n'est pas des moindres mais énorme. Toute fois la NIGELEC peut utiliser le fioul lourd dans le cas de l'indisponibilité du gasoil ou une baisse du prix du fuel lourd sans conséquence sur le moteur. Tout au long de ce mémoire nous avons eu à analyser les différents éléments essentiels pour une bonne gestion d'une centrale thermique et fait diverses propositions en vue d'une amélioration du système de gestion. Nous avons aussi fait ressortir les risques encourus si ces recommandations ne sont pas suivies. L'innovation apportée à la NIGELEC a été surtout l'analyse technico économique du fait de l'abandon du fioul lourd et aussi l'utilisation des guides techniques des groupes électrogènes MTU trouvés auprès du fournisseur.

RECOMMANDATIONS

Recommandations	Risques
➤ Utilisation des caractéristiques techniques des groupes électrogènes MTU qui est un élément de référence pour apprécier la performance de ces	Consommation excessive de combustibles et lubrifiants qui passent inaperçue.

groupes à l'exploitation.	
➤ Vérification de la qualité du gasoil et des lubrifiants avant leur utilisation dans les groupes électrogènes	Baisse de performance du fonctionnement des groupes électrogènes dans le cas de l'utilisation d'une mauvaise qualité de combustibles.
➤ La mise en place d'un programme efficace de maintenance préventive est le meilleur moyen pour accroître le rendement des groupes électrogènes.	Baisse du rendement des groupes électrogènes
➤ le prix d'achat élevé du fioul lourd en plus du traitement avant son utilisation. Abandon de son utilisation au niveau du PC4 au profit du gasoil.	Cout élevé de consommation de combustible pour une même production d'énergie.
➤ Le coût des pièces de rechange doivent faire l'objet d'une analyse minutieuse comme le coût des combustibles	Manque de connaissance des dépenses faites
➤ Remplacement de ces groupes MTU par d'autres groupes de puissances plus grandes.	Production d'énergie moindre pour une consommation excessive de combustibles et lubrifiants.
➤ Prévoir une prévision de la gestion de la production électrique à court et long terme afin que l'exploitant puisse optimiser au mieux la production compte tenu d'une certaine vision du futur.	Perte considérable d'argent et d'énergie.
➤ Mise à jour régulier des données sur le site web de la NIGELEC et traitement de toutes les données de la production électrique.	Non amélioration du système énergétique nigérien
➤ Construction d'une centrale solaire	Dépendance de la NIGELEC des sources d'énergie extérieure

Bibliographie

- [1] Abdoulaye OUEDRAOGO et Armand G. SODRE Modèles de quantification et de mitigation des rejets atmosphériques d'une centrale thermique diesel Octobre 2006
- [2] Abdoukarim AHMOUD, *Energétique de la production d'électricité* Professeur 2IE Mars 2012)
- [3] Bernard COLIN Groupes électrogènes de secours Techniques de l'Ingénieur
- [4] Hussein IBRAHIM *Moteur diesel suralimenté bases et calcul cycle réel théorique et thermodynamique* Novembre 2006 consulté le 06/05/13
- [5] Moustapha KADI *Lettre situation électrique au Niger Coddae* (Aout 2010)
- [6] Jean-Louis FROMENT *Moteur Diesel : Injection et chambre de combustion*
- [7] Jean Luc Pallas 'Guide pratique d'entretien et de réparation des moteurs diesel decembre 1991
Ingénieur-conseil Consultant Professeur associé à l'École nationale supérieure du pétrole et des moteurs (ENSPM)
- [8] L. Stoyanov et al. *Optimisation des systèmes multi-sources de production d'électricité à énergies renouvelables* Mars 2007(03/04/2013)
<http://scholar.google.com/scholar?q=optimisation+fonctionnement+groupe+diesel>
- [9] BALIMA Robert Ingénieur Electromécanicien Professeur 2ie .*Production décentralisée par groupe électrogène. Généralités*
MECHANICAL ENGINEER Professeur 2IE
- [10]Sinda BEN SALEM Thème de thèse *Gestion robuste de la production électrique à horizon court-terme* Mars 2011consulté le 25/04/2013
[http://www.google.ne/url?sa=t&rct=j&q=gestion+de+production+electrique\(pdf\)&source=web&cd=5&ved=0CEUQFjAE&url=http%3A%2F%2Ftel.archives-ouvertes.fr%2Fdocs%2F00%2F59%2F42%2F42%2FPDF%2Fben_salem_final.pdf&ei=wPN4UbbUNYy4hAeqh4HQDw&usq=AFQjCNHXsIEXMWCUoLe4eI4kmYxwcZKpng&bvm=bv.45645796,d.ZG4](http://www.google.ne/url?sa=t&rct=j&q=gestion+de+production+electrique(pdf)&source=web&cd=5&ved=0CEUQFjAE&url=http%3A%2F%2Ftel.archives-ouvertes.fr%2Fdocs%2F00%2F59%2F42%2F42%2FPDF%2Fben_salem_final.pdf&ei=wPN4UbbUNYy4hAeqh4HQDw&usq=AFQjCNHXsIEXMWCUoLe4eI4kmYxwcZKpng&bvm=bv.45645796,d.ZG4)
- [11]Vincent COURTECUISSE : Sujet de Thèse : Supervision d'une centrale multi sources à base d'éoliennes et de stockage d'énergie connectée au réseau électrique.
Rapport de stage Souley Moumouni Soumaila & Rabiou Abdou Maman Yahouza stagiare 2012

Sites internet :

- <http://www.acs.total.com/fr/nos-additifs/additifs-de-raffinage/ameliorant-indice-cetane.html>
- http://scholar.google.com/scholar?q=production+d'électricité+d'une+centrale+électrique&btnG=&hl=fr&as_sdt=0
- http://scholar.google.com/scholar?q=influence+qualit%C3%A9+gazole+sur+le+moteur+diesel&btnG=&hl=fr&as_sdt=0%2C5

www.mtu-online.fr

<http://www.mtu-online.com/mtu/recherche/index.fr.html>

<http://www.cridecigogne.org/content/analyse-critique-de-la-politique-energetique-actuelle-du-niger>

Vincent.Ghilardi@mtu-online.com

[http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/mecanique-th7/frottement-et-usure-](http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/mecanique-th7/frottement-et-usure-42464210/usure-dans-les-moteurs-bm2753/)

[42464210/usure-dans-les-moteurs-bm2753/](http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/mecanique-th7/frottement-et-usure-42464210/usure-dans-les-moteurs-bm2753/)

www.lesahel.org

ANNEXE 1 : Dépendance énergétique du Niger

Approvisionnement en énergie électrique



ANNEXE 2 : Consommation des groupes MTU selon le constructeur**3. Consumption**

No.	Description	Index	Value	Unit
17	Specific fuel consumption (be) - 100 % CP (+ 5 %; EN 590; 42.8 MJ/kg)	R	190	g/kWh
18	Specific fuel consumption (be) - 75 % CP (+ 5 %; EN 590; 42.8 MJ/kg)	R	193	g/kWh
19	Specific fuel consumption (be) - 50 % CP (+ 5 %; EN 590; 42.8 MJ/kg)	R	202	g/kWh
20	Specific fuel consumption (be) - 25 % CP (+ 5 %; EN 590; 42.8 MJ/kg)	R	227	g/kWh
21	Specific fuel consumption (be) - FSP (+ 5 %; EN 590; 42.8 MJ/kg)	R	194	g/kWh
73	No-load fuel consumption	R	35	kg/h
92	Lube oil consumption after 100 h of operation (B = fuel consumption per hour) Guideline value does not apply for the design of DPF systems. Please consult the Applications Center with regard to the layout of DPF systems.	R	0.3	% of B
62	Lube oil consumption after 100 h of operation, max. (B = fuel consumption per hour)	L	1.0	% of B

ANNEXE3: Consommation du groupe PC4 selon le constructeur

Conditions climatiques du site :

	Puissance au plateau moteur(kW)	Rendement alt(%)(à $\cos \phi 0,8$)	Puissance aux bornes alternateur (kW)
Puissance maximum continu (PMC)	13 240	97,1	12 855
Surcharge unihoraire	14 565	97,1	14 140
Puissance de service continu (PSC)	11 915	97,1	11 570
Puissance de service économique	11 915	97,1	11 570

La puissance continue nette est de 11 230kW.

Consommation pour un combustible > ou égale à 42 000kJ/kg

Charge moteur	Consommation ramenée à la puissance au moteur en g/kWh	Rend alt %	Consommation ramenée à la puissance brute aux bornes alt(g/kWh)
PSU(14 565 kW)	181,4	97,1	187
PMC(13240kW)	180	97,1	185,4
PSC(11915kW)	180	97,1	185,4
PES(11915kW)	180	97,1	185,4

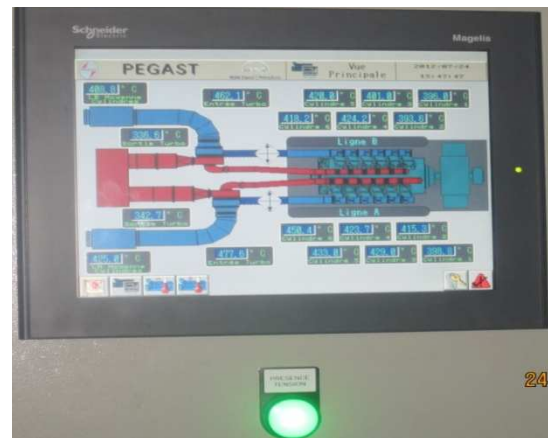
ANNEXE4 : Caractéristiques des groupes électrogènes de la centrale de Goudel

Groupe	Fabricant	Type	Vitesse(Tr/mn)	Année	Pn(MW)
12 PC4-2	SEMT PIELSTICK	12 PC4-2 v570	428	1984	12
MTU5	MTU Friedrichshafen	20V4000	1500	2009	2,2
MTU6	MTU Friedrichshafen	20V4000	1500	2009	2,2
MTU7	MTU Friedrichshafen	20V4000	1500	2009	2,2
MTU8	MTU Friedrichshafen	20V4000	1500	2009	2,2
MTU9	MTU Friedrichshafen	20V4000	1500	2009	2,2
MTU10	MTU Friedrichshafen	20V4000	1500	2009	2,2
MTU11	MTU Friedrichshafen	20V4000	1500	2009	2,2

ANNEXE 5 : Les cellules de commande du PC4



Les cellules de commande du PC4



Le moteur du PC4

ANNEXE 6 :Photos groupes MTU



Les cellules de commande MTU



Les échappements des MTU



Source : Souley Moumouni Soumaila & Rabiou Abdou Maman Yahouza stagiaire 2012

ANNEXE 7 : Fiche de maintenance des groupes MTU

Maintenance schedule matrix for application group 3A, 0 to 10500 operating hours																							
Item	Limit years	Operating hours																					
		daily	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500	8000	8500	9000	9500	10000	10500
Engine oil filter	2																						
Engine operation		x																					
Centrifugal oil filter	2		x	x	x	x	x	x	X	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Fuel filter	2			x		x		x		x		x		x		x		x		x		x	
Valve gear					x			x			X			x			x			x			x
Belt drive	2				x			x			X			x			x			x			x
Air filter	3							x						x						x			
Fuel injectors																	x						
Cylinder chambers	4																x						
Exhaust turbocharger	18																					x	
Component maintenance	18																					x	
Fuel delivery pump	18																					x	
Crankcase ventilation	18																					x	
Cylinder head	18																						
Extended component maintenance																							

ANNEXE 8: Fiche de maintenance des groupes MTU

Maintenance schedule matrix for application group 3A, 11000 to 21500																							
Item	Limit years	Operating hours																					
		11000	11500	12000	12500	13000	13500	14000	14500	15000	15500	16000	16500	17000	17500	18000	18500	19000	19500	20000	20500	21000	21500
Engine oil filter	2																						
Engine operation																							
Centrifugal oil filter	2	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Fuel filter	2	x		x		x		x		x		x		x		x		x		x		x	
Valve gear				x			x			x			x			x			x			x	
Belt drive	2			x			x			x			x			x						x	
Air filter	3			x						x						x						x	
Fuel injectors										x													
Cylinder chambers	4									x													
Exhaust turbocharger	18																			x			
Component maintenance	18																			x			
Fuel delivery pump	18																			x			
Crankcase ventilation	18																			x			
Cylinder head	18									x													
Extended component maintenance																							

ANNEXE 9: Fiche de maintenance des groupes MTU

Maintenance schedule matrix for application group 3A, 22000 to 30000																		
Item	Limit years	Operating hours																
		22000	22500	23000	23500	24000	24500	25000	25500	26000	26500	27000	27500	28000	28500	29000	29500	30000
Engine oil filter	2																	
Engine operation																		
Centrifugal oil filter	2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Fuel filter	2	x		x		x		x		x		x		x		x		x
Valve gear			x			x			x			x			x			x
Belt drive	2		x			x			x			x			x			x
Air filter	3					x						x						x
Fuel injectors			x															x
Cylinder chambers	4		x															x
Exhaust turbocharger	18																	x
Component maintenance	18																	x
Fuel delivery pump	18																	x
Crankcase ventilation	18																	x
Cylinder head	18									x								x
Extended component maintenance																		x

ANNEXE 10: Fiche de maintenance des groupes MTU

Maintenance schedule matrix for application group 3B, 0 to 10500 operating hours																							
Item	Limit years	Operating hours																					
		daily	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500	8000	8500	9000	9500	10000	10500
Engine oil filter	2																						
Engine operation		x																					
Centrifugal oil filter	2		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Fuel filter	2			x		x		x		x		x		x		x		x		x		x	
Valve gear				x		x		x		x		x		x		x		x		x		x	
Belt drive	2				x			x			x			x			x			x			x
Air filter	3							x						x						x			
Fuel injectors														x									
Cylinder chambers	4													x									
Exhaust turbocharger	18																			x			
Component maintenance	18																			x			
Fuel delivery pump	18																			x			
Crankcase ventilation	18																			x			
Cylinder head	18																					x	
Extended component maintenance																							

ANNEXE 11 : Fiche de maintenance des groupes MTU

Maintenance schedule matrix for application group 3B, 11000 to 18000																
Item	Limit years	Operating hours														
		11000	11500	12000	12500	13000	13500	14000	14500	15000	15500	16000	16500	17000	17500	18000
Engine oil filter	2															
Engine operation																
Centrifugal oil filter	2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Fuel filter	2	x		x		x		x		x		x		x		x
Valve gear		x		x		x		x		x		x		x		x
Belt drive	2			x			x			x			x			x
Air filter	3			x						x						x
Fuel injectors				x												x
Cylinder chambers	4			x												x
Exhaust turbocharger	18															x
Component maintenance	18															x
Fuel delivery pump	18															x
Crankcase ventilation	18															x
Cylinder head	18															
Extended component maintenance																x

ANNEXE 12 : Fiche de maintenance groupes MTU

Maintenance schedule matrix for application group 3C, 0 to 9000 operating hours																				
Item	Limit years	Operating hours																		
		daily	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500	8000	8500	9000
Engine oil filter	2																			
Engine operation		x																		
Centrifugal oil filter	2		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Fuel filter	2			x		x		x		x		x		x		x		x		x
Valve gear				x		x		x		x		x		x		x		x		x
Belt drive	2			x		x		x		x		x		x		x		x		x
Air filter	3							x						x						x
Fuel injectors														x						
Cylinder chambers	4													x						
Exhaust turbocharger	18																			x
Component maintenance	18																			x
Fuel delivery pump	18																			x
Crankcase ventilation	18																			x
Cylinder head	18																			x
Extended component maintenance																				x

ANNEXE 13:Fiche de maintenance groupes MTU

Maintenance schedule matrix for application group 3D, 0 to 6000 operating hours														
Item	Limit years	Operating hours												
		daily	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000
Engine oil filter	2													
Engine operation		x												
Centrifugal oil filter	2		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Fuel filter	2			x		x		x		x		x		x
Valve gear				x		x		x		x		x		x
Belt drive	2			x		x		x		x		x		x
Air filter	3							x						x
Fuel injectors														x
Cylinder chambers	4													x
Exhaust turbocharger	18													x
Component maintenance	18													x
Fuel delivery pump	18													x
Crankcase ventilation	18													x
Cylinder head	18													x
Extended component maintenance														x

ANNEXE 14: Maintenance tasks high and low power

Quadrant column level	Interval (h)	Shift	Item	Maintenance tasks	Task
Q1.1	—	1 m	Engine operation	Test run at rest below 1/3 load and at least until steady-state temperature is reached (monthly)	W0534
Q1.1	—	2 a	Engine oil filter	Fit new engine oil filter each time the engine oil is changed or, at the latest, on expiry of the time limit (given in years)	W1008
Q1.1	Daily	—	Engine operation	Check engine oil level	W0500
				Carry out visual inspection of engine for general condition and leaks	W0501
				Inspect intercooler drain system	X W0502
				Inspect service indicator of air filter	W0503
				Check relief boxes of coolant pump(s)	W0505
				Check for abnormal running noises, exhaust gas color and vibration	W0506
				Drain off water and contamination from fuel prefilter	X W0507
				Check differential pressure gauge of fuel prefilter	X W0508
Q1.1	500	6 m	Oil indicator filter	Check and clean oil indicator filter	X W1714
Q1.1	500	2 a	Centrifugal oil filter	Check thickness of oil modulus layer. Clean. Fit new discs, at the latest, each time the engine oil is changed	X W1009
Q1.1	1000	2 a	Fuel filter	Fit new fuel filter or new fuel filter insert	W1001
Q1.1	1000	2 a	Engine mounts	Carry out visual inspection of engine mounts for general condition	W1463
Q1.1	1500	2 a	Belts drive	Inspect condition of drive belts and fit new ones if necessary. Adjust tension	W1241
Q1.1	3000	2 a	Valve gear	Check valve clearance, adjust if required. ATTENTION First adjustment after 1,000 hours	W1207
Q1.1	3000	3 a	Air filters	Fit new air filters	W1005
Q1.1	5000	9 a	Fuel injectors	Replace fuel injectors	W1006
Q1.1	5000	9 a	Engine governor	Injector reset drift compensation parameters (CDC)	W1713
Q1.1	5000	4 a	Combustion chambers	Inspect cylinder chambers using endoscope	W1011
Q1.1	5000	2 a	Crankcase breathers	Crankcase breathers. Fit new filters or filter inserts	W1046
Q1.3	5000	6 a	Rubber sleeves	Replace all rubber sleeves	W1250
Q1.3	10000	6 a	Hose lines	Replace all hose lines	W1251
Q1.3	10000	10 a	Turbochargers	Overhaul turbocharger (MTU-20 turbocharger) if Garrett turbocharger, fit new	W1388
Q1.3	10000	9 a	Component maintenance	Before starting maintenance work, drain the coolant and flush the cooling systems	W2000
				Inspect rocker arms and valve bridge for wear. Insert an endoscope through the pushrod bore to visually inspect swing followers and camshaft running surfaces	W2001
				Clean air ducting	W2002
				Clean intercooler and inspect for leakage	W2003
				Fit new high-pressure fuel sensors	W2004
				Check engine coolant thermostat and fit new thermal actuator	W2006
				Check charge-air coolant thermostat and fit new thermal actuator	W2007
				Overhaul engine coolant preheating system	X W2008
				Inspect centrifugal oil filter for wear	X W2009
				Overhaul starter	W2010
				Fit new seals/sealing materials for all disassembled components	W2062
				Overhaul charge-air coolant pump	W2070
				Overhaul engine coolant pump	W2110
Q1.3	10000	1 a	Engine mounts	Check buffer clearance of engine mounts. Check proper seating of securing screws	W1026

m = months
a = months
y = years

Quadrant column level	Interval (h)	Shift	Item	Maintenance tasks	Task
Q1.1	—	1 m	Engine operation	Test run at rest below 1/3 load and at least until steady-state temperature is reached (monthly)	W0534
Q1.1	—	2 a	Engine oil filter	Fit new engine oil filter each time the engine oil is changed or, at the latest, on expiry of the time limit (given in years)	W1008
Q1.1	Daily	—	Engine operation	Check engine oil level	W0500
				Carry out visual inspection of engine for general condition and leaks	W0501
				Inspect intercooler drain system	X W0502
				Inspect service indicator of air filter	W0503
				Check relief boxes of coolant pump(s)	W0505
				Check for abnormal running noises, exhaust gas color and vibration	W0506
				Drain off water and contamination from fuel prefilter	X W0507
				Check differential pressure gauge of fuel prefilter	X W0508
Q1.1	500	6 m	Oil indicator filter	Check and clean oil indicator filter	X W1714
Q1.1	500	2 a	Centrifugal oil filter	Check thickness of oil modulus layer. Clean. Fit new discs, at the latest, each time the engine oil is changed	X W1009
Q1.1	1000	2 a	Fuel filter	Fit new fuel filter or new fuel filter insert	W1001
Q1.1	1000	2 a	Engine mounts	Carry out visual inspection of engine mounts for general condition	W1463
Q1.1	1500	2 a	Belts drive	Inspect condition of drive belts and fit new ones if necessary. Adjust tension	W1241
Q1.1	3000	2 a	Valve gear	Check valve clearance, adjust if required. ATTENTION First adjustment after 1,000 hours	W1207
Q1.1	3000	3 a	Air filters	Fit new air filters	W1005
Q1.1	5000	9 a	Fuel injectors	Replace fuel injectors	W1006
Q1.1	5000	9 a	Engine governor	Injector reset drift compensation parameters (CDC)	W1713
Q1.1	5000	4 a	Combustion chambers	Inspect cylinder chambers using endoscope	W1011
Q1.1	5000	2 a	Crankcase breathers	Crankcase breathers. Fit new filters or filter inserts	W1046
Q1.3	7500	6 a	Rubber sleeves	Replace all rubber sleeves	W1250
Q1.3	10000	6 a	Hose lines	Replace all hose lines	W1251
Q1.3	10000	10 a	Turbochargers	Overhaul turbocharger (MTU-20 turbocharger) if Garrett turbocharger, fit new	W1388
Q1.3	15000	9 a	Component maintenance	Before starting maintenance work, drain the coolant and flush the cooling systems	W2000
				Inspect rocker arms and valve bridge for wear. Insert an endoscope through the pushrod bore to visually inspect swing followers and camshaft running surfaces	W2001
				Clean air ducting	W2002
				Clean intercooler and inspect for leakage	W2003
				Fit new high-pressure fuel sensors	W2004
				Check engine coolant thermostat and fit new thermal actuator	W2006
				Check charge-air coolant thermostat and fit new thermal actuator	W2007
				Overhaul engine coolant preheating system	X W2008
				Inspect centrifugal oil filter for wear	X W2009
				Overhaul starter	W2010
				Fit new seals/sealing materials for all disassembled components	W2062
				Overhaul charge-air coolant pump	W2070
				Overhaul engine coolant pump	W2110
Q1.3	15000	1 a	Engine mounts	Check buffer clearance of engine mounts. Check proper seating of securing screws	W1026

m = months
a = months
y = years