

Utilisation de l'éther de diméthyle comme additif à l'air dans le moteur Diesel marin 3NVD24

G. A. Djihinto⁸, Z. Sohoul⁹, C. Guidi¹⁰ et E. D. Fiogbe¹¹

Résumé

Le moteur Diesel moderne doit être efficace avec des émissions polluantes qui doivent respecter les normes environnementales. L'un des avantages les plus prometteurs des moteurs à combustion interne est l'utilisation des carburants de substitution pour améliorer sensiblement leurs paramètres économiques et écologiques. L'objectif de l'étude est de déterminer les propriétés physico-chimiques de l'éther de diméthyle comme additif à l'air dans le moteur Diesel marin 3NVD24. Une série de recherches expérimentales est menée sur le moteur Diesel 3NVD24, en utilisant différentes concentrations d'éther de diméthyle comme additif à l'air. Le fonctionnement du moteur Diesel 3NVD24 est étudié sur divers angles géométriques d'avance d'injection du combustible (13° et 15° avant le point mort haut et 9° après le point mort haut). L'éther de diméthyle comme carburant pour les moteurs Diesel à quatre temps à vitesse moyenne des navires ou en combinaison avec gazole peut être recommandé à l'utilisation à grande échelle dans les navires comme un moyen pour l'amélioration de leurs performances techniques, économiques et environnementales.

Mots clés : éther de diméthyle, moteur Diesel, carburant, navires.

Use of the dimethyl ether like additive with air in Diesel engine marine 3NVD24

Abstract

Modern Diesel engine must be efficient with polluting broadcast that must respect environmental norms. One of the most promising areas of internal combustion engines is the use of alternative fuels to significantly improve their ecological and economic parameters. Article objectives are study to determine physicochemical properties of dimethyl ether as additive to air in marine Diesel engine 3NVD24. A series of experimental studies was conducted on the Diesel engine 3NVD24, using different concentrations of the dimethyl ether as an additive to the air. The operation of Diesel engine 3NVD24 was studied on various geometric angles of the injection of fuel (15° and 13° before the top dead center and 9° after the top dead center). Obtained result show that with increase of dimethyl ether in the engine temperature decrease. The dimethyl ether as a fuel for Diesel engines four-stroke medium speed vessels or in combination with Diesel oil can be recommended for widespread use in vessels as a means to improve their economic and environmental technical performances.

Key words: dimethyl ether, Diesel engine, fuel, vessels.

INTRODUCTION

L'accroissement du parc des moyens de transport conduit à l'augmentation de la consommation de combustible d'origine fossile. Cette situation est la cause des émissions de gaz d'échappement des moteurs à combustion interne et précisément les moteurs Diesel contenant des substances nocives à l'environnement et à son habitat. Certaines d'entre elles affectent la couche d'ozone et provoquent le changement climatique mondial (Akobia et Smirnova, 1999). Les gaz d'échappement (GE) des moteurs Diesel marins contiennent de nombreuses substances nuisibles dont les plus importantes sont les oxydes d'azote (NO), le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de carbone (CO₂), les hydrocarbures imbrulés (CH), les particules de suie, les composés soufrés (SOH), aldéhydes, et les substances cancérigènes (Morozov, 1998). Il existe deux sortes de moteurs Diesel marins à savoir les moteurs Diesel marins à quatre temps et à deux temps. Les moteurs Diesel marins à deux temps sont plus puissants et sont construits de telle manière, qu'ils consomment beaucoup de carburant. Très souvent, pour des raisons économiques on fait fonctionner les moteurs Diesel à deux temps avec le mazout qui est un combustible moins cher par rapport au gazole. Le gaz d'échappement issu

⁸ Dr Ir. Gaston Antoine DJIHINTO, Direction des Pêches, 01 BP 383 Cotonou, Tél. : (+229) 94 12 78 38, E-mail : adjihinto@yahoo.fr, République du Bénin

⁹ Dr Ir. Zacharie SOHOU, Institut de Recherches Halieutiques du Bénin (IRHOB/CBRST), 03 BP 1665 Cotonou, Tél. : (+229) 21 32 12 63/97 07 20 57, FAST/UAC, E-mail : zsohou@yahoo.fr, République du Bénin

¹⁰ Dr Ir. Clotilde Tognon GUIDI, Institut Universitaire Technologie de Lokossa, Université d'Abomey-Calavi, BP 2106 Goho Abomey, Tél. : (+229) 97533454, E-mail : guiclot@yahoo.fr, République du Bénin

¹¹ Prof. Dr Ir. Emile D. FIOGBE, Faculté des Sciences et Techniques, Université d'Abomey-Calavi, Tél. : (+229) 95 26 82 62, E-mail : edfiogbe@yahoo.fr, République du Bénin

de sa combustion empire leurs paramètres environnementaux. En effet le mazout est plus lourd que le gazole et lent à la combustion. Dans les centrales thermiques, les moteurs Diesel ont presque les caractéristiques identiques à celle des moteurs Diesel marins. Par contre les moteurs Diesel des véhicules du transport routier de nos jours n'utilisent pas le mazout.

Actuellement, de nombreuses sociétés de constructions des moteurs telles que Zil en 2010 en Russie a mené des essais sur les véhicules de moteur rapide dont les résultats ont montré une réduction des émissions polluantes des gaz d'échappement et la consommation spécifique, Mitsubishi en août 2013 a publié un article dans lequel il a parlé des avantages d'utilisation de DME comme future énergie alternative (Gen Bao L, 2010) Land Rover depuis 2009 a fait des expériences sur le DME comme carburant et ses résultats partiels sont prometteurs, selon Volvo le DME est le carburant pouvant remplacer le gazole à cause de ses propriétés physico-chimique et les résultats obtenus lors de ses recherches sont concluants. Volkswagen et les compagnies pétrolières telles que le Groupe pétrolier Total, Shell et le gouvernement Chinois se sont lancés dans la course de conception des moteurs moins polluants, dont la toxicité des gaz d'échappement sera minimale (Lim O. T. and al, 2008). Plusieurs années d'expérience ont montré que l'un des moyens efficaces pour atteindre cet objectif, est l'utilisation de carburant de substitution (alternatif) qui n'est pas d'origine fossile (Golubkov *et al.*, 2003). Parmi les carburants de substitution, nous pouvons distinguer les alcools (éthanol, méthanol), les combustibles gazeux (éther de diméthyle, gaz naturel, gaz comprimé, gaz de pétrole liquéfié, d'hydrogène et autres) et les huiles végétales (Smimov, 1999).

Au nombre des carburants de substitution en perspective, l'éther de diméthyle est très remarquable de point de vue de ses propriétés. Actuellement, il est le carburant de synthèse, offrant un remplacement complet du gazole (Shuaiging *et al.*, 2012). L'éther de diméthyle est un gaz synthétisé à partir de gaz naturel, de biomasse de matériaux biologiques, de charbon ou encore de résidus lourds de raffinerie. Gaz propre, incolore, facile à liquéfier et à transporter, l'éther de diméthyle est, depuis les années soixante, principalement utilisé comme propulseur dans les aérosols, pour les besoins de l'industrie cosmétique (Pokussaev, 2006). Il présente cependant un potentiel remarquable, comme carburant pour les véhicules Diesel. L'éther de diméthyle, grâce notamment à sa combustion sans suie, permet aux moteurs de réduire les émissions de polluants pour répondre aux nouvelles normes mondiales (Ichhanyan, 2007).

La production de l'éther de diméthyle à partir de biomasse de matériaux biologiques (les déchets agricoles et le fumier) permet de l'appeler énergie renouvelable et de réduire encore son impact sur le climat tout en ayant un des meilleurs rendements aux kilomètres parcourus (Borichenko, 2007). La production d'éther de diméthyle présente une source étendue de matières premières à partir de ressources renouvelables (Novikov, 2010). Bien que les tentatives d'utilisation de l'éther de diméthyle comme carburant aient commencé récemment, le DME est considéré comme l'un des carburants les plus prometteurs pour les moteurs Diesel. L'éther de diméthyle par ses propriétés physico-chimiques est le carburant proche du carburant gaz de pétrole liquéfié (GPL) pour ce qui concerne le système d'alimentation (Ebrahim, 2005). Du fait que les propriétés physico-chimiques de l'éther de diméthyle sont proches de celles du GPL, le seul principal problème qui se pose est l'organisation pour une utilisation rationnelle dans le processus du fonctionnement du moteur. La compagnie pétrolière « Total », travaille en particulier aux spécifications sur les propriétés lubrifiantes de l'éther de diméthyle, des additifs et à la définition du lubrifiant adapté (Ovsiannikov et Petukhov, 1986).

L'objectif de l'étude est de définir les propriétés et les paramètres technico économiques et environnementaux de l'éther de diméthyle comme additif à l'air dans le moteur Diesel marin 3NVD24 (Langmeer, 2006).

MATERIEL ET METHODES

Au laboratoire des moteurs thermiques de l'Université d'état d'Astrakhan en Russie, une expérience a été effectuée sur le mélange de gazole et de l'éther de diméthyle. Le gazole Marque L (utilisé en été), de la norme GOST 305-82 et le DME de la norme TU 2434-059-05761643-2001 ont été choisis. Nous avons fait plusieurs essais sur le moteur Diesel marin 3NVD24 fonctionnant sur le gazole en utilisant en DME comme additif à l'air à différents dosages (0,2–3,56%). Ces essais sur le moteur expérimental ont été menés en sa charge maximum et sur différents angles géométriques d'avance de l'alimentation en carburant (13°, 15° avant PMH et 9° après PMH). Les protocoles des expériences ont été établis et ont permis de déterminer les performances clés du moteur Diesel (Pokusaev, 1989).

Au laboratoire des moteurs propulsifs à combustion interne, le moteur monocylindre à quatre temps a été utilisé pour l'expérimentation. L'ensemble de dispositif d'expérimentation comprenait un moteur Diesel à quatre temps avec un compartiment de cylindre d'alésage 175 mm et de course 240 mm rigidement relié au générateur de courant continu, dont la DDPE, U = 230 volts, I = 55 A pour n = 630 tr/min. Le générateur fournissait l'énergie électrique aux équipements de chauffage dans lesquels ont

été installées des plaques chauffantes appelé TEN 400 (Pokusaev, 1989). Pour la détermination des substances toxiques des gaz d'échappement, l'utilisation de l'analyseur «QUINTOX KM9106» a été privilégiée. Pour déterminer la vibration qu'émet le moteur, le sonomètre 3^{ème} classe-1M a été utilisé. Pour mesurer la pression à l'intérieur du cylindre, lorsque le moteur fonctionne, la culasse a été équipée du capteur piézoélectrique de pression AVL QP500c. Le fonctionnement du capteur piézoélectrique de pression AVL QP500c est fondé sur la capacité de cristaux de certaines substances (quartz, le titane de baryum, le niobium de baryum) qui convertissent l'énergie mécanique en énergie électrique. Le capteur piézoélectrique AVL QP500c peut être également utilisé pour contrôler la pression allant jusqu'à 1000 MPa.

Le matériel a été composé de ce qui suit (figure 1) :

- l'armoire électrique permettant de régler les charges et de contrôler tout le système de fonctionnement du moteur ;
- l'ordinateur personnel (PC) permettant d'enregistrer les résultats obtenus des essais réalisés ;
- le Diesel générateur ayant permis de faire les expériences des paramètres technico-économiques et environnementaux en utilisant le DME ;
- le poste de soudure utilisé pour démarrer le Diesel générateur ; le moteur était démarré par l'air comprimé qui a été supprimé. Ainsi, cet emplacement a été transformé pour injecter le DME comme additif à l'air dans le moteur.

Le combustible pilote a été obtenu à partir du mélange du gazole et DME dans un premier flacon. En remuant le tout, nous avons un mélange homogène. Dans le deuxième flacon du gazole y est versé et du DME y est ajouté sans remuer. Toutefois, au bout de 5 h, la solution est devenue homogène. En ajoutant le DME au gazole le mélange a changé de couleur, du jaune transparent clair à la couleur jaune trouble. Pendant quelques minutes le mélange a dégagé des bulles de gaz sous l'effet de la chaleur. Cependant, le mélange a gardé son homogénéité. Après sept jours, le mélange a changé de couleur, de jaune trouble au jaune clair. Les paramètres analysés sont la viscosité, la densité et le point d'éclair. Le combustible expérimental pilote a été obtenu à partir d'un mélange de gazole et DME dont les taux sont les suivants (tableau 1) : 8,2% ; 7% ; 5% ; 2,8% ; 1%.

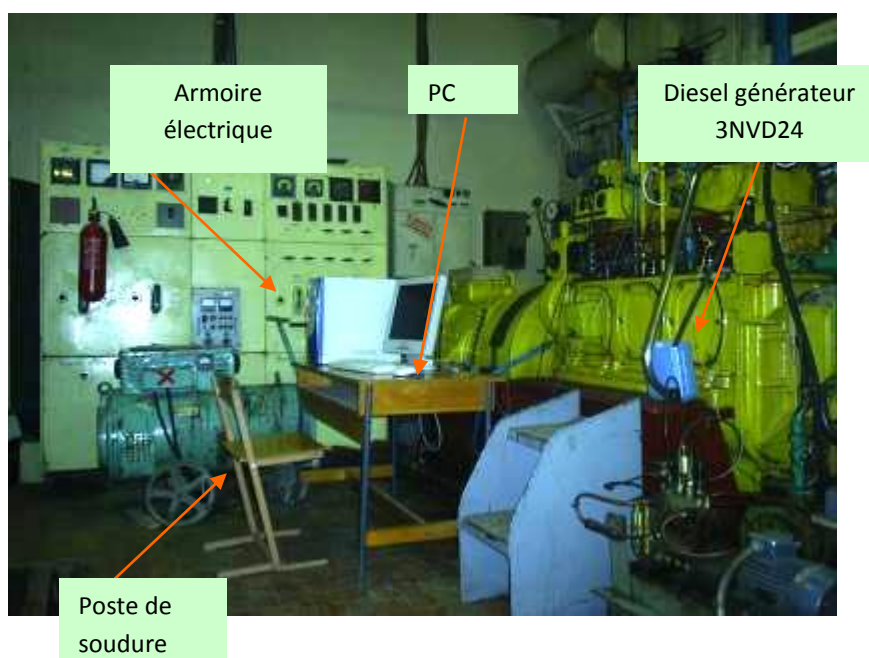


Figure 1. Matériels

RESULTATS

Les propriétés physico-chimiques ont été obtenues par le laboratoire mobile des navires SKLAMT-1 (tableau 1). En variant la concentration de DME comme additif au gazole, le plus grand changement a été observé au point d'auto inflammation, la densité et la viscosité n'ont presque pas changé. La dépendance du point d'auto inflammation à la concentration du DME est illustrée sur la figure 2. En

augmentant le dosage de DME, le point d'auto inflammation a diminué, cela a permis au gazole de s'auto-enflammer plutôt que prévu et a favorisé une combustion complète à l'observation de la fumée de gaz d'échappement avec un minimum de résidus et sans suie. En augmentant le pourcentage de DME (0-1,42%) comme additif à l'air, une réduction de la consommation horaire de gazole de 2 à 16% était observée (figure 3). En outre, la réduction de la consommation spécifique de carburant et l'augmentation du rendement effectif jusqu'à 16% ont été constatés (Figure 3). De même, en augmentant la quantité de DME jusqu'à 1,42% la pression de combustion a augmenté de 8 à 25% (Figure 3).

Tableau 1. Propriétés du combustible expérimental

Concentration de DME dans gazole	Propriétés physico-chimiques		
	Densité	Viscosité	Point d'auto inflammation
8,2%	824 kg/m ³	5,23 cst	51 °C
7,0%	826 kg/m ³	5,23 cst	52 °C
5,0%	826 kg/m ³	5,23 cst	57 °C
2,8%	827 kg/m ³	5,23 cst	58 °C
1,1%	828 kg/m ³	5,23 cst	59 °C

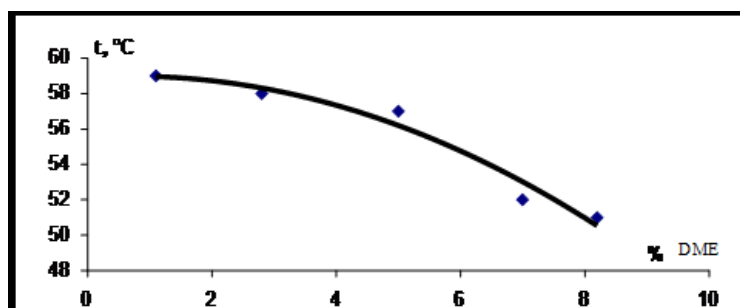


Figure 2. Dépendance du point d'auto inflammation à la concentration de DME

L'observation du bas vers le haut des différents graphiques schématisés sur la figure 3 et leur analyse ont montré ce qui suit :

- La température de combustion du gazole sans additif DME à l'air a été de 381 °C. Au fur et à mesure que la concentration de DME a augmenté, la température a diminué jusqu'à 375 °C, mais elle n'était pas en-dessous de point de rosé qui est la température à laquelle l'humidité de l'air d'admission dans le cylindre commence à se condenser.
- La pression de compression et de combustion ont connu une augmentation. Cela a permis de maintenir la puissance et une bonne évacuation des gaz après combustion et d'éviter les chocs dynamiques parce que le travail accompli par le moteur n'était pas rigide.
- L'indice de cétane du DME est supérieur ou égal à 55 (propriété de DME). Son utilisation comme additif à l'air jusqu'à 1,4% dans les conditions de non modification de l'angle géométrique d'avance de l'alimentation en carburant et autres paramètres de l'organisation des processus de fonctionnement du moteur a conduit à une réduction sensible du bruit de 5 décibels.
- l'utilisation du DME comme additif à l'air, ne nécessitait pas une modification dans la conception du moteur Diesel et de ses composantes. Seuls quelques changements dans les paramètres d'injection de carburant offrait un meilleur fonctionnement du moteur et une réduction de la consommation spécifique de combustible.
- Le rendement (r) a connu une amélioration positive. Avec le combustible gazole le rendement était dans l'ordre de 30%. En utilisant 1.4 % de DME, le rendement a atteint 36% (fig.3 courbe rendement).

Le délai d'inflammation du gazole et de l'éther de diméthyle, c'est-à-dire le temps qui s'écoulait entre le moment où le combustible pénétrait la chambre de combustion et l'instant où il s'enflammait a été suivi (figure 4). Le délai de l'inflammation (courbe DME moteur sans charge) était très court pour le DME (figure 3). Aussitôt injecté dans la chambre de combustion, la course de compression ne s'achevait pas lorsque le DME s'enflammait et prenait fin tout juste après le point mort haut (PMH).

Quant à la combustion de gazole (courbe de gazole), elle s'effectuait un peu avant le point mort haut et prenait fin après le point mort haut même dans la détente, ce qui favorisait la formation des particules et des hydrocarbures imbrulés.

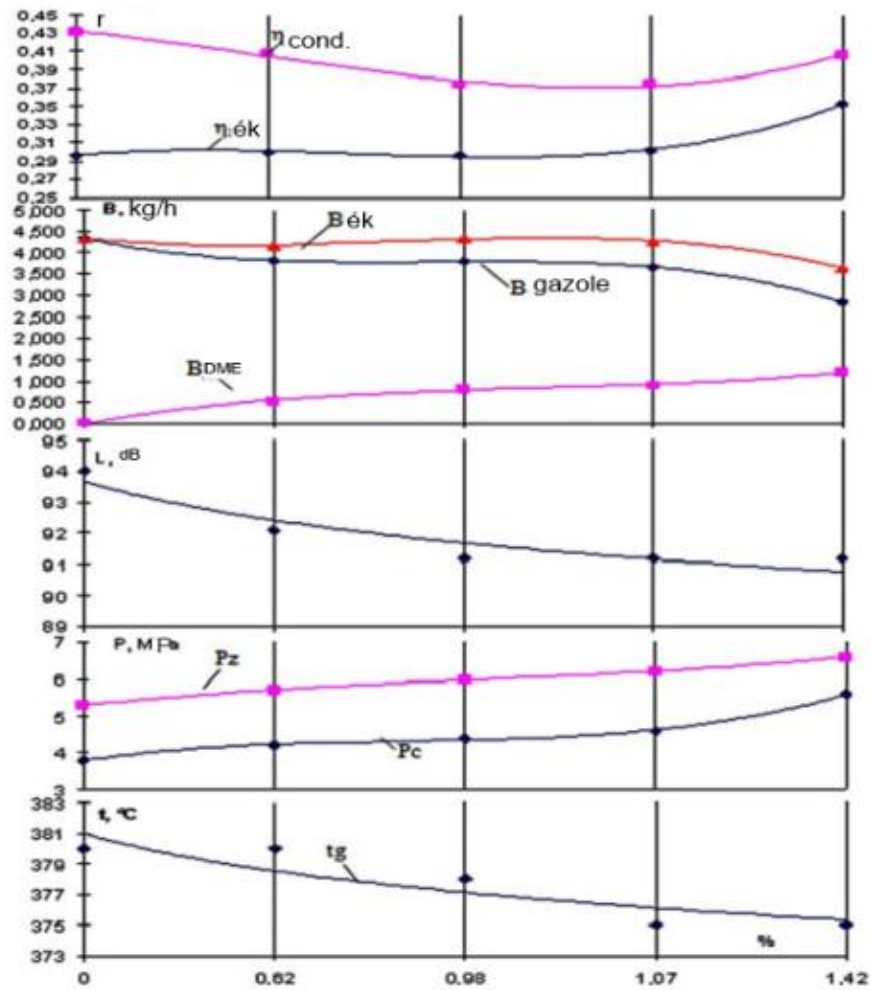


Figure 3. Caractéristiques techniques et les indicateurs économiques basés sur dosage de DME (Angle d'avance de l'alimentation en carburant 15 avant PMH)

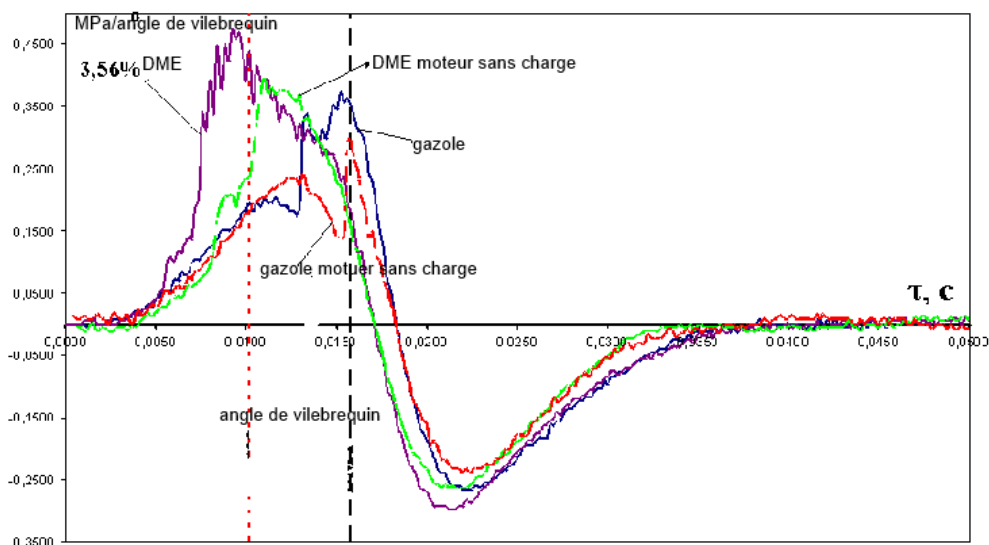


Figure 4. Dépendance du taux de montée en pression de l'angle de rotation du vilebrequin par rapport au temps

Le DME comme additif à l'air (courbe 3,56% DME) permettait une combustion plus complète du gazole qui réduit la formation des rejets nocifs du gaz d'échappement. Cette situation s'expliquait par ses propriétés physico-chimiques qui diminuaient la température dans la zone de combustion. Une combustion plus complète de gazole mélangé au DME est observée dans la mesure où il s'enflammait plus tôt et prenait fin avant la phase de la détente. Les fumées dégagées lors du fonctionnement du moteur à vide, en utilisant le gazole pur et le DME pur ont été mesurées (figure 5). Ainsi, le DME dégageait très peu de fumée, quant au gazole la fumée était trois fois supérieure à celle de DME (figure 5). L'utilisation de DME pure comme un additif à l'air sans utiliser le gazole a réduit considérablement la quantité des oxydes d'azote dans le gaz d'échappement surtout dans les essais à vide (figure 6).

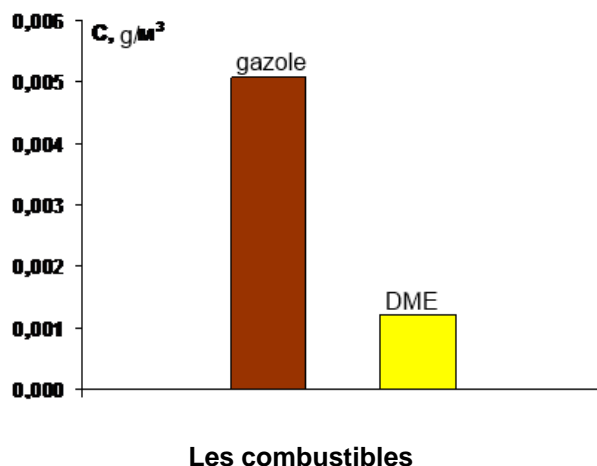


Figure 5. Les émissions de fumée quand le moteur fonctionne à vide en utilisant le DME pur avec de l'air et de gazole

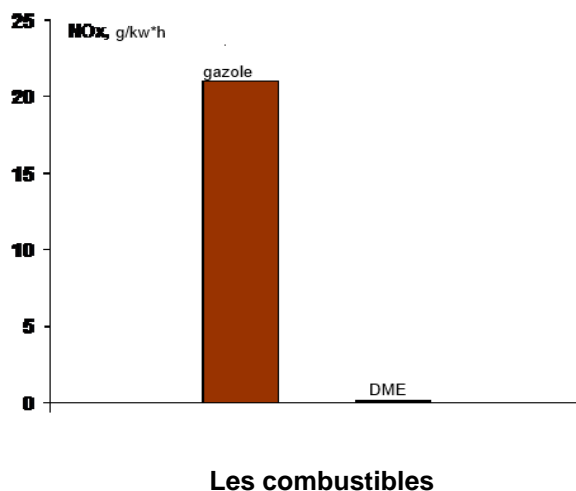


Figure 6. Les émissions d'oxyde d'azote quand le moteur Diesel fonctionne à vide en utilisant le DME pur avec de l'air et de gazole.

DISCUSSION

Une diminution des émissions d'oxydes d'azote (NO) s'observe contre une augmentation de dioxyde de carbone (CO₂) jusqu'à 2,4% et de l'oxygène jusqu'à 1,30%. De même, une hausse de monoxyde de carbone (CO) s'observe jusqu'à 35% contre une réduction du bruit de moteur allant de 3% à 2%. Le bruit produit par le moteur diminue au fur et à mesure qu'augmente la dose de l'éther de diméthyle. La condensation de l'air d'admission entraîne la formation des acides qui détruisent le système bielle manivelle. Cela permet d'éviter les effets thermiques du système bielle manivelle du moteur (Kamkin *et al.*, 1990). La fumée noire issue des gaz d'échappement du moteur Diesel est presque inexistante conformément aux travaux de recherche de Ichhanyan (2004) sur l'amélioration des paramètres écologiques du moteur Diesel rapides utilisant le DME comme combustible principal. En effet, les expériences de Ichhanyan en 2004 ont conduit à l'absence de suie dans le gaz d'échappement et à la réduction d'oxyde d'azote de 3 à 1,6 fois par rapport au gazole. Cependant, Ichhanyan (2004) a observé une augmentation de mono oxyde de Carbone (CO) et d'hydrocarbures imbrulés (HC).

Cette étude utilise le DME comme additif à l'air parce que sur les bateaux l'utilisation d'un combustible comme principal dont le point d'éclair est inférieur à 62 °C est interdite, alors que le point d'éclair de DME est -70 °C (propriété physico-chimiques de DME). Le Dr. Ebrahim en 2005 a travaillé sur la conception des méthodes d'organisation du processus de fonctionnement du circuit d'alimentation du moteur Diesel utilisant comme carburant le DME. Il a conçu un modèle de pompe d'injection pour le DME. La plupart des chercheurs ont jusque-là effectuées leurs expériences sur des moteurs Diesel rapides, tandis que cette étude est conduite sur les moteurs Diesel marin à vitesses moyennes. Les résultats obtenus se rapprochent de ceux cités ci-dessus ayant conduit des recherches sur le nouveau carburant (DME).

CONCLUSION

Les résultats obtenus sur le cycle complet du moteur Diesel monocylindre 3NVD24 et leurs analyses montrent que l'éther de diméthyle comme carburant pour les moteurs Diesel à quatre temps à vitesse moyenne des navires ou en combinaison avec gazole peut être recommandé à l'utilisation à grande échelle dans les navires comme un moyen pour l'amélioration de leurs performances techniques, économiques et environnementales. Le schéma d'utilisation de l'éther de diméthyle (DME) comme additif à l'air est simple et permet de quitter un système d'alimentation en combustible à un autre dans les deux sens (gazole ↔ gazole + DME ↔ DME). Ainsi, sans une modification spécifique des paramètres du circuit d'injection de gazole dans le circuit, le mélange gazole et éther de diméthyle donne les meilleurs résultats sur tous les paramètres techno-économiques et écologiques. La quantité nécessaire recommandée de l'éther de diméthyle comme additif à l'air varie de 0,6 à 1,4%. Les résultats positifs obtenus confirment l'utilisation de l'éther de diméthyle pour les moteurs Diesel. Par conséquent, l'éther de diméthyle peut être utilisé comme additif à l'air dans les moteurs Diesel des navires.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Akobia, C.E., Smirnova, T.N., 1999: Perspectives de réduction les émissions des substances toxiques en utilisant l'éther de diméthyle / camions et d'autobus, trolleybus, tramway. Moscou, Russie. № 2, 27-29 p.
- Borichenko, H. E., 2007 : conception et recherche sur les injecteurs des moyens de transports Diesel utilisant les carburants conventionnels et alternatifs. Université Technique D'Etat de Moscou du nom de Bauman, Russie, 195 p
- Ebrahim E., 2005 : la Conception des méthodes d'organisation du processus de fonctionnement du circuit d'alimentation du moteur Diesel utilisant comme carburant le DME. Moscou Russie -167 p.
- Geb Bao Li, 2010: dimethyl ether (DME): a new alternative fuel for Diesel vehicle. Advance Materials Research. ISSN: 1662-8985. Vol. 156 – 157 (2011) pp. 1014-1018. doi: 10.402. <http://www.scientific.net-AMR>.
- Golubkov, L. N., Ishkhanyan, A.E., 2003 : Recherche et développement de système de carburants des moteurs Diesel, utilisés comme carburant, l'éther de diméthyle. Résumés de la conférence technico-scientifique . - Moscou: MADI (STU), - 186 p.
- Kamkin, C., B. Bozniskil, B. chmeliev, 1990: Exploitation des moteurs Diesel marins. Moscou, Russie. 344 p.
- Ichhanyan, A.E., 2007 : Amélioration des paramètres écologiques des moteurs Diesel en utilisant comme carburant l'éther de diméthyle. PhD. Université Technique d'Etat de Moscou, institut de transport d'automobile. Moscou, Russie, 182p.
- Langmeer, D., 2006 : Diminution des émissions d'oxydes d'azote des gaz d'échappement des moteurs Diesel en utilisant comme additif, l'éther de diméthyle en combinaison avec le gazole. Travail de diplôme DT- 240500(180403.65)- 0736- 2006. Université Technique d'Etat d'Astrakhan, Russie. 120 p.
- Lim, O. T., Y. Sato, H. Oikawa, S. Nozaki, T. Noda, T. Ushiyama, 2008: Development of dimethyl ether engines for light duty trucks using a large exhaust gas recirculation system. Academic Journal Proceedings of the institution of Mechanical Engeneer- Part D; Jan 2008, Vol. 222, Issue 1, 144 p
- Morozov, K.A., 1998 : Toxicité des moteurs de voiture: Manuel de Formation MADI - M. , Russie, 84.p
- Novikov, M. E., 2010 : Obtention de DME à partir de méthanol, Université de Mendeleïev, D. I. Moscou Russie, 138 p.
- Ovsiannikov, M.K., Petukhov, V.A., 1986 : Moteur Diesel marin. Memento. L. construction navale. Leningrad, Russie. 340 p.
- Pokusaev, M.N., 1989 : L'équipement énergétique principale de navire, Méthodique des instructions pour le travail de laboratoire. La Conception et les installations énergétiques et électriques des navires. Astrakhan, Russie, 20 p.
- Pokusaev, M.N.2006 : Utilisation de l'éther de diméthyle comme carburant. Astrakhan, Russie, 35 p.
- Smirnov, T., 1999 : le nouveau carburant (DME) dans la revue « moteur N°2, pp. 42-43, Russie.
- Shuaiging Xua, Yang Wanga, Xiao Zhangb, Xudong Zhena Chengjiun, Tao, 2012 : Development of a novel common –rail type dimethyl ether (DME) injector. Applied Energy, volume 36, Issue 7, April 2011, pp. 4354 – 4365.