

Le concept ECOSHIP, une illustration de la démarche d'éco-conception mise en place par DCNS dans les dernières années

Philippe Goubault, Jade Garcia, Philippe Thieffry & Christophe Chabert
Ingénieurs DCNS

L'éco-conception est un domaine vaste et encore assez nouveau. Dans de nombreux secteurs industriels, la conception et la fabrication d'éco-produits sont des axes essentiels d'innovation. Si ce sujet est très « à la mode », la définition d'un navire éco-conçu ne nécessite pas moins un véritable travail d'analyse.

Il ne suffit pas en effet de s'armer de bonnes intentions et d'afficher quelques mesures élémentaires pour atteindre les objectifs susceptibles de créer un impact réel et durable. Il faut mettre en place une démarche et la systématiser, trouver des solutions et les mettre en œuvre.

C'est pourquoi DCNS s'est attelé depuis plusieurs années déjà à mettre en place une démarche d'éco-conception (voir encadré sur la démarche éco-conception générale p 51), et a développé ses moyens dans le domaine en prenant une place active dans de nombreux projets de recherche sur le sujet (voir encadré sur les projets en partenariats p 56).

Mais pour donner une forme plus concrète et plus parlante à ses efforts, DCNS a engagé un projet mettant en pratique les enseignements engrangés à ce jour : le projet ECOSHIP. En se donnant un objectif ambitieux et plus encore en montrant qu'il était à notre portée, DCNS a montré au travers de ce projet que l'éco-conception était une démarche payante, un véritable pari sur l'avenir.

Un peu de contexte : l'analyse du cycle de vie

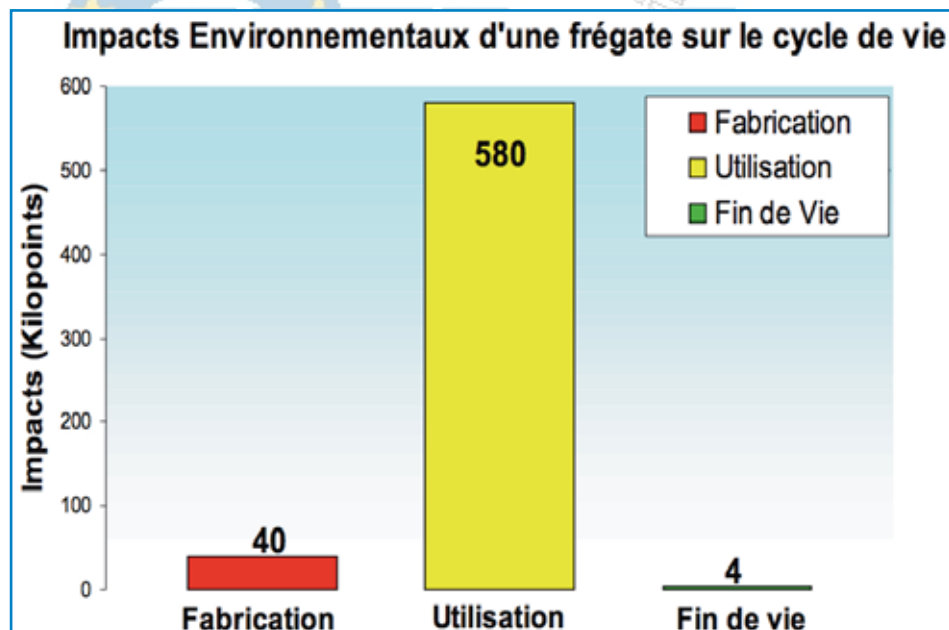
Pour être pertinente, la mesure de l'impact environnemental d'un produit (ou d'une activité), doit se faire sur l'intégralité du cycle de vie du produit, depuis les premiers traits de crayons et l'extraction des matières premières jusqu'à sa déconstruction et le recyclage et non pas seulement sur sa fabrication et/ou son cycle

d'exploitation. De même, il ne faut pas se contenter d'une analyse purement énergétique ou du seul bilan CO₂, mais regarder l'ensemble des « dommages » causés à l'environnement, sous toutes ses formes. Il importe en effet de tracer l'ensemble des matériaux utilisés, répertorier les rejets de toutes sortes et comptabiliser l'ensemble des dépenses énergétiques mises en œuvre à chaque étape du cycle de vie.

Cette démarche se dénomme « analyse du cycle de vie » ou ACV et est très lourde à mettre en œuvre pour un navire tant il y a de composants et de matériaux mis en œuvre dans un produit aussi complexe. DCNS s'est donc attelé à identifier les éléments qui contribuent le plus à l'impact environnemental.



Une première démarche d'ACV conduite sur un navire de la gamme DCNS a ainsi permis d'identifier les produits les plus critiques, leurs quantités sur un tel navire. Désormais DCNS répertorie l'ensemble des produits dangereux pour l'environnement présents sur un navire dans un « passeport vert », qui suivra le navire durant toute sa vie.



Par ailleurs, pour juger de la nocivité relative de différents matériaux ou produits pour l'environnement, il importe de mettre en place une mesure unifiée. DCNS a choisi d'utiliser la méthode Éco-Indicateur 99 reconnue dans le monde industriel. Cette méthode est avant tout adaptée à l'évaluation des activités terrestres et n'est donc pas optimale dans la représentation des impacts d'un navire mais permet de mener

Recherche et innovation maritime

Le concept ECOSHIP

une analyse complète et légitime d'un navire. Pour améliorer cette évaluation, DCNS contribue à développer une méthode adaptée aux activités navales (voir encadré sur les projets en partenariats) et au milieu maritime.

Si l'analyse doit être menée sur l'ensemble du cycle de vie, il est vite apparu que l'effort le plus important devrait être porté sur le cycle d'exploitation. Du fait de la longueur de ce cycle (25-30 ans voire plus pour certains navires), les rejets dus à la consommation énergétique du navire en utilisation apparaissent nettement comme le principal contributeur vis-à-vis de l'impact environnemental.

Le choix d'un navire de référence

Enfin, dernier élément de contexte, il fallait pour lancer ce projet appliqué un navire de référence. Ce navire devait correspondre à un produit actuel et offrir suffisamment de flexibilité dans sa conception pour explorer toutes les voies de l'éco-conception.

Le projet de *Multi-Role Cutter* (MRC) étudié ces dernières années par DCNS s'est présenté comme un bon candidat. Il répond à un besoin de notre marine encore au stade de définition amont : le renouvellement des navires de sauvegarde et de souveraineté.

À la limite entre les navires militaires et les navires civils, cette plateforme assez générique, susceptible d'applications multiples et s'appuyant sur des standards et des technologies modernes semblait un candidat idéal pour effectuer la démarche. Ce projet avait de surcroît été étudié en deux variantes de forme de coque, ce qui constituait en soi un intérêt supplémentaire.

Les caractéristiques principales du projet initial de MRC (patrouille maritime et transport) étaient donc les suivantes :

Mission	Patrouille maritime et transport
Longueur	90 mètres environ
Déplacement	2 700 à 3 000 tonnes
Structure	Acier
Puissance installée	8 à 10 mégawatts
Vitesse	20 nœuds
Autonomie	7 000 milles à 15 nœuds

Un objectif ambitieux

L'expérience des éco-produits réalisées dans d'autres secteurs industriels montre que des gains substantiels sont réellement possibles dès lors que les objectifs sont ambitieux. En s'appuyant sur ces expériences, DCNS s'est donc fixé un double objectif :

- diviser par deux l'impact sur l'environnement sur l'ensemble du cycle de vie ;

- amortir sur cinq ans maximum tous les surcoûts liés aux mesures spécifiques qui seraient adoptées dans la conception.

On garantissait ainsi non seulement la viabilité économique de la démarche mais même un retour très positif sur le long terme, car il va de soi que si cet objectif est tenu, un tel projet conduirait indubitablement à des économies de masse sur la durée totale de la vie du navire (soit environ 30 ans).

Démarche éco-conception générale

Au cœur de sa démarche de développement durable, DCNS a développé une politique environnementale afin de contrôler et diminuer l'impact sur l'environnement de ses activités et de ses produits. Ainsi, à la mise en conformité ISO 14001 de ses sites, DCNS associe une démarche d'éco-conception des navires armés pilotée et développée par l'ingénierie. Objectif : réduire leur empreinte environnementale, à toutes les phases de leur cycle de vie, de la construction au démantèlement, en passant par l'exploitation et la maintenance.

Les domaines concernés sont multiples :

- analyse du cycle de vie (ACV) : évaluer l'impact environnemental du navire pour l'optimiser (construction / exploitation / démantèlement) ;
- sources d'énergie : utiliser des sources d'énergie moins nocives pour l'environnement, en particulier, pouvoir réduire au minimum les rejets gazeux en zones sensibles ;
- rendement énergétique : optimiser l'efficacité énergétique du navire ;
- déchets et émissions : minimiser les déchets en améliorant le stockage, le traitement et la valorisation ; limiter les émissions d'ondes nuisibles ;
- traçabilité et démantèlement : lister et tracer les matières dangereuses du navire ; optimiser le traitement et la valorisation des matériaux en fin de vie.

Concrètement, cette démarche d'éco-conception de DCNS se traduit par :

- des actions concrètes pour évaluer l'impact réel des études sur les projets : ECOSHIP ;
- des actions sur les navires à venir ou déjà en service : analyse environnementale des projets et avant-projets, offres commerciales d'audits énergétiques, de cartographie des matériaux et des substances dangereuses (« passeport vert »)...
- de nombreux projets de R&D, en partenariat avec des industriels et des organismes de recherche civils, afin de développer le meilleur des éco-outils et des éco-technologies de demain.

Une démarche de conception volontariste

Compte tenu des objectifs fixés, il était évident que seule une démarche volontariste permettrait de faire les progrès escomptés. Comme pour toute démarche éco-conception, la première analyse a consisté à identifier les impacts environnementaux les plus significatifs d'un navire et d'y associer le ou les systèmes sources de ces pollutions. La principale source pour un navire étant le carburant, un effort particulier a été réalisé dans ce sens. Mais l'ensemble des travaux ont porté sur les aspects

Recherche et innovation maritime

Le concept ECOSHIP

suivants :

- choix du matériau de fabrication de la coque ;
- optimisation hydrodynamique ;
- optimisation aérodynamique ;
- optimisation de l'architecture du système de propulsion et de production d'énergie ;
- traitement des rejets gazeux et liquides ;
- réduction des besoins énergétiques du bord (notamment la ventilation et l'air conditionné, principal contributeur du bilan électrique d'un navire).

Une analyse des projets d'origine a d'ailleurs

mis en évidence une première clé de réussite : le concept catamaran, bien qu'un peu plus lourd que son équivalent monocoque, demandait environ 20 % de puissance de propulsion en moins. La forme de carène du catamaran, constituée de deux flotteurs étroits et longs pénètre en effet mieux dans l'eau et demande moins de puissance pour l'amener à la vitesse voulue. Le choix de la forme catamaran s'est donc imposé d'emblée.



Une structure en aluminium

Alors que la grande majorité des navires sont fabriqués en acier, les navires les plus rapides au monde sont en général fabriqués dans des matériaux plus coûteux mais plus légers comme l'aluminium ou les composites. Le choix de l'acier s'impose avant tout pour des raisons économiques. Il est difficile de vendre un navire plus cher que le concurrent, même si l'utilisateur s'y retrouvera peut-être en coût d'utilisation. Cependant, dans la démarche éco-conception, la prise en compte de l'impact environnemental prime et la satisfaction de l'objectif d'amortissement sur cinq ans doit être le seul frein à ce genre d'innovation.

Or il se trouve que pour un catamaran, dont le poids de coque est assez élevé du fait de sa grande largeur, l'intérêt d'une structure plus légère était suffisamment important sur la réduction de puissance propulsive pour justifier un tel choix.

Le choix d'une structure en aluminium peut paraître paradoxal sachant que le cycle d'extraction du minerai et de fabrication des plaques et poutres en aluminium est bien plus lourd que pour l'acier (plus de rejets, plus d'énergie mise en jeu). Cependant, le gain de masse sur la structure du navire, et par suite la réduction de puissance motrice et de consommation de gazole (peu ou prou directement proportionnelle à la masse du navire) s'est avéré telle que l'impact sur l'environnement du cycle de construction est compensé dès les premières années d'utilisation.

De plus, en fin de vie, le recyclage de l'aluminium se montre moins énergivore que celui de l'acier car il fond à plus basse température.

Un effort d'optimisation hydrodynamique tous azimuts

Non content du choix d'une carène de type catamaran, des optimisations plus fines ont été faites pour:

- améliorer la forme des coques, en allongeant la longueur de flottaison au maximum,
- améliorer sa pénétration dans l'eau, en adoptant des peintures *anti-fouling* au silicone, plus chères à appliquer mais plus respectueuses de la vie marine (au lieu de tuer les organismes qui cherchent à s'y fixer, on rend la surface trop lisse pour qu'ils y arrivent) et améliorant la glisse,
- augmenter le rendement de l'hélice en adoptant des stators (sorte d'hélice fixe en amont de la première, qui redresse la rotation de l'écoulement) et en intégrant le moyeu de l'hélice au support du gouvernail. Ces solutions, déjà mise en œuvre sur des navires de commerces permettent de gagner quelques points de rendements.



Une démarche innovante concernant l'aérodynamisme également

On ne se préoccupe pas beaucoup aujourd'hui de l'aérodynamisme des navires car la proportion de résistance à l'avancement due au vent est, somme toute, assez faible tant que le navire n'atteint pas des vitesses très importantes (seuls les *ferries* rapides sont étudiés sur ce plan).

Pourtant, dans la démarche ECOSHIP, rien n'est négligé et si l'on regarde le vent apparent rencontré par le navire, il s'avère qu'il est parfois assez élevé pour justifier un peu de travail sur ce plan (lorsque le navire navigue à 20 nœuds contre un vent de 20 nœuds, soit force 5, il voit 40 nœuds de vent apparent, soit force 8 !).

DCNS a donc affiné la silhouette des superstructures, profilé les cheminées et la mâture. Au cours d'une campagne en soufflerie, DCNS a même pu mettre en évidence l'intérêt d'orienter ces éléments ainsi que d'ajouter des panneaux orientables afin de gérer l'aérodynamisme du navire en fonction de l'orientation du vent. Cela permet même de pousser le navire par vent de travers. Le résultat est étonnant : plusieurs centaines de tonnes de gazole économisées chaque année.



Plus loin encore dans la démarche (et d'ailleurs non comptabilisé dans le bilan en fin de projet), l'adjonction d'un cerf-volant automatisé. Déployé aux allures portantes, il permet de réduire dans certains cas jusqu'à 30 % la puissance de propulsion. Au final, et en tenant compte des probabilités d'allures favorables, on économise encore plusieurs centaines de tonnes de gazole annuellement.

Recherche et innovation maritime

Le concept ECOSHIP

De telles mesures ne semblent pas très compatibles sur un navire de guerre moderne, mais en fait, combien de fois un navire de guerre pourrait sans problème effectuer ses missions de surveillance en temps de paix et déployer ainsi bonnettes et cerf-volant pour améliorer son efficacité car qui dit réduction de consommation dit aussi une capacité à durer plus longtemps sans ravitailler. Cela devient donc un avantage opérationnel.

Des moteurs performants et le nettoyage des gaz d'échappement

Les moteurs employés sur la plupart des navires militaires sont soit des moteurs diesels rapides (des moteurs à plus de 1 000 t/min, assez légers et compact) soit des turbines à gaz. Un gain de consommation sensible peut-être fait en adoptant des moteurs communément trouvés sur les navires civils : des moteurs diesels semi-rapides (500 à 750 t/min), certes plus lourds et encombrants mais plus efficaces (ce qui compense en gazole le surpoids des moteurs du reste).

Ces moteurs possèdent un atout supplémentaire pour l'ECOSHIP : ils peuvent être équipés de systèmes d'injection d'eau qui réduit la production des NOx, émissions particulièrement nocives. Pour parfaire l'installation, les eaux usées de l'ECOSHIP sont récupérées, traitées et assainies au point de pouvoir être injectées ainsi dans les moteurs, économisant ainsi la précieuse eau douce du bord.

Une propulsion hybride

Par ailleurs, l'analyse du profil d'emploi du navire effectuée avec des marins a permis de mettre en évidence l'intérêt d'une propulsion hybride, c'est-à-dire un mariage entre une propulsion simple par moteurs diesels à vitesse de croisière et une propulsion électrique aux basses vitesses. Ainsi, le navire coupe ses gros moteurs aux bas régimes pour ne plus fonctionner qu'avec des générateurs plus performants dans ces conditions et se propulser par des moteurs électriques auxiliaires. Cela améliore ainsi encore la consommation en gazole et de surcroît, le navire gagne en souplesse de manœuvre à ces basses vitesses.

Un navire qui se chauffe tout seul

Sur l'ECOSHIP, plus besoin de chauffer en hiver, son système de ventilation « double flux » lui permet de récupérer la chaleur de l'air sortant pour réchauffer l'air rentrant, méthode très employée dans les maisons des pays nordiques et avec succès. Elle permet également en sens inverse de réduire les apports d'énergie pour l'air conditionné par temps chaud.

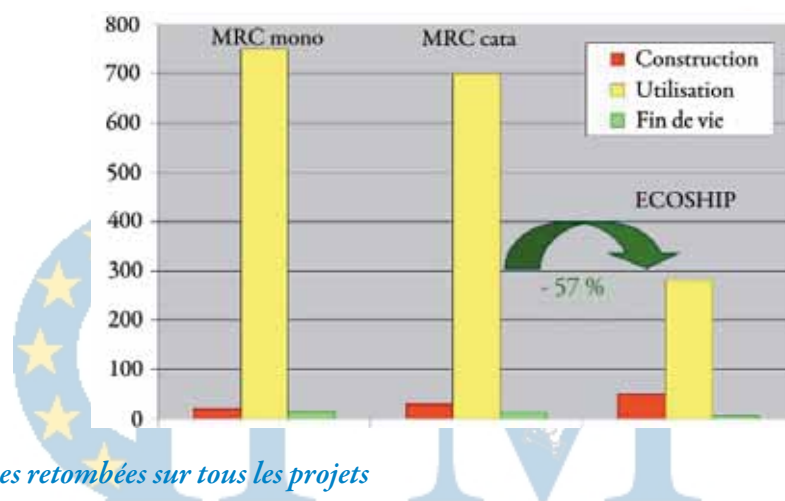
Bilan final : pari réussi !

Après avoir ainsi mis en œuvre toutes ces mesures sur le concept ECOSHIP, un bilan final a été dressé. Il a fait apparaître un gain de près de 60 % des contributions en éco-points à la pollution de l'environnement. Bilan encore meilleur si

on prend en compte la première étape qui a consisté à retenir la forme catamaran et qui pourrait être encore amélioré en comptabilisant les effets du cerf-volant.

Comme discuté plus haut, on voit que la barre « fabrication » (en rouge) est nettement montée, eu égard à l'impact de l'aluminium dans cette phase, mais l'économie de consommation de gazole et des émissions dans le cycle d'utilisation (en jaune) compense largement, sans compter l'abaissement du cycle de déconstruction (en vert), du au recyclage plus aisé de l'aluminium.

Quand au bilan financier, il a permis d'établir que le pari d'amortir sur cinq ans au maximum les surcoûts dus aux solutions technologiques adoptées serait tenu. Cela est obtenu en grande partie grâce aux économies de gazole (de l'ordre de moitié moins que le navire de référence : qui ne rêverait pas de couper sa facture de carburant en deux !).



Des retombées sur tous les projets

Depuis la fin du projet ECOSHIP, l'expérience a bénéficié à tous les architectes de DCNS. et les retombées ont été intégrées déjà dans les nouveaux projets, en particulier :

- adoption des moteurs semi-rapides sur des projets de frégate et d'Offshore patrol vessel ;
- adoption des principes d'échangeurs double-flux de même sur les nouveaux projets ;
- recherche de solutions hybrides de propulsion sur les OPV et les futurs bâtiments tavitailleurs ;
- etc.

En conclusion, DCNS a une nouvelle fois démontré sa capacité à relever les *challenges* fondamentaux de notre temps en proposant des solutions qui permettront aux marins de respecter leur environnement. Bien entendu, tout ce qui a été proposé sur ce projet n'est pas forcément applicable à tous les types de navires d'une marine militaire, et il conviendra de mener d'autres études du même type pour réellement cerner les solutions qui seront effectivement déployées, mais il est clair que cet exercice peut maintenant être conduit et que l'on peut en attendre de nombreux bénéfices.

Faire un navire qui pollue deux fois moins, consomme deux fois moins de gazole et s'amortit sur cinq ans, c'est le pari réussi avec le projet ECOSHIP.

Projets en partenariats

DCNS ne pouvait relever seul le défi de l'éco-conception : il s'agit d'un nouveau métier, avec ses compétences et ses méthodes propres. Plusieurs projets de R&D ont donc vu le jour, en partenariat avec des entreprises et des laboratoires de recherche civils :

- Le projet CONVENAV (CONception et cycle de Vie Environnemental des NAVires), lancé en janvier dernier par DCNS, Arts et Métiers ParisTech, SITA, l'IFREMER (Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer) et le Bureau Veritas. L'objectif pour CONVENAV est de développer notamment des indicateurs spécifiques « naval », des outils de conception et de suivi des navires afin de quantifier leurs impacts environnementaux et de proposer des pistes d'amélioration.

- Le projet SSD (*Sustainable Ship Design*), mené aux côtés de STX Europe et de huit autres entreprises au sein du pôle industriel atlantique NEOPOLIA. L'objectif de SSD est de définir des outils d'évaluation et d'optimisation des impacts environnementaux adaptés aux navires.

- Dans le domaine des déchets, le projet NACRE (NAVire à Conduite Respectueuse de l'Environnement) a pour but d'analyser les flux de déchets (solides, liquides et gazeux) produits par les navires, d'étudier leur gestion et leur traitement actuels et de proposer de nouvelles solutions de traitement et de valorisation, plus compactes et respectueuses de l'environnement, tant pour les navires en service que pour les bâtiments à venir. Ce projet est mené en collaboration avec de nombreux partenaires : Anjou recherche (VEOLIA), IFREMER, Louis Dreyfus Armateur, Marine nationale, Bertin Technologie, ENSIETA (École nationale supérieure des ingénieurs des études et techniques d'armement), EME (École des métiers de l'environnement), ENMM (École nationale de la marine marchande), Centre de génie industriel de l'Institut Pasteur, GENAVIR.

Enfin, dans le domaine de l'énergie, deux projets prometteurs devraient prochainement débiter :

- POSE²IDON (*Power Optimized Ship for Environment with Electric Innovative Designs Onboard*), projet européen conduit par un consortium de trente-deux partenaires dont CONVERTEAM, STX et MARIN, vise à développer les nouvelles technologies électriques, comme la supraconductivité, les batteries au lithium, etc., dans le sens d'une réduction de la consommation énergétique ;

- DEESSE (*Diesel Electro Engine Solar Ship Eco-compatible*), projet toulonnais de trans-rade hybride diesel-électro-solaire éco-conçue qui se penche sur la problématique de l'intégration des architectures hybrides et des énergies renouvelables sur les navires. Ce projet est mené en collaboration avec les entreprises METTLE SARL, ECA Électronavale SA, Moteurs Baudouin SA, Futuraships et le Laboratoire d'ingénierie des systèmes mécaniques et des matériaux de l'école SupMéca.

Ces projets sont labellisés par un pôle de compétitivité et bénéficient de financements extérieurs (ANR - Agence nationale de la recherche), FUI (Fond unique interministériel) ou Union européenne).