



**HAL**  
open science

# Les permis d'émission de CO<sub>2</sub> dans le transport maritime : quels effets possibles sur les lignes régulières conteneurisées ?

Pierre Franc, Lisa Sutto

## ► To cite this version:

Pierre Franc, Lisa Sutto. Les permis d'émission de CO<sub>2</sub> dans le transport maritime : quels effets possibles sur les lignes régulières conteneurisées ?. Les Cahiers Scientifiques du Transport / Scientific Papers in Transportation, 2012, 62, pp.111-132. halshs-01366275

**HAL Id: halshs-01366275**

**<https://shs.hal.science/halshs-01366275>**

Submitted on 14 Sep 2016

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - ShareAlike| 4.0 International License

## **LES PERMIS D'ÉMISSION DE CO<sub>2</sub> DANS LE TRANSPORT MARITIME : QUELS EFFETS POSSIBLES SUR LES LIGNES RÉGULIÈRES CONTENEURISÉES ?**

PIERRE FRANC  
DGITM-MEDDE

LISA SUTTO  
DGITM-MEDDE &  
LET-UNIVERSITÉ DE LYON

### **INTRODUCTION**

En 2007, les émissions de gaz à effet de serre générées par le transport maritime international représentaient environ 3 % des émissions mondiales. Selon l'Organisation Maritime Internationale (OMI), dans un scénario au fil de l'eau, le trafic devrait être multiplié environ par quatre entre 2007 et 2050 et les émissions entre deux et trois fois dans le même temps (IMO, 2009). Avec de telles prévisions, si le secteur du shipping reste certes à l'écart des mécanismes de réduction institués par le protocole de Kyoto, le débat sur la réglementation applicable aux émissions du secteur monte en puissance dans plusieurs enceintes internationales : à l'OMI, au niveau de la Convention-Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique (CCNUCC) et au sein de l'Union européenne. Ainsi, si les modalités d'une nouvelle politique climatique pour le secteur maritime restent encore à définir, la Commission

européenne a déjà proposé, dans son nouveau Livre Blanc des transports du 28 mars 2011, que « *les émissions de CO<sub>2</sub> de l'UE liées aux transports maritimes devront être réduites, d'ici à 2050, de 40 % (et si possible de 50 %) par rapport aux niveaux de 2005* » (COMMISSION EUROPÉENNE, 2011).

Un certain nombre de travaux se sont attachés à estimer le potentiel de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> du transport maritime (CRIST, 2009 ; EIDE et alii, 2009 ; EIDE et alii, 2011), en mettant l'accent sur le potentiel lié aux mesures technologiques (EYRING et alii, 2005) et opérationnelles (CORBETT et alii, 2009 ; KONTOVAS, PFARASTIS, 2011). Un double consensus semble émerger : d'une part les seules dynamiques de marché existantes ne devraient pas permettre de limiter sensiblement voire de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> du transport maritime, d'autre part les principales réductions d'émissions de CO<sub>2</sub> dans le transport maritime devraient être générées par des évolutions opérationnelles, plus que par des améliorations technologiques sur les navires (CAS, 2010).

Dans ces conditions, l'OMI a donné mandat à son Comité pour la Protection du Milieu Marin (MEPC) pour identifier et développer un instrument de marché applicable au secteur maritime à l'échelle mondiale. Les travaux et les négociations sont en cours depuis 2008 et prévoyaient une décision finale lors de l'assemblée générale de l'OMI fin 2011. Toutefois, la Commission européenne a décidé que, si aucun accord ne devait se dégager à l'échelle mondiale d'ici la fin de l'année 2011, un instrument de régulation devra être mis en place à l'échelle européenne afin d'inclure les émissions du transport maritime dans la stratégie Europe 2020<sup>1</sup>.

Depuis 2008, les pays membres de l'OMI ont déposé de multiples soumissions concernant la définition et l'architecture d'un mécanisme de marché pour le transport maritime. Les pays européens ont proposé des instruments appartenant à deux grandes catégories : d'une part l'écotaxe dont le principe a été rendu célèbre par PIGOU en 1920 ; d'autre part les permis d'émissions négociables émanant des travaux successifs de COASE (1960) sur les coûts externes, de DALES (1968) sur la régulation des usages des forêts et de MONTGOMERY (1972) sur la formalisation des marchés de permis.

D'un point de vue théorique, la taxe et le permis répondent à deux logiques différentes : avec une taxe, le régulateur fixe un prix pour le CO<sub>2</sub>, et ce sont les quantités d'émission qui s'ajustent ; avec les permis, les pouvoirs publics fixent les quantités d'émission et les prix du CO<sub>2</sub> s'ajustent sur un marché d'échange. Autrement dit, dans le premier cas, le prix du CO<sub>2</sub> est connu mais l'effet quantitatif n'est pas garanti ; dans l'autre, l'objectif quantitatif d'émission est sûr d'être respecté mais le prix du CO<sub>2</sub> est incertain.

---

<sup>1</sup> [http://ec.europa.eu/governance/impact/planned\\_ia/docs/2012\\_clima\\_001\\_greenhouse\\_maritime\\_transp ort\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/governance/impact/planned_ia/docs/2012_clima_001_greenhouse_maritime_transp ort_en.pdf)

Dans ces conditions, l'élément clé à prendre en compte est, comme l'a montré WEITZMAN (1974), l'incertitude sur les coûts des dommages et sur les coûts de réduction des émissions. En situation d'incertitude, la taxe est pertinente lorsque la pente des coûts marginaux des dommages est inférieure à celle de la courbe des coûts marginaux de réduction des émissions. Autrement dit, quand la priorité consiste à ne pas encourir des coûts trop élevés pour limiter les émissions par rapport aux dommages évités, l'avantage est à la taxe, car il faut prendre garde à maîtriser le prix de la tonne de CO<sub>2</sub> émise. A contrario, lorsque la pente des coûts marginaux des dommages est supérieure à celle de la courbe des coûts marginaux de réduction des émissions, il convient avant tout de contrôler le niveau total des émissions : le marché de permis est alors le mécanisme le plus efficace. Les permis d'émission permettent ainsi d'éviter les erreurs de coût d'appréciation (BAUMOL, OATES, 1988).

Concernant la mise en œuvre pratique dans le secteur du transport maritime, CE DELFT (2010) estime qu'un marché carbone est l'instrument le plus efficace en termes de réduction d'émissions et le plus efficient (rapporté à son coût de mise en œuvre), du fait de son ouverture possible sur les autres marchés carbone. Il est également celui qui permet de mieux répondre aux risques de distorsion de concurrence, de fuites de carbone et de fraude. Un marché de permis maritime (appelé METS dans la suite) présente de plus un caractère contra-cyclique : lorsque l'économie mondiale et la demande de transport maritime croîtraient, le prix des permis d'émission de CO<sub>2</sub> augmenterait ; en cas de crise économique, la baisse du transport maritime est censée faire chuter les prix du CO<sub>2</sub> et réduire par là l'impact négatif de la crise pour les acteurs économiques. Le METS apparaît moins complexe à mettre en œuvre, car imposer une taxe à l'échelle internationale pose, en particulier, des problèmes constitutionnels à certains pays comme la Norvège ou les États-Unis. De plus, dans le contexte européen, un système de marché peut être adopté à la majorité qualifiée au Conseil européen dans le cadre de la politique climatique, alors qu'une taxe carbone requiert un vote unanime des États membres car il s'agit d'un outil fiscal. Enfin, si le périmètre d'application du permis devait être européen et non mondial, l'expérience acquise avec le système communautaire d'échange de quotas d'émissions appliqué aujourd'hui dans 11 000 installations de production d'électricité ou industries manufacturières très consommatrices d'énergie constituerait un avantage.

De récentes recherches ont tenté d'identifier quel pourrait être le potentiel sur les émissions de CO<sub>2</sub> de l'instauration d'un instrument de marché (CE DELFT, 2009 ; LINDSTAD et alii, 2010) en construisant en particulier des courbes de coût marginal de réductions des émissions. Quel que soit l'instrument de marché retenu -permis d'émission ou taxe-, un consensus semble émerger sur la nécessité de privilégier une réglementation par type de navires plutôt que par pavillon (CARIOU, WOLFF, 2010). En revanche, aucune recherche n'a porté sur les effets sur l'organisation du transport maritime de la mise en

place d'un instrument de marché, et plus spécifiquement d'un marché de permis d'émissions.

Si cette problématique n'est pas spécifique au transport maritime puisque l'analyse des effets de l'introduction du secteur aérien dans l'ETS a déjà été abordée, la spécificité du transport maritime conteneurisé nécessite qu'une analyse approfondie soit menée pour ce secteur. En effet, contrairement aux lignes aériennes qui opèrent essentiellement suivant des liaisons points à points sur lesquelles il est difficile de ralentir les vitesses de croisière des avions, les lignes maritimes conteneurisées effectuent des tournées desservant successivement plusieurs ports et disposent de marges de manœuvre sur la vitesse de circulation des navires.

Cet article s'inscrit dans le prolongement de ces travaux et se focalise sur les effets de la mise en œuvre d'une politique climatique dans le secteur du transport maritime international. Son objectif est d'analyser les répercussions économiques pour les compagnies maritimes de transport conteneurisé, en termes d'exploitation des lignes et de stratégies armatoriales, de l'instauration d'un marché de permis d'émission visant à rendre les émissions du transport maritime compatibles avec le scénario 2030 du rapport GIEC (2007) ayant pour objectif la stabilisation de la concentration atmosphérique en CO<sub>2</sub> à 450 parties par millions (ppm) pour que la température moyenne de la planète ne croisse pas de plus de 2°C à l'horizon 2100.

Pour cela, quatre scénarios de prix des permis d'émission à l'horizon 2030 seront construits (1.). Les effets de ces scénarios sur les coûts d'exploitation des lignes maritimes conteneurisées desservant l'Europe seront évalués (2.). Une analyse prospective des comportements d'adaptation des armements et de leurs effets potentiels sur les ports français sera ensuite menée (3.). Ceci permettra de proposer, en conclusion, quelques recommandations aux pouvoirs publics dans la perspective où un marché de permis d'émission devait être instauré dans le secteur du transport maritime (4.).

## **1. DÉFINITION DE SCÉNARIOS DE PRIX DE PERMIS À L'HORIZON 2030**

Cette partie s'attache à définir quatre scénarios de prix des permis d'émission à l'horizon 2030. Le travail de construction des scénarios repose sur une première étape d'estimation de l'évolution de la demande de transport maritime et des émissions associées en 2030 et sur les hypothèses de fixation des objectifs de réduction des émissions à ce même horizon temporel.

### *1.1. LES ÉMISSIONS DE CO<sub>2</sub> À L'HORIZON 2030 SANS MARCHÉ CARBONE*

En 2007, les émissions des navires sur les seuls trajets reliant le dernier port non européen touché et le premier port européen, puis les ports européens entre eux, atteignent, selon CE DELFT (2009), 208 Mt CO<sub>2</sub> (émissions dites « européennes » dans la suite), alors que les émissions mondiales du trans-

port maritime, en incluant la pêche, s'élèvent à 1 050 Mt CO<sub>2</sub> (IMO, 2009).

Afin de projeter ces émissions à l'horizon 2030 dans l'hypothèse où aucune politique climatique n'est mise en place, l'OMI s'est basé sur l'un des six scénarios de développement du GIEC, à savoir le scénario A1B, le plus proche des prévisions de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) pour 2050. IMO (2009) indique que, selon ce scénario, la demande de transport maritime serait multipliée par 2,05 entre 2007 et 2030. En supposant, comme le fait CE DELFT (2009), que la croissance des trafics à l'échelle européenne sera similaire à celle à l'échelle mondiale, cela implique que, sans gain d'efficacité technologique ou organisationnel, les émissions européenne et mondiale du transport maritime en 2030 seraient respectivement de 426 et 2 152 Mt CO<sub>2</sub>.

Mais, par rapport à ces projections, IMO (2009) considère qu'en l'absence de marché carbone, le gain d'efficacité environnementale lié à des progrès technologiques et d'exploitation des navires à l'horizon 2030 serait de 21,5 %. En supposant en première approximation, à défaut de recommandations contraires de IMO (2009) et en raison du caractère mondial du marché du transport maritime, que la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> s'applique de façon uniforme au niveau mondial et européen, ceci induit que les émissions européennes et mondiales attendues en 2030, dans un scénario au fil de l'eau ou « *business as usual* », seraient respectivement de 335 et 1 689 Mt CO<sub>2</sub>.

### 1.2. LES OBJECTIFS DE RÉDUCTION À L'HORIZON 2030

En créant un marché de permis, les pouvoirs publics fixent les quantités d'émission à un niveau qui est le résultat d'un arbitrage entre plusieurs choix politiques. L'hypothèse retenue dans cet article est celle d'un objectif de réduction de 20 % à l'horizon 2030 par rapport aux émissions constatées en 2007, et ce quel que soit le périmètre (mondial ou européen) pour le marché de permis.

Ce choix repose sur le fait que le nouveau Livre Blanc des transports fixe à -40 % (et si possible -50 %), l'objectif de réduction des émissions du secteur maritime à l'horizon 2050 par rapport au niveau de 2005. En supposant une progression linéaire, cela signifierait une réduction de -20 % à l'horizon 2030. Cela signifie que le régulateur mettrait aux enchères, en 2030, pour le secteur du transport maritime, une quantité de quotas représentant un niveau d'émission inférieur de 20 % au niveau de 2007.

### 1.3. LES SCÉNARIOS ENVISAGEABLES POUR UN MARCHÉ CARBONE

Deux variables ont été utilisées pour construire quatre scénarios : le périmètre géographique d'application du marché et le niveau d'interconnexion du METS aux autres marchés carbone existants en 2030.

Deux hypothèses de périmètre d'application sont considérées pour le marché METS :

- . un marché « METS européen » portant sur les émissions des trajets effectués depuis le dernier port non-européen touché jusqu'aux ports européens<sup>2</sup> ;
- . un marché « METS mondial » résultant d'un accord supposé trouvé au sein de l'OMI et couvrant l'intégralité des échanges maritimes.

Il est vraisemblable que les négociations à l'OMI ou sinon au sein de l'Union européenne aboutissent dans un premier temps à un accord limitant en pratique le périmètre géographique du marché METS.

Deux hypothèses sur le niveau d'interconnexion du marché METS aux autres marchés ont été retenues :

- . interconnexion totale : cela suppose que les armements sont libres d'acheter sur les autres marchés autant de quotas qu'ils le souhaitent ;
- . interconnexion limitée : dans ce cas le régulateur impose que les armateurs ne peuvent acheter sur ces autres marchés qu'un nombre de quotas limité et arbitrairement fixé, dans le cadre de cette étude, aux 2/3 du nombre de quotas dont ils peuvent disposer sur le marché METS. Cette limite peut aussi résulter de la disponibilité même des quotas sur les autres marchés.

En combinant ces hypothèses, on obtient quatre scénarios :

- . scénario 1 : périmètre européen et interconnexion totale
- . scénario 2 : périmètre européen et interconnexion limitée
- . scénario 3 : périmètre mondial et interconnexion totale
- . scénario 4 : périmètre mondial et interconnexion limitée

#### 1.4. PRIX DES QUOTAS ET POTENTIEL DE RÉDUCTION DES ÉMISSIONS DU SECTEUR MARITIME

Les prix des quotas varient en fonction de l'interconnexion du marché METS avec les autres marchés carbone. Dans le cas d'un accès illimité aux autres marchés (scénarios 1 et 3), le prix d'un quota METS pour une tonne de CO<sub>2</sub> à l'horizon 2030 s'alignera sur les prix des autres marchés. En revanche, si l'interconnexion est limitée (scénarios 2 et 4), le prix des quotas sur le marché maritime (METS) sera différent de celui des autres marchés.

##### *Pour les scénarios 1 et 3*

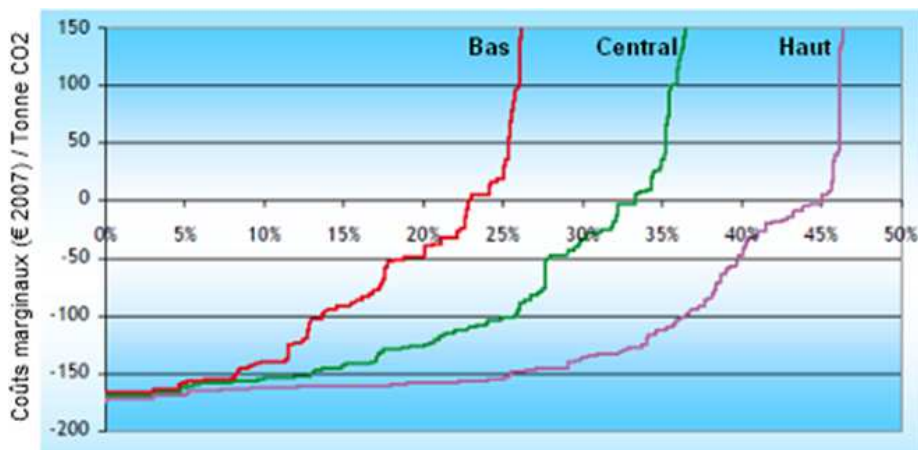
Sur la base des engagements européens de réduire de 20 % les émissions de

<sup>2</sup> Cela implique, si l'on considère par exemple un service conteneurisé Europe-Asie avec comme dernier port asiatique Singapour et comme premier et dernier ports européens respectivement Le Havre et Hambourg, que l'ensemble des émissions sur le trajet entre Singapour, Le Havre et Hambourg sera pris en compte. En revanche, si l'armateur fait le choix pour ce même service d'ajouter une escale à Tanger entre Singapour et Le Havre, seules les émissions du trajet entre Tanger, Le Havre et Hambourg seront soumises au marché carbone.

CO<sub>2</sub> en 2020, le prix du quota ETS qui s'établissait à 14,1 € par tonne de CO<sub>2</sub> en 2009 devrait s'établir à 38 € en 2020 (P<sub>ERTHUIS</sub>, DELBOSC, 2010) sous l'effet de l'abaissement annuel du plafond d'allocation à partir de 2013. Si on considère que le taux de croissance entre 2009 et 2020 reste constant jusqu'en 2030, on obtient un prix du quota de 94 € en 2030, c'est-à-dire de 66 €<sub>2007</sub> ou 90 \$<sub>2007</sub>.

La méthodologie de calcul des émissions évitées en 2030 repose sur l'analyse comparative entre le prix du quota d'une tonne de CO<sub>2</sub> et les coûts marginaux de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> du transport maritime, tels que proposés par CE DELFT (2009). La Figure 1 reprend les trois courbes de coûts marginaux de réduction des émissions correspondant à une estimation haute, centrale et basse.

Figure 1 : Courbes de coût marginal de réduction des émissions de CO<sub>2</sub>



Source : auteurs, adapté de CE DELFT (2009)

Selon l'estimation centrale de la Figure 1, en l'absence de marché carbone (prix de la tonne de CO<sub>2</sub> = 0 €), les armements mettraient spontanément en place des stratégies permettant de réduire leurs émissions à la tonne.km de 33 % par rapport à 2007.

En réalité, comme indiqué plus haut, les gains d'efficacité attendus en l'absence de mécanisme carbone ne s'élèveraient qu'à 21,5 % du fait des barrières existantes à la mise en place de mesures d'atténuation des émissions (FRANC, 2010).

En considérant un nouvel axe des abscisses (celui en pointillé sur la Figure 2) qui coupe la courbe de l'estimation intermédiaire à l'abscisse 21,5 % (point A sur la Figure 2), lorsque le prix de la tonne de CO<sub>2</sub> atteint 65 €<sub>2007</sub> soit 90 \$<sub>2007</sub>, les gains d'efficacité à la tonne.km sont de 28 % (point B sur

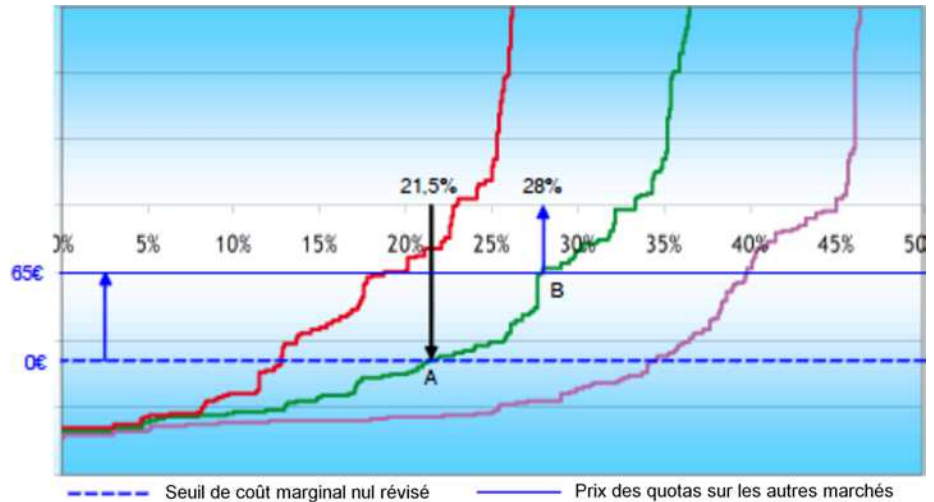
<sup>3</sup> En considérant un taux d'inflation de 1,6 % par an et un taux de change de 1,4 \$/€ (source OFCE).



la Figure 2) par rapport aux émissions de 2007. Les émissions de CO<sub>2</sub> du secteur maritime sont alors estimées en 2030 à :

- . pour le scénario 1 (périmètre européen), 307 Mt de CO<sub>2</sub> (réduction de 28 % par rapport à 426 Mt de CO<sub>2</sub>);
- . pour le scénario 3 (périmètre mondial), 1 556 Mt de CO<sub>2</sub> (réduction de 28 % par rapport à 2 152 Mt de CO<sub>2</sub>).

Figure 2 : Estimation des réductions d'émissions sans METS (point A) et pour les scénarios 1 et 3 (point B)



Source : auteurs, adapté de CE DELFT (2009)

#### Pour les scénarios 2 et 4

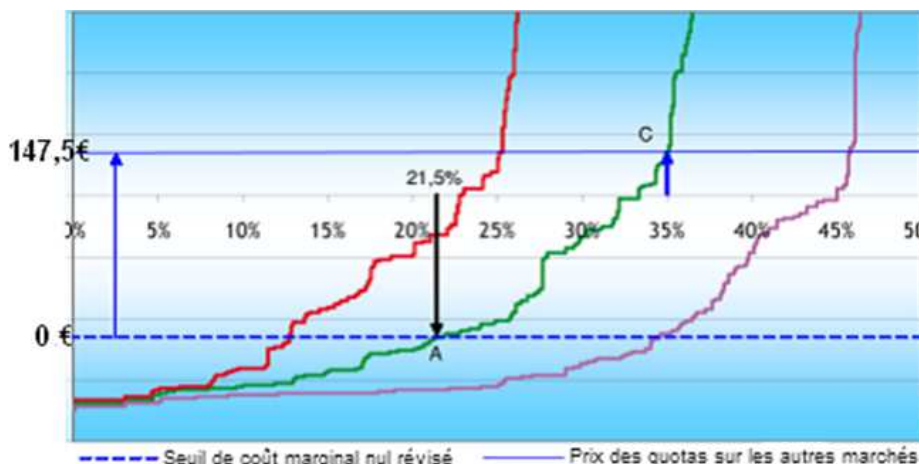
En supposant que l'interconnexion entre les marchés est limitée de telle sorte que les armateurs ne peuvent acheter sur les autres marchés qu'un nombre de quotas ne pouvant dépasser les 2/3 du nombre de quotas dont ils peuvent disposer sur le marché METS, ils peuvent alors acquérir :

- . dans le scénario 2, l'équivalent en quotas de 166 Mt de CO<sub>2</sub> sur le marché METS, auxquels s'ajoutent les quotas correspondant à 111 Mt de CO<sub>2</sub> sur les autres marchés carbone. Ils peuvent ainsi émettre 277 Mt de CO<sub>2</sub> ;
- . dans le scénario 4, l'équivalent en quotas de 840 Mt de CO<sub>2</sub> sur le marché METS, auxquels s'ajoutent les quotas correspondant à 540 Mt de CO<sub>2</sub> sur les autres marchés carbone. Ils peuvent ainsi émettre 1 400 Mt de CO<sub>2</sub>.

Les gains d'efficacité à la tonne.km atteignent alors 35 % par rapport à 2007. Ce niveau correspond au point C de la Figure 3, donc à un prix des quotas METS de 147,5 €<sub>2007</sub> soit 205 \$<sub>2007</sub>. Le prix des quotas pouvant être achetés sur les autres marchés est toujours de 90 \$<sub>2007</sub>. Cela implique que le prix moyen d'achat des quotas (3/5 à 205 \$<sub>2007</sub> et 2/5 à 90 \$<sub>2007</sub>) serait de 159

\$2007.

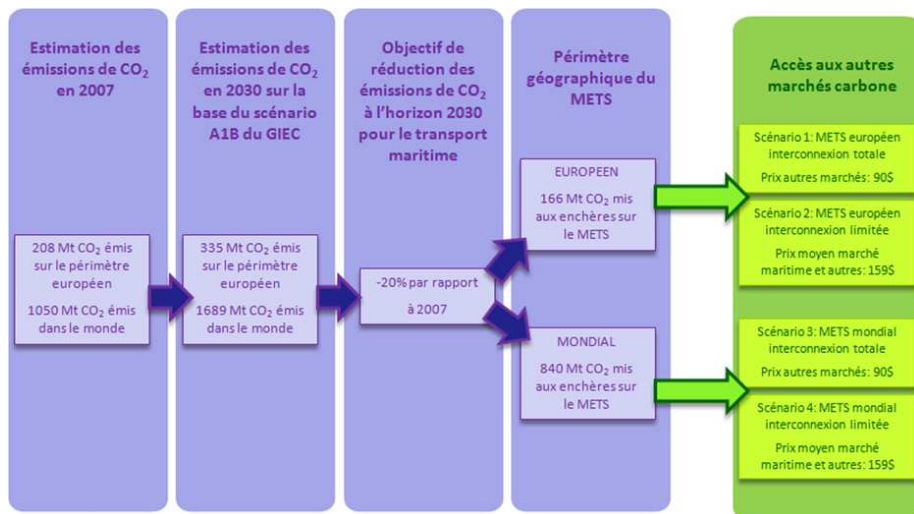
Figure 3 : Estimation des réductions d'émissions sans METS (point A), pour les scénarios 1 et 3 (point B) et pour les scénarios 2 et 4 (point C)



Source : auteurs, adapté de CE DELFT (2009)

La Figure 4 résume la manière dont ont été établis les quatre scénarios de permis d'émission dans le transport maritime à l'horizon 2030. Les résultats obtenus concernant le prix des permis dans les différents scénarios sont robustes pour les scénarios à interconnexion totale car directement liés aux projections réalisées par PERTHUIS et DELBOSC (2010). En revanche, le prix des permis en situation d'interconnexion limitée des marchés carbone est directement fonction des hypothèses retenues concernant le niveau d'interconnexion entre les marchés.

Figure 4 : Bilan des quatre scénarios



Source : auteurs

## 2. LES EFFETS DE L'INTRODUCTION D'UN MARCHÉ DE PERMIS D'ÉMISSION SUR LA STRUCTURE DE COÛTS DES LIGNES MARITIMES RÉGULIÈRES CONTENEURISÉES DESSERVANT L'EUROPE

Pour évaluer les effets de l'instauration d'un marché de permis d'émission suivant les quatre scénarios identifiés précédemment, les comptes d'exploitation des principales lignes maritimes desservant les ports européens ont été reconstitués. Une distinction a été faite entre les lignes desservant la rangée Nord Europe et celles alimentant la rangée méditerranéenne.

### 2.1. CONSTRUCTION DES COMPTES D'EXPLOITATION DES LIGNES DESSERVANT L'EUROPE

Les comptes d'exploitation des différentes lignes ont été construits dans une perspective « *business as usual* », c'est-à-dire selon les évolutions attendues du transport maritime conteneurisé à l'horizon 2030 en l'absence d'instrument de marché carbone. Le jeu d'hypothèses a été élaboré de la manière suivante :

- . les hypothèses sur la capacité des navires ont été établies sur la base d'une projection à l'horizon 2030 de l'évolution constatée de la taille des navires les plus récents et de ceux en commande ;
- . en l'absence de consensus au sein de la littérature sur l'évolution à l'horizon 2030 de la vitesse des navires ligne par ligne, des ports desservis par ligne et des taux de remplissage des navires, les hypothèses retenues ont été élaborées à partir de données sur les services existants<sup>4</sup>;
- . le rapport OMI (2009) estimant que les gains d'efficacité des navires pourraient être de 2 % en 2020 et de 25 % à l'horizon 2050, ceci en l'absence d'instrument de marché carbone, l'hypothèse retenue pour 2030 est une réduction des émissions des navires à la tonne.km parcourue de 10 % suite à l'introduction d'améliorations technologiques<sup>5</sup>;
- . les hypothèses retenues concernant les soutes -700 US\$2007 pour le cours de la tonne de IFO 380 et 1 150 US\$2007 pour celui de la tonne de diesel marin- sont basées sur les estimations de prix du baril de pétrole pour l'année 2030 de l'EIA (Energy Information Agency) et de l'IAE (International Energy Agency) ; l'entrée en vigueur, au 1er janvier 2015, des nouvelles normes de l'annexe VI de la convention Marpol sur la teneur en soufre des carburants des navires en Manche, Mer du Nord et Baltique, pourrait engendrer une augmentation du coût des carburants de l'ordre de 40 % pour naviguer dans ces mers ; ces éléments n'ont toutefois pas été intégrés dans le modèle ;
- . en l'absence d'indications dans la littérature sur l'évolution de la

<sup>4</sup> La base de données du courtier Barry Rogliano Sales (BRS) a été utilisée.

<sup>5</sup> Complété avec les réductions liées à la mise en place des mesures organisationnelles, on atteint une réduction totale de 21,5 %.

structure de coûts d'exploitation des navires porte-conteneurs à l'horizon 2030, les données produites par DREWRY (2010) sur les coûts opérationnels au cours des journées d'exploitation effective des navires ont été retenues. Les coûts de manutention s'appuient sur les coûts de THC diffusés par Maersk.

Le Tableau 1 rend compte des hypothèses retenues pour les différentes lignes desservant la rangée Nord Europe. Une démarche analogue a été menée pour construire les comptes d'exploitation des lignes desservant les ports européens de la rangée Méditerranée.

*Tableau 1 : Hypothèses pour le calcul des comptes d'exploitation de différentes lignes maritimes desservant la rangée Nord Europe à l'horizon 2030*

	Feeder	Regional	Feeder Af.N	Afrique	Am. Nord	Antilles	Am. Sud	Asie Sud	Asie SE
Capacité du navire (en EVP 10t)	1 600	1 600	3 000	3 000	8 500	3 000	5 500	8 500	12 500
Distance de la rotation (miles nautiques)	1 200	7 450	3 500	9 000	9 500	8 340	13 000	14 500	23 000
Vitesse du navire en mer (nœuds)	19,4	19,4	21,7	21,7	24,6	21,7	24,6	24,6	25
Taux de remplissage depuis Europe	85%	90%	85%	85%	85%	85%	63%	90%	48%
Taux de remplissage vers Europe	85%	72%	85%	51%	77%	60%	90%	63%	95%
Nombre de jeux de conteneurs	1,7	1,7	1,7	2,5	1,7	2,0	2,5	2,0	2,0
Part conteneurs 20 pieds/40 pieds	40%/60%	40%/60%	40%/60%	40%/60%	40%/60%	40%/60%	40%/60%	40%/60%	40%/60%
Nombre d'escales en Europe	1	3	1	4	4	4	4	7	5
Nombre d'escales hors Europe	3	4	5	5	5	2	6	7	5
Durée moyenne d'une escale (jour)	0,75	1	0,75	1,5	1	1,3	1,5	1,3	1
Conso IFO 380 en mer (t/jour)	47,4	47,4	84,2	84,2	225,9	84,2	171,9	225,9	234,5
Conso MDO dans port et proximité (t/jour)	3	3	4	4	12	4	10	12	13
Nb de jours en mer par rotation	3	16	7	17	16	16	22	25	38
Nb de jours port et proximité par rotation	4	12	8	18	12	12	20	24	18
Nb de navires en service	1	4	2	5	4	4	6	7	8
Capital par navire (\$/jour)	6 098	6 098	8 321	8 321	21 068	8 321	14 476	21 068	31 459
Equipage (\$/jour/navire)	2 022	2 022	2 129	2 129	2 937	2 129	2 469	2 937	3 137
Entretien et réparation (\$/jour/navire)	2 454	2 454	4 320	4 320	7 290	4 320	6 523	7 290	8 244
Carburant IFO 380 (\$/t)	700	700	700	700	700	700	700	700	700
Carburant MDO (\$/t)	1 150	1 150	1 150	1 150	1 150	1 150	1 150	1 150	1 150
Capital par conteneur 20 pieds (\$/jour)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Capital par conteneur 40 pieds (\$/jour)	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Droits de port (\$/escale)	38 426	38 426	46 682	46 682	89 660	46 682	64 134	89 660	137 320
Manutention Europe (\$/conteneur)	210	210	210	210	210	210	210	210	210
Manutention hors Europe (\$/conteneur)	135	210	135	260	392	185	170	165	200
Ristourne manutention conteneurs vides	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%
Management et administration (\$)	510	510	510	510	635	510	615	635	665
Taux commission agence	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
Droits de canal (\$)							392 000	392 000	

Note : tous les coûts sont en US\$2007

Source : élaboration propre à partir de MEDDTL (2012).

## 2.2. IMPACT DES SCÉNARIOS D'INSTAURATION DE PERMIS D'ÉMISSION SUR LA STRUCTURE DE COÛTS DES LIGNES CONTENEURISÉES

Le Tableau 2 récapitule les variations de coûts de transport à l'EVP<sup>6</sup>, ligne par ligne, potentiellement engendrées par la mise en œuvre de chacun des quatre scénarios d'instauration de marché carbone.

<sup>6</sup> EVP : Equivalent Vingt Pieds. Les conteneurs 20 pieds correspondent à 1 EVP, les conteneurs 40 pieds à 2 EVP.

*Tableau 2 : Impact d'un marché de permis sur le coût à l'EVP des lignes desservant l'Europe du Nord*

Service	Sans quotas	Scénario 1		Scénario 2		Scénario 3		Scénario 4	
	Coût/EVP	Coût/EVP	Surcoût	Coût/EVP	Surcoût	Coût/EVP	Surcoût	Coût/EVP	Surcoût
Feeder	361 \$	376 \$	4,0%	387 \$	7,1%	376 \$	4,0%	387 \$	7,1%
Régional	832 \$	907 \$	9,0%	964 \$	15,9%	922 \$	10,8%	991 \$	19,1%
Feeder Af.N	438 \$	461 \$	5,1%	478 \$	9,1%	473 \$	7,8%	499 \$	13,8%
Afrique	1 001 \$	1 042 \$	4,0%	1 073 \$	7,1%	1 111 \$	11,0%	1 195 \$	19,4%
Am. Nord	797 \$	832 \$	4,4%	859 \$	7,8%	878 \$	10,2%	940 \$	18,0%
Antilles	780 \$	875 \$	12,1%	947 \$	21,4%	875 \$	12,1%	947 \$	21,4%
Am. Sud	976 \$	1 038 \$	6,3%	1 085 \$	11,1%	1 117 \$	14,4%	1 224 \$	25,4%
Asie Sud	1 031 \$	1 078 \$	4,5%	1 114 \$	8,1%	1 164 \$	12,9%	1 266 \$	22,7%
Asie Sud Est	1 143 \$	1 204 \$	5,4%	1 251 \$	9,4%	1 296 \$	13,4%	1 413 \$	23,7%

Note : tous les coûts sont en US\$2007

Source : élaboration propre à partir de MEDDTL (2012).

L'impact sur le coût à l'EVP transporté fluctue tout d'abord d'un scénario à l'autre pour une même ligne :

- . lorsque le périmètre d'application du marché de permis est mondial, les trajets soumis à l'instrument de marché sont beaucoup plus longs que lorsque le périmètre est européen ;
- . lorsque l'interconnexion avec les autres marchés de permis est limitée, le prix moyen des permis est plus élevé que lorsque l'interconnexion est totale.

L'impact sur le coût à l'EVP transporté fluctue également d'une ligne à l'autre au sein d'un même scénario. Dans le scénario 4 par exemple, un service feeder reliant quelques ports de la rangée Nord Europe subit un surcoût de 7,1 % contre 25,4 % pour un service Amérique du Sud-Europe du Nord. De tels écarts s'expliquent par la longueur des services et le choix des navires :

- . les services pour lesquels le temps passé en mer par rapport au temps passé dans les ports est le plus important (toutes choses prises égales par ailleurs) sont les plus pénalisés ; le service desservant l'Asie du Sud-Est est ainsi particulièrement désavantagé par rapport à un service feeder ;
- . les plus grands navires, qui s'avèrent également les plus économes par EVP transporté, sont certes déployés sur les lignes les plus longues (ce qui compense en partie le premier point), mais certains services longue distance ne sont pas exploités par de grands navires, comme c'est le cas par exemple pour le service vers l'Amérique du Sud.

On retrouve des résultats très similaires pour les lignes desservant la rangée méditerranéenne.

### 3. LES STRATÉGIES D'ADAPTATION DES COMPAGNIES MARITIMES

Même si les compagnies maritimes pourront toujours reporter sur leurs clients une partie des coûts des permis par le biais de surcharges comme les *Bunker Adjustment Factors*<sup>7</sup>, elles devraient s'attacher, comme tout acteur économique soumis à une évolution de la structure de ses coûts, à adapter le fonctionnement de leur activité pour minimiser leurs coûts. Les compagnies maritimes disposent pour cela de quatre leviers d'action principaux : investir dans des améliorations technologiques sur les navires, réduire la vitesse des navires, utiliser des navires de plus grande taille et modifier l'organisation des dessertes de leurs lignes régulières.

#### 3.1. LES LEVIERS TECHNOLOGIQUES

De nombreux travaux ont cherché à mettre en évidence le potentiel de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> lié au déploiement d'améliorations technologiques sur les navires. Une des mesures concrètes fréquemment citée par les experts est le recours au GNL pour la propulsion des navires. Les estimations sur la période de leur mise en œuvre et sur les réductions d'émissions associées restent toutefois très incertaines en particulier pour ce qui concerne les navires au long cours.

Sur la base de IMO (2009) qui estime que les gains d'efficacité dans un scénario « *business as usual* » pourraient être de 2 % en 2020 et de 25 % en 2050 par rapport à 2007, nous avons retenu comme hypothèse pour le calcul des comptes d'exploitation des lignes, que dans le scénario « *business as usual* », le gain d'efficacité à la tonne.km sera de 10 % en 2030 par rapport à 2007.

Il s'agit d'une hypothèse prudente comparée à la littérature en la matière. L'IEA (2009) estime que le potentiel en termes de gain d'efficacité des nouveaux navires serait de 30 % à l'horizon 2030 par rapport à 2005, et de 20 % sur la flotte existante.

D'une manière générale, deux raisons invitent à la prudence quand il s'agit d'évaluer le potentiel de diffusion des innovations technologiques :

- . la manière dont le marché de la construction navale est organisé n'incite pas les acteurs à innover. Les armateurs passent l'essentiel de leur commande à des chantiers navals qui proposent des séries de navire « sur étagère ». Ayant optimisé leur production sur une série de modèles, ces chantiers s'avèrent peu enclins à prendre le risque industriel d'introduire dans leur production des systèmes innovants qu'ils ne maîtrisent pas à 100 % ;
- . la plupart des compagnies maritimes demeurent prudentes car, même

---

<sup>7</sup> Il s'agit d'une surcharge facturée par les compagnies maritimes à leur client pour tenir compte des fluctuations du cours du pétrole brut.

si certains coûts d'investissement sont dérisoires au regard des gains potentiels, elles craignent que les coûts d'entretien et de réparation de ces systèmes innovants soient prohibitifs, en particulier si la technologie n'est pas encore bien diffusée dans l'industrie maritime ;

- . les principales améliorations technologiques sont plus faciles à amortir sur des grands que sur des petits navires. Elles ne seront donc pas déployées à l'identique sur tous les navires et donc sur toutes les lignes.

Il apparaît dans ces conditions raisonnable de considérer que les gains d'efficacité liés aux améliorations technologiques des porte-conteneurs à l'horizon 2030 pourraient difficilement dépasser 20 %. Même s'il est difficile d'appréhender les coûts de mise en œuvre des différentes mesures sous-jacentes dans l'état actuel des connaissances (MIOLA et alii, 2010), ce potentiel de 20 % ne devrait pas être atteint dans tous les scénarios. Il sera plus rentable d'investir dans des améliorations technologiques dans les scénarios 3 et 4 où le périmètre d'application est mondial que dans les scénarios 1 et 2 où le périmètre d'application est européen ; on peut donc prévoir que les gains d'efficacité seront proches de 10 % (situation sans quotas) pour les scénarios 1 et 2 et de 20 % dans les scénarios 3 et 4.

### 3.2. LA DIMINUTION DE LA VITESSE DES NAVIRES

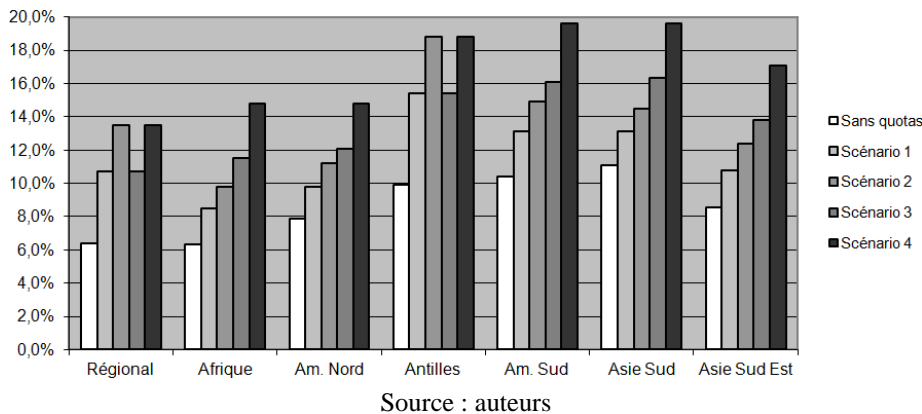
La consommation d'un navire étant environ proportionnelle au carré de sa vitesse, le « *slow steaming* », ou marche à allure lente, est particulièrement efficace pour réduire les coûts de carburant, et se révèle particulièrement adapté face à une situation de sur-capacité de l'offre comme ce fut le cas au plus fort de la récente crise économique (NOTTEBOOM, CARIOU, 2009). En effet, si une compagnie maritime ralentit la vitesse des navires sur une ligne donnée et qu'elle souhaite maintenir la fréquence de ses escales dans les ports desservis par la ligne, elle doit alors rajouter un ou plusieurs navires par ligne, ce qui pose des difficultés en période de sous-capacité de l'offre, mais qui inversement permet d'utiliser les navires à moindre coût en période de sur-capacité de l'offre.

Le « *slow steaming* » qui a jusqu'à présent été utilisé pour faire face à un événement conjoncturel pourrait-il devenir une solution durable face à l'insaturation d'un marché carbone ? Pour répondre à cette question, la Figure 5 rend compte des gains à l'EVP transporté, en réduisant la vitesse des navires de manière à augmenter leur durée de rotation de 50 %.

Même sans quotas, augmenter de 50 % la durée de rotation des navires peut permettre de réduire les coûts à l'EVP transporté de plus de 10 % sur certaines lignes. Avoir recours au « *slow steaming* » est en réalité d'autant plus intéressant que la vitesse des navires dans le scénario « *business as usual* » est élevée et que le rapport de la distance parcourue en mer sur le nombre de

ports desservis par la ligne est grand. C'est le cas des lignes reliant l'Europe aux Antilles, à l'Amérique du Sud, à l'Asie du Sud et à l'Asie du Sud-Est. Cette mesure est moins rentable pour les services desservant l'Amérique du Nord, l'Afrique, ou le service régional. Le cas des feeders s'apparente à celui du service régional.

Figure 5 : Réduction des coûts à l'EVP en augmentant de 50 % la durée de rotation des navires



Par ailleurs, circuler à allure lente est d'autant plus rentable que le prix des permis d'émission est élevé et que le périmètre d'application est large. A l'exception des lignes régionales et Antilles qui restent confinées dans un périmètre européen, l'intérêt de la mesure va croissant pour les scénarios 1, 2, 3 et 4.

### 3.3. L'ÉVOLUTION DE LA CAPACITÉ DES NAVIRES

Le souci des armements de réaliser des économies d'échelle a engendré une croissance ininterrompue de la taille des navires depuis l'apparition de la conteneurisation (FRÉMONT, 2007). Ce mouvement est-il amené à se poursuivre et l'instauration d'un marché de permis est-elle susceptible de contribuer à cette poursuite ?

La Figure 6 rend compte de l'évolution du coût à l'EVP lorsque l'on augmente la taille des navires d'une classe<sup>8</sup> par rapport à la situation observable aujourd'hui sur chaque ligne (en supposant un taux de remplissage inchangé), en situation « *business as usual* » sans quotas et en fonction des différents scénarios.

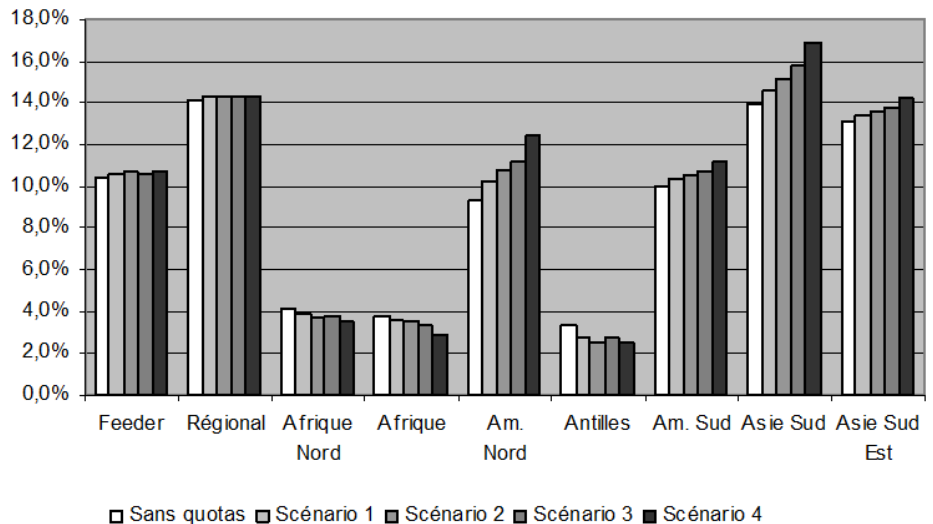
Si les économies d'échelle ne sont pas encore épuisées, en particulier en

<sup>8</sup> En pratique, les armements utilisent des navires de tailles différentes. Pour construire notre modèle, nous avons retenu des navires-types par ligne. Lorsque sur une ligne, on passe d'un navire-type à celui de la taille supérieure, nous considérons que nous augmentons la taille des navires d'une classe.



l'absence de marché carbone, l'instauration d'un METS aurait en théorie un léger effet d'entraînement sur l'utilisation de plus grands navires sur les lignes reliant l'Europe du Nord à l'Amérique du Sud, à l'Asie du Sud et à l'Asie du Sud-Est. Toutefois, les conclusions sur les lignes desservant l'Amérique du Nord sont à nuancer car de nombreux ports de la côte Est des États-Unis présentent un tirant d'eau limité. Sur les autres lignes, l'instauration d'un marché carbone ne devrait pas inciter les armements à avoir recours à des navires de plus grande capacité, et ceci quel que soit le scénario. On obtient des résultats analogues sur les lignes desservant la Méditerranée.

Figure 6 : Réduction des coûts à l'EVP en augmentant la capacité des navires desservant l'Europe du Nord



Note : Hypothèses retenues pour l'augmentation de la capacité des navires :

Feeder	1 600 TEU => 3 000 TEU
Régional	1 600 TEU => 3 000 TEU
Europe du Nord - Afrique du Nord	3 000 TEU => 5 500 TEU
Europe du Nord - Afrique	3 000 TEU => 5 500 TEU
Europe du Nord - Amérique du Nord	8 500 TEU => 13 000 TEU
Europe du Nord - Antilles	3 000 TEU => 5 500 TEU
Europe du Nord - Amérique du Sud	5 500 TEU => 8 500 TEU
Europe du Nord - Asie du Sud	8 500 TEU => 13 000 TEU
Europe du Nord - Asie du Sud Est	13 000 TEU => 18 000 TEU

Source : auteurs

#### 3.4. L'ÉVOLUTION DE L'ORGANISATION SPATIALE DES RÉSEAUX MARITIMES

Modifier l'organisation spatiale des lignes régulières est une autre solution pour les armements cherchant à réduire leurs coûts suite à l'instauration d'un METS. Y a-t-il en particulier un intérêt, pour une même ligne, à desservir d'autres ports pour limiter la distance des trajets soumis au marché de

permis ? Les escales dans les ports situés à la périphérie de l'Europe risquent-elles de se multiplier ?

Cette dernière question se pose en particulier dès lors que le périmètre d'application du METS est européen car il y a un intérêt à raccourcir le trajet entre le dernier port non-européen touché et le premier port européen. Lorsque le périmètre est mondial, cet intérêt n'existe pas.

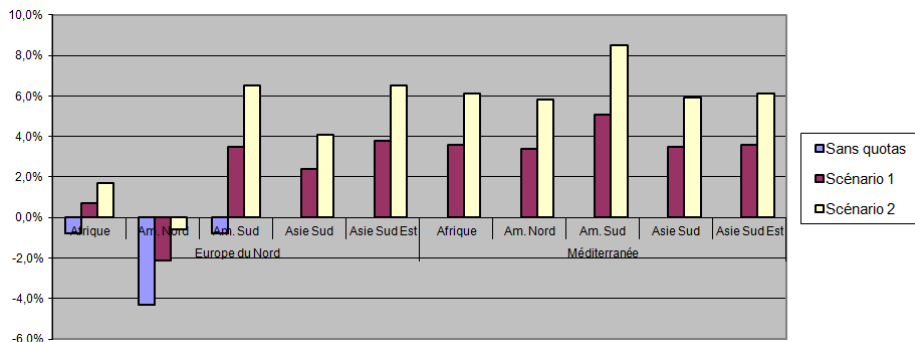
Pour appréhender cet enjeu, des simulations sur l'organisation spatiale des grandes lignes maritimes desservant l'Europe du Nord et la Méditerranée ont été menées, et ceci en particulier pour les scénarios 1 et 2 qui portent sur un METS européen :

- . pour les lignes reliant l'Europe du Nord à l'Afrique, l'Amérique du Nord et l'Amérique du Sud, une escale en Europe du Nord a été remplacée par un passage à Tanger au Maroc ;
- . pour les lignes reliant l'Europe du Nord à l'Asie du Sud et l'Asie du Sud Est, le passage par le hub d'Algesiras a été remplacé par le hub de Tanger ;
- . pour les lignes reliant la Méditerranée à l'Afrique, l'Amérique du Nord et l'Amérique du Sud, le passage par le hub d'Algesiras a été remplacé par le hub de Tanger ;
- . pour les lignes reliant la Méditerranée à l'Asie du Sud et l'Asie du Sud Est, le passage par le hub de Malte a été remplacé par Enfidha en Tunisie.

La ligne desservant les Antilles n'a pas été considérée dans cette analyse car les navires de 3 000 EVP employés sur cette ligne ne présentent pas une capacité suffisante pour rendre pertinent le passage par un hub de transbordement, que ce soit à Tanger ou ailleurs.

La Figure 7 rend compte de l'évolution des coûts à l'EVP lorsque l'on modifie le plan d'escales des lignes pour desservir un port d'Afrique du Nord, et ceci pour le scénario « *business as usual* » ou les scénarios 1 et 2.

Figure 7 : Réduction des coûts à l'EVP en passant par un hub nord-africain



Note : lorsque la réduction est négative, cela implique que la desserte d'un port nord-africain engendre un surcoût

Source : auteurs

En présence d'un METS, les grandes lignes transocéaniques desservant l'Europe du Nord trouvent toutes, avec les hypothèses sous-tendues par les simulations effectuées, un avantage à desservir en premier un port nord-africain, à l'exception de la ligne Amérique du Nord. Pour celle-ci, les économies sur les quotas ne compensent pas le coût engendré par le détour pour réaliser une escale à Tanger.

Sous les mêmes hypothèses, dérouter les navires sur les ports d'Afrique du Nord semble être une option rentable pour l'ensemble des lignes transocéaniques desservant la Méditerranée.

D'une manière générale, les escales dans les ports nord-africains sont d'autant plus rentables que le prix des quotas est élevé.

### 3.5. BILAN DES STRATÉGIES D'ADAPTATION DES ARMEMENTS

Lorsque le périmètre du METS est européen (scénarios 1 et 2), les armements pourraient, d'une part, ralentir la vitesse des navires, et ceci en particulier sur les lignes transocéaniques. Les armements pourraient d'autre part privilégier une réorganisation spatiale de leurs principales lignes transocéaniques desservant l'Europe pour réaliser des opérations de transbordement dans les ports nord-africains. Ces deux effets seraient d'autant plus prégnants que le prix moyen des quotas est élevé, ce qui peut résulter d'un niveau faible d'interconnexion entre le marché METS et les autres marchés. Ces deux stratégies auront des impacts différents par rapport aux objectifs politiques envisagés. Si le « *slow steaming* » devrait permettre de réduire sensiblement les émissions du transport maritime, il n'en va pas de même du passage par les ports nord-africains qui engendre plutôt des fuites de carbone. On peut toutefois supposer que le caractère difficilement réversible de l'installation de nouveaux hubs de transbordement devrait limiter leur développement. Il n'en demeure pas moins que ceci devrait, toutes choses égales par ailleurs, pénaliser le port de Marseille-Fos qui présente aujourd'hui l'ambition d'attirer à terme une part non négligeable de trafic de transbordement. Un niveau élevé du prix des quotas (correspondant au scénario 2) pourrait également pénaliser l'activité de *feeder* entre les ports de la côte atlantique (Nantes Saint-Nazaire, La Rochelle, Bordeaux) et les plus grands ports européens, au profit d'acheminements terrestres, en particulier par la route.

Lorsque le périmètre du METS est mondial (scénarios 3 et 4), les armements devraient s'attacher à généraliser la pratique du « *slow steaming* » sur leurs principales lignes. Le risque est qu'ils renoncent alors à leurs escales les moins génératrices de fret pour compenser le temps perdu en mer. Le cas des ports du Havre, Rouen et de Dunkerque devrait être examiné au regard de ces enjeux. Les compagnies maritimes pourraient également avoir recours à des navires plus économes. A un prix élevé des quotas (scénario 4), un port

comme Marseille-Fos qui dispose déjà d'installations pétro-chimique et gazière pourrait tirer profit d'un avantage concurrentiel si le GNL venait à se développer pour l'alimentation des navires. L'effet sur les ports de la côte atlantique, lié à un report du trafic de *feeder* sur la route, est le même qu'en présence d'un METS à périmètre européen.

#### **4. CONCLUSIONS**

Se livrer à un exercice de prospective dans un secteur aussi cyclique que le transport maritime, et en abordant une thématique aussi incertaine que l'introduction de permis d'émissions, ne permet de dresser que des scénarios incertains et donc des conclusions du même ordre.

Il n'empêche que l'exercice met en évidence des grandes tendances, par type de marché, dans l'évolution des pratiques des lignes régulières conteneurisées sous l'effet de la mise en place d'un marché de permis d'émissions : incitation à ralentir la vitesse des navires, à développer des escales dans les ports non-européens au cas où le marché de permis serait mis en œuvre à l'échelle européenne, et à investir dans des navires plus économes. Ces évolutions doivent être considérées avec attention par les pouvoirs publics français au moment de préciser, d'une part leurs positions dans les différentes instances telles que l'Organisation Maritime Internationale ou la Commission européenne, d'autre part leurs priorités en termes de recherche et développement.

Premièrement, un marché de permis limité au périmètre européen risque d'engendrer des fuites de carbone et une perte de compétitivité potentielle des ports européens, et en particulier français. Ceci plaide pour la promotion d'un périmètre d'application du METS à l'échelle mondiale, car les effets de fuite de carbone et de perte de compétitivité ne se manifesteraient plus dans le cadre d'un METS mondial.

Deuxièmement, si le prix des quotas devenait très élevé, les ports français de la côte atlantique pourraient être en moins bonne position du fait d'un report du trafic de *feeder* sur la route, ce qui irait à l'encontre des objectifs de la politique de report modal et d'atténuation du changement climatique. Ceci invite à accorder la priorité aux travaux portant sur l'harmonisation de la prise en compte des externalités entre les différents modes de transport.

Troisièmement, certaines escales dans les ports français risquant d'être supprimées par des lignes transocéaniques évoluant à allure lente, il y a une nécessité à s'interroger sur les moyens à déployer pour renforcer leur compétitivité et leur attractivité pour les armateurs. Il conviendrait en particulier d'étudier quels leviers les ports français doivent actionner pour renforcer leur capacité à accueillir et alimenter les navires du futur, en particulier si l'introduction d'un instrument de marché dans le secteur du

transport maritime venait à renforcer la diffusion de nouvelles technologies de propulsion des navires.

**REMERCIEMENTS :** Les auteurs tiennent à remercier MLTC et les différents relecteurs de l'article.

#### **BIBLIOGRAPHIE**

BAUMOL W., OATES W. (1988) **The theory of environmental policy**. Cambridge, Cambridge University Press, 299 p.

CARIOU P., WOLFF F.-C. (2010) La future réglementation de l'OMI sur les émissions de CO<sub>2</sub> : les conséquences d'une approche par types de navires. **La Revue Maritime**, n° 488, pp. 84-91.

CAS (2010) **Le fret mondial et le changement climatique**. Paris, Rapport du groupe de travail présidé par Michel SAVY, 110 p.

CE DELFT (2009) **Technical support for European action to reducing Greenhouse Gas Emissions from international maritime transport**. Delft, 353 p.

CE DELFT (2010) **Comparison of Market-based Measures to Reduce GHG Emissions from Shipping**. Delft, 49 p.

COASE R. (1960) The problem of social cost. **Journal of Law and Economics**, Vol. 3, pp. 1-44.

COMMISSION EUROPÉENNE (2011) **Livre blanc : feuille de route pour un espace européen unique des transports-Vers un système de transport compétitif et économe en ressources**. Bruxelles, 28 mars, 35 p.

CORBETT J.J., WANG H., WINEBRAKE J.J. (2009) The effectiveness and costs of speed reductions on emissions from international shipping. **Transportation Research Part D**, Vol. 14, pp. 539-598.

CRIST P. (2009) **Greenhouse gas emissions reduction potentiel from international shipping**. OECD, ITF, 46 p. (Discussion paper No. 2009-11).

DALES J.H. (1968) Land, water and ownership. **Canadian Journal of Economics**, Vol. 1, pp. 797-804.

DREWRY (2010) **Ship operating costs annual review and forecast 2010-2011**. London.

EIDE M., ENDRESEN Ø., SKJONG R., LONGVA T., ALVIK S. (2009) Cost-effectiveness assessment of CO<sub>2</sub> reducing measures in shipping. **Maritime Policy and Management**, Vol. 36, n° 4, pp. 367-384.

EIDE M., LONGVA T., HOFFMANN P., ENDRESEN Ø., DALSOEN S.B. (2011) Future cost scenarios for reduction of ship CO<sub>2</sub> emissions. **Maritime Policy and Management**, Vol. 38, n° 1, pp. 11-37.

EYRING V., KÖHLER H.W., LAUER A., LEMPER B. (2005) Emissions from international shipping: impact of future technologies on scenarios until 2050. **Journal of Geophysical Research**, 110 (doi:10.1029/2004JD005620).

FRANC P. (2010) Transport maritime et réduction des émissions de CO<sub>2</sub> : les enjeux de l'introduction d'un instrument de marché. **Transports**, n° 463, pp. 303-309.

FRÉMONT A. (2007) **Le monde en boîtes : conteneurisation et mondialisation**. Les Collections de l'Inrets, 146 p.

GIEC (2007) **Bilan 2007 des changements climatiques. Résumé à l'intention des décideurs**. Genève, 103 p.

IEA (2009) **Transport, Energy and CO<sub>2</sub>. Moving Toward Sustainability**. Paris (Chap. 8).

IMO (2009) **The second IMO GHG study 2009. Updated study on greenhouse gas emissions from ships**. London, 240 p.

KONTOVAS C., PSARAFTIS H. (2011) Reduction of emissions along the maritime intermodal container chain: operational models and policy. **Maritime Policy and Management**, Vol. 38, n° 4, pp. 451-469.

LINDSTAD H., ASBJORNSLETT B.E., PEDERSON J.T. (2010) Reduction of Greenhouse Gases from shipping through technical measures or market based instruments. **Proceedings for IAME**, Lisbon, 21 p.

MEDDTL (2012) **Évaluation des conséquences économiques sur l'activité maritime et portuaire de la mise en place d'un marché de permis d'émission de CO<sub>2</sub> dans le secteur du transport maritime international**. Étude réalisée avec le concours de MLTC pour le compte de la DGITM.

MIOLA A., CIUFFO B., GIOVINE E., Marra M. (2010) **Regulating air Emissions from ships: the state of the art on methodologies, technologies and policy options**. JRC Reference Reports, 66 p.

MONTGOMERY W.D. (1972) Markets and licences and efficient pollution control programs. **Journal of Economic Theory**, Vol. 5, pp. 395-418.

NOTTEBOOM T., CARIOU P. (2009) Fuel surcharge practices of container shipping lines: Is it about cost recovery or revenue making? **Proceedings of the 2009 International Association of Maritime Economists (IAME) Conference**, 24th-26th June, Copenhagen.

PERTHUIS C. (DE), DELBOSC A. (2010) Prix du quota de CO<sub>2</sub> et taxe carbone : quelques éléments de cadrage. **Les cahiers du PREC**, n° 1, 9 p.

PIGOU A.C. (1920) **The economics of Welfare**. London, McMillan.

WEITZMAN M. (1974) Prices vs. Quantities. **Review of Economic Studies**, Vol. 41, n° 4, pp. 447-491.