

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي - برج بوعريريج

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la Technologie Département Electromécanique

Mémoire Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER

En : Electromécanique

Spécialité : Electromécanique

Par:

- Boutaghane Tayeb
- Derardja Abd El mounaim
- Layadi Ayoub Imad Eddine

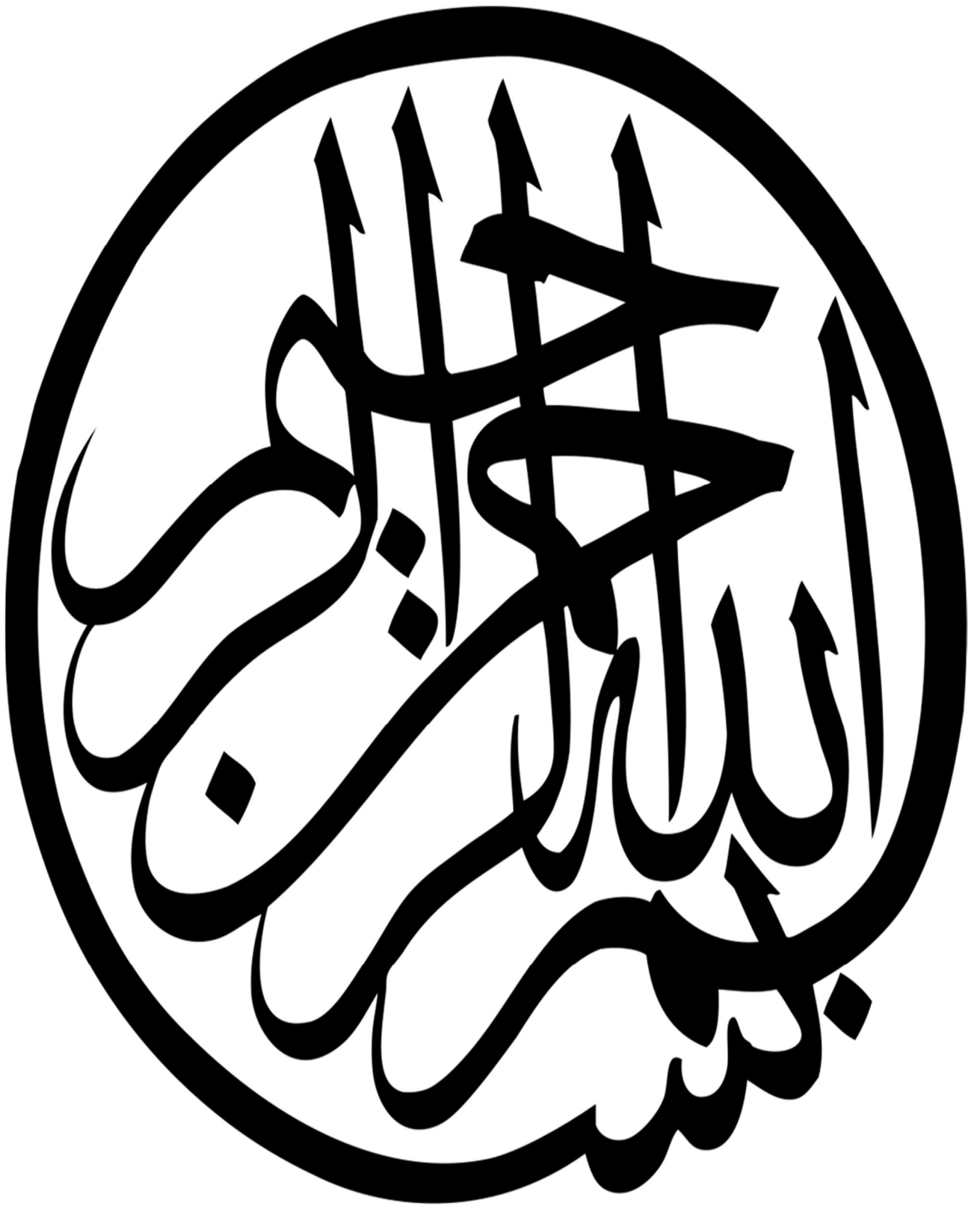
Sujet

**Réalisation d'un groupe électrogène
alimenté par le gaz de ville**

Soutenu publiquement, le 03/ 07/ 2025. Devant le jury composé de :

Mabrek Abdelhakim	MCB	Univ-BBA	Président
Zaidi elyazid	MCB	Univ-BBA	Examinateur
Bennia abderazak	MCA	Univ-BBA	Encadrant 1
Reffas abderrahim	MCA	Univ-BBA	Encadrant 2
Mehdid fatima	Pr	Univ-BBA	Représentante de l'incubateur

Année Universitaire 2024/2025



Remerciements

Nous remercions tout d'abord "ALLAH" le tout puissant, pour la santé, la volonté, pour clémence qu'il nous a donné durant toutes ces longues années et pour nous avoir donné la force d'accomplir ce travail.

Nos remerciements vont à nos promoteurs : Monsieur BENNIA ABDERREZAK, Et Monsieur Reffas Abderrahim Merci pour votre accompagnement tout au long de la conception de notre mémoire. Votre expertise, votre disponibilité et votre soutien inestimable ont été essentiels dans la réalisation de notre projet.

Nous remercions nos familles : nos parents, nos frères et nos amis pour leur amour, leur irremplaçable et inconditionnel soutien.

Nous adressons également nos sincères remerciements à tout le personnel de l'incubateur, aux administrateurs et aux professeurs, en particulier à DEHIMAT SAMIRA.

Nous voudrions aussi remercier tous les enseignants du département Électromécanique de la Faculté des sciences et technologie / Université de Bordj Bou Arreridj.

Dédicace

Je dédie ce travail à la lumière de mes jours, mes très chers parents, À mes sœurs, surtout ma petite sœur Bessmala,

À mes oncles et mes tantes,

À toute la famille BOUTAGHANE,

À toute la promotion 2025 d'Électromécanique, et mes chers amis.

BOUTAGHANE TAYEB

Dédicace

Je dédie ce travail A :

Ceux qui ont fait de moi la personne que je suis aujourd'hui:

Mes très chers parents, qui m'ont éclairé mon chemin et qui

M'ont encouragé et soutenue tout au long de mes études.

A toutes mes frères et sœurs

A toutes mes amis

A tous mes camarades avec qui j'ai passé des moments inoubliables.

A tous les bénévoles de croissants rouge algérienne BBA.

A tous ceux que je porte dans mon cœur.

LAYADI AYOUN IMAD EDDINE

Dédicace

Je dédie ce travail à mes parents, en signe de reconnaissance pour leur soutien constant et leurs efforts considérables, tant sur le plan matériel que moral, tout au long de mon parcours universitaire.

Leur engagement à me fournir un environnement favorable à l'apprentissage a grandement contribué à l'aboutissement de ce projet.

J'adresse également cette dédicace à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire, notamment les enseignants, encadrants et toute personne m'ayant orienté ou aidé d'une manière ou d'une autre.

Je leur exprime ma sincère gratitude.

DERARDJA ABD EL MOUNAIM

ملخص

في هذا العمل، درسنا تجريبياً ونظرياً كيفية تطوير مولد كهربائي يعمل بغاز المدينة. كان الهدف من هذه الدراسة تسليط الضوء على استخدام غاز المدينة في توليد الكهرباء، وبالتالي توفير مصدر جديد للطاقة المستقرة أثناء انقطاع التيار الكهربائي. بعد التشغيل الأولي بالبنزين، تم إجراء تعديلات ميكانيكية على المولد الكهربائي لتمكينه من العمل بغاز المدينة. تمكنا بعد ذلك من إجراء تجارب مختلفة على المولد الكهربائي فيما يتعلق بالحمل وكفاءة التشغيل، باستخدام أنواع مختلفة من الوقود .

أبرزت نتائج التجارب التي تم إجراؤها في هذا العمل الأداء الجيد لاستخدام الغاز الطبيعي كطاقة محرك رئيسي للمولد، من الناحية البيئية ومن ناحية الطاقة، وقبل كل شيء، من الناحية الاقتصادية.

Abstract

The present study validates, both experimentally and theoretically, the conversion of a gasoline generator set to natural gas. Subsequent to mechanical adaptation, the efficacy of the solution as a backup option is demonstrated by the results of tests conducted under variable load conditions. These tests indicate that the solution exhibits stable output, reduced cost and lower emissions. This alternative offers a resilient and sustainable power supply in the event of grid failures.

Résumé

Cette étude valide expérimentalement et théoriquement la conversion d'un groupe électrogène essence au gaz naturel. Après adaptation mécanique, des tests sous charge variable démontrent sa performance comme solution de secours : rendement stable, coût réduit et émissions diminuées. Cette alternative offre une alimentation électrique résiliente et durable lors de pannes réseau.

Table des matières

Remerciements	I
Dédicace	II
Dédicace	III
Dédicace	IV
Résumé.....	V
Table des matières.....	VI
Liste des figures.....	VIII
Liste des tableaux.....	X
Symboles:.....	XI
I. Introduction Générale.....	1
Chapitre 1 : Notions de base sur les groupes électrogènes	
I.1 Introduction:.....	3
I.2 Histoire:.....	3
I.3 Groupe électrogène :.....	4
I.4 Types et caractéristiques de groupe électrogène :.....	4
I.4.1 Générateur Courant Alternatif :.....	4
I.4.2 Générateur Courant Direct :.....	5
I.4.3 Générateur Asynchrone :.....	6
I.4.4 Générateurs synchrones :.....	7
I.5 Groupes électrogène diesel :.....	7
I.5.1 groupes électrogènes à essence :.....	8
I.6 Conclusion:.....	9
Chapitre II : Partie mécanique et la partie électrique du groupe	
II.1 Introduction:.....	11
II.2 Structure de groupe électrogène :.....	Erreur ! Signet non défini.
II.3 Partie mécanique.....	12
II.3.1 Moteur thermique :.....	12
II.3.1.1 Moteur thermique à 2 temps :.....	12
II.4 Système de démarrage :.....	13
II.4.1 Démarrage électrique :.....	13
II.4.2 Démarrage manuel :.....	14
II.4.2.1 Phase de maintien :.....	14

II.4.2.2 Phase d'appel :	15
II.4.2.3 Phase d'arrêt:	15
II.4.3 Démarrage automatique :	15
II.5 Circuit de lubrification :	15
II.6 Circuit d'alimentation en combustible :	16
II.7 Partie électrique :	17
II.7.1 Stator :	17
II.7.2 Rotor :	18
II.7.2.1 Rotor à pôles saillants :	18
II.7.2.2 Rotor à pôles lisses	19
II.7.2.3 Rotor à aimant permanent :	19
II.8 Partie commande :	19
II.9 Conclusion:	21

Chapitre III : Étude et analyse des performances d'un groupe électrogène alimenté par différents combustibles.

III.1 Introduction	24
III.2 Dispositif expérimental	24
III.3 Schéma électrique de démarrage automatique d'un moteur	Erreur ! Signet non défini.
III.4 Résultats et discussion.....	26
III.4.1 Temps de fonctionnement par litre à vide et en charge :	26
III.4.2 Temps de fonctionnement à vide pour un coût correspondant à 100 DA :	27
III.4.3 Temps de fonctionnement en charge pour un coût correspondant à 100 DA :	28
III.4.4 Energie électrique maximale produite par 100 DA :	29
III.4.5 Comparaison entre le coût de l'énergie produite par le groupe électrogène et celui fourni par Sonelgaz :	30
III.5 Conclusion:	33
Conclusion général:	35
Références bibliographiques :	37

Liste des figures

Figure 1: Michael Faraday	3
Figure I.2 :Constitution d'un groupe électrogène	4
Figure I.3 :Conception du générateur AC	5
Figure I.4 : Composants du générateur DC	6
Figure I.5 : Le générateur asynchrone	7
Figure I.6 :Le générateur synchrone.....	7
Figure I.7 :Groupes électrogène diesel	8
Figure I.8 :Groupes électrogène à essence.....	8
Figure II. 1:Structure de groupe électrogène.....	11
Figure II. 2: Moteur thermique à 2 temps.	12
Figure II. 3: Démarreur du moteur thermique Lanceur groupe électrogène	13
Figure II. 4: Lanceur groupe électrogène	14
Figure II. 5: Schéma de la phase de maintien	14
Figure II. 6: Schéma de la phase d'appel.	15
Figure II. 7: Circuit de lubrification.....	16
Figure II. 8: Stator d'un alternateur triphasé.....	18
Figure II.9: Rotor à pôles saillant.....	18
Figure II.10: Rotor à pôles lisses.....	19
Figure II.11: Rotor à aimant permanent.	19
Figure II. 12: Schéma de principe d'un alimentation secours.....	20
Figure III. 1 : Carburateur	25
Figure III. 2 : Schéma électrique de démarrage automatique d un moteur dans le programme cade simu	26
Figure III. 3 : Temps de fonctionnement à vide pour un coût correspondant à 100 DA	27
Figure III.4: Temps de fonctionnement en charge (2300 W) pour un coût correspondant à 100 DA	28
Figure III. 5 : Temps de fonctionnement en charge (1200 W) pour un coût correspondant à 100	

DA	29
Figure III. 6 : Energie électrique maximale produite par 100 DA.	29
Figure III. 7 : Coût de la production maximale d'énergie pour 100 DA en le comparant avec le prix proposé par Sonelgaz en première tranche	30
Figure III. 8 : Coût de la production maximale d'énergie pour 100 DA en le comparant.....	31
Figure III. 9 : Coût de la production maximale d'énergie pour 100 DA en le comparant avec le prix proposé par Sonelgaz en troisième tranche	31
Figure III. 10 : Coût de la production maximale d'énergie pour 100 DA en le comparant avec le prix proposé par Sonelgaz en quatrième tranche	32
Figure III. 11 : Le nombre d'émissions de CO2 émises.....	33

Liste des tableaux

Tableau III.1 : Caractéristiques du groupe électrogène utilisé	29
--	----

Symboles:

Symboles	Désignation
AC	Courant Alternatif
DC	courant Direct
ch.	Cheval
VA	Volts-ampères
kVA	Kilovolts
MVA	Mega voltampère
Yield	Retour sur investissement
LOT	Internet des objets
IA	Intelligence artificielle

Introduction

Générale

I. Introduction Générale

Les groupes électrogènes occupent une place essentielle dans de nombreux secteurs où la continuité de l'alimentation électrique est critique. Que ce soit dans les hôpitaux, les centres de données, les industries ou les zones rurales mal desservies par les réseaux électriques, leur rôle est indéniable. Cependant, leur dépendance traditionnelle au diesel soulève des défis majeurs, tant sur le plan environnemental – avec des émissions importantes de particules fines et d'oxydes d'azote (NOx) – qu'économique, en raison de la volatilité des prix des carburants fossiles et des coûts d'exploitation élevés [1].

Face à ces enjeux, l'intégration de carburants alternatifs, tels que le gaz naturel, se présente comme une solution prometteuse. Ce combustible offre en effet des avantages notables : une combustion plus propre, des émissions réduites et, dans de nombreuses régions, une stabilité d'approvisionnement et un coût plus compétitif que le diesel ou essence. Néanmoins, cette transition nécessite une analyse approfondie des implications techniques, économiques et environnementales pour en évaluer la faisabilité et l'efficacité réelles [1].

C'est dans ce contexte que s'inscrit l'étude dont il est question, laquelle a pour objectif de comparer l'efficacité énergétique et la rentabilité économique de différents combustibles utilisés dans les groupes électrogènes. L'organisation du travail se structure en trois chapitres. Une première partie est consacrée à l'étude théorique du fonctionnement des générateurs. Une seconde partie est dédiée à l'examen détaillé de leurs composants mécaniques et électriques. Dans le cadre de cette étude, une analyse sera conduite afin d'évaluer les performances opérationnelles de ces systèmes lorsqu'ils sont exploités dans différentes configurations [1].

Chapitre ٧ :
Notions de base sur
les groupes
électrogènes

I.1 Introduction

Les groupes électrogènes constituent une source primaire d'énergie électrique, qu'elle soit alternative ou continue. Fondés sur la conversion d'énergie mécanique en électricité, ils alimentent aujourd'hui majoritairement les réseaux en courant alternatif. Leur entraînement s'effectue principalement par turbines à gaz ou moteurs à combustion interne utilisant des dérivés pétroliers (diesel, essence), permettant une production directe sans recours à la vaporisation [2]. Ce chapitre présente les principes fondamentaux régissant le fonctionnement de ces systèmes énergétiques [2].

I. 2 Histoire

L'émergence du concept de générateur électrique s'inscrit dans la longue histoire de l'humanité. Au XIXe siècle, l'observation de ce phénomène par des scientifiques tels que le britannique Michael Faraday a permis de mettre en évidence le fait que le mouvement d'un support métallique sous l'effet d'un champ magnétique produit de l'électricité dans ce conducteur. Hippolyte Pixii [3], un scientifique et inventeur français, fut le premier à mettre en œuvre cette notion lors de la conception, en 1832, du premier générateur électromagnétique rotatif à courant continu. Le dispositif de génération est constitué d'un aimant permanent à repliement qui tourne manuellement. Il est associé à une bobine installée sur des électrodes fixes en fer doux magnétique. La partie terminale de la bobine est reliée à un collecteur circulaire en cuivre. Lorsqu'un mouvement de rotation est appliqué manuellement à l'aimant, le générateur est alors diffusé. Il a été constaté un phénomène d'ionisation dans l'accumulateur, induit par la présence d'un ensemble d'étincelles électriques. En 1850, Frederick Hale Holmes collabore avec Frederick Hill pour concevoir le premier générateur à courant continu de 2,5 chevaux, destiné à l'éclairage domestique. Les premiers générateurs étaient conçus par Holmes et fonctionnaient grâce à des machines à vapeur. Ils pouvaient atteindre une vitesse maximale de 60 tours par minute et une puissance allant jusqu'à trois chevaux. La création du générateur électrique, dont l'invention a été prouvée par le scientifique William Siemens en 1867, a permis l'utilisation de l'électroaimant. Il convient de noter que l'utilisation d'un aimant permanent pour la conversion de l'énergie cinétique en électricité n'est pas une nécessité absolue. Dans le cadre de l'évolution des générateurs électriques, un tournant significatif a été marqué par la création de l'alternateur, fruit du travail d'un groupe de chercheurs de renom. Parmi ces derniers, figure le scientifique Clerk Maxwell, qui a établi la théorie du champ électromagnétique variable [3].

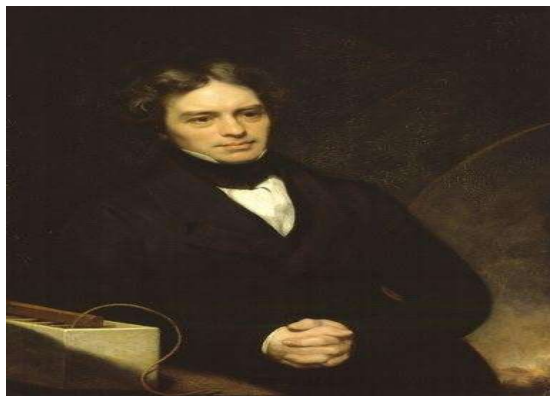


Figure 1 : Michael Faraday[24].

I.3 Groupe électrogène

Un générateur est un appareil autonome apte à produire de l'électricité. La majorité des groupes sont composés d'un moteur à combustion qui entraîne une génératrice. Les spécimens étudiés peuvent afficher des poids s'échelonnant de quelques kilos à plusieurs dizaines de tonnes, et des tailles variant de manière considérable. Le groupe électrogène est un dispositif qui permet d'obtenir des puissances considérables et de garantir des temps de fonctionnement prolongés. Outre sa fonction de substitut, le groupe électrogène présente des applications diversifiées dans de multiples domaines. Dans le contexte de la génération d'électricité, un générateur électrique remplit une fonction déterminante. Il s'agit d'un dispositif qui convertit l'énergie chimique en énergie mécanique, ce processus étant rendu possible par l'intermédiaire d'un moteur thermique. La puissance mécanique produite par le moteur est convertie en énergie électrique grâce à un générateur [4].

Le schéma descriptif d'un groupe électrogène est présenté sur la figure I.2.



Figure I.2. Constitution d'un groupe électrogène[25].

I.4 Types et caractéristiques de groupe électrogène

Les groupes électrogènes constituent une solution énergétique cruciale, assurant une alimentation électrique fiable dans divers contextes - des situations d'urgence aux applications industrielles et commerciales. Leur capacité à maintenir la continuité opérationnelle des services essentiels en fait des dispositifs indispensables[5].

Das ce qui suit, on propose une analyse systématique des classifications et typologies de groupes électrogènes disponibles sur le marché, en examinant leurs caractéristiques techniques distinctives et domaines d'application privilégiés [5].

I.4.1 Générateur Courant Alternatif

Le générateur de courant alternatif, ou alternateur, est un appareil qui convertit de l'énergie mécanique en énergie électrique. Il utilise le phénomène de l'induction électromagnétique. Un rotor, constitué d'une bobine de fils conducteurs entourés autour d'un noyau de fer doux, tourne dans le champ magnétique d'un stator, aimant permanent ou électroaimant. Le mouvement de la bobine dans le champ magnétique induit un courant. Celui-ci change de sens à chaque demi-tour du rotor [6].

Il est constitué des sections suivantes :

- Champ : formé de bobines conductrices qui captent la tension de la source et génèrent un champ magnétique. Par la suite, le flux magnétique dans le champ stoppe l'induit, générant ainsi une tension qui correspond à la tension du générateur de courant alternatif.
- Moteur : C'est l'élément qui génère la tension. Elle est composée de bobines de fil assez grandes pour acheminer le courant à la charge maximale du générateur.
- Élément moteur : composant employé pour entraîner un alternateur. Cela peut être un moteur à diesel, une turbine à vapeur ou un moteur.
- Rotor : Le composant tournant du générateur est désigné comme le moteur principal de ce dernier.
- Stator : Son noyau est constitué d'acier allié ou de fer magnétique afin de minimiser les pertes dues aux courants de Foucault.
- Bagues collectrices : Ce sont des liaisons électriques employées pour acheminer l'énergie de manière bidirectionnelle du rotor d'un alternateur, élaborées pour diriger le flot de courant d'un dispositif statique vers un dispositif tournant [7].

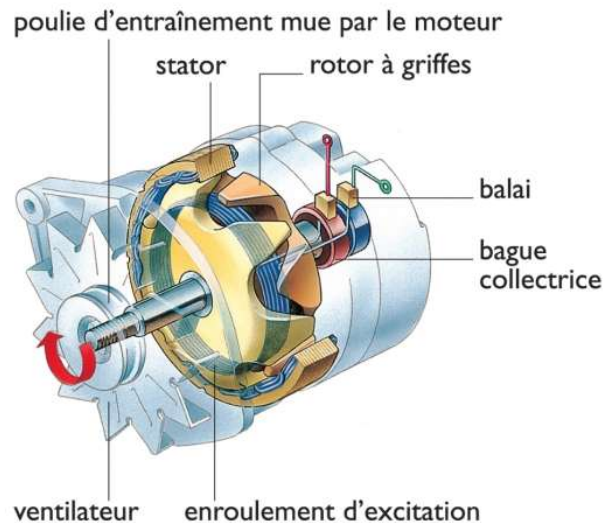


Figure I.3 : Composants du générateur AC [26].

Les générateurs à courant alternatif (AC) se caractérisent par leur capacité à produire des quantités importantes d'énergie électrique, répondant ainsi aux besoins des infrastructures de grande envergure. Le courant alternatif constitue la forme d'électricité prédominante dans les réseaux électriques à travers le monde, en raison de sa facilité de transport sur de longues distances et de son adaptabilité à différents niveaux de tension [7].

I.4.2 Générateur Courant Direct

Un générateur de courant continu est un dispositif qui transforme l'énergie mécanique en énergie électrique. Une bobine effectue une rotation dans le champ magnétique produit par un aimant. Chaque fois qu'elle effectue un demi-tour, le courant dans la bobine inverse sa direction de circulation. Un collecteur assure l'orientation constante du courant dans le circuit [6].

Les composants d'un générateur courant direct sont les suivants :

- Stator : Le stator, constitué de deux aimants aux pôles contraires qui se rencontrent pour s'ajuster à la zone du rotor, fournit les champs magnétiques dans lesquels la bobine effectue sa rotation.
- Rotor : Ce dernier est constitué de bandes de fer fendue superposées pour former le noyau cylindrique du moteur, ce qui contribue à réduire les pertes dues aux courants de Foucault.
- Bobinage de l'induit : Ceux-ci sont composés d'un circuit fermé et sont connectés en série et en parallèle pour amplifier le courant total produit.
- Pôles : Ces enroulements sont disposés sur des pôles reliés en série ou en parallèle à travers les enroulements de l'induit. - Patin polaire : Il est utilisé pour diffuser le flux magnétique afin d'éviter la défaillance de la bobine de champ.
- Onduleur : L'onduleur agit comme un redresseur transformant la tension alternative en tension continue au sein de la bobine d'induit. Sa conception comprend une composante en cuivre, et chaque élément de cuivre est isolé par des feuilles de mica. Il se trouve sur l'axe de l'appareil.
- Balais : Ils assurent les connexions électriques entre le collecteur et le circuit de charge externe.

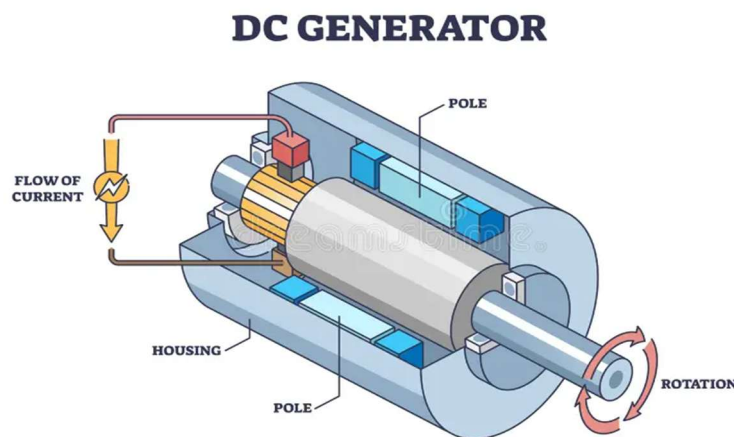


Figure I.4: Conception du générateur DC [27].

Les générateurs à courant continu se distinguent par une architecture technique relativement simple, ce qui facilite leur conception, leur maintenance et leur intégration dans divers systèmes électrotechniques. Leur aptitude à fournir un courant stable et régulier constitue un avantage fondamental dans les contextes nécessitant une alimentation continue sans fluctuations. Par ailleurs, leur rendement élevé ainsi que leur coût réduit contribuent à leur large adoption dans des secteurs variés, tels que l'électronique, l'automatisation industrielle, et les systèmes d'énergie renouvelable [8].

I.4.3 Générateur Asynchrone

Le générateur asynchrone, aussi appelé générateur d'induction, est une catégorie de générateur électrique capable de fonctionner lorsque sa vitesse diffère de la vitesse synchrone. Il produit aussi de l'électricité sous forme alternative. Voici quelques illustrations de générateur asynchrone [9].

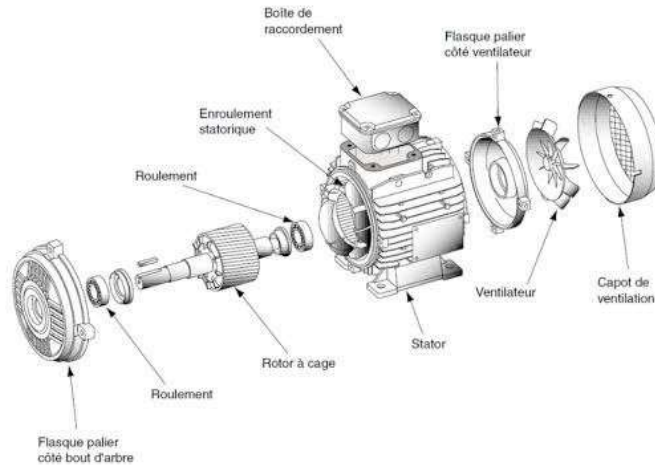


Figure I.5: Le générateur asynchrone [28].

I.4.4 Générateur synchrone

Le générateur synchrone ou alternateur est un dispositif électrique conçu pour produire de l'électricité à partir de sources d'énergie mécanique. Il génère du courant alternatif et est souvent présent dans les systèmes électriques. Voici quelques illustrations de générateurs synchrones [9] :

- Générateur à turbine à vapeur
- Générateur hydroélectrique
- Générateur à turbine à gaz

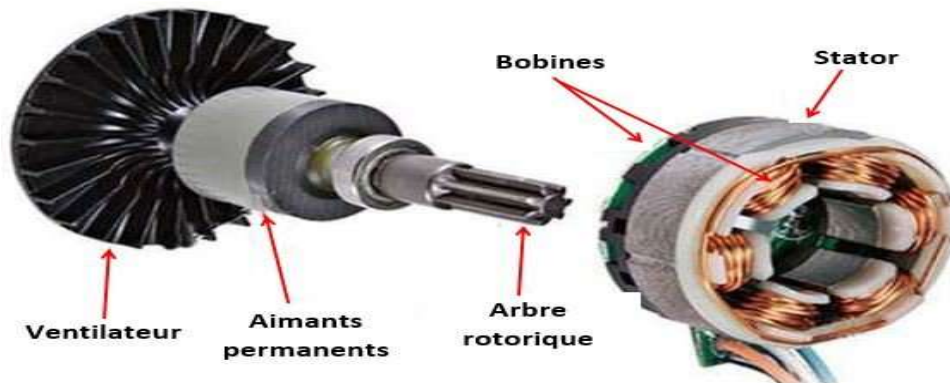


Figure I.6 : Le générateur synchrone [29].

I.5 Groupes électrogène diesel

Les groupes électrochimiques diesel sont plus efficaces et plus durables que les groupes électrochimiques purs. Ils offrent une puissance, une énergie et une autonomie maximales, mais nécessitent fréquemment des opérations de maintenance de routine importantes [10].



Figure I.7 Groupes électrogène diesel [30].

Les groupes électrogènes diesel sont particulièrement prisés pour les applications industrielles, les grands événements ou les situations d'urgence, en raison de leur robustesse, de leur fiabilité et de leur capacité à fournir une puissance élevée sur de longues durées [10].

I.5.1 groupe électrogène à essence

Les générateurs à essence coûtent moins cher que les générateurs diesel et à gaz, cependant, ils exigent un entretien plus rigoureux. Les moteurs gagnent en vitesse, cependant leur stockage est plus ardu en raison des risques d'explosion, ce qui les rend moins propices à des utilisations industrielles d'envergure. Les groupes électrogènes à essence sont généralement moins chers que leurs homologues au diesel et au gaz [9].



Figure I.8 Groupes électrogène à essence [31].

I.6 Conclusion

Les groupes électrogènes sont des dispositifs autonomes conçus pour produire de l'électricité en l'absence du réseau principal ou en cas de coupure. Ils sont constitués principalement d'un moteur thermique, qui transforme l'énergie chimique d'un carburant (diesel, essence, gaz) en énergie mécanique, et d'un alternateur qui convertit cette énergie mécanique en électricité. Le fonctionnement du groupe repose sur le principe de l'induction électromagnétique. On distingue plusieurs types de groupes selon la puissance, le type de carburant utilisé, ou encore leur usage (domestique, industriel, d'urgence). Ils peuvent fonctionner en monophasé ou triphasé, et être mobiles ou fixes. Leur choix dépend de plusieurs critères, notamment la puissance requise, la durée de fonctionnement, le rendement énergétique, et les contraintes environnementales. Ces dispositifs sont largement utilisés dans les hôpitaux, les sites industriels, les chantiers, ainsi que dans les zones isolées non desservies par le réseau électrique.

**Chapitre II : Partie
mécanique et la partie
électrique du groupe**

II. 1 Introduction

Un groupe électrogène, solution essentielle pour l'alimentation de secours ou les sites isolés, tire son efficacité de la synergie entre sa partie mécanique et sa partie électrique [11]. Le moteur thermique, cœur mécanique du système, transforme l'énergie chimique du carburant (diesel, essence ou gaz) en énergie mécanique via des processus d'admission, de combustion et d'échappement, entraînant la rotation d'un arbre moteur [11]. Cette énergie cinétique est ensuite convertie en électricité par l'alternateur, composant électrique clé où le rotor, le stator et les systèmes d'excitation génèrent un courant stable, monophasé ou triphasé. L'interdépendance de ces deux sous-ensembles est cruciale : la performance du moteur conditionne directement la qualité du courant produit, tandis que leur maintenance conjointe garantit la durabilité et l'efficacité énergétique de l'ensemble. Comprendre cette complémentarité est fondamental pour optimiser l'utilisation, le dépannage et la longévité des groupes électrogènes, qu'ils soient déployés en milieu industriel, sur chantier ou en usage domestique [11].

II. 2 Structure de groupe électrogène

Un groupe électrogène est un appareil qui transforme l'énergie mécanique en énergie électrique grâce à une procédure appelée conversion d'énergie. Voici un aperçu du processus de transformation d'énergie par le générateur électrique.

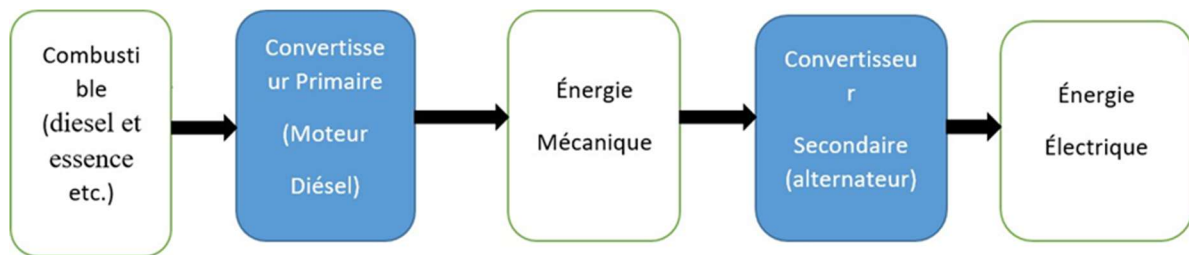


Figure II. 1: Structure de groupe électrogène .

Il se définit comme un système autonome permettant de générer de l'énergie électrique à partir de l'énergie mécanique, généralement fournie par un moteur à combustion interne, le plus souvent un moteur diesel. Ce dispositif est couramment utilisé dans les situations où l'alimentation électrique du réseau public est absente ou instable, ou encore lorsque des besoins spécifiques en alimentation de secours sont requis.

Le groupe électrogène se compose principalement de trois sous-systèmes essentiels :

- La partie mécanique : elle comprend le moteur thermique, dont le rôle est de produire l'énergie mécanique nécessaire au fonctionnement de l'alternateur.
- La partie électrique : elle est constituée essentiellement de l'alternateur, qui assure la conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique.
- Le système de commande : il regroupe l'ensemble des dispositifs électroniques et automatiques assurant la gestion, le contrôle et la protection du groupe électrogène (démarrage/arrêt automatique, régulation de la tension, surveillance des paramètres de fonctionnement, alarmes, etc.) [12].

II. 3 Partie mécanique

II. 3.1 Moteur thermique

Les moteurs thermiques ont pour fonction de transformer l'énergie thermique en énergie mécanique. Ils sont communément appelés moteurs à combustion et se divisent généralement en deux types :

- Les moteurs à combustion interne qui exigent un renouvellement du système à chaque cycle. Dans ce cas, la chaleur provient d'une seule source, l'atmosphère. Les moteurs à combustion externe, dans lesquels le système (l'air) est réutilisé sans être renouvelé. Ce fonctionnement requiert deux sources de chaleur. Parmi ces moteurs figurent les machines à vapeur et les moteurs Stirling [13].
- Le moteur diesel fonctionne différemment du moteur à essence, bien que leurs composants principaux soient similaires et qu'ils opèrent tous deux selon un cycle à quatre temps.

Le moteur diesel, bien qu'étant aussi un moteur à explosion, se distingue par des différences notables, notamment dans le mode d'allumage du mélange et la gestion de la puissance. Contrairement au moteur à essence, où une étincelle enflamme le mélange air-carburant, le moteur diesel utilise l'auto-inflammation du carburant. Celle-ci est provoquée par la forte compression de l'air, qui élève sa température à plus de 450 °C. Ce phénomène est rendu possible grâce à un taux de compression d'environ 1/20, contre 1/10 pour un moteur à essence. Cette chaleur intense provoque l'ignition spontanée du diesel au contact de l'air, éliminant ainsi le besoin d'un système d'allumage [13].

II. 3.1.1 Moteur thermique à 2 temps

Comme son nom le suggère, le moteur à 2 temps fonctionne avec seulement deux mouvements linéaires du piston, contrairement au moteur à 4 temps. Les étapes d'admission, de compression, de combustion/détente et d'échappement sont communes aux deux types de moteurs. Cependant, dans un moteur à 2 temps, ces quatre phases s'accomplissent en deux tours de vilebrequin, contre quatre tours pour un moteur à 4 temps [14]. Le cycle d'un moteur 2 temps se décompose comme suit :

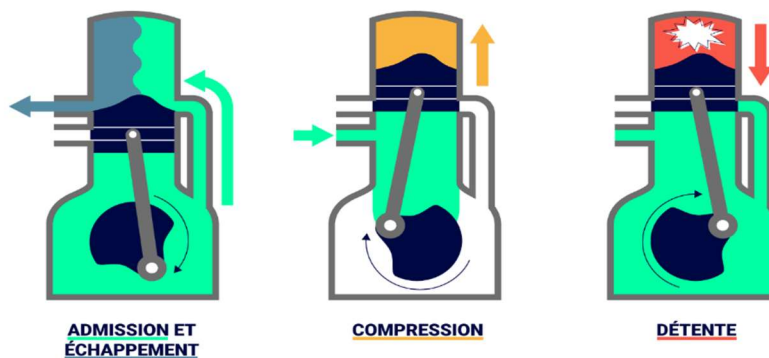


Figure II. 2: Moteur thermique à 2 temps [32].

Dans le cadre de l'examen des différentes étapes du cycle deux temps, il convient de mentionner les étapes suivantes :

- **Admission:** Le piston descend, ouvrant les orifices d'admission, ce qui permet à l'air frais et à l'essence de pénétrer dans le cylindre.
- **Compression:** Le piston remonte, fermant les orifices d'admission et d'échappement. L'air est alors comprimé, faisant monter la pression à environ 10 bars. Simultanément, dans le carter, l'orifice d'admission s'ouvre et le piston aspire de l'air frais.
- **Détente:** La bougie enflamme le mélange, provoquant une augmentation de la pression jusqu'à environ 80 bars. Le piston redescend, transmettant de l'énergie au vilebrequin. Dans le carter, l'orifice d'admission se referme et le piston comprime l'air frais.
- **Échappement:** Le piston poursuit sa descente et découvre l'orifice d'échappement, permettant aux gaz brûlés de s'évacuer naturellement grâce à la différence de pression. En parallèle, l'air frais et l'essence présents dans le carter sont transférés vers le cylindre. Le cycle recommence [15].

II. 4 Système de démarrage

Le circuit de démarrage rassemble l'ensemble des composants nécessaires au démarrage autonome du moteur thermique. Plusieurs systèmes sont disponibles : manuel, pneumatique, électrique ou automatique. Dans certains cas, une combinaison parallèle de deux technologies peut être mise en œuvre pour renforcer la fiabilité [16].

II. 4.1 Démarrage électrique

Pour les groupes électrogènes de forte puissance, le démarrage manuel s'avère inadapté, nécessitant un système électrique équipé d'un démarreur. Le circuit comprend généralement une clé de contact (et parfois un bouton marche/arrêt). Lorsque l'opérateur tourne la clé, le courant alimente le solénoïde : son noyau se déplace alors (flèche violette), déclenchant simultanément (1) l'engagement du pignon d'entraînement dans le volant moteur via la fourchette (flèche verte) et (2) l'établissement du contact électrique entre les bornes A et B, ce qui alimente le moteur du démarreur pour initier la rotation [16].

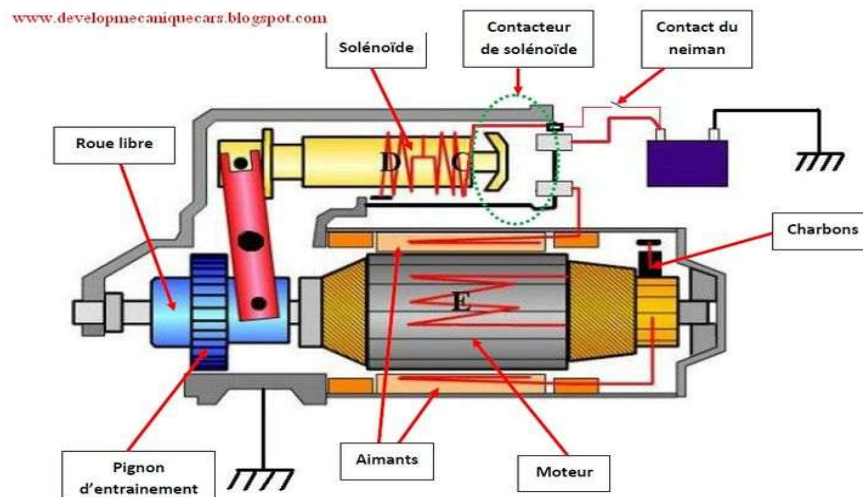


Figure II. 3: Démarreur du moteur thermique [33].

II. 4.2 Démarrage manuel

Le démarrage manuel par lanceur, méthode traditionnelle des groupes électrogènes, utilise un dispositif léger et compact actionné exclusivement par la force physique de l'opérateur. Bien que solution idéale pour les modèles autonomes, cette technique est limitée par la cylindrée du moteur – paramètre directement lié à l'énergie et à la puissance du groupe. En pratique, elle s'applique donc principalement aux groupes à essence de faible puissance. Son principe repose sur le déroulement d'un câble enroulé autour d'une poulie, induisant ainsi la rotation de l'arbre moteur [16].



Figure II. 4 : Lanceur groupe électrogène [34].

Le principe de fonctionnement d'un démarreur est composé de trois phases principales :

- **II. 4.2.1 Phase de maintien** : le fonctionnement de cette phase est illustré dans la Figure (II.5). Lorsqu'il entre en contact, toute la capacité de la batterie est utilisée par le démarreur, car dès qu'il est mis en marche, le bobinage d'appel 4 cesse d'agir, le noyau appuie contre les contacts. On alimente l'inducteur 12 et l'induit 11, l'induit tourne. Chaque extrémité de l'enroulement d'appel 4 est chargée positivement, ce qui signifie qu'il est parcouru par un courant. Le maintien 5 ne garantit que le maintien du noyau plongeur dans son emplacement [16].

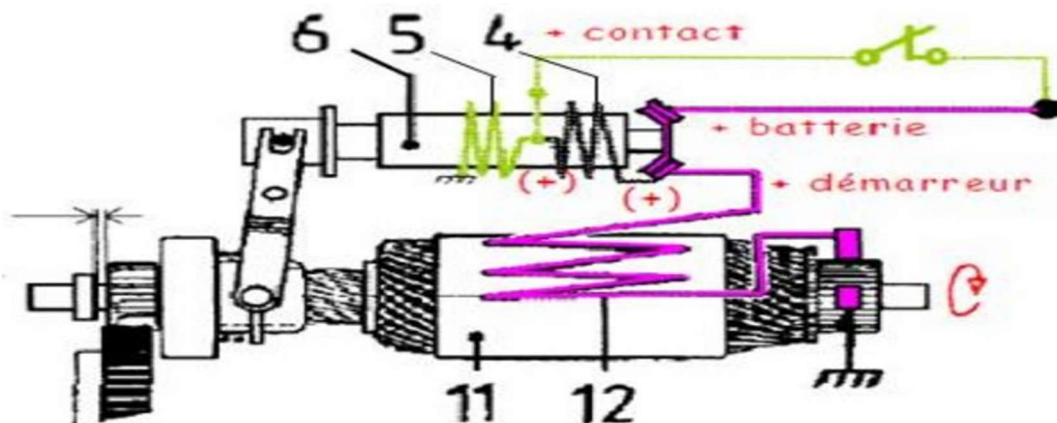


Figure II. 5 : Schéma de la phase de maintien [35].

- **II. 4.2.2 Phase d'appel** : comme le montre la figure (II.6), peut être clarifiée par une analyse approfondie. Il est à noter que l'alimentation est fournie aux deux bobinages 4 et 5. Le noyau 6 mérite une attention particulière, car il est responsable du déplacement du lanceur 13, processus réalisé à l'aide de la fourchette 17. Parallèlement, le pignon 14 s'imbrique avec la couronne, comme illustré dans la figure ci-après [17].

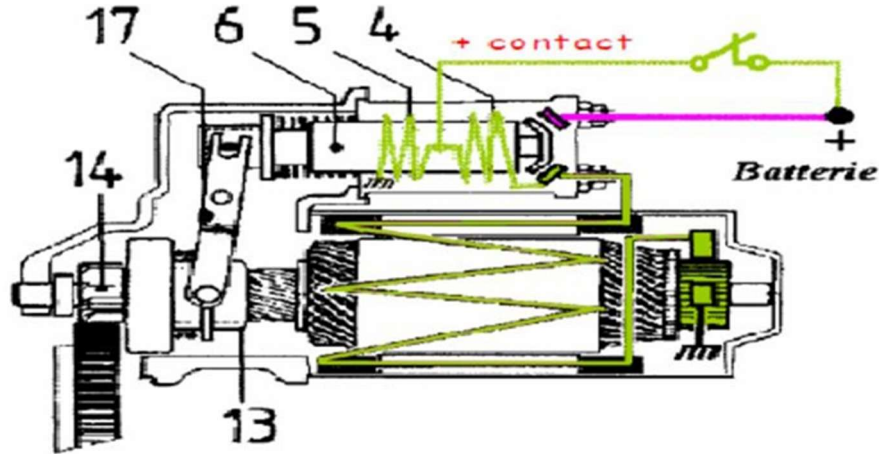


Figure II. 6 : Schéma de la phase d'appel [35].

- **II. 4.2.3 Phase d'arrêt** : Le pignon entraîne le moteur à une vitesse spécifique, ce qui lui confère une autonomie. Quand le moteur démarre de façon autonome, l'interrupteur s'ouvre, stoppant ainsi l'approvisionnement en électricité pour l'enroulement de maintien et la liaison avec les bornes.

II. 4.3 Démarrage automatique

Dans les sites critiques tels que les hôpitaux ou les installations industrielles, où toute interruption électrique est inacceptable, les groupes électrogènes à démarrage automatique fournissent une alimentation de secours essentielle. Ce système garantit une continuité de service immédiate dès la détection d'une coupure du réseau principal, grâce à un inverseur qui commute automatiquement l'alimentation électrique de la source principale vers le groupe électrogène [18].

II. 5 Circuit de lubrification

La lubrification (ou graissage) constitue un processus fondamental visant à minimiser le frottement et l'usure entre surfaces mécaniques en mouvement relatif tout en assurant trois fonctions essentielles : (1) la réduction des pertes énergétiques grâce à la formation d'un film lubrifiant séparateur (0.1-5 μm), (2) la dissipation thermique permettant d'évacuer 30-40% de la chaleur générée par friction, et (3) la protection anticorrosion via des additifs détergents. Dans les groupes électrogènes, on distingue principalement la lubrification hydrodynamique - où des écoulements laminaires parallèles aux surfaces (décrits par l'équation de Reynolds) utilisent des huiles minérales ou synthétiques avec viscosité optimale de 12-18 cSt à 100°C - du graissage.

La pompe à l'huile, qui est alimentée par le moteur via une courroie, aspire l'huile présente dans le carter. Dans la seconde phase du processus, le lubrifiant est soumis à un filtrage visant à éliminer les particules indésirables. Par la suite, des conduites/cavités situées en haut du

moteur/cylindre/culasse permettent à l'huile de se diriger vers les zones nécessitant une lubrification. Ces conduites, qui sont la propriété de l'établissement, sont situées à l'intérieur des pièces et, par conséquent, ne sont pas visibles depuis l'extérieur. Le vilebrequin, incluant ses enroulements, l'arbre à cames, les soupapes, le turbocompresseur (roulement de l'axe), les bielles et les pistons sont identifiées comme les pièces principales requérant une lubrification [13].

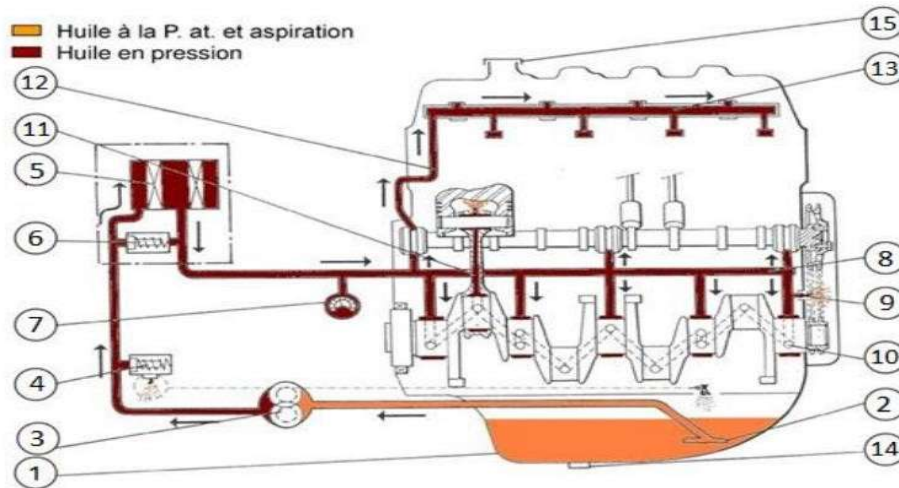


Figure II. 7 : Circuit de lubrification [36].

- | | |
|-------------------------------------|--|
| 1- Carter inférieur d'huile. | 10- Conduite de graissage vilebrequin. |
| 2- Crépine d'aspiration. | 11- Graissage axe piston |
| 3- Pompe à l'huile. | 12- Montée d'huile à la culasse. |
| 4- Clapet de décharge. | 13- Rampe de culbuteurs |
| 5- Filtre à l'huile. | 14- Bouchon de vidange. |
| 6- Clapet de sécurité. | 15- Bouchon de remplissage. |
| 7- Manocontact de pression d'huile. | |
| 8- Rampe principale. | |
| 9- Gicleur graissage de chaîne. | |

II. 6 Circuit d'alimentation en combustible

Le circuit d'alimentation en carburant assure l'approvisionnement continu et régulé du moteur thermique via un réservoir journalier anticorrosion (≤ 500 L selon NFPA 110) alimenté par un réservoir principal grâce à une pompe de transfert automatisée (débit 10-50 L/min) activée par sondes de niveau haut/bas. Le carburant traverse ensuite un système de filtration multi-étages comprenant un décanteur (séparation eau/carburant $< 0.05\%$ volume) et un filtre principal (5-10 μm conforme ISO 4020), avant d'être acheminé vers la pompe d'injection haute pression (100-300 bars pour systèmes common rail). Le circuit intègre des dispositifs de sécurité critiques : clapet anti-retour, coupe-feu automatique, et détecteur de fuites (sensibilité 0.1 L/h, norme EN 14678),

assurant ainsi trois fonctions essentielles : (1) stabilisation de pression (3.0 ± 0.2 bars) via régulateur, (2) prévention de cavitation par maintien thermique $<45^{\circ}\text{C}$ (échangeur intégré), et (3) gestion des vapeurs via système EVAP. Une maintenance rigoureuse implique le remplacement des filtres toutes 500 heures (ou $\Delta P > 0.8$ bar) et la vidange quotidienne du décanteur en milieux humides, garantissant la conformité aux normes ISO 8528 et DIN 73378 sur la fiabilité opérationnelle [14].

II. 7 Partie électrique

La partie électrique, cœur du groupe électrogène, assure la conversion de l'énergie mécanique en électricité stabilisée via un alternateur synchrone (rotor bobiné ou à aimants permanents, classe H/IP54) générant une tension sinusoïdale (50/60 Hz) sous contrôle d'un régulateur AVR (Automatic Voltage Regulator) maintenant une précision de $\pm 1\%$ en tension (230/400V) et ± 0.5 Hz en fréquence conformément à la norme ISO 8528-5. Ce système intègre des dispositifs de protection avancés : disjoncteurs différentiels (30 mA), relais de synchronisation réseau ($<5^{\circ}$), parafoudres Classe II (8/20 μs), et une gestion numérique via contrôleur PLC permettant un monitoring temps réel du facteur de puissance ($\cos \varphi$) et de la charge active (kW). L'architecture garantit une qualité de puissance optimale (THD $< 3\%$ pour charges linéaires, $< 8\%$ pour charges non linéaires) et une stabilité dynamique (récupération tension $< 0.5\text{s}$ après échelon de charge 100%), tout en assurant la protection des personnes par détection de terre ($> 300 \text{ m}\Omega$) et la conformité aux normes CEM (EN 55011 Classe A) et de rendement (IE3 selon CEI 60034-30-1 $> 92\%$).

II. 7.1 Stator

Le circuit magnétique statorique est constitué d'un empilement de tôles magnétiques isolées (acier au silicium, épaisseur 0.35-0.5 mm), laminées en forme de couronne et revêtues d'une couche diélectrique (phosphate ou oxyde) pour minimiser les pertes par courants de Foucault. Ces tôles, compactées mécaniquement sous haute pression (15-20 MPa) et rigidisées par des doigts de serrage, forment un noyau ferromagnétique annulaire présentant des encoches périphériques uniformément réparties (généralement 24 à 48 encoches selon la polarité). Dans ces encoches, isolées par des feuilles de Nomex (classe thermique 220°C), sont logés les enroulements triphasés du stator composés de trois systèmes de bobines décalées de 120° électriques. Chaque phase se termine par des bornes identifiées (U1/U2, V1/V2, W1/W2) sur la plaque à bornes, configurées en couplage ouvert (étoile ou triangle non fermé) pour permettre à l'utilisateur d'effectuer le raccordement final selon les exigences du réseau (230V/400V, 50/60 Hz), optimisant ainsi la perméance magnétique tout en maintenant des pertes fer inférieures à 2.5 W/kg à 1.5 Tesla selon la norme IEC 60404-8 [19].



Figure II. 8: Stator d'un alternateur triphasé [37].

II. 7.2 Rotor

Le rotor, élément rotatif central des machines électromécaniques (moteurs, générateurs, turbines), convertit l'énergie mécanique en champ magnétique via deux technologies principales : rotor bobiné ou rotor à aimants permanents. Sa conception intègre des tôles d'acier-silicium (ép. 0.5 mm, grade M19) empilées sous 15-20 MPa avec isolation phosphatée, équilibrées dynamiquement pour résister à $1.5\times$ la vitesse nominale (1500-4500 tr/min). Le refroidissement est assuré par ventilation axiale ou circuits liquides (huile/eau-glycol), tandis que les enroulements en cuivre électrolytique utilisent une isolation classe H (180°C) limitant les pertes joules à $<3\%$ de la puissance nominale. Selon la loi de Faraday son champ magnétique tournant induit la force électromotrice dans le stator. Des innovations comme les barres profondes (réduction effet de peau), rotors hybrides (combinaison aimants + bobinage), et double cage optimisent les performances pour des applications critiques, conformément aux normes IEC 60034-1 (rendement) et NEMA MG-1 (surcharges).

II. 7.2.1 Rotor à pôles saillants :

C'est un électroaimant avec des pôles nord et sud alternés, possédant au moins 4 pôles (voir figure II.9), qui est alimenté par du courant continu à partir de bobinages disposés autour des noyaux polaires. Il est employé dans les centrales hydrauliques, car ces dernières fonctionnent à des vitesses relativement basses.

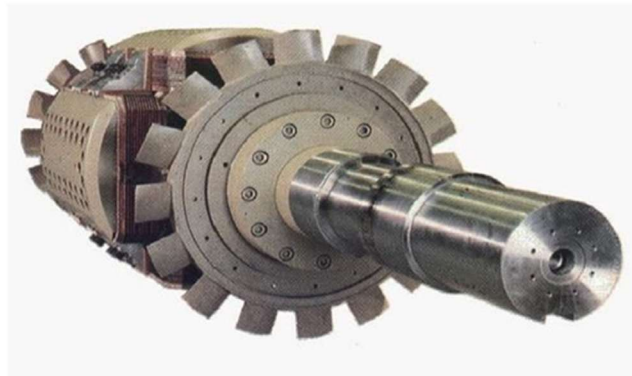
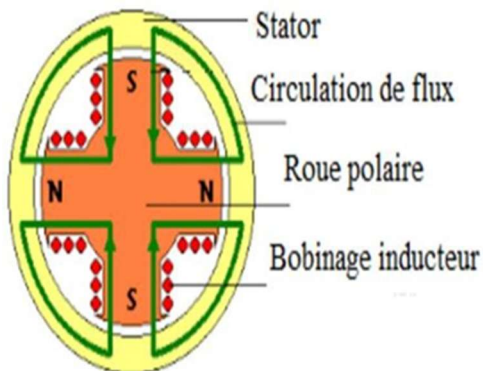


Figure II.9: Rotor à pôles saillant [38].

II. 7.2.2 Rotor à pôles lisses

Le rotor à pôles lisses se caractérise par sa structure cylindrique pleine qui comporte des rainures (voir figure II.10). Il possède généralement deux ou quatre pôles. Dans les centrales thermiques, on l'utilise fréquemment car la turbine à vapeur opère à des vitesses élevées [20].

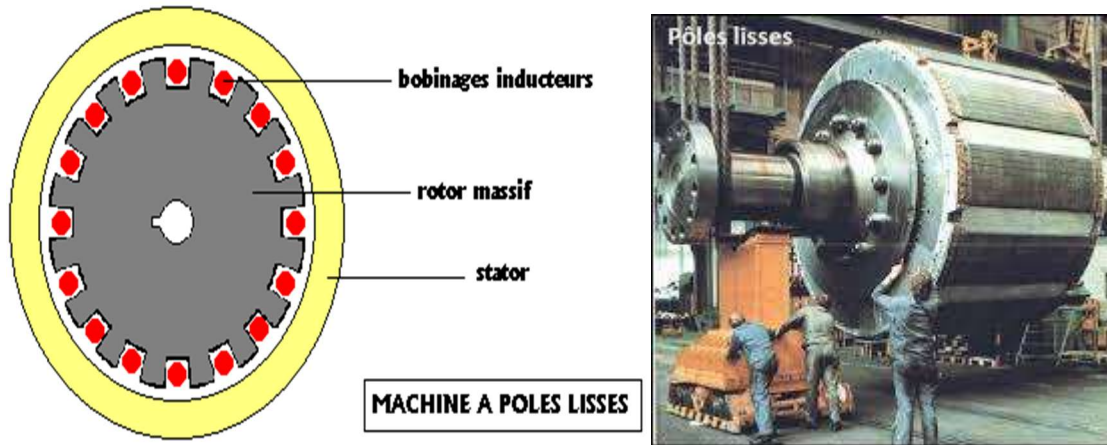


Figure II.10: Rotor à pôles lisses [39].

II. 7.2.3 Rotor à aimant permanent :

La substitution de l'électroaimant par des aimants (Figure II.11) offre l'avantage de supprimer le système de balais bague, les pertes rotoriques et le circuit d'excitation [19].

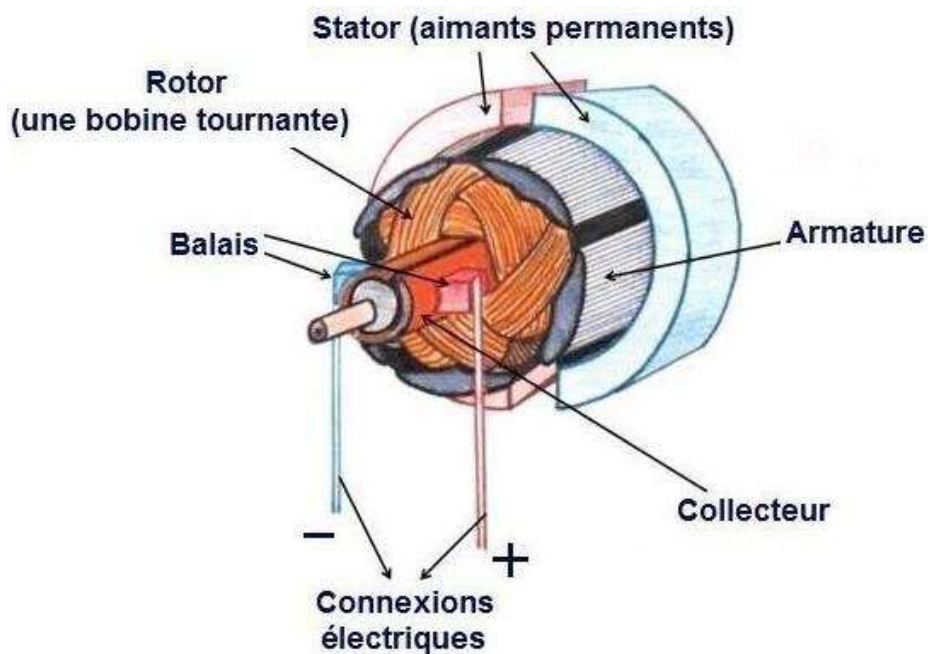


Figure II.11: Rotor à aimant permanent [40].

II. 8 Partie commande

La commande est responsable de la gestion du démarrage et de l'arrêt du groupe électrogène. Elle varie en fonction de la manière dont on l'utilise. Un groupe électrogène peut être employé de différentes façons [21] :

- **Comme source principale d'énergie** : Dans ces circonstances, la seule source d'énergie disponible pour alimenter la charge est le groupe électrogène. Il peut être actionné manuellement selon les exigences et peut rester en fonctionnement continu [33].
- **Comme source d'alimentation de secours** : Dans le contexte mentionné précédemment, l'utilisation du groupe électrogène est conditionnée par deux facteurs principaux : l'absence de tension suffisante dans le réseau électrique principal et la présence de déséquilibres dans celui-ci. Il est à noter que l'activation de ce dispositif peut se faire de deux manières : de manière manuelle ou automatique. La première option, dite « manuelle », requiert de l'opérateur qu'il initie le démarrage du groupe électrogène suite à une défaillance du réseau qu'il a préalablement identifiée. Cette activation s'effectue par l'utilisation d'un interrupteur ou d'un bouton poussoir. La charge du réseau a été désactivée.

Lorsque la tension est rétablie, l'opérateur a la possibilité de procéder à la déconnexion du générateur électrique. Le démarrage automatique d'un générateur est assuré par un dispositif de commande électronique ou électrique, communément appelé inverseur de source normal/secours. L'élément électronique de ce système de contrôle identifie une panne sur le réseau, qu'il s'agisse d'une insuffisance de tension, d'une diminution de tension ou d'un déséquilibre. Par la suite, il donne l'instruction de mise en marche du groupe, ce qui autorise l'utilisateur à effectuer la transition du réseau standard au réseau de secours [20].

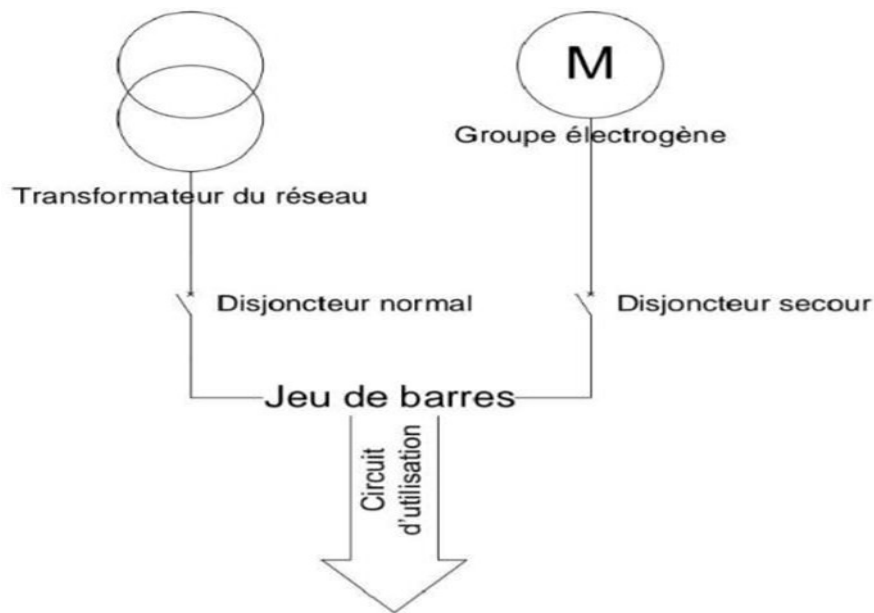


Figure II. 12 : Schéma de principe d'un alimentation secours [41].

- **Utilisation du groupe électrogène comme source d'appoint** : Lorsque la charge électrique devient trop importante, le groupe électrogène peut venir renforcer le réseau : on parle alors de couplage de l'alternateur au réseau. Pour que cette opération soit possible, plusieurs conditions doivent être réunies : la tension et la fréquence produites par le groupe doivent être équivalentes à celles du réseau, la succession des phases doit être identique, et surtout, les deux systèmes doivent être parfaitement en phase [22].

Il est impératif que le groupe électrogène soit parfaitement synchronisé au réseau. La synchronisation est une fonction cruciale des systèmes électriques, qui permet d'assurer la cohérence entre la production et la consommation d'énergie. Elle est rendue possible par l'utilisation d'un dispositif de commande spécialisé, qui inclut des éléments tels qu'un régulateur de vitesse, un régulateur de tension d'excitation et un synchroscope. Le synchroscope, en particulier, joue un rôle essentiel dans la visualisation et l'ajustement de la mise en phase entre le groupe et le réseau avant le couplage. La batterie, quant à elle, est un composant vital qui permet de démarrer le moteur du générateur, marquant ainsi l'importance de la synchronisation dans les systèmes électriques. Cette source d'énergie électrique est essentielle au fonctionnement du démarreur, et dans certains cas, à celui des systèmes de commande ou d'urgence. Ainsi, il apparaît essentiel de souligner que la disponibilité et la réactivité du groupe électrogène sont des impératifs qui dépendent en grande partie de la qualité de la batterie [23].

Le couplage de groupes électrogènes en parallèle ou avec le réseau électrique nécessite des systèmes de protection coordonnés pour garantir l'intégrité des équipements et la stabilité du système. Ces mécanismes limitent l'amplitude et la durée des contraintes électriques, thermiques et mécaniques induites par des perturbations (courants de court-circuit, déséquilibres, surcharges), réduisant ainsi l'étendue des dommages et les risques d'instabilité. Leur conception intègre des paramètres critiques liés à la topologie du réseau et aux caractéristiques de la centrale, notamment [21] :

- Protection contre les surcharges de l'alternateur : Relais électroniques déclenchant à 110-125% du courant nominal après temporisation réglable (20s-10min).
- Protection contre les courts-circuits : Disjoncteurs magnétothermiques à seuil instantané ($8-12 \times I_n$) pour les défauts biphasés/triphasés, associés à une détection de terre (50/51N).
- Protection thermique embarquée : Capteurs RTD Pt100 intégrés dans les enroulements statoriques (classe B selon IEC 60751), couplés à des relais de température (déclenchement à 155°C pour isolation classe F).

II.9 Conclusion

Le groupe électrogène se compose principalement de deux parties complémentaires : la partie mécanique et la partie électrique. La partie mécanique comprend un moteur thermique, généralement à combustion interne, qui transforme l'énergie chimique du carburant (diesel, essence ou gaz) en énergie mécanique via un cycle thermodynamique. Cette énergie est transmise à l'alternateur par un arbre moteur. Des systèmes auxiliaires tels que le refroidissement, la lubrification et l'échappement assurent le bon fonctionnement du moteur. Quant à la partie

électrique, elle est assurée par un alternateur qui convertit l'énergie mécanique en énergie électrique selon le principe de l'induction électromagnétique. Elle comprend également des dispositifs de régulation (régulateur de tension), de protection (disjoncteurs, relais), ainsi qu'un système de commande permettant de surveiller les paramètres électriques essentiels comme la tension, la fréquence et la puissance délivrée. L'ensemble du système vise à fournir une alimentation électrique stable, fiable et adaptée aux besoins de consommation.

**Chapitre ٧٧٧ : Étude et
analyse des performances d'un
groupe électrogène alimenté
par différents combustibles.**

III .1 Introduction

Cette étude porte sur l'analyse comparative des performances d'un groupe électrogène fonctionnant avec différents types de combustibles, notamment le diesel, le gaz naturel et le GPL. L'objectif principal est d'évaluer l'efficacité énergétique, la consommation spécifique, les émissions polluantes, ainsi que la rentabilité économique de chaque carburant. À travers des essais expérimentaux et des calculs techniques, le projet met en évidence les avantages et les inconvénients de chaque option en termes de performance mécanique, d'impact environnemental et de coût d'exploitation. Les résultats obtenus permettent de proposer le combustible le plus adapté en fonction des besoins techniques et économiques, tout en tenant compte des considérations écologiques.

III .2 Dispositif expérimental

Les dispositifs expérimentaux qui sont présentés dans le tableau 1 a été utilisé. En raison des différences physico-chimiques entre les types de carburants, ainsi que des exigences spécifiques de chacun en élément de combustion sûre et efficace, des modifications techniques ont été apportées au système de carburation du générateur, afin de le rendre compatible avec l'utilisation du gaz en lieu de l'essence.

Bien que la fonction principale d'un carburateur consiste à assurer un mélange air-carburant équilibré permettant une combustion optimale dans la chambre de combustion, des différences techniques subsistent entre un carburateur conçu pour fonctionner à l'essence et un autre adapté aux gaz combustibles. Ces différences résident notamment dans les ajustements précis relatifs au débit, à la pression et au mode de mélange du gaz avec l'air. À cet effet, un carburateur spécialement conçu pour les gaz combustibles, tels que le propane, butane et le gaz ville, a été installé. Ce dispositif permet un contrôle précis du flux gazeux vers le moteur, garantissant ainsi un fonctionnement stable et sécurisé. Alors, trois types de carburants ont été utilisés dans le cadre de notre étude comparative : le butane, le propane, et le gaz de ville ainsi que l'essence en tant que référence. Une série d'essais a été menée pour évaluer les performances du générateur avec chaque carburant, en mesurant le temps de fonctionnement par litre de carburant, à vide et en charge. Une analyse économique a également été étudié, visant à déterminer la durée de fonctionnement correspondant à un montant fixe de 100 DA pour chaque type de carburant, et ce, dans les deux conditions de fonctionnement. Les résultats expérimentaux et économiques seront exposés et analysés dans la section suivante :

Tension nominale	220V
Fréquence nominal	50Hz
Puissance maximal	2,3KW
Facteur de puissance	1.0

Tableau III.1 : Caractéristiques du groupe électrogène utilisé.



Figure III. 1 : Carburateur .

III.3 Schéma électrique de démarrage automatique d'un moteur

Le schéma électrique présenté illustre un circuit de démarrage automatique d'un moteur triphasé. Ce type de montage est largement utilisé dans les installations industrielles pour assurer la mise en marche sécurisée et efficace des moteurs asynchrones.

Le circuit de puissance – comprenant l'alimentation triphasée, les contacteurs, et le moteur lui-même. Le circuit de commande – assurant le déclenchement automatique via des relais, des minuteriers ou des capteurs.

Lorsque le système est mis sous tension, un contacteur principal est activé automatiquement grâce à un relais temporisé (ou un automate), permettant au courant de circuler vers le moteur. Si le schéma intègre un relais thermique, celui-ci protège le moteur contre les surcharges. En cas d'anomalie, il ouvre le circuit de commande, coupant ainsi l'alimentation du moteur.

Ce type de démarrage peut être utilisé pour :

- Éviter les appels de courant excessifs au démarrage.
- Assurer un redémarrage automatique après une coupure de courant.
- Intégrer la commande dans un système d'automatisation industriel.

Les avantages du démarrage automatique incluent une meilleure protection du moteur, une automatisation du processus de production, et une réduction des interventions humaines.

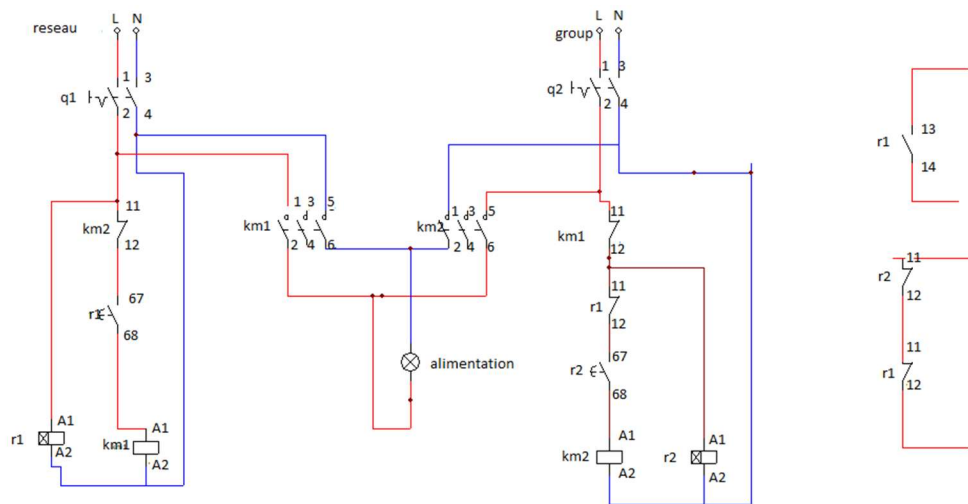


Figure III. 2 : Schéma électrique de démarrage automatique d'un moteur dans le programme cade simu.

III .4 Résultats et discussion

III .4.1 Temps de fonctionnement par litre à vide et en charge

Selon le type de combustible utilisé pour une évaluation précise de ces différences, le temps d'opération par litre de carburant a été quantifié dans deux scénarios distincts : à vide et en charge. Pour reproduire une charge partielle, on a imposé une charge électrique moyenne de 1200 W. En ce qui concerne la charge maximale, correspondant à la charge de 2300 W, elle a été testée en utilisant une charge équivalente.

Ces tests ont rendu possible une évaluation objective des performances du générateur en fonction des différents combustibles utilisés, en montrant que la consommation varie considérablement selon le combustible choisi:

- **Essence** : Le groupe électrogène fonctionnant à l'essence consomme environ 1 litre pour 1,21 heures à vide, 0,92 heures sous une charge de 1200 W, et 0,75 heure à pleine charge.
- **Propane** : Le groupe électrogène fonctionnant au propane consomme environ 1 litre pour 0,89 heures à vide, 0,64 heures sous une charge de 1200 W, et 0,57 heure à pleine charge.
- **Butane** : Le groupe électrogène fonctionnant au butane consomme environ 1 litre pour 0,90 heures à vide, 0,63 heures sous une charge de 1200 W, et 0,55 heure à pleine charge.
- **Gaz de ville** : Le groupe électrogène fonctionnant au gaz naturel consomme environ 1 m³ pour 2.08 heures à vide ,1.2 heures sous une charge de 1200W et 1.11 heures sous une charge de 2300 W.

Ces résultats peuvent varier en fonction de la marque, du modèle et des spécifications spécifiques du groupe électrogène. Toutefois, les données recueillies permettent de dégager des tendances générales quant aux différences de consommation entre les divers types de carburants utilisés. Dans ce cadre, il apparaît essentiel de mener une étude comparative à visée économique afin d'identifier le carburant le plus approprié en termes de performance, de coût et de durabilité.

Une telle analyse ne se limite pas uniquement aux coûts initiaux d'installation ou d'approvisionnement en carburant, mais englobe également les implications à long terme liées aux frais d'exploitation et de maintenance. Chaque type de carburant qu'il s'agisse de l'essence, du gaz naturel ou du propane de butane présente des avantages et des limites en ce qui concerne la disponibilité sur le marché, la stabilité des prix, le rendement énergétique, ainsi que l'impact environnemental généré par sa combustion.

Une comparaison rigoureuse, prenant en compte l'ensemble de ces paramètres, permet ainsi de fonder un choix technique éclairé et économiquement rationnel. Un tel choix vise à optimiser à la fois la rentabilité financière et l'utilisation efficiente des ressources énergétiques dans une logique de durabilité.

Dans cette perspective, la section suivante présente une comparaison des durées de fonctionnement obtenues pour une dépense fixe de 100 DA selon chaque type de carburant, en situation de fonctionnement à vide et en charge.

III .4.2 Temps de fonctionnement à vide pour un coût correspondant à 100 DA

Afin d'assurer une comparaison efficace, il est préconisé d'analyser le coût unitaire du kilowattheure pour chaque catégorie de combustible. Néanmoins, notre première démarche consistée à évaluer les temps de fonctionnement pour un coût constant de 100 dinars algériens.

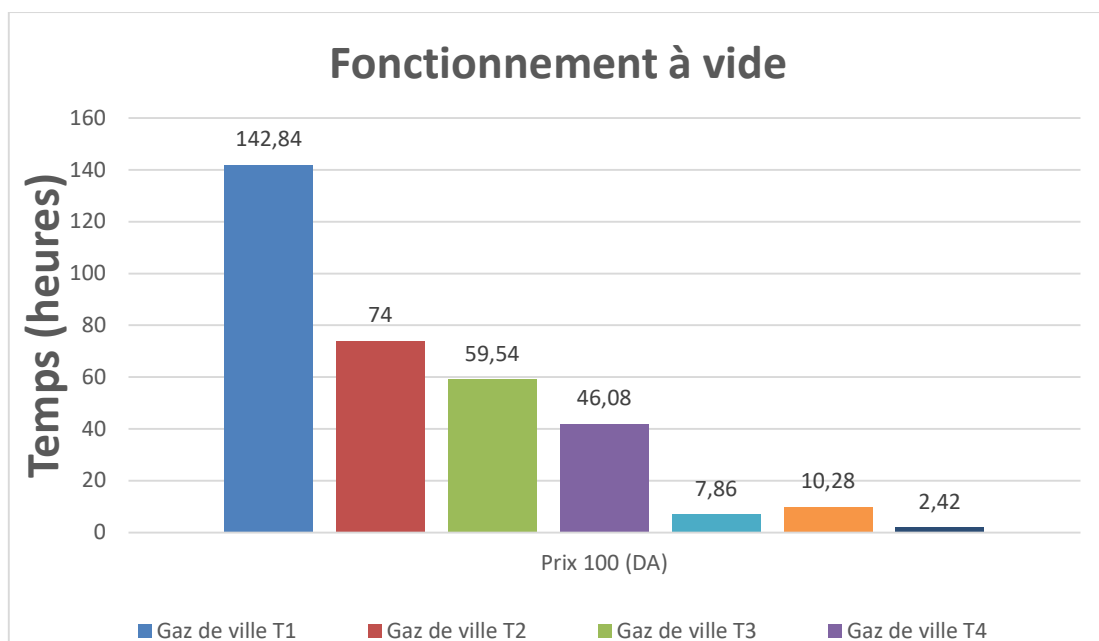


Figure III. 3 : Temps de fonctionnement à vide pour un coût correspondant à 100 DA

La figure III.3 présente le temps de fonctionnement à vide pour un coût de 100 DA de chaque type de combustible. Concernant le gaz naturel, Sonelgaz ajuste son prix en fonction de la tranche. Il est évident qu'avec le gaz naturel, la durée d'exploitation pour 100 DA est plus élevée peu importe la tranche. Pour chaque dinar (1 DA), le temps d'opération s'élève à $T_f=1.4284h$ pour le gaz naturel, $T_f=0.1028h$ pour le butane et $T_f=0.0786h$ pour le propane. Cependant, pour l'essence, le temps de fonctionnement pour (1 DA) est de $T_f=0.0242h$. C'est parce que le coût du gaz de ville en Algérie reste raisonnable, avec un tarif qui oscille entre 1,7 DA et 4,5 DA le mètre cube. Toutefois, le prix

du butane et du propane liquéfié est respectivement de 8,84 DA et 11,36 DA par litre. Concernant l'essence, son prix est nettement plus cher comparé aux autres carburants, s'élevant à 45.65 DA le litre.

III .4.3 Temps de fonctionnement en charge pour un coût correspondant à 100 DA

Dans le cadre de l'opération sous charge moyenne et maximale, deux intensités ont été mises en œuvre : la première à 1200 W, et la seconde qui simule une puissance maximale de 2300 W. Les figures III.4 et III.5 illustrent les périodes de fonctionnement du groupe électrogène en charge pour un coût toujours de 100 DA, selon différents types de carburants. Il est évident que le groupe électrogène affiche un bon rendement lorsqu'il utilise le gaz naturel, comparativement aux autres types de combustibles.

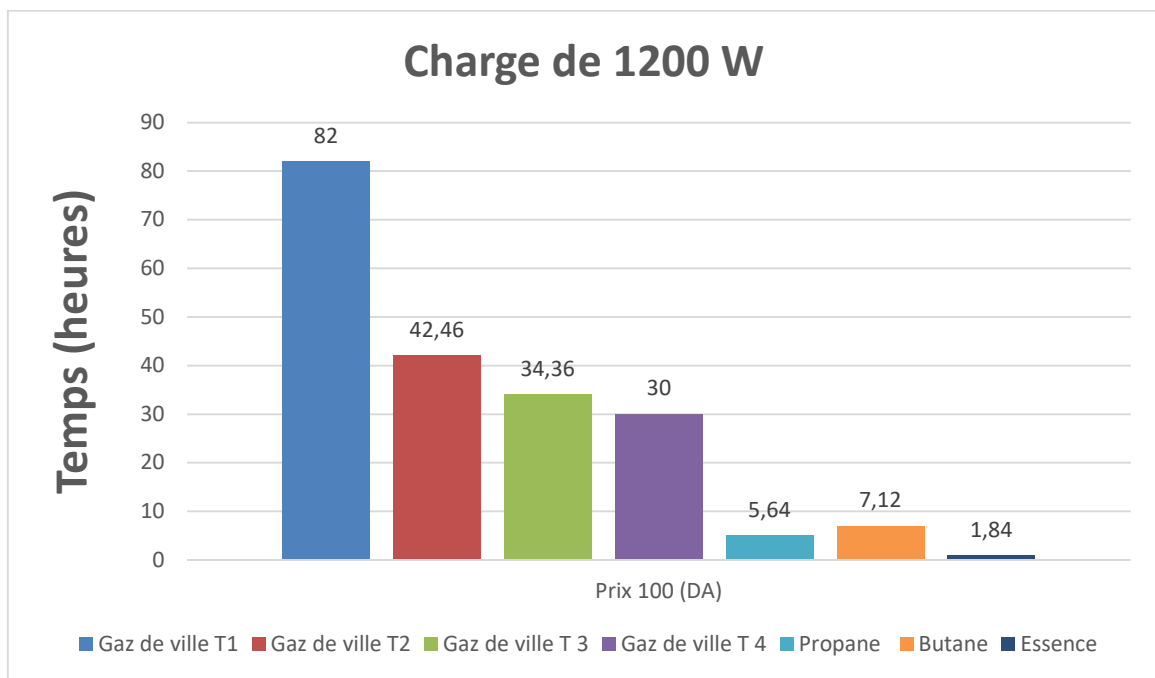


Figure III. 4 : Temps de fonctionnement en charge moyenne (1200 W) pour un coût correspondant à 100 DA

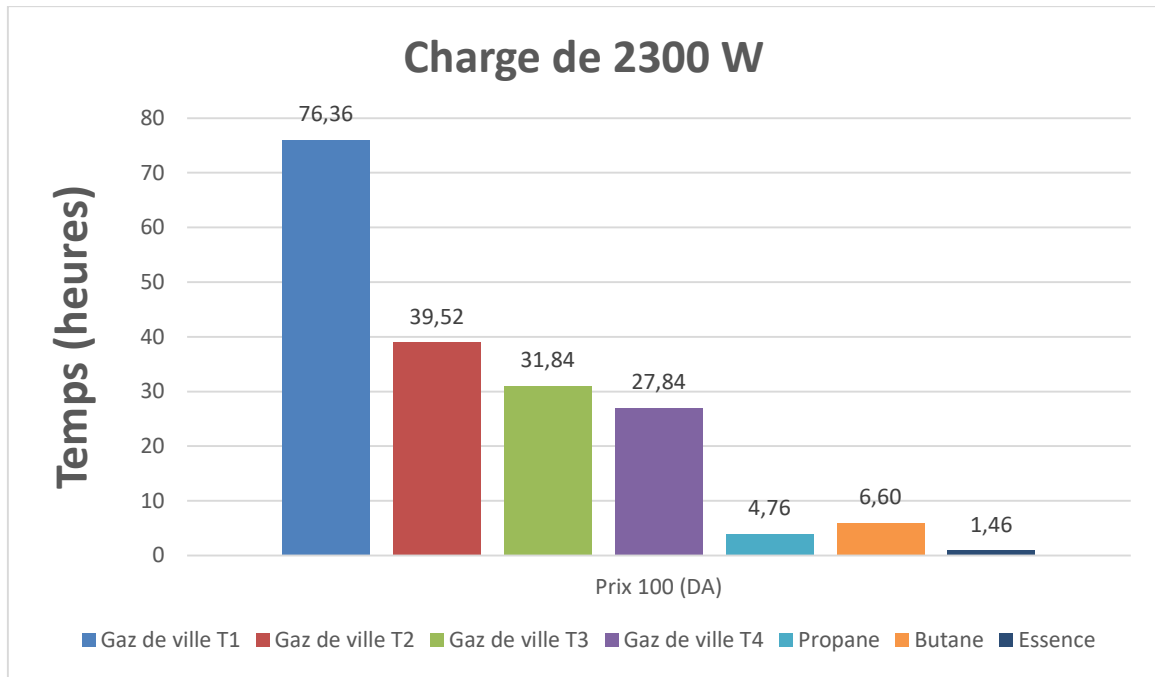


Figure III.5: Temps de fonctionnement en charge (2300 W) pour un coût correspondant à 100 DA

Étant donné l'abondance et le coût réduit du gaz naturel en Algérie, les générateurs alimentés au gaz naturel pourraient représenter une option plus rentable. La décision sur le type de carburant à utiliser, et donc l'efficacité énergétique d'un générateur électrique, peut être affectée par la présence locale et le prix accessible du gaz naturel.

III .4.4 Energie électrique maximale produite par 100 DA

La Figure III.6 présente la puissance électrique générée par le générateur électrique lorsqu'il consomme 100 DA de divers types de combustibles.

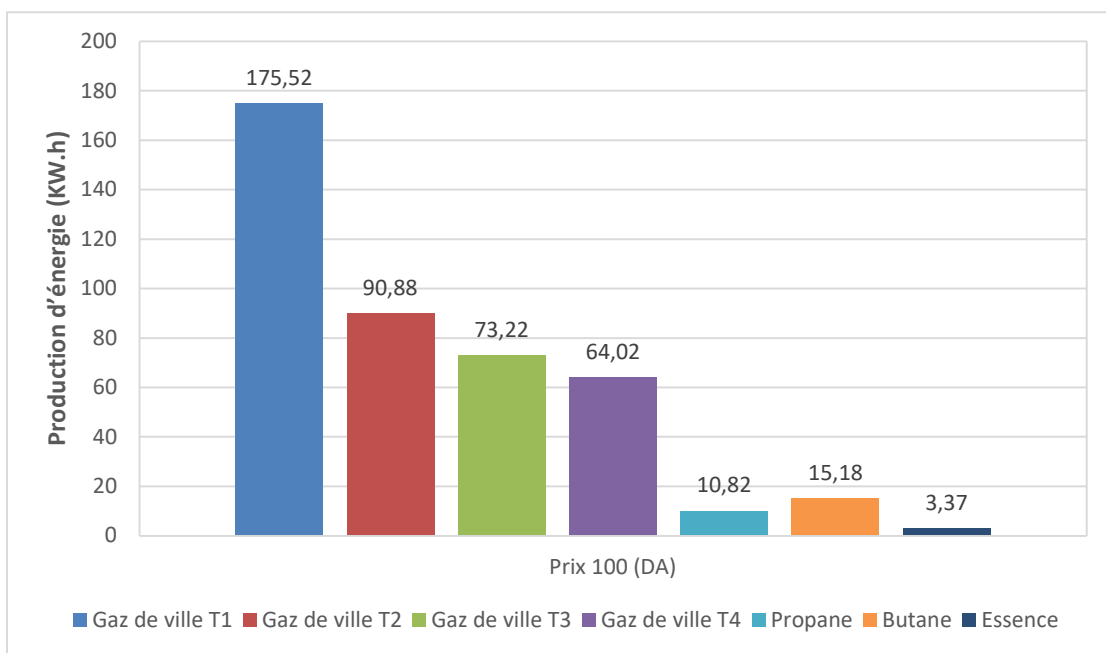


Figure III. 6 : Energie électrique produite par 100 DA.

Figure III. 6 : Energie électrique produite par 100 DA. On remarque que le gaz naturel produit la plus grande quantité d'énergie par rapport aux autres types de carburants malgré la taxation imposée par les sociétés (Sonelgaz) de distribution qui augmente à chaque tranche. Le gaz naturel est souvent moins cher que d'autres carburants comme Probut, Butane ou l'essence, ce qui peut réduire les coûts d'exploitation à long terme. Tous les essais montrent que l'alimentation d'un groupe électrogène par gaz de ville se révèle particulièrement attrayante sur le plan économique par rapport à d'autres carburants, comme l'essence, le Probut ou le Butane. En effet, le gaz de ville bénéficie souvent de coûts d'approvisionnement plus stables et compétitifs, rendant son utilisation plus rentable à long terme. De plus, les groupes électrogènes fonctionnant au gaz naturel peuvent générer de l'électricité à un coût inférieur comparé aux alternatives traditionnelles, tout en maintenant des performances élevées et une fiabilité opérationnelle. Cette option économique est renforcée par une disponibilité continue du gaz de ville à travers un réseau bien établi, offrant une solution durable et rentable pour répondre aux besoins énergétiques variés des industries, des commerces et des résidences.

III .4.5 Comparaison entre le coût de l'énergie produite par le groupe électrogène et celui fourni par Sonelgaz

Afin d'évaluer de manière plus précise les bénéfices économiques de l'utilisation du gaz naturel pour faire fonctionner un groupe électrogène, nous avons mis en parallèle le coût de l'énergie produite par ce dispositif fonctionnant avec divers types de combustibles et celui de l'électricité achetée auprès du fournisseur d'énergie (Sonelgaz.). Puisque le coût de l'électricité fluctue en fonction de la consommation, nous allons effectuer cette comparaison pour quatre catégories distinctes. Nous allons analyser en détail le coût de la production maximale d'énergie pour 100 DA ainsi que le coût correspondant pour une quantité identique d'énergie achetée auprès de Sonelgaz.

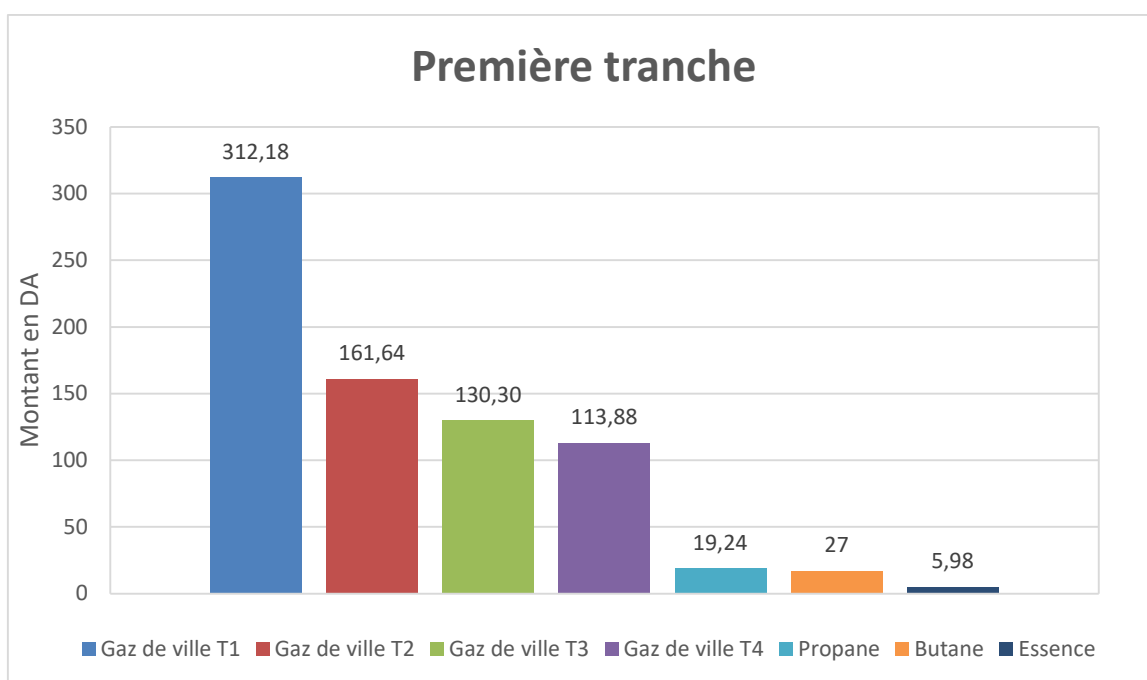


Figure III. 7 : Coût de la production d'énergie pour 100 DA en le comparant avec le prix proposé par Sonelgaz en première tranche.

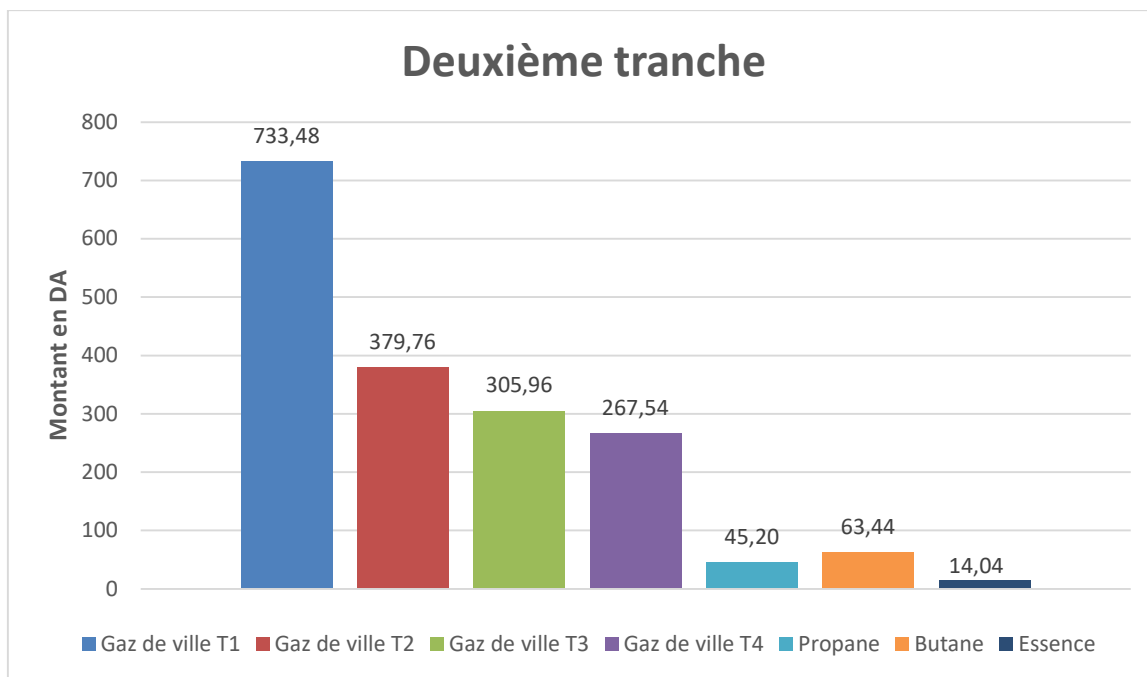


Figure III. 8 : Coût de la production d'énergie pour 100 DA en le comparant avec le prix proposé par Sonelgaz en deuxième tranche.

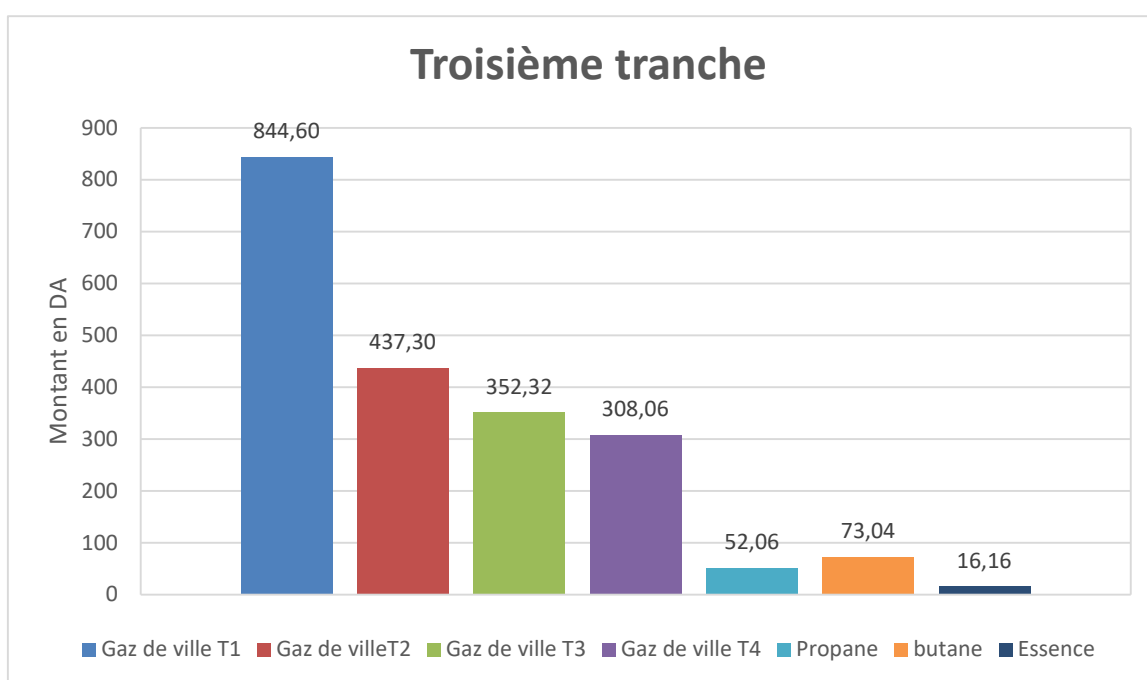


Figure III. 9 : Coût de la production d'énergie pour 100 DA en le comparant avec le prix proposé par Sonelgaz en troisième tranche.

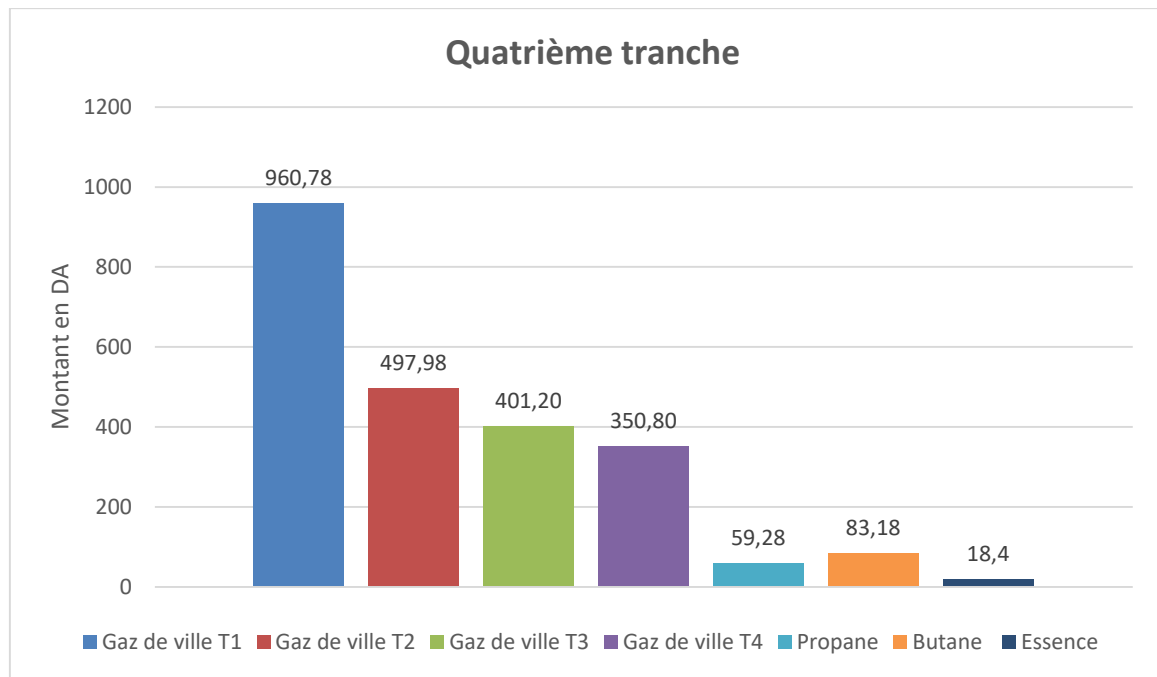


Figure III. 10 : Coût de la production d'énergie pour 100 DA en le comparant avec le prix proposé par Sonelgaz en quatrième tranche.

Dans la première plage de consommation de 0 à 125 kWh, où le prix du kWh est fixé à 1,7787 DA, il est clair que le coût de l'électricité générée par le groupe électrogène pour 100 DA est inférieur aux tarifs suggérés par Sonelgaz pour la même quantité d'énergie électrique fournie. Pour ce qui est des autres tranches : pour la seconde tranche (de 125 à 250 kWh), le coût du kWh est fixé à 4,1789 DA. Dans la tranche de 250 à 750 kWh, le tarif du kilowattheure s'élève à 4,8120 DA. Pour conclure, dans la quatrième tranche (supérieure à 1000 kWh), le coût du kilowatt heure s'élève à 5,4796 DA. Il est évident que l'écart est notable pour les trois dernières tranches, où le coût maximal de production d'énergie par le groupe électrogène à 100 DA est considérablement inférieur aux prix suggérés par Sonelgaz pour une quantité similaire d'électricité délivrée. Ceci est partiellement attribuable au soutien financier de l'État qui subventionne le coût du gaz naturel. En réalité, cette option apparaît comme un choix particulièrement séduisant pour l'alimentation des groupes électrogènes, comparativement à d'autres combustibles disponibles sur le marché. Cette attraction est principalement due aux tarifs subventionnés par le gouvernement algérien pour le gaz naturel, ce qui rend son usage économiquement bénéfique. À la différence de l'essence qui peut connaître des variations de prix significatives sur le marché mondial, le gaz naturel offre une constance tarifaire procurant aux utilisateurs de générateurs une stabilité financière. En outre, le gaz naturel est largement accessible via un réseau. Un réseau de distribution bien établi garantit un approvisionnement continu et sûr, même dans les zones les plus reculées du pays. En ce qui concerne l'environnement, le gaz naturel offre aussi des bénéfices notables en termes de diminution des émissions polluantes par rapport aux combustibles liquides classiques, participant ainsi à une amélioration de la qualité de l'air et à un impact carbone moindre.

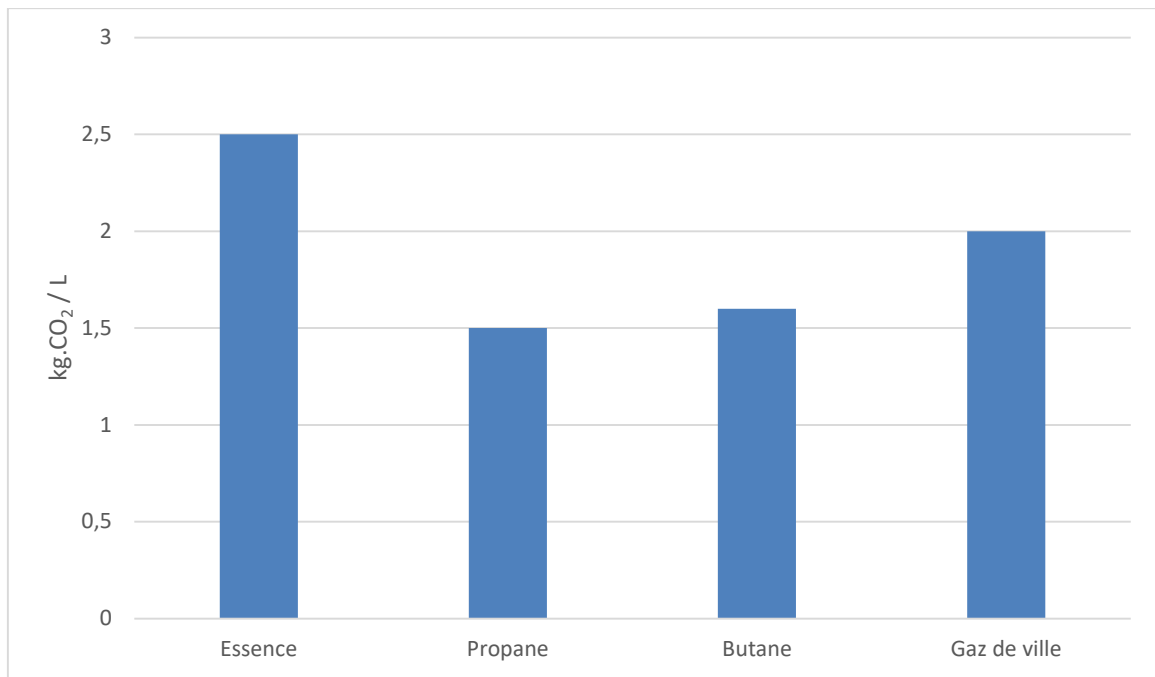


Figure III. 11 : Nombre d'émissions de CO₂ émises

Comme l'illustre la figure III. 11, par rapport à d'autres combustibles tels que l'essence, le gaz naturel génère généralement moins de polluants comme les particules fines et les oxydes d'azote, contribuant ainsi à une amélioration de la qualité de l'air. En optant pour le gaz naturel comme source d'énergie pour leurs groupes électrogènes, les entreprises et les particuliers en Algérie profitent d'une solution énergétique performante, rentable et écologique.

III .5 Conclusion

Pour conclure, l'emploi du gaz naturel dans les générateurs présente divers bénéfices notables. Cela comprend un coût économique moindre comparé à d'autres combustibles tels que l'essence, difficile de générer des économies sur le long terme. L'approvisionnement constant en carburant est garanti par une présence permanente grâce à un réseau de distribution solide. En outre, le gaz naturel produit moins de particules nuisibles telles que les particules fines et les oxydes d'azote comparé aux combustibles liquides, contribuant ainsi à une meilleure qualité de l'air. Les moteurs fonctionnant au gaz naturel ont aussi besoin de moins d'entretien grâce à une combustion plus propre et une diminution des résidus dans le moteur. Sur le plan de la sécurité, le gaz naturel est perçu comme alternative plus sûre à manipuler et à conserver que les combustibles liquides inflammables tels que l'essence, on réduit les dangers associés. Finalement, les génératrices au gaz naturel proposent une large souplesse d'emploi, convenant à diverses applications, qu'elles relèvent du résidentiel, du commercial ou de l'industriel. Ces avantages font du gaz naturel une alternative séduisante pour les usagers de groupes électrogènes dans une multitude de situations.

Conclusion

générale

L'objectif principal de ce projet était d'établir un système de production d'énergie sûr et performant basé sur le gaz de ville, présenté comme une option plus verte et pérenne par rapport aux énergies fossiles conventionnelles. Ce genre de générateur est capable de transformer l'énergie du gaz de ville en électricité, diminuant ainsi les émissions polluantes et l'empreinte écologique comparativement aux générateurs traditionnels qui fonctionnent au charbon ou au pétrole.

Tout au long du processus de développement, des recherches détaillées ont été réalisées afin d'examiner les éléments techniques, la viabilité économique et les conséquences environnementales liées à l'emploi du gaz de ville comme source d'énergie pour la production électrique. L'analyse démontre que les générateurs à gaz de ville offrent divers bénéfices, comme la diminution des rejets de CO₂, une performance énergétique et une baisse des dépenses opérationnelles.

Par ailleurs, le but était de concevoir et de réaliser un prototype collectif capable de convertir efficacement gaz de ville en électricité. Ce générateur incorpore des technologies de pointe ainsi que des systèmes de sécurité pour garantir un bon rendement et réduire les dangers liés à la combustion du gaz naturel.

La réussite de cette initiative souligne l'immense potentiel du gaz naturel en tant que source d'énergie pour la production d'électricité.

Références **bibliographiques**

Références bibliographiques :

- [1] Rahmani, Y., & Bensalem, M. Étude comparative entre les carburants alternatifs dans les systèmes de production d'électricité. *Revue Génie Énergétique*, (2019).
- [2] Del Toro, Vincent. *Principles of Electrical Engineering and Electronics*. Prentice Hall, 1986.
- [3] <https://www.bisonindustry.com> le 26.05.2025 édits
- [4] Chapallaz, J.M. *Production d'électricité : Technologies de production et impact sur l'environnement*, Presses polytechniques et universitaires romandes, (2004).
- [5] H.Boylestad, *Introduction à l'électrotechnique*, Dunod, 2015.
- [6] Doyle, Kenneth. *Fondements du génie électrique*. Traduit par : M. Khaled Al-Awadhi. Le Caire : Dar Al-Fajr, 2005.
- [8] ASMR HANI ZAZA , *La principe de fonctionnement d'un générateur électrique et la différence entre un générateur de DC ET AC*
- [7] Hughes, Edward. *Electrical and Electronic Technology*, Pearson Education, 2016.
- [9] Abdul muttalib Abu Seif <https://arab-ency.com.sy/ency/details/10417/20>
- [10] <https://www.energy.gov/eere> [7], le 17-05-2025 édits
- [11] <https://umvie.com/guide-complet-sur-le-fonctionnement-dun-groupe-electrogene/le>
02.06.2025 édits
- [12] Wikipedia contributors. (2025, 1 mai). *Diesel generator*. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Repéré le 11 juin 2025 .
- [13] Messaoud DJELLOUT, *Conception Et Réalisation D'un Système De Démarrage Automatique D'un Groupe Electrogène, A Base D'une Carte Arduino*, faculté du genie électrique et d'informatique, département d'électrotechnique, 2018.
- [14] BOURZINI OUSSAMA, *Etude De L'influence De La Suralimentation Sur Les Caractéristiques D'un Moteur Essence*, en génie mécanique, spécialité génie énergétique, 2018.
- [15] Explainthatstuff. (n.d.). How two-stroke engines work. Retrieved June 11, 2025.
- [16] Messaoud DJELLOUT, *Conception Et Réalisation D'un Système De Démarrage Automatique D'un Groupe Electrogène*, 2011.
- [17] M. MIARD "Circuit de démarrage".
- [18] "diesel generating sets installation recommandations and operation manuel", Manuel d'utilisation groupe électrogène, 2006.
- [19] CHAFA ALIANE, *Etude D'un Groupe Electrogène Par Simulation Numérique*, faculté de genie électrique et d'informatique, département d'électrotechnique, 2016.

- [20] Theodore Wildi, Machines électriques, entraînements et systèmes de puissance, 6^e édition, Pearson Éducation, 2006.
- [21] Léon Paul ngomono mouko, Etude Du Fonctionnement Et Elaboration D'un Plan De Maintenance Preventive Et Curative Du Groupe Electrogene (Black-Start Generator) De La Centrale Thermique De Dibamba, specialise en genie electrique energetique et energie renouvelable, option : energie renouvelable, 2013.
- [22] Kothari, D. P., & Nagrath, I. J. Modern Power System Analysis , McGraw-Hill Education, (2011).
- [23] Boulanger, A. Groupes électrogènes : Conception, installation, maintenance , Paris : Dunod, (2013).
- [24] Faraday, M. (n.d.). Portrait of Michael Faraday. Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Michael_Faraday_001.jpg
- [25] Bricozor. (s.d.). Choisir un groupe électrogène : le guide complet [Image]. Guide Bricozor. <https://guide.bricozor.com/choisir-groupe-electrogene.html>
- [26] Larousse. (s.d.). Alternateur [Image]. Encyclopédie Larousse en ligne. <https://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/alternateur/20229>
- [27] Saint Images. (n.d.). DC Electric motor diagram with labeled parts . Adobe Stock. <https://stock.adobe.com/dz/images/dc-electric-motor-diagram-with-labeled-parts/575240357>
- [28] Lelievre, R. [Reynold Lelievre]. (s.d.). Vue éclatée d'un moteur électrique triphasé. SlidePlayer.fr <https://slideplayer.fr/slide/7332676/>
- [29] Massoum, A. et al. (2020). Machine synchrones à aimants permanents (MSAP) . ResearchGate. https://www.researchgate.net/figure/Machine-Synchrone-a-Aimants-Permanents-MSAP_fig11_335618562
- [30] Amazon.de. SPERONI 3500 Petrol Power Generator (LC 3500-A). Amazon.de. <https://www.amazon.de/-/en/SPERONI-3500-Petrol-Power-Generator/dp/B07KSGK4N9>
- [31] zDepot-dz.com. (n.d.). Groupe électrogène crown 2000 W. zDepot-dz.com. <https://zdepot-dz.com/?product=groupe-electrogene-crown-2000w>
- [32] tp.demain. (2024). Moteur à 2 temps : admission-échappement, compression, détente. tp.demain. <https://tpdemain.com/module/moteur-a-2-temps/>
- [33] developpemecaniquecars. Coupe d'un démarreur. developpemecaniquecars.blogspot.com. <http://developpemecaniquecars.blogspot.com/2012/06/coupe-dun-demarreur-images.html>
- [34] Démarreur à rappel manuel de type universel pour groupe électrogène. Source : Amazon.fr (2021)

- [35] Autotitre. (n.d.). Schéma du circuit de démarrage d'une Renault Floride [Image]. Forum Renault Floride/Caravelle. Consulté le 8 juin 2025, à partir de <https://www.autotitre.com/forum/Renault/Floride/Renault-Floride-Caravelle-international-forum-56631p204.htm>
- [36] ForumGuzzi. (n.d.). Schéma du circuit de lubrification d'un moteur thermique [Image]. Forum Moto Guzzi. Consulté le 9 juin 2025, à partir de <https://www.forumguzzi.fr/viewtopic.php?t=6167&start=10>
- [37] Godrej Enterprises. (n.d.). Rotor of an electric motor [Image]. Consulté 13 juin 2025, à partir de <https://www.godrejenterprises.com/advanced-engineering/motor-solutions>
- [38] Da Engineering. (n.d.). Machines synchrones – Chapitre 3 [PDF]. Consulté 13 juin 2025, à partir de <https://www.da-engineering.com/wp-content/uploads/2014/11/Chap-3->
- [39] Quinto. (n.d.). Rotor d'une machine synchrone à pôles lisses [Image]. In Les machines synchrones [Présentation PowerPoint]. SlideServe. Consulté 13 juin 2025, à partir de <https://www.slideserve.com/quinto/les-machines-synchrones>
- [40] Khan, M. (n.d.). Introduction to DC Motors [Image]. The Engineering Knowledge. Consulté 13 juin 2025, à partir de <https://www.theengineeringknowledge.com/introduction-to-dc-motors/>
- [41] Auteur inconnu. (2024). Schéma d'un alternateur [Image]. Dans D00TDD16 (p. xx). Scribd. <https://www.scribd.com/document/795706508/D00TDD16>