

DE 6 500EVP A 11 400EVP SUR UN MEME CONCEPT, JUSQU'OU SERA-T-IL POSSIBLE D'ALLER ?

Ludovic GERARD

CMA CGM - Directeur Constructions Neuves – Paris (France)

SOMMAIRE

Afin de répondre à la forte croissance des économies mondiales et des échanges internationaux, notamment par voie maritime, l'industrie maritime s'est adaptée et a développé des navires porte conteneurs de plus en plus grands.

Dans les années 2000, les armateurs prenaient livraison des navires de taille 6 500 Evp*, équipés d'un seul moteur de propulsion de 93 000 Ch. Par la suite, ces concepts de navire furent étendus pour atteindre 8 500, 9 400 ou 9 700 Evp, et maintenant des 11 400 Evp sont en commande dans les chantiers sud-coréens. Tous ces navires sont ou seront équipés d'un seul et même moteur de propulsion. Il est probable que les navires de 13 000 Evp soient basés sur des concepts différents.

Tous ces navires ont été développés par les chantiers coréens en coopération avec les grandes sociétés de classification et les armateurs.

Nous verrons au cours de cette présentation combien ces navires sont proches et différents à la fois selon les domaines d'études. Dans ce but, après un rapide exposé du marché, les caractéristiques principales seront passées en revue : principales dimensions bien sûr, rapport entre vitesses en service, moteurs de propulsion et carènes, aspects structurels et arrimage des conteneurs.

**Evp : Equivalent Vingt Pieds, unité de mesure standard du conteneur de « base », correspond à une « boîte » de 20' (env 6m) de long, 8' (2.40m) de large et 8'6'' (2.60m) de haut.*

SUMMARY

6,500 Teu - 11,400 Teu : based the same design concept, how large can they be ?

To give an answer to the world economy general growth and to the quick increase of the trade exchange worldwide, the shipping industry has developed larger and larger container vessels.

In 2001, 6,500 Teu* class container vessels were introduced, fitted with a single main engine of about 93,000 horse power. Later on, the design was developed to 8,500 Teu Class, 9,400 Teu, 9700 Teu and recently reached 11,400 Teu, all those vessels being fitted with the same single propulsion engine.

Larger vessels of 13,000 Teu and above, with similar service speed, would be based on a rather different design.

Those vessels' designs have been developed by Korean shipyards, in cooperation with the major classification societies and shipping companies.

We will see throughout this presentation how similar and different all those vessels are.

In this regard, we will review various fields and challenges of those large container ships : brief economical datas, main particulars, speed versus hull lines and propulsion, structural aspects, container lashing system.

**Teu : twenty equivalent unit, measuring unit for container ship, represents a container of 20' long, 8' wide and 8'6'' high.*

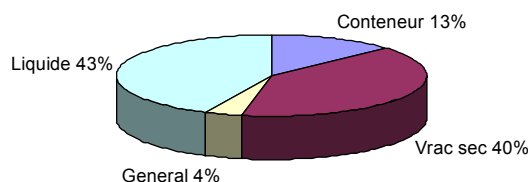
1. LE TRANSPORT CONTAINERISE

1.1. Le marché du conteneur

Le marché mondial du transport de marchandises par conteneurs subit de plein fouet l'explosion des échanges mondiaux depuis plusieurs années. A cette forte croissance s'ajoutent des changements dans les modes de transports de certains produits, transportés maintenant en conteneurs plutôt qu'en vrac, roulier ou conventionnel.

Le marché du conteneur représente environ 13% du tonnage mondial transporté par voie maritime.

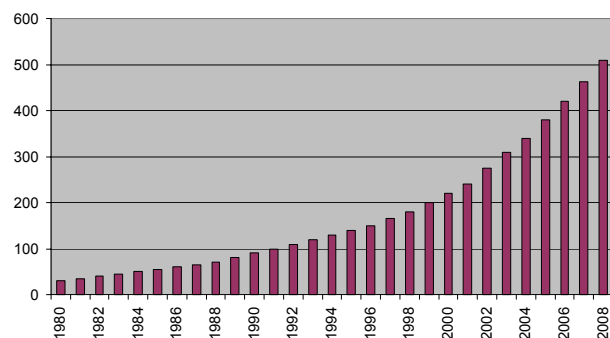
Transport Maritime en 2006 (% tonnage)



Source : AXS Liner

La croissance de la demande est bien illustrée par le graphique ci-dessous. La part de l'Asie dans ce développement est majeure, il est remarquable de noter au passage que le plus gros marché au monde est le marché Intra-Asie.

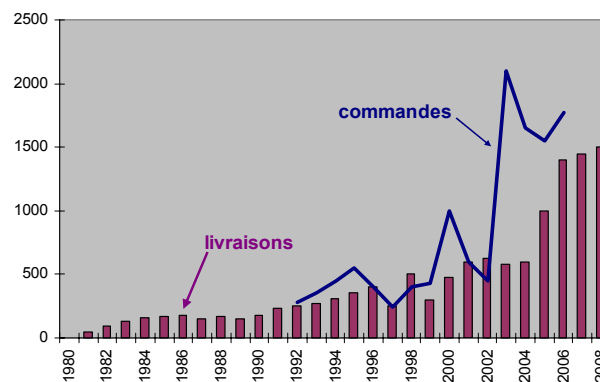
Demande transport conteneurs (millions de Teus)



Source : Clarkson

La réponse ne s'est pas fait attendre, les opérateurs ont rempli les carnets de commande en trois vagues principales en 1994/1995, 2000/2001 et 2003/2004. Les commandes ensuite se sont maintenues à un rythme soutenu, étendant les plans de charge des chantiers jusqu'en 2010.

Commandes et Livraisons (milliers de Teu)



Source : Clarkson

A l'heure actuelle, seuls des chantiers nouvellement construits sont capables d'offrir encore quelques rares cales pour fin 2009. C'est le cas notamment du chantier sud-coréen Hanjin qui a lancé la construction d'un chantier aux Philippines. La première phase des travaux sera achevée cet été, en 18 mois à peine, un chantier naval et une cale sèche seront sortis de terre dans la baie de Subic. Les commandes correspondant à cette première phase ont été prises par le chantier en quelques mois. La demande restant très soutenue, Hanjin a décidé de lancer la deuxième phase de travaux dès ce printemps, offrant à nouveau des « slots » au marché. Ce nouveau chantier est largement dimensionné pour pouvoir construire des navires de 12 000 Evp et plus.

La Chine n'est pas en reste, avec, dans les plus grands chantiers (Hudong, Dalian), des navires de 8000 Evp en construction, et même 10 000 Evp semble-t-il.

1.2. Les économies d'échelle

Pour illustrer l'effet d'échelle obtenu avec ces très grands porte conteneurs, nous allons comparer à titre indicatif deux types de navires, le 6 500 Evp et le 11 400 Evp, déployés tous deux sur une ligne classique Asie.

Le marché actuel des constructions neuves donne des prix d'environ 100 MUS\$ pour un

6 500 Evp, et 150 MUS\$ pour un navire type 11 000/11 400Evp. Au passage, nous noterons que, du fait des plans de charge des chantiers, les navires ne seront livrés que début 2010.

En faisant les hypothèses suivantes :

- prix des soutes (HFO 380cst ou 500cst) à 300 US\$ / tonne,
- prise en compte de tous les frais : ports, canal de Suez (0,4 MUS\$ pour un 6500, 0,6 MUS\$ pour un 11400), coûts de gestion technique, équipages, assurances, etc.,
- rotation typique avec 4 ports principaux en Nord Europe, Malte, Transit par Suez, Port Klang, Hong Kong, 3 ports principaux en Chine et retour par les mêmes ports, le tout en 56 jours, vitesse moyenne d'exploitation de 22,5 nd pour le 6 500 Evp, 23,5 nd pour le 11 000 Evp.

Le coût de transport, ramené à l'Evp – le « slot cost »- est calculé en additionnant les coûts de capital, d'entretien, d'équipage, assurance, huiles, combustibles, frais de port, etc. le tout est divisé par la capacité réelle du navire sur la ligne considérée. Ainsi sur des services Asie/Europe, le poids moyen des conteneurs est bien inférieur à 10 t / Teu alors qu'il est facilement de 14 t / Teu sur des lignes Asie/Afrique. L'hypothèse est aussi faite que le navire est rempli à sa capacité optimum.

Le coût de transport d'un équivalent vingt pieds sur un trajet, « slot cost one way » serait :

- environ 550 US\$ pour le 6 500 Evp,
- environ 400 US\$ pour le 11 400 Evp,

soit une économie des coûts de transport de 25 à 30%, ce qui explique aisément l'intérêt des armateurs pour ces navires.

L'analyse de la structure de ces coûts montre que l'écart est principalement dû aux différences de coût d'achat du navire et assurances, les autres coûts étant sensiblement équivalents. Enfin le dénominateur (capacité du navire en Evp) permet cet effet d'échelle impressionnant.

Il est aussi intéressant de noter qu'une augmentation de prix d'un navire de 11 400 Evp de 5 MUS\$ entraîne une augmentation du slot cost de 15 US\$.

C'est cette approche économique qui est à l'origine de ce développement aussi rapide des très grands porte-conteneurs.

2. EVOLUTION DES NAVIRES

2.1. Bref historique

Les années 2000/2001 voyaient arriver sur le marché les navires de la classe 6 500 Evp. Ces navires furent pour beaucoup employés sur les lignes Asie – Europe, en remplacement des navires de 4 000 Evp « panamax », de génération 1996/1997.



CMA CGM BERLIOZ, 6 621 Evp – photo CMA CGM

Peu de temps après, la CMA CGM prenait livraison en 2004 d'une série de navires de 8 500 Evp pour les lignes transpacifiques. Cette série sera complétée en 2005/2006 par une autre série de sister-ships pour les lignes Asie-Europe.



CMA CGM OTELLO, 8 488Evp – source CMA CGM

L'œil exercé notera la disparition du gaillard d'avant à partir et au-delà de la taille 8 500 Evp, sur les navires CMA CGM et d'autres Compagnies. La longueur et le franc-bord des navires ont permis ce développement, d'abord testé en bassin avant d'être mis en application en 2004.

Dans la foulée, les navires de la classe 9 400 Evp étaient livrés courant 2006.

A noter que la première génération des navires de 9 000 Evp était basée sur un plan de coque de 8 500 Evp allongé, la seconde génération a été conçue directement pour cette taille de navire, ce qui a permis un gain de 300 Evp environ, portant cette classe de navire à 9 700 Evp.

Pour mémoire, un navire de taille 9 700 Evp a aussi été conçu plus large et moins long, mais nettement moins diffusé.

Il ne faut pas oublier les contraintes physiques dans les chantiers navals. L'optimisation de l'espace des cales sèches et la recherche constante de gains de productivité a pu parfois être à l'origine de certains concepts, notamment lorsqu'il a fallu passer de 8 000 Evp à 9 000 Evp. Les chantiers coréens ont pris « l'habitude » de construire les navires avec des intervalles de 2m au maximum entre les coques, voire parfois moins côté quai. Certains chantiers ont donc préféré allonger les coques plutôt que de les élargir, notamment dans le cas de commandes transformées afin de ne pas bouleverser leurs plans d'occupation des cales sèches.



Porte-Conteneurs en construction, chantier Hyundai Samho

Au même moment, les armateurs transformaient des commandes de navires de 9 400/9 700 Evp en navires de 11 000 Evp, voire 11 400 Evp. Par exemple, la CMA CGM recevra entre fin 2008 et mi-2010 une longue série de 16 navires de classe 11 000/11 400 Evp, construits par les chantiers sud-coréens Daewoo Shipbuilding and Marine Engineering et Hyundai Heavy Industries.



CMA CGM FIDELIO, 9 488Evp – photo CMA CGM

Cette accélération de l'augmentation de la taille des navires, véritable course à la capacité, est actuellement à son point culminant, les dernières « cales » disponibles avant les exigences de l'Annexe 12A de la MARPOL étant quasiment toutes prises. Rappelons que ces nouvelles dispositions concernent la protection des citernes à combustible et à huile, vulgarisée sous le terme de « double coque ». C'est cette option qui semble être retenue par les chantiers, l'autre possibilité de conformité avec le calcul probabiliste semble ne pas avoir eu de succès.

2.2. Caractéristiques principales

Les principales dimensions des navires sont résumées dans le tableau ci-dessous.

	6500's	8500's	9400's	11400's
Longueur HT (m)	300	334	349	363
Longueur pp (m)	286	319	333	348
Largeur (m)	40,3	42,8	42,8	45,60
Creux (m)	24,1	24,6	27,3	29,7
TE échant. (m)	14,30	14,5	15,0	15,5
Port en lourd (t)	80 000	100 000	115 000	130 000
Capa. Nom. (teu)	6 621	8 488	9 415	11 356
dont pontée	3 614	4 653	4 742	5 512
dont cale	3 007	3 835	4 673	5 844
Rangées de ctrs				
Deck	16	17	17	18
Hold	14	15	15	16
Plans de ctrs				
Deck	7	8	8	8
Hold	9	9	10	11

- le 9 400 Evp est un 8 500 Evp plus long et plus haut (+1 baie 40', +1 plan en cale)
- le 11 400 Evp est un 9 400 Evp plus long, plus large et plus haut (+1 baie 40', +1 plan en cale, +1 rangée)

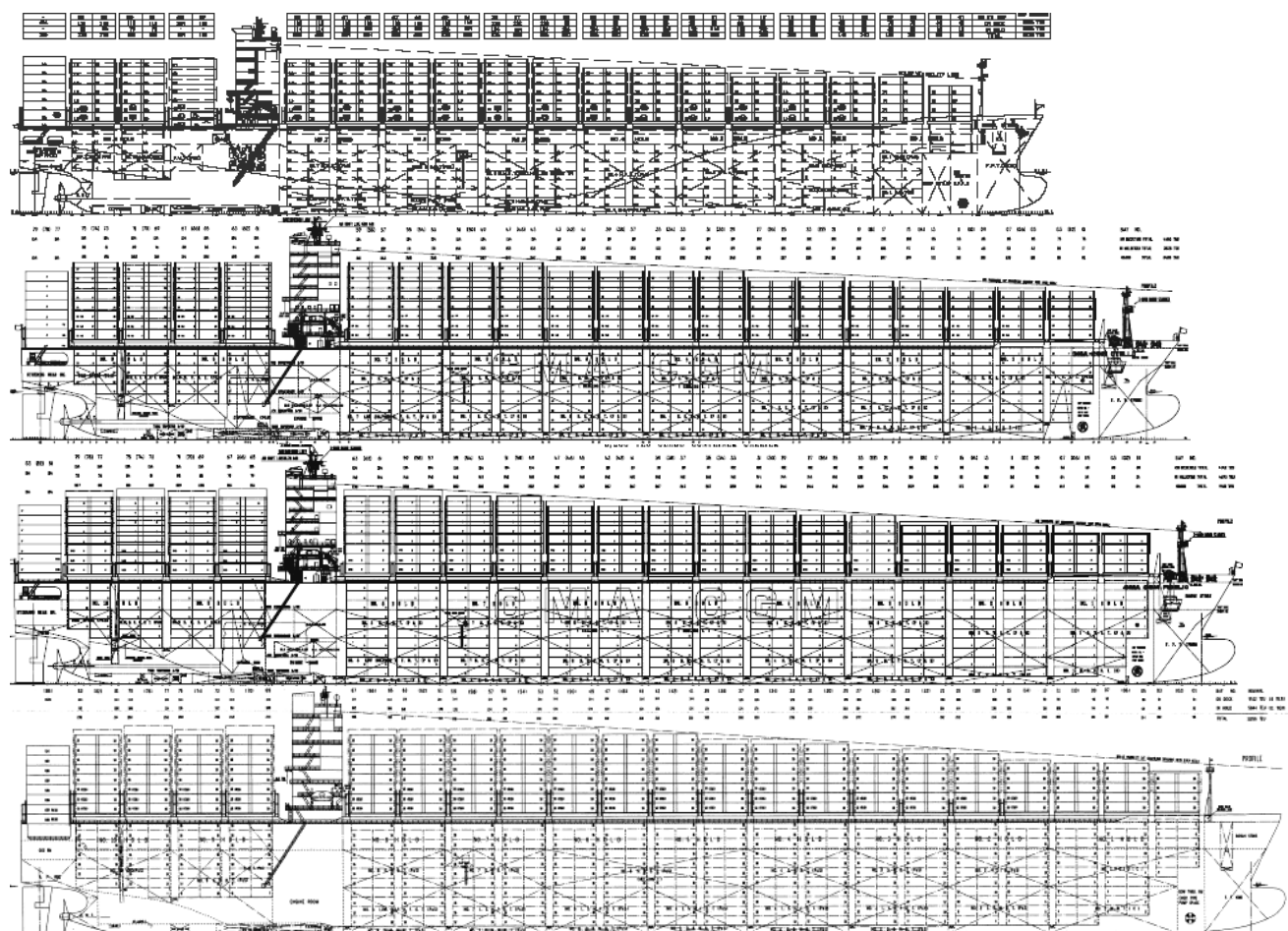
Nous touchons alors là le cœur de l'exercice : par petites étapes successives, les navires ont été agrandis de 6 500 Evp à 11 400 Evp. Le développement s'est fait petit à petit et progressivement sur une période relativement courte, mais en maîtrisant les éléments à chaque étape.

De ce tableau, il ressort immédiatement que :

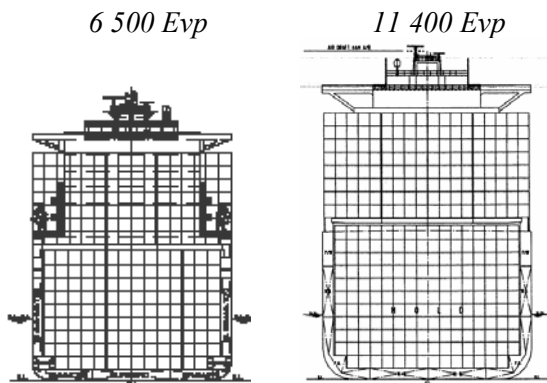
- le 8 500 Evp est un 6 500 Evp plus large et plus long (+1 rangée, +2 baies 40')

Ci-après les vues de profil des quatre classes de navires concernés.

6 500, 8500, 9400 et 11 400 Evp...



Les coupes au maître montrent le même effet d'échelle, l'intérêt principal est de constater que l'épaisseur de la double coque n'a pas changé :



En effet, de nombreux avant-projets proposaient des navires avec une double coque élargie afin de répondre aux problèmes structurels. Finalement, l'expérience a montré qu'il était toujours possible de concevoir et d'exploiter les navires avec une double coque « classique » de 2m d'épaisseur environ.

3. PROPULSION

Avec l'augmentation de la taille, les temps de manutention dans les ports augmentent, et ce malgré les gains en productivité. La vitesse des navires doit donc augmenter pour tenir les cadences hebdomadaires des lignes maritimes ou bien le nombre d'escales doit être réduit.

3.1. Principe de propulsion

Sur les grands porte-conteneurs, la propulsion est assurée par un moteur diesel lent deux temps, directement couplé à une hélice à pales fixes. Du fait de l'utilisation des navires, c'est à ce jour le meilleur compromis entre investissement, exploitation, maintenance et consommation.

Deux concepteurs se partagent le marché de ces grands moteurs : Wärtsilä-New Sulzer Diesel et Man B&W. Les moteurs sont fabriqués sous licence par des constructeurs asiatiques pour les plus gros moteurs.



Moteur Man B&W 12K98MC-C – photo CMA CGM

Les moteurs d'alésage 98cm (Man B&W) et 96cm (WNSD) ont été développés fin des années 90, les premiers étant mis en service dans la foulée.

Ainsi les 6 500 Evp étaient équipés de moteurs de 93 000 Ch (12K98MC-C ou 12RTA96C).



Moteur WNSD 12RTFlex 96C – photo CMA CGM

Ces moteurs sont restés longtemps les plus puissants du marché. Ce n'est que très récemment que les premières versions 14 cylindres (environ 110 000 Ch) ont été mises en service sur les navires de la série EMMA MAERSK.

Pour répondre à la demande des armateurs, une version améliorée du 12K98ME-C a été développée : elle permet, sur ce moteur, de gagner 5% de puissance, portant la puissance nominale à 98 000 Ch. Au passage, l'arbre à cames est totalement supprimé, les versions « électroniques » des moteurs lents deviennent le nouveau standard de l'industrie. Grâce à une meilleure optimisation du moteur à tous les régimes, la consommation en combustible est légèrement réduite : 1 à 2 % de gain quand on

consomme 10 000 t sur un voyage complet Asie-Europe n'est pas négligeable. De plus ces moteurs électroniques sont plus évolutifs, ils pourront s'adapter aux futures normes d'émission et à toutes contraintes d'exploitation, y compris à faible charge.

Nous allons voir que cette dernière solution a été retenue pour les navires de la classe 11 000 Evp, car elle permet d'assurer une vitesse suffisante pour une exploitation sans problème particulier sur les lignes maritimes. Ces moteurs bénéficient maintenant de toute l'expérience des armateurs et des motoristes, après des débuts parfois un peu délicats, leur fiabilité est désormais excellente. Aussi les armateurs ont-ils fait ce choix économique d'un seul moteur de propulsion. Sur les plus gros navires toutefois, des systèmes de récupération d'énergie sont à l'étude, voire installés. Ces équipements peuvent délivrer jusqu'à 10 MW sur la ligne d'arbres, via un moteur directement bobiné sur l'un des arbres intermédiaires : « booster drive ». Poussant le raisonnement jusqu'au bout, il est même envisageable d'installer un accouplement hydraulique entre le moteur principal et la ligne d'arbres, permettant en cas d'avarie de rentrer au port à faible vitesse, propulsé uniquement par le booster drive.

3.2. Caractéristiques hydrostatiques des navires

Les coefficients de bloc des navires sont compris entre 0.60 et 0.70. Mis à part les 6 500 Evp qui avaient été optimisés en vue de garantir une vitesse d'exploitation de 26nd, les porte-conteneurs de 8 500 Evp et plus ont des coefficients de bloc très voisins.

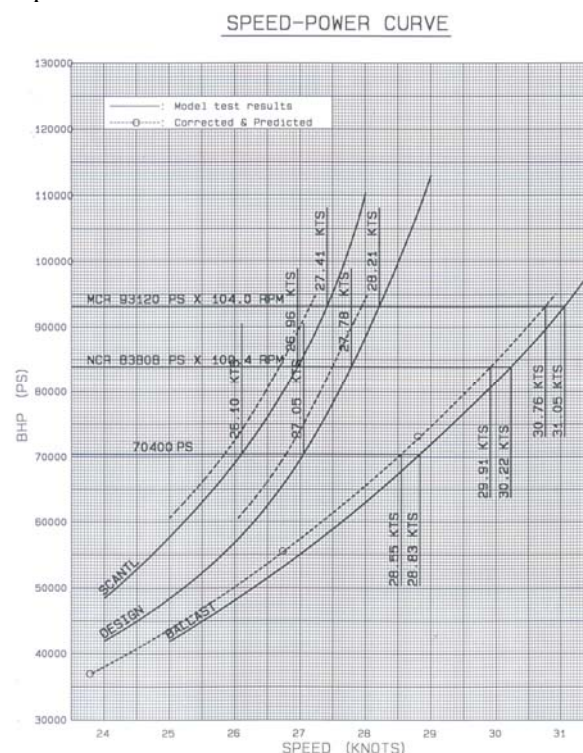
En fait, les rotations telles que prévues pour les 6 500 Evp ne peuvent plus être assurées avec les navires plus gros, leur vitesse ne pouvant assurer de compenser les temps d'escale rallongés. Les opérateurs ont alors réorganisé les services pour diminuer le nombre de ports, quitte à doubler certains services, de manière à toujours desservir le plus de ports possibles.

Quitte à ne plus mettre la vitesse comme priorité pour le dessin des coques, les chantiers et opérateurs ont alors privilégié l'emport sur les navires de 8 000 Evp et plus.

Le tableau ci-dessous résume les principales caractéristiques des coques des navires, du 6 500 Evp au 11 400 Evp.

	6500's	8500's	9400's	11400's
Longueur HT (m)	300	334	349	363
Longueur pp (m)	286	319	333	348
Largeur (m)	40.30	42.80	42.80	45.60
Creux (m)	24.10	24.60	27.30	29.70
TE optim (m)	12.00	13.00	13.00	13.00
Lgr. flottaison (m)	292.3	317	331	344
Surf. mouillée (m2)	13366	16545	17447	18732
Volume carène (m3)	83112	114413	122186	133063
Cb	0.60	0.64	0.66	0.64
Cp	0.61	0.67	0.66	0.65
TE échantil. (m)	14.30	14.50	14.50	15.50
Lgr. flottaison (m)	292.3	325	339	353
Surf. mouillée (m2)	14993	17844	18820	21114
Volume carène (m3)	101632	131760	140464	166853
Cb	0.63	0.66	0.68	0.68
Cp	0.64	0.69	0.70	0.69

La tendance est confirmée, les navires de 6 500 Evp en commande actuellement sont équipés de moteurs 10 cylindres seulement, les diverses rotations étant ainsi assurées par des séries de navires de vitesses sensiblement équivalentes tout en étant de tailles différentes.



Courbes de propulsion d'un 6 500 Evp – CMA CGM

Les vitesses obtenues ou attendues sont reprises dans le tableau suivant.

	6500's	8500's	9400's	11400's
MCR MP (Ch)	93120	93120	93120	98150
MCR MP (kW)	68530	68530	68530	72240
TE optim (m)	12.00	13.00	13.00	13.00
Vitesse (nd)	27.00	25.60	25.20	26.00
TE échantil. (m)	14.30	14.50	14.50	15.50
Vitesse (nds)	26.10	24.70	24.30	24.30

Vitesses définies pour 90%MCR, 15% sea margin, Vent Beaufort 0

4. ASPECTS STRUCTURELS

Nous nous attarderons ici sur certains points particuliers aux porte-conteneurs.

4.1. Moments fléchissants

Les coques de ces navires sont finalement relativement similaires.

La double coque, nécessaire pour la structure du fait des grandes ouvertures pour les cales, est largement utilisée comme capacités à ballast ou à combustible, ou encore laissée comme des espaces clos vides.



6 500 Evp en construction, chantier Hanjin, Corée du Sud – photo CMA CGM

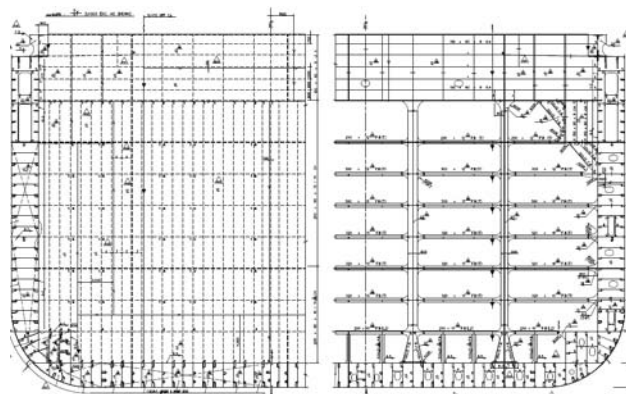
Les moments fléchissants sont principalement repris par la structure longitudinale de la coque. L'augmentation du creux des navires a permis d'augmenter l'inertie de la poutre et d'absorber le rallongement.

	6500's	8500's	9400's	11400's
Longueur HT (m)	300	334	349	363
Longueur pp (m)	286	319	333	348
Largeur (m)	40,3	42,8	42,8	45,60
Creux (m)	24,1	24,6	27,3	29,7
TE échant. (m)	14,30	14,5	15,0	15,5
Moment flech. eau calme (t.m)	450 000	630 000	670 000	720 000

Cet effet est très bien illustré par un bref comparatif des épaisseurs des tôles : alors que les 9 400 Evp ont des épaisseurs de tôle de la coque au niveau du pont de 66mm (EH36) et même 80mm pour l'hiloire, les 11 000 Evp vont voir ces mêmes tôles diminuer en épaisseur : 60mm (EH36) pour la coque et 74mm (EH40) pour l'hiloire.

4.2. Moments de torsion

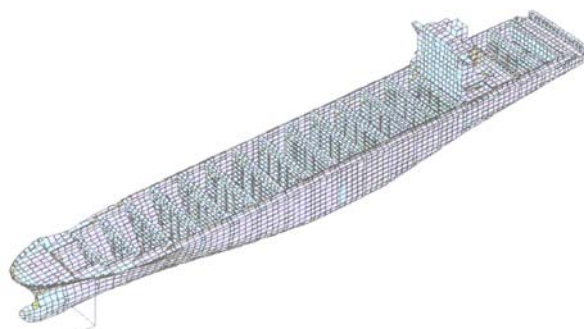
Sur les plus gros navires, les problèmes posés par les moments de torsion ont imposé de développer et affiner les cloisons transversales entre les cales. Ainsi l'on trouvera des « torsion box » très renforcées et très travaillées, voire descendant nettement en dessous du niveau du pont principal.



Projet de coupe au maître, navire de classe 11 000 Evp

Tous ces navires font l'objet de calculs très poussés et détaillés en modélisation par éléments finis. Après les modèles 2D, le navire sera modélisé en 3D par le chantier et la société de classe. Les navires CMA CGM sont ainsi analysés par les logiciels Mars, Mars Torsion et Veristar du Bureau Veritas.

Les zones les plus sensibles, comme les coins d'hiloire ou de pont, certaines lisses, sont maillées très finement et font l'objet de calculs de fatigue.



Modèle Veristar d'un porte- conteneurs – Bureau Veritas

Différents cas de chargement sont appliqués au navire sur les états de mer réglementaires : depuis les cas ballast aux cas chargé en 40' sauf une baie tout en appliquant le moment fléchissant en eau calme maximum.

4.3. Autres points

Les autres points sensibles des porte-conteneurs se trouvent à l'avant et à l'arrière des navires.

En effet, les puissances propulsives installées sont telles qu'il est aisé de naviguer trop vite dans une mer bien formée. Dans la fin des années 1990, nombreux furent les porte-conteneurs qui subirent des déformations à l'étrave.

Les développements des navires, en en faisant de véritables plateformes pour charger un nombre maximum de conteneurs, ont induit des angles de bordé très ouverts sur l'avant. Face à la houle, la mer ne s'évacue pas aisément et les pressions locales peuvent s'élever et dépasser les contraintes admissibles.

Les sociétés de classe ont maintenant intégré ces paramètres dans leurs règlements, permettant de s'affranchir aujourd'hui de ces problèmes.

Les parties arrière sont elles aussi très sollicitées. Les voutes très larges et très éloignées des formes en V classiques sont sensibles au slamming arrière. De plus, elles peuvent induire des comportements dangereux du navire : surf incontrôlé, roulis paramétrique dû aux variations rapides de la stabilité.

5. ARRIMAGE DES CONTENEURS

5.1. Principes d'arrimage

L'arrimage des conteneurs est l'objet de toutes les attentions de la part des armateurs.

Les conteneurs en pontée sont saisis les uns aux autres par des verrous, les « twistlocks », de Charge Maximale Utile (CMU) 25 t. Ces pièces absorbent les efforts de traction et de cisaillement entre les coins ISO des conteneurs.



Les premiers plans de conteneurs sont également saisis par l'intermédiaire de barres et ridoirs standardisés (CMU 25 t), destinés à absorber une grande partie des efforts de déséquerrage de la pile, mais aussi une partie du soulèvement.

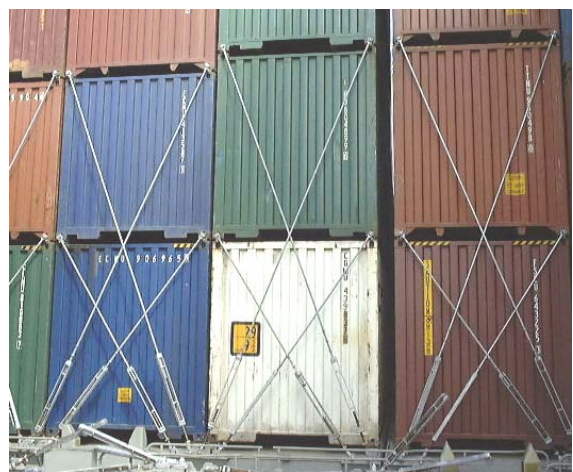


Photo CMA CGM

Enfin, les conteneurs eux-mêmes participent à la tenue de l'ensemble de la pile.

Il est remarquable de noter qu'aujourd'hui tous ces éléments sont sollicités de manière homogène. Augmenter la CMU des barres par exemple n'aurait de sens que si les CMU des twistlocks, des conteneurs, des coins ISO, etc. étaient aussi augmentées.

Tous les navires « overpanamax » sont équipés de passerelles de saisissage permettant de saisir

les piles de conteneurs à partir d'un niveau supérieur, correspondant au bas du 2^{ème} plan de conteneurs.

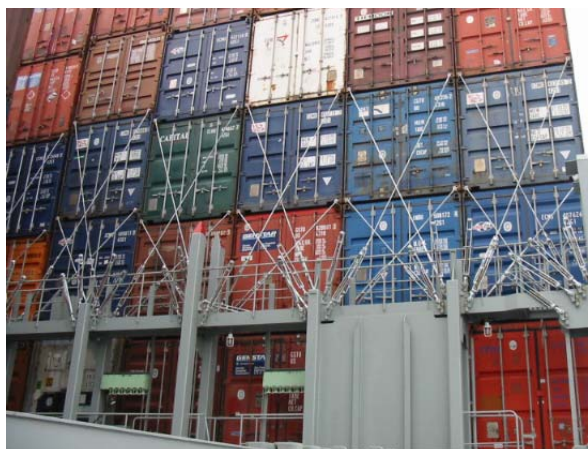


Photo CMA CGM

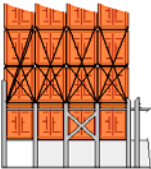
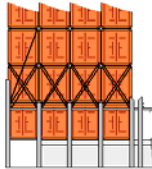
5.2. Optimisations des systèmes de saisissage

Dans ce chapitre, nous mettrons à part les problèmes du navire lui-même dus au chargement : stabilité, efforts tranchants, moments fléchissant et de torsion, pour nous concentrer sur les questions d'arrimage et de résistance des piles de conteneurs.

Le rôle de l'architecte naval est d'optimiser le navire afin d'offrir la plus grande souplesse d'utilisation. Dans le cas des piles de conteneurs, l'objectif est d'autoriser les répartitions de poids les plus favorables, c'est-à-dire les plus homogènes, et le centre de gravité le plus haut possible, tout en restant dans un cadre réaliste, notamment en ce qui concerne la stabilité transversale du navire qui a une influence directe sur les efforts induits sur les piles et le matériel.

Un gros travail d'optimisation a été effectué par CMA CGM en coopération avec le Bureau Veritas dans les années 2000/2001 dans le but d'optimiser le chargement des 6 500 Evp.

La raideur transversale des passerelles et les différents systèmes de saisissage ont été étudiés, aboutissant aux conclusions présentées dans le tableau ci-dessous.

Passerelle	renforcé 	standard 														
Système de barres & ridoirs																
	Courtes et longues	Courtes uniquement														
Répartition Poids (40') Poids max pile 105 t 7 plans	<table><tr><td>6.0</td></tr><tr><td>14.0</td></tr><tr><td>14.0</td></tr><tr><td>14.0</td></tr><tr><td>14.0</td></tr><tr><td>21.0</td></tr><tr><td>22.0</td></tr></table>	6.0	14.0	14.0	14.0	14.0	21.0	22.0	<table><tr><td>3.5</td></tr><tr><td>12.0</td></tr><tr><td>14.0</td></tr><tr><td>14.5</td></tr><tr><td>14.5</td></tr><tr><td>21.0</td></tr><tr><td>25.5</td></tr></table>	3.5	12.0	14.0	14.5	14.5	21.0	25.5
6.0																
14.0																
14.0																
14.0																
14.0																
21.0																
22.0																
3.5																
12.0																
14.0																
14.5																
14.5																
21.0																
25.5																
Répartition Poids (40') Poids max pile 105 t 6 plans	<table><tr><td>15.0</td></tr><tr><td>15.0</td></tr><tr><td>15.0</td></tr><tr><td>15.0</td></tr><tr><td>22.0</td></tr><tr><td>23.0</td></tr></table>	15.0	15.0	15.0	15.0	22.0	23.0	<table><tr><td>10.0</td></tr><tr><td>12.0</td></tr><tr><td>14.0</td></tr><tr><td>20.0</td></tr><tr><td>24.0</td></tr><tr><td>25.0</td></tr></table>	10.0	12.0	14.0	20.0	24.0	25.0		
15.0																
15.0																
15.0																
15.0																
22.0																
23.0																
10.0																
12.0																
14.0																
20.0																
24.0																
25.0																

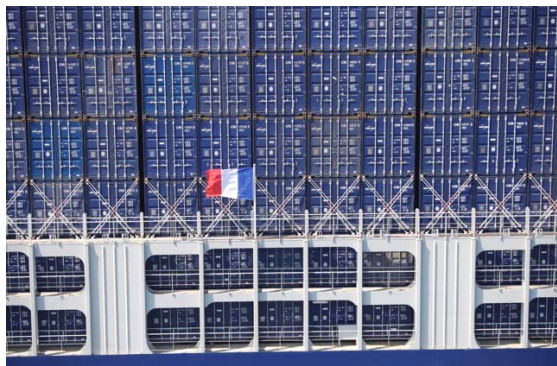
L'intérêt dans ce cas est bien d'utiliser une structure du type « renforcé » pour les passerelles, et une combinaison de barres longues et courtes pour saisir les conteneurs. Cette configuration présente deux inconvénients : poids supplémentaire pour les passerelles, mais surtout difficulté de manipulation des grandes barres de saisissage, qui pour une longueur moyenne de 4,60m pèsent tout de même environ 23kg.

Lors du développement des séries 8 000/9 000 Evp, la question s'est reposée, d'autant que les poids des piles 40' en pontée ont été augmentés à 120t.

Les études ont conclu que l'utilisation de seules barres courtes en combinaison avec des passerelles de saisissage conventionnelles (1 plan de haut), mais renforcées, autorise des répartitions de poids tout à fait convenables et acceptables pour les opérations.

5.3. Développements :

La tentation est tout de même forte de doubler la hauteur des passerelles de saisissage afin d'améliorer encore les répartitions de poids et augmenter la sécurité du transport :



CMA CGM FIDELIO, 9 415 Evp – photo CMA CGM

Mais une telle structure est très lourde. Une passerelle double pèserait plus de 60 t.

Alors de nouveaux concepts de passerelles ont été développés :



Source Mac Gregor

De structure plus légère, on estime qu'une passerelle du nouveau type, mais de hauteur double, ne pèsera que 15 à 20% de plus que les structures conventionnelles à un plan. Cela rend ces passerelles doubles tout à fait compétitives et ouvre la voie à des répartitions de poids d'autant plus intéressantes que les poids par pile sont passés à 140 t.

6. DEVELOPPEMENTS CONCLUSIONS

Les développements de ces navires ont été et sont toujours très rapides, aussi le besoin d'analyser les réactions à la mer en échelle 1 s'est rapidement fait sentir. C'est l'objet du groupe de travail *lashing@sea* décrit ci après.

Dans le même temps, les études et les développement se poursuivent pour les navires de la génération suivante.

6.1. Groupe de travail *Lashing@sea*

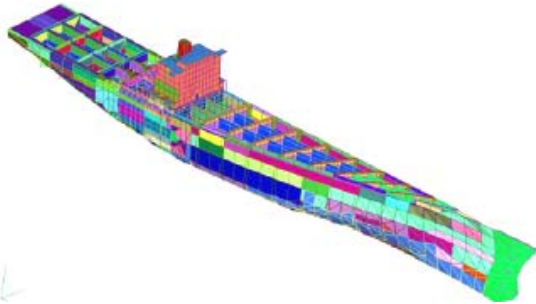
Sous l'initiative de Marin Institute (Pays Bas), un groupe de travail de l'industrie a été constitué dans le but d'étudier l'état de l'art et améliorer les systèmes d'arrimage des marchandises à bord des navires.

Ce groupe de travail regroupe différents grands armateurs, sociétés de classification, fabricants de matériel de saisissage, organismes de recherche et états.

Dans le cadre « porte-conteneurs » de ce projet, nous avons mis à disposition un navire de 9 400 Evp, le CMA CGM RIGOLETTO. En parallèle des mesures effectuées par *Lashing@sea*, la CMA CGM, Marin et le Bureau Veritas ont décidé d'unir leurs moyens afin d'étendre le champ des mesures pendant cette campagne.

Dans un premier temps, le navire a été équipé d'accéléromètres, de jauges de contraintes et transporte deux conteneurs instrumentés.

Les objectifs de cette campagne sont de caractériser les mouvements et efforts réels de plateforme de ces grands porte-conteneurs, ainsi que les efforts induits sur les conteneurs. Nous attendons en particulier une approche plus fine des accélérations en tout point du navire à la mer, y compris de caractériser la réponse élastique de la coque à la houle.



Source : Marin Institute

La campagne de mesures a réellement démarré cet hiver et nous espérons pouvoir commencer à tirer les premières conclusions d'ici la fin de l'année 2007.

6.2. Projets futurs - Conclusions

Nous nous devons de rester prudents quant aux prévisions, les avant-projets de navires conçus ces dernières années présentaient des châteaux avancés, des doubles coques épaissies, des propulsions à deux lignes d'arbre et deux moteurs, etc. Et finalement l'expérience a montré que l'industrie était capable de construire des navires jusqu'à 11 400 Evp sur le même concept pour répondre aux besoins des opérateurs et de leurs clients.

De plus, il est établi maintenant que les nouvelles écluses du canal de Panama permettront le passage de navires jusqu'à 12 600 Evp, la longueur étant limitée à 366m environ : les prochaines générations seront probablement des navires plus larges que les 11 400 Evp, mais guère plus longs.

Quelle sera l'étape suivante ? Le chantier danois Odense a déjà construit des navires de capacité estimée à plus de 13 000 Evp, conçus sur un concept nettement différent, et intégrant d'ores et déjà les exigences de la nouvelle réglementation MARPOL annexe 12A (protection des caisses à fuel et huiles). Ces navires seront au delà du gabarit pour les nouvelles écluses de Panama.

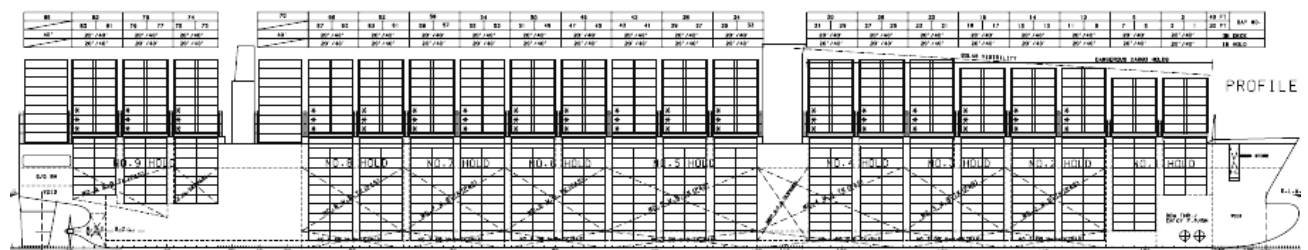
La machine et le château sont installés vers le milieu du navire, induisant une ligne d'arbres de grande longueur. Les soutes à combustibles sont prévues en cale, protégées par la double coque.



Navire type EMMA MAERSK

Il est cependant remarquable de noter que ces navires sont toujours propulsés par le même moteur diesel, en version 14 cylindres (14RTFlex96 ou 14K98ME-C), avec une seule ligne d'arbres.

L'autre concept pour la nouvelle génération de porte-conteneurs est celui développé par les chantiers sud-coréens : le château est situé au tiers avant du navire, les soutes à combustibles étant placées juste en dessous. Le compartiment machine reste lui à sa place traditionnelle, au quart arrière du navire. De nombreux navires de taille 12 600 Evp et plus sont déjà en commande dans les grands chantiers sud-coréens sur ce concept.



Projet de 12 600 Evp, CMA CGM