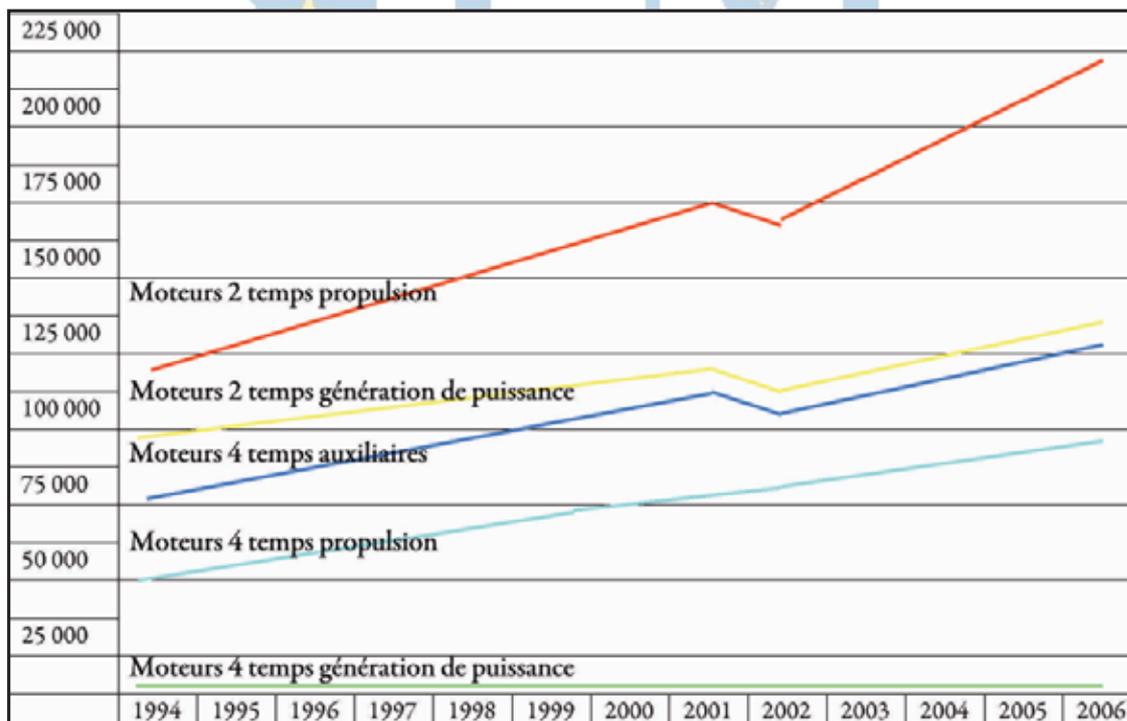


Évolutions des produits pétroliers pour les applications sur moteurs marins

Philippe Girard, Guy Claus

Total direction scientifique, Total direction stratégie raffinage marketing

L'augmentation de l'activité industrielle et commerciale au niveau mondial et la « globalisation » des activités des entreprises conduit à une utilisation toujours plus importante des produits pétroliers comme source d'énergie pour le transport. Le transport par navire ne fait pas exception à cette tendance. Le trafic maritime, principalement propulsé par des moteurs deux temps, est depuis de nombreuses années en forte progression. Bien qu'il soit intrinsèquement peu polluant (en volume de polluant émis rapporté à la tonne de produit transporté et au kilomètre parcouru), il est de plus en plus décrit comme étant fortement contributeur aux émissions dans l'atmosphère, du fait de sa forte activité.



Évolution du marché des moteurs marins (propulsion et auxiliaires) de génération de puissance (MW).

Source : Chevron-Texaco

Les émissions atmosphériques des navires

Émissions de combustion

D'une manière générale les émissions atmosphériques des moteurs diesels sont de deux sortes :

- Les émissions impactant la qualité de l'air et l'acidification des sols. On retrouve dans cette catégorie les polluants traditionnels des moteurs : Les oxydes de soufre SO_x , sous forme SO_2 ou SO_3 provenant de l'oxydation du soufre contenu dans le carburant et qui, par recombinaison avec la vapeur d'eau, devient une source d' H_2SO_4 (acide sulfurique) principal contributeur à l'acidification des eaux de pluie. Les oxydes d'azotes NO_x , formés lors de la combustion et qui proviennent de l'oxydation de l'azote de l'air et/ou de l'azote contenu sous forme de traces dans le carburant. Les particules soit directement émises à la cheminée (particules primaires), soit formées en aval par condensation des SO_x et par réaction des SO_x et NO_x avec des polluants provenant d'autres sources, principalement l'ammoniac venant de l'agriculture (particules secondaires). L'ozone troposphérique (O_3) est un polluant n'est pas directement généré par les moteurs mais provient de la réaction photochimiques des NO_x avec l'oxygène de l'air et les composés organiques provenant de sources naturelles ou des activités humaines.

- Les émissions impactant le changement climatique. On retrouve surtout le CO_2 , principal gaz à effet de serre, formé lors de la combustion de produits hydrocarbonés.

Autres émissions atmosphériques des navires

Aux émissions venant de la combustion il faut ajouter celles venant des incinérateurs, les COV (composés organiques volatils) résultant de l'évaporation des fractions légères des hydrocarbures lors des opérations de remplissage et de vidage de pétroliers, les gaz appelés ODS (*ozone depleting substances*), susceptibles d'altérer la couche d'ozone stratosphérique. Sur les navires, ce sont essentiellement les halons, utilisés dans les anciens systèmes d'extinction automatique des incendies, et les CFC (chlorofluorocarbones) utilisés comme réfrigérants qu'il convient de remplacer lorsque cela est possible par les hydro-chlorofluorocarbones (HCFC) reconnus comme étant moins agressifs pour la couche d'ozone.

La réglementation des émissions

La situation actuelle

La convention MARPOL Annexe VI. La réglementation des émissions atmosphériques dans les eaux internationales est déterminée par l'annexe VI de la convention MARPOL, adoptée en 1997 et entrée en vigueur en 2005 après ratification par un nombre suffisant de pays. Cette convention précise, entre autres mesures, que la teneur en soufre des combustibles marins ne doit pas dépasser 4,5 % dans le monde, et 1,5 % dans

Transport maritime et environnement

Évolutions des produits pétroliers pour moteurs marins

les zones dites SECA (pour SO_x emission control areas), ces zones étant désignées par l'OMI sur une demande des États concernés, sous la condition que le coût de contrôle des émissions en mer soit moins élevé que le coût des autres mesures, notamment sur le continent, aboutissant au même bénéfice environnemental.

Alternativement à l'usage de combustibles à teneur en soufre réduite, les navires peuvent s'équiper de systèmes de traitement de fumées aboutissant à la même réduction des émissions, sous réserve qu'il n'y ait pas d'impact sur les écosystèmes, notamment par les rejets en mer.

En Europe deux zones SECA ont été définies : la mer Baltique (SECA 1), la Manche et la mer du Nord (SECA 2). Ces deux zones sont entrées respectivement en application les 19 mai 2006 et 22 novembre 2007. L'Union européenne a étendu l'obligation d'utiliser les combustibles à basse teneur en soufre à tous les ferries (directive EU 2005/33/EC du 6 juillet 2005).

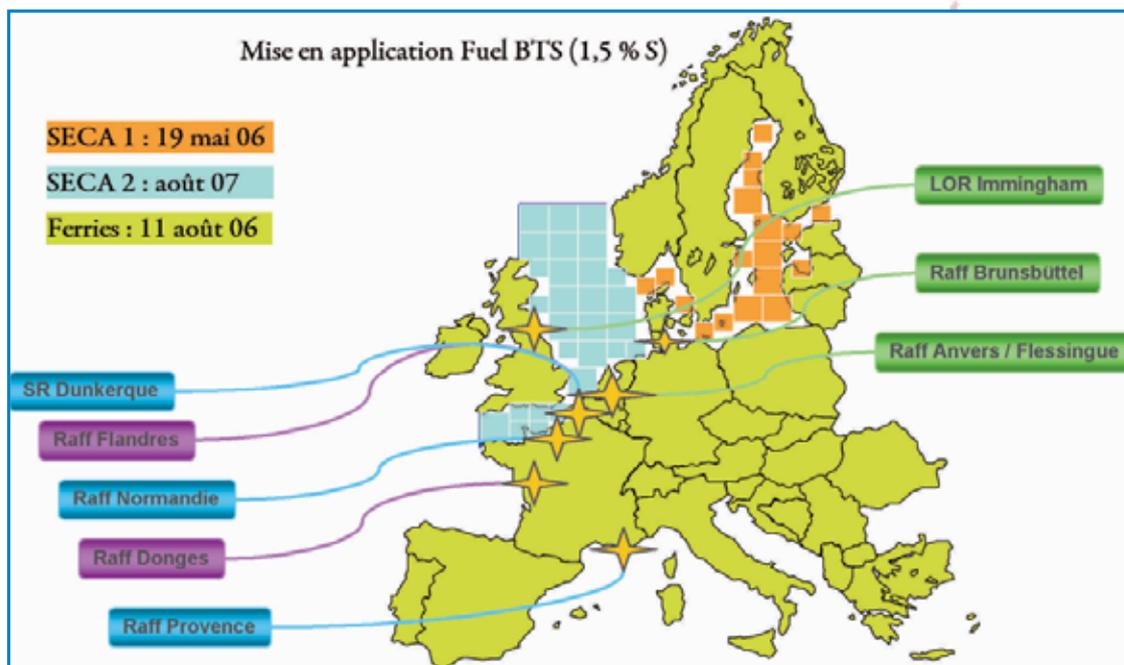


Fig. 2 : Évolutions réglementaires - Positionnement des zones SECA 1 et SECA 2 et des principales raffineries européennes du Groupe Total - Source Total

Une étude d'évaluation des émissions de soufre menée par le groupe de recherche ShipNODeff pour le compte de HELCOM a permis d'estimer la réduction d'émission de SO_x sur la mer Baltique seule à plus de 150 000 t/an. Le bénéfice environnemental, en terme de gain de santé des populations et de réduction de l'acidification des sols reste à évaluer.

Les initiatives des États. Certains ont pris des mesures spécifiques dans leurs eaux territoriales :

- L'Union européenne (directive EU 2005/33/EC - art 4b) fixe à 0,1 % la teneur maximale en soufre du gazole pour moteurs marin (contre 0,2 %) à partir du 1^{er} janvier 2010. Cette limitation s'appliquera à tous les navires au mouillage et à la batellerie.
- La Californie, via le California air resources board (CARB), a annoncé début 2007 la mise en place d'une législation pour réduire les émissions des moteurs diesels auxiliaires

Transport maritime et environnement

Évolutions des produits pétroliers pour moteurs marins

des navires opérant à moins de 24 milles nautiques des côtes. Pour l'instant cette directive californienne ne s'applique a priori qu'aux moteurs auxiliaires et ne concerne pas les moteurs de propulsion, ni les chaudières ou les turbines.

Le tableau suivant synthétise les réglementations déjà décidées :

| Date | Origine | Objet | Mers | Navires | % S |
|------------------------|---------|------------------------------------|------------------|---------|-----|
| 19 V 2005 | OMI | Application MARPOL - annexe VI | | | |
| 11 VIII 2005 | UE | Adoption d. 2005-33 (rev. 1999-32) | | | |
| 19 V 2006 | OMI | Application SECA 1 | Baltique | Tous | 1,5 |
| 11 VIII 2006 | UE | Application SECA 1 | Baltique | Tous | 1,5 |
| 11 VIII 2006 | UE | Application directive 2005-33 | Toutes eaux EU | Ferries | 1,5 |
| 1 ^{er} I 2007 | CARB | Littoral de Californie | Zone des 24 NM | Tous | 0,5 |
| 11 VIII 2007 | UE | Application SECA 2 | Manche - M. Nord | Tous | 1,5 |
| 22 XI 2007 | OMI | Application SECA 2 | Manche - M. Nord | Tous | 1,5 |
| 1 ^{er} I 2010 | UE | Règle mouillage | Tous ports EU | Tous | 0,1 |
| 1 ^{er} I 2010 | CARB | Littoral de Californie | Zone des 24 NM | Tous | 0,1 |

L'évolution de la réglementation

L'évolution de la réglementation résultera principalement de la révision de l'annexe VI de la convention MARPOL, commencée en 2005 et qui devrait s'achever en 2008. En 2007, le secrétaire général de l'OMI a fait appel à un groupe d'experts pour documenter et évaluer différentes options en discussions.

Lors de la 57^e session de son comité environnement (MEPC, Maritime Environmental Protection Committee), l'OMI a approuvé les mesures suivantes, en vue de leur adoption lors de la 58^e session prévue en octobre 2008 :

- une réduction de la teneur maximale en soufre à 3,5 % en 2012, puis 0,5 % en 2020, une clause de révision qui prévoit de reporter à 2025 la date d'entrée en vigueur de vérifier des combustibles à 0,5 % maximum si ces produits ne sont pas disponibles en quantité suffisante,
- une réduction à 1,0 % de la teneur maximale en soufre dans les SECA à partir de 2010, puis 0,1 % à partir de 2015,
- un allègement (*relaxation*) des critères de désignation des zones SECA, devenues ECA (*emission control areas*) devant permettre de faciliter la mise en place de nouvelles zones SECA. Les termes de cet allègement seront définis à la session d'octobre.

Il n'y a actuellement aucune demande officielle de déclaration en zone ECA,



mais des études ou des intentions ont été annoncées pour les côtes américaines, la Méditerranée, voire la côte atlantique européenne et dans les zones de trafic intense en Asie.

Parallèlement, des limites plus sévères sont fixées aux émissions d'oxydes d'azote, adaptées selon que le navire est neuf ou ancien.

Les défis techniques posés par la réglementation

Pour rendre applicable la réglementation, les acteurs doivent ou devront, autant qu'ils le peuvent, résoudre un certain nombre de difficultés techniques.

Prélèvements et contrôles

Les autorités des différents pays bordant la mer Baltique ont mis en place une procédure simple et un système de prélèvement fiable. Des laboratoires ont été agréés pour réaliser ensuite le contrôle de la teneur en soufre des échantillons de fioul prélevés. En 2006, sur les 1 879 navires contrôlés, seulement 28 ne satisfaisaient pas les exigences réglementaires, ce qui montre que les mesures prises ont été pleinement acceptées dans cette zone géographique.

Adaptation des navires

Gestion des fluides, combustibles et lubrifiants. Pour les navires opérant dans les zones SECA, le passage à un nouveau carburant moins soufré n'a pas posé de problème majeur. Une attention particulière a été portée à la qualité des lubrifiants présents dans les gammes des pétroliers afin de choisir ceux dont la capacité de neutralisation des composés soufrés acides formés lors de la combustion est la plus efficace. La surveillance des moteurs par analyses régulières des lubrifiants (système DIAGOMAR ou ANAC par exemple) et les vérifications lors des maintenances périodiques ont permis de rassurer les exploitants sur ce point.

Pour les navires entrant et sortant régulièrement des zones SECA le problème est beaucoup plus compliqué. En effet, ces bâtiments vont être régulièrement appelés à passer d'un carburant à haute teneur en soufre à un carburant à faible teneur. Ceci conduit inévitablement à se poser la question de l'adaptation du lubrifiant, et de la maîtrise du risque d'usure prématurée de certaines pièces des moteurs (ensemble segment piston chemise par exemple). Ceci conduit à ajouter un ou plusieurs réservoirs de carburants et à proposer deux lubrifiants, ainsi qu'un dispositif de permutation, d'où des investissements, un encombrement augmenté, ainsi qu'une gestion soignée des différentes qualités de fluides pour limiter les risques d'erreur.

Le traitement des fumées. Le lavage de fumées peut être une option alternative à l'utilisation de combustible bas soufre. Ces dispositifs (*scrubbers*) sont des tours de lavage de gaz qui fonctionnent soit avec de l'eau de mer en boucle ouverte et avec rejet en mer, soit avec de l'eau additionnée d'un produit basique, en boucle fermée sans rejets

en mer. L'OMI a approuvée provisoirement des critères de qualité acceptables des eaux rejetées par les systèmes de lavages de fumées. Les boues récupérées à bord par ces systèmes doivent être ensuite traités à terre par des unités appropriées.

Il n'y a pas à ce jour de système de lavage en opération commerciale, mais certains acteurs, dont des constructeurs de moteur, se sont engagés dans cette voie. Des opérations pilotes sont en cours pour évaluer les performances, la fiabilité de fonctionnement, les phénomènes de corrosion... Ceci laisse espérer une offre technologique variée dans les prochaines années.

Un autre challenge technologique se profile à l'horizon pour réduire les émissions d'oxydes d'azote. Les motoristes développent des techniques d'adaptation de la combustion, basées sur de nouvelles techniques d'injection et sur l'addition d'eau. Il reste à savoir si elles seront suffisamment efficaces pour ne pas avoir à recourir au traitement des fumées (type réduction catalytique) et si elles ne seront pas trop pénalisantes sur l'efficacité énergétique de la propulsion.

Les réponses des pétroliers

Les réglementations en cours et à venir posent des problèmes de qualité et de disponibilité des produits pétroliers, auxquels les compagnies pétrolières s'efforcent de répondre.

La lubrification. Une nouvelle technologie a été développée que l'on pourrait qualifier « d'auto adaptative » en fonction du type de fioul utilisé et de sa teneur en soufre. Cette innovation développée par Total et baptisée TALUSIA Universal, présente une réelle avancée technique. Elle est basée sur la connaissance des mécanismes de neutralisation des acides formés dans les moteurs par les additifs « surbasés » des lubrifiants, les détergents. Ces lubrifiants permettent d'éviter d'avoir à investir dans plusieurs réservoirs et circuits d'huiles séparés.

Les propriétés de ce produit sont issues d'une technologie unique d'additifs brevetée par Total, qui permet d'améliorer l'efficacité de la réaction de neutralisation. Il permet au client d'avoir des bénéfices immédiats en terme de simplification, d'économie et de sécurité au niveau moteur. La simplification est réelle car l'équipage d'un navire n'a plus qu'à utiliser un seul lubrifiant moteur à bord. L'économie est surtout liée au management d'une seule qualité de lubrifiants. Et la sécurité vient du fait que le risque d'oublier de changer de lubrifiant pendant la phase de changement de fuel n'existe plus, si bien que la responsabilité de l'équipage en est minimisée.

Les combustibles : des risques très forts sur l'approvisionnement. Pour approvisionner des SECA actuelles en combustible à 1,5 % de soufre maximum, les raffineries ont utilisé des bruts peu soufrés, principalement issus de la Mer du Nord et déjà présents dans les gammes de bruts traités. Ceci explique qu'il n'y ait pas eu de problèmes d'approvisionnement. Les pétroliers ont dû adapter leur logistique en fonction de contraintes accrues sur la gestion des mélanges en raffinerie.

Pour l'avenir proche, la réduction des teneurs maximum en soufre à 1 % dans les ECA en 2010 et à 3,5 % globalement en 2012 ne devrait pas poser de difficultés majeures. Des difficultés locales ne sont cependant pas à exclure, selon les ressources en

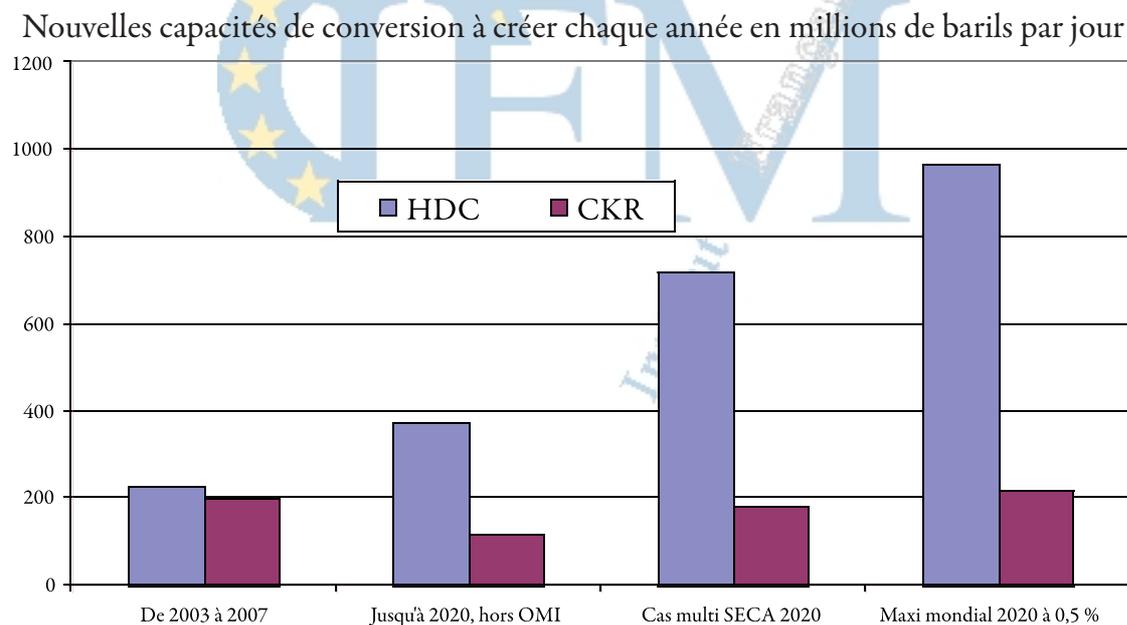
Transport maritime et environnement

Évolutions des produits pétroliers pour moteurs marins

brut. Il en va tout autrement des réductions à 0,1 % dans les ECA en 2015 et 0,5 % globalement en 2020 ou 2025. L'industrie du raffinage, représentée à l'OMI par l'IPIECA (*international petroleum industry environmental conservation association*), a émis une mise en garde sur la disponibilité de ces produits aux dates proposées.

À ces basses teneurs en soufre, les combustibles seront essentiellement composés de distillats. La production de ces distillats, en substitution des produits résiduels actuels, ne peut être assurée que par des équipements lourds dits de « conversion profonde », dont la capacité actuelle dans le monde est insuffisante. De plus, la demande mondiale en distillat (kérosène, gazole routier et agricole, fioul domestique) est en forte croissance du fait des transports routiers et aériens. À cela s'ajoute, dans les pays occidentaux, la réduction des teneurs en soufre des gazoles routiers à des niveaux extrêmement faibles (0,001 %) pour permettre le fonctionnement des systèmes catalytiques de post-traitement des véhicules.

Le raffinage mondial est en plein effort d'investissement pour suivre la demande croissante en distillats. Le groupe Total y a contribué par des investissements déjà réalisés et ses réalisations prochaines portent sur la conversion profonde : nouvelle raffinerie en Arabie Saoudite, unité de cokage aux États-Unis... Plus globalement, les efforts à réaliser ont été évalués par le groupe des experts de l'OMI et sont illustrés sur le diagramme ci-dessous.



Rythme de croissance des capacités de conversion. Différents scénarios respectifs : situation actuelle, croissance de la demande prévisible hors OMI, demande 20 % de combustible à 0,1 % de soufre en 2020, tous combustibles marins en dessous de 0,5 % en 2020. (Source OMI)

HDC : hydrocraquage ; CKR : cokage

On constate que les mesures approuvées par l'OMI nécessiteront un triplement ou un quadruplement de ce rythme de construction. Ceci paraît extrêmement difficile avec les capacités mondiales d'ingénierie et de construction, déjà extrêmement sollicitées et qui ne peuvent elles-mêmes être rapidement accrues. Quelles que soient

les incitations économiques, la production des volumes additionnels de distillats pour couvrir la demande en combustible marin tel qu'envisagée par l'OMI ne semble pas possible avant plusieurs décennies.

La mise en application des mesures approuvées en avril par l'OMI aboutirait dès 2015 à une augmentation très forte des tensions sur le marché des distillats (gazole pour la marine, *jet*, gazole routier et agricole, fioul domestique), voire de sérieuses difficultés d'approvisionnement si le nombre de zones SECA était augmenté, avec des incidences économiques et sociales très fortes. De plus, elle aggraverait la sécurité d'approvisionnement de l'Europe, et plus particulièrement celle de la France déjà dépendante de la Russie et du Moyen-Orient pour près de 25 % de son approvisionnement en distillats.

De plus, la conversion a un impact en termes d'émission de CO₂ et de surconsommation énergétique. Les experts de l'OMI ont évalué que la limitation mondiale de la teneur en soufre à 0,5 % conduirait à une surémission nette de 35 Mt/an de CO₂.

Conclusion

A lors que l'activité de transport maritime est une activité en croissance forte, les discussions relatives aux normes environnementales limitant les émissions des navires ont commencé à évoluer et s'accroissent depuis quelques années. La création récente en Europe des zones SECA en est la première étape, préliminaire à des nouveaux changements devant intervenir dans les prochaines décennies. Les changements à court terme devraient être réalisables sans difficultés majeures.

Mais des difficultés de premier ordre, voire insurmontables, sont très probables à partir de 2015. En premier lieu, la réduction continue de la teneur en soufre des différents combustibles est la plus spectaculaire. On ne voit pas aujourd'hui comment le raffinage pourrait physiquement opérer la mutation nécessaire à la production de ces combustibles, que ce soit par l'introduction de nouveaux procédés de désulfuration profonde, ou par la formulation de nouveaux fuels adaptés à la législation et aux nouvelles motorisations.

Les pays promoteurs de ces changements reconnaissent qu'ils ne peuvent être que progressifs car ils combinent une mutation des procédés et une évolution profonde de la logistique de distribution de ces produits. En effet le durcissement des spécifications des fiouls marins a pour limite, et ce malgré les investissements déjà faits, la capacité physique des usines à produire ces différentes qualités, dans les quantités requises et à les rendre disponibles là où le besoin existe.

D'autres technologies sont également développées ou à l'étude comme les lavages des fumées, ou l'adaptation des techniques de réduction des oxydes d'azote, déjà utilisées par ailleurs, aux moteurs marins. Cela induit bien sûr l'étude des effets de ces différentes solutions sur l'environnement et sur la fiabilité des ensembles mécaniques.

Toutes les conséquences sur les moteurs ne sont pas encore clairement identifiées, mais des solutions particulièrement innovantes en matière de lubrification font déjà leur apparition et devraient contribuer à limiter les investissements nécessaires pour l'adaptation des navires en limitant le nombre de stockages à bord.

Transport maritime et environnement

Évolutions des produits pétroliers pour moteurs marins

À moyen terme, le rapprochement des études sur les limites des émissions polluantes et sur les rejets de gaz à effet de serre est nécessaire pour permettre l'atteinte des objectifs futurs et quantifier les rejets sur ces deux sujets. Tout ce travail est à rapprocher des besoins environnementaux. Ceux-ci doivent être exprimés non pas uniquement en réduction des volumes de polluants émis, mais en réduction de leur impact environnemental.

Enfin, le transport utilise aujourd'hui un carburant qui lui est dédié et qui devrait fondamentalement rester économique par rapport au distillat. Un transfert vers le gazole supprimerait cet avantage compétitif par rapport aux autres moyens de transports, avec des risques de transfert partiel du trafic vers les autres modes de transport, sans forcément réduire les impacts environnementaux.

En fin de compte, nous faisons nôtre les paroles du secrétaire général de l'OMI : répondre « *oui à toute mesure nécessaire pour protéger l'environnement, pour autant qu'elle soit réaliste, pragmatique, réalisable et efficace, et pour autant que les efforts pour améliorer un aspect des performances du trafic maritime ne conduise pas à une détérioration dans d'autres domaines du transport et de l'énergie.* »

Victor Hugo disait : « *C'est une triste chose de penser que la nature parle, mais que le genre humain ne l'écoute pas.* » Qu'il soit rassuré, le monde de la mer commence à écouter cette nature qu'il côtoie en permanence et il a compris que ce n'était pas que le chant des sirènes

Références :

- Bo Svensson : *Emissions reduction strategies target SO_x*, Diesel and gas turbine - Worldwide March 2007
- JO de l'UE : directive EU 1999/32/EC du 26 avril 1999, directive EU 2005/33/EC modifiant la directive 1999/32/EC.
- IMO MARPOL 73/78 Annexe VI
- ABS (American Bureau of Shipping) guide to Shipowners : *Understanding MARPOL Annex VI*
- Hans Meijer : *Marpol Annex VI : The way forward* DG Environnement CE
- Patrick Havil & all : *Total Lubricants One lub for all* : CIMAC paper n° 61
- Marine fuel sulphur legislation : Shell Marine Products web site
- Kittiwake : Bunker samplers for fuel delivery
- Corbett J.J., Winebrake J.J., Green, E.H., Kasibhatla P., Eyring V., and Lauer A. : *Mortality from ship emissions : A global assessment*, Env. Sci. Technol, Am. Chem. Society, 42(24), p. 8512–8518, December 15, 2007
- Janusz Cofala, Markus Amann, Chris Heyes, Fabian Wagner, Zbigniew Klimont, Max Posch, Wolfgang Schöpp, Leonor Tarasson, Jan Eiof Jonson, Chris Whall, Andrianna Stavrakaki : *Analysis of Policy Measures to Reduce Ship Emissions in the Context of the Revision of the National Emissions Ceilings Directive*, European Commission, DG Environnement CE
- International Maritime Organisation, BLG 12/6/1, *Report on the outcome of the informal Cross Government/Industry Scientific Group of Experts established to evaluate the effect of the different options proposed under the revision of MARPOL annex VI*, 20 December 2007 ; BLG 12/INF.10, *Input from the four subgroups and individual experts to the final report of the Informal Cross Government/Industry Scientific Group of Experts*, 20 December 2007 ; MEPC 57/WP 7, *Prevention of Air Pollution from Ships. Report of the Working Group on Annex VI and the NO_x Technical Code*. 3 April 2008 ; MEPC 57/INF.25, *Address of the Secretary-General at the opening of the fifty-seventh session of the Marine Environment Protection Committee*, 31st March 2008